Archive of SID

دسترسی در سایتِ http://jnrm.srbiau.ac.ir
سال پنجم، شماره بیست و یکم، آذر و دی ۱۳۹۸
شماره شاپا: ۲۵۸۸-۵۸۸X

پژوهش‌های نوین در ریاضی

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

ارایه مدل ریاضی و الگوریتم فراابتکاری جهت تعیین توالی عملیات در صنعت ماشین‌سازی

محمد فلاح[۱*]، ندا گورانی[۲]

[۱و۲] گروه مهندسی صنایع، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ ارسال مقاله: ۹۷/۱۱/۱۶ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۵/۲۸

چکیده

میزان در این مقاله مسئله تعیین توالی ماشین‌ها در خط مونتاژ نهایی با در نظر گرفتن تامین قطعات بررسی شده است. بدین جهت یک مدل پایه‌ای برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح توسعه یافته و بر مبنای آن، الگوریتم حل مسئله مطابق با رویکرد واکنشی و مبتنی بر تجدید توالی عملیات، توسعه یافته است. همچنین با توجه به Np-hard بودن مسئله، یک روش فرا ابتکاری مبتنی بر الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر ارائه گردیده است. جهت ارزیابی روش حل پیشنهادی، از نمونه مسائل کتابخانه‌ای بهره گرفته و جهت شبیه‌سازی رخداد اختلال، مسائل آزمون در ابعاد بزرگ، متوسط و کوچک طراحی شده‌اند. نتایج بدست آمده بیانگر آن است که در سه دسته مسائل، روش فرا ابتکاری پیشنهادی در مقایسه با بهترین روش موجود، تا حد بسیار مناسبی به آن نزدیک شده و علاوه بر این، از جهت زمان حل نیز بسیار کاراتر از روش حل بهینه بوده و پاسخگوی نیازهای آنی به روزآوری توالی عملیات در مواجهه با اختلالات ایجاد شده در خط تولید خودرو می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تعیین توالی عملیات ماشین‌سازی، اختلال تامین، ثبات، رویکرد واکنشی.

*. عهده‌دار مکاتبات: Emai: mohammad.fallah43@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

افزایش رقابت در بازارهای جهانی ماشین‌های تولیدی، محیط این صنعت را از جهت تعداد و میزان پیچیدگی چالش‌های پیش رو با تغییرات شگرفی روبرو نموده است. شرکتهای حاضر در این بازار جهت حفظ موقعیت خود، نه تنها لازم است عملکرد ماشین‌های تولیدی خویش را بهبود داده و مشخصه‌های لازم را به آنها اضافه نمایند، بلکه لازم است تا از طریق بهینه سازی فرآیندهای تولیدی هزینه‌های عملیاتی خود را کاهش دهند. از جانب دیگر استراتژی غالب در ماشین‌سازان مطرح، از سیستم تولید برای انبار به سیستم تولید مطابق سفارش تغییر نموده است. با پی گرفتن این رویکرد، از آن جایی که سفارش مشتریان تعیین کننده خواهد بود، طیف وسیعی از ماشین‌های مختلف در هر روز تولید شده و بدین ترتیب توالی ماشین‌های تولیدی به‌صورت روزانه تغییر خواهد نمود. اگر ماشین تراش در انواع مختلف آنها بصورت مناسبی زمانبندی نشوند، ایستگاه‌های واقع در خط مونتاژ با اضافه ظرفیت روبرو می‌شوند که به معنی کار اضافی برای کارگران می‌باشد. این مطلب نیز منجر به خستگی کارگران، وقوع اشتباه در عملیات مونتاژ و نهایتاً تحمیل هزینه‌های فراوان به ماشین‌سازان می‌گردد. بدین ترتیب هدف آن است که به طریقی ماشین‌های موجود در خط تولید زمانبندی شوند که هزینه‌ها کاهش یافته و تا حد ممکن قیود ظرفیتی ناشی از محدودیت‌های منابع رعایت گردند. در چنین فضایی مسئله تعیین توالی ماشین‌ها به شکل صنعتی آن تعریف می‌گردد. در کارخانجات ماشین سازی، بطور معمول برنامه و توالی تولید چند روز پیش از اجرای آن تعیین و به کلیه واحدهای تولیدی از جمله تامین کنندگان قطعات اعلام می‌گردد. اما در عمل، آن چه که برنامه‌ریزی شده است با اختلال روبرو شده و امکان اجرای کامل نمی‌یابد. گونه‌ای از موارد اختلال، در دسترس نبودن قطعات مورد نیاز جهت تولید یک ماشین تراش خاص در خط مونتاژ نهایی می‌باشد. در چنین حالتی ماشین برنامه شده از لیست برنامه خارج شده و ماشین تراش بعدی جایگزین می‌شود. این موضوع باعث نوعی آشفتگی در خط تولید و زنجیره تامین محصول می‌گردد. تغییر توالی اولیه و ایجاد توالی جدید، تحت عنوان مسئله تعیین مجدد توالی عملیات شناخته می‌شود. در این مقاله مسئله تعیین مجدد توالی عملیات ماشین‌ها در خط مونتاژ نهایی با هدف حداقل نمودن نقض محدودیت‌های ظرفیتی و نیز حداقل نمودن تغییرات توالی اولیه تولید مورد بررسی قرار می‌گیرد. مسئله تجدید توالی عملیات تولید طی سالیان اخیر در سطح جهانی مورد توجه قرار گرفته است (فرانز و همکاران (۲۰۱۴)، بویسن و همکاران (۲۰۱۲)، بویسن و همکاران (۲۰۱۱)، یانگ و همکاران (۲۰۱۳)، سیالا و همکاران (۲۰۱۵)) وجه مشخصه این پژوهش نسبت به پژوهش‌های قبلی، در نظر گرفتن شرایط دینامیک برای رخداد اختلال می‌باشد. بدین جهت شرایطی در نظر گرفته شده است که به محض رخداد اختلال، با در پیش گرفتن رویکرد واکنشی بصورت انلاین، تصمیم‌گیری شود. در رویکرد واکنشی، هنگام تعیین توالی اولیه، عامل عدم قطعیت مورد نظر قرار نمی‌گیرد. در این حالت، وقوع یک رخداد تصادفی و پیش‌بینی نشده باعث تغییر برنامه اولیه شده و در پیش گرفتن اقدام واکنشی ضروری می‌گردد. بنابراین، رویکرد واکنشی به دنبال آن است که بتواند در قبال اختلالات حادث شده بهترین واکنش ممکن را نشان دهد. این واکنش می تواند به شکل تغییر و بهبود توالی اولیه یا ایجاد یک توالی به کلی جدید باشد. در این مقاله برای اولین بار در یک رویکرد واکنشی علاوه بر تابع هدف کلاسیک تعیین توالی عملیات خودرو، حفظ ثبات توالی اولیه نیز در مدل ریاضی حل مسئله وارد شده است. در عالم واقع، هرگاه توالی اولیه با اختلال روبرو می شود، برخی از کارها بایستی از موقعیت اولیه‌شان در توالی اولیه خارج شوند. بدیهی است جهت انجام عملیات تولیدی مورد نیاز این گونه کارها تجدید توالی عملیات ضروری می‌گردد. فعالیت یافتن موقعیت جدید برای کارهایی که در توالی اولیه دچار اختلال شده‌اند، موضوع اصلی این مقاله می‌باشد

در ادامه این مقاله، ابتدا ادبیات موضوع مرور خواهد شد. سپس مسئله مورد بررسی بصورت دقیق تشریح شده و یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح برای آن ارائه می‌گردد. پس از آن یک الگوریتم حل برای مسئله ارائه می‌شود. در نهایت نتایج حاصل از بکارگیری الگوریتم

www.SID.ir

Archive of SID

پیشنهادی جهت حل مسائل واقعی ارائه و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- مرور ادبیات

مساله توالی عملیات مونتاژ ماشین برای اولین بار توسط پارلو و همکاران (۱۹۸۶) مطرح گردید. پس از مقاله مذکور، تا کنون تحقیقات متعددی با محوریت موضوع تعیین توالی عملیات مونتاژ در خطوط مونتاژ انتشار یافته است. با توجه به تنوع مقالات انتشار یافته، به جهت ایجاد ساختار مطالعاتی مورد نیاز، مقالات نمونه در سه حوزه مورد بررسی قرار می‌گیرد: الف- انواع مسائل تعیین توالی اولیه عملیات مونتاژ، ب- روش‌های حل مسئله تعیین توالی عملیات مونتاژ، ج-تجدید توالی عملیات مونتاژ با در نظر گرفتن بافرهای میانی. جهت مطالعه بیشتر می‌توان به مقالات مروری بویسن و همکاران (۲۰۰۹) و سولنون و همکاران (۲۰۰۸) مراجعه نمود.

الف- انواع مسائل تعیین توالی اولیه عملیات منتاژ: به صورت کلاسیک جهت فرمول‌بندی این مسئله سه رویکرد متفاوت در منابع موجود می‌باشد که عبارتند از: ۱) فاصله‌گذاری در مونتاژ که به قطعات خاصی نیاز دارند در خط مونتاژ، ۲) زمانبندی یکنواخت، ۳) تعیین توالی عملیات خطوط مونتاژ ترکیبی با هدف کمینه‌سازی نیروهای پشتیبان. در ادامه برای هر یک از رویکردهای سه گانه فوق، نمونه مقالات منتخب ارائه می‌گردد:

۱-الف) فاصله‌گذاری مونتاژ که به قطعات خاصی نیاز دارند در خط مونتاژ: دینگ و همکاران (۲۰۰۸) مسئله تعیین توالی عملیات در خط مونتاژ کارخانه ماشین‌سازی را با مسئله تعیین توالی عملیات ترکیبی تلفیق نموده و برای این مسئله یک رویه ابتکاری ارائه نموده‌اند. ایشان در رابطه با قطعات خاصی که در خط مونتاژ نهایی بر روی ماشین‌ها نصب می‌شوند، پنج دسته از از اهداف را قائل شده‌اند: ۱) الگوی تکراری، ۲) اندازه دسته رنگ، ۳) قوانین فاصله‌گذاری (مشابه با تعریف کلاسیک مسئله تعیین توالی عملیات)، ۴) تعیین توالی عملیات به گونه‌ای که ماشین‌های دارای یک قطعه خاص بصورت یکنواخت پخش شده باشند، ۵) تعیین نرخ مشخص به ازای هر قطعه خاص به گونه‌ای که تعداد ماشین هایی که در هر ساعت دارای آن قطعه خاص هستند از این مقدار تجاوز ننماید. رویه ارائه شده، ابتدا از طریق یک روال سازنده بهبود دهنده، توالی اولیه را می سازد. سپس از میان کلیه اهداف پنج گانه، آن هدفی که در بدترین وضعیت قرار دارد در نظر گرفته و سعی می‌نماید تا از طریق جابجایی ماشین‌ها در فرآیند، توالی جدیدی ایجاد نماید که نسبت به توالی اولیه، هدف مورد نظر بهبود یابد. این رویه تا هنگامی که فرصت بهبود وجود داشته باشد تکرار می‌شود. نهایتاً نیز سعی می‌شود تا با انجام یک جستجوی محدود در همسایگی توالی ایجاد شده در گام قبلی، جواب بهتری ایجاد گردد.

جولی و فرین (۲۰۰۸) نسخه صنعتی مسئله تعیین توالی عملیات را مورد بررسی قرار داده‌اند. ایشان در مقاله خود اهداف سالن مونتاژ و کارهای تکمیلی را در نظر گرفته و طی دو رویکرد تک هدفه و چند هدفه به حل این مسئله پرداخته‌اند. بدین جهت یک روش حل ابتکاری شامل یک الگوریتم پیش رونده سازنده و سه روش فراابتکاری شامل تابکاری شبیه سازی شده، جستجوی همسایگی متغیر و الگوریتم تکاملی ارائه و مورد مقایسه قرار گرفته است.

۲-الف) زمانبندی یکنواخت: یاووز (۲۰۱۳) به حل مسئله ترکیبی تعیین توالی عملیات و زمانبندی یکنواخت پرداخته است. محقق در این مقاله، به دنبال این بوده است که برنامه تولید بهینه‌ای بیابد که مدل‌های مختلف را بصورت یکسان در طول افق برنامه‌ریزی پخش نموده و در عین حال محدودیت‌های مرتبط با قطعات خاص را نیز رعایت نماید. در این تحقیق یک الگوریتم جستجوی شعاعی تکرارشونده ارائه شده که هم می‌توان به‌عنوان یک روش ابتکاری و هم به‌عنوان یک روش حل دقیق از آن استفاده نمود

۳-الف) تعیین توالی عملیات خطوط مونتاژ ترکیبی با هدف کمینه سازی نیروهای پشتیبان: بویسن و همکاران (۲۰۱۱) مسئله تعیین توالی عملیات خطوط مونتاژ ترکیبی را با هدف کمینه‌سازی نیروهای پشتیبان مورد نظر قرار داده اند. ایشان جهت حل این مسئله روش‌های دقیق و ابتکاری مختلفی ارائه و مورد مقایسه قرار داده‌اند.

ب) روش‌های حل مساله تعیین توالی عملیات: بخش قابل توجهی از ادبیات موضوع مسئله تعیین توالی عملیات

www.SID.ir

Archive of SID

ماشین به انواع روش‌های حل این مسئله اختصاص یافته است. مسئله تعیین توالی عملیات بطور قوی NP-hard است (کیس (۲۰۰۴)، استلون و گاردی (۲۰۱۳)). لذا جهت حل آن روش‌های حل مختلفی شامل روش‌های دقیق، ابتکاری و ترکیبی ارائه شده است. یکی از روش‌های حل دقیق این مسئله، روش برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح می‌باشد که گراول و همکاران (۲۰۰۶) آن را برای حل مسئله تعیین توالی عملیات مورد استفاده قرار داده‌اند. فلایندر و بویسن (۲۰۰۸) ضمن تعیین حدود پایین و قواعد تعیین توالی غالب برای مسئله تعیین توالی عملیات یک الگوریتم شاخه و کران پراکنده برای آن ارائه نمودند. همچنین روش‌های ابتکاری و فراابتکاری متعددی نیز برای حل مسئله تعیین توالی عملیات توسعه یافته‌اند که از آن میان می‌توان به روش‌های ابتکاری سازنده، روش‌های جستجوی محلی، الگوریتم‌های تکاملی و کلونی مورچگان اشاره نمود (گوتلیب و همکاران (۲۰۰۳)، گاگنی و همکاران (۲۰۰۶)، گاورانوویک (۲۰۰۸)).

ج) تجدید توالی عملیات مونتاژ با در نظر گرفتن بافرهای میانی: از آن جایی که اختلالات پیش‌بینی نشده، معمولاً باعث غیر موجه شدن توالی تولید اولیه شده و یا آن را از بهینگی خارج می‌نماید، لذا یک سیستم برنامه‌ریزی و کنترل تولید موثر بایستی تمهیداتی را فراهم آورد که بتوان بواسطه آن یک توالی از پیش تعیین شده را حتی در حین اجرا، تغییر داد. این مسئله تحت عنوان تعیین مجدد توالی عملیات در ادبیات موضوع، مطرح می‌باشد. در این زمینه عمدتاً دو گونه اختلال می‌توان طرح نمود: اختلالات با ماهیت استوکاستیک (احتمالاتی) که رویکردهای معمولی بر آنها موثر واقع نمی‌شود و تغییرات ناگهانی که لازم است از طریق سیاستهای انعطاف پذیر به این گونه تغییرات عکس العمل نشان داد. تعیین مجدد توالی عملیات عبارت است از باز آرایی یک توالی داده شده از اشیاء با هدف برآورده شدن محدودیت‌های موجود با در نظر گرفتن امکان‌پذیری تغییرات مرتبط، به نحوی که برخی از توابع هدف بهینه شوند. بویسن و همکاران (۲۰۰۹) در مقاله مروری خود، مقالات انتشار یافته در زمینه مسئله تعیین مجدد توالی عملیات خطوط مونتاژ ترکیبی در مواجهه با انواع اختلالات مقطعی را مورد بررسی قرار داده‌اند. ایشان چهار نوع انباره میانی متفاوت را جهت مدیریت اختلالات و تعیین مجدد توالی عملیات معرفی نموده و سپس مطالعات صورت گرفته در این زمینه را بر حسب این مشخصه، طبقه‌بندی و تشریح نموده‌اند.

دینگ و سان (۲۰۰۴) دو گونه مختلف تجدید توالی عملیات با در نظر گرفتن بافرهایی از نوع بانک‌های ترکیبی را مورد بررسی قرار داده‌اند. در یک حالت تجدید یک توالی اولیه پس از سالن رنگ مورد نظر قرار گرفته و در حالت دیگر تعیین اندازه دسته رنگ قبل از سالن رنگ مورد نظر قرار گرفته است. در هر دوی این حالات، سیاست‌های ساده پر و رهاسازی جهت یک محیط تجدید توالی پویا ارائه شده اند. بعلاوه، برای مسئله تعیین اندازه دسته رنگ در حالت استاتیک آن، یک مدل عدد صحیح مخلوط ارائه شده است.

بوسین و همکاران (۲۰۱۱) با در نظر گرفتن انباره‌های میانی خاصی تحت عنوان میزهای متحرک، مسئله کلاسیک تعیین توالی عملیات مونتاژ را مورد بررسی قرار دادند. ایشان برای حل این مسئله مدل عدد صحیح و روش گراف را مورد استفاده قرار داده‌اند. سپس ساختار گراف فوق در الگوریتم‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین ایشان نشان داده‌اند که در شرایط دنیای واقعی وقتی که نیاز به بازیابی توالی اولیه می‌باشد و در عین حال محدودیت‌های توالی عملیات بایستی به عنوان قیود سخت مورد نظر قرار گیرند، الگوریتم حل ایشان عملکرد مطلوبی دارد. ایشان نشان داده‌اند که این الگوریتم بصورت کاملاً واضحی بر روش‌های سنتی متداول در شرکت‌های ماشین‌سازی آلمانی (بوش) ارجحیت دارد.

طبق بررسی‌های انجام شده در ادبیات موضوع، تجدید توالی عملیات ماشین‌سازی، تا کنون دو موضوع ثبات توالی اولیه و نیز اختلالات تامین، مورد بررسی قرار گرفته است و در این مقاله به توسعه مدل و حل برای آن نیز ارائه می‌گردد.

۳- مدل ریاضی مساله

در این تحقیق مساله تعیین توالی عملیات مونتاژ ماشین‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

در خط مونتاژ نهایی با در نظر گرفتن اختلال در تامین قطعات، مورد بررسی قرار می‌گیرد. در فضای رقابتی صنعت ماشین‌سازی، عملکرد خطوط مونتاژ ترکیبی وابسته به تعیین توالی صحیح مدل‌های مختلف ماشین‌ها می‌باشد. این موضوع از جهت تاثیر بر بهره‌وری منابع تولید و نیز برآورده نمودن سفارشات مشتریان مطابق موعدهای تحویل، دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد. در شرایط واقعی تولید همواره انواع اختلالات، اجرای کامل برنامه‌های از پیش تعیین شده را با مانع روبرو می‌سازد. مسئله مورد نظر در این مقاله در چنین شرایطی تعریف می‌گردد.

یک کارخانه ماشین‌سازی شامل سه خط مونتاژ بدنه، رنگ و مونتاژ نهایی می‌باشد. خط تولید بدنه جایی است که روبات‌ها و اپراتورها پنل‌های فلزی را به یکدیگر جوش می‌دهند تا در نهایت سازه اصلی یک ماشین (بدنه) شکل بگیرد. سالن رنگ مکانی است که بدنه‌ها در آن بوسیله ربات‌های پاشش، رنگ‌آمیزی می‌شوند. سرانجام در خط مونتاژ نهایی، ماشین ها از ایستگاه‌های کاری مختلف‌گذر نموده و بر روی آن فرایندهای مختلف انجام شده و قطعات مورد نیاز بر روی آن نصب می‌گردد. مجموعه سالن‌های تولیدی سه گانه فوق به صورت کلاسیک، به عنوان محدوده مسئله تعیین توالی عملیات ماشین، بیان می‌گردد. فرایند برنامه‌ریزی در شرکت‌های ماشین‌سازی بدین صورت است که ابتدا روزهای کاری هفته، به مجموعه ماشین‌های سفارش شده مطابق موعد تحویل آنها و محدودیت‌های خط تولید اختصاص می یابد. مجموعه ماشین هایی که در این مرحله تعریف می‌شوند به‌هیچ عنوان قابل تغییر نمی‌باشند. سپس بایستی ترتیب ورود این ماشین‌ها به خط مونتاژ مشخص گردد، بطوری که محدودیت‌های سالن‌های مونتاژ به بهترین نحو برآورده گردد. توالی تعیین شده به کلیه اعضا زنجیره تامین اعلام می‌گردد تا براساس آن قطعات مورد نیاز در زمان مقرر و بصورت سنکرون در خط مونتاژ تحویل شوند. در این مقاله تعیین توالی عملیات تولید ماشین با توجه به محدودیت‌های سالن مونتاژ نهایی و نیز حفظ ثبات جریان مواد، مورد نظر قرار گرفته است.

توالی عملیات ایجاد شده فقط در صورتی به صورت کامل در سالن مونتاژ نهایی عملیاتی می‌گردد که کلیه فرایندهای تولیدی و لجستیکی به صورت کامل و سر وقت اجرا شوند. این در حالی است که انواع اختلالات مختلف، حادث شده و اجرای کامل توالی اولیه را با مانع مواجه می‌سازند. به‌عنوان مثال، مشکلات لجستیکی یا تولیدی در مراحل اولیه تولید، می‌توانند باعث تاخیر در رسیدن بدنه‌های مورد نیاز با مشخصات مربوطه به سالن مونتاژ نهایی شده و بدین ترتیب تولید ماشین منطبق با توالی اولیه با تاخیر روبرو می‌شود. طبقه مهمی از انواع اختلالات به زنجیره تامین مرتبط می‌باشند. اختلال در زنجیره تامین این گونه تعریف می‌گردد: "رخدادی که جریان مواد در زنجیره تامین را قطع نموده و منجر به توقف ناگهانی جریان محصولات می‌گردد"، (وو و همکاران (۲۰۰۷)) به‌عنوان مثال، اگر قطعه خاصی که در خط مونتاژ نهایی مورد نیاز است در ایستگاه مربوطه با کسری مواجه شود، در این صورت ماشین یا ماشین هایی که به این قطعه نیاز دارند، بلوکه شده و نهایتاً به تعویق می‌افتند. پس از رسیدن قطعه دارای کسری و رفع اختلال تامین، ماشین یا ماشین‌هایی که بلوکه شده از این حالت خارج می‌شوند. برای این گونه ماشین‌ها بایستی موقعیت دیگری در توالی اولیه تعیین گردد. مسئله‌ای که در این مقاله به آن می‌پردازیم تعیین توالی خودروهای رفع بلوکه شده پس از رخداد اختلال می‌باشد. در این مسئله دو هدف مورد نظر می‌باشد: حداقل نمودن نقض محدودیت‌های نسبتی و حداقل نمودن تغییرات توالی اولیه. بواسطه تحقق هدف اول محدودیت‌های عملیاتی مرتبط با سالن مونتاژ محقق می‌گردد و با تحقق هدف دوم، ثبات جریان مواد به عنوان یک شاخص کلیدی در نیل به تولید بدون آشفتگی در طول زنجیره تامین ماشین‌ساز محقق می‌گردد.

مدل ریاضی ارائه شده در این مقاله بر پایه مقاله پرانداستتر و همکاران (۲۰۰۸) توسعه یافته است. لازم به توضیح است در این مقاله برای اولین بار علاوه بر تابع هدف کلاسیک مسئله تعیین توالی عملیات، تابع هدف ثبات نیز در مدل ریاضی مسئله درنظر گرفته شده و در همین راستا یک محدودیت نیز به مجموعه محدودیت‌های مسئله اضافه شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

پارامترهای مسئله

C_{onf}: تعداد پیکربندی‌های موجود

NP_{os}: تعداد کل ماشین‌هایی که توالی آنها بایستی مشخص شود.

N_{cp} / Q_{cp}: محدودیت نسبتی برای قطعه cp. یعنی در یک توالی شامل Qcp ماشین، تنها Ncp ماشین از آنها می‌توانند دارای قطعه cp باشند.

δ_k: تقاضا برای ماشین با پیکربندی k

$AP_{cp,k}$: یک ماتریس صفر و یک که نشان می‌دهد آیا در پیکربندی k، قطعه cp بکار رفته است یا خیر.

$EP_{cp,m}$: یک ماتریس صفر و یک که نشان می‌دهد آیا m اُمین ماشین موجود از دوره برنامه‌ریزی قبل دارای قطعه cp بوده است یا خیر.

d_{cp}: تعداد دفعاتی که قطعه cp مورد نیاز است.

متغیرهای تصمیم‌گیری

$p_{k,i}$: متغیر صفر و یک که نشان می دهد آیا ماشین موجود در موقعیت i دارای پیکربندی k است یا خیر.

$r_{cp,i}$: متغیری که میزان استفاده از قطعه cp تا موقعیت i را نشان می‌دهد.

$g_{cp,i}$: متغیری که تعداد نقض محدودیت‌های نسبتی توسط قطعه cp در طول پنجره‌ای که در موقعیت i پایان می‌یابد را نشان می‌دهد.

$C1_i$: زمان تکمیل ماشین i ام مطابق با توالی اولیه.

$C2_i$: زمان تکمیل ماشین i ام مطابق با توالی ثانویه پس از رخداد اختلال.

Z1: تابع هدف اول، نقض محدودیت‌های نسبتی.

Z2: تابع هدف دوم، جابجایی ماشین‌ها در توالی پس از اختلال نسبت به توالی اولیه.

$$MIN\ z1 = \sum_{cp}\sum_{i} g_{cp,i} \quad (۱)$$

$$MIN\ z2 = \sum_{i}(c2_i - c1_i) \quad (۲)$$

S.T:

$$\sum_{i=1}^{NPos} p_{k,i} = \delta_k \quad (۳)$$

$$\sum_{k=1}^{NConf} p_{k,i} = 1 \quad (۴)$$

$$\sum_{i=1}^{NPos}\sum_{k=1}^{NConf} AP_{cp,k}\cdot p_{k,i} = d_{cp} \quad (۵)$$

$$r_{cp,i} \geq 0 \quad (۶)$$

$$r_{cp,1} = \sum_{k=1}^{NConf} AP_{cp,k}.\,p_{k,1} \quad (۷)$$

$$r_{cp,i} = r_{cp,(i-1)} + \sum_{k=1}^{NConf} AP_{cp,k}.\,p_{k,i} \quad (۸)$$

$$g_{cp,i} \geq r_{cp,i} + \sum_{m=1}^{Q_{cp}-1} EP_{cp,m} - N_{cp} \quad (۹)$$

$$g_{cp,i} \geq r_{cp,i} - r_{cp,(i-Q_{cp})} - N_{cp} \quad (۱۰)$$

$$C2_i = i.p_{k,i} \quad (۱۱)$$

$$Minimize\left(\alpha.\frac{z_1 - z_1^*}{z_1^- - z_1^*} + (1-\alpha).\frac{z_2 - z_2^*}{z_2^- - z_2^*}\right) \quad (۱۲)$$

تابع هدف اول (۱)، تعداد نقض محدودیت‌های نسبتی را اندازه‌گیری می‌نماید. تابع هدف دوم (۲)، میزان تغییرات یا جابجایی ترتیب ماشین‌ها در توالی پس از رخداد اختلال را نسبت به توالی اولیه اندازه‌گیری می‌نماید. تابع جابجایی این گونه تعریف می‌شود: فاصله مابین موقعیت یک ماشین در توالی واقعی با موقعیت همان ماشین در توالی اولیه (میسنر (۲۰۱۰). برای تبدیل تابع هدف دوم که به صورت قدر مطلق بوده و غیر خطی محسوب می‌شود به یک تابع خطی و تسهیل حل آن توسط نرم افزار، تابع هدف فوق را با حاصل جمع دو متغیر مجازی همیشه مثبت تحت عنوان انحراف مثبت و انحراف منفی جایگزین می‌نماییم. بدین ترتیب تابع هدف جدید مجموع دو متغیر فوق خواهد بود. جهت تعریف این دو متغیر، در محیط نرم افزار GAMS دو محدودیت به مجموعه محدودیت‌های مسئله اضافه می‌شود. محدودیت (۳)، تضمین می‌نماید که تعداد ماشین‌های دارای پیکربندی k که در توالی قرار گرفته‌اند درست برابر با مقدار δ_k باشد. محدودیت (۴)، تضمین می‌نماید که هر موقعیت تنها و تنها به یک پیکربندی اختصاص پیدا کند. محدودیت (۵)، برابری تعداد دفعات استفاده از هر قطعه با میزان مورد نیاز از آن قطعه را الزامی می‌سازد. برای شمارش تعداد دفعات نقض محدودیت‌های نسبتی، لازم است ابتدا تعداد دفعاتی که قطعه cp تا موقعیت i مورد استفاده قرار گرفته‌اند، شمارش نماییم. این کار توسط معادلات (۷) و (۸) انجام می‌شود. نامساوی (۶)، غیر منفی بودن متغیر $r_{cp,i}$ را

www.SID.ir

Archive of SID

الزامی می‌سازد. میزان نقض محدودیت‌های نسبتی صورت گرفته برای قطعه cp در طی پنجره زمانی منتهی به موقعیت i ام بواسطه نامساوی‌های (۱۰) و (۱۱) تعیین می‌گردد. نامساوی (۱۰) برای آن دسته از پنجره‌های زمانی بکار می‌رود که در آنها ماشین‌های باقیمانده از روز قبل به حساب می‌آیند و نامساوی (۱۱) برای سایر پنجره‌های زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. محدودیت (۹) نامنفی بودن این متغیر را تضمین می‌نماید. محدودیت (۱۲) نیز زمان تکمیل واقعی عملیات مونتاژ در توالی ثانویه پس از رخداد اختلال را محاسبه می‌نماید. جهت حل این مسئله چند هدفه، با استفاده از ضرائب α و α-1 به ترتیب برای Z1 و Z2، یک مسئله تک هدفه بدست می‌آوریم (تابع هدف تلفیقی ۱۳). این ضرائب به ترتیب نمایانگر وزن تابع هدف اول و دوم در مسئله تک هدفه حاصل می‌باشند. جهت جمع‌پذیر شدن این دو تابع هدف، با استفاده از رابطه زیر به مقیاس در آورده می‌شوند. در این رابطه Z^* و z^- به ترتیب بهترین و بدترین مقادیر بدست آمده برای تابع هدف مورد نظر می‌باشند.

$$\frac{z - z^*}{z^- - z^*} \qquad (۱۳)$$

۴- روش حل پیشنهادی

در ابتدا فرض می گردد که هیچگونه اختلالی وجود نداشته و کلیه قطعات مورد نیاز جهت تولید ماشین‌ها مطابق برنامه تولید روزانه در دسترس می‌باشند. در این صورت با فراخوان برنامه Optimizer، توالی اولیه تعیین شده و مطابق آن توالی، بدنه‌ها وارد سالن مونتاژ می‌شوند. جهت تعیین توالی اولیه، مسئله بهینه‌سازی تابع هدف اول (میزان نقض محدودیت‌های نسبتی z1) در قالب برنامه optimizer که تحت نرم افزار GAMS توسعه یافته است، حل می‌شود. لازم به توضیح است مسئله فوق الذکر مشتمل بر تابع هدف ۱ و محدودیت‌های ۳ الی ۱۱ می‌باشد. خروجی این برنامه نیز عبارت است از تقدم و تاخر مجموعه کلیه ماشین‌هایی که در افق برنامه‌ریزی بایستی تعیین توالی شوند با این فرض که هیچ گونه کسری قطعه‌ای در فرآیند مونتاژ آنها وجود نداشته باشد. سپس به صورت ناگهانی و پیش‌بینی نشده اختلال در تامین به صورت کسری برخی از قطعات مورد نیاز جهت انجام عملیات مونتاژ رخ می‌دهد. از آن‌جایی که هیچ‌گونه اطلاعی از قبل در مورد رخداد اختلال وجود ندارد، بنابراین لازم است در مواجهه با اختلال، توالی ماشین‌های ورودی به خط تولید بصورت برخط و در کمترین زمان ممکن، به روز آوری شود. در واقع رخداد کسری قطعه به عنوان یک رخداد تصادفی در نظر گرفته شده و پس از وقوع آن، با اتخاذ رویکرد واکنشی، توالی ماشین‌های باقیمانده مشخص می‌گردد. بدین جهت گزینه‌های متفاوتی متصور می‌باشد. به عنوان مثال استفاده از قطعات جایگزین یکی از این موارد می‌باشد. گزینه‌ای که در این مقاله به آن پرداخته شده است، بلوکه شدن تولید ماشین کسریدار و به تعویق افتادن تولید آن تا زمان رفع مشکل تامین می‌باشد.

در این مقاله با اتخاذ رویکرد واکنشی در قبال اختلال ایجاد شده، به دنبال آن هستیم که پس از رفع مشکل و تامین قطعات دچار اختلال شده، فرآیند تجدید توالی عملیات را برای ماشین‌های بلوکه شده به همراه سایر ماشین‌ها باقیمانده اجرا نماییم.

طبعاً توالی حاصل از تجدید توالی عملیات نسبت به توالی اولیه دارای تغییراتی بوده و از این جهت می‌تواند باعث بروز آشفتگی در طول زنجیره تامین و مشکلات لجستیگی گردد. لذا در این مقاله مسئله تعیین توالی عملیات ماشین‌ها بصورت برخط و با رویکرد واکنشی در نظر گرفته شده و در تعیین توالی ماشین‌های ورودی به خط مونتاژ نهایی علاوه بر معیار کلاسیک کمینه‌سازی نقض محدودیت‌های نسبتی، ثبات توالی اولیه نیز در نظر گرفته شده است. جواب بهینه فوق با توسعه مدل ریاضی دو هدفه شرح داده شده (روابط ۱ الی ۱۳)، در محیط نرم افزار GAMS ۲۳ ایجاد گردید. از آن جایی که مسئله تعیین مجدد توالی عملیات ماشین با رویکرد واکنشی یک مسئله NP-hard است و یافتن جواب بهینه در زمان کوتاه برای این مسئله غیر ممکن است، لذا یک الگوریتم فراابتکاری برای حل این مسئله ارائه می‌گردد. این الگوریتم در محیط نرم افزار MATLAB کدنویسی شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

۱-۴- الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر

الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر (VNS) یکی از روش‌های فرا ابتکاری است که برای حل مسائل بهینه‌سازی ترکیبی و جامع استفاده می‌شود. ایده پایه‌ای این الگوریتم، تغییر سیستماتیک همسایگی در یک جستجوی محلی می‌باشد. روش VNS بوسیله هنسن و ملادنوویچ در سال ۱۹۹۷ ارائه گردید. الگوریتم VNS به علت آسانی استفاده و دستاورد آن در حل مسائل بهینه سازی ترکیبی، به شدت مورد توجه قرار گرفته است. بطور پایه‌ای یک روش جستجوی محلی، جستجو در یک فضای محدود از کل فضای حل را انجام می‌دهد. بنابراین پیدا کردن جواب‌های بهتر بدون بررسی بیشتر را تسهیل می‌کند. روش VNS یک رویه جستجوی ساده و اثربخش بر پایه تغییر سیستماتیک همسایگی در طول جستجو می‌باشد. این روش، با تغییر ساختار همسایگی از تله بهینه محلی فرار می‌کند. روش VNS یک جواب اولیه را انتخاب می‌کند. سپس این جواب در طول دو چرخه تودرتو یا آشیانه‌ای توسط دو تابع ارتعاش و جستجوی محلی، دستکاری می‌شود. چرخه بیرونی به عنوان یک اصلاح‌کننده چرخه داخلی عمل می‌کند در حالی که چرخه داخلی جستجوی دقیقی بر روی جواب جاری انجام می‌دهد. جستجوی محلی یک جواب بهبود یافته را در همسایگی محلی جواب جاری، جستجو می‌کند، در حالی که ارتعاش، جواب را با استفاده از جابجایی به یک همسایگی محلی دیگر متنوع می‌کند. چرخه داخلی تا زمانی که موجب بهبود جواب شود و یا به ماکسیمم تکرار از قبل تعریف شده برسد، تکرار می‌گردد. زمانی که یک چرخه داخلی تکمیل شد، چرخه خارجی مجدد تغییر خواهد کرد مگر آن که شرط توقف تأمین شده باشد. از آن جایی که ساختارهای همسایگی نقش کلیدی در عملکرد VNS دارند، رویه‌های تغییر ساختار همسایگی باید با دقت بسیار زیاد برای رسیدن به یک VNS کارا، انتخاب گردد.

شبه کد الگوریتم VNS در شکل ۱ نشان داده شده است.

در ادامه، مشخصه‌های مختلف الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله مورد نظر تشریح می‌گردد.

```
Input: a set of neighborhood structures, Nl, l=1,2,…,tmax
S=generate initial solution ( );
Repeat
        L=1;
        While ( l<= tmax
                S'=Shaking (S,Nl)
                S'*=Local search(S')
                If  f(S'*) < f(S)
                    S= S'*
                    L=1;
                Else
                    L=l+1;
         Until stopping condition are met.
Output: The best solution.
```

شکل ۱- شبه کد برای الگریتم VNS

www.SID.ir

Archive of SID

طرح نمایش جواب

برای طراحی الگوریتم VNS برای مسئله مورد نظر، یک طرح نمایش مناسب برای نشان دادن مشخصه‌های جواب، مورد نیاز است. ساختار کلی نمایش جواب مورد استفاده در این مقاله، در شکل ۲ نشان داده شده است. در این طرح به هر یک از موقعیت‌های موجود یکی از پیکربندی‌های باقیمانده تخصیص می‌یابد.

تولید جواب اولیه

در این مقاله، رویکردهای متفاوتی همچون تولید اعداد تصادفی یا ترتیب اولیه ماشین‌ها جهت ایجاد جواب اولیه مورد استفاده قرار گرفته است.

ساختارهای همسایگی مورد استفاده

ساختارهای همسایگی عبارتند از جواب‌هایی که با یک تغییر در جواب حاصل می‌شوند. عملکرد روش فراابتکاری VNS بطور قابل توجهی وابسته به کارایی ساختار همسایگی می‌باشد. در مسائل توالی عملیات، با تغییر توالی می‌توان ساختارهای همسایگی متعددی را تعریف کرد. در الگوریتم پیشنهادی از چهار ساختار همسایگی استفاده شده است. این چهار ساختار همسایگی عبارتند از swap, kexchange, move, revers:

ترتیب ساختارهای همسایگی استفاده شده در الگوریتم پیشنهادی به ترتیب ذکر شده است. این ترتیب در مرحله تنظیم پارامترهای الگوریتم پیشنهادی و پس از حل تعداد مسائل نمونه در ابعاد و اندازه های مختلف حاصل شده است.

عملگر swap: پیکربندی ماشین‌ها واقع در موقعیت i و j با یکدیگر جابجا می‌شوند. سایر پیکربندی‌های بدون تغییر باقی می‌مانند.

عملگر kexchange: تعداد k تا از موقعیت‌ها خالی شده و پیکربندی ماشین‌های مربوط به آنها به صورت موقتی در استخری قرار داده می‌شوند. سپس پیکربندی‌های مذکور به موقعیت‌های خالی شده تخصیص مجدد می‌یابند.

عملگر move: پیکربندی ماشین واقع در موقعیت j به موقعیت i منتقل می‌گردد. بدین ترتیب همه ماشین‌های واقع در بین این دو موقعیت به اندازه یک واحد تغییر مکان خواهند یافت.

عملگر revers: ترتیب قرارگیری کلیه ماشین‌های مابین موقعیت‌های i و j برعکس می‌شود.

شرط توقف

الگوریتم VNS تا زمانی که شرط توقف تامین گردد ادامه می یابد. ماکسیمم زمان حل مجاز، ماکسیمم تعداد تکرار الگوریتم و ماکسیمم تعداد تکرار بین دو بهبود می توانند به عنوان شرط توقف انتخاب گردد. در این مقاله، تعداد تکرار از قبل تعیین شده برای شرط توقف استفاده می گردد.

تنظیم پارامترهای الگوریتم پیشنهادی

انتخاب مناسب پارامترها نقش بسیار مهمی در کارایی روش‌های فراابتکاری دارند. پارامترهای الگوریتم VNS و سطوح مختلف آنها در جدول ۱ آورده شده است. تست‌های صورت گرفته بر روی نمونه مسائل نشان می‌دهد که سطوح منتخب تعیین شده در جدول فوق الذکر، از جهت زمان حل و میزان نزدیکی به حل بهینه، نتایج بهتری را در مقایسه با دیگر مقادیر تولید می‌کنند.

موقعیت	n	n-1	....	۲	۱
نوع پیکربندی	kn	Kn-1	....	K2	K1

شکل ۲- نمایش جواب

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- پارامترها و سطوح منتخب آنها در روش VNS

Parameter	Levels	Description	Selected level
Iteration	۳	50,100,150	100
Initial solution	۲	Random First sequence	First sequence
Order	۲۴	Permutations of 4 operators	Swap,kexchange,move,reverse

آزمون‌های محاسباتی

جهت ارزیابی روش حل پیشنهادی، در مسائل با ابعاد کوچک، مقدار تابع هدف تلفیقی و زمان مربوطه با مقادیر بهینه حاصل از نرم افزار GAMS مقایسه شده‌اند. در مسائل با ابعاد متوسط و بزرگ روش حل بهینه در زمان‌های معمول جواب نمی‌دهد. لذا روش جستجوی همسایگی متغیر به ازای همه ۲۴ جایگشت ۴ عملگر مورد استفاده اجرا و مقدار حاصل تحت عنوان $VNS^{\times}$ مورد مقایسه قرار گرفته است. برای هر یک از این مسائل جواب اولیه‌ای نیز موجود می باشد که عبارت است از این که ماشین‌های بلوکه شده پس از رفع بلوکه شدن در ابتدای فاصله رفع بلوکه شدن قرار گرفته و در زودترین زمان ممکن در فرآیند مونتاژ قرار گیرند. این روش تحت عنوان ادامه توالی اولیه آورده شده است.

۵- نتیجه و جمع‌بندی

در این مقاله، مسئله تعیین توالی عملیات ماشین در حالتی که بصورت غیر منتظره با پیشامد اختلال در تامین روبرو شویم و با در نظر گرفتن دو تابع هدف کمینه‌سازی نقض محدودیت‌های نسبتی و کمینه‌سازی تغییر نسبت به توالی اولیه، مورد بررسی قرار گرفته است. جهت ارائه حل ریاضی برای این مسئله یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح با استفاده از نرم افزار GAMS توسعه یافته است. سپس به جهت بالا بودن زمان حل بهینه و با توجه به نیاز به روشی که در زمان کمتر از یک دقیقه بتواند نسبت به رخداد اختلال واکنش نشان داده و توالی عملیات را به روز آوری نماید، یک روش حل فراابتکاری مبتنی بر جستجوی همسایگی متغیر ارائه شده است. به جهت ارزیابی روش حل پیشنهادی، با استفاده از مسائل کتابخانه‌ای، طی سه دسته مختلف مسائل با ابعاد بزرگ، متوسط و کوچک، مجموعا تعداد ۵۴۰ مسئله مختلف به ازای اوزان مختلف توابع هدف، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج این بررسی بیانگر کارایی و اثربخشی بسیار مناسب روش حل ارائه شده از جهت ارائه جواب‌های نزدیک به حل بهینه در زمان بسیار مناسب می‌باشد.

جدول ۱- طراحی مساله آزمون

ابعاد مسئله	فاصله تجدید توالی عملیات	فاصله بلوکه شدن	نرخ بلوکه شدن تصادفی
کوچک	20	20,50,100	5,10,20
متوسط	50	20,50,100	5,10,20
بزرگ	80	20,50,100	5,10,20

www.SID.ir

Archive of SID

جهت ادامه مطالعه در زمینه مسئله مورد بررسی، کاربرد رویکرد چند هدفه به منظور تعیین مجموعه جواب‌های بهینه پارتو توصیه می‌گردد. همچنین با توجه به این که در خطوط مونتاژ ماشین از ظرفیت بافرهای مابین مراحل مختلف تولیدی جهت ذخیره‌سازی ماشین‌های بلوکه شده استفاده می‌گردد، لذا ایجاد مدلی که بواسطه آن بتوان موجودی در جریان ساخت را کمینه نمود، پیشنهاد می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID

فهرست منابع

1- Boysen N., Fliedner M. and Scholl A., (2009), "Sequencing mixed-model assembly lines: Survey, classification and model critique", European Journal of Operational Research 192, 2, 349–373.

2- Boysen, N., Golle, U. and Rothlauf, F. (2011), "The Car Resequencing Problem with Pull-Off Tables", German Academic Association for Business Research (VHB), Volume 4, Issue 2, 276-292.

3- Boysen N., Kiel M. and Scholl A., (2011), "Sequencing mixed-model assembly lines to minimize the number of work overload situations", International Journal of Production Research, 49, 16, 4735-4760.

4- Boysen N, Scholl A. and Wopperer N. (2012), "Resequencing of mixed-model assembly lines: survey and research agenda", European Journal of Operational Research, 216(3), 594–604.

5- Ding F. Y. and He J., (2008), "A heuristic procedure for the automobile assembly-line sequencing problem considering multiple product options", International Journal of Production Research, 46, 20, 5827–5847.

6- Ding, F.-Y. and Sun, H., (2004), "Sequence alteration and restoration related to sequenced parts delivery on an automobile mixed-model assembly line with multiple departments", International Journal of Production Research, 42, 8, 1525–1543.

7- Estellon B. and Gardi F., (2013), "Car sequencing is NP-hard: a short proof", Journal of the Operational Research Society, 64, 1503–1504.

8- Fliedner, M. and Boysen, N., (2008), "Solving the car sequencing problem via branch & bound", European Journal of Operational Research, 191, 3, 1023–1042.

9- Franz C., Hällgren E. C. and Koberstein A., (2014), "Resequencing orders on mixed-model assembly lines: Heuristic approaches to minimize the number of overload situations", International Journal of Production Research, DOI: 10.1080/00207543. 2014. 918293.

10- GentI. P. and Walsh T., (1999), "CSPLIB: A benchmark library for constraints", Technical Report, APES-09-1999, Department of Computer Science, University of Strathclyde, UK.

11- Gagne C., Gravel M. and Price W. L., (2006), "Solving real car sequencing problems with ant colony optimization", European Journal of Operational Research, 174, 3, 1427–1448.

12- Gavranovic H., (2008), "Local search and suffix tree for car sequencing problem with colors", European Journal of Operational Research, 191, 3, 972-980.

13- Gottlieb J., Puchta M. and Solnon C., (2003), "A study of greedy, local search and ant colony optimization approaches for car sequencing problems, in: Applications of Evolutionary ComputingLNCS", 2611, Springer, 246–257.

14- Grave, M., Gagne, C., and Price, W. L., (2006), "Review and comparison of three methods for the solution of the car equencing problem", Journal of the Operational Research Society, 56, 11, 1287–1295.

15- Joly A. and Frein Y., (2008), "Heuristics for an industrial car sequencing problem considering paint and

www.SID.ir

Archive of SID

assembly shop objectives", Computers & Industrial Engineering, 55, 295–310.

16- Kis, T, (2014), "On the complexity of the car sequencing problem", Operations Research Letters, 32, 4, 331–335.

17- Meissner S., (2010),"Controlling just-in-sequence flow-production", Logistic. Res., 2, 45–53.

18- Prandtstetter, M. and Raidl, G., (2008), "An integer linear programming approach and a hybrid variable neighborhood search for the car sequencing problem", European Journal of Operational Research, 191, 3, 1004–1022.

19- Parello B.D., Kabat W.C. and Wos L., (1986), "Job-shop scheduling using automated reasoning: a case study of the car sequencing problem", Journal of Automatic Reason, 2, 1–42.

20- Sialaetal M., (2015), "A study of constraint programming heuristics for the car-sequencing problem", Engineering Applications of Artificial Intelligence, 38, 34–44.

21- Solnon C., (2008), "The car sequencing problem: Overview of state-of-the-art methods and industrial case-study of the ROADEF'2005 challenge problem", European Journal of Operational Research 191, 3, 912–927.

22- Wu, T., Blackhurts, J. and Grady, P.O, (2007), "Methodology for supply chain disruption analysis", International Journal of Production Research, 45, 1665-1682.

23- Yavuz M., (2013), "Iterated beam search for the combined car sequencing and level scheduling problem", International Journal of Production Research, 51, 12, 3698-3718.

24- Yong-yi Wu and Hai-ping zhu, (2013), "A Hybrid Heuristic for Multi-shop Car Sequencing Problem with a Buffer", International Asia Conference, on Industrial Engineering and Management Innovation (IEMI2013), Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

www.SID.ir

Archive of SID

www.SID.ir