

ارزیابی و انتخاب بهترین الگو برای الوبت بندی توالی عملیات در زمانبندی یک سیستم کارگاهی با استفاده از روش ترکیبی آنتروپی شانون و روش تصمیم‌گیری چند شاخصه کوپراس

مجله علمی پژوهش در مدیریت و مطالعات اجتماعی (سال سوم)
شماره ۷ / بهار ۱۳۹۶ / ۱-۱۸

داود کرامتی

دانشجوی مقطع دکترا مهندسی صنایع - برنامه ریزی و مدیریت تولید - دانشگاه آزاد اسلامی (تهران مرکزی)

نام نویسنده مسئول:
داود کرامتی

چکیده

پیچیده شدن شرایط مدیران را تحت فشار قرار می‌دهد تا روش‌های زمانبندی برای مدیریت حجم فعالیت‌ها را طراحی نمایند. یکی از راه‌های توسعه برنامه‌ها در فعالیت‌های عملیاتی، اتخاذ قوانین اولویت توالی است، که اجازه می‌دهد تا زمانبندی یک ایستگاه کاری در یک دوره زمانی تکامل یابد. انتخاب فعالیتی که باید مورد پردازش قرار گیرد از طریق قوانین توالی عملیات انجام می‌شود در صورتیکه ایستگاه کاری ظرفیت افزایش پردازش را داشته باشد. در این روش پس از تعیین فضای مطالعه توالی عملیات، قوانین مختلف الوبت بندی توالی شناسایی شدند. سپس برای تعیین بهترین قانون الوبت بندی توالی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده شد. بر اساس این معیارها داده‌های مورد نیاز برای ورودی رویکرد مورد استفاده از ایستگاههای کاری مرتبط استخراج گردید. سپس وزن معیارهای ارزیابی از روش آنتروپی شانون محاسبه گردید کارایی متغیرهای متناظر با شاخص‌های اعتباری اندازه گیری شده و در جدول جایگذاری گردید. در نهایت انتخاب بهترین متغیر و الوبت بندی متغیرها از روش تصمیم‌گیری چند معیاره کوپراس، استفاده گردید. و مشخص شد که بهترین متغیر برای الوبت بندی توالی عملیات محاسبات بر اساس زودترین زمان تحویل بوده و بهترین معیار ارزیابی برای رسیدن به این نتیجه از نظر تصمیم‌گیرندگان "متوسط زمان تکمیل فعالیت‌ها" بوده است.

وازگان کلیدی: توالی عملیات، زمانبندی عملیات، روش آنتروپی شانون^۱، روش کوپراس^۲

¹ Shannon
² Copras

مقدمه

فرآیند ایجاد برنامه، تحت عنوان زمانبندی شناخته می‌شود. هر چند که عموماً برنامه‌ها ملموس و ساده به نظر می‌رسند، اما فرآیند ایجاد آنها بدون درک عمیقی از زمانبندی، پیچیده است. مسائل زمانبندی در صنعت شامل مجموعه‌ای از فعالیتها و مجموعه‌ای از منابع موجود جهت انجام آن فعالیتها است. همچنین در صنعت برخی از تصمیمات تحت عنوان تصمیمات برنامه‌ریزی شناخته می‌شوند. فرآیند برنامه‌ریزی، منابع لازم جهت تولید و مجموعه فعالیتهای مورد نیاز جهت زمانبندی را تعیین می‌کند. در فرآیند زمانبندی، ما نیازمند تعیین نوع و مقدار هر منبع هستیم و نتیجتاً می‌توانیم بهترین زمان ممکن برای اتمام کارها را محاسبه کنیم (Baker^۳ ۱۹۹۶). زمانبندی، فرآیند تخصیص منابع محدود به فعالیت‌ها در طول زمان، جهت بهینه سازی یک و یا چند تابع هدف است. منابع شامل نیروی انسانی، ماشین آلات، مواد، تجهیزات کمکی و غیره می‌باشند. عملیات ماشین آلات، حرکتها، انتقالات و بارگیری‌ها و غیره نیز به عنوان مثالهایی از فعالیت مطرح می‌باشند. فعالیت‌ها می‌توانند دارای زودترین زمان شروع، دیرترین زمان خاتمه و زمان تحويل باشند. هدف از زمانبندی نیز مواردی چون حداقل زمان تکمیل جهت یک مجموعه از سفارشات، حداقل دیرکرد، حداکثر تعداد فعالیتها و یا سفارشات تکمیل شده در یک زمان مشخص، حداقل هزینه‌های راه اندازی، حداقل تعداد کارها یا سفارشات با تأخیر، حداکثر استفاده از منابع، حداقل موجودی میانی، تعادل در استفاده از منابع و غیره است. حال با توجه به اهداف مورد نظر و با عنایت به محدودیت‌های موجود، از قبیل ظرفیت تولید، ظرفیت منابع، میزان موجودی منابع، محدودیت بودجه و محدودیت زمان، مسئله زمانبندی و یا تخصیص منابع به فعالیتها در طول زمان انجام می‌گیرد (Philip^۴ ۲۰۰۵). زمانبندی نوعی تصمیم گیری است و فرآیندی است که در جریان آن برنامه زمانی تعیین می‌شود و همچنین مبحثی نظری است که مجموعه‌ای از اصول، مدلها، روشها و نتایج منطقی را در بر می‌گیرد، که برای ما بینشی عمیق در مورد عمل زمانبندی فراهم می‌آورد. قدمهای دستیابی به تصمیمات زمانبندی را طبق رویکرد سیستمی نشانگر ساختاری رسمی است که در عملکرد مدیریتی امروزی از حمایتی فزاینده برخوردار است. چهار مرحله اصولی رویکرد سیستمی، فرمولبندی، تحلیل، ایجاد و ارزیابی می‌باشد. در مرحله اول، اساساً مسئله را تعریف و ضابطه‌های حاکم بر تصمیم گیری را تعیین می‌کند. این فعالیت، اغلب پیچیده و بغرنج است، ولی تصمیمات مناسب و خوب بدون تعریف روشن مسئله و مشخص کردن صریح اهداف به ندرت ممکن است اتخاذ شود. تحلیل، فرآیند مشروح بررسی عناصر مسئله و روابط متقابل آنها با یکدیگر است. هدف از این مرحله تعریف متغیرهای تصمیم گیری و نیز تشخص روابط آنها با محدودیتهایی است که باید از آن پیروی کند. مرحله ایجاد، فرآیند مقایسه گزینه‌های امکانپذیر و انتخاب گزینه مطلوب جهت به کارگیری است. البته گزینه‌های ممکن است. بالاخره، ارزیابی مشتمل بر فرآیند مقایسه گزینه‌های مختلف جواب مسئله و نقش آن، تعیین این انتخاب مبتنی بر ضابطه‌هایی است که در وهله نخست تعیین شده است. بررسی مدلها و روشاهای زمانبندی به توسعه مهارت‌ها جهت صحت خروجی‌های مرتبط با مراحل چهارگانه کمک خواهد کرد. فرمولبندی ضابطه تصمیم گیری شاید مشکل‌ترین فرم از این چهار مرحله باشد. آشنایی با مدل‌های مناسب به انجام فرآیندهای تحلیل و ترکیب کمک می‌کند. مدل‌هایی که بررسی می‌شود عناصر و روابط متقابل مهمی دارد که بارها در مسائل زمانبندی مشاهده می‌شود. تئوری زمانبندی اصولاً با مدل‌های ریاضی سروکار دارد، یعنی بین کار زمانبندی و توسعه مدل‌های زمانبندی رابطه برقرار می‌کند و بطور پیوسته آنها را با مسائل نظری و عملی محک می‌زند. دیدگاه نظری به طور غالب، دارای رویکرد کمی است و سعی آن دست یافتن به ساختار مسئله در قالب شکل فشرده ریاضی است. به ویژه این رویکرد کمی، بابت تفسیر اهداف تصمیم گیری در قالب یک تابع هدف صریح و بیان موانع تصمیم گیری به صورت محدودیتهای صریح بکار گرفته می‌شود (Baker^۳ ۱۹۹۶). تابع هدف آرمانی باید در برگیرنده تمام هزینه‌های سیستم برای اجرای تصمیمات مربوط به زمانبندی باشد. به هر حال، به هنگام اجرای آن در عمل، اندازه گیری یا حتی مشخص کردن کامل چنین هزینه‌هایی مشکل است. درحقیقت در فرآیند برنامه‌ریزی هزینه‌های عمدۀ عملیاتی، تعیین می‌شوند، در حالی که تفکیک هزینه‌های کوتاه مدت دشوارتر است و آنها اغلب ثابت و به عنوان یک هزینه کلی به نظر می‌آیند. با وجود این، سه نوع اهداف تصمیم گیری در زمانبندی عده تر به نظر می‌رسند: بهره برداری کارا از منابع، پاسخگویی سریع به تقاضا و انتباط دقیق موعدهای تحويل تعیین شده. غالباً می‌توان از یک ضابطه مهم هزینه‌ای مربوط به سنجش عملکرد سیستم (مانند زمان بیکاری ماشین، زمان انتظار برای انجام کار یا تاخیر کار) به عنوان جانشینی برای هزینه کل سیستم استفاده کرد. رویکردهای کمی مسائل مربوط به این معیارها در همه تحقیقات موجود در زمینه زمانبندی یافت می‌شود. می‌توان مسائل زمانبندی بر اساس ترکیب منابع و طبیعت کار، تقسیم‌بندی کرد. مدل می‌تواند شامل یک و یا چند ماشین باشد. مجموعه کارها جهت فرآیند زمانبندی ممکن است ثابت باشد که در چنین شرایطی سیستم را ثابت می‌نامیم. همچنین ممکن است در طول فرآیند زمانبندی، کارهای جدید به سیستم اضافه شود که در این شرایط سیستم پویا نامیده می‌شود. معمولاً دو نوع محدودیت در مسائل زمانبندی قابل بررسی است اولاً، محدودیتهایی که مرتبط با دسترسی به منابع هستند ثانیاً، محدودیتهای تکنولوژیکی که در ترتیب انجام کارها وجود دارد. به عبارت دیگر، جوهره مسائل زمانبندی به تصمیم گیری

³ Baker

⁴ Philip

در مورد تخصیص منابع و توالی عملیات منحصر می‌شود. نوشتارهای زمانبندی مملو از مدل‌های ریاضی برای پاسخگویی به این دو سوال تصمیم‌گیری است. به طور سنتی، مسائل زمانبندی به صورت مسائل بهینه سازی دارای محدودیت به ویژه مسائل مربوط به تخصیص منابع و توالی عملیات مورد بررسی قرار گرفته است. در پاره‌ای از موارد مسئله زمانبندی تنها مربوط به تخصیص منابع است و در این حالات مدل‌های برنامه ریزی ریاضی عموماً می‌توانند برای تعیین تصمیمات در زمینه تخصیص منابع بهینه مورد استفاده قرار گیرند. عناصر مهم مدل‌های زمانبندی، کارها و منابع اند. در تحقیقات مربوط به زمانبندی، منابع نوعاً بر حسب قابلیت‌های کمی و کیفی خود مشخص می‌شوند، به طوری که نوع و میزان هر منبع در مدل مشخص می‌شود. هر کار بر حسب اطلاعاتی از قبیل منبع مورد احتیاج، مدت انجام آن کار، زمانی که انجام آن را می‌توان شروع کرد و زمان تحويل آن توصیف می‌شود. به علاوه مجموعه‌ای از کارها بعضی می‌توانند بر حسب محدودیت‌های تکنولوژیکی (روابط تقدمی) که در مورد عناصر متشکله آن صدق می‌کند بیان شوند. تئوری زمانبندی همچنین شامل یکسری تکنیک‌های متعدد جهت حل مسائل زمانبندی است. در واقع، شاخه زمانبندی به یک کانون مرکزی برای توسعه، کاربرد و ارزیابی روش‌های محاسباتی، تکنیک‌های شبیه‌سازی و رهیافت‌های حل ابتکاری مبدل شده است. انتخاب رویکرد مناسب برای حل مسئله به طبیعت مدل وتابع هدف استنبط ارتباط مسائل زمانبندی زیادی دارد. در برخی موارد، استفاده از تکنیک جابجایی جهت حل توصیه می‌شود. یک جنبه مفید جهت استنبط ارتباط مسائل زمانبندی و روش‌های حل، شاخه جدید علوم کامپیوتر با نام تئوری پیچیدگی است. عبارت پیچیدگی به میزان انرژی مورد نیاز جهت حل الگوریتم، اشاره دارد. به عنوان مثال در نظر بگیرید که می‌خواهیم یک الگوریتم را برای حل مسئله‌ای به اندازه n بکار گیریم (اندازه مسئله متناسب با مقدار اطلاعات مورد نیاز برای تشخیص مسئله است). تعداد محاسبات مورد نیاز جهت حل مسئله به وسیله یک الگوریتم خاص معقولاً یک حد بالا بر اساس تابعی از n دارد. چنانچه درجه بزرگی این تابع با افزایش مقدار n بصورت یک چند جمله‌ای باشد، آنگاه ما می‌گوییم الگوریتم، چند جمله‌ای است. به عنوان مثال اگر درجه بزرگی تابع n^2 باشد ($O(n^2)$ نمایش داده می‌شود)، الگوریتم چند جمله‌ای است و اگر تابع $O(n^2)$ باشد تابع دیگر چند جمله‌ای نیست (در این حالت نمایی است). گروهی از مسائل در دسته و یا کلاس مسائل ترکیبی دشوار گروه‌بندی شده اند. در طول سالیان متمادی داشمندان علوم ریاضی و کامپیوتر هیچ الگوریتم چند جمله‌ای را برای این دسته مسائل ارائه نکرده اند. مسائل بهینه سازی به دشواری این مسائل و یا حتی دشوارتر از آن، به عنوان مسائل کاملاً سخت شناخته می‌شوند. در این مسائل دستیابی به جواب بهینه بعضی دشوار و بسیار وقت گیر خواهد بود. بنابراین توسعه روش‌های ابتکاری و دستیابی به جواب‌های نسبتاً خوب در این ارتباط با این مسائل می‌تواند کارایی بالایی داشته باشد. یک گروه آشنا از این دست مسائل، بحث زمانبندی و تصمیم‌گیری‌های مرتبط با آن می‌باشد. در هر شرکت، یکی از مهمترین تصمیمات مدیران، انتخاب اندازه ابانته صحیح، انتخاب توالی تولید و همچنین زمانبندی است. به همین دلیل، این دسته مسائل در ادبیات پژوهش عملیاتی، توجه بسیاری از مقالات را به خود معطوف ساخته است. مسئله زمانبندی و اندازه ابانته به دو روش مختلف در ادبیات موضوع، مدل شده است. مسئله زمانبندی و اندازه ابانته گستره که پنجره زمانی کوچ هم خوانده می‌شود، افق برنامه ریزی را به پریودهای زمانی کوچک، تقسیم می‌کند به گونه‌ای که در هر پریود زمانی، حداکثر یک نوع محصول، قابل تولید است (گوپتا^۵ و همکاران ۲۰۰۵). در این دسته از مسائل، اجرای تنظیم و تولید، تعداد صحیحی از پریودهای زمانی را شامل می‌شود. بنابراین این مسئله، برخی موقع، مسئله سیکل تولید نیز نامیده می‌شود و بصورت گسترده‌ای در ادبیات موضوع، مطالعه شده است. در مقابل، مسئله زمانبندی و اندازه ابانته با محدودیت ظرفیت (CLSP) با نام پنجره زمانی بزرگ معروف است. این مسئله، پریودهای زمانی بزرگتر که در هر پریود چندین محصول می‌تواند تولید شود را در نظر می‌گیرد. مدیر برنامه ریزی باید مقادیر تولید در هر پریود را به گونه‌ای که تمامی سفارشات در زمان مناسب پوشش داده شوند، برنامه ریزی کند. دسته بندی کلی دیگر از تحقیقات انجام گرفته در زمینه مسائل زمانبندی بر اساس ماهیت و فضای محیط کاری و سیستم تولید است که بر اساس آن مسائل به چهار دسته تک ماشین، جریان کارگاهی، کار کارگاهی و تکنولوژی گروهی تقسیم بندی می‌شوند. حالت وجود یک ماشین جهت زمانبندی سفارشات کاملاً مشخص است. در ادامه به شرح مختصراً از بقیه فضاهای پرداخته می‌شود. جریان کارگاهی، استقرار تجهیزات تولید بر اساس مراحل تولید هر محصول است و مواد در مسیر حرکت خود در هر مرحله تکمیل تر و نهایتاً به محصول نهایی تبدیل می‌شود. در سیستم خط تولید، کارها به اجزاء کوچکتری به نام عملیات شکسته می‌شوند و هر عملیات بر روی یک ماشین جداگانه انجام می‌شود. در حقیقت هر عملیات بعد از عملیات نخست، دقیقاً یک پیش نیاز مستقیم و هر عملیات قبل از عملیات آخر، دقیقاً یک پس نیاز مستقیم دارد (بیکر ۱۹۹۶). بنابراین هر کار شامل یک توالی مشخص از عملیات‌هاست که به منظور تکمیل کار باید انجام شود. این نوع ساختار تحت عنوان ساختار پیش نیازی خطی شناخته می‌شود. این سیستم تولیدی جهت تولید محصولات در حجم بالا و تنوع پایین مناسب است. در جریان کارگاهی، m ماشین مختلف وجود دارد که در مدل جریان کارگاهی خالص، هر کار شامل m عملیات است که هر کدام باید روی یک ماشین خاص انجام شود. ماشین‌ها می‌توانند تحت عنوان ماشین‌های ۱، ۲، ... و m شماره گذاری شوند و عملیاتهای کار j نیز می‌تواند بوسیله زوج‌های $(j, 1), (j, 2), \dots, (j, m)$ نشان داده شود. بنابراین عملیاتهای

برابر با تعداد ماشین آلات است و هر کار باید روی تمامی ماشین آلات پردازش شوند. ولی در جریان کارگاهی عمومی، برخی کارها ممکن است تعداد عملیات‌های کمتری را نیاز داشته باشند (کمتر از تعداد ماشین آلات یا m) و نتیجتاً آنها بر روی تمامی ماشین آلات پردازش نمی‌شوند. همچنین عملیات‌ها ابتدایی و انتهایی تمامی کارها ماشین های شماره ۱ و شماره m نخواهد بود. مسائل کار کارگاهی از جریان کارگاهی متفاوت است. در این سیستم جریان کار هدایت شده نیست. اجزاء مسئله m ماشین و n کار است که باید زمانبندی شوند. هر کار همانند مدل خط تولید، شامل چند عملیات با ساختار پیش نیازی خطی است. در این سیستم استقرار تجهیزات تولید بر اساس نوع فرآیند است. هر چند یک کار می‌تواند هر تعداد عملیات داشته باشد، معمول ترین فرمولبندی کار گروهی، برای هر کار دقیقاً m عملیات (یکی بر روی هر ماشین) مشخص می‌کند. یک مدل عمومی تر، پردازش یک کار بر روی یک ماشین، بیش از یک بار را مجاز می‌داند. هر ماشین می‌تواند به عنوان یک کارگاه جداگانه که ورودی و خروجی مخصوص به خود را دارد در نظر گرفته شود. مسلماً این سیستم تولیدی قابلیت انعطاف پذیری بالایی دارد و جهت تولید محصولات متنوع در مقادیر کم مناسب است (بیکر ۱۹۹۶). تکنولوژی گروهی نیز به عنوان یک فلسفه تولید از تشابه قطعات به لحاظ طرح و ساخت استفاده نموده و با استفاده از گروهبندی قطعه (یا ماشین) به دنبال افزایش بهره و ری تولید است. در واقع این مورد یک حالت بینابین از دو محیط قبلی است. فضای کاری در این تحقیق بر اساس جریان کارگاهی در نظر گرفته شده است که در ادامه به شرح آن می‌پردازیم. سلولهای تولیدی معمولاً شامل یک گروه از ماشین آلات که به تولید محدوده مشخصی از خانواده ها تخصیص داده شده اند می‌باشد. یک خانواده یک مجموعه اقلام است که نیازمندی مشترکی به لحاظ ابزار و توالی های عملیاتی دارند. در این محیط، تولید سلولی نیازمند سه فعالیت برنامه ریزی، قبل از تولید واقعی است. نخست گروهبندی ماشین آلات در سلولهای تولیدی مختلف (فرم دهی سلولها). دوم، اقلام باید به ماشین آلات مشخص در سلولهای تولیدی، تخصیص داده شوند (بار دادن به ماشین آلات). سوم، اقلام باید در هر سلول تولیدی زمانبندی شوند(شالر⁶ و همکاران⁷ ۲۰۰۰) و اغلب چنین مسائل زمانبندی شامل سلولهای تولیدی چندتایی و احتمالاً پیچیده است. بنابراین تلاشهایی در جهت توسعه مفهوم زمانبندی جهت یک سلول تولیدی در یک زمان صورت گرفته است. این بخش از تحقیق به مسئله زمانبندی چند سفارش دریافتی از چند مشتری در فضای جریان کارگاهی جایگشتی با فرض آنکه فعالیتهای مرتبط با فرم دهی و بار دادن انجام گرفته، می‌پردازد. هر سفارش می‌تواند به عنوان یک خانواده و هر کار به عنوان یک قلم در نظر گرفته شود. البته یک تفاوت عمده وجود دارد و آن این است که همه سفارشات به ابزار و توالی های عملیاتی یکسانی نیاز دارند. در فرم دهی و بار دادن سلولهای تولیدی، اقلام خانواده بر اساس توالی های عملیاتی به سلولها تخصیص می‌باید. بنابراین جریان مواد و زمانبندی، حتی چنانچه اقلام تولیدی نیازمند ابزار متفاوتی جهت تنظیمات باشند، ساده می‌شود. در این فرآیند ممکن است هر خانواده نیازمند ماشین آلات مشابهی باشد و مسلماً اقلام با ترتیب مشخصی بر روی ماشین آلات پردازش می‌شوند. این سلولهای تولیدی جریان کارگاهی خالص نام دارند و مشخص کننده جریان کارگاهی معمول می‌باشد. این شرایط در زمان وجود چندین خانواده با نیازمندی های متفاوت صادق نخواهد بود (پائولو⁸ و همکاران ۲۰۰۵). معمولاً یک هزینه تنظیم عمده جهت تغییر پردازش از کارها در یک سفارش به سفارش دیگر نیاز است. یکی از شناخته شده ترین مسائل زمانبندی مسئله زمانبندی جریان کارگاهی است. این مسئله برای بیش از پنجاه سال در میان محققین جایگاه ویژه ای را برای خود باز کرده است. در این مسئله m مرحله بصورت سری وجود دارد که در هر مرحله یک ماشین یا بیشتر وجود دارد. n کار باید بر روی m ماشین پردازش شوند. هر کار بر روی هر ماشین، یک زمان پردازش مثبت دارد. در جریان کارگاهی، همه کارها با یک ترتیب بر روی ماشین آلات پردازش می‌شوند. زمان پردازش هر کار در هر مرحله می‌تواند متفاوت باشد. در این شرایط برای هر ماشین $n!$ توالی از کارها وجود خواهد داشت و در کل برای مسئله $(n!)^m$ توالی ممکن خواهیم داشت. یک ساده سازی در این ارتباط، حفظ ترتیب پردازش کارها از ماشین ۱ تا ماشین m است. این بدان معنی است که کارها با یک ترتیب بر روی همه ماشین آلات پردازش شوند. چنین مسئله ای تحت عنوان مسئله جریان کارگاهی جایگشتی شناخته می‌شود. در این حالت به اندازه $n!$ توالی برای کارها وجود خواهد داشت که با این شرایط مسئله تحت عنوان مسئله کاملاً سخت شناخته می‌شود (پائولو و همکاران ۲۰۰۵). از جمله صنایعی که مسائل زمانبندی جریان کارگاهی جایگشتی بصورت کاملاً برجسته و حیاتی مطرح می‌باشد، صنایع غذایی است. در این تحقیق سعی بر آن بوده است تا با ایده گرفتن از چنین صنایعی در دنیای واقعی، تعریف متفاوتی از مسئله زمانبندی بر اساس ماهیت این صنایع در شرایط واقعی ارائه گردد. در حقیقت در این تحقیق ما یک سلول تولیدی تکی که شامل تعدادی ماشین آلات (مراحل) و تعدادی سفارش که باید بر روی ماشین آلات پردازش شوند را در نظر می‌گیریم. هر سفارش یک مشتری مشخص دارد و شامل تعداد مشخصی از کارهای مشابه است. کارهای هر سفارش باید از سلولهای تولید، مرحله به مرحله پردازش شوند و زمانی که اولین کار یک سفارش شروع به پردازش شد، کارهای متعلق به سفارشات دیگر تا زمان پردازش آخرین کار سفارش مربوطه نمی‌توانند پردازش شوند. در حقیقت انقطاع سفارش در هنگام پردازش مجاز نبوده ولی چنین کاری در هنگام ارسال سفارش امکان پذیر است. بدیهی است عدم امکان انقطع سفارش در هنگام پردازش به دلیل هزینه های تنظیم بالا، در این

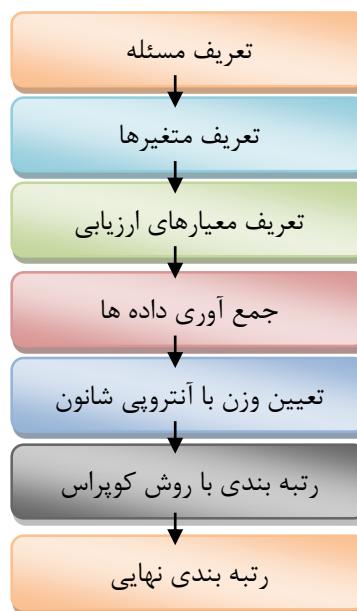
⁶ Schaller
⁷ Paulo

گروه از صنایع و به خصوص در صنعت غذا می باشد. کارهای متعلق به یک سفارش دقیقاً شبیه به یکدیگر هستند و بنابراین زمان یا هزینه تنظیمی میان دو کار از یک سفارش وجود ندارد. هر سفارش با توجه به مشتری مربوطه، زمان تحويل و هزینه تاخیر مشخص دارد و هزینه های تاخیر به ازای هر واحد از سفارش که با تاخیر ارسال می گردد و هر واحد زمانی تاخیر محاسبه می شود. به همین منظور و به جهت کاهش هزینه های تاخیر، انقطاع سفارش در هنگام ارسال برای مشتری امکان پذیر خواهد بود چراکه هر واحد از یک سفارش با تاخیر که زودتر به دست مشتری برسد هزینه تاخیر کمتر خواهد داشت. هزینه و زمان تنظیم اولین کار از هر سفارش به زمانبندی قبلی بستگی دارد. این شرایط منطبق با بسیاری از مسائل دنیای واقعی است. ما به دنبال یک تابع هدف واقعی برای مسئله هستیم. با یک مرور سریع در ارتباط با ادبیات موضوع ما با بسیاری از معیارها در ارتباط با تابع هدف مواجه می شویم. ولی در فرآیند زمانبندی، تابع هدف باید شامل بر همه هزینه های سیستم که وابسته به تصمیمات زمانبندی هستند باشد (بیکر ۱۹۹۶). در مسائل زمانبندی دنیای واقعی، در نظرگیری اجزاء هزینه و معیارهای گوناگون تصمیم اهمیت زیادی دارد و صرفاً لحاظ نمودن یک معیار عمده (همانند زمان ختم کل که در بسیاری از تحقیقات پیشین به چشم می خورد) سوال برانگیز است. در تحقیقات فرض بر وجود استراتژی تولید جهت سفارش است. در این استراتژی، تولید بر اساس سفارشات رسیده انجام می شود و برخلاف استراتژی تولید جهت انبار که ابتدا تولید انجام شده و سپس کالا در انبار به منظور یافتن مشتری مناسب نگهداری می شود، کالایی بدون وجود سفارش از طرف مشتری تولید نخواهد شد. انبوهی از سفارشات در پریود نخست دریافت می شوند که تعدادی از آنها بر اساس توان تولید قبول و بقیه رد می شوند. این فرضیات نیز بر اساس شرایط دنیای واقعی جهت صنایع ذکر شده در نظر گرفته شده اند. منابع تولید باید به گونه ای زمانبندی شوند تا تمامی هزینه های ملموس چون هزینه دیرکرد، هزینه تنظیم و هزینه نگهداری که از جمله حیاتی ترین معیارها در مباحث زمانبندی و برنامه ریزی تولید در بسیاری از صنایع است، حداقل شود. در چنین شرایطی قاعده اتا یک مدل زمانبندی چند معیاره نیاز است. همانگونه که از توضیحات بر می آید در تحقیق حاضر، کارها در مسائل جریان کارگاهی معمول با سفارشات جایگزین شده اند. زمانبندی تعدادی از سفارشات که هر سفارش حاوی تعداد مشخصی از کارهای مشابه و یک مشتری مشخص با زمان تحويل قطعی و همچنین هزینه تاخیر مشخص است، محور اصلی تحقیق است. در مسئله مورد بررسی هزینه های نگهداری و تاخیر اهمیت فراوان دارد. در این گونه مسائل، تصمیمات زمانبندی دو سطح دارد. در سطح بالاتر زمانبندی سفارشات قرار دارد به نحوی که کدام سفارش و به چه نحوی و با چه ترتیبی باید پردازش شود. سطح بعدی زمانبندی کارهای داخل هر سفارش است به این ترتیب که کارها با چه شکلی باید پردازش شوند. در اینجا صرفاً سطح نخست بررسی می شود و ترتیب پردازش کارهای داخل هر سفارش، موضوع این تحقیق نیست. در مسئله مورد بررسی، زمان و هزینه های تنظیم مهم و وابسته به توالی می باشند. کارهای داخل هر سفارش کاملاً مشابه فرض می شوند و زمان و هزینه تنظیم میان دو کار از یک سفارش نادیده گرفته می شود. همچنین فرض می شود برخی از توالی ها میان سفارشات ناممکن باشد. اضافه نمودن چنین فرضی، یافتن یک جواب اولیه برای مسئله مورد بررسی بر اساس روش‌های ابتکاری موجود را بسیار دشوار می سازد. یک زمان تحويل مشخص و هزینه تاخیر معین برای هر سفارش (بر اساس نظر مشتری آن) فرض می شود. هدف حداقل نمودن هزینه های تنظیم، تاخیر و نگهداری می باشد.

۱- بیان مسئله

هریک از فعالیت ها باید در یک یا چند ایستگاه کاری انجام شوند. معمولاً انواع مختلف فعالیت ها در هر ایستگاه کاری انجام می گیرد. اگر در زمانبندی احتیاط لازم برای جلوگیری از انسداد مسیرهای کاری انجام شود این امر سبب ایجاد صفاتی انتظار طولانی در خط تولید می گردد. پیچیده شدن شرایط مدیران را تحت فشار قرار می دهد تا روش های زمانبندی برای مدیریت حجم فعالیت ها را طراحی نمایند. یکی در از راه های توسعه برنامه ها در فعالیت های عملیاتی، اتخاذ قوانین اولویت توالی است، که اجازه می دهد تا زمانبندی یک ایستگاه کاری در یک دوره زمانی تکامل یابد. انتخاب فعالیتی که باید مورد پردازش قرار گیرد از طریق قوانین توالی عملیات انجام می شود در صورتیکه ایستگاه کاری ظرفیت افزایش پردازش را داشته باشد. در اینجا تنها متغیر سودآور متغیر دوم بوده و سایر متغیرها شامل هزینه می باشد. از قواعد توالی عملیات موجود، هیچکدام بهترین نیست. از این رو، یک روش جامع انتخاب مورد نیاز است. برای ارزیابی و انتخاب بهترین قانون توالی عملیات، روش تصمیم گیری ترکیبی چند معیاره به کار برده شده است که در این مقاله از ترکیب روش آنتروپی شانون برای تعیین وزن معیارها و از روش تصمیم گیری چند معیاره کوپراس برای رتبه بندی گزینه ها استفاده شده است. به علت تنوع و تعدد روش ها و الگوریتم های، که با برنامه های کامپیوتر توانایی حل مسائل پیچیده زمانبندی و توالی عملیات در سیستمهای تولید را دارند، مسئله مهم آن است که کدام الگو از نظر صحت و دقت نتایج حاصله از نظر متخصصین و صاحبنظران مناسبتر است. عدم توجه به این مسئله مهم باعث می شود که اجرای فرایند زمانبندی در برخی موارد طولانی تر، با کیفیت پایین تر و هزینه بالاتر (با توجه به هزینه استهلاک و خوابیدگی سرمایه و ضرر ناشی از عدم تکمیل و تحويل به موقع) انجام پذیرد. در یک طرح تولیدی بیشترین مقدار سرمایه گذاری در مرحله اجرای طرح انجام می گیرد و اشتباہ در این مرحله با اتفاق سهم عمده ای از این سرمایه گذاری همراه است. لذا یکی از مهمترین مسائل در اجرای طرح های تولیدی تعیین

زمینه‌بندی مناسب فعالیت ماشین آلات و به تبع آن، تعیین بهینه ترین توالی ممکن برای جانمایی این ماشین آلات می‌باشد. به طوری که این تضمین وجود آید که با انتخاب بهترین گزینه، ریسک اتفاق منابع چه از لحاظ هزینه و چه از لحاظ زمان به حداقل برسد و همچنین فرایندهای تولید، دارای بالاترین کیفیت اجرا و اینمی در حین اجرا یا بعد از اجرا باشد (ظاهری زاده و همکاران، ۱۳۹۲) از طرف دیگر، در اقتصاد توسعه، از آنجا که سرمایه گذاری‌های دولت صرف گسترش ظرفیت‌های تولیدی، زیربنایی و به طور کلی زیرساخت‌ها می‌شود، تولیدی، لبه بُرندۀ و کارساز توسعه هر کشور تلقی می‌شود، اما شرط لازم این است که هزینه‌های تولید، از یک سو صرف راه اندازی سیستمهای تولیدی مناسب و ارزیابی شده، گردد و از سوی دیگر این سیستمهای تولیدی با طراحی دقیق و برنامه‌ریزی کامل اجرایی شود (زارع مهر جودی و همکاران، ۱۳۸۹). روش کلی مطالعه حاضر در شکل ۱ نشان داده شده است. پس از تعیین فضای مطالعه توالی عملیات، قوانین مختلف الوبت بندی توالی شناسایی شدن. سپس برای تعیین بهترین قانون الوبت بندی توالی از روش‌های تصمیم‌گیری چند شاخصه استفاده شد. بر اساس این معیارها داده‌های مورد نیاز برای ورودی رویکرد مورد استفاده از ایستگاههای کاری مرتبط استخراج گردید. سپس وزن معیارهای ارزیابی از روش آنتروپی شanon محاسبه گردید کارایی متغیرهای متناظر با شاخص‌های اعتباری اندازه گیری شده و در جدول جایگذاری گردید. در نهایت انتخاب بهترین متغیر و الوبت بندی متغیرها از روش تصمیم‌گیری چند معیاره کوپراس، استفاده گردید.



شكل ۱

۲- پیشینه پژوهش

مسئله جریان کارگاهی جایگشتی نخستین با بوسیله جانسون^۸ (۱۹۵۴) بررسی شد و از آن زمان روش‌های ابتکاری و فرآابتکاری متعددی در این فضای ارائه شده است. الگوریتم جانسون بدون در نظر گیری زمانهای تنظیم، زمان پردازش آخرین کار بر روی آخرین ماشین را برای حالت وجود دو ماشین کمینه می‌کند که این الگوریتم در شرایط خاص، قابل تعمیم به حالت سه ماشین نیز می‌باشد. مسئله جریان کارگاهی کلاسیک با معیار زمان ختم کل به دلیل کاربرد وسیع آن در عمل همواره مورد توجه محققین بوده است. این مسئله، به چهت تشریح و فرموله سازی، ساده می‌باشد ولی حل مسائل دنیای واقعی به دلیل بزرگ بودن آنها با روش‌های قطعی ناکارآمد بوده و همواره ارائه روش‌های ابتکاری در این حوزه مورد توجه بوده است. یکی از مواردی که موجب تفکیک تحقیقات در این زمینه شده است ماهیت آماده سازی قطعات است. آماده سازی شامل کلیه فعالیتهایی است که چهت راه اندازی ماشین، فرآیند و یا یک سیکل باید انجام گیرد (سالوندی ۱۹۹۲^۹). فعالیت‌هایی چون دستیابی به ابزار، تنظیم و سوار کردن قطعه، عودت ابزار، تمیز کاری، تنظیم دستگاه و تست می‌توانند در زمرة عملیات‌های مرتبط با آماده سازی قرار گیرند. در بسیاری از تحقیقات گذشته عملیات آماده سازی (اعم از هزینه و زمان) یا نادیده گرفته شده اند و یا به عنوان بخشی از زمان فرآیند لحاظ شده است. چنین فرضیاتی برای برخی از مسائل زمانبندی معقول به نظر می‌رسد ولی در بسیاری از موارد عملیات آماده سازی باید به صورت مستقل منظور شود. منفک نمودن زمان تنظیم از زمان پردازش، باعث بهبود عملکرد در تصمیم‌گیری‌ها خواهد بود (الله

⁸ Johnson

⁹ Salvendy

وردي^{۱۰} و همکاران ۱۹۹۹). اين مبحث به خصوص در تكنيك ها و فلسفه های نوين مدیريت توليد مثل توليد بهينه، تكنولوژي گروهي، توليد سلولي و رقابت بر پايه زمان، کارا می باشد(الله وردي و همکاران ۱۹۹۹). در ارتباط با اين عملياتها يا زمان (هزينه) تنظيم صرفا به کاري که باید تنظيم شود وابسته است و يا اين زمان علاوه بر کار مطروحه، به کاري که بلافضله قبل از آن پردازش شده نيز وابسته است. مورد نخست تحت عنوان توالی های مستقل و مورد دوم تحت عنوان توالی های وابسته شناخته می شوند. بنابراین در دسته هزينه های راه اندازی مستقل از توالی، هزينه راه اندازی جهت توليد هر محصول ثابت است و به توليد قبلی بر روی خط توليد بستگی ندارد. يعني با هر توالی، هزينه راه اندازی ثابت می باشد. رویز و مارتو^{۱۱} (۲۰۰۴) در مقاله خود اظهار می دارد که حدود ۷۵ درصد از مدیران، برخی از زمانبندی خود را مشتمل بر توالی های وابسته دانسته اند و حدود ۱۵ درصد، تمامی فعالیت ها و زمانبندی های خود را در اين حیطه می دانند. منظور از هزينه های راه اندازی وابسته به توالی بدین صورت مطرح است که هزينه راه اندازی جهت هر محصول به توليد قبلی وابسته است و يا در واقع توالی های مختلف بر روی هزينه راه اندازی تاثير دارد. نتيجتاً توالی ها باید به نحوی مرتب شوند تا علاوه بر معياراهای مطلوبیت مورد نظر، هزينه راه اندازی را حداقل نماید. کاربردهای تجربی بسياري جهت تشریح توالی های وابسته عنوان شده است. پيندو^{۱۲} (۱۹۹۵) عنوان می کند که هزينه های تنظيم، سنته به شbahat دسته های تولیدی است که به صورت متواли تولید می شوند. صناعي همچون نساجي، پلاستيك، کاغذ، رنگ و صنایع شیمیایي و غذائي، از جمله موادری هستند که توالی های وابسته در ارتباط با آنها کاربرد بسياري دارد(ارن^{۱۳} و همکاران ۲۰۰۶). نتيجتاً مسائل زمانبندی با هزينه های تنظيم وابسته به توالی، انتباط زيادي با دنياي واقعي دارد و اين موضوع اهميت تمرکز محققيق بر روی اين دسته از مسائل زمانبندی را نشان می دهد. تحقيقات الله وردي و همکاران (۱۹۹۹) و همچنین چنگ^{۱۴} و همکاران (۲۰۰۰) نشان می دهد که تا قبل از سال ۲۰۰۰ اکثر قریب به اتفاق تحقيقات بر روی زمانبندی سلوهای تولیدی با فرض هزينه های تنظيم مستقل از توالی بوده اند. همانگونه که پيشتر عنوان شد به دنبال سخت بودن مسائل جريان کارگاهي و جريان کارگاهي جايگشتی (جانسن و همکاران ۱۹۷۶) روشهای قطعی کمتر جهت حل اين گونه مسائل مورد توجه بوده اند. تعداد قليلی از اين روشها نيز که در ادبیات موضوع به چشم می خورند تنها مسائل با اندازه های بسيار کوچک را بررسی کرده اند. در نتيجه در طول پنجاه سال گذشته محققین الگوريتم ها و روشهای ابتکاري زيادي را جهت حل اين گونه مسائل در اندازه های متوسط و بزرگ ارائه داده اند. از جمله روشهای ارائه شده جهت جريان کارگاهي جايگشتی می توان به روشهای ابتکاري برجسته کمبيل^{۱۵} و همکاران (۱۹۷۰) با نام CDS و همچنین روش ابتکاري معروف NEH از نواز^{۱۶} و همکاران (۱۹۸۳) اشاره نمود. روش ابتکاري NEH به عنوان يك روش موثر در يافتن جواب ابتدائي مناسب جهت مسائل جريان کارگاهي در بسياري از تحقيقات بعدی نيز مورد توجه بوده است. از ديگر روشهای ارائه شده جهت مسئله جريان کارگاهي جايگشتی می توان به شبие سازی تبريدي (عثمان^{۱۷} و همکاران ۱۹۸۶)، جستجوی ممنوع (Widmer^{۱۸} و همکاران ۱۹۸۹) و الگوريتم ژنتيك (ريوز^{۱۹}) اشاره نمود. رویز و مارتو (۲۰۰۴) مجموعه از روشهای ابتکاري و فرابابتکاري ارائه شده در محيط جريان کارگاهي جايگشتی را در مقاله خود گردآوري کرده اند. از جمله موادری که در تحقيقات جايگاه مناسبی را در ارتباط با مسائل جريان کارگاهي جايگشتی به خود اختصاص داده است مدلهاي برنامه ریزی عدد صحيح در ارتباط با جنبه های خاص از اين دست مسائل می باشد (Tseng^{۲۰} و همکاران ۲۰۰۱). مرکادو و برد^{۲۱} (۱۹۹۹) در دو مقاله مسئله، جريان کارگاهي جايگشتی را با معيار زمان ختم کل و با فرض وجود تنظيمات وابسته به توالی مورد بررسی قرار دادند. در اولين مقاله آنها جهت حل مسئله جريان کارگاهي از الگوريتم شاخه و حد با بكارگيري حدود بالا و پايين و همچنین استفاده از معيار حذف تسلط، استفاده نمودند. در اين مقاله از يك محدوده وسیع از مسائل موردي جهت تست الگوريتم استفاده شده است. در مقاله دوم آنها با استفاده از يك روش ابتکاري و با بكارگيري يكتابع هزينه، مسئله جريان کارگاهي را به يك مسئله فروشنده دوره گرد تبديل نمودند. در تابع هزينه مربوطه به تنظيمات با هزينه های بالا جريمي های سنگين تعلق می گرفت. نرمن^{۲۲} (۱۹۹۹) مسائل زمانبندی جريان کارگاهي که شامل زمانهای تنظيم وابسته به توالی و همچنین بافرهای مشخص بود را مد نظر قرار داد. تورس و سنتنو^{۲۳} (۲۰۰۸) مسئله

¹⁰ Allahverdi¹¹ Ruiz & Maroto¹² Pinedo¹³ Erne¹⁴ Cheng¹⁵ Campbell¹⁶ Nawaz¹⁷ Osman¹⁸ Widmer¹⁹ Reeves²⁰ Tseng²¹ Mercado & Bord²² Norman²³ Torres & Centeno

جريان کارگاهی جایگشتی را با هدف کمینه کردن تعداد کارهای با تاخیر مورد بررسی قرار دادند. آنها یک حد پایین برای مسئله جریان کارگاهی جایگشتی معرفی نمودند و کارآمدی آن را با جواب بهینه برای مسائل با اندازه کوچک، متوسط و بزرگ بررسی کردند. ونگ و چنگ^{۲۴} (۲۰۰۷) مسئله جریان کارگاهی جایگشتی را با فرض وجود تهها دو ماشین و در نظر گیری محدودیت ظرفیت تهها برای نخستین ماشین مورد بررسی قرار دادند. تنظیمات در بررسی آنها وابسته به توالی بودند. اسچالر و همکاران (۲۰۰۰) مسئله زمانبندی خانواده ها و کارهای داخل هر خانواده را در محیط جریان کارگاهی بررسی نمودند. در بررسی آنها زمانهای تنظیم میان خانوادها وابسته به توالی فرض شده است و هدف کمینه نمودن زمان ختم کل موقعی که کارهای داخل هر خانواده در حال پردازش است می باشد. رویز و همکاران (۲۰۰۵) برای مسئله جریان کارگاهی جایگشتی دو الگوریتم ژنتیک معرفی نمودند و نشان دادند الگوریتم های معرفی شده توسط آنها بهتر از دیگر الگوریتم ها و به خصوص مرکادو و برد (۱۹۹۹) عمل می کند. آنها به منظور یافتن جواب ابتدایی جهت مسئله جریان کارگاهی از روش اصلاح شده NEH استفاده کرده اند. نام روش ابتکاری مربوطه NEHT_RMB می باشد که می تواند به عنوان یک روش موثر در یافتن مجموعه ای از جوابهای موجه مناسب برای مسئله جریان کارگاهی بکار گرفته شود. در الگوریتم های ژنتیک معرفی شده جوابهای مربوطه به عنوان استخر جوابها در الگوریتم، مورد استفاده قرار گرفتند. همچنین رویز و استانزل^{۲۵} (۲۰۰۸) در مقاله اخیر خود دو روش ساده جستجوی محلی بر اساس الگوریتم حریض تکراری معرفی نمودند. الگوریتم آنها دو مرحله ای می باشد: مرحله تخریب که در آن بعضی کارها از جواب ابتدایی حذف می شوند و مرحله ساخت که در آن کارهای حذف شده به جواب ابتدایی با بکارگیری روش ابتکاری NEH تخصیص داده می شوند. آنها نشان دادند الگوریتم آنها بهتر از الگوریتم رویز و همکاران (۲۰۰۵) عمل می کند. الگوریتم معرفی شده در برابر مجموعه ای وسیعی از مسائل موردی با مجموعه ای از الگوریتم های معرفی شده در ادبیات مقایسه شد که نتایج حاکی از برتری الگوریتم معرفی شده است. البته الگوریتم حریض به تنها یک و بدون استفاده از جستجوی محلی چندان قدر تمدن نیست. اخیرا نیز اکسیوگلو^{۲۶} و همکاران (۲۰۰۸) مقاله ای را در حیطه مسائل جریان کارگاهی ارائه نموده اند و در مقاله خود از روش جستجوی ممنوع اصلاح شده جهت حل مسئله استفاده نموده اند. البته با یک بررسی کلی، روش آنها سادگی و دقت الگوریتم حریض را ندارد (این موضوع بعدا در مقایسات نشان داده می شود). همچنین فضای مورد بررسی در الگوریتم حریض، جامع تر از الگوریتم توسعه داده شده توسط آنهاست. الله وردی و همکاران (۲۰۰۸) در مقاله اخیر خود یک مرور جامع از مطالعات انجام شده در زمینه مسائل جریان کارگاهی و جریان کارگاهی جایگشتی را ارائه نموده اند. اکثر مقالاتی که در این مرور بررسی شده اند تنظیمات وابسته به توالی را مطالعه نموده اند. معیارهای متعددی در ارتباط با مسائل زمانبندی در ادبیات موضوع یافت می شود. بسیاری از تحقیقات بر روی حداقل نمودن زمان ختم کل کارها متتمرکز شده اند (استافورد^{۲۷} و همکاران ۲۰۰۲)، رویز و استانزل (۲۰۰۸) دو هدف بهینه کردن تعداد کارهای با تاخیر را به عنوان تابع هدف در نظر گرفتند. تیگ و هوآنگ^{۲۸} (۲۰۰۵) مسئله زمانبندی لوله های فولاد را با فرض زمانهای تنظیم وابسته به توالی مورد توجه قرار دادند. تابع هدف آنها نیز حداقل نمودن زمان ختم کل تولید بود. گوپتا و اسمیت (۲۰۰۶) در مقاله خود حداقل تاخیر وزنی یک کار را حداقل کردند. همچنین پارتاسارتی و راجندران^{۲۹} (۱۹۹۷) در مقاله خود حداقل تاخیر وزنی یک کار و تاخیر وزنی همه کارها را حداقل نمودند. برخی تحقیقاتی که در زمینه تاثیر معیارهای زمانبندی انجام گرفته است نشان می دهد که بعضی معیار زمان ختم کل می تواند هزینه های زیادی را تحمیل نماید (گوپتا^{۳۰} ۱۹۷۵). بنابراین استفاده از چنین معیاری در مسائل واقعی زمانبندی چندان رضایت بخش نیست. حتی مدل های توسعه داده شده از مدل جانسون استفاده ناچیزی در مسائل زمانبندی دارند. از سویی دیگر، بررسی کلی بر روی تحقیقات انجام گرفته در زمینه مسائل زمانبندی حاکی از آن است که بهره گیری از یک دید جامع در ارتباط با معیارهای موثر در تصمیمات زمانبندی کمتر مورد توجه بوده است. بدینهی است که معیار های متعددی در شرایط دنیای واقعی در ارتباط با مسئله زمانبندی مطرح است که این معیارها بعضاً بسته به نوع صنعت متفاوت است. بررسی یک گروه از صنایع خاص، نگاه جامع به بحث زمانبندی در این گروه، استخراج معیارهای واقعی متناسب با نوع صنعت و مطابق با شرایط دنیای واقعی و نهایتاً مدل سازی و حل مسئله حلقه مفقود تحقیقات در زمینه زمانبندی است. الله وردی و همکاران (۱۹۹۶) بیان می کنند که در شرایط وجود زمانهای تنظیم مستقل، هیچ تحقیقی بصورت عملی در ارتباط با مسائل زمانبندی چند معیاره وجود ندارد. بنابراین تحقیقاتی آتی در این زمینه می تواند جذاب و مورد نیاز باشد. همچنین آنها لحظ نمودن معیارهای وابسته به زمان تحويل را به عنوان زمینه مناسبی جهت تحقیقات آینده مطرح کرده اند چراکه که چنین ضعفی نیز در ادبیات موضوع کاملاً به چشم می آید و مشخصاً زمان تحويل یک موضوع مهم و حیاتی در زمانبندی

²⁴ Wang & Cheng²⁵ Ruiz & Estatele²⁶Eksioglu²⁷ Stafford²⁸ Tang & Huang²⁹ Parthasarathy & Rajendran

در شرایط واقعی است. مدل‌های متعددی نیز در ارتباط با مسائل زمانبندی در ادبیات موضوع به چشم می‌خورد. با توجه به ماهیت مسائل زمانبندی و به خصوص در ارتباط با توالی‌های وابسته که موضوع مورد بحث جهت تحقیق حاضر می‌باشد، تمايلی جهت مدل‌سازی ریاضی و دستیاری به حل بهینه این دست مسائل وجود ندارد. پیدايش توابع هدف و محدودیت‌های غیر خطی در مسئله مورد بررسی وجود متغیرهای صفر و یک به خصوص در توالی‌های وابسته، وجود متغیرها و محدودیت‌های بسیار که خود باعث افزایش حجم مسئله مورد بررسی خواهد شد و طبیعتاً باعث افزایش پیچیدگی مسئله می‌شود و دیگر موارد باعث شده است تا مدل‌های ریاضی و حل آنها در ادبیات موضوع چندان بکار گرفته نشود چرا که زمان زیادی جهت حل آنها مورد نیاز است و دستیاری به جواب مطلوب نیز با توجه به روشهای و نرم افزارهای حاضر و با عنایت به حجم مسئله مورد بررسی به هیچ عنوان قابل تضمین نیست و بعضاً حتی دستیاری به جواب شدنی مستلزم صرف نمودن زمان بسیاری است. برخی از تحقیقات با در نظر گرفتن فرضیات خاصی به مدل‌سازی ریاضی مسئله پرداخته‌اند.

۳- روش تحقیق

این تحقیق از نوع تحقیق‌های کاربردی بوده که برای بررسی پیشینه موضوع از مطالعات کتابخانه‌ای و میدانی با تکنیک‌های مصاحبه و پرسشنامه برای جمع آوری داده‌های مورد نیاز استفاده شده است. در این تحقیق ابتدا معیارهای اصلی برای ارزیابی عملکرد متغیرها با استفاده از ادبیات موضوع و مصاحبه با کارشناسان و مهندسان شناسایی شده و سپس با استفاده از پرسشنامه‌های مقایسات زوجی، ضربی COPRAS به رتبه بندی متغیرها پرداخته و متغیر مناسب را گزینش می‌نماییم. در ادامه روش‌های آنتروپی شانون و کوپراس را شرح می‌دهیم. همچنین در این تحقیق با صاحب‌نظران و مهندسین و کارشناسان برنامه ریز برای تعیین متغیرها استفاده گردید.

۳-۱- روش کوپراس

در سالهای اخیر روش کوپراس بعنوان روش تصمیم‌گیری چند شاخصه به این دلایل کاربرد فراوانی داشته است؛ سادگی روش محاسبه، زمان اندک محاسبه، رتبه بندی کل گزینه‌ها، بهره گیری هم زمان از معیارهای کمی و کیفی، قابلیت محاسبه معیارهای مشتبه (حداکثر) و معیارهای منفی (حداقل) به طور جداگانه در فرایند ارزیابی، تخمین درجه اهمیت هر گزینه به صورت درصد به منظور نشان دادن اندازه بهتر یا بدتر بودن یک گزینه و نیز تطبیق با شرایط و اوقایع‌های محلی و تجربی.

از این روش در مورد امور مختلف برنامه ریزی، برآوردهای مالی، حسابداری و همچنین جغرافیا و ... استفاده می‌شود. این روش توسط زاوادسکاس و کاکلاسکاس^{۳۰} دانشمندان دانشگاه ویلينوس گيديميناس^{۳۱} در سال ۱۹۹۶ به منظور تعیین اولویت‌ها و درجه مؤثر بودن گزینه‌ها توسعه پیدا کرد که در عین سادگی، بسیار کاربردی و قدرتمند بوده و برای محاسبه آن نیازی به عملیات پیچیده ریاضی نیست (پیچیپو^{۳۲}، ۲۰۱۴).

این روش از گام‌های زیر پیروی می‌کند:

گام اول : تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

$$D = \begin{bmatrix} A_1 & X_1 & X_2 & X_j & X_n \\ A_2 & a_{11} & & & a_{1n} \\ & a_{21} & & & a_{j2n} \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_j & a_{i1} & a_{i2} & a_{ij} & a_{in} \\ & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & a_{m1} & & & a_{mn} \end{bmatrix}$$

فرمول ۱

گام دوم : محاسبه وزن هر یک از معیارها به وسیله روش آنتروپی شانون

گام سوم : نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم‌گیری براساس رابطه‌ی زیر:

³⁰ Zavakasdas & Kaclackas

³¹ Wilinus Guidiminas

³² Pitchipoo

$$d_{ij} = \frac{\gamma_{ij,w}}{\sum_{j=1}^n r_{ij}}, i = \Gamma, m; j = \Gamma, n$$

فرمول ۲

در اینجا w وزن معیار j ام و r_{ij} مقدار هر گزینه به ازای هر معیار می باشد.

گام چهارم : محاسبه مجموع زون معیار نرمالیزه شده توصیف کننده گزینه ها: گزینه هایی که با معیارهای مثبت محاسبه می شوند با $S+j$ و گزینه هایی که با معیارهای منفی محاسبه می شوند با $S-j$ نشان داده می شوند. مجموع $S+j$ و $S-j$ براساس فرمول زیر محاسبه می شود.

$$S_{+j} = \sum_{i=1}^m d_{\pm ij}, i = \Gamma, m; j = \Gamma, n$$

فرمول ۳

گام پنجم : محاسبه ارزش نهایی گزینه ها با فرمول زیر:

$$\emptyset_j = S_j^+ + \frac{s_{min}^- \sum_{j=1}^n s_j^-}{s_j^- \sum_{j=1}^n \frac{s_{min}^-}{s_j^-}} = S_j^+ + \frac{\sum_{j=1}^n s_j^-}{n}$$

فرمول ۴

مقدار \emptyset_j نشان دهنده میزان ارزش و اهمیت هر یک از گزینه ها بر حسب معیارها است. مقدار ارزش بالا نشانگر اهمیت و مطلوبیت بیشتر گزینه ها خواهد بود. بنابراین هر چه مقدار \emptyset_j بزرگتر باشد. نشان دهنده ای رتبه ای بالاتر آن گزینه در اولویت بندی خواهد بود.

گام ششم : مشخص کردن درجه اهمیت هر گزینه با استفاده از رابطه ای زیر:

$$N_j = \frac{\emptyset_j}{\emptyset_{max}} \times 100$$

فرمول ۵

هر چقدر مقدار \emptyset_j یک گزینه بالاتر باشد، مقدار N_j آن نیز بالاتر است. این مقدار به صورت درصد بیان می شود، یعنی مقدار آن از ۱۰۰ محاسبه می شود.

۲-۳- روش آنتروپی شانون

گام اول: ابتدا ماتریس تصمیم را تشکیل می دهیم.

$$D = \begin{matrix} & X_1 & X_2 & X_j & X_n \\ A_1 & a_{11} & & & a_{1n} \\ A_2 & a_{21} & & & a_{2jn} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_j & a_{i1} & a_{i2} & a_{ij} & a_{in} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_m & a_{m1} & & & a_{mn} \end{matrix}$$

فرمول ۶

گام دوم: ماتریس بالا را نرمال می کنیم و هر درایه نرمال شده را p_{ij} می نامیم. نرمال شدن به این صورت می باشد که درایه هر ستون را بر مجموع ستون تقسیم می کنیم.

گام سوم: محاسبه آنتروپی هر شاخص

آنتروپی E_j به صورت زیر محاسبه می گردد و k به عنوان مقدار ثابت مقدار E_j را بین 0 و 1 نگه می دارد.

$$k = \frac{1}{\ln m} \quad E_j = -k \sum_{i=1}^m P_{ij} \times \ln P_{ij} \quad i = 1, 2, \dots, m$$

فرمول ۷

گام چهارم: در ادامه مقدار (d_j درجه انحراف) محاسبه می شود که بیان می کند شاخص مربوطه (d_j) چه میزان اطلاعات مفید برای تصمیم گیری در اختیار تصمیم گیرنده قرار می دهد. هر چه مقادیر اندازه گیری شده شاخصی به هم نزدیک باشند نشان دهنده آنست که گزینه های رقیب از نظر آن شاخص تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند.

$$d_j = 1 - E_j$$

فرمول ۸

لذا نقش آن شاخص در تصمیم گیری باید به همان اندازه کاهش یابد.

گام پنجم: سپس مقدار وزن W_j محاسبه می گردد

$$w_j = d_j / \sum d_j$$

فرمول ۹

۴- یافته های پژوهش و تحلیل آن ها

پژوهش حاضر در یک کارخانه صنایع غذایی تولید کننده انواع نوشابه، به منظور انتخاب روش درست از میان رویکردهای مختلف توالی عملیات موجود انجام گرفته است. مدیران کارخانه تمایل به یافتن بهترین روش از میان هفت متغیر ذکر شده دارند. کمیته ای برای تصمیم گیری تشکیل گردید و داده های مورد نیاز با رویکردنی که قبلًا توضیح داده شد، از ایستگاههای کاری، جمع آوری گردید. قوانین توالی عملیات، ابتکارات ساده ای است که برای انتخاب توالی ای که فعالیتها طبق آن باید پردازش شوند، اتخاذ شده است. مشهورترین این روش ها در زیر ذکر شده است که متغیرهای مطالعه حاضر را تشکیل می دهند.

(۱) **EDD(earliest due date)**: فعالیت ها به ترتیب زودترین زمان مورد نیاز برای تحویل به مشتری در ایستگاه کاری پردازش می شوند.

(۲) **CR(critical ratio)**: فعالیت ها به ترتیب افزایش نسبت بحرانی ایستگاه کاری پردازش می شوند. (نسبت زمان مورد نیاز برای انجام فعالیتهای باقی مانده به انجام کار در زمان باقیمانده)

(۳) **LCFS(first come,first served)**: فعالیت ها به ترتیب از آخرین ایستگاه کاری تا اولین پردازش می شود.

(۴) **FCFS(first come,first served)**: فعالیت ها به ترتیبی که به ایستگاه کاری می رستند پردازش می شوند.

(۵) **SLACK**: شغل ها به ترتیب افزایش زمان توقف پردازش می شوند (زمان سررسید منهای زمان باقی مانده برای پردازش).

(۶) **LPT(longest processing time)**: فعالیت ها به ترتیب زمان مورد نیاز پردازش در ایستگاه کاری پردازش می شوند، و فعالیتی که نیاز به حداقل زمان پردازش دارد در اولین مرحله برنامه ریزی وارد ایستگاه کاری می گردد.

(۷) **SPT(shortest processing time)**: فعالیت ها به ترتیب زمان مورد نیاز پردازش در ایستگاه کاری پردازش می شوند، و فعالیتی که نیاز به حداقل زمان پردازش دارد در اولین مرحله برنامه ریزی وارد ایستگاه کاری می گردد.

به طور کلی قوانین توالی عملیات فوق بر مبنای فرضیه های زیر می باشد:

✓ مجموعه کارها مشخص است؛ با شروع پردازش هیچ فعالیت جدیدی انجام نمی شود و هیچ فعالیتی نیز لغو نمی شود.

✓ زمان راه اندازی ثابت است.

✓ زمان راه اندازی مستقل از توالی عملیات است.

✓ زمان پردازش ثابت است.

✓ در حین پردازش هیچ وقفه ای مانند خرابی دستگاه، تصادفات و غیره، وجود نخواهد داشت.

نقش قوانین توالی عملیات به حداقل رساندن زمان تکمیل، تعداد فعالیتها در سیستم و تاخیر در زمان انجام کار است، در حالی که حداقل بهره از امکانات را ببرد. اثربخشی هر توالی تعیین شده از طریق اندازه گیری عملکرد، محاسبه می شود. فهرست معیارهایی (اندازه گیری عملکرد) که برای ارزیابی قوانین توالی عملیات در نظر گرفته شده، در زیر آورده شده است.

C1 : بیشترین تداخل فعالیت ها

C2 : زمان کل جریان

C3 : متوسط زمان تکمیل فعالیت ها

C4 : متوسط تداخل فعالیت ها

C5 : مجموع زمان پردازش

C6 : متوسط تعداد فعالیت ها در سیستم

C7 : مجموع تداخل فعالیت ها

C8 : بهره برداری

۴-۱- تجزیه و تحلیل یافته های حاصل از تعیین وزن معیارها

ابتدا داده های به دست آمده از توزیع پرسشنامه بین ۴۰ متخصص و کارشناس برنامه ریزی در ۴۰ کارخانه مواد غذایی تقسیم و عبارات

زبانی بر مبنای طیف لیکرت و به قرار ذیل کیفی گردید:

➤ برای شاخص های مثبت: خیلی کم ۱ - کم ۳ - متوسط ۵ - زیاد ۷ - خیلی زیاد ۹

➤ برای شاخص های منفی: خیلی زیاد ۱ - زیاد ۳ - متوسط ۵ - کم ۷ - خیلی کم ۹

➤ برای اعداد ۲، ۱، ۳ بصورت "نسبتاً" بیان می شود

سپس ماتریس وضع موجود به صورت مندرج در جدول ۱ تشکیل گردید:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
EDD	7	7	6	1	5	5	3	9
CR	4	4	5	3	4	4	4	5
LCFS	7	7	7	6	7	3	6	7
FCFS	3	7	3	1	5	7	6	6
Slack	5	5	5	5	1	4	5	9
LPT	7	4	7	6	2	5	5	4
SPT	5	5	2	1	5	4	3	7

جدول ۱

و سپس ماتریس بی مقیاس شده محاسبه گردید و در جدول ۲ جایگذاری شد

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
EDD	0.111	0.065	0.075	0.138	0.086	0.098	0.068	0.130
CR	0.138	0.130	0.094	0.108	0.103	0.118	0.091	0.072
LCFS	0.078	0.065	0.132	0.138	0.086	0.059	0.136	0.087
FCFS	0.101	0.109	0.094	0.077	0.155	0.118	0.114	0.130
Slack	0.115	0.109	0.151	0.138	0.086	0.118	0.068	0.101
LPT	0.088	0.109	0.094	0.092	0.103	0.137	0.091	0.116
SPT	0.069	0.087	0.075	0.108	0.103	0.059	0.068	0.130

جدول ۲

و در نهایت وزن معیارها با روش آنتروپی شانون به صورت مندرج در جدول ۳ به دست آمد:

	نوع معیار	Ej	dj	Wj
C1	-	0.989	0.011	0.074
C2	-	0.984	0.016	0.108
C3	-	0.969	0.301	0.209
C4	-	0.979	0.021	0.142

C5	-	0.982	0.018	0.122
C6	-	0.980	0.020	0.135
C7	-	0.986	0.014	0.095
C8	+	0.983	0.017	0.115

جدول ۳

وزن معیارها به دست آمده و جهت رتبه بنده متغیرها از طریق روش کوپراس مورد استفاده قرار گرفت. زمان پردازش (شامل زمان راه اندازی) و زمان تحویل برای ۶ فعالیتی که منتظر پردازش در ایستگاههای کاری بودند ، جمع آوری و در جدول ۴ قرار داده شد.

نام فعالیت	زمان پردازش(روز)	تاریخ تحویل(روز)
A	2	7
B	8	16
C	4	4
D	10	17
E	5	15
F	12	18

جدول ۴

کارایی هریک از معیار ها ارزیابی متغیرها با هریک از قوانین توالی عملیات محاسبه شده و در جدول ۵ قرار داده شد:

	C1(days)	C2(days)	C3(days)	C4(days)	C5(days)	C6	C7(days)	C8(%)
EDD	23	110	18.33	6.33	41	2.68	38	37.27
CR	24	133	22.17	9.67	41	3.24	57	30.83
LCFS	34	167	27.83	16	41	4.07	96	24.55
FCFS	23	120	20	9	41	2.93	54	34.17
Slack	26	133	22.17	9.5	41	3.24	57	30.83
LPT	35	179	29.83	18	41	4.37	108	22.91
SPT	23	108	18	6.67	41	2.63	40	37.96

جدول ۵

ماتریس تصمیم نرمال شده محاسبه شده و در جدول ۶ قرار داده شد:

	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
EDD	0.017	0.019	0.025	0.09	0.011	0.008	0.020	0.014
CR	0.019	0.010	0.018	0.016	0.012	0.010	0.023	0.015
LCFS	0.027	0.017	0.013	0.010	0.008	0.019	0.017	0.09
FCFS	0.010	0.013	0.025	0.09	0.007	0.017	0.035	0.013
Slack	0.018	0.017	0.012	0.013	0.008	0.012	0.022	0.021
LPT	0.017	0.009	0.012	0.018	0.010	0.014	0.016	0.022
SPT	0.013	0.013	0.022	0.013	0.010	0.007	0.036	0.012

جدول ۶

و در نهایت با استفاده از فرمول های مطرح شده و انجام محاسبات مراحل مختلف تکنیک کوپراس جدول ذیل حاصل گردید:

	S+j	S-j	Q j	N j	رتبه
EDD	0.106	0.017	0.142	100	1

CR	0.098	0.025	0.123	86.62	5
LCFS	0.095	0.023	0.122	85.92	6
FCFS	0.101	0.024	0.127	89.84	3
Slack	0.103	0.026	0.127	89.44	4
LPT	0.097	0.026	0.121	85.21	7
SPT	0.106	0.020	0.137	96.48	2

جدول ۷

نتیجه گیری

با توجه به رتبه بندی انجام شده در جدول شماره ۷ روش های توالی عملیات بر اساس معیارهای ارزیابی الویت بندی می گردید و رتبه های حاصل به ترتیب زیر می باشد :

EDD > SPT > FCFS > SLACK > CR > LCFS > LPT

همچنین الویت بندی معیارهای ارزیابی با در نظر گرفتن اوزان به دست آمده از روش آنتروپی شانون به ترتیب ذیل است:

C3>C7>C2>C8>C5>C6>C4>C1

منابع و مراجع

- [۱] اصغرپور، محمد جواد، ۱۳۸۱، تضمیم گری های چند معیاره، انتشارات دانشگاه تهران.
- [۲] حیدری، علی؛ حیدری، محمد، ۱۳۸۷، انتخاب پیمانکاران به کمک روش AHP، کنفرانس ملی مهندسی ارزش در صنعت ساختمان، تهران.
- [۳] رجایی، حسن؛ حضرتی، ایوب، ۱۳۸۷، ارائه مدل تضمیم گیری چند معیاره Fuzzy SAW و Fuzzy Topsis برای پیش اصلاحی و انتخاب پیمانکاران و مقایسه نتایج آنها، چهارمین کنفرانس مدیریت پژوهش.
- [۴] رزمی، جعفر؛ حاله، حسن؛ مشکین فام، حسن، ۱۳۸۶، ارزیابی و انتخاب پیمانکاران عمرانی در مناقصه ها با استفاده از تضمیم گیری چند شاخصه فازی، - پنجمین کنفرانس بین المللی مدیریت، تهران.
- [۵] زارع مهر جودی، یحیی؛ مؤمنی، حجت الله؛ برقی، شاهین، ۱۳۸۹، الگوی ارزیابی و انتخاب پیمانکاران در پژوهه های پتروشیمی؛ رویکرد تکنیک های تضمیم گیری تکنیک بودا، نشریه کاوش های مدیریت بازار گانی، شماره ۹، صص ۵۰-۲۷.
- [۶] عباس نیا، رضا؛ افشار، عباس؛ اشتهرادریان، احسان، ۱۳۸۴، روشی نوین در ارزیابی پیش صلاحیت پیمانکاران، مجله بین المللی علوم مهندسی دانشگاه علم و صنعت ایران.
- [۷] مظاہری زاده، یونس؛ ناجی عظیمی، زهرا؛ پویا، علیرضا، ۱۳۹۲، شناسایی و ارزیابی شاخص های مؤثر در انتخاب پیمانکاران پژوهه های فایناس شرکت آب و فاضلاب مشهد، ششمین کنفرانس بین المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات.
- [۸] نصرالهی، مهدی، ۱۳۹۴، به کارگیری F-PROMETHEE، برای ارزیابی و رتبه بندی پیمانکاران پژوهه های عمرانی، نشریه مدیریت صنعتی، شماره ۱۶ صص ۱۷۵-۱۸۸.
- [9] Ahari, R. & Niaki, S.T.A.(2014). Contractor selection in Gas well-drilling Projects with Quality Evolution using Neuro-Fuzzy Networks. 2014 international conference on Future information Engineering, 274-279.
- [10] Al-Harbi KM2001 International journal of project management. 1919-27.
- [11] Allahverdi A. Gupta J.N.D. Aldowaisan T., 1999. A review of scheduling research involving setup considerations, OMEGA, International Journal of Management Science 27, 219–239.
- [12] Allahverdi A. Ng C.T. Cheng T.C.E. Kovalyov M.Y., 2008. A survey of scheduling problems with setup times or costs, European Journal of Operational Research 187, 985-1032.
- [13] Bryan A., Norman, 1999. Scheduling flowshops with finite buffers and sequence-dependent setup times, Computers & Industrial Engineering 36(1), 163-177.
- [14] Campbell H.G. Dudek R.A. Smith M.L., 1970. A heuristic algorithm for the n job, m machine sequencing problem. Management Science 16(10), B630–B637.
- [15] Cheng T.C.E. Gupta J.N.D. Wang G., 2000. A review of flowshop scheduling research with setup times. Production and Operations Management 9, 262–282.
- [16] complex world.RWS publications.
- [17] da Silva AC, Belderrain MC and Pantoja FC 2011Journal of Aerospace Technology and
- [18] Dalalah D, Al-Oqla F and Hayajneh M 2010Jordan Journal of Mechanical and Industrial
- [19] Dashti, M., Mirani, M. & Karimiyan, M. (2011). Evaluation and Selection of Contractors, Construction projects using the FMADM algorithm, National Congress of structures, road, architecture, chaloos, Islamic Azad university chaloos Branch. (in Persian).
- [20] Deepu Philip, 2005. Scheduling Reentrant Flexible Job Shops With Sequence Dependent Setup Times, MS Thesis, Montana State University.Economics.138215-41.
- [21] Ekşioğlu B. Ekşioğlu S.D. Jain P., 2008. A tabu search algorithm for the flowshop scheduling problem with changing neighborhoods. Computers & Industrial Engineering 54, 1-11.
- [22] Eren T. Güner E., 2006. A bicriteria scheduling with sequence-dependent setup times, Applied Mathematics and Computation 179(1), 378-385.
- [23] Garey M.R. Johnson D.S. Sethi R., 1976. The complexity of flowshop and job-shop scheduling, Mathematics of Operations Research 1(2), 117–129.

- [24] Gupta D., Magnusson T., 2005. The capacitated lot-sizing and scheduling problem with sequence-dependent setup costs and setup times, *Computers & Operations Research* 32, 727-747.
- [25] Gupta N.D., 1975. A search algorithm for the generalized flowshop scheduling problem, *Computer and Operation Research* 2, 83-90.
- [26] Gupta S.R. Smith J.S., 2006. Algorithms for single machine total tardiness scheduling with sequence dependent setups. *European Journal of Operational Research* 175, 722-739.
- [27] Handbook of Industrial Engineering, 2th Edition., 1992. Salvendy G, editor.Ostwald P.F.
- [28] Johnson S.M., 1954. Optimal two- and three-stage production schedules with setup times included. *Naval Research Logistics Quarterly* 1, 61–68.
- [29] Kenneth R. Baker, 1996. Elements of sequencing and scheduling, 3th. University of Toronto bookstores.
- [30] Liang WY 2003Benchmarking: An International Journal.10445-56.
- [31] Logendran R. Salmasi N. Sriskandarajah C., 2006. Two-machine group scheduling problems in discrete parts manufacturing with sequence-dependent setups, *Computers & Operations Research* 33(1) 158-180.
- [32] Luthra S, Mangla SK, Xu L and Diabat A 2016International Journal of Production Economics.
- [33] Management. 2339-48.
- [34] Nawaz M. Enscore Jr E.E. Ham I., 1983. A heuristic algorithm for the m-machine, n-job flowshop sequencing problem. *OMEGA, The International Journal of Management Science* 11(1), 91–95.
- [35] Okoroh, MI. & Torrance VB.A Model for subcontractor selection in refurbishment projects. *Construction Management and Economics* 1999, 17(3):315-28.
- [36] Osman I.H. Potts C.N., 1989. Simulated annealing for permutation flowshop scheduling. *OMEGA, The International Journal of Management Science* 17(6), 551–557.
- [37] Parthasarathy S. Rajendran C., 1997. An experimental evaluation of heuristics for scheduling in a real-life flowshop with sequence-dependent setup times of jobs, *International Journal of Production Economics* 49(3), 255-263.
- [38] Paulo M. França, Gupta J.N.D. Alexandre S., Mendes, Pablo Moscato, Klaas J. Veltink, 2005. Evolutionary algorithms for scheduling a flowshop manufacturing cell with sequence dependent family setups, *Computers & Industrial Engineering* 48(3), 491-506.
- [39] Pinedo M., 1995. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. 4th. Prentice Hall, NJ.
- [40] Pitchipoo, P,... << COPRAS DECISION Model to optimize Blind spot in Heavy Vehicles >> *procedia Engineering* 97 (2014) p. 1049-1059.
- [41] Rangone A 1996International Journal of Operations & Production Management.16104-19.
- [42] Reeves C.R., 1995. A genetic algorithm for flowshop sequencing. *Computers & Operations Research* 22(1), 5–13.
- [43] Ríos-Mercado R.Z. Bard J.F., 1998. Computational experience with a branch-and-cut algorithm for flowshop scheduling with setups. *Computers & Operations Research* 25(5), 351–366.
- [44] Ríos-Mercado R.Z. Bard J.F., 1999a. A branch-and-bound algorithm for permutation flowshops with sequence-dependent setup times. *IIE Transactions* 31, 721–731.
- [45] Ríos-Mercado R.Z. Bard J.F., 1999b. An enhanced TSP-based heuristic for makespan minimization in a flowshop with setup times. *Journal of Heuristics* 5, 53–70.
- [46] Ruiz R. Maroto C., 2004. A comprehensive review and evaluation of permutation flowshop heuristics. *European Journal of Operational Research* [to appear].
- [47] Ruiz R. Stutzle T., 2008. An iterated greedy heuristic for the sequence dependent setup times flowshop with makespan and weighted tardiness objectives. *European Journal of Operational Research* 187, 1143-1159.

- [48] Ruiz, R. Maroto C. Alcaraz J., 2005. Solving the flowshop scheduling problem with sequence dependent setup times using advanced metaheuristics, European Journal of Operational Research 165(1) 34-54.
- [49] Ruiz-Torres A.J. Centeno G., 2008. Minimizing the number of late jobs for the permutation flowshop problem with secondary resources. Computers & Operations Research 35, 1227-1249.
- [50] Saaty TL 1990 Decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decisions in a
- [51] Saaty TL 1990 European journal of operational research. 489-26.
- [52] Saaty TL and Kearns KP 2014 Analytical planning: The organization of system. Elsevier.
- [53] Schaller E. Gupta J. N. D. Vakharia J., 2000. Scheduling a flowshop manufacturing cell with sequence dependent family setup times, European Journal of Operational Research 125(2), 324-339.
- [54] Schaller J. Gupta J.N.D. Vakharia A.J., 2000. Scheduling a flowline manufacturing cell with sequence dependent family setup times. European Journal of Operational Research 125, 324–339.
- [55] Sivakumar R, Kannan D and Murugesan P 2015Resources Policy. 4664-75.
- [56] Stafford F. Tseng T., 2002. Two models for a family of flowshop sequencing problems, European Journal of Operational Research 142(2), 282-293.
- [57] Stafford Jr E.E. Tseng F.T., 1990. On the Srikanth-Ghosh MILP model for the $N \times M$ SDST flowshop problem. International Journal of Production Research 28(10), 1817–1830.
- [58] Subramanian N and Ramanathan R 2012 International Journal of Production
- [59] Tahriri F, Osman MR, Ali A, Yusuff RM and Esfandiari A 2008Journal of Industrial
- [60] Tang L. Huang L., 2005. Optimal and near-optimal algorithms to rolling batch scheduling for seamless steel tube production, International Journal of Production Economics 105, 357–371.
- [61] Tseng F.T. Stafford Jr E.E., 2001. Two MILP models for the $N \times M$ SDST flowshop sequencing problem. International Journal of Production Research 39(8), 1777–1809.
- [62] Wang X. Cheng T.C., 2007. An approximation scheme for two-machine flowshop scheduling with setup times and an availability constraint. Computers & Operations Research 34, 2894-2901.
- [63] Widmer M. Hertz A., 1989. A new heuristic method for the flowshop sequencing problem. European Journal of Operational Research 41, 186–193.