Archive of SID

فصلنامه علمی مطالعات مدیریت صنعتی – سال هجدهم، شماره ۵۹، زمستان ۹۹ (نوع مقاله : پژوهشی)
صفحات ۳۳۴-۲۹۹

بهینه‌سازی زمان‌های پیشبرد با فرض وجود اقلام معیوب در سیستم برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد : مطالعه موردی

حسین کریمی*، وحید شریفیان**

تاریخ ارسال:۹۶/۷/۴-تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۱۰

چکیده

سیستم‌های برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد برای پاسخ‌گویی به تقاضا در سیستم‌های تولیدی گسسته کاربرد زیادی دارد. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط به‌منظور کمینه‌سازی هزینه‌ی نهایی که شامل هزینه‌های موجودی کالای در جریان ساخت، بارگذاری، سفارشات عقب‌افتاده، سفارشات ازدست‌رفته، تولیدات اضافه و تغییرات در زمان پیشبرد، معرفی می‌شود. همچنین، بخشی از تقاضای پاسخ داده نشده به‌صورت تقاضای عقب‌افتاده و بخشی از آن به‌صورت فروش ازدست‌رفته در مدل اعمال می‌شود. علاوه بر این در مدل مطرح‌شده کالای معیوب و چگونگی تأثیر آن روی تقاضای مشتری مورد بحث قرارگرفته است. مدل تک هدفه ارائه‌شده قطعی بوده و برای برنامه‌ریزی احتیاجات مواد در یک شرکت تولیدی بتن آماده استفاده‌شده و با توجه به نتایجی که از حل دقیق آن به‌دست آمده است، با کاهش میزان ضایعات در شرکت موردمطالعه می‌توان هزینه‌های تولیدی را حدود ۳۰ ٪ کاهش داد و با توجه به زمان‌های پیشبرد تعیین‌شده، می‌توان برنامه سفارش‌دهی مواد را اجرا کرد. همچنین در این پژوهش حد پایینی برای مسأله ارائه‌شده و کارایی محاسباتی آن مورد ارزیابی قرارگرفته است.

واژگان کلیدی: اقلام معیوب، برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد، تعیین زمان‌های پیشبرد، کمبود.

* استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران (نویسنده مسئول) (h.karimi@ub.ac.ir)
** دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع ، دانشگاه بجنورد، بجنورد، ایران

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

سیستم‌های برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد یکی از ابزارهای رایج گسترش برنامه‌های تولید در بخش‌های تولیدی گسسته است. برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد یک رویکرد کامپیوتر محور برای سیستم‌های طراحی تولید است که مشخص می‌کند چه قطعاتی/موادی، چطور، به چه مقداری و در چه زمانی برای تولید محصول نهایی موردنیاز است. این سیستم‌ها اطلاعات مربوط به تقاضای مشتریان و پیش‌بینی میزان فروش را از بخش‌های موجودی و پایگاه داده دریافت کرده، سپس برنامه تولید محصولات را برای برآوردن نیاز مشتریان مشخص می‌سازد. بر اساس برنامه‌ی برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد، درصورتی‌که موجودی قطعات و اجزای سازنده محصولات به مقدار کافی باشد، محصولات تولید و در مراکز فروش به مشتریان تحویل داده خواهند شد، در غیر این صورت طرح خرید قطعات به تأمین‌کنندگان ارسال می‌شود.

یک پارامتر کلیدی در این سیستم‌ها زمان پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده[1] برای هر قسمت است. سیستم‌های برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد نیاز خالص هر قطعه/ماده را بر اساس زمان پیشبرد به عقب برمی‌گرداند تا بتواند زمان تولید و زمان خرید سفارشات را برنامه‌ریزی کند. امروزه به دلیل اهمیت برآورده سازی نیاز مشتری در موعد مقرر و کاهش هرچه بیشتر هزینه‌ها در مباحث تولید ناب، ایرادات و اشکالات اساسی به سیستم‌های برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد وارد است ولی به دلیل رایج بودن استفاده از این سیستم‌ها و سادگی و فهم آسان رویکرد آن، دلیل اصلی تمرکز ما بر این رویکرد است. استفاده‌کنندگان، منطق برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد را فهمیده و به‌خوبی می‌توانند ارتباط بین ورودی‌ها و خروجی‌های آن را درک کنند. این فهم، کاربران را قادر می‌سازد تا غلط بودن داده‌های ورودی و چگونگی تغییر داده‌های ورودی برای کسب خروجی را بهتر تشخیص دهند. یک دلیل دیگر برای استفاده کاربران از برنامه برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد، داشتن جواز استفاده از نرم‌افزار برنامه‌ریزی منابع سازمانی[2] در بسیاری از واحدهای صنعتی و ارتباط نزدیک و جامعی که مدل‌های برنامه‌ریزی

1 .Planned lead time (PLT)
2. Enterprise resource programming (ERP)

www.SID.ir

Archive of SID

نیازمندی‌های مواد با سایر نرم‌افزارهای سازمانی دارد، است. هدف ما در این مقاله بهبود مجموعه زمان پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده‌ای است که در سیستم‌های برنامه برنامه‌ریزی نیازمندی-های مواد استفاده می‌شوند. سربرنامه تولید و سفارشات مشتری به‌عنوان نیاز خالص به برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد ارسال می‌شود. این سیستم با توجه به موجودی در دست و موجودی کالای سفارش داده‌شده(که انتظار می‌رود دریافت شود) برنامه‌ریزی تولید را برای پاسخ‌گویی به نیاز خالص تعیین می‌کند (اورلیکی، ۱۹۷۵؛ پلاسل ، ۱۹۹۴ ؛ تاک و اسمیت، ۲۰۱۱) این نیازهای خالص با زمان پیشبرد برنامه‌ریزی شده و اندازه دسته‌ها باهم برای ایجاد شفارشات برنامه‌ریزی‌شده جدید به‌کار گرفته می‌شوند. این سفارشات برنامه‌ریزی‌شده در بخشهای صورت مواد[1] پخش‌شده و بر اساس تاریخ تعیینی برنامه برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد، در خط تولید استارت می‌خورد.

مقاله حاضر توسعه‌ای بر مقاله مایلن و همکارانش (۲۰۱۵) است که در مقاله آن‌ها فرض بر این است که تمام مواد اولیه به کالای نهایی مرغوب تبدیل می‌شود که می‌دانیم همواره درصدی از اقلام و کالای معیوب در سیستم‌های تولیدی مشاهده می‌شود و این اقلام معیوب هزینه‌های از دست رفتن اعتبار، وارانتی و یا مواجه‌شدن سیستم تولیدی با کمبود بیشتر را در پی خواهد داشت. علاوه بر این در مقالات گذشته در این حوزه تمام کمبود به‌صورت عقب‌افتاده در نظر گرفته می‌شد ولی امروزه در بسیاری از سیستم‌های تولیدی درصدی از مشتریان در صورت مواجهه با تأخیر در سفارش، ممکن است با پس‌گرفتن سفارش، هزینه کمبود به‌صورت ازدست‌رفته را به سیستم تولیدی تحمیل کنند. ما در این مقاله مدلی برای تعیین زمان‌های پیشبرد در سیستم برنامه‌ریزی احتیاجات مواد ارائه کرده‌ایم که در این مدل بخشی از کمبود به‌صورت عقب‌افتاده و بخشی از آن به‌صورت فروش ازدست‌رفته است، همچنین در این مدل به تولید اقلام/مواد معیوب توجه شده و هزینه تحمیل‌شده به سیستم تولیدی با در نظر گرفتن این اقلام ارزیابی‌شده است.

1 .Bill of materials (BOM)

www.SID.ir

Archive of SID

در ادامه‌ی این مقاله بخش‌های زیر ارائه می‌شود. در بخش ۲ ادبیات موضوع مورد بررسی، مرور می‌شود. در بخش ۳ مدل مسأله مطرح و بررسی می‌شود. نتایج محاسباتی برای یک مطالعه موردی، حد پایین و پیشنهادات مدیریتی به ترتیب در بخش‌های ۴ و ۵ ارائه می‌شود و درنهایت در بخش ۶، نتایج مقاله ارائه خواهد شد.

مطالعات پیشین

همانطور که می‌دانیم، زمان پیشبرد در سیستم‌های تولید و موجودی، زمانی بین سفارش خرید تا دریافت کالا است. زمان پیشبرد برنامه‌ریزی شده زمانی بین زمان تحویل سفارش تولید و زمان صدور سفارش برنامه‌ریزی شده است. این زمان پیشبرد در سیستم‌های تولیدی به دلیل محدودیت‌های ظرفیتی یا تقاضاهای غیر برنامه‌ریزی شده به صورت مقدار ثابتی نیستند و به نوعی متغیری هستند که می‌توانند در مقدار بهینه‌ای قرار گیرند. در ادامه به بررسی این موضوع در ادبیات پژوهش خواهیم پرداخت.

بیلینگتون و همکارانش (۱۹۸۳) ازجمله اولین مقالات در زمینه‌ی تعیین زمان‌های پیشبرد است. مقاله آن‌ها یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط[1] برای تعیین برنامه تولید بهینه (با مفاهیم زمان‌های پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده) در یک سیستم تولیدی ساخت برای انبار با مفاهیم کلی، صورت مواد چند سطحی و محدودیت ظرفیت، را پیشنهاد کرد. کانت (۱۹۸۶) پیشنهاد داد که زمان پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده باید بر مبنای نسبت ارزش اقتصادی زمان‌های انتظار و تأخیرها که اجزای موجودی هستند تنظیم شود. با این وجود، این تنظیمات باید با دقت انجام شود چون تأثیر بلندمدت خواهد گذاشت.

در ادامه ادبیات، مدلی ارائه شده که به نوعی برنامه‌ریزی تأمین مواد بر اساس بهینه‌سازی زمان‌های پیشبرد انجام شد که دولگویی و اولد-لولی (۲۰۰۲) این کار را انجام دادند. آن‌ها یک مدل تصادفی برای به‌دست‌آوردن مقادیر زمان‌های پیشبرد در سیستم یک سطحی، چند کالایی، برنامه‌ریزی تأمین چند دوره‌ای بر اساس زمان پیشبرد غیرقطعی برای حداقل‌سازی

1 . Mix integer programming (MIP)

www.SID.ir

Archive of SID

مقدار انتظاری کمبود پس‌افت و هزینه‌های نگهداری پیشنهاد دادند. اسپیتر (۲۰۰۳) مفاهیم هزینه‌ای در زمان پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده را با آزمایش‌های سعی و خطا بررسی کرد. متعاقباً، دولگویی و اولد–لولی (۲۰۰۴) یک مدل عمومی‌تر برای تعیین زمان‌های پیشبرد برنامه‌ریزی-شده در یک سیستم ترکیبی با زمان پیشبرد غیرقطعی برای حداقل‌سازی میانگین هزینه نگهداری، هزینه کمبود پس‌افت، و هزینه بارگذاری ارائه دادند. در مدل آن‌ها فرض شده بود که زمان پیشبرد هر یک از قطعات از یک توزیع احتمالی پیروی می‌کند و هزینه‌های نگهداری در هر دوره زمانی یکسان در نظر گفته شده بود. تئو و همکارانش (۲۰۱۱) پنجره-های برنامه‌ریزی بهینه (جبران‌کننده زمان) و زمان‌های پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده را در نظر گرفتند تا هزینه‌های تولیدی مربوطه را حداقل کند. زمان‌های پیشبرد بهینه در طول زمان ثابت باقیمانده و تقاضاها در صورت احتیاج با بهره‌گیری از زیرساخت‌ها و اضافه‌کاری تأمین می‌شوند. آن‌ها فرض کردند که سربرنامه تولید یک مجموعه با یک نرخ ثابت در افق برنامه‌ریزی است.

علاوه بر این، بحث ظرفیت در این سیستم‌ها توسط آلتندورفر و ماینر (۲۰۱۱) بررسی گردید. آن‌ها مدلی برای بهینه‌سازی همزمان زمان‌های پیشبرد و ظرفیت در یک سیستم تولیدی دوسطحی با در نظر گرفتن زمان‌های تحویل کالا به مشتریان ارائه کردند. لوآنو و دیمیتریو (۲۰۱۲) الگوریتمی برای تخمین زمان پیشبرد ثابت در برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد برای سیستم تولیدی ساخت برای سفارش ارائه کردند. دولگویی و اولد–لولی (۲۰۱۳) جریان تحقیقات خود را با معرفی یک مدل چند دوره‌ای بدون هیچ‌گونه محدودیتی در تعداد قطعات برای حداقل‌سازی سفارشات و زمان‌های پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده، ادامه دادند. مدل آن‌ها مجموع هزینه‌های نگهداری و بارگذاری برای تمام قطعات را حداقل می‌کرد تا زمانی که یک سطح سرویس مطلوب بدست‌آید. مدل آن‌ها بر طبق کل توزیع‌های ممکن برای اجزای زمان پیشبرد عمومی‌سازی شده بود. نوین و رایت (۲۰۱۵) مدل ریاضی و روش حلی برای تعیین زمان پیشبرد و سطح ظرفیت بهینه برای حداکثرسازی سود با در نظر گرفتن زمان به‌صورت متغیر، معرفی کردند. آلتندورفر (۲۰۱۵) مدلی برای نشان دادن رابطه اندازه دسته تولیدی و سطح خدمت‌دهی برای تعیین زمان‌های پیشبرد در یک سیستم تولیدی تک سطحی

www.SID.ir

Archive of SID

معرفی کرد. مادرونرو و همکارانش (۲۰۱۵) مدلی ریاضی برای سیستم برنامه‌ریزی نیازمندی-های مواد با فرض فازی بودن زمان‌های پیشبرد ارائه کردند.

یکی از مدل‌هایی که در ادامه ارائه شد، مدل مایلن و همکارانش (۲۰۱۵) بوده که مقاله حاضر مبتنی بر مدل آن‌ها است. آن‌ها مدل برنامه‌ریزی عدد صحیحی برای تعیین زمان‌های پیشبرد بهینه با توجه به هزینه‌های نگهداری و تغییر در زمان پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده با توجه به ظرفیت قطعات و ظرفیت تولید ارائه دادند. سوکرد و ووتی پورنپون (۲۰۱۶) الگوریتمی تلفیقی (الگوریتم ژنتیک[1] و الگوریتم جستجوی ممنوعه[2]) برای حل مسأله برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد با فرض متغیر بودن زمان‌های پردازش برای سیستم‌های تولیدی جریان انعطاف‌پذیر[3] ارائه کردند. پویا و پاکدامن (۲۰۱۷) یک مدل برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد با فرض پیوستگی زمان تولید و ظرفیت محدود موجودی ارائه کردند . بورودین و همکارانش (۲۰۱۷) فرض تصادفی بودن زمان پیشبرد را در یک سیستم مونتاژ تک سطحی بررسی کردند.هاوسلر و اشنکنریتر (۲۰۱۹) فرض پویا بودن زمان پیشبرد را در یک سیستم تولیدی مطرح کردند. هنکا و ورما (۲۰۱۹) به مسأله کاربرد یک مدل برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد در صنعت خودروسازی(مطالعه موردی) پرداختند.

بر اساس این بررسی‌های انجام شده، بیشتر مطالعات در حوزه مسئله بهینه‌سازی زمان‌های پیشبرد برنامه‌ریزی شده اثر عواملی همانند محدودیت‌های ظرفیتی، هزینه‌ها موجودی، نرخ خدمات را توأمان در کنار هم در نظر نگرفتند. علاوه بر این، در این مقاله، وجود اقلام یا مواد معیوب و وجود کمبود به صورت فروش از دست رفته نیز وجود دارد. همچنین، بر اساس بررسی‌هایی که انجام شد، در اکثر مقالات روشی برای محاسبه حد پایینی برای مسئله ارائه نشده است که این موضوع در مقاله حاضر مورد بررسی قرار گرفته که با یک روش ابتکاری یک حد پایین برای مقاله ارائه خواهد شد.

1. Genetic algorithm (GA)
2 .Tabu search (TS)
3. Flexible flow shop

www.SID.ir

Archive of SID

مدل مسأله

تعریف مسأله

این مقاله برای محیط تولیدی گسسته با محدودیت ظرفیت که از برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد استفاده می‌کند و با در نظر گرفتن تقاضای قابل‌تغییر، ارائه‌شده است. از مسائل صنعتی مرتبط با مقاله می‌توان به تولید قطعات موتوری، ریخته‌گری دقیق، ابزار جنگی، الکتریکی و تولید مصالحی که دارای اجزای مختلفی هستند اشاره کرد. در این پژوهش هدف تعیین و بهینه‌سازی زمان‌های پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده با توجه به هزینه‌های تولیدی و موجودی است. ما فرض کرده‌ایم که سفارشات برنامه‌ریزی‌شده یا با توجه به فرضیات سیستم برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد در موعد مقرر آزاد می‌شوند و یا به دلیل کمبود اجزای موردنیاز درزمانی دیرتر از زمان مقرر تحویل داده می‌شوند. اگر موجودی اجزا به‌اندازه کافی در اختیار باشد، سفارشات برنامه‌ریزی‌شده در موعد مقرر و با در نظر گرفتن ظرفیت در دسترس آزاد می‌شوند و اگر موجودی اجزا به‌اندازه موردنیاز در دسترس نباشد، حداکثر محصول با توجه به اجزاء موجود، تولید شده و مقدار تقاضای باقیمانده به‌صورت کمبود پس‌افت یا ازدست‌رفته به دوره بعد منتقل می‌شود. زمانی که یک برنامه سفارش در خط تولید آزاد می‌شود، اجزای موردنیاز برای تولید آن سفارش از انبار خارج می‌شود. فرض بر این است که درصدی از اجزاء/مواد در قسمت‌های سرهم‌بندی فاقد کیفیت مطلوب بوده و معیوب محسوب می‌شوند. تمام فعالیت‌ها در یک محیط تولیدی انجام می‌شود. جریان مواد در خط تولید در هر زمان در دسترس است (حمل‌ونقل در خط تولید بدون عیب است). محاسبات در دوره‌های زمانی گسسته از یک مدت‌زمان ثابت انجام می‌شود. سطح موجودی انبار در ابتدای افق برنامه‌ریزی، صفر است. تقاضا به‌صورت یک عامل خارجی به‌عنوان نیاز خالص مستقل در مدل اعمال می‌شود. تقاضای وارد شده به سیستم می‌تواند به‌صورت تقاضای برنامه‌ریزی‌شده و یا محموله برنامه‌ریزی‌شده در سربرنامه تولید اعمال شود. تقاضای پاسخ داده نشده در اولین دوره بعد در نظر گرفته می‌شود و به‌عنوان تقاضای پس‌افت و یا سفارش ازدست‌رفته اعمال می‌شود. اگر یک برنامه سفارش آزاد شود باید با توجه به ظرفیت موجود در بهینه‌ترین زمان پیشبرد محقق شود. و اگر

www.SID.ir

Archive of SID

اجزای کافی برای تحقق همه‌ی سفارشات در یک دوره وجود نداشته باشد، اولویت با سفارشات به تعویق افتاده‌ی دور قبل است. تمام کاهش‌ها و افزایش‌های سطح موجودی در ابتدای هر دوره همزمان انجام می‌شود. در مدل این مقاله نحوه تحویل محصول به‌صورت دسته‌به‌دسته و دوره‌ی تولیدی ثابت در نظر گرفته‌شده است.

اندیس‌ها، پارامترها، ضرایب تابع‌هدف و متغیرهای تصمیم به‌صورت زیر است:

اندیس‌ها

a قسمت‌هایی که از سرهم‌بندی قطعات ساخته‌شده

e مواد خام

i اجزا

u قسمت‌هایی که از سرهم‌بندی قسمت‌های سرهم شده ساخته می‌شوند

d نیاز خالص مستقل

t دوره زمانی

s دوره زمانی برای سفارش آزادشده برنامه‌ریزی‌شده

v دوره زمانی که محصول به انبار می‌رسد

w دوره زمانی که یک سفارش برنامه‌ریزی‌شده به انبار می‌رسد و برای پاسخ دادن به نیاز خالص استفاده می‌شود

x دوره زمانی اولیه برای بهینه‌سازی زمان پیشبرد

f تعداد دوره‌های زمانی وابسته به تعداد دوره‌های نیاز خالص که در یک انباشته مشترک‌اند

پارامترها

$Milt_i$ حداقل زمان پیشبرد برای اقلام بدون محدودیت

$Malt_i$ حداکثر زمان پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده برای قطعه/ماده i

www.SID.ir

Archive of SID

Fp_i تعداد دوره‌های ثابت نیاز خالص برای پاسخ‌گویی به‌اندازه دسته

$MPAR_{at}$ حداقل درصد مقدار واقعی سفارش برنامه‌ریزی‌شده آزادشده برای قطعه/ماده a در دوره t

$MQAR_{at}$ حداقل مقدار واقعی سفارش آزادشده برای قطعه/ماده a در دوره t

Dd_t تقاضای مستقل خارجی از محصول d در دوره t

Q_{ac} مقدار موردنیاز از جزء c برای تولید a

CR_{ir} ظرفیت موردنیاز از منبع r برای تولید هر قطعه/ماده تولیدی

CA_{rt} ظرفیت در دسترس از منبع r در دوره زمانی t

M مقدار بزرگ

ε مقدار کوچک

β_i درصد ضایعات قطعه/ماده i

α_i درصد کالای i که به‌صورت پس‌افت برآورده خواهد شد

ضرایب تابع‌هدف

Hi هزینه نگهداری هر واحد

HWi هزینه نگهداری موجودی در جریان ساخت مازاد

BOi هزینه سفارشات عقب‌افتاده برای هر قطعه/ماده

LSd هزینه موجودی ازدست‌رفته هر قطعه/ماده

SCi هزینه راه‌اندازی برای تولید هر واحد

$PCCVi$ هزینه تغییر هر واحد در زمان پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده

$PCCFi$ هزینه ثابت هر واحد تغییر در زمان پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده

www.SID.ir

Archive of SID

متغیرهای تصمیم

B_{dt} مقدار تقاضای عقب‌افتاده در پایان دوره t

I_{it} موجودی نهایی محصول i در پایان دوره t

$IMRP_{it}$ موجودی نهایی محصول i در پایان دوره t بدون وجود محدودیت‌ها

P_{itv} سفارش برنامه‌ریزی‌شده آزادشده از محصول i در دوره t که در دوره v به انبار می‌رسد

P^*_{itv} اگر $P_{itv} \geq 0$، مساوی یک.

PLT_{iv} زمان پیشبرد برنامه‌ریزی‌شده از یک سفارش برنامه‌ریزی‌شده جدید از از محصول i که در دوره v به انبار می‌رسد

LT^*_{iv} اگر $\sum_{t=v-Malt_i}^{v-Milt_i} P^*_{itv} = 1$ ، مساوی ۱

PLT^+_{iv} افزایش در زمان پیشبرد نسبت به دوره قبل

PLT^-_{iv} کاهش در زمان پیشبرد نسبت به دوره قبل

PLT^*_{iv} اگر مقدار زمان پیشبرد نسبت به قبل تغییر کند، ۱

SH_{dt} محموله تکمیل شده از تقاضای محصول d در دوره t

AP_{it} شروع به تولید واقعی جزء i در دوره t

AP^*_{it} اگر $AP_{it} \geq 0$، مساوی ۱

AR_{it} آزاد سازی واقعی محصول جزء i در دوره t

AR^*_{it} اگر $AR_{it} \geq 0$ ، مساوی ۱

www.SID.ir

Archive of SID

BR_{at} سفارشات برنامه‌ریزی‌شده معوق از قطعه/ماده a در دوره t

BR^{*}_{at} اگر $BR_{at} \geq 0$ مساوی یک

CPI_a درصورتی‌که موجودی اجزای تشکیل دهنده قطعه/ماده a برای تولید مازاد وجود داشته باشد، مساوی ۱

ASS^{+}_{at} موجودی مازاد بر تولید موردنیاز اجزای تشکیل دهنده قطعه/ماده a در دوره t

COM^{-}_{act} اگر حد پایین موجودی برای تولید مازاد از قطعه/ماده a در دوره t توسط جزء c محدود شود ۱، در غیر اینصورت ۰

MAX_{at} حداقل مقدار AR_{it} با توجه به $MPAR_{at}$ و $MQAR_{at}$

Z_{at} ۱ است، اگر حداقل مقدار AR_{it} برای آزادسازی براساس $MQAR_{at}$ بزرگتر از حداقل آزادسازی بر اساس $MPAR_{at}$ باشد، در غیر اینصورت ۰

E_{at} موجودی قطعات اولیه برای پوشش حداقل آزادسازی از قطعه/ماده a در دوره t اگر موجود باشد، ۱ در غیر اینصورت ۰

EWI_{it} موجودی در جریان ساخت اضافی از جزء i در دوره t

مدل ریاضی

فرمول‌ها و روابط ریاضی مدل مسأله به‌صورت زیر است.

$$\begin{aligned}\min & \sum_{i \in I} \sum_{t \in T} (H_i I_{it} + HW_i WI_{it} + SC_i AR^{*}_{it}) + \\ & \sum_{d \in D} \sum_{t \in T} (BO_d \alpha_t B_{dt} + LS_d (1-\alpha_t) B_{dt}) + \\ & \sum_{i \in I} \sum_{v \geq 1+Milt_i} (PCCF_i PLTC^{*}_{iv} + PCCV_i (PLT^{+}_{iv} + PLT^{-}_{iv}))\end{aligned} \quad (۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه (۱) تابع‌هدف مسأله و شامل هزینه‌های نگهداری، موجودی در جریان ساخت، راه‌اندازی، کمبود پس‌افت، فروش ازدست‌رفته و تغییرات در زمان‌های پیشبرد است.

$$B_{dt} = B_{d(t-1)} + D_{dt} - SH_{dt} \qquad (۲)$$

در محدودیت (۲) مقدار عقب‌افتاده از تقاضای d در پایان دوره t برابر مقدار تقاضای عقب‌افتاده از این محصول در پایان دوره $t-1$ به‌علاوه تقاضای مستقل دوره t منهای کل تولید به‌صورت محموله در آن دوره است.

$$I_{it} = I_{i(t-1)} + AP_{i(t-Milt_i)} - \sum_{d\in i, d\in D} SH_{dt} - \sum_{a\in ass_i} Q_{ai}(1-\beta_a)AR_{at} \qquad \forall i \in I, t \in T \qquad (۳)$$

با توجه به محدودیت (۳) مقدار موجودی قطعه/ماده i در انتهای دوره تولیدی t برابر است با مقدار موجودی نهایی دوره قبل به‌علاوه مقدار تولیدشده در دوره t با توجه به حداقل زمان پیشبرد آن محصول منهای تقاضای خالص از محصول نهایی به‌صورت محموله منهای مقدار آزادشده از این قطعه/ماده در دوره t.

$$WI_{it} = WI_{i(t-1)} + AR_{it} - AP_{it} \qquad \forall i \in I, t \in T \qquad (۴)$$

در محدودیت (۴) مقدار موجودی در جریان ساخت مازاد در انتهای دوره t برابر است با مقدار موجودی در جریان ساخت مازاد در انتهای دوره $t\text{-}1$ به‌علاوه کالای نیمه ساخته در انتهای دوره t منهای کالای نهایی تولیدشده در انتهای دوره t.

$$\sum_{i\in I} CR_{ir} AR_{it} \le CR_{rt} \qquad \forall i \in I, t \in T \qquad (۵)$$

در محدودیت (۵) تعداد واحدهای تولیدی از جزء i در انتهای دوره t بوسیله ظرفیت اجزایش محدود می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID

$$IMRP_{it} = IMRP_{i(t-1)} + \sum_{s\in T, s=t-Malt_i}^{t-Milt_i} P_{ist} - D_{it} - \sum_{a\in ass_i} \sum_{s\in T, s=t+Malt_i}^{t+Milt_i} P_{atv} Q_{ai}(1+\beta_a) \quad \forall i \in I, t \in T; t > 1 + Milt_i \quad (۶)$$

محدودیت (۶) مشابه محدودیت (۳) است با این تفاوت که سطح موجودی با توجه به سیستم برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد و بدون در نظر گرفتن محدودیت‌ها است.

$$IMRP_{it} = P_{i1t} - \sum_{x=1}^{1+Milt_i} [D_{it} + \sum_{a\in ass_i} \sum_{v\in t, v=t+Milt_i}^{x+Malt_i} P_{axv} Q_{ai}(1+\beta_a)] \quad \forall i \in I, t \in T; t = 1 + Milt_i \quad (۷)$$

در اولین دوره بعد از $Milt_i$ باید مقدار تقاضای دوره‌های ۱ تا $Milt_i+1$ پاسخ داده شود، این نکته در محدودیت (۷) مشهود است.

$$\sum_{t=\max\{1, v-Malt_i\}}^{v-Milt_i} P_{itv} \le \sum_{f=1}^{\min\{FP_i, |T|+1-v\}} D_{i(v+f-1)} + \sum_{f=1} \sum_{a\in ass_i} \sum_{w=v+f-1+Milt_i}^{\min\{v+f-1+Malt_i, |T|\}} P_{a(v+f-1)w} Q_{ai}(1+\beta_a) \quad \forall i \in I, v \in T; 1 + Milt_i \le v \le |T| \quad (۸)$$

محدودیت (۸) به این نکته اشاره می‌کند که مقدار دریافت از قطعه/ماده i در دوره v همواره کوچکتر یا مساوی مقدار تقاضای دوره‌های v و یا دوره‌های FP_i به‌علاوه مقدار سفارش از قطعه/ماده a در دوره v و یا در دوره‌های FP_i است.

$$\sum_{t=\max\{1, v-Malt_i\}}^{v-Milt_i} P_{itv} \le \sum_{f=2-v}^{\min\{FP_i, |T|+1-v\}} D_{i(v+f-1)} + \sum_{f=2-v} \sum_{a\in ass_i} \sum_{w=v+f-1+Milt_i}^{\min\{v+f-1+Malt_i, |T|\}} P_{a(v+f-1)w} Q_{ai}(1+\beta_a) \quad \forall i \in I, v \in T; v = 1 + Milt_i \quad (۹)$$

www.SID.ir

Archive of SID

محدودیت (۹) همانند محدودیت (۸) است با این تفاوت که برای اولین دوره بعد از $Milt_i$ نوشته شده‌است.

$$\sum_{t=\max\{1,v-Malt_i\}}^{v-Milt_i} \sum_{w=v}^{\min\{v+FP_i-1,|T|\}} P^*_{itv} \le 1 \qquad \forall i \in I, v \in T; 1+Milt_i \le v \le |T| \quad (۱۰)$$

محدودیت (۱۰) تضمین می‌کند که در هر دوره زمانی FP_i حداکثر یک سفارش برنامه‌ریزی‌شده به انبار می‌رسد.

$$\sum_{t=\max\{1,v-Malt_i\}}^{v-Milt_i} \sum_{w=v+1-FP_i}^{v} P^*_{itv} \le 1 \qquad \forall i \in I, v \in T; 1+Milt_i \le v \le |T| \quad (۱۱)$$

محدودیت (۱۱) نیز مشابه محدودیت (۱۰) است ولی برای در نظر گرفتن دوره‌های قبل از دوره v نوشته‌شده است.

$$\sum_{t=\max\{1,v-Malt_i\}}^{v-Milt_i} P^*_{itv} \le MALT_i LT^*_{iv} \qquad \forall i \in I, v \in T; 1+Milt_i \le v \quad (۱۲)$$

محدودیت (۱۲) تضمین می‌کند که اگر یک سفارش برنامه‌ریزی‌شده در دوره v آزاد شود، آنگاه متغیر صفر و یک LT^*_{iv}، مقدار یک می‌گیرد.

$$PLT_{iv} \ge MILT_i \qquad \forall i \in I, v \in T; 1+Milt_i \le v \quad (۱۳)$$

محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که باید زمان پیشبرد برای تقاضای جدید جزء i از حداقل زمان پیشبرد آن بیشتر باشد.

$$PLT_{iv} = PLT_{i(v-1)} + PLT^+_{iv} + PLT^-_{iv} \qquad \forall i \in I, v \in T; 1+Milt_i \le v \quad (۱۴)$$

این نکته که زمان پیشبرد جزء i که در دوره v به انبار می‌رسد، بر اساس زمان پیشبرد دوره قبل و میزان افزایش و یا کاهش در زمان پیشبرد آن تعیین می‌شود، در محدودیت (۱۴) بیان شده-است.

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{t=v-Malt_i}^{v-Milt_i}(v-t)P^*_{itv} \le PLT_{iv} + MALT(1-LT^*_{iv}) \qquad \forall i \in I, v \in T; 1+Milt_i \le v \qquad (۱۵)$$

با توجه به محدودیت (۱۵) اگر LT^*_{iv} مقدار یک بگیرد به این معناست که یکی از مقادیر P^*_{itv} وابسته به v و tمقدار یک خواهد گرفت و باتوجه به ضریب v-t حدپایین زمان پیشبرد جدید تعیین می‌شود، در غیر این‌صورت محدودیت غیر فعال است.

$$\sum_{t=v-Malt_i}^{v-Milt_i}(v-t)P^*_{itv} \ge PLT_{iv} - MALT(1-LT^*_{iv}) \qquad \forall i \in I, v \in T; 1+Milt_i \le v \qquad (۱۶)$$

محدودیت (۱۶) هم مشابه محدودیت ۱۵ است و برای برابری PLT_{iv} با سمت چپ نامساوی نوشته شده‌است.

$$PLT^+_{iv} \le MALT_i LT^*_{iv} \qquad \forall i \in I, v \in T; 1+Milt_i \le v \qquad (۱۷)$$

$$PLT^-_{iv} \le MALT_i LT^*_{iv} \qquad \forall i \in I, v \in T; 1+Milt_i \le v \qquad (۱۸)$$

محدودیت‌های (۱۷) و (۱۸) برای تعیین حداکثر و حداقل میزان افزایش در زمان پیشبرد نوشته شده‌اند.

$$PLT^+_{iv} + PLT^-_{iv} \le MALT_i PLTC^*_{iv} \qquad \forall i \in I, v \in T; 1+Milt_i \le v \qquad (۱۹)$$

محدودیت (۱۹) برای تعیین حداکثر تغییر در زمان پیشبرد نوشته شده‌است.

$$AR_{it} = \sum_{v=t+Milt_i}^{t+Malt_i} P_{etv} \qquad \forall e \in E, t \in T \qquad (۲۰)$$

با توجه به محدودیت (۲۰) زمان واقعی آزادسازی اجزاء اولیه محصول، وابسته به حداقل و حداکثر زمان پیشبرد آن در دوره زمانی برنامه‌ریزی‌شده t برابر با مجموع زمان‌های برنامه‌ریزی‌شده آزادسازی آن اجزاء است.

www.SID.ir

Archive of SID

$$BR_{at} = BR_{a(t-1)} + \sum_{v=t+Milt_i}^{t+Malt_i} P_{atv} - AR_{at} \quad \forall a \in A, t \in T, v \in T; v = 1 + Milt_i \quad (۲۱)$$

در محدودیت (۲۱) مقدار کمبود از قطعه/ماده a در انتهای دوره t برابر با مقدار کمبود در انتهای دوره $t-1$ به‌علاوه مقدار برنامه‌ریزی شده برای سفارشات قطعه/ماده a در دوره t است.

$$BR^*_{at} + CPI_a + E_{at} \leq 2 \quad \forall a \in A, t \in T \quad (۲۲)$$

در یک سیستم برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد اگر BR^*_{at} صفر باشد یعنی توانایی تولید قطعات موردنیاز و اضافی از قطعه/ماده a وجود دارد و اگر مقدار آن یک باشد یا می‌توان تقاضای موجود را پاسخ داد یا مقدار موجودی اضافی را تولید کرد و به هر دو این مقادیر نمی‌توان پاسخ داد، این نکته در محدودیت (۲۲) بیان شده‌است.

$$BR_{at} \leq M \times BR^*_{at} \quad \forall a \in A, t \in T \quad (۲۳)$$

با توجه به محدودیت (۲۳) اگر متغیر BR^*_{at} مقدار یک بگیرد آنگاه برای قطعه/ماده a در دوره t می‌تواند کمبود وجود داشته‌باشد.

$$ASS^+_{at} \leq \frac{I_{ct}}{Q_{ac}} \quad \forall a \in A, t \in T, c \in a \quad (۲۴)$$

با توجه به محدودیت (۲۴) مقدار موجودی اضافی از اجزاء قطعه/ماده a که باعث آزادسازی تعداد بیشتری از قطعه/ماده a در دوره t نمی‌شود برابر با مقدار موجودی نهایی از جزء c در دوره t تقسیم بر مقدار موردنیاز از قطعه/ماده cبرای تولید قطعه/ماده a است.

$$ASS^+_{at} \geq \frac{I_{ct}}{Q_{ac}} - M(1 - COM^-_{act}) \quad \forall a \in A, t \in T, c \in a \quad (۲۵)$$

محدودیت (۲۵) برای تعیین جزءی که تولید اضافی از محصول a را محدود می‌کند در نظر گرفته شده‌است.

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{c\in a} COM^{-}_{act} = 1 \qquad \forall a \in A, t \in T \qquad (۲۶)$$

با توجه به محدودیت (۲۶) برای هر قطعه/ماده حتماً یکی از اجزاء، تولید مازاد آنرا محدود می‌کند.

$$ASS^{+}_{at} \le M \times CPI_{at} \qquad \forall a \in A, t \in T \qquad (۲۷)$$

با توجه به محدودیت (۲۷) اگر موجودی اضافی از اجزاء a وجود داشته‌باشد می‌توان تولید مازاد داشت.

$$MAX_{at} \ge MPAR_{at} \sum_{v\in t:v=t+Milt_i}^{t+Malt_i} P_{atv} \qquad \forall a \in A, t \in T \qquad (۲۸)$$

محدودیت (۲۸) برای تعیین یک حد پایین برای تعداد قطعه/ماده آزادشده a با توجه به حداقل درصد آزادسازی واقعی و مجموع سفارشات برنامه‌ریزی شده نوشته شده‌است.

$$MAX_{at} \ge MQAR_{at} \qquad \forall a \in A, t \in T \qquad (۲۹)$$

محدودیت (۲۹) هم تعیین یک حد پایین برای تعداد قطعه/ماده آزادشده a با توجه به حداقل مقدار آزادسازی واقعی a در دوره t نوشته شده‌است.

$$MAX_{at} \le MPAR_{at} \sum_{v\in t:v=t+Milt_i}^{t+Malt_i} P_{atv} + MZ_{at} \qquad \forall a \in A, t \in T \qquad (۳۰)$$

$$MAX_{at} \le MQAR_{at} + M(1 - Z_{at}) \qquad \forall a \in A, t \in T \qquad (۳۱)$$

با توجه به محدودیت (۳۰) و (۳۱) فقط یکی از محدودیت‌های (۲۹) و (۲۸) فعال است.

$$(1+\varepsilon)(AR_{at} + ASS^{+}_{at}) \le MAX_{at} + ME_{at} \qquad \forall a \in A, t \in T \qquad (۳۲)$$

با توجه به محدودیت (۳۲) اگر موجودی به‌اندازه کافی برای قطعه/ماده a در زمان t در انبار وجود نداشته باشد مقدار MAX_{at} باید بیشتر از مقدار واقعی آزادشده از قطعه/ماده a بعلاوه مقدار اضافی از تولید قطعه/ماده a باشد و علت قراردادن ε این است که اگر مقدار کافی

www.SID.ir

Archive of SID

موجودی قطعه/ماده a وجود نداشته‌باشد باید مقدار MAX_{at} بیشتر از مجموع AR_{at} و ASS_{at}^{+} باشد.

$$AR_{at} \geq MAX_{at} - M(1 - AR_{at}^{*}) \qquad \forall a \in A, t \in T \qquad (۳۳)$$

در محدودیت (۳۳) اگر مقدار واقعی آزادسازی از قطعه/ماده a در دوره t برآورده شود، حداقل مقدار آن برابر با MAX_{at} است.

$$AR_{at} \leq M \times AR_{at}^{*} \qquad \forall a \in A, t \in T \qquad (۳۴)$$

$$AP_{it} \leq M \times AP_{it}^{*} \qquad \forall i \in I, t \in T \qquad (۳۵)$$

$$P_{itv} \leq M \times P_{itv}^{*} \qquad \forall a \in A, t \in T, v \in T, \; T + Milt_{i} \leq v \leq t + Mali_{i} \qquad (۳۶)$$

محدودیت‌های (۳۴)، (۳۵) و (۳۶) برای محدود کردن متغیرهای AR_{at} ، AP_{it} و P_{itv} با توجه به متغیرهای صفر و یک AR_{at}^{*} ، AP_{it}^{*} و P_{itv}^{*} نوشته شده‌است.

$$P_{itv}^{*}, AP_{it}^{*}, AR_{it}^{*}, BR_{at}^{*}, CPI_{at}, E_{at}, Z_{at}, LT_{iv}^{*}, PLT_{iv}^{*}, COM_{act}^{-} \in \{0,1\} \qquad (۳۷)$$

$$B_{dt}, I_{it}, IMRP_{it}, P_{itv}, PLT_{iv}, PLT_{iv}^{+}, PLT_{iv}^{-}, SH_{dt}, AP_{it}, AR_{it}, BR_{at}, ASS_{at}^{+}, EWI_{it}, MAX_{at} \geq 0 \qquad (۳۸)$$

محدودیت‌های (۳۷) و (۳۸) برای تعیین حدود متغیرها درنظر گرفته‌شده‌است. لاز م به ذکر است با توجه به مقاله میلتنبرگ (۲۰۰۱) پیچیدگی مدل‌های خطی برنامه‌ریزی نیازمندی‌های موادNP-Hard است.

نتایج محاسباتی برای یک مطالعه موردی

در این قسمت مدل ارائه‌شده برای برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد در تولید بتن آماده مطرح می‌شود. مواد موردنیاز برای تولید بتن عبارت است از: سیمان، درشت‌دانه (شن)، ریزدانه (ماسه) و آب. عیار

www.SID.ir

Archive of SID

بتن‌های تولیدی توسط میزان سیمان به کار رفته در تولید هر واحد (یک مترمکعب) بتن مشخص می‌شود، برای مثال در تولید بتن با عیار ۳۵۰، میزان سیمان به‌کار رفته در هر متر مکعب آن ۳۵۰ کیلوگرم بر مترمکعب خواهد بود. وزن بتن‌های عیار ۳۵۰ معمولاً بین ۲۲۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. سیمان مورد استفاده در تولید بتن که به سیمان پرتلند شناخته می‌شود شامل: آهک، سیلیس، آلومین، اکسیدآهن و اکسیدمنیزیم است. به‌طور کلی کیفیت بتن‌های تولیدی وابسته به میزان درشت‌دانه، ریزدانه و نحوه اختلاط مواد تشکیل دهنده آن است و هر چه میزان ریزدانه‌های آن نسبت به درشت‌دانه‌هایش بیشتر باشد می‌توان بتن‌های مقاوم‌تری تولید کرد. صورت مواد برای محصول موردمطالعه در جداول ۱ و ۲ نوشته شده‌است.

در شرکت تولیدی موردمطالعه بتن آماده با عیار ۳۵۰ به‌صورت عمده تولید می‌شود. ظرفیت تولید در این واحد صنعتی به‌صورت میانگین ۳۰۰۰ واحد (به‌صورت پیش‌فرض هر مترمکعب بتن یک واحد محصول در نظر گرفته می‌شود) در هفته است. ما در این مطالعه برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد در شرکت مورد مطالعه را برای ۸ هفته کاری اجرا می‌کنیم. در ابتدای دوره تولید فرض می‌شود که موجودی انبار خالی است و طول افق برنامه‌ریزی ۱۲ هفته در نظر گرفته می‌شود تا فرصت تولید بتن در دوره‌های ماقبل (۴ هفته) دوره تولید وجود داشته باشد. اهمیت و اولویت ضرایب به‌کار رفته در تابع هدف مسأله با توجه به نظر واحد فروش در شرکت مورد مطالعه و با بررسی سوابق ثبت شده در آن شرکت تخمین زده شده‌اند. همچنین هزینه‌های تولید و موجودی به کار رفته در این مطالعه بر اساس نظراتی است که از واحد فروش این شرکت جمع‌آوری شده است. با توجه به اهمیت کمبود در جلوگیری از مواجهه مشتریان با کمبود، هزینه‌های کمبود به‌صورت فروش ازدست‌رفته و پس‌افت در اولویت اول هستند. هزینه‌های موجودی نهایی و موجودی‌های در جریان ساخت که هزینه‌های زیادی به سیستم تولیدی تحمیل خواهند کرد در اولویت دوم هستند. هزینه راه‌اندازی نیز مورد توجه است ولی نسبت به سایر هزینه‌ها در اولویت پایین‌تری قرار دارد چون با هر بار راه‌اندازی می‌توان تعداد واحدهای زیادی از محصول تولید کرد. هزینه‌های تغییر هر واحد در زمان پیشبرد در اولویت آخر است. اطلاعات هزینه‌ای شرکت مورد مطالعه در جدول ۳ نوشته شده‌است.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱- صورت مواد و حداکثر و حداقل زمان پیشبرد برای ساخت بتن با عیار ۳۵۰

سطح *BOM*	ماده	میزان استفاده در هر واحد بتن	درصد استفاده در هر واحد بتن	$Milt_i$	$Malt_i$
۱	بتن	۲٤۰۰ Kg/m3	–	۱	۲
۲	سیمان	۳۵۰ Kg/m3	۰,۱٤٦	۲	۳
۲	شن	۷۵۰ Kg/m3	۰,۳۱	۱	۳
۲	ماسه	۱۱۲۵ Kg/m3	۰,٤۷	۱	۳
۲	آب	۱۷۵ Kg/m3	۰,۰۷٤	۱	۱

جدول ۲- صورت مواد و حداکثر و حداقل زمان پیشبرد برای ساخت سیمان پرتلند

سطح *BOM*	ماده	میزان استفاده در هر واحد سیمان	درصد استفاده در هر واحد سیمان	$Milt_i$	$Malt_i$
۲	سیمان	۳۵۰ Kg/m3	–	۲	۳
۳	آهک	۲۲۰ Kg/m3	۰,٦۳	۱	۲
۳	سیلیس	۷۰ Kg/m3	۰,۲۰	۱	۳
۳	آلومین	۲۱ Kg/m3	۰,۰٦	۱	۲
۳	اکسید آهن	۱۰,۵ Kg/m3	۰,۰۳	۱	۳
۳	اکسید منیزیم	۵ Kg/m3	۰,۰۱۵	۱	۳

در بتن و سیمان تولیدی محدودیت‌های ظرفیتی وجود دارد و بقیه اجزای محصول دارای محدودیت نمی‌باشند. $MQAR_{at}$ برای بتن ۳۰ ٪ و برای سیمان ۲۰ ٪ در نظر گرفته‌شده‌است. مقدار پارامتر FP_i برای همه‌ی مواد برابر ۱ است. در تولید بتن میزان ضایعات و تولیدات معیوب زیر ۵ ٪ است. مسائل مورد بحث در این پژوهش توسط حل‌کننده سی‌پلکس[1] و در نرم افزار بهینه‌سازی گمز[2] حل شده‌است که نحوه حل مسأله و هزینه‌های بدست‌آمده برای درصد ضایعات

1. CPLEX
2 .GAMS

www.SID.ir

Archive of SID

مختلف در جدول (۴) نوشته شده است. هزینه‌های موجودی در این مسأله شامل هزینه نگهداری موجودی کالای نهایی و نگهداری موجودی در جریان ساخت است.

همانطور که مشخص است، با افزایش میزان ضایعات هزینه فروش ازدست‌رفته نیز افزایش می‌یابد، ولی با توجه به اینکه درصد کمی (۱۰٪) از تقاضای مشتریان به‌صورت فروش ازدست‌رفته است، لذا این هزینه نسبت به هزینه کمبود پس‌افت سهم کمتری از هزینه کل سیستم را شامل می‌شود. همچنین محدوده امکان پذیری کمبود برای هزینه سفارشات عقب‌افتاده هر قطعه/ماده (BO_d) و هزینه موجودی ازدست‌رفته هر قطعه/ماده (LS_d) به ترتیب ۹۰۰۰۰ و ۸۳۰۰۰۰ است و اگر هر یک از این دو پارامتر بیشتر از این مقادیر باشند آنگاه مقدار کمبود تقریباً برابر صفر خواهد بود.

جدول ۳- هزینه‌های تولید و موجودی

نوع هزینه	میزان هزینه برای هر واحد محصول
فروش ازدست‌رفته	۷۰۰۰۰ تومان
کمبود پس‌افت	۵۰۰۰۰ تومان
نگهداری موجودی	۳۵۰۰۰ تومان
موجودی در جریان ساخت	۳۵۰۰۰ تومان
هزینه راه‌اندازی	۲۰۰۰۰ تومان
تغییر هر واحد زمان پیشبرد	۱۰۰۰۰ تومان

در مجموع اختلاف هزینه کمبود، که شامل کمبود پس‌افت و فروش ازدست‌رفته است، بین بیشترین و کمترین میزان ضایعات در سیستم تولیدی موردمطالعه، حدود ۸ میلیون تومان است که هزینه نسبتاً قابل توجهی است، پس برای جلوگیری از تحمیل هزینه کمبود بیشتر به سیستم تولیدی باید تعداد کالای معیوب تولیدی را کاهش داد. هزینه نگهداری هم همانند هزینه کمبود با افزایش میزان ضایعات و تولیدات معیوب سیر صعودی داشته و افزایش می‌یابد. با توجه به نتایج جدول ۴، اختلاف

www.SID.ir

Archive of SID

هزینه نگهداری بین بیشترین و کمترین میزان ضایعات در سیستم تولیدی موردمطالعه، حدود ۱۲ میلیون تومان است. هزینه تغییر زمان‌پیشبرد هم با افزایش میزان ضایعات تغییر خواهد یافت، ولی چون این هزینه نسبت به هزینه‌ی کل سیستم مقدار ناچیزی است، تغییرات آن با افزایش درصد ضایعات، متفاوت است. با توجه به نتایج، هزینه کل با افزایش میزان ضایعات از ۱٪ به ۵٪ حدود ۱۲ میلیون تومان افزایش خواهد یافت که این مقدار نسبت به هزینه کل سیستم تولیدی موردمطالعه مقدار قابل ملاحظه‌ای است. همچنین زمان‌های پیشبرد بدست‌آمده برای تولید بتن در شرکت موردمطالعه در جدول ۵ ثبت شده‌است. با توجه به نتایج بدست آمده از جدول ۵ ملاحظه می‌شود که زمان‌های پیشبرد برای اجزای مختلف محصول مورد مطالعه متغیر است و زمان‌های پیشبرد در مقاطع مختلف زمانی تغییر کرده‌اند و این تغییر انعطاف‌پذیری تولید را افزایش می‌دهد. برنامه سفارش‌دهی اقلام در جدول ۶ ثبت شده است که با ضرب اعداد جدول ۶ در وزن هر یک از مواد میزان سفارش‌دهی برای هر جزء به کیلوگرم بدست خواهد آمد.

جدول ٤- هزینه‌های موجودی با درنظر گرفتن درصد ضایعات مختلف

حالت	۱٪ ضایعات	۱,۵٪ ضایعات	۲٪ ضایعات
کمبود پس‌افت	۱۸۷۱۲۸۷	۲۷۹۳۱۰۳	۳۷۰۵۸۸۲
کمبود ازدست‌رفته	١٤٨٥١٤	٢٢١٦٧٤	٢٩٤١١٧
موجودی	١٤٠١٦٢١٠	١٥٤٨٠٤٣٠	١٧٠٨٩٣٠٠
راه‌اندازی	١٣٤٠٠٠٠	١٣٤٠٠٠٠	١٣٤٠٠٠٠
تغییر زمان پیشبرد	٢٢٠٠٠٠	٢٤٠٠٠٠	٢٠٠٠٠٠
کل	١٧٥٩٦٠١٣	٢٠٠٧٥٢٠٥	٢٢٦١١٣٥٥
حالت	۲,۵٪ ضایعات	۳٪ ضایعات	۳,۵٪ ضایعات
کمبود پس‌افت	٤٦٠٩٧٥٦	٥٥٠٤٨٥٤	٦٣٩١٣٠٤
کمبود ازدست‌رفته	٣٦٥٨٥٣	٤٣٦٨٩٣	٥٠٧٢٤٦
موجودی	١٨٠١٧٧٧٠	١٩٧٠٩٣٥٠	٢٠٨٨٩٢٥٠
راه‌اندازی	١٣٤٠٠٠٠	١٣٤٠٠٠٠	١٣٤٠٠٠٠
تغییر زمان پیشبرد	٢٨٠٠٠٠	٢٧٠٠٠٠	٣٤٠٠٠٠
کل	٢٤٦١٣٣٨٣	٢٧٢٦٠٠٩٨	٢٩٤٦٧٧٩٦

www.SID.ir

Archive of SID

حالت	٤٪ ضایعات	٤,٥٪ ضایعات	٥٪ ضایعات
کمبود پس‌افت	۷۲٦۹۲۳۰	۸۱۳۸۷٥٥	۹۰۰۰۰۰۰
کمبود ازدست‌رفته	٥۷٦۹۲۳	٦٤٥۹۳۳	۷۱٤۲۸٥
موجودی	۲۲٤۱۲۹۷۰	۲٤۱۷۳۳٦۰	۲٥۹۲۳۱۳۰
راه‌اندازی	۱۳٤۰۰۰۰	۱۳٤۰۰۰۰	۱۳٤۰۰۰۰
تغییر زمان پیشبرد	۳۲۰۰۰۰	۲٤۰۰۰۰	۲٤۰۰۰۰
کل	۳۱۹۱۹۱۱۹	۳٤٥۳۸۰٥۲	۳۷۲۲٦٤۱٤

حد پایین

در اغلب سیستم‌های موجودی، هزینه‌های نگهداری و کمبود سهم بسیار زیادی از هزینه کل را به خود اختصاص می‌دهند و سایر هزینه‌ها نقش کمرنگ‌تری داشته و نسبت به هزینه‌های نگهداری و کمبود درصد کمتری از هزینه‌های سیستم را شامل می‌شوند. پس با تعیین محدوده‌ی هزینه‌های نگهداری و کمبود می‌توان محدوده‌ی هزینه کل مدل ارائه‌شده را با تقریب خوبی تعیین کرد. در این مقاله برای هر یک از هزینه‌های نگهداری و کمبود روابطی معرفی شده‌است تا بتوان حد پایین مدل را بدست‌آورد و عملکرد هر یک از روابط با استفاده از شاخص RPD سنجیده شده‌است. مقدار RPD از رابطه (۳۹) محاسبه می‌گردد (Z^* مقدار بهینه تابع‌هدف است).

$$RPD = \frac{Z^* - LB}{Z^*} \times 100 \qquad (۳۹)$$

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۵- تعیین زمان‌های پیشبرد برای تولید بتن با عیار ۳۵۰

ماده	سطح *BOM*	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
بتن آماده	۱						۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲
شن	۲				۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱		
ماسه	۲				۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱		
سیمان	۲				۲	۲	۲	۲	۲	۲	۲		
آب	۲				۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱		
آهک	۳		۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱				
سیلیس	۳		۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱				
آلومین	۳		۱	۲	۲	۲	۲	۲	۲				

ماده	سطح *BOM*	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
اکسید آهن	۳		۱	۱	۳	۲	۲	۲	۲				
اکسید منیزیم	۳		۱	۲	۲	۲	۱	۳	۲				

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ٦- برنامه سفارش‌دهی اقلام برای تولید بتن با عیار ۳۵۰ (۲٪ ضایعات)

ماده	سطح BOM	۱	۲	۳	٤	٥	٦	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
بتن آماده	۱						۳۰۰۰	٤۰۰۰	۳۰۰۰	٤۱۰۰	۲۷۰۰	۳٥۰۰	٤۲۰۰
شن	۲			۹٤۸	۱۲٦٤	۹٤۸	۱۲۹٦	۸٥۳	۱۱۰٦	۱۳۲۸			
ماسه	۲			۱٤۳۸	۱۹۱۷	۱٤۳۸	۱۹٦٥	۱۲۹٤	۱٦۷۷	۲۰۱۳			
سیمان	۲		٤٤٦	٥۹٥	٤٤٦	٦۱۰	٤۰۲	٥۲۱	٦۲٥				
آب	۲			۲۲٦	۳۰۱	۲۲٦	۳۰۹	۲۰۳	۲٦٤	۳۱۷			
آهک	۳	۲۸۱	۳۷٥	۲۸۱	۳۸٤	۲٥۳	۳۲۸	۳۸۸					
سیلیس	۳	۸۹	۱۱۹	۸۹	۱۲۲	۸۰	۱۰٤	۱۲۳					
آلومین	۳	٦۳	۲۷	۳۷	۲٤	۳۱	۳۸						
اکسید آهن	۳	۲۷	۱۸	۱۸	۱۲	۱٦	۱۹						
اکسید منیزیم	۳	۱٦	۷	۹	۸	٦	۱۰						

برای این‌که حد پایین ارائه‌شده، جواب‌های مناسب و قابل قبولی برای سیستم برنامه‌ریزی احتیاجات مواد تولید کند، می‌بایست دارای شرایطی باشد. (۱) اولین دوره‌ی تقاضا در سیستم برنامه‌ریزی احتیاجات مواد به‌صورت نرمال باشد. به‌صورتی که باید اولین دوره‌ی تقاضا بزرگتر یا مساوی مجموع حداقل زمان‌های پیشبرد اجزاء باشد تا فرصت کافی برای تولید وجود داشته باشد ($\sum_i Milt_i \geq$ اولین دوره تقاضا). (۲) هزینه‌های کمبود و نگهداری موجودی بزرگتر از سایر هزینه‌ها بوده و نقش پر رنگ‌تری داشته‌باشند.

www.SID.ir

Archive of SID

حد پایین هزینه نگهداری

در این مقاله برای تعیین حد پایین مجموع هزینه‌های نگهداری کالا و موجودی در جریان ساخت، رابطه (۴۰) ارائه‌شده است. در این رابطه متوسطی از هزینه نگهداری و موجودی در جریان ساخت همچنین ضریبی (λ) از متوسط تقاضا، برای تعیین حد پایین به‌کار گرفته‌شده است.

$$LB_{hc} = \frac{H + HW}{2} \times \lambda_1 \times \frac{\sum D}{n} \qquad (۴۰)$$

در سیستم‌های برنامه‌ریزی احتیاجات مواد، در هر دوره درصد کمی از تقاضا نگهداری می‌شود و درصد بسیار زیادی از تقاضا برای به‌حداقل رساندن هزینه‌ها تحویل مشتریان می‌شود. ما برای برآورد درصدی از متوسط تقاضای مشتریان که در سیستم نگهداری می‌شود، ضریب تعدیلی $[\lambda_1 = 0.09 + 2\beta]$ که وابسته به درصد ضایعات فرآیند تولید بوده و با حل مثال‌های مختلف به‌دست آمده‌است، معرفی کرده‌ایم. مقادیر بدست آمده از حد پایین و مقدار بهینه تابع‌هدف مجموع هزینه نگهداری برای درصد ضایعات مختلف در جدول ۷ به ثبت رسیده است. با توجهاین جدول، حد پایین عملکرد خوبی داشته و با افزایش درصد ضایعات نیز اختلاف محسوسی با مقدار بهینه هزینه نگهداری ایجاد نمی‌کند.

جدول ۷- حد پایین برای هزینه‌های نگهداری

درصد ضایعات	مقدار بهینه	LB_{hc}	RPD
٪۱	۱٤۰۱٦۲۱۰	۱۳٤۷۵۰۰۰	۰,۰٤
٪۲	۱۷۰۸۹۳۰۰	۱۵۹۲۵۰۰۰	۰,۰۷
٪۳	۱۹۷۰۹۳۵۰	۱۸۳۷۵۰۰۰	۰,۰۷
٪٤	۲۲٤۱۲۹۷۰	۲۰۸۲۵۰۰۰	۰,۰۷
٪۵	۲۵۹۲۳۱۳۰	۲۳۲۷۵۰۰۰	۰,۱

www.SID.ir

Archive of SID

حد پایین هزینه کمبود

برای تعیین حد پایین مجموع هزینه‌های کمبود پس‌افت و فروش ازدست‌رفته رابطه (۴۱) ارائه‌شده است.

$$LB_{hc} = \frac{BO + LS}{2} \times \lambda_2 \times \frac{\sum D}{n} \qquad (۴۱)$$

ضریب تعدیل برای حد پایین هزینه کمبود $[\lambda_2 = 0.9\beta]$ نیز وابسطه به درصد ضایعات فرآیند تولید بوده و با حل مثال‌های مختلف به‌دست آمده‌است. مقادیر به‌دست آمده از حد پایین و مقدار بهینه تابع‌هدف مجموع هزینه‌های کمبود برای درصد ضایعات مختلف در جدول ۸ به ثبت رسیده‌است.

جدول (۸): حد پایین برای هزینه کل

درصد ضایعات	مقدار بهینه	LB_{bc}	RPD
٪۱	۲۰۱۹۸۰۱	۱۸۹۰۰۰۰	۰,۰۶
٪۲	۳۹۹۹۹۹۹	۳۷۸۰۰۰۰	۰,۰۵
٪۳	۵۹۴۱۷۴۷	۵۶۷۰۰۰۰	۰,۰۵
٪۴	۷۸۴۶۱۵۳	۷۵۶۰۰۰۰	۰,۰۴
٪۵	۹۷۱۴۲۸۵	۹۴۵۰۰۰۰	۰,۰۳

حد پایین کل

در سیستم‌های تولیدی ، بیشتر هزینه‌ها را هزینه‌های نگهداری مواد و کمبود اقلام تشکیل می‌دهند. پس با درنظر گرفتن حد پایین هزینه‌های نگهداری و کمبود می‌توان به‌خوبی حد پایین تابع‌هدف مسأله در این مقاله را به‌دست آورد. حد پایینی که برای تابع‌هدف ارائه‌شده است، عبارت است از مجموع حدپایین هزینه نگهداری و حد پایین هزینه کمبود. (رابطه (۴۲))

$$LB_T = LB_{hc} + LB_{bc} \qquad (۴۲)$$

www.SID.ir

Archive of SID

مقادیر به‌دست آمده از حد پایین و مقدار بهینه تابع‌هدف مجموع کل هزینه‌ها برای درصد ضایعات مختلف در جدول ۹ به ثبت رسیده است. برای تخمین تابع‌هدف مسأله و مجموع هزینه‌های در نظر گرفته‌شده، حدود و روابط ارائه‌شده کارایی خوبی دارند و می‌توانند الگویی مناسبی برای تخمین هزینه‌های مسأله باشند.

جدول ۹- حد پایین برای هزینه کل

درصد ضایعات	مقدار بهینه	LB_T	RPD
٪۱	۱۷۵۹۶۰۱۳	۱۵۳٦۵۰۰۰	۰,۱۳
٪۲	۲۲٦۱۱۳۵۵	۱۹۷۰۵۰۰۰	۰,۱۳
٪۳	۲۷۲٦۰۰۹۸	۲٤۰٤۵۰۰۰	۰,۱۲
٪٤	۳۱۹۱۹۱۱۹	۲۸۳۸۵۰۰۰	۰,۱۱
٪۵	۳۷۲۲٦٤۱٤	۳۲۷۲۵۰۰۰	۰,۱۲

تحلیل و نتایج حل عددی

در این بخش با ارائه و حل مثال‌های مختلف اعتبار مدل ارائه‌شده در این پژوهش را می-سنجیم. چون پارامترهای درصد ضایعات و هزینه موجودی ازدست‌رفته هر قطعه/ماده، جزء پارامترهای اصلی در نوآوری این پژوهش است لذا برای اعتبار سنجی مدل ارائه شده، مسائلی را در ابعاد مختلف و با درنظر گرفتن مقادیر مختلف این پارامترها حل نموده‌ایم، بدین منظور مدل مسأله را در حالت‌های ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ جزئی و با تولید کردن سه مقدار تصادفی برای پارامتر هزینه موجودی ازدست‌رفته هر قطعه/ماده با توزیع یکنواخت در بازه [۱۰۰۰۰ تومان ، ۲۰۰۰۰۰ تومان] و سپس رند کردن اعداد به‌دست آمده به بالا (مقادیر ۳۶۰۰۰، ۶۰۰۰۰ و ۱۵۰۰۰۰ برای پیاده‌سازی در مسائل مورد نظر به‌دست آمد) و همچنین سه حالت ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصد ضایعات، حل کرده و نتایج آن را در قالب هزینه‌های عمده مدل که شامل هزینه کل(تابع‌هدف)، موجودی و کمبود است را در جدول ۱۰ به ثبت رسانده‌ایم

www.SID.ir

Archive of SID

(سایر پارامترها مشابه پارامترها و فرضیات شرکت مورد مطالعه در بخش ۴ بوده و برای تمامی مسائل ثابت فرض شده است).

جدول ۱۰- نتایج حل مدل در حالت‌های مختلف

تعداد اقلام	درصد ضایعات											
	۰,۳				۰,۲				۰,۱			
	هزینه کمبود (میلیون)	هزینه موجودی (میلیون)	تابع هدف (میلیون)	هزینه فروش از دست رفته	هزینه کمبود (میلیون)	هزینه موجودی (میلیون)	تابع هدف (میلیون)	هزینه فروش از دست رفته	هزینه کمبود (میلیون)	هزینه موجودی (میلیون)	تابع هدف (میلیون)	هزینه فروش از دست رفته
۵	۱۸٤,٦	۳۹,۷	۲۲۵,۳	۳٦۰۰۰	۱٤۷,۲	۳٤,٤	۱۸۲,٤	۳٦۰۰۰	۱۰۲	۲۹,۱	۱۳۱,۸	۳٦۰۰۰
	۳۵۵,۲	۳۹,۷	۳۸۹,٤	٦۰۰۰۰	۳۰۳,۳	۳٤,٤	۳۳۱,۹	٦۰۰۰۰	۲۳٤	۲۹,۱	۲۵۷,۱	٦۰۰۰۰
	۹۱۰,۳	۳۹,۷	۹٤٤,۷	۱۵۰۰۰۰	۷۹۹	۳٤,٤	۸۲۷,۷	۱۵۰۰۰۰	٦۵۵,٤	۲۹,۱	٦۷۸,۵	۱۵۰۰۰۰
۱۰	۳۵۵	۷۵,۳	٤۳۱,۱	۳٦۰۰۰	۳۰٤	٦۲,٤	۳٦۷,٦	۳٦۰۰۰	۲٤۵	٤۹,۵	۲۹۵,۵	۳٦۰۰۰
	۵۸۸	۷۵,۳	٦٦٤,٦	٦۰۰۰۰	۵۰٤	٦۲,٤	۵٦۷,۹	٦۰۰۰۰	٤۰٦	٤۹,۵	٤۵٦,۹	٦۰۰۰۰
	۱٤٦٤	۷۵,۳	۱۵٤۰	۱۵۰۰۰۰	۱۲۵۵	٦۲,٤	۱۳۱۸,۹	۱۵۰۰۰۰	۱۰۱۱	٤۹,۵	۱۰٦۲	۱۵۰۰۰۰
۱۵	٦۰٦,۳	۱۰۹	۷۱۷,۱	۳٦۰۰۰	۵۲٦,٤	۹۱	٦۱۸,۸	۳٦۰۰۰	٤۳۲	۷۳	۵۰٦,۱	۳٦۰۰۰
	۹۲۱,۲	۱۰۹	۱۰۳۲,۹	٦۰۰۰۰	۸۱٤	۹۱	۹۰۷,۲	٦۰۰۰۰	٦۸۹,۲	۷۳	۷٦٤	٦۰۰۰۰
	۲۲۹٤	۱۰۹	۲٤۰۵,۵	۱۵۰۰۰۰	۲۰۳۷,۵	۹۱	۲۱۳۰,٤	۱۵۰۰۰۰	۱۷۵۲	۷۳	۱۸۲٦,٤	۱۵۰۰۰۰
۲۰	۱۰٤۵,۱	۲۱۰	۱۲۵۷	۳٦۰۰۰	۹٦۷,٦	۱۷۹	۱۱٤۸	۳٦۰۰۰	۸۸۱	۱٤۸	۱۰۳۰	۳٦۰۰۰
	۱٤۵٤,۲	۲۱۰	۱٦٦۷,٤	٦۰۰۰۰	۱۳۳۵,۸	۱۷۹	۱۵۱۷,٤	٦۰۰۰۰	۱۱۹۰	۱٤۸	۱۳٤۰,۱	٦۰۰۰۰
	۳۹۰۳,۷	۲۱۰	٤۱۱۷	۱۵۰۰۰۰	۳٤۸۳,٦	۱۷۹	۳٦٦۵,۲	۱۵۰۰۰۰	۳۰۳۲,٦	۱٤۸	۳۱۸۲,٦	۱۵۰۰۰۰
۲۵	۱٦٤۸,۱	۳۱۰,۳	۱۹٦۰,٤	۳٦۰۰۰	۱۵۵۳,۵	۲٦۷,۳	۱۸۲۲,۲	۳٦۰۰۰	۱٤۵۰	۲۲٤,۳	۱٦۷۵,۲	۳٦۰۰۰
	۲۰۵۷,۷	۳۱۰,۳	۲۳۷۱,۳	٦۰۰۰۰	۱۹۰۹,٤	۲٦۷,۳	۲۱۷۹,۳	٦۰۰۰۰	۱۷٤۰	۲۲٤,۳	۱۹٦٦,۳	٦۰۰۰۰
	۵۷٤۸,۷	۳۱۰,۳	٦۰٦۳,۱	۱۵۰۰۰۰	۵۲٦۱,۸	۲٦۷,۳	۵۵۳۲,٤	۱۵۰۰۰۰	٤۷۳٦,۲	۲۲٤,۳	٤۹٦۳,۱	۱۵۰۰۰۰

همانطور که از نتایج جدول ۱۰ پیداست و مطابق انتظارات، هزینه‌های کل و کمبود در مسائل مختلف به تعداد اجزاء، هزینه فروش از دست رفته و درصد ضایعات حساسیت داشته و با افزایش مقادیر این پارامترها، افزایش می‌یابد و این موضوع صحت مدل ارائه شده را تأیید

www.SID.ir

Archive of SID

می‌کند. همچنین هزینه موجودی با افزایش تعداد اجزاء و درصد ضایعات افزایش می‌یابد ولی این هزینه با افزایش پارامتر هزینه فروش از دست رفته تغییری نمی‌کند و دلیل این موضوع عدم تأثیر این پارامتر در متغیرهای تأثیرگذار در مقدار موجودی اقلام در مدلسازی و دلیلی بر صحت مدل ارائه شده است. با توجه به این نکته که اهمیت عدم مواجهه‌ی با کمبود در مدل مسأله بیشتر از نگهداری موجودی فرض شده است(پارامترهای در نظر گرفته شده در بخش ۴) لذا مقدار هزینه‌های کمبود سهم بیشتری در مقدار هزینه کل نسبت به هزینه موجودی در مسائل مختلف دارند. برای درک بهتر روند تغییرات هزینه‌های کل، کمبود و موجودی ارائه شده در جدول ۱۰، شکل‌های ۱ تا ۳ ترسیم شده است.

پیشنهادات مدیریتی

با بررسی سیستم تولیدی شرکت موردمطالعه و نتایج به‌دست آمده از پیاده‌سازی مدل برنامه-ریزی نیازمندی‌های مواد در آن شرکت می‌توان پیشنهادات زیر را ارائه کرد.

پیشنهاد اول

با توجه به هزینه‌های بالای مواجهه سیستم تولیدی با هر واحد کمبود و اهمیت تأمین تقاضای مشتریان در موعد مقرر، باید به کیفیت محصولات تولیدی و بالابردن کارایی ماشین‌آلات توجه ویژه‌ای شود. در این مقاله با توجه به هزینه‌های بدست آمده، با بالابردن کیفیت بتن تولیدی می‌توان حدود ۱۲ میلیون تومان در هزینه‌های تولیدی و موجودی صرفه جویی کرد.

پیشنهاد دوم

با توجه به زمان‌های پیشبرد به‌دست آمده این‌گونه می‌توان نتیجه گرفت که در تولید بتن، سیمان گلوگاه است و با توجه به وجود درصدی از ضایعات در تولید سیمان، برای کاهش هزینه‌های کمبود می‌توان از موجودی بافر[1] استفاده کرد.

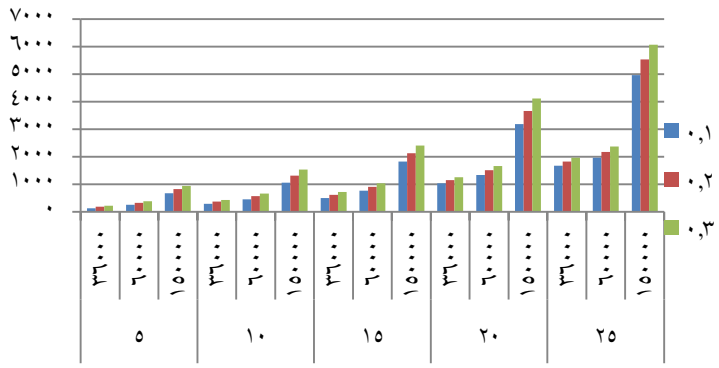
1. Buffer

www.SID.ir

Archive of SID

پیشنهاد سوم

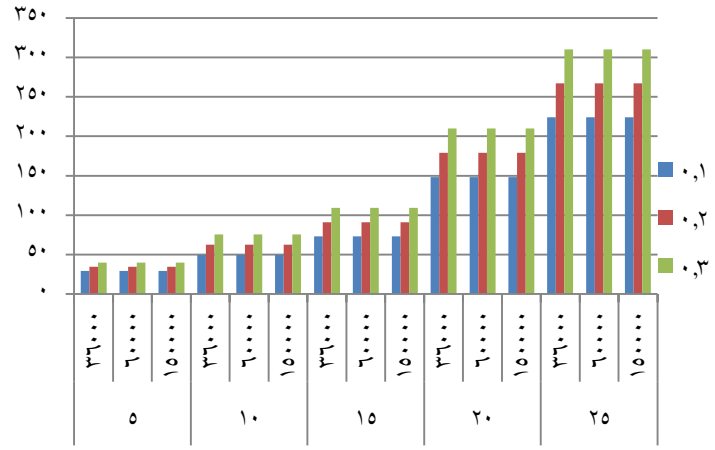
در سفارش‌دهی مواد/قطعات نکته حائز اهمیت توجه ویژه به هزینه‌های با اهمیت بیشتر است (معمولاً هزینه‌های نگهداری و کمبود سهم بیشتری از هزینه‌های کل را شامل می‌شوند). برای مثال در تولید بتن، شن و ماسه درصد بالایی از حجم محصول را شامل می‌شوند (برای تولید هر متر مکعب بتن، ۱۱۲۵کیلوگرم ماسه و ۷۵۰ کیلوگرم شن موردنیاز است.) و هیچ‌کدام گلوگاه نیستند پس برای کاهش هزینه‌های موجودی می‌بایست زمان سفارش‌دهی این مواد را به زمان تولید نزدیک کرد. و از طرف دیگر سیمان حجم نسبتاً کمی از محصول را شامل می‌شود و هزینه نگهداری آن کمتر از شن و ماسه است ولی گلوگاه است و در صورت کمبود سیمان درصد زیادی از تقاضا با کمبود مواجه خواهد شد پس بهتر است برای کاهش هزینه‌های کمبود، فرجه‌ی بیشتری برای سفارش‌دهی سیمان در نظر گرفت و زمان سفارش‌دهی آن را از زمان تولید بتن تا حد قابل قبولی که هزینه‌ی نگهداری و کمبود متعادل گردند، دور کرد.



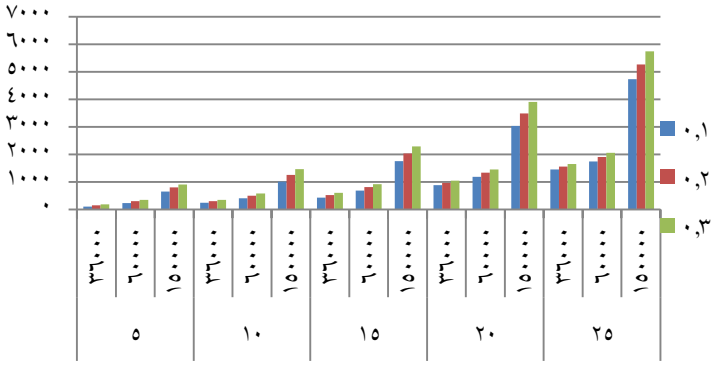
شکل ۱- مقدار هزینه کل در حالات مختلف مسأله

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- مقدار هزینه موجودی در حالات مختلف مسأله



شکل ۳- مقدار هزینه کمبود در حالات مختلف مسأله

نتیجه‌گیری

در این مقاله یک مدل ریاضی برای تعیین زمان‌های پیشبرد برای سیستم‌های برنامه ریزی نیازمندی‌های مواد ارائه شد و این مدل برای یک شرکت تولیدی بتن آماده به‌کار گرفته‌شد. در این مدل میزان ضایعات موردبحث قرار گرفت و با توجه به متغیر بودن این درصد در دوره‌های تولیدی مختلف و وابستگی آن به حالات مختلف، برای حالت‌های مختلف مورد محاسبه قرارگرفت و اهمیت توجه به کارایی تولید و جلوگیری از تولید کالای معیوب و نامرغوب نشان داده شد با توجه به نتایج، با کاهش میزان ضایعات در شرکت موردمطالعه می-

www.SID.ir

Archive of SID

توان هزینه‌های تولیدی را حدود ۳۰٪ کاهش داد. همچنین در این مقاله بخشی از تقاضای برآورده نشده مشتریان به‌صورت تقاضای ازدست‌رفته در مدل اعمال گردید که این مسأله منجر به اهمیت بیشتر برآورده سازی نیاز مشتریان در موعد مقرر گردید. این مقاله رویکرد سنتی حاکم در سیستم‌های برنامه‌ریزی نیازمندی‌های مواد که مقادیر زمان‌های پیشبرد، به‌صورت ثابت در نظر گرفته می‌شد و انعطاف‌پذیری سیستم‌های تولیدی را کاهش و هزینه‌های بیشتری را به آن سیستم‌ها تحمیل می‌کرد را تغییر داده و مدل با کارایی بیشتری ارائه شد. همچنین برای تخمین میزان هزینه‌های مدل مطرح شده،حد پایینی ارائه شد و با توجه به نتایج از عملکرد خوبی برخوردار بود. تحقیقات پیشنهادی آتی می‌تواند ارائه مدل‌هایی برنامه ریزی احتیاجات مواد مشابه در سیستم‌های تولیدی پیوسته با فرضیات جدید باشد. همچنین فرضیاتی همچون احتمالی بودن زمان‌های پیشبرد یا در نظر گرفتن منطق فازی در مدل ارائه شده می‌تواند به جامعیت مدل مطرح شده کمک کند.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

Altendorfer, K & .Minner, S., (2011" .(Simultaneous optimization of capacity and planned lead time in a two stage production system with different customer due dates ."*European Journal of Operational Research*.۱۳۴۱۴۶,۲۱۳. .

Billington, P., McClain, J & .Thomas, L.J., (1983" .(Mathematical Programming Approaches to Capacity-Constrained MRP Systems: Review, Formulation, and Problem Reduction ."*Management Science, 29*.۱۱۴۱-۱۱۲۶,

Borodin, V., Hnaien, F & .Dolgui, A" .andom lead times in replenishment planning for single-level assembly systems: The value of information ." *IFAC PapersOnLine 50-1 (2017) 1205–1210.*

Dolgui, A & .Ould-Louly, M.-A., (2002" .(A Model for Supply Planning under Lead Time Uncertainty ."*International Journal of Production Economics, 78, 145-152.*

Dolgui, A., Ben Ammar, O., Hnaien, F & .Louly M.A.O., (2013" .(A State of the Art on Supply Planning and Inventory Control under Lead Time Uncertainty ."*Studies in Informatics and Control, 22, 255-268.*

George Ioannou & .Stavrianna Dimitriou., (2012" . (Lead time estimation in MRP/ERP for make-to-order manufacturing systems ." *International Journal of Production Economics, 139,551–563 .*

Haeussler, S & .Schneckenreither, M, (2019" .(Adaptive Order Release Planning with Dynamic Lead Times ."*IFAC PapersOnLine 52-13*.۱۸۹۵–۱۸۹۰ (۲۰۱۹)

Hencha, R & .Verma, D" .Study Of Material Requirement Planning Processes & Its Analysis And Implementation (A Case Study Of

www.SID.ir

Archive of SID

Automobile Industry ." (*International Journal of Scientific & Technology Research. Corpus ID: 203119427 .*

Kanet, J., (1986" .(Toward a Better Understanding of Lead Times in MRP Systems ."*Journal of Operations Management, 6, 305-313.*

Klaus Altendorfer,.(2015".(Influence of lot size and planned lead time on service level and inventory for a single-stage production system with advance demand information and random required lead times ." *International Journal of Production Economics, 47,499-230.*

Manuel Díaz-Madroñero. Josefa Mula & Mariano Jiménez. (2015 .("Material Requirement Planning under Fuzzy Lead Times .*IFAC-PapersOnLine, 48-3-242–247.*

Milne, R. J., Mahapatra, S., Wang, C. T., (2015). Optimizing planned lead times For Enhancing Performance of MRP Systems .,*International Journal of Production Economics. 167–220–231.*

Miltenburg, J, (2001). Computational complexity of algorithms for MRP and JIT production planning problems in enterprise resource planning systems ,Production Planning & Control: The *Management of Operations, 12:2.۲۰۹-۱۹۸ ,*

Orlicky, J. A., (1975" .(*Material Requirements Planning*۱ ,"st edition. McGraw-Hill: New York.

Ould-Louly, M.A & .Dolgui, A., (2004" .(The MPS parameterization under lead-time Uncertainty ."*International Journal of Production Economics.90, 369–376 .*

Plossl, G & .Orlicky's (1994" .(*Material Requirements Planning*۲ ,"nd edition. Mc Graw-Hill :New York.

www.SID.ir

Archive of SID

Pooya, M & Pakdaman, M, (2017" .(Optimal control model for finite capacity continuous MRP with deteriorating items ."*Journal of Intelligent Manufacturing, 10845-017-1383-6.*

Ptak, C. , Smith, C & .Orlicky's (2011" .(*Material Requirements Planning*۳ ,"rd edition.Mc Graw-Hill: New York.

Spitter, J. M., de Kok, A. G & .Dellaert, N.P., (2003" .(*Cost implications of planned lead times in supply chain operations planning* ." working paper.

Teo C-C., Bhatnagar R & .Graves, S.C., (2011" .(Setting planned lead times for a make-to order production system with master schedule smoothing ."*IIE Transactions, 43,399-414.*

Thanh-Ha Nguyen & .Mike Wright., (2015" .(Capacity and lead-time management when demand for service is seasonal and lead-time sensitive ."*European Journal of Operational Research 247,588–595.*

Watcharapan Sukkerd & Teeradej Wutti pornpun,.(2016" .(Hybrid genetic algorithm and tabu search for finite capacity material requirement planning system in flexible flow shop with assembly operations .,"*Computers & Industrial Engineering 97 – 157–169.*

www.SID.ir