روش جستجوی کارا و الگوریتم‌های تکاملی برای مسائل زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر چندهدفی

توسط

سمانه متولی

رسالهٔ ارائه شده به عنوان بخشی از ملزومات برای دریافت درجهٔ

کارشناسی ارشد ریاضیات کاربردی (تحقیق در عملیات)

زیر نظر

دکتر مسعود امان

استاد مشاور

دکتر حسن حسن پور

۱۲ شهریور ۱۳۹۰

دانشکدهٔ ریاضی

دانشگاه بیرجند

تقدیم به

خورشید پنهانم

امام زمانم

که جهان از نور وجودش روشن است و شقایق ها به بهانه ی دیدنش، جمعه ها را انتظار می کشند.

پیشکش به:

مادر مهربانم

که شنا در اقیانوس وسیع زندگی و پرواز در آسمان آبی محبت را به من آموخت.

و پدر عزیزم

که کلامش همچون مشعلی روشن و فروزان، در تاریکی راه های پر پیچ و خم زندگی ام است.

و همسر محبوبم

همیشه همراهم، تکیه گاهم، آرامشم.

همچنین تقدیم به

دو خواهر مهربانم مریم و زهرا متولی و برادر عزیزم جواد متولی که وجودشان گرمابخش زندگی ام است.

و تقدیم به

زیباترین ترانه ی زندگی ام،

امیدم،

شادیم،

همه ی هستی ام،

ستایش.

سپاس می گویم خدای مهربانم را که زیباترین راه زندگی را به من آموخت و با گرفتن دستان ناتوانم قدم های مرا در این راه محکم کرد، مشکلات و سختی ها را برایم آسان نمود و درهای بسته ی دانش را با نور وجودش به رویم گشود. خدای مهربانم را شاکرم که تا این مرحله از مسیر علم و دانش را با موفقیت به اتمام رساندم و از او توفیق ادامه ی مسیر و حرکت در راستای خشنودیش را مسئلت دارم.

بر خود لازم می دانم از تمامی کسانی که من را در نوشتن این پایان نامه یاری کردند، قدردانی و تشکر نمایم. تشکر می کنم از استاد راهنمای محترم جناب آقای دکتر مسعود امان که با خلوص نیت و در کمال

صبر و آرامش پاسخگوی تمامی سؤالات من بودند. همچنین تشکر می کنم از استاد مشاور محترم جناب آقای دکتر حسن حسنپور به جهت پیشنهادات ارزنده ای که در این امر داشتند و سپاسگزارم از جناب آقای دکتر اسدالله محمودزاده وزیری و سرکار خانم دکتر نسیم نصرآبادی که داوری این پایان نامه را بر عهده داشتند.

از خانواده ی محترم به جهت تحمل شرایط سختی که در این مقطع تحصیلی داشتم، تشکر می کنم. از جناب آقای هاشم هوشیار به جهت راهنمایی های ارزنده ای که در نوشتن برنامه های کامپیوتری مربوطه داشتند سپاسگزارم و برای همکلاسی های عزیزم آقایان کرمانی نژاد و زیبایی و خانم ها حسین زاده، کفاش دوست، صلواتی نژاد و قلی زاده آرزوی موفقیت در تمامی مراحل زندگی را دارم.

روش جستجوی کارا و الگوریتم‌های تکاملی برای مسائل زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر چندهدفی

چکیده

در این پایان‌نامه دو روش برای حل مسأله‌ی زمان‌بندی تولیدات کارگاهی انعطاف‌پذیر چندهدفی بیان می‌شود. روش اول بر مبنای الگوریتم ژنتیک (GA) است و روش دوم که الگوریتم جستجوی کارا نام دارد، بر اساس جستجوی محلی است. سپس نتایج عددی به دست آمده از این دو روش با هم مقایسه می‌شوند. همچنین روش جدیدی برای حل این مسأله، که ترکیبی از دو روش ذکر شده است، معرفی می‌شود. علاوه بر این، مسأله‌ی مذکور، با دو محدودیت زمان راه اندازی ماشین‌ها و زمان توقف تولید، بیان شده و روش جدیدی برای حل آن بر مبنای الگوریتم جستجوی کارا، معرفی می‌شود.

واژه‌های کلیدی:
بهینه سازی ترکیبیاتی، بهینه سازی چند هدفی، زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف پذیر، جستجوی محلی، الگوریتم ژنتیک.

فهرست مطالب

۱ مفاهیم زمان‌بندی ۱

۱.۱ مقدمه ۲

۲.۱ طبقه‌بندی مسائل زمان‌بندی ۳

۱.۲.۱ محیط ماشین ۴

۲.۲.۱ خصوصیات و محدودیت‌های پردازش عملیات‌ها ۹

۳.۲.۱ معیار عملکرد یک برنامه زمان‌بندی ۱۱

۳.۱ بررسی مسأله تولید کارگاهی ۱۲

۱.۳.۱ تاریخچه مسأله‌ی تولید کارگاهی ۱۲

۲.۳.۱ مروری بر نظریه پیچیدگی ۱۴

۳.۳.۱ تعریف مسأله‌ی تولید کارگاهی ۱۴

۴.۳.۱ فرضیات اضافه ۱۵

۵.۳.۱ اهداف در مسأله‌ی تولید کارگاهی ۱۵

۶.۳.۱ مدل ریاضی مسأله تولید کارگاهی ۱۶

۷.۳.۱ مسأله‌ی JSSP با زمان تحویل ۱۹

۸.۳.۱ مسأله‌ی JSSP با دنباله‌ای وابسته از زمان‌های راه‌اندازی ماشین ۲۳

۹.۳.۱ مسأله‌ی JSSP چند ظرفیتی ۲۵

۱۰.۳.۱ مسأله‌ی JSSP با تخفیف موقت محدودیت‌های ظرفیت به دلیل قراردادفرعی ۲۷
۱۱.۳.۱ مسأله‌ی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر ۲۹

۲ الگوریتم ژنتیک ۳۵
۱.۲ مقدمه ۳۶
۲.۲ الگوریتم تکاملی ۳۷
۳.۲ الگوریتم ژنتیک ۳۸
۱.۳.۲ فضای جستجو ۳۸
۲.۳.۲ مشخصات بیولوژیکی ۴۰
۳.۳.۲ کدگذاری و نحوه‌ی نمایش ۴۰
۴.۳.۲ تولید جمعیت اولیه ۴۳
۵.۳.۲ تابع شایستگی ۴۵
۶.۳.۲ عملگر انتخاب ۴۶
۷.۳.۲ عملگر ادغام ۵۲
۸.۳.۲ عملگر جهش ۶۳
۹.۳.۲ سیاست جایگزینی ۶۴
۴.۲ الگوریتم ژنتیک کلاسیک ۶۴
۵.۲ مقایسه‌ی بهینه‌سازی محلی و محاسبات تکاملی ۶۶
۶.۲ مزایا و معایب بهینه‌سازی محلی ۶۷
۷.۲ مزایا و معایب بهینه‌سازی الگوریتم‌های تکاملی ۶۸

۳ الگوریتم ژنتیک و مسأله‌ی FJSP ۶۹
۱.۳ مقدمه ۷۰

۲.۳ الگوریتم تخصیص ۷۱
۳.۳ حالت انعطاف‌پذیری کامل ۷۲
۴.۳ حالت انعطاف‌پذیری جزیی ۸۱
۵.۳ قضیه‌ی Schemata ۸۴
۶.۳ کدگذاری مسأله FJSP ۹۲
۱.۶.۳ کدگذاری توسط ماشین‌ها ۹۲
۲.۶.۳ کدگذاری توسط کارها ۹۲
۳.۶.۳ کدگذاری ماشین- عملیات ۹۳
۷.۳ الگوریتم ادغام ۹۴
۸.۳ عملگر جهش ۹۸
۱.۸.۳ عملگر جهش کارای مینیمم کننده‌ی زمان پردازش ۱۰۱
۲.۸.۳ عملگر جهش متعادل کننده‌ی حجم کار ماشین‌ها ۱۰۴
۹.۳ الگوریتم ژنتیک کنترل‌شده ۱۰۸

۴ روش جستجوی کارا برای مسأله‌ی FJSP ۱۱۰

۱.۴ مقدمه ۱۱۱
۲.۴ روش جستجوی کارا ۱۱۱
۱.۲.۴ تخصیص عملیات ۱۱۱
۲.۲.۴ ترتیب دهی عملیات ۱۱۴
۳.۲.۴ جستجوی انتقالات شدنی ۱۱۷
۴.۲.۴ ارزیابی انتقالات شدنی ۱۱۹
۵.۲.۴ اجرای بهترین انتقال ۱۲۰
۶.۲.۴ معیار توقف ۱۲۰

۵ دو روش جدید برای حل مسأله‌ی FJSP ۱۲۲

۱.۵ مقدمه ۱۲۳

۲.۵ ترکیب الگوریتم ژنتیک و روش جستجوی کارا ۱۲۳

۳.۵ الگوریتم جستجوی کارا با دو محدودیت جدید ۱۲۴

۱.۳.۵ زمان راه اندازی عملیات ۱۲۴

۲.۳.۵ زمان توقف تولید ۱۲۶

۴.۵ نتایج عددی ۱۲۸

۱.۴.۵ مقایسه‌ی الگوریتم ژنتیک و جستجوی کارا ۱۲۸

۲.۴.۵ نتایج عددی ترکیب ژنتیک و جستجوی کارا ۱۳۴

۳.۴.۵ مقایسه‌ی سه الگوریتم ژنتیک، جستجوی کارا و روش ترکیبی ۱۳۵

۴.۴.۵ نتایج عددی الگوریتم جستجوی کارا با دو محدودیت دیگر ۱۳۶

۶ واژه نامه فارسی به انگلیسی ۱۴۴

۷ ضمیمه ۱۴۸

پیشگفتار

با پیشرفت تکنولوژی و ماشینی شدن محیط‌های تولید و رقابت‌های موجود در بازار نیازمند مدیریت و برنامه‌ریزی صحیح در زمینه‌ی تولید هستیم. بنابراین مسأله‌ی زمان‌بندی در عصر حاضر از اهمیت خاصی برخوردار است. یک برنامه‌ی زمانی خوب می‌تواند به طور چشم-گیری منجر به کاهش هزینه‌ها و افزایش بهره‌وری و رضایت مشتریان شود. این برنامه‌ی زمانی باید محدودیت‌های موجود را رعایت و از حداکثر امکانات استفاده کند. به عبارت دیگر یک برنامه‌ی زمانی خوب قادر به استفاده بهینه از حداقل امکانات است. همچنین این برنامه‌ی زمانی باید قابل اجرا و با واقعیت‌های موجود سازگار باشد.

در فصل ۱ این پایان‌نامه مفاهیم مربوط به زمان‌بندی و تقسیم‌بندی‌های آن‌ها آمده است و در انتهای این فصل انواع مختلف مسأله‌ی تولید کارگاهی ذکر شده و مدل‌سازی‌های مربوط به برخی از آن‌ها آورده شده است.

از آن جا که الگوریتمی با پیچیدگی زمانی چندجمله‌ای، برای حل مسأله‌ی زمان‌بندی تولید کارگاهی وجود ندارد، این مسأله، یک مسأله‌ی $NP-Hard$ است. به همین جهت برای حل آن از روش‌های ابتکاری استفاده می‌کنیم. الگوریتم‌های تکاملی از روش‌های ابتکاری محسوب می‌شوند که در فصل ۲ انواع آن را ذکر شده و به بیان ساختار الگوریتم ژنتیک و پارامترهای اصلی آن می‌پردازیم.

به منظور نتیجه‌گیری بهتر می‌توان از ترکیب جستجوی محلی و الگوریتم ژنتیک استفاده

کرد. به همین جهت در فصل ۳ جواب‌های به دست‌آمده از جستجوی محلی به عنوان جواب اولیه‌ای برای الگوریتم ژنتیک در نظر گرفته شده و روش حلی برای مسأله‌ی تولید کارگاهی انعطاف پذیر بیان می‌شود.

در فصل ۴ روش دیگری بر مبنای جستجوی محلی به نام روش جستجوی کارا، برای حل مسأله‌ی تولید کارگاهی انعطاف پذیر ارائه می‌شود.

فصل ۵ دارای سه بخش است. در بخش اول، روش جدیدی برای حل مسأله‌ی تولید کارگاهی انعطاف پذیر معرفی می‌شود. این روش بر مبنای ترکیب الگوریتم‌های معرفی شده در بخش‌های ۳ و ۴ است. در بخش دوم، مسأله‌ی تولید کارگاهی انعطاف پذیر با دو محدودیت دیگر(زمان راه اندازی ماشین و زمان توقف تولید) در نظر گرفته شده و روش جدیدی برای حل آن معرفی می‌شود و در پایان نتایج عددی به دست آمده از الگوریتم‌های مختلف ذکر شده ارائه می‌شود.

فصل ۱

مفاهیم زمان‌بندی

۱.۱ مقدمه

زمان‌بندی شامل برنامه‌ریزی، اولویت‌دهی و چیدمان فعالیت‌هایی است که انجام دادن آن‌ها نیازمند ترتیب می‌باشد. در حقیقت، زمان‌بندی ابزاری در جهت بهینه‌سازی استفاده از منابع و امکانات در دسترس است و موجب افزایش بازدهی و بهره‌برداری مناسب از ظرفیت‌ها، کاهش زمان مورد نیاز به منظور تکمیل کارها و در نهایت سود آوری می‌گردد.

با توجه به این موضوع که زمان در دنیای کنونی یک محدودیت به شمار می‌رود، زمان‌بندی مؤثر منابع نظیر ماشین آلات، نیروی انسانی و مواد، یک ضرورت در دنیای رقابت امروزی می‌باشد. در برخی از کتاب‌ها زمان‌بندی را هنر اولویت‌دهی و چیدمان فعالیت‌ها برای برآورده کردن نیازمندی‌ها، محدودیت‌ها و اهداف مشخص قلمداد می‌کنند.

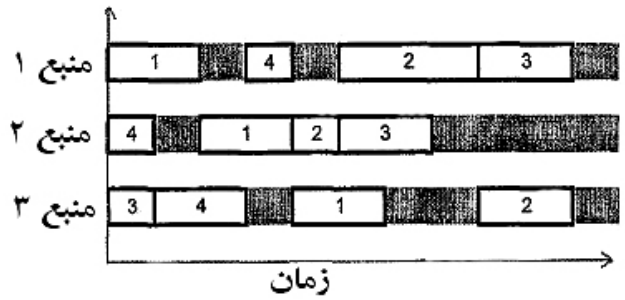
زمان‌بندی جمع‌آوری قواعد، مدل‌ها و روش‌ها جهت تصمیم‌گیری و تعیین یک برنامه‌ی زمانی است. بدین منظور لازم است تا مسأله، ابعاد مسأله و اهداف آن بطور دقیق در گام نخست مشخص گردد. باید توجه داشت که شناسایی مسأله فعالیتی بسیار مهم و پیچیده است که عدم توجه به این مرحله سبب پیدایش مشکلات در مراحل بعدی خواهد شد. در گام دوم متغیرهای تصمیم، روابط بین متغیرها و محدودیت‌های مسأله تعیین می‌گردد. در این مرحله مؤلفه‌ها و اجزای مسأله و روابط بین آنها بررسی می‌شود. در گام سوم راه حل-های ممکن بررسی و در آخرین گام به مقایسه راهکارهای شدنی و انتخاب بهترین راهکار پرداخته می‌شود. استفاده بهینه و کارا از منابع و پاسخگویی به تقاضا دو هدف مهم در تئوری زمان‌بندی است، که برای رسیدن به آنها با محدودیت‌هایی چون ظرفیت منابع در دسترس و ترتیب انجام کارها مواجه هستیم. می توان گفت در حل یک مسأله‌ی زمان‌بندی پاسخگویی به دو پرسش زیر مطرح است.

۱. برای انجام هر کار و یا فعالیت کدام منبع را تخصیص دهیم؟

۲. چه زمانی آن کار و یا فعالیت را انجام دهیم؟

بنابراین مسائل زمان‌بندی را می‌توان به دو گروه تصمیمات تخصیصی و تصمیمات ترتیبی تقسیم نمود. منابع و فعالیت‌ها دو جزء اصلی مدل‌های زمان‌بندی می‌باشند. در برنامه‌ریزی تولید، منبع معادل ماشین و فعالیت معادل کار است. همچنین ممکن است کارها خود به مؤلفه‌های کوچکتری به نام عملیات تقسیم شوند.

اطلاعات زمان‌بندی در فرم‌های مختلفی قابل نمایش می‌باشد. نمودار گانت، اولین بار توسط هنری گانت در اواخر قرن نوزدهم برای زمان‌بندی به کار گرفته شد که به صورت-های خطی و یا بلوکی قابل ترسیم می‌باشد که زمان بر روی محور افقی و ماشین یا عملیات بر روی محور عمودی قرار می‌گیرند. این نمودار در شکل ۱ - ۱ نشان داده شده است.



شکل ۱.۱: نمودار گانت

۲.۱ طبقه‌بندی مسائل زمان‌بندی

از مرور کارهای گذشته نتیجه می‌شود که به دلیل عدم وجود علائم قراردادی یکسان در مسائل زمان‌بندی، اکثر محققین از علائم خاص خود استفاده کرده‌اند. نخستین روش علامت‌گذاری مسائل زمان بندی، مدل طبقه‌بندی کانوی [۱] است که توسط کانوی

[۱] *Canway*

و همکارانش در سال ۱۹۶۷ به کار برده شد. در این مدل از چهار پارامتر به شکل $n/m/A/C$ استفاده شده است که در آن n نشان دهنده‌ی تعداد کارهای موجود در کارگاه، m تعداد منابع موجود در کارگاه، A الگوی جریان یا نوع ساختار میان منابع موجود در کارگاه و C معیار بهینه‌سازی، جهت ارزیابی زمان‌بندی می‌باشد. مشکل اساسی این مدل طبقه‌بندی، عدم درنظر گرفتن مفروضات مسائل زمان‌بندی بود. دسته‌بندی دیگری در سال ۱۹۷۹ توسط گراهام [۲] و همکارانش به منظور غلبه بر این کاستی، ارائه شد[۱۲].

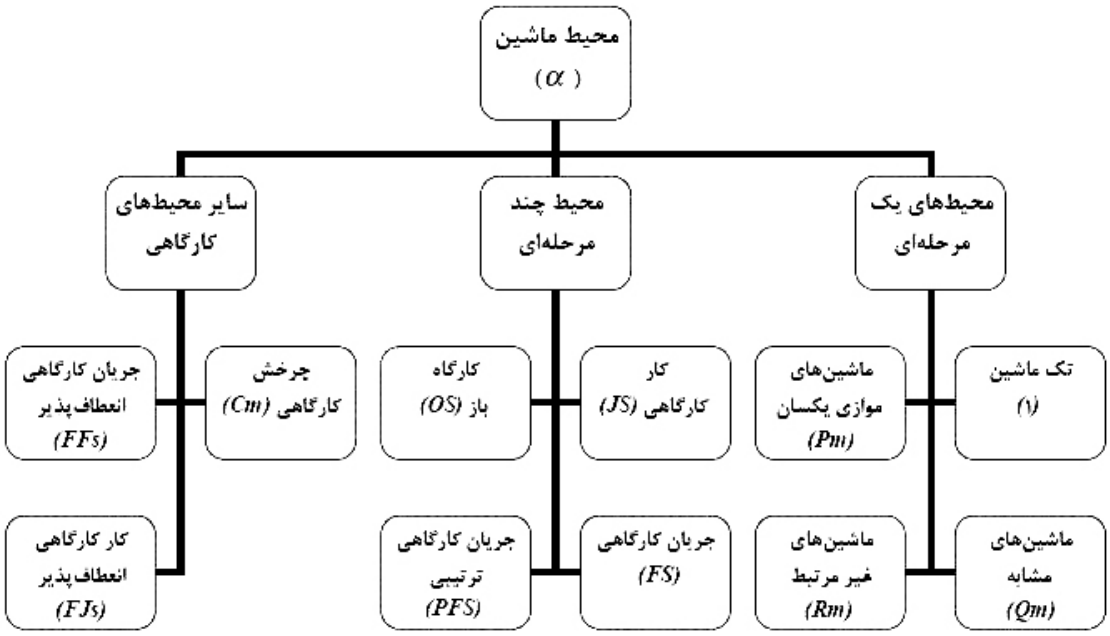
بنابر مدل طبقه‌بندی گراهام مسأله زمان‌بندی قطعی با سه تایی مرتب $\alpha/\beta/\gamma$، توصیف می‌گردد. که در آن α نشانگر محیط ماشین آلات (که تنها یک مؤلفه دارد)، β نشانگر خصوصیات و محدودیت‌های پردازش کارها (که ممکن است دارای یک یا چند مؤلفه باشد یا اصلاً مؤلفه نداشته باشد) است و γ تابع هدف را توصیف می‌کند که اغلب مینیمم می‌شود (معمولاً یک مؤلفه دارد).

در ادامه به شرح هر یک از پارامترهای موجود در طبقه‌بندی مسائل زمان‌بندی بر پایه روش گراهام می‌پردازیم.

۱.۲.۱ محیط ماشین

این پارامتر، محیط ماشین و تعریفی را که از نظم و سازماندهی ماشین‌ها در نظر داریم نشان می‌دهد. این نماد فقط یک مؤلفه دارد. شکل ۲.۱ محیط‌های متعارف ماشین که پارامتر α را مشخص می‌نمایند نشان می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌شود محیط‌های ماشین به سه دسته تقسیم می‌شوند.

[۲] $Graham$



شکل ۲.۱: تقسیم‌بندی مسائل زمان‌بندی بر اساس محیط ماشین

۱. **محیط‌های یک مرحله‌ای:** در این محیط‌ها هر یک از کارهای موجود در کارگاه نیازمند یک عملیات است. بعضی از محیط‌های متعارف موجود در مسائل زمان-بندی که از این نوع می‌باشند، عبارتند از:

- تک ماشین[۳]: تنها یک ماشین در کارگاه موجود است. بنابراین هر کار تنها یک عملیات دارد.
- ماشین‌های موازی یکسان[۴] (Pm): به مسأله‌ای که در آن چند ماشین یکسان به طور موازی وجود دارد ماشین‌های موازی گفته می‌شود. در این حالت کارها می‌توانند روی یکی از m ماشین موازی و یا روی یکی از ماشین‌های متعلق به زیر مجموعه‌ای خاص از ماشین‌های یکسان موجود در کارگاه پردازش شوند.

[۳] *Single machine*
[۴] *Identical parallel machines*

- ماشین‌های موازی با سرعت‌های متفاوت[۵] (Qm): m ماشین موازی مشابه با سرعت‌های متفاوت، در سیستم وجود دارد. هر کار روی هر ماشین با سرعت متفاوتی پردازش می‌شود.
- ماشین‌های موازی غیر وابسته[۶] (Rm): این محیط تعمیم یافته حالت قبلی است. m ماشین متفاوت در حالت موازی وجود دارند. ماشین i کار jام را با سرعت v_{ij} پردازش می‌کند. سرعت کار ماشین‌ها مستقل از کارهاست، یعنی $v_{ij} = v_i$ برای همه‌ی i, jها.

۲. **محیط‌های چند مرحله‌ای:** در این محیط، تعدادی از کارها نیازمند بیش از یک عملیات هستند. بعضی از این محیط‌های متعارف موجود در مسائل زمان‌بندی عبارتند از:

- تولید کارگاهی[۷] (JS): هر کار مسیر پردازش مشخصی دارد و الگوی جریان کارها یکی نیست. دو نوع مختلف مسأله‌ی تولید کارگاهی وجود دارد. دسته‌ی اول مسائلی هستند که هر کار، روی هر ماشین فقط یک بار انجام می‌شود و دسته‌ی دوم مسائلی هستند که هر کار، روی هر ماشین بیش از یک بار انجام می‌شود.
- جریان کارگاهی[۸] (FS): در این حالت همه‌ی کارها باید روی مسیر مشابه پردازش شوند یعنی کارها ابتدا باید روی ماشین ۱، سپس روی ماشین ۲، و به همین ترتیب پردازش شوند. بعد از تکمیل کار روی یک ماشین، کار به صف برای انجام روی ماشین بعدی می‌پیوندد. به طور معمول کارها در صف

[۵] *Parallel machines with different speeds*
[۶] *Unrelated parallel machine*
[۷] *Job shop*
[۸] *Flow shop*

با ترتیب اولین ورودی اولین خروجی[۹] $(FIFO)$ انجام می‌شوند. به عبارت دیگر اولویت پردازش کارها، طبق ترتیبی است که در صف قرار می‌گیرند.

- جریان کارگاهی ترتیبی[۱۰] (PFS): حالت خاصی از مسأله‌ی FS است. هر ماشین تمام کارها را با ترتیب مشابه پردازش می‌کند. بنابراین هر زمان‌بندی شدنی برای مسأله‌ی PFS متناظر با یک جایگشت از n کار است.
- کارگاه باز[۱۱] (OS): در این حالت به زمان‌بند اجازه داده می‌شود که یک مسیر برای پردازش هر کار تعیین کند و کارهای مختلف ممکن است مسیرهای مختلفی برای پردازش داشته باشد.

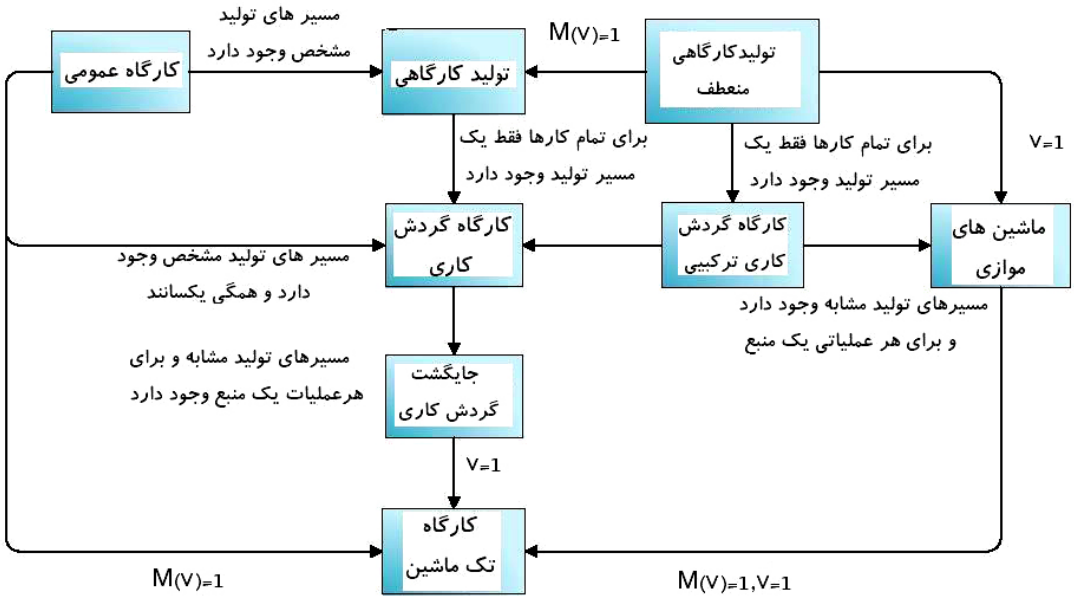
۳. **سایر محیط‌های کارگاهی:** این محیط‌ها اغلب از ترکیب محیط‌های ذکر شده‌ی فوق ایجاد می‌شوند و در عمل دارای کاربردهای بسیاری در صنعت هستند. برخی از محیط‌های متعارف موجود در مسائل زمان‌بندی که از این نوع می‌باشند، عبارتند از:

- کارگاه چرخشی[۱۲] (Cm): کارگاه چرخشی، حالت خاصی از تولید کارگاهی و توسعه یافته جریان کارگاهی است. در این نوع کارگاه، همه کارها دارای توالی عملیات یکسانی روی ماشین‌ها هستند. اما برخلاف جریان کارگاهی، بعضی ازعملیات‌ها چندین بار روی بعضی ماشین‌ها تکرار می‌شوند[۹].
- جریان کارگاهی انعطاف پذیر[۱۳] $(FFSPM)$: به مدل جریان کارگاهی‌ای گفته می‌شود که در هر ایستگاه کاری آن بیش از یک ماشین فعالیت می‌کنند. این محیط، که از ترکیب محیط‌های جریان کارگاهی و ماشین‌های موازی به

[۹] $First\ in\ first\ out$
[۱۰] $Permutation\ flow\ shop$
[۱۱] $Open\ shop$
[۱۲] $Cycle\ shop$
[۱۳] $Flexible\ flow\ shop$

وجود می‌آید، دارای s مرحله است و در هر مرحله تعدادی ماشین موازی وجود دارد. در هر مرحله، هر کار فقط روی یک ماشین پردازش می‌شود[۱۳].

- تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر[۱۴] ($FJSPM$): به مسأله‌ی تولید کارگاهی‌ای که در آن برای انجام هر عملیات ماشین جایگزین وجود دارد گفته می‌شود. به عبارت دیگر، این محیط از ترکیب محیط‌های تولید کارگاهی و ماشین-های موازی به وجود می‌آید و دارای s ایستگاه کاری است و در هر ایستگاه تعدادی ماشین موازی وجود دارد. در هر ایستگاه، هر کار فقط روی یک ماشین پردازش می‌شود[۱۳].



شکل ۳.۱: توپولوژی محیط منابع

[۱۴] *Flexible job shop*

به طور کلی در مسائل زمان‌بندی از نوع $FFSPM$ و $FJSPM$ به دلیل وجود ماشین‌های موازی در هر ایستگاه کاری، انعطاف‌پذیری در مسیرهای ساخت قطعات وجود دارد. بنابراین در این دسته مسائل، مسأله‌ی زمان‌بندی با مسأله‌ی تخصیص همراه می‌شود. از طرفی مسأله‌ی PFS حالت خاصی از FS است و آن نیز به نوبه‌ی خود حالت خاصی از مسأله‌ی JS است. به طور کلی شکل ۳.۱، توپولوژی مسائل زمان‌بندی و انواع محیط ماشین در این گونه مسائل را نشان می‌دهد.

۲.۲.۱ خصوصیات و محدودیت‌های پردازش عملیات‌ها

خصوصیات و محدودیت‌های پردازش عملیات‌ها در محیط β انواع مختلفی دارد که در ادامه به ذکر برخی از آن‌ها می‌پردازیم.

زمان واگذاری

زمان واگذاری[۱۵] یا r_i نشان می‌دهد که پردازش عملیات iام نمی‌تواند قبل از زمان r_i شروع شود. اگر مسأله شامل این محدودیت نباشد، پردازش عملیات iام می‌تواند در هر زمانی شروع شود.

پیشدستی

خاصیت پیشدستی[۱۶] یا $prmp$ نشان می‌دهد که لازم نیست یک عملیات از زمان شروع تا تکمیل، روی یک ماشین پردازش شود. در این حالت زمان‌بند اجازه دارد پردازش عملیات را در هر زمان متوقف کند و عملیات دیگری به جای آن روی ماشین پردازش شود.

[۱۵] $Release\ date$
[۱۶] $Primption$