روش فراابتکاری برای زمان‌بندی تولیدات کارگاهی انعطاف پذیر چند هدفی با دنباله‌ای وابسته از زمان‌های راه‌اندازی ماشین

توسط

محسن کرمانی نژاد

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 مهدی پناهی

۹ بهمن ۱۳۸۹

دانشکدهٔ ریاضی

دانشگاه بیرجند

به پاس تعبیر عظیم و انسانی‌شان از کلمه‌ی ایثار و از خودگذشتگی.
و به پاس عاطفه‌ی سرشار و گرمای امید بخش وجودشان که در سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است.
به پاس قلب‌های بزرگ‌شان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می‌گراید.
و به پاس محبت‌های بی‌دریغ‌شان که هرگز فروکش نمی‌کند

این مجموعه را به پدر و مادر و همسر عزیزم تقدیم می‌کنم.

سپاسگزاری و تقدیر

به نام و یاد حضرت دوست، که هرچه داریم و هست از اوست. حمد و سپاس و ستایش از آن خدایی است که بشر را با قلم تعلیم داد و به ما نعمت شناخت و علم عطا فرمود.

در اینجا لازم است از تمامی کسانی که من را در تهیه این پایان نامه یاری نمودند، قدردانی نمایم:

استاد راهنمای دلسوز و مهربانم جناب آقای دکتر مسعود امان، امیدوارم بتوانم صبر و جدیت ایشان در کارها را سرلوحه ی کار خود قرار دهم.

جناب آقای دکتر مهدی پناهی که مشاوره ی پایان نامه ی بنده را بر عهده داشتند و همواره خاطره ی خوبی از خود در ذهنم به جای گذاشتند. اساتید گرامی، آقای دکتر اسدا... محمودزاده وزیری و خانم دکتر نسیم نصرآبادی به خاطر داوری پایانامه و آقای دکتر حسینی که نماینده ی تحصیلات تکمیلی بودند.

آرزوی سلامتی و توفیق روزافزون برای دوستان عزیزم آقایان عیسی دار، صادق زیبایی، میثم بازیاری، حسن آخوندی، محمد حلیمی، بهراد کروژدهی، آصف اویار حسین، هادی جوادی، هادی سارانی، مهدی بخش آبادی، مهدی حسن زاده، جعفر رمضانی و همکلاسی های خوبم خانم متولی، کفاش دوست حسین-زاده، صلواتی، قلی زاده و همه ی آنهایی که حقی بر گردن من دارند.

روش فراابتکاری برای زمان‌بندی تولیدات کارگاهی انعطاف پذیر چند هدفی با دنباله‌ای وابسته از زمان‌های راه‌اندازی ماشین

چکیده

در این پایان‌نامه کاربرد الگوریتم پرندگان (PSO) در مسأله‌ی زمان‌بندی تولیدات کارگاهی انعطاف‌پذیر چندهدفی با دنباله‌ای وابسته از زمان‌های راه‌اندازی ماشین با در نظر گرفتن منابع کمکی و زمان توقف تولید بررسی می‌شود. برای رسیدن به این هدف از نمایش-های مختلف و نگاشت‌هایی که برای این مسأله پیاده‌سازی شده‌اند استفاده می‌کنیم. این نگاشت‌ها در چهار الگوریتم ابتکاری که بر اساس الگوریتم پرندگان است ارائه می‌شود.

واژه‌های کلیدی: *بهینه‌سازی گروه ذرات، تولیدات کارگاهی انعطاف پذیر، زمان-بندی تولید*

فهرست مطالب

۱ مفاهیم زمان‌بندی **۱**

۱.۱ مقدمه ۲

۲.۱ طبقه‌بندی مسائل زمان‌بندی ۳

۳.۱ معیار عملکرد یک برنامه زمان‌بندی (γ) ۸

۴.۱ بررسی مساله تولید کارگاهی ۱۰

۱.۴.۱ تعریف مسأله‌ی تولید کارگاهی ۱۲

۵.۱ مسأله‌ی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر ۱۶

۱.۵.۱ تعریف انعطاف‌پذیری ۱۶

۲.۵.۱ تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر ۱۷

۳.۵.۱ مسأله‌ی زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر ۱۸

۶.۱ مسأله‌ی زمان‌بندی تولید کارگاهی در حالت خاص ۲۰

۱.۶.۱ زمان‌بندی تولید کارگاهی با دنباله‌ای وابسته از زمان‌های راه-
اندازی ماشین ۲۱

۲.۶.۱ مسأله‌ی زمان‌بندی تولید کارگاهی گسترش یافته ۲۲

۳.۶.۱ مسأله‌ی زمان‌بندی تولید کارگاهی با منابع محدود شده . . . ۲۵

۲ الگوریتم پرندگان ۳۱

۱.۲ انواع ساختار های همسایگی ۳۳

۲.۲ الگوریتم هایPSO ۳۶

۳.۲ ارزش گذاری ۴۰

۴.۲ پارامترهای الگوریتم PSO ۴۱

۵.۲ همگرایی ۴۶

۶.۲ اصلاحات روی PSO ۵۰

۱.۶.۲ الگوریتم PSO باینری ۵۱

۲.۶.۲ PSO تکاملی ۵۴

۳.۶.۲ PSO مشارکتی ۵۵

۷.۲ کاربردها ۵۷

۳ حل مسأله‌ی زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر چندهدفی ۶۰

۱.۳ مقدمه ۶۱

۲.۳ تاریخچه‌ی مسأله‌ی زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر ۶۱

۳.۳ توابع چندهدفی ۶۳

۱.۳.۳ بهینه‌سازی چندهدفی ۶۵

۲.۳.۳ روش‌های کلاسیک حل مسائل چندهدفی ۶۷

۴.۳ حل $FJSP$ چندهدفی به وسیله‌ی PSO ۷۱

۵.۳ مرور تاریخچه‌ی کاربرد PSO در حل $FJSP$ چندهدفی ۷۲

۶.۳ حل $FJSP$ چندهدفی با دنباله‌ای وابسته از زمان‌های راه‌اندازی ماشین ۷۶

۱.۶.۳ الگوریتم PSO بر اساس جریمه ۷۸

۲.۶.۳ الگوریتم پرندگان بر اساس اولویت ۸۶

۳.۶.۳ الگوریتم پرندگان بر اساس کلیدهای تصادفی ۹۴
۴.۶.۳ الگوریتم پرندگان بر اساس قاعده[۱] ۹۶
۷.۳ نتایج عددی ۹۸

۴ ۱۰۲
۱.۴ نتیجه‌گیری ۱۰۲
۲.۴ پیشنهادات جهت انجام تحقیقات آینده ۱۰۳

۵ ضمیمه ۱۰۴

[۱] *Rule – Based PSO Algorithm*

لیست جداول

۱.۳ جدول داده ۷۴
۲.۳ جدول داده‌ها ۸۹
۳.۳ مقادیر اصلی الگوریتم‌های فراابتکاری ۹۸
۴.۳ نتایج مثال۱.۷.۳ روی الگوریتم‌های فراابتکاری ۹۹
۵.۳ نتایج مثال ۳.۷.۳ روی الگوریتم‌های فراابتکاری ۱۰۱

لیست تصاویر

۱.۱ نمودار گانت ۳

۲.۱ تقسیم‌بندی مسائل زمان‌بندی بر اساس محیط ماشین ۵

۳.۱ توپولوژی محیط منابع ۹

۱.۲ ساختار ستاره [۹] ۳۴

۲.۲ ساختار حلقوی [۹] ۳۵

۳.۲ ساختار چرخی [۹] ۳۵

۴.۲ حالتی که محدودیت v_{max} وجود ندارد ۴۹

۵.۲ رفتار ذره به ازای $v_{max} = ۲$ ۵۰

۶.۲ رفتار ذره به ازای $v_{max} = ۰/۲$ ۵۱

۷.۲ رفتار ذره به ازای ρهای مختلف[۹] ۵۱

۸.۲ رفتار ذره به ازای ρهای مختلف[۹] ۵۲

۹.۲ رفتار ذره به ازای ρهای مختلف[۹] ۵۲

۱۰.۲ تابع سیگموید ۵۳

۱۱.۲ دیدگاه ارباب رعیتی ۵۶

۱.۳ نمایش یک موقعیت تصادفی ۷۵

۲.۳ بررسی مکانیسم نگاشت و زمان‌بندی ۷۷
۳.۳ یک مثال از $Pen - PSO$ ۷۹
۴.۳ یک مثال از کدگذاری موقعیت ذرات در یک برنامه ی زمانی ۹۱
۵.۳ یک مثال از $RKPSO$ ۹۵

پیشگفتار

اهمیت مسائل زمان‌بندی در سال‌های اخیر به سبب افزایش تنوع در تقاضای مشتریان، کاهش چرخه عمر محصولات، تغییرات سریع در بازارهای کاملاً رقابتی و نیز توسعه سریع فرآیندها و تکنولوژی‌های نو در ایجاد محیط‌های انعطاف‌پذیر برای تولید، افزایش چشمگیری یافته است. این فشارهای تجاری و اقتصادی بازار به همراه پیشرفت‌های روزافزون قابلیت‌ها و انعطاف‌پذیری‌های ماشین آلات موجود در محیط‌های ساخت و تولید، سیستمی‌هایی را می‌طلبد که با وجود حداقل‌سازی موجودی در سطح کارگاه و استفاده بهینه از ماشین آلات قادر باشند سطح بالایی از رضایت مشتریان را نسبت به محصولات و سفارشات برآورده سازد. از این رو این سیستم‌ها نیازمند برنامه زمانی کارآمد، قابل اجرا و صحیحی می باشند.

سیستم‌های پیچیده‌ی اجتماعی مسائلی را پیش روی ما قرار می‌دهد که از روش‌های معمول و کلاسیک قابل حل نیستند و یا در زمان قابل قبول نمی‌توان به جواب مطلوب دست یافت. بنابراین چاره‌ای نداریم که به جواب‌های زیر بهینه رو آوریم به گونه‌ای که جواب دارای کیفیت قابل پذیرش بوده و در زمان قابل قبول به دست آیند.

چندین رویکرد برای طراحی جواب‌ها با کیفیت قابل پذیرش وجود دارد. یکی از این رویکردها الگوریتم‌های ابتکاری[۲] است.

[۲] *Heuristic*

الگوریتم‌های ابتکاری الگوریتم‌هایی هستند که هیچ تضمینی در ارائه‌ی جواب (بهینه) ندارند، اما بر اساس شواهد و سوابق نتایج آن‌ها، به‌طور متوسط بهترین تقابل بین کیفیت جواب و زمان حل برای مسأله‌ی مورد بررسی را به همراه داشته‌اند.
الگوریتم‌های ابتکاری خود نیز به چندین دسته تقسیم می‌شوند.

- الگوریتم‌هایی که بر ویژگی ساختاری مسأله و ساختار جواب متمرکز می‌شوند و با استفاده از آن‌ها الگوریتم‌های سازنده یا جستجوی محلی تعریف می‌کنند.

- الگوریتم‌هایی که بر هدایت الگوریتم سازنده یا جستجوی محلی متمرکز می‌شوند، به گونه‌ای که آن الگوریتم بتواند در شرایط حساس (مانند فرار از بهینه‌ی محلی) غلبه کند. به این الگوریتم‌ها فراابتکاری [۳] گفته می‌شود. انواع الگوریتم‌های فراابتکاری مانند الگوریتم ژنتیک، جستجوی ممنوع، الگوریتم پرندگان و شبکه‌های عصبی مصنوعی هستند.

- الگوریتم‌هایی که بر ترکیبی از روش‌های ابتکاری یا گونه‌هایی از برنامه‌ریزی ریاضی (معمولاً روش‌های دقیق) متمرکز می‌شوند.

آن‌چه در این تحقیق خواهد آمد به قرار زیر است

در فصل ۱ ابتدا مفاهیم زمان‌بندی بررسی می‌شوند و بر طبق این مفاهیم اجزای آن طبقه-بندی می‌شوند. سپس به بررسی مسأله‌ی تولید کارگاهی و انواع انعطاف‌پذیری‌ها پرداخته می‌شود. در ادامه مسأله‌ی تولید کارگاهی در حالت خاص مورد بررسی قرار می‌گیرد و مدل‌سازی‌های مربوط به مسأله‌ی تولید کارگاهی با دنباله‌ای وابسته از زمان‌های راه‌اندازی ماشین، زمان‌بندی تولید کارگاهی گسترش یافته و مسأله‌ی زمان‌بندی تولید کارگاهی با منابع محدود شده توصیف می‌شوند.

[۳] $Metaheuristic$

در فصل ۲ ساختار الگوریتم پرندگان مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس به بررسی انواع الگوریتم پرندگان پرداخته، پارامترهای اصلی و کارایی این الگوریتم‌ها را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در ادامه اصلاحات جدیدی که روی الگوریتم پرندگان انجام شده است را بررسی می‌کنیم و در مورد مزایا و معایب الگوریتم‌هایی مانند الگوریتم باینری، تکاملی و مشارکتی بحث می‌شود.

در فصل ۳ ابتدا مسائل چندهدفی و روش‌های حل این گونه مسائل مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس مسأله‌ی زمان‌بندی تولید کارگاهی انعطاف‌پذیر چندهدفی با دنباله‌ای وابسته از زمان‌های راه‌اندازی ماشین با در نظر گرفتن زمان توقف تولید به وسیله‌ی روش فراابتکاری الگوریتم پرندگان حل می‌شود و الگوریتم‌های شامل الگوریتم پرندگان بر اساس جریمه، الگوریتم پرندگان بر اساس اولویت، الگوریتم پرندگان بر اساس کلیدهای تصادفی و الگوریتم پرندگان بر اساس قاعده به‌طور کامل توصیف می‌شوند.

فصل ۱

مفاهیم زمان‌بندی

۱.۱ مقدمه

زمان‌بندی شامل برنامه‌ریزی، اولویت‌دهی و چیدمان فعالیت‌هایی است که نیازمند ترتیب در انجام دادن آن‌ها می‌باشد. در حقیقت زمان‌بندی ابزاری در جهت بهینه‌سازی استفاده از منابع و امکانات در دسترس به‌کار می‌رود و موجب افزایش بازدهی و بهره‌برداری مناسب از ظرفیت، 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.

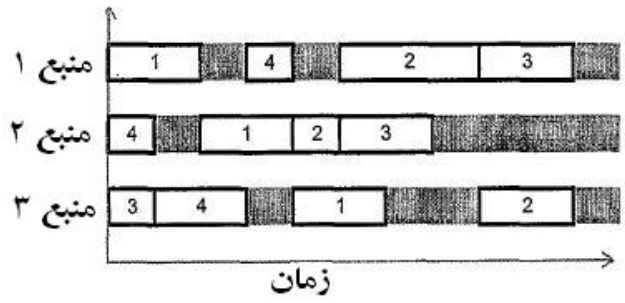
زمان‌بندی جمع‌آوری قواعد، مدل‌ها و روش‌ها جهت تصمیم‌گیری و تعیین یک برنامه‌ی زمانی است. بدین منظور لازم است تا مسأله، ابعاد مسأله و اهداف آن به طور دقیق در گام نخست مشخص گردد. باید توجه داشت که شناسایی مسأله فعالیتی بسیار مهم و پیچیده است که عدم توجه به این مرحله سبب پیدایش مشکلات در مراحل بعدی خواهد 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 مقادیر دیگر از جمله ماشین و یا کار بر روی محور عمودی ترسیم می‌شود. 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 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 از مدل-سازی مسائل زمان‌بندی در سال ۱۹۷۹ توسط گراهام [۲] و همکارانش به منظور غلبه بر این کاستی، ارائه شد[۱۵].

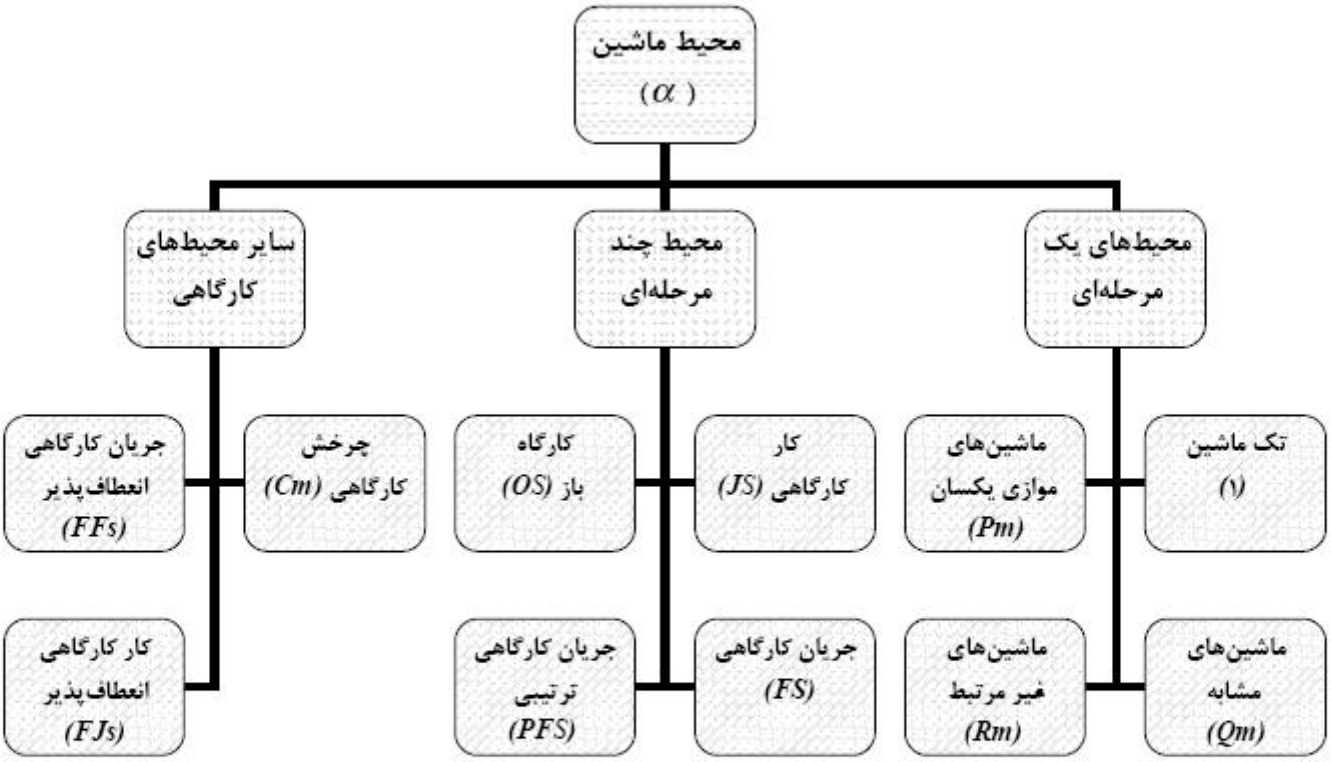
بنابر مدل طبقه‌بندی گراهام مسأله‌ی زمان‌بندی قطعی با سه تایی مرتب $\alpha/\beta/\gamma$، توصیف می‌گردد. که در آن α نشانگر محیط ماشین آلات (که تنها یک مؤلفه دارد)، β نشانگر خصوصیات و محدودیت‌های پردازش کارها (که ممکن است دارای یک یا چند مؤلفه باشد یا اصلاً مؤلفه نداشته باشد) و γ تابع هدف را توصیف می‌کند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

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

محیط ماشین(پارامتر α): این پارامتر محیط ماشین و تعریفی که از نظم و سازماندهی ماشین‌ها در نظر داریم را نشان می‌دهد. این نماد فقط یک مؤلفه دارد. شکل زیر محیط-های متعارف ماشین که پارامتر α را مشخص می‌نمایند را نشان می‌دهد.

محیط‌های یک مرحله‌ای: در این محیط‌ها هر یک از کارهای موجود در کارگاه نیازمند یک عملیات است. بعضی از محیط‌های متعارف موجود در مسائل زمان‌بندی که

[۱] $Canway$
[۲] $Graham$



شکل ۲.۱: تقسیم‌بندی مسائل زمان‌بندی بر اساس محیط ماشین

از این نوع می‌باشند عبارتند از:

- تک ماشین[۳]: تنها یک ماشین در کارگاه موجود است. بنابراین هر کار تنها یک

[۳] *Single Machine*

عملیات دارد.

- ماشین‌های موازی یکسان[۴] (Pm): به مسأله‌ی تک ماشینی، که در آن چند ماشین یکسان به طور موازی وجود دارند، 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.

- ماشین‌های موازی با سرعت‌های متفاوت(Qm): m ماشین موازی مشابه با سرعت-های متفاوت، در سیستم وجود دارد.

- ماشین‌های موازی غیر وابسته [۵] (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.

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 [۶] (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 هر ماشین را حداکثر یک‌بار ملاقات می‌کند و دسته‌ی دوم مسائلی هستند که هر کار هر ماشین را بیش از یک‌بار ملاقات می‌کند.

[۴] *Identical Parallel Machine*
[۵] *Unrelated Machine*
[۶] *Job Shop*

- جریان کارگاهی [۷](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. به‌طور معمول کارها در صف با ترتیب $FIFO$ [۸] انجام می‌شوند.

- جریان کارگاهی ترتیبی [۹](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 [۱۰](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.

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

- چرخش کارگاهی [۱۱](Cm): چرخش کارگاهی، حالت خاصی از تولید کارگاهی و توسعه یافته جریان کارگاهی است. در این نوع از کارگاه، همه کارها دارای توالی عملیات یکسانی روی ماشین‌ها هستند. اما برخلاف جریان کارگاهی، بعضی ازعملیات‌ها چندین بار روی بعضی ماشین‌ها تکرار می‌شوند[۱۳].

[۷] *Flow Shop*
[۸] *First In First Out*
[۹] *Permutation Flow Shop*
[۱۰] *Open Shop*
[۱۱] *Cycle Shop*