

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



# زمان بندی پویا



انتشارات  
جهاد دانشگاهی  
قزوین

سرشناسه: اعظمی، عادل، ۱۳۷۰ -

عنوان و نام پدیدآور: زمان بندی پویا/ مولف عادل اعظمی.  
مشخصات نشر: قزوین: جهاد دانشگاهی، سازمان انتشارات، واحد قزوین،  
۱۳۹۸.

مشخصات ظاهری: ۹۸ ص.، مصور؛ ۵/۱۴×۲۱/۵ س.م.

شابک: ۱-۲۸-۶۶۴۷-۶۲۲-۹۷۸

وضعیت فهرست نویسی: فیبا

یادداشت: کتابنامه

موضوع: زمان بندی تولید

Production scheduling

موضوع: زمان بندی تولید -- الگوهای ریاضی

Production scheduling -- Mathematical models

شناسه افزوده: جهاد دانشگاهی. سازمان انتشارات. واحد قزوین

رده بندی کنگره: ۵/۱۵۷/۵ TS

رده بندی دیویی: ۳/۵۸/۶۵۸

شماره کتابشناسی ملی: ۵۷۵۰۹۸۳

عنوان: زمان بندی پویا

مؤلف: عادل اعظمی

گرافیک و صفحه آرایی: مرضیه حمیدی زاده

شابک: ۱-۲۸-۶۶۴۷-۶۲۲-۹۷۸

چاپ: نوبت اول - تابستان ۱۳۹۸

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بهاء: ۲۳۰۰۰۰ ریال

مصوبه شورای شعبه انتشارات جهاد دانشگاهی قزوین

ناشر: انتشارات جهاد دانشگاهی قزوین

کلیه حقوق محفوظ است ©

# زمان بندی پویا

مؤلف:

مهندس عادل اعظمی

دانشجوی دکتری مهندسی صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران



## پیشگفتار مؤلف

زمان بندی به عنوان فرآیند تخصیص عملیات در طول زمان به مجموعه‌ای از منابع با هدف بهینه‌سازی یک معیار تعریف می‌شود. از آنجایی که واکنش پذیری، عامل اصلی برای رقابت پذیری است؛ زمان بندی استاتیک از محیط‌های صنعتی به تدریج، ناپدید شده است. این زمان بندی استاتیک با روش‌های زمان بندی پویا و تخصیص زمان واقعی جایگزین می‌شود که قادر به ارائه یک راه حل بهینه یا نزدیک به بهینه در زمان واقعی هستند.

بخش نخست این کتاب، پیشرفت روش‌های زمان بندی را در طول زمان تحلیل کرده و بیان می‌کند که چرا زمان بندی پویا از زمان بندی استاتیک در سیستم تولید مدرن، برتر است. به همین دلیل، بقیه کتاب منحصراً به زمان بندی پویا اختصاص می‌یابد؛ نخست قوانین مشهور اولویت (تقدم)، آنالیز و ارائه می‌شوند. سپس، روش‌های اصلاح-محور ارائه می‌گردند. این روش‌ها برای اصلاح یک زمان بندی معین، مورد استفاده قرار می‌گیرند؛ زمانی که یک حادثه غیرمنتظره رخ می‌دهد.

ادامه این کتاب در مورد روش‌های جدید توسعه یافته توسط محققین در این زمینه، است. اولین مورد جهت تخصیص کار جدید به منابع در زمان واقعی پیشنهاد می‌شود (بدون برهم زدن تخصیص‌های قبلی). این رویکرد در سیستم‌های تولید خطی و مونتاژ بکار برده می‌شود و با نمونه‌های عددی بررسی می‌گردد. نحوه استفاده از این رویکرد برای کنترل کار در حال پردازش یا WIP نشان داده می‌شود. به علاوه، یک روش دیگر که اجازه برخی تغییرات جزئی به تخصیص‌های قبلی را می‌دهد؛ پیشنهاد شده است. جالب است که این رویکرد به طور موفقیت‌آمیزی در رادارهای میدان جنگ چندمنظوره، مورد استفاده قرار گرفته است.

تلاش شده تا کتاب حاضر در عین اختصار، مفاهیم زمان بندی پویا و تخصیص زمان واقعی را پوشش دهد. هرچند در تألیف کتاب بسیار دقت شده است تا عاری از ایرادات نگارشی و اشتباهات تایپی باشد؛ ولیکن بدون شک این اثر خالی از ایراد نیست؛ از این رو صمیمانه پذیرای پیشنهادات و انتقادات خوانندگان محترم جهت بهبود و به‌روزرسانی این کتاب هستیم.

**مهندس عادل اعظمی**



## فهرست

فصل ۱؛ مقدمه و تعاریف عمومی	۱
فصل ۲؛ زمان بندی پویا	۱۱
۱-۲-۱- زمان بندی واکنشی: قوانین تقدم (یا توزیع)	۱۳
۱-۱-۲- قوانین اولویت بر مبنای زمان عملیات	۱۳
۲-۱-۲- قوانین اولویت بر مبنای آخرین مهلت	۱۵
۳-۱-۲- قوانین اولویت بر مبنای تعداد عملیات	۱۷
۴-۱-۲- قوانین اولویت بر مبنای هزینه ها	۱۷
۵-۱-۲- قوانین اولویت بر مبنای زمان های راه اندازی	۱۸
۶-۱-۲- قوانین اولویت بر مبنای تاریخ در دسترس بودن	۱۸
۷-۱-۲- اولویت بر مبنای ارزیابی تقریبی آینده نزدیک	۱۹
۸-۱-۲- قوانین اولویت مختلف	۱۹
۲-۲- زمان بندی پیش بینی کننده-واکنشی	۲۱
۱-۲-۲- روش های ابتکاری اصلاحی انتقال / تعویض	۲۲
۲-۲-۲- روش های ابتکاری اصلاحی زمان بندی انطباقی	۳۰

فصل ۳؛ تخصیص زمان واقعی با تخصیص های قبلی ثابت	۳۷
۱-۳- فرمول بندی مسئله	۴۰
۲-۳- یک مورد تولید خطی	۴۲
۳-۳- کنترل سیکل تولید	۴۷
۴-۳- کنترل سیکل تولید و WIP	۵۰
۵-۳- سیستم های مونتاژ	۵۱
فصل ۴؛ تخصیص زمان واقعی با تعدیل محدود شده ممکن از تخصیص های قبلی	۶۱
۱-۴- تنظیم مسئله	۶۳
۲-۴- روابط اساسی	۶۵
۳-۴- الگوریتم زمان واقعی در حالت تعدیل	۶۹
۴-۴- حالت تولید خطی	۷۱
۱-۴-۴- قدم اول: محاسبه آخرین مهلت برای هر عمل	۷۱
۲-۴-۴- قدم دوم: اختصاص عملیات به دوره های بیکاری	۷۲
فصل ۵؛ نتیجه گیری	۷۷
مراجع	۸۳

# مقدمه و تعاریف عمومی

## فصل ۱



پس از جنگ جهانی دوم، مدیریت تولید به تدریج از تصمیم‌گیری محلی به تصمیم‌گیری جهانی تکامل یافته است.

در ابتدا، توسعه‌ها در زمینه مدیریت تولید به بهبود مدیریت فعالیت‌های مرتبط با بخش‌های سیستم تولید، مانند مدیریت موجودی، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی فعالیت‌های ساخت و تولید، مدیریت کیفیت و مدیریت حمل‌ونقل محدود شده بود. اغلب مواقع، هریک از این فعالیت‌ها معمولاً تحت مسئولیت یک مدیر خاص است که هدف او، تصمیم‌گیری برای دوره معین (افق مدیریت) است. معمولاً، مدیران تولید هر هفته یک زمان‌بندی عملیاتی ایجاد می‌کنند؛ هدف، ایجاد تعادل در ظرفیت ماشین‌ها، برآورده‌سازی مهلت متوسط و یا انجام اکثر عملیات در طول هفته و غیره است.

زمان‌بندی به‌عنوان فرآیند تخصیص عملیات به مجموعه‌ای از منابع در طول زمان با هدف بهینه‌سازی یک معیار تعریف می‌شود. بعضی از معیارها از این به بعد ذکر خواهند شد؛ ما عمدتاً زمان کل<sup>۱</sup> را در نظر خواهیم گرفت که معیار رایج در شرایط زمان واقعی است. چهار نوع از محدودیت‌هایی که ممکن است بخشی از

یک مسئله زمان بندی باشند عبارت اند از:

- ۱- محدودیت های تقدم عملیاتی؛ چنین محدودیتی الزام می کند که زمان تکمیل یک عملیات کمتر یا برابر با زمان شروع هر فرآیند بعدی باشد.
- ۲- محدودیت ظرفیت منابع؛ چنین محدودیتی مستلزم آن است که هیچ گونه اشتراکی بین دو دوره عملیاتی که منابع مشترکی دارند؛ وجود نداشته باشد.
- ۳- محدودیت زمان پردازش؛ یک محدودیت زمان پردازش نشان می دهد که تفاوت بین زمان تکمیل و زمان شروع یک عملیات مساوی با زمان عملیاتی است.
- ۴- محدودیت زمان آماده سازی؛ مدت زمان آماده سازی به نوع محصول بستگی دارد. این نشان می دهد که زمان شروع اولین عملیات محصول پیشتر یا مساوی تاریخ رسیدن محصول (تاریخ در دسترس بودن محصول) است.

چندین معیار ممکن است در یک مسئله زمان بندی درگیر باشند، اما در این مورد، تکنیک های مختلفی برای تبدیل مسئله چندمعیاره به یک مسئله تک معیاره در دسترس هستند. از جمله این تکنیک ها عبارت است از مجموع وزن دار معیارها، تبدیل مسئله چندمعیاره به مسئله تک معیاره با بررسی همه معیارها به جز یک مورد به عنوان محدودیت، ایجاد یک سلسله مراتب بین معیارها، کاربرد روش برنامه ریزی آرمانی که شامل کمینه سازی مجموع وزن دار انحرافات معیارها به مقادیر از پیش تعریف شده می شود، کاربرد برنامه ریزی توافقی که شامل نزدیکی به جواب ایده آل تا حد ممکن می شود. این روش ها در این کتاب که به برون سپاری اختصاص می یابد؛ بیان شده است.

اولین زمان بندی ها با استفاده از نمودار گانت به صورت دستی انجام شد. به علاوه، آن ها تا پایان افق مدیریت ثابت بوده و بر اساس تجربه مدیر در صورت بروز

اختلالات زمان بندی شده به خاطر وقوع رویدادهای غیرمنتظره تغییر می یابند. به عبارت دیگر، تنظیمات سراسری بخش های مختلف در آغاز هر دوره انجام می شد و در عین حال در صورت بروز اختلالات در سطح محلی تطابق می یافت.

وقتی کامپیوترها در شرکت ها ظاهر شدند؛ زمان بندی ها از گانت چارت به صفحه کامپیوتر تغییر یافتند. در همان زمان، زمان بندی های کامپیوتری برای محاسبه زمان بندی هایی ایجاد شد که معیاری را در افق مدیریتی بهینه می کرد. از جمله معیارهای مذکور در ادبیات، به حداقل رساندن زمان تکمیل مجموعه عملیات مورد نظر (زمان کل)، میانگین کار در حال ساخت (WIP)، متوسط زمان تولید (متوسط زمان جریان)، متوسط دیرکرد، متوسط هزینه پردازش و حداکثرسازی بهره وری و غیره است.

اولین رویکردهای آزمایشی تا حد زیادی، ذات تصادفی سیستم های تولید را نادیده گرفته اند. آن ها به طور ضمنی محیطی استاتیک را بدون هیچ گونه رویدادی غیرمنتظره که ممکن است زمان بندی را مختل کند؛ فرض کردند. این نوع تکنیک، زمان بندی استاتیک نامیده می شود. ادبیات گسترده ای در این زمینه وجود دارد که زمان عملیات قطعی است؛ به عنوان مثال (Baker, 1974)، (Wiers, 1997)، (Blazewicz et al., 2001) و (Pinedo, 2008) را ملاحظه کنید. مسائل زمان بندی استاتیک که نیازمند یک راه حل بهینه هستند؛ معمولاً از مسائل NP-hard محسوب می شوند.

توضیح چنین قاعده سیستم پشتیبان تصمیم پیشگیرانه ای، دو قسمتی است: اول، سیستم های اطلاعات ارتباطات و پردازش اطلاعات ضعیف هستند که با رقابت نسبتاً محدود تا سال ۱۹۷۰ ادغام شدند. به یاد داشته باشید که به طور کلی سیستم های قدرتمند ارتباطی و پردازش، اخیراً ظهور یافته اند. علاوه بر این، توافق نامه های تجارت بین المللی فقط در پایان جنگ جهانی دوم آغاز شدند.

به‌عنوان مثال، GATT (توافق کلی برای تعرفه‌ها و تجارت) در سال ۱۹۴۷ امضا شد و در سال ۱۹۴۸ توسعه یافت؛ اما در واقع از آغاز دهه ۱۹۹۰ تأثیرگذار شد.

در اکثر محیط‌های دنیای واقعی، رویدادهایی غیرمنتظره رخ می‌دهند که زمان‌بندی را مجبور به اصلاح یا تطبیق‌دهی می‌کند. اتفاقات غیرمنتظره یا عملیات محور و یا منبع محور هستند (Stoop and Wiers, 1996), (Cowling and Johansson, 2002) و (Vieira et al., 2003). وقایع منبع محور عبارت‌اند از خرابی دستگاه، خرابی ابزار، در دسترس نبودن ابزار یا نیروی انسانی، کمبود مواد خام یا اجزا، مواد و یا اجزای ناقص و ناکافی و غیره. وقایع عملیات محور، برای مثال، تغییرات آخرین مهلت، لغو سفارش، ورود دیر هنگام سفارشات و تغییر در فرآیندهای تولید به دلیل جایگزینی برخی منابع هستند. بنابراین، یک زمان‌بندی اغلب منسوخ می‌شود زمانی که تکمیل می‌شود (Wu et al., 1999).

برخی نویسندگان، شکاف بین تئوری زمان‌بندی عمدتاً متمرکز روی تصمیمات استاتیک و نیازهای زندگی محیط‌هایی زندگی واقعی را مورد بررسی قرار می‌دهند که اغلب با رویدادهای غیرمنتظره تداخل دارند (MacCarthy and Liu, 1993) و (Cowling and Johansson, 2002). این وضعیت از بهبود زمان‌بندی پویا پشتیبانی می‌کند که مجموعه‌ای از روش‌هاست که قادر به نشان دادن واکنش نسبت به رویدادهای غیرمنتظره توسط تنظیم زمان‌بندی موجود یا زمان‌بندی عملیات باقیمانده است.

به‌رغم رقابت بین شرکت‌ها و بازار همیشه در حال تغییر، ساختار پایه سیستم‌های تولید تا اواسط دهه ۱۹۹۰ ثابت باقی ماند. مجموعه‌ای از بخش‌ها که هرکدام از آن‌ها مدیر خود را داشت و هدف آن، بهینه‌سازی معیار مشخصی برای آن بخش در یک افق مشخص بود؛ سازمان‌دهی مشترک سیستم‌های تولید بود.

اخیراً فشار رقابتی بازار که توسط داده‌های قدرتمند پردازش، سیستم‌های



ارتباطی و توافق‌های بین‌المللی تجارت آزاد تقویت می‌شود؛ ساختار سیستم‌های تولید را تحت تأثیر قرار داده است. درحالی‌که نیازمند موارد زیر هستند:

- ادغام فعالیت‌هایی که تمام طیف الزامات مشتریان تا وصول کردن را پوشش می‌دهند.
- انعطاف‌پذیری که با توجه به تغییرات تقاضا تغییر می‌کند.

پاسخ این الزامات توسط پارامتر زنجیره تأمین تعیین می‌شود (Govil and Porth, 2002)، (Lee et al., 1997) و (Poirier and Reiter, 1996). زنجیره تأمین یک شبکه جهانی از سازمان‌هایی است که برای بهبود جریان مواد و اطلاعات بین تأمین‌کنندگان و مشتریان با کمترین هزینه و با بالاترین سرعت همکاری می‌کند؛ بدین ترتیب یک زنجیره عرضه بجای بخش‌ها توسط پروژه‌ها، سازمان‌دهی می‌شود. هدف زمان‌بندی در چنین سیستمی، دیگر زمان‌بندی بهینه مجموعه‌ای از وظایف نیست. در این وضعیت، هدف زمان‌بندی و زمان‌بندی مجدد عملیات روی خط در راستایی است که در آن، تقاضاهای مرتبط به این عملیات ارضاء شود. به این فعالیت به‌عنوان تخصیص زمان واقعی اشاره می‌شود.

یک تصمیم در زمانی گرفته می‌شود که واقعی گرفته شده که دوره بین زمان داده‌های موردنیاز برای تصمیم‌گیری در دسترس باشند و زمان تصمیم‌گیری از زمان موردنیاز برای پردازش تصمیم‌گیری بیشتر باشد. در نتیجه، این دوره می‌تواند از موردی به مورد دیگر بسیار متفاوت باشد. برای مثال، این دوره حدود  $10^{-4}$  ثانیه است زمانی که کنترل رادارهای چندمنظوره ممکن است ۲۴ ساعت یا بیشتر توسط یک مهندس عمران پروژه باشد.

برای یک دوره طولانی، تصمیمات زمان واقعی با پردازش داده‌ها و اطلاعات پیوند داده شده‌اند. در حال حاضر، این مفهوم در مدیریت زنجیره تأمین، متداول است. تخصیص زمان واقعی در زنجیره عرضه با دو هدف برانگیخته می‌شود:

- توانایی زمان‌بندی مجدد «روی خط» کل زنجیره تأمین در مورد رویدادهای غیرمنتظره مانند خرابی ماشین، اعتصاب، بازنگری، تغییرات اساسی در بازار و غیره.
- توانایی واکنش سریع به نیازهای مشتریان، به‌ویژه تضمین زمان تحویل در کم‌تر از دو دقیقه، احتمالاً از طریق تلفن، غیرمعمول نیست.

بخشی از کار انجام‌شده در تخصیص زمان واقعی ذکر می‌شود (Chauvet et al., 2000) و در این کتاب، مفصل بحث خواهد شد. لازم به ذکر است که زمان‌بندی پویا با تخصیص زمان واقعی متفاوت است.

زمان‌بندی پویا مطابق با معماری تولید کلاسیک است که سیستم تولید را به‌عنوان تلفیق بخش‌هایی زیر نظر مسئولیت مدیران مختلف در نظر می‌گیرد. یک رویکرد زمان‌بندی پویا در بخش‌های تولید استفاده می‌شود که یک زمان‌بندی استاتیک را در آغاز دوره مدیریت ارائه می‌دهد و این زمان‌بندی را در مورد اختلال در طول این دوره اصلاح می‌کند همان‌طور که در بالا ذکر شد. این زمان‌بندی، مربوط به مجموعه‌ای از عملیات است که مربوط به محصولاتی مختلف است که باید روی یک محصول خاص تکمیل شوند. (برای مثال یک هفته).

تخصیص‌های زمان واقعی زمانی ظاهر شدند که الگوی زنجیره تأمین شروع به گسترش کرد. در یک زنجیره تأمین، هر پروژه تمام چرخه تولید از الزامات مشتریان برای پرداخت و همچنین تنوع محصولات درگیر در یک پروژه را پوشش می‌دهد که از نظر تعداد انواع عملیات، محدود شده است. امروزه، یک پروژه، جریان مداومی از فعالیت‌هاست. به‌طور خاص، سیستم‌های تولید به تدریج از کارگاه‌ها به خطوط مونتاژی (به‌طور مساوی موازنه‌شده) تغییر یافته است که بهره‌وری و همچنین انعطاف‌پذیری را تضمین می‌کند. بنابراین تخصیص زمان واقعی شامل تخصیص مجموعه‌ای از عملیات مربوط به محصول (یا طیف کوچکی از

انواع محصول) به مجموعه‌ای از منابع می‌شود به محض اینکه که سفارشات به سیستم تولید می‌رسند. در صورت اختلال، عملیاتی از قبل زمان‌بندی شده که هنوز کامل نشده‌اند؛ به منظور ورودی تقاضاهای متناظر مجدداً تنظیم می‌شوند. هدف، تخصیص مجدد عملیات در زمان واقعی است.

در این کتاب، ما به زمان‌بندی پویا و معرفی تخصیص زمان واقعی می‌پردازیم با یادآوری اینکه ترجیح ما در آینده، زمان واقعی خواهد بود. فصل بعدی با زمان‌بندی پویا در ارتباط است. فصول سوم و چهارم، برخی پیشرفت‌های جدید در تخصیص زمان واقعی را در بر می‌گیرند.



# زمان بندی پویا

## فصل ۲



## ۲-۱- زمان بندی واکنشی: قوانین تقدم (یا توزیع)

در یک رویکرد زمان بندی واکنشی، هیچ زمان بندی از پیش ایجاد نمی شود. هر زمان که یک اختلاف در انتخاب عملیات بعدی برای اجرا بر روی یک منبع رخ دهد؛ آن منبع آزاد می شود. در این حالت، یک قانون اولویت (قانون توزیع<sup>۱</sup> نیز نامیده می شود) برای تصمیم گیری اعمال می شود.

### ۲-۱-۱- قوانین اولویت بر مبنای زمان عملیات

در (Panwalkar and Iskander, 1977)، ۱۱۳ قانون اولویت ذکر شده اند که برخی از این قوانین، به صورت ادامه هستند.

**قانون ۱:** اولویت با محصولی است که عملیات بعدی آن، زمان عملیات حداقل را دارد (SPT که نشان دهنده «کوتاه ترین زمان پردازش» است).

توصیه می شود که این قاعده را در مورد زمان های راه اندازی مهم یا زمان های عملیات متنوع اعمال نکنید. لازم به ذکر است که این قاعده، اولویت را به آن

محصول می‌دهد که عملیات بعدی آن، حداقل زمان عملیات وزنی یا کوتاه‌ترین زمان پردازش وزن دار (WSPT) را دارد. این قانون، زمان متوسط جریان وزن دار و درصد وزنی زمان‌های تکمیل محصول را به حداقل می‌رساند (French, 1982) و (Haupt, 1989). این قانون، زمانی مؤثر است که سیستم خیلی پر شده است. در (Rajendran and Jayamohan, 2004)، دو نوع وزن برای هر محصول در نظر گرفته شده است که به ترتیب توسط  $w_{i,1}$  و  $w_{i,2}$  مشخص شده است.

•  $w_{i,1} = \frac{1}{h_i}$  که در آن  $h_i$  هزینه محصول نوع  $i$  برای هر واحد زمانی است.

•  $w_{i,2} = \frac{1}{r_i}$ ، که در آن  $r_i$  هزینه دیرکرد محصول  $i$  است هنگامی که زمان تکمیل یک واحد محصول، یک واحد دیرکرد زمانی با توجه به مهلت زمانی است.  $w_{i,1}$  محصولاتی را ترجیح می‌دهد که دارای هزینه نگهداری بالا هستند، در حالی که  $w_{i,2}$  محصولاتی را ترجیح می‌دهند که دارای هزینه جریمه بالایی هستند.

**قانون ۲:** اولویت با محصولی است که عملیات بعدی آن، حداقل مجموع زمان عملیات و راه‌اندازی عملیات را داشته باشد.

این قانون، مورد قبلی را عمومیت می‌دهد و باید زمانی که مجموع زمان‌های عملیات و راه‌اندازی، متنوع هستند؛ از آن اجتناب شود.

این دو قاعده طول فایل‌ها را در مقابل منابع کاهش می‌دهند (ماشین‌ها، منابع حمل‌ونقل و غیره).

ما دو قانون دیگر را با جایگزینی "حداقل" به جای "حداکثر" در قوانین ۱ و ۲ به معرفی می‌کنیم. این قوانین، ممکن است به صف‌های چشمگیر در مقابل برخی از ماشین‌ها منجر شود.



**قانون ۳:** اولویت با محصول به طوری است که مجموع زمان عملیات عملیاتی که هنوز انجام نشده حداقل باشد.

این قانون، اولویت را به محصولاتی می دهد که به تکمیل نزدیک تر هستند (از لحاظ مدت).

قانون دیگر با جایگزینی "حداقل" به جای "حداکثر" در قانون ۳ به دست می آید. این قانون، اولویت را به محصولاتی می دهد که در ابتدای چرخه تولید خود هستند. در نتیجه، WIP (کار در جریان ساخت) را افزایش می دهد؛ اما تمایل دارد که بهره‌وری بهبود یابد.

توجه شود که این قوانین، پیش بینی زمان های تکمیل محصول را دشوار می کنند.

## ۲-۱-۲- قوانین اولویت بر مبنای آخرین مهلت

**قانون ۴:** اولویت برای فوری ترین محصولات (EDD که مخفف "زودترین موعد تحویل" است).

فوری ترین محصول، موردی است که برای آن، تفاوت بین آخرین مهلت و زمان فعلی آن در میان محصولاتی که برای همان عمل، رقابت می کند؛ حداقل باشد. این قانون، تعداد عملیاتی که در زمان تصمیم گیری اجرا نمی شوند و مجموع زمان های عملیات این عملیات را در نظر نمی گیرد. هدف اصلی این قانون، برآوردن آخرین مهلت هاست؛ اما برخی از عوارض جانبی مانند تأخیر در تولید محصولات می توانند ظاهر شوند که نیاز به عملیات بسیار و یا یک زمان تولید کل باقیمانده طولانی دارند که به نوبه خود منجر به افزایش آخرین مهلت می شود.

**قانون ۵:** اولویت با محصولی است که بیشترین فوریت نسبی را دارد.

فوریت نسبی با نسبت زمان کل تولید عملیاتی اندازه گیری می شود که باقی

می مانند تا بر روی تفاوت میان آخرین مهلت و زمان فعلی اعمال شوند. هر چه این نسبت بیشتر باشد؛ فوریت نسبی محصول بیشتر است. باید به این توجه داشته باشید که اگر این نسبت، کمتر از یک باشد؛ آنگاه ممکن است که محصول قبل از آخرین مهلت کامل شود، در غیر این صورت تحویل محصول با تأخیر خواهد بود.

**قانون ۶:** اولویت بر اساس قطع<sup>۱</sup> هر عمل باقی مانده.

ما قطعی  $S_i$  برای محصول  $i$  در زمان  $t$  را به صورت زیر تعریف می کنیم:

$$s_i = D_i - t - \sum_{k=j}^{n_i} t_{i,k}$$

که در آن

$D_i$ : مهلت تولید محصول  $i$

$t_{i,k}$ : زمان پردازش عملیات  $k$  ام محصول  $i$

$t$ : زمانی که در آن تصمیم اتخاذ می شود (زمان فعلی)

$j$ : رتبه عملیات بعدی برای انجام است و

$n_i$ : تعداد عملیات انجام شده برای تکمیل محصول  $i$  است.

اولویت محصول  $i$  به این صورت اندازه گیری می شود:

$$Z_i = \begin{cases} \frac{S_i}{n_i - j + 1} & \text{اگر } s_i \geq 0 \\ S_i \times (n_i - j + 1) & \text{اگر } s_i < 0 \end{cases}$$

هرچه  $Z_i$  کمتر باشد؛ اولویت محصول  $i$  بیشتر است. معمولاً، این قانون منجر به کاهش میانگین دیرکرد می شود.

در نتیجه، قوانین ۴ و ۵ معمولاً معیاری را ترجیح می دهند که آخرین مهلت را برآورده می کنند؛ اما، چون این قوانین سایر محصولات را در نظر نمی گیرند؛ لذا عوارض غیرمنتظره ممکن است که ایجاد شود.

### ۲-۱-۳- قوانین اولویت بر مبنای تعداد عملیات

قوانین زیر مشابه موارد قبلی هستند به جز اینکه ما زمان تولید عملیات باقی مانده را در نظر نمی گیریم؛ تنها تعداد آن ها در نظر گرفته می شوند.

**قانون ۷:** اولویت با محصولی است که بیشترین تعداد عملیات باقی مانده را دارد.

این قانون، زمانی اهمیت دارد که زمان های راه اندازی در مقایسه با زمان های عملیات ناچیز نباشند. یک نکته منفی این قانون، افزایش WIP (کار در جریان ساخت) است.

**قانون ۸:** اولویت با محصولی است که کمترین تعداد عملیات باقی مانده را دارد.

هدف اصلی این قانون، تخلیه هر محصول نزدیک به تکمیل از سیستم تولید است (از نظر تعداد عملیات باقی مانده).

### ۲-۱-۴- قوانین اولویت بر مبنای هزینه ها

**قانون ۹:** اولویت با محصولی است که دارای بیشترین ارزش است و بیشترین سود را تضمین می کند.

با بخش اولی، هدف جلوگیری از مصرف کل سرمایه است؛ با بخش دومی، هدف تکمیل هرچه زودتر محصولاتی است که حداکثر سرمایه گذاری جدید را فراهم می کنند.

**قانون ۱۰:** اولویت با محصولی است که با آن، بیشترین جریمه اعمال می شود اگر که بعد از آخرین مهلت، تکمیل شود.

**قانون ۱۱:** اولویت با محصولی است که به آن، بیشترین مجازات نسبی اعمال می شود زمانی که پس از آخرین مهلت تکمیل شود.

در این قانون، مجازات نسبی محصول، مجازات توسط فوریت نسبی در قانون ۵ تعریف می شود.

## ۲-۱-۵- قوانین اولویت بر مبنای زمان های راه اندازی

**قانون ۱۲:** اولویت با محصولی است که کمترین زمان راه اندازی را دارد.

این قانون، زمانی به طور خاص، جالب است که زمان های راه اندازی به دنباله ای از عملیات انجام شده توسط دستگاه مورد نظر بستگی دارند. این قانون معمولاً به طور محلی، مجموع زمان های راه اندازی مربوط به هر ماشین را به حداقل می رساند.

**قانون ۱۳:** اولویت با محصولی است که کمترین زمان نسبی راه اندازی را دارد.

زمان نسبی راه اندازی، زمان راه اندازی تقسیم بر زمان عملیات آن عمل کاندید است. این قانون، زمانی به طور خاص، جالب است که زمان های نسبی راه اندازی مختلف و یا وابسته به دنباله ای از عملیات انجام شده توسط دستگاه مورد نظر هستند.

## ۲-۱-۶- قوانین اولویت بر مبنای تاریخ در دسترس بودن

**قانون ۱۴:** قانون FIFO (ابتدا ورود - ابتدا خروج)

اولویت به محصولی داده می شود که زودتر به ماشین می رسد. این قانون معمولاً انحراف استاندارد زمان انتظار را کاهش می دهد.

**قانون ۱۵:** اولویت با محصولی است که زودتر وارد سیستم شده است.

به عبارت دیگر، اولویت به محصولی داده می شود که بیشترین مقدار زمانی را در سیستم سپری می کند (این قانون، AT نامیده می شود که مخفف "زمان ورود" است).

این قانون معمولاً چرخه های تولید محصولات را متعادل می کند.

**قانون ۱۶:** قانون LIFO (آخرین ورود - اولین خروج)

اولویت به محصولی داده می شود که به آخرین ماشین می رسد. این قانون به ندرت در عمل استفاده می شود. چون زمانی که سیستم بسیار بارگذاری می شود؛ ممکن است برخی از محصولات به صورت "مسدود شده" باقی بمانند.

## ۲-۱-۷- اولویت بر مبنای ارزیابی تقریبی آینده نزدیک

**قانون ۱۷:** اولویت با محصولی است که بعداً با ماشینی مواجه می شود که دارای کوتاه ترین فایل در مقابل آن است.

**قانون ۱۸:** اولویت با محصولی است که بعداً با ماشینی مواجه می شود که دارای کمترین میزان بارگذاری است یا به عبارت دیگر، به طوری که مجموع زمان های عملیات برای عملیات منتظر در مقابل ماشین بعدی، کمترین است.

این قوانین درصدد در نظر گرفتن آینده نزدیک هستند. قوانینی که برخی اطلاعات مربوط به آینده متعلق به مجموعه کلی قوانین توزیع را ادغام می کنند.

## ۲-۱-۸- قوانین اولویت مختلف

برخی از قوانین دیگر که مورد مطالعه قرار گرفته اند؛ در اینجا ذکر شده اند.

**قانون ۱۹:** قانون مختلط (زمان عمل + FIFO)

در این قانون، یک آستانه  $T$  توسط کاربر داده می‌شود.  $E$  را مجموعه‌ای از محصولات که در جلوی ماشین برای یک زمان بیشتر از  $T$  در انتظار هستند؛ فرض می‌کنیم. اگر  $E$  خالی نیست؛ اولویت به محصول  $E$  براساس FIFO داده می‌شود؛ در غیر این صورت، قانون ۱ اعمال می‌شود. هدف این قانون، جلوگیری از مسدود کردن برخی از محصولات در مقابل ماشین است. در واقع، عواقب و نتایج این قانون به مقدار  $T$  بستگی دارد.

**قانون ۲۰:** در این قانون، FIFO و قانون ۱ به طور متناوب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

**قانون ۲۱:** کاربر یک آستانه  $u \in [0,1]$  را انتخاب می‌کند.  $F$  را مجموعه محصولاتی (با توجه به قانون ۵) تعریف کنید که فوریت نسبی آن‌ها بیشتر از  $u$  است. اگر  $F$  خالی نباشد؛ قانون ۱ به محصولات  $F$  اعمال می‌شود؛ در غیر این صورت، همان قانون برای مجموعه کامل محصولات اعمال می‌شود.

**قانون ۲۲:** قانون ۱ بر زیرمجموعه‌ای از محصولات اعمال شود که با ماشین‌های بارگیری شده بعد از مورد کنونی، مواجه خواهند شد.

**قانون ۲۳:** قانون COVERT (که به معنای "هزینه در طول زمان") است (Russell et al., 1987). این قانون نیز درصدد در نظر گرفتن آینده نزدیک است.

برای این قانون، شاخص اولویت به شرح زیر تعریف می‌شود:

$$Z_i = \frac{1}{t_{i,j}} \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{اگر } s_i < 0 \\ \frac{WT_i - s_i}{WT_i} & \text{اگر } 0 \leq s_i < WT_i \\ 0 & \text{اگر } s_i \geq WT_i \end{array} \right.$$