مجله

اقتصاد و مدیریت

شماره ۷۱ / زمستان ۱۳۸۵

طراحی مدل ریاضی برنامه‌ریزی تولید و تحویل در سیستم‌های زنجیره تامین

دکتر میربهادر قلی آریانژاد*

دکتر محمود مدیری**

چکیده

در دهه ۱۹۸۰ میلادی شاهد استقرار تعدادی از، راهبردهای جدید تولید، نظیر تولید بهنگام، تولید ناب، سیستم‌های کانبان و مدیریت کیفیت جامع بودیم. این راهبردهای جدید تولید توسط تعدادی از شرکت‌ها برای بهبود سیستم مدیریت، افزایش تولید و بهبود کیفیت فرآیند و همچنین کاهش ضایعات تولید و هزینه‌های موجودی، به منظور بهتر کردن رقابت در بازارهای گوناگون مورد استفاده قرار گرفته‌اند. اخیراً با وجودی که این راهبردها بیشتر برروی بهبود مدیریت زنجیره تأمین برای دست یابی به آرمان‌های آنها متمرکز شده است، از این‌رو تعدادی از راهبردهای توسعه یافته مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان به کمک یک رایانه تجزیه و تحلیل نمود. ابزارهای پشتیبانی کننده تصمیم به کمک رایانه، نقش بسیار مهمی را در همکاری و اداره کردن بازارهای پشتیبان‌کننده تصمیم گیرندگان از یک مجموعه با چندین جزء مرکب زنجیره تأمین، ارائه می‌کنند. این مقاله یک ابزار پشتیبانی کننده تصمیم‌گیری به کمک رایانه را با یک مدل بهینه سازی خطی عدد صحیح، از یک شبکه تعمیم یافته، با چند محصول، چند مرحله‌ای، چند دوره زمانی، با ظرفیت، با تقاضای قطعی، سیستم زنجیره تأمین را توسعه داده است. مدل مطرح شده یک سسیستم کنترل کانبان را برای طراحی و اختصاص تولید و تحویل در سر تا سر زنجیره تأمین مورد استفاده قرار داده است. هدف اولیه مدل، حداقل کردن هزینه تزریق کردن کانبان، هزینه موجودی کالای ساخته شده و هزینه موجودی کار در جریان ساخت، در سیستم است. مسائل عملی سیستم‌های زنجیره تأمین با بهینه سازی اختصاص تولید و تحویل ارتباط داده شده است.

واژگان کلیدی

کانبان، کانبان مصرف، کانبان تولید، سیستم تولید بهنگام، زنجیره تأمین، زمان پردازش کردن و حمل و نقل، تقاضای قطعی، محصولات (تک محصول- چند محصول)، افق برنامه‌ریزی، برنامه‌ریزی غیر خطی، برنامه‌ریزی عدد صحیح

* استاد، عضو هیات علمی دانشگاه علم و صنعت ایران

تهران - میدان رسالت – نارمک - دانشگاه علم و صنعت ایران

** عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب (modiri@yahoo.com)

تهران - خیابان شریعتی - نرسیده به خیابان میرداماد - دانشکده مدیریت و حسابداری - دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

نویسنده مسئول یا طرف مکاتبه: دکتر محمود مدیری

تاریخ دریافت مقاله: ۸۴/۱۲/۷ تاریخ اصلاحات مقاله: ۸۵/۴/۱۹ تاریخ پذیرش مقاله:۸۵/۵/۲۹

مقدمه

تعداد زیادی از شرکت‌ها تلاش می‌کنند که سیستم مدیریت را در بازارهای رقابتی از طریق افزایش تولید و دقت در کیفیت فرآیند[۱] و کاهش عملیات تولید، هزینه‌های مربوط به موجودی کالا را بهبود دهند. بعضی از راهبردهای جدید تولید، از جمله، مدیریت زنجیره تأمین[۲] (SCM) نیز بکار برده شده است.

رویکرد مدیریت زنجیره تأمین، رویکرد جدیدی است که در سال‌های اخیر بر مدیریت عملیات و تولید حاکم شده است. به طور کلی؛ زنجیره تأمین شبکه‌ای از تسهیلات و مراکز توزیع[۳] است که وظایف تهیه و تدارک مواد خام، تبدیل آن مواد به محصول نهایی و واسطه‌ای و توزیع این محصول نهایی به مشتریان[۴] را انجام می‌دهد. زنجیره‌های تأمین در سازمان‌های تولیدی و خدماتی وجود دارند، هر چند که پیچیدگی زنجیره، ممکن است از صنعتی به صنعت دیگر و از شرکتی به شرکت دیگر، تحت تأثیر عوامل مختلف شدیداً تغییر یابد. (فیض آبادی،۱۳۸۲)، به طور کلی منظور از SCM؛ مشخصاً، زنجیره تأمین است. شبکه‌ای از سازمان‌ها که با ارتباط بالا دستی (مافوق) به پایین دستی (مادون)، در فرآیندها و فعالیت‌هایی درگیرند و به صورت محصولات و خدمات ارائه شده به مشتری نهایی، تولید ارزش می‌کنند. (استدلر وکیلگر، ۲۰۰۲، ۱۰-۹)

مدیریت زنجیره تأمین، از یک مجموعه روشهایی بهره‌مند شده که به طور موثر، تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه ها، همچنین کسب و کار کالا، را دربرگرفته، کمیت‌ها درست توزیع شده و به مکان مناسب و در زمان مناسب، به منظور حداقل کردن هزینه زیاد مادامی که نیازمندی‌های سطح خدمات ارائه شده، رضایت بخش باشد را کامل کند. (Simchi-Levi & etal,2000)

از این رو چون خیلی از مواقع مسائل و مشکلات در سیستم‌های زنجیره‌تأمین[۵](SCS) به صورت پیچیده، ترکیبی و متفاوت تعریف می‌شوند و اغلب هم نمی‌توان به طور کامل آنها را تعریف نمود، لذا جنبه‌های زیادی از این سیستم‌ها می‌تواند به طور اثر بخش مورد، تجزیه و تحلیل قرار گیرد، که بعضاً به کمک رایانه و نرم‌افزارهای مربوطه امکان‌پذیر است. تکنولوژی‌های رایانه‌ای بطور روزافزون، بهبود یافته و موارد استفاده ابزارهای پشتیبانی‌کننده تصمیم به منظور بهبود مدیریت و کنترل را در سیستم‌های زنجیره تأمین ایجاد می‌نمایند. (Srisawat, 2002, 5)

در سیستم تولیدی به هنگام[۶] (JIT) هر مرحله از فرآیند، خروجی خود را در زمانی که مورد نیاز مرحله‌ی بعد باشد به مقدار مورد نیاز، پردازش می‌کند و تحویل مرحله‌ی بعد می‌دهد. هدف JIT از این موضوع، علاوه بر دستیابی به تامین کامل و به موقع تقاضا، کاهش سطح موجودی‌ها اعم از مواد اولیه، محصول نیمه ساخته و محصول نهایی است. کانبان مهم‌ترین ابزار برنامه‌ریزی و کنترل جریان تولید برای تحقق این هدف است. JIT نیز مانند هر سیستم تولیدی دیگر، در محیط‌های تولیدی با پارامترهای ثابت و قطعی بهتر عمل می‌کند و اصولاً کاهش و حذف منابع، ایجاد تغییرات و نوسانات در سیستم نیز، از دیگر اهداف JIT است. به دلیل اهمیت مبحث کانبان در JIT تحقیقات متعددی در این زمینه انجام شده، و مقالات متعددی به چاپ رسیده است (Jacob, 2000) و (Monden, 1993) (Jackson, Muckstadt & Rappold, 1999) و (Sterman, 1992) در مقالات مرتبط با تعیین کنترل کانبان تکنیک‌های متعددی از قبیل روش‌های ریاضی (تحلیلی) و شبیه‌سازی و زنجیره مارکوف استفاده شده است. (Gupta&Gupta, 1989) و (Philipoom etal, 1990) و (Askin etal, 1993) و (Berkley, 1996) و (Wang & Wang, 1990) در مقالات ریاضی (مقداری) مباحث تئوری صف، مدل‌های برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و غیرخطی عدد صحیح، روش‌های هیوریستیک و همچنین تکنیک‌های جدیدتری مانند الگوریتم ژنتیک، شبکه‌های عصبی، هوش مصنوعی، منطق فازی و ... مورد استفاده قرار گرفته است (Kimura&Terada, 1981) و (Bard & Golony, 1991) (Li&Co, 1991) و (Bitran & chang, 1987) و (Ohno etal, 1995) به دنبال بررسی تحقیقات گذشته، از مدل‌های ریاضی جهت تعیین کنترل کانبان استفاده شده است. روشهای ریاضی مورد استفاده در این مقاله بر اساس مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح و برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح استوار است. هدف این است که روش‌های ارائه شده مشخصات جزئیات واقعی یک سیستم تولیدی را دارا باشند و علاوه بر این، با حالت واقعی سیستم نزدیک و بسادگی با نرم‌افزارهای موجود قابل حل باشد. نکته اساسی، در این مقاله این است که یک ابزار پشتیبانی کننده تصمیم‌گیری، برای تجزیه و تحلیل و اداره کردن زنجیره‌های تأمین بر روی یک سیستم کنترل کانبان که

۱ـ کیفیت فرآیند (Process Quality) مقیاسی است برای بررسی این که کالاها یا خدمات ایجاد شده توسط فرآیند تبدیل تا چه حد با مشخصات طراحی تطابق دارند. (رافورد و نوری،۱۳۸۱)

2- Supply chain Management (SCM)

3 - Distribution Centers (DCs)

4 - Customers

5- Supply chain system (SCS)

6- Just in Time (JIT)

براساس یک مدل بهینه‌سازی ریاضی استقرار می‌یابد، مورد استفاده قرار دهد. در دنیای امروز ثابت شده که سیستم موثر و اثر بخش برای کنترل تولید، سیستمی است که بتواند قطعات و مواد مورد نیاز را در زمان و مکان مناسب و با یک قیمت رقابتی تولید نماید. سیستم کانبان یکی از مهم‌ترین سیستم‌های حمایت کننده تولید و تحویل بشمار می‌رود، که به بهبود روند برنامه‌ریزی تولید و تحویل کمک‌های زیادی کرده است. از این رو ابزار حل مدل، یک روش مدل‌سازی ریاضی است که براساس یک سیستم کنترل کانبان بنا نهاده شده است و برای حل مسئله برنامه تولید از نرم‌افزار Industrial LINGO/PC - Version 8.0 استفاده شده است بنابراین از یک شبکه تعمیم یافته[1] که از چند مرحله[2]، چند محصول[3] و در چند دوره زمانی با ظرفیت و در حالت قطعی مطرح می‌شود استفاده می‌کند و سرانجام به یک مدل بهینه‌سازی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح[4] (ILP) برای طراحی و اختصاص تولید و تحویل در سرتاسر زنجیره تأمین منجر می‌شود.

سؤال اساسی تحقیق

مسئله‌ای که موجب گردید تا این تحقیق انتخاب شود؟

اگر از تولیدکنندگان اتومبیل، ماشین‌های کپی یا دستگاه‌های الکترونیکی بپرسید که در اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی، چه اتفاقی افتاد، آنها احتمالاً در جواب به شما خواهند گفت، که چگونه ژاپنی‌ها، سهم بزرگی از بازارهای جهانی را توسط ایجاد استانداردهای درجه اول در سطح دنیا، در زمینه طراحی، مواد و مدیریت تسخیر کرده‌اند. چیزی که اغلب ازبالا به آن نگاه می‌شود. تلاش در جهت درک این موضوع است که چگونه صنعت ژاپن در ارائه خدماتی که از فرآیند تولید، حمایت می‌کنند، موفق می‌شود. در کنار بخش تولید، فرآیند کانبان، عملی‌ترین این خدمات و کانبان یکی از مهم‌ترین ابزارهای پشتیبانی کننده تصمیم‌گیری تولید بشمار می‌آید که توسط ژاپنی‌ها به دنیای صنعت عرضه شده است. (Olsson, 2004, 1-3)در دو دهۀ گذشته تعدادی از راهبردهای جدید تولید، مانند

تولید بهنگام	Just in Time
تولید ناب	Lean Manufacturing
سیستم‌های کانبان	Kanban Systems
مدیریت کیفیت جامع	Total Quality Management (TQM)

بهبود، توسعه و تکامل یافته‌اند. این راهبردهای جدید تولید که یکی از آنها سیستم کانبان است، در شرکت‌هایی همچون تویوتا (TOYOTA) جهت بهبود تولید و عملیات بکار برده شده است. برای تحقق سیستم کانبان در یک مجموعه تولیدی علاوه بر فرآیندهای متوالی که موردنیاز است، کانبان در موارد زیر نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند:

کنترل کار در جریان ساخت،کنترل تولید، کنترل جریان موجودی. در دنیای صنعت امروز ثابت شده که سیستم مؤثر و اثر بخش برای کنترل تولید، سیستمی است که بتواند قطعات و مواد مورد نیاز را در زمان و مکان مناسب و با یک قیمت رقابتی تولید کند. در ضمن از برخی مدل‌های ریاضی برای کنترل تولید جهت محاسبه تعداد کانبان و کنترل سیستم کانبان استفاده می‌شود. از مجموع مدل‌های بررسی شده، مدلی که در این تحقیق مورد مطالعه و بررسی مجدد قرار گرفته، بدین سبب بوده است، که آیا با تغییر ساختار زنجیره تامین و تغییر پارامترها و محدودیت‌ها، می‌توان به شکل ساده‌تر و آسان‌تر و با شرایط دیگری نیز از آن استفاده نمود؟ و این سوال موجب گردید که به دنبال حل ریاضی مدل با شرایط جدید بپردازیم.

ضرورت انجام تحقیق

ظهور تحولات سریع و اساسی در سال‌های اخیر در صحنه اقتصادی جهان موجب گردیده تا زمینه جدیدی برای برنامه‌ریزی تولید و تحویل در دنیا فراهم شود. عمده نیروی ارزش ساز که در اقتصاد رقومی، موجب ارزش افزوده می‌شود، فن‌آوری و تکنولوژی است. (رادفورد و نوری، ۱۳۸۱) در این اقتصاد، تولید کنندگان در مهارت‌های تولیدی و در توانایی خود در برقراری ارتباط با مصرف‌کنندگان و مشتریان نهایی بیشتر با یکدیگر به رقابت می‌پردازند. از این‌رو، هرگاه با هر روشی بتوانیم راهبردهای جدید تولید، (همچون کنترل سیستم کانبان و تعداد بهینه کانبان) را به صنایع کشور بیفزائیم، دستاورد جدیدی عایدمان خواهد ساخت.

اهداف تحقیق

دو هدف برای تحقیق در نظر گرفته شده است:

۱ـ توسعه مدل‌های بهینه سازی ریاضی برای برنامه‌ریزی تولید و تحویل در سیستم‌های زنجیره تأمین.

۲- پیشنهاد یکی از مدل‌های استخراج شده برای استفاده در مسائل واقعی و روش‌های تحلیل آن.

1.Generalized Network
2. Multi - Stage
3.Multi - Item
4. Integer Linear Programming (ILP)

اولین هدف: توسعه یک مدل بهینه سازی ریاضی

مدل بهینه سازی ریاضی در اولین هدف، با استفاده از برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح با برنامه و اختصاص تولید و تحویل در سرتاسر زنجیره تأمین توسعه داده شده است. در توسعه مدل بهینه سازی ریاضی قابلیت‌های، سیستم به صورت مراحل زیر به هم متصل شده‌اند:

ساختار سیستم: مدل مطرح شده یک شبکه تعمیم یافته است که این مورد در بیشتر ساختار سیستم زنجیره تأمین، مشترک است. در نتیجه مدل می‌تواند به ساختارهای دیگری که پیچیدگی کم‌تری دارند، بکار برده شود که شامل خطوط متوالی[1]، ساختار درختی مونتاژ[2] (هم گرا)[3]، انشعاب پذیر منفصل[4] به صورت واگرا[5] ساختارهای مونتاژ ترکیب شده[6] و ساختارهای انشعاب پذیر متصل شده[7] باشند.

استقرار سیستم: مدل زنجیره تأمین مورد نظر، برای تولید چند محصول، در چند مرحله، بر روی چند دوره زمانی مجاز طراحی شده است.

کنترل: طراحی مدل و تخصیص تولید و تحویل در طی دوره‌های زمانی، بر روی افق برنامه‌ریزی تفکیک و مجزا می‌شوند با این فرض که تولید، سنگ زیر بنای سیستم کانبان است. در نتیجه مقدار یا میزان مکان و زمان بندی توسط تولید و تحویل تعیین می‌شود.

زمان‌های پردازش کردن و حمل و نقل: زمان پردازش کردن تولید و زمان حمل و نقل در سرتاسر مدل زنجیره تأمین به هم متصل شده‌اند. به طور کلی در این تحقیق این دو زمان به صورت زیر تعریف می‌شوند:

تقاضای قطعی: تقاضا مقداری یا تعدادی از آن چیزی که گروه خاصی از مردم و یا مؤسسات تولیدی و خدماتی مایل به خریدن آن هستند. (فرنچ و ساورد، ۱۳۷۱، ۱۸۰) در مدل ریاضی تقاضا قطعی و یک «ورودی»[8] برای مدل محسوب می‌شود. در شرایط قطعی یک حالت این است که تقاضا در همه دوره‌ها ثابت باشد. حالت دیگر برای تقاضای قطعی این است که تقاضا در طول زمان متغیر باشد. (بیجاری، ۶،۱۳۸۲)

عملکرد سیستم: هزینه‌های نگهداری کردن موجودی‌ها و هزینه‌های عملیات و اداره کردن که در عملکرد سیستم ارائه می‌گردند، مورد استفاده قرار می‌گیرند.

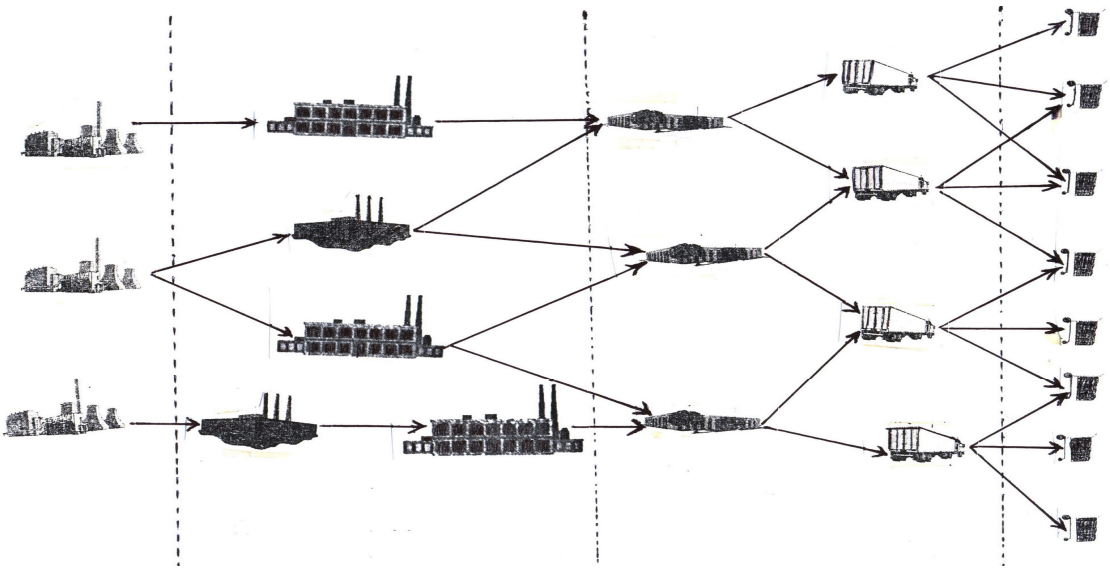
دومین هدف: پیشنهاد یکی از مدل‌های استخراج شده جهت استفاده در مسائل واقعی مدل با دو مسأله عملی از یک شرکت، به کار برده شده است. شرکت به طور خاص یک مرکز خدمات ابزار برش دارد که مورد استفاده سیستم‌های کانبان برای فرآیندهای تولید و ساخت است و مرکز خدمات ابزار برش به کل سیستم زنجیره تأمین بسط داده شده است. مرکز خدمات ابزار برش مسئولیت انواع مختلف تولید و ساخت و نگهداری کردن ابزارهای برش را در سراسر شرکت مورد استفاده و به عهده دارد.

مبانی نظری و پیشینه تحقیق

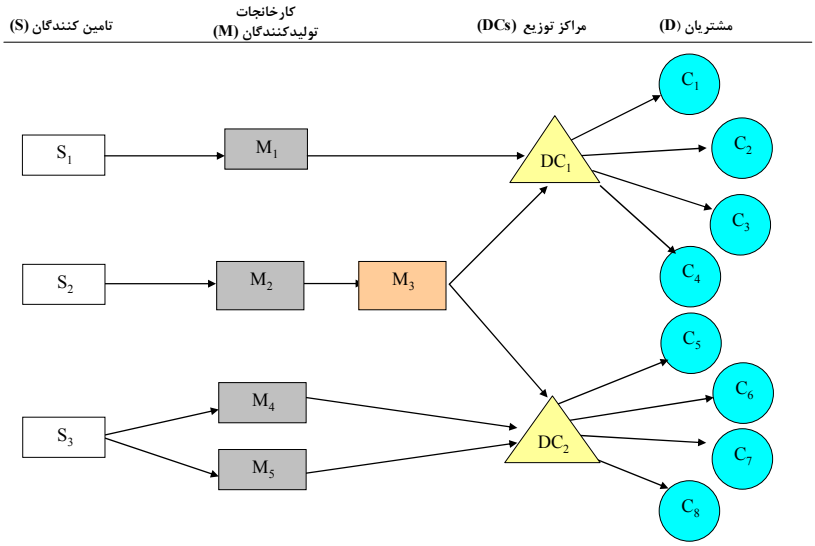
دنیای در حال تغییر کسب و کار و پیشرفت‌های تکنولوژیکی، اثری مهم بر محیط تولیدی دارند. گسترش و معرفی مفاهیم کانبان انقلابی را در راستای پذیرش رویکردهای تولید بهنگام ایجاد کرده است که همزمان با انجام به موقع تمهیدات شرکت موجودی در جریان ساخت را نیز به حداقل می‌رساند. کانبان در واقع سیستم اطلاعاتی است که در آن فلسفه تولید بهنگام به کار رفته است و به منظور مدیریت سیستم تولیدی به کار می‌رود. بر خلاف بسیاری از سیستم‌های کنترل، کانبان یک سیستم کششی به شمار می‌رود. در این سیستم کارت‌ها بعنوان مجوز تولید به شمار می‌روند. با کاهش تعداد کارت‌ها، موجودی در جریان ساخت کاهش می‌یابد و در نتیجه گلوگاه‌های تولیدی تعیین می‌شوند. این گلوگاه‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته تا از بین بروند و در نتیجه توان تولید افزایش یابد آنگاه کارت‌های بیشتری کاهش می‌یابد و این فرایند دوباره تکرار می‌شود تا سرانجام موجودی در جریان ساخت به صفر برسد. این چنین بهبودهایی از طریق حذف ضایعات و کاهش زمان تنظیم و نصب و راه‌اندازی قابل دستیابی است. شایان ذکر است که کانبان در سیستم تولید تکراری قابل اجرا است و در صنایعی که تقاضا برای محصولات آنها ثابت باشد. کانبان را نمی‌توان در سیستم تولید سفارشی اجرا نمود زیرا در تولید سفارشی با نوسانات شدیدی مواجه می شویم. از این‌رو برای اجرای کانبان نیاز به کنترل کامل همه تامین‌کنندگان و برنامه زمان‌بندی غیر قابل انعطاف نیاز به این دارد که تعداد مشخصی از محصولات هر روز تولید شود. این امر نیاز مبرم به همکاری کارگران و انعطاف‌پذیری آنها دارد. (White, 1987)

1. Serial Lines
2. Assembly Tree
3. Convergent
4. Arborescent
5. Divergent
6. Combined Assembly
7. Conjoined
8. In Put

یکی از روش‌هایی که برای پیدا کردن یک راهبرد، برای زنجیره تأمین وجود دارد، توسط ساختار شبکه، به صورت مدل در آمده است. ساختار شبکه زنجیره تأمین به صورت‌های مختلف دسته‌بندی می‌شود که نگاره‌های مربوط به آنها ارائه می‌گردد:



نگاره ۱- زنجیره تامین چند سطحی (منطبق بر ترکیبی کار استدلر و کیلگر، ۲۰۰۲، ۲۹۹)



نگاره ۲- زنجیره تأمین چند سطحی (منطبق برکار استدلر و کیلگر، ۲۰۰۲، ۱۷۲)

یک زنجیره تأمین، یک شبکه مرکب است که از چند جزء از تسهیلات تشکیل شده است. در بیشتر موارد، تسهیلات و زنجیره تأمین اهداف متضاد و متفاوت دارند. یافتن بهترین راهبرد برای یک زنجیره تأمین خاص، جهت یافتن اهداف مناسب از همه تسهیلات، یک نوع رقابت کردن است. یکی از روش‌هایی که برای پیدا کردن یک استراتژی برای زنجیره تأمین وجود دارد، توسط ساختار شبکه به صورت مدل درآمده است، به طوری که شبکه شامل گره‌ها[1] و کمان‌هایی[2] است که در آن تسهیلات در سیستم زنجیره تأمین، توسط گره‌ها نشان داده شده‌اند و یک مسیر جریان[3] از مواد که کارکردهای تسهیلات را قادر می‌سازد توسط کمان‌ها (شاخه‌ها) نشان داده شده است.

1. Nodes
2. Arcs
3. One - Way Flow

ساختارهای شبکه زنجیره تأمین، می‌توانند به صورت زیر دسته‌بندی گردند:

الف- شبکه‌های انشعاب‌پذیر همگرا

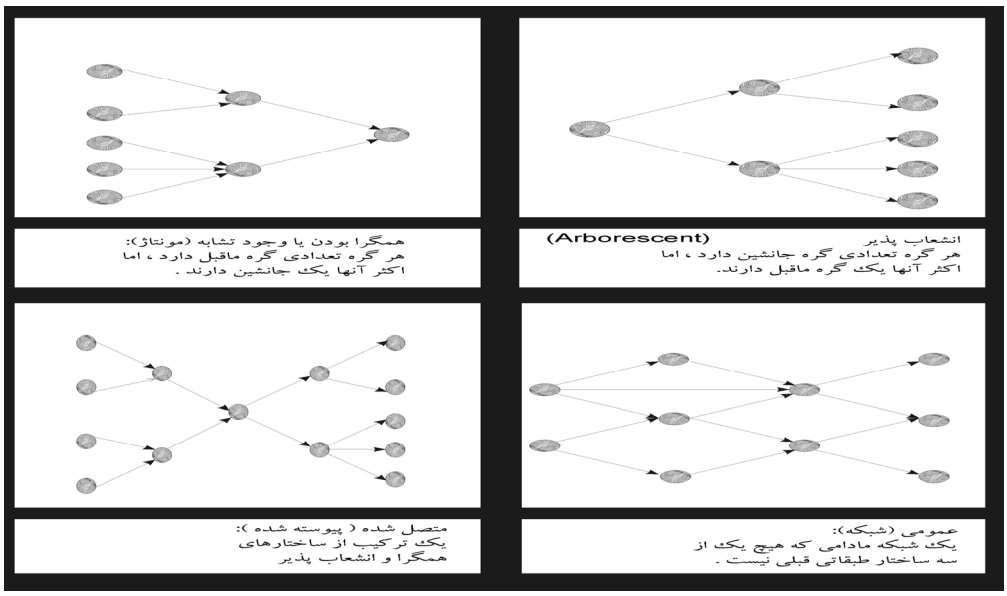
ب- شبکه‌های انشعاب‌پذیر واگرا

ج- شبکه‌های انشعاب‌پذیر متصل شده

د- شبکه‌های عمومی

در شبکه‌های عمومی هیچکدام از سه ساختار قبلی وجود ندارد. موارد بالا در نگاره۳ تشریح شده است:

نگاره ۳: ساختارهای زنجیره تامین (منطبق بر کار Beamon, 1999,275-292)



مروری بر ادبیات سیستم‌های زنجیره تأمین

دسته‌بندی‌های مدل بر اساس ساختارهای مدل، تکنیک‌ها و راه‌اندازی سیستم به صورت جدولی تشریح می‌شوند. جدول ۱ مروری بر سیستم‌های زنجیره تامین در حالت قطعی را در چهار زمینه مدل‌های شبیه‌سازی، برنامه‌ریزی پویایی، برنامه‌ریزی خطی و برنامه‌ریزی عدد صحیح را نشان می‌دهد.

جدول۱: مروری بر سیستم‌های زنجیره تأمین

سیستم کلی	تولید کننده به خرده فروش	تأمین کننده به تولید کننده	قطعی
	Donaldson, johnson, Ratliff & Zhang (1998) حمل و نقل توزیع Campbell,Savelsbergh & Clarke (1999) حمل و نقل توزیع Ratliff,Vandevate & Zhang (1999) حمل و نقل		IP/LP
	Chan,Muckstadt & Rappold (1999) - تقاضای تصادفی - ظرفیت تولید بین آیتم ها - ظرفیت تولید بین DCs (مراکز توزیع)		برنامه‌ریزی پویایی
Sterman (1992) - توزیع بازی نوشابه Jacob (2000) تکمیل کردن برنامه توزیع نوشابه Grubbstrom (1975) برنامه مدیریت پشتیبانی بین‌المللی Zapfel & Piekarz (2000) برنامه تولید ناب	Jackson & Muckstadt (1990) - برنامه حمل ونقل - برنامه توزیع		شبیه‌سازی

مروری بر ادبیات سیستم‌های کانبان

در دنیای امروز ثابت شده که سیستم موثر برای کنترل تولید، سیستمی است که بتواند قطعات و مواد مورد نیاز را در زمان مناسب و مکان مناسب و با یک قیمت رقابتی تولید کند. یک سیستم کنترل کانبان را برای اجرای خاص از اصول کلی فلسفه تولید بهنگام به منظور طراحی و اختصاص تولید و تحویل برای سیستم‌های زنجیره تأمین مورد استفاده قرار می‌دهد. جدول ۲ دیدگاه کلی از سیستم کانبان، (دیدگاه محققان از سال‌های ۱۹۸۱ تا ۱۹۹۷ و قابلیت‌های این سیستم را که توسط متخصصان و محققان مختلف در سال‌های ۱۹۹۲ تا ۱۹۹۷ مطرح گردیده) را نشان می‌دهد.

جدول۲- دیدگاه کلی از سیستم‌های کانبان

محققین		Kimura & Terada [43]	Chang et. al [31]	Bitran & Chang [14]	Rees et. al [46]	Miyazaki et. al [47]	Gupta & Gupta [34]	Karmarkar & Kekre [40]	Philipoom et.al [35]	Wang & Wang [41]	Mitra & Mitrani [55]	Bard & Golony [44]	Li & Co [45]
سال		81	83	87	87	88	89	89	90	90	91	91	90
ساختار مدل		S,H	S	H	O	O	S	C	S,H	C	H	H	S,C
رویه حل	ابتکاری												
	صحیح			M,N					I		N	D	
متغیرهای تصمیم	تعداد کانبانها	K		K	K	K		K		K	K	K	K
	فاصله سفارش					I							
	ذخیره ایمنی						Z	Z					
	اندازه کانبان												
شاخص عملکرد	تعداد کانبانها												
	سودمندی												
	نرخ هزینه جاری		r				I,S						
هدف	حداقل کردن هزینه	O		O	H,S	H,ST		H,S	H,ST	H,S	S,R,ST	S	
	حداقل کردن موجودی								X				
	حداقل کردن کلی												X
استقرار (جا و مکان)	طرح جا و مکان	S	A	A			A			N	A	S,A	S
	دوره زمانی	M	M	M			M	S	S	S	M	M	M
	آیتم	S	M	S			S	S	M	M	M	S	M
	مرحله	M	M	M			M	M	M	S	M	M	M
	ظرفیت	U	C	C			C		C	C	C	U	U
نوع کانبان	تکی / دوتایی	D	D	D	S	D	D	S,D	D	D	S	D	S
مفروضات	اندازه کانبان	K	K	K	U	K	P	D,P	F	K	K	K	K
	تصادفی	D	D,P	F	L	F	C	F	I	C	F	F	D,P
	چرخه تولید	F	C	I	C	I	I	I	K	I	I	I	C
	دسترسی به مواد	I	I	K	I								I
	عدم کمبود (کسری)			D	D		M,I			M			
	قابلیت اعتبار سیستم												

شکاف تحقیقاتی ادبیات در مورد مدل‌های ریاضی

در مدل ریاضی ارائه شده، برای تعیین تعداد کانبان‌های تزریق شده به خطوط تولید، تعیین تعداد کانبان‌های جدا شده در چرخه تولید و تعیین تعداد پالت‌های تولید شده در هر مرحله و تعیین تعداد محصولات در یک پالت برای هر مرحله و به طور کلی تعیین سیستم کنترل کانبان، در یک شرایط قطعی، برای یک شبکه با ساختار تعمیم یافته در یک سیستم با چند محصول، چند مرحله، چند دوره‌ای، با ظرفیت و تقاضا و زمان‌های پردازش کردن و حمل و نقل قطعی برای استقرار تولید را با یکدیگر به کار گیرد در اختیار نیست و به طور مشخص چنین مدلی با مشخصات فوق موضوع اصلی مقاله است که این مدل را ایجاد می‌کند و با بررسی مرور ادبیات آن در شرایط مختلف (سناریوها) را حل نموده و جواب‌های بدست آمده را بررسی و ارزیابی می‌کند. از این رو با استفاده از مرور ادبیات مدل‌های ریاضی به ساخت یک مدل ریاضی عمومی با نگرش حداقل کردن مجموع هزینه‌های نگهداری کردن موجودی کالا و حداقل کردن مجموع هزینه عملیات سیستم برای کنترل سیستم کانبان خواهد پرداخت. در واقع مزیت و برتری این مدل نسبت به سایر مدل‌ها که در سیر روند تحقیقات در زمینه مدل کانبان برای مدل‌های ریاضی در زمینه تولید و تحویل مطرح شده این است که یکی از روش‌هایی که برای پیدا کردن یک راهبرد برای زنجیره تامین وجود دارد، توسط ساختار شبکه به صورت مدل در آمده است.

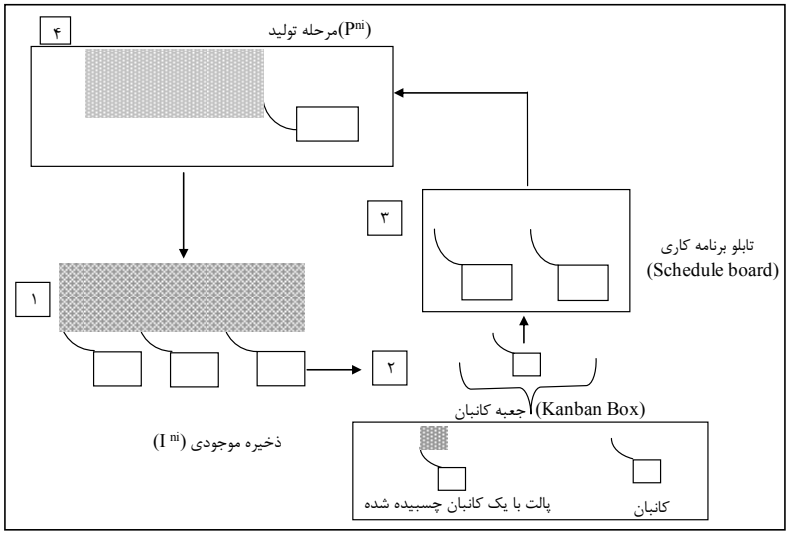
جدول ۳ – سیر روند تحقیقات در زمینه کانبان برای مدل‌های ریاضی

محققین	سال	تشریح موضوع
Kimura&Terada	۱۹۸۱	آنها، نوسانات پیاپی موجودی کالا را مورد آزمایش قرار دادند و عملیات سیستم‌های کانبان را در محیط JIT تشریح نمودند.
Bitran & Chang	۱۹۸۷	ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیرخطی را به منظور تعیین تعداد کانبان در محیطJIT در سیستم‌های عملیاتی، قطعی، تک آیتمی، چند مرحله‌ای، با ظرفیت، ساختار درخت مونتاژ را هدف قرار دادند. آنها همچنین برنامه عدد صحیح غیر خطی را به یک برنامه عدد صحیح خطی با جواب‌های موجه و بهینه تغییر شکل دادند.
Rees	۱۹۸۷	آنها یک متدولوژی برای تنظیم دینامیکی، تعداد کانبانها را در یک محیط تولیدی ناپایدار پیشنهاد کردند. آنها معادله تویوتا را با یک واحد ظرفیت کانبان، تقاضاهای پیش‌بینی شده و تخمین‌هایی از توابع چگالی احتمالی، زمان مورد انتظار کانبان را برای تعیین تعداد کانبانها ، مورد استفاده قرار دادند.
Monden	۱۹۸۷	بررسی سیستم تولید تویوتا در محیط تولید بهنگام (JIT)
Miyazaki	۱۹۸۸	آنها مدل با صرفه ترین سفارش اقتصادی (EOQ) را برای تعیین میانگین موجودی کالا، به منظور برداشت کالا در فاصله زمانی تنظیم شده و سیستم‌های کانبان تأمین کننده را برای حداقل کردن میانگین نگهداری موجودی کالا و هزینه سفارش در یک محیط قطعی توسعه دادند.
Bard & Golony	۱۹۹۱	ارائه یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط را بری تعیین تعداد کانبان‌ها در هر مرحله، برای چندین آیتم، چندین مرحله، به صورت توانمند و ظرفیت‌دار شده، برای کارگاه مونتاژ عمومی ارائه دادند.
Li & Co	۱۹۹۱	آنها حدود توسعه برای تخصیص کانبان کارآمد را توسط مدل برنامه ریزی دینامیک حل و مورد استفاده قرار دادند. مسأله مطرح شده، قطعی، تک آیتم و چند مرحله ای با ساختار درخت مونتاژ متوالی است.
Hong& Fukukawa	۱۹۹۲	بررسی مدلهایی در محیط JIT به منظور تعیین تعدادکانبان با عواملی همچون هزینه های موجودی، کارگر و ظرفیت تأمین کنندگان ارائه دادند.
Ohno	۱۹۹۵	آنها شرایط پایدار سیستم تولید JIT را تحت تقاضای تصادفی و زمان پردازش قطعی با یک سیستم تولید و کانبان تأمین کننده مورد بررسی قرار دادند. هدف تعیین تعداد بهینه از کانبان نوع دوم بوده که هزینه میانگین مورد انتظار در هر پریود زمانی را حداقل نماید.

آشنایی با فرایند تولید

نگاره ۴ جریان آیتم‌ها در روش کانبان که با n مرحله نشان دهنده میانگین سطح تولید در زمان t است را نشان می‌دهد.

نگاره ۴- روند (طرز عمل) بازگشت چرخه کانبان (منطبق بر مدل Kimura & Terada, 1981, 240-250)



تشریح مدل بهینه سازی

مدل بهینه سازی ریاضی سیستم زنجیره تأمین را با بکارگیری سیستم‌های کانبان با چند محصول و چند مرحله که در شبکه عمومی گنجانده شده، ارائه می‌دهیم. فرض کنید؛ شاخص سطح‌های عملیات n است که در آن $n \in \{0,1,...,N\}$

تعریف و در این سطح عملیات (n) انواع مختلفی از محصولات تولید می‌شود.

انواع محصولات توسط $i \in \{1,2,...,I\}$ مرتب می‌شوند. فرض کنید، در هر سطح عملیات n، تولید محصول i، مرحله ni نامیده شود و مراحل تولید نیز با p^{ni} تعریف می‌شوند.

حال فرض کنید؛ $q \; ; q \in \{0,1,...,N-1\}$ نشان دهنده گره بعدی[1] برای سطح n و $r, r \in \{0,1,...,I\}$ محصول تولید شده، توسط گره بعدی است. سطح نهایی عملیات، مرحله Oi، مشتری نهایی است و فقط شامل مرحله تولید p^{oi} است، در حالی که سایر مراحل روبه عقب که $n \in \{1,2,...,N\}$، شامل هر دو فرآیند تولید $\left(p^{ni}\right)$ و ذخیره موجودی $\left(I^{ni}\right)$است.

فرض کنید؛ $t \; ; t \in \{0,...1,T\}$ شاخص دوره‌های زمانی است. آغاز افق برنامه‌ریزی، در پُریود زمانی 1، شروع می‌شود و در انتهای پریود زمانی T، پایان می‌یابد.

تعریف پارامترها

فرآیندهای‌تولید و ذخیره موجودی در مرحله ni به ترتیب توسط p^{ni} و I^{ni} نشان داده می شوند.

مجموعه مراحلی که بلافاصله، بعد و قبل از مرحله ni نتیجه بخش شده (فوراً به پایان می‌رسد) به ترتیب با $S(ni)$ و $p(ni)$ نشان داده می شوند. فرض کنید هر فرآیند تولید، در افق برنامه‌ریزی به زمان پردازش کردن نیاز دارد. زمان پردازش کردن توسط PL^{ni} نشان داده می‌شود.

زمان حمل ونقل بین یک فرآیند تولید در مرحله ni و مراحل بعدی آنها، با $TL^{ni,qr}$ نشان داده می‌شود.

تعداد واحدهای محصول i در سطح عملیات n در یک پالت پُر با، α^{ni} نشان داده می‌شود.

ظرفیت تولید، برحسب تعداد پالت های پُر در مرحله پردازش کردن (P^{ni})،در زمان t، توسط β_t^{ni}

تعداد واحدهای محصول i در سطح عملیات n که لازم است تا یک واحد محصول qr ساخته شود برابر با $e^{ni,qr}$ است.

تعداد پالت‌های پُر در دسترس در مرحله ni برای ذخیره موجودی در پایان دوره صفر (0) برابر با v_0^{ni} است.

W_0^{ni} تعداد واحدهای محصول i در سطح عملیات n است که در پالت نیمه پُر شده، باقی مانده است، همان محصولاتی که در ذخیره موجودی (I^{ni}) در پایان دوره صفر (0) از پالت جدا شده بودند.

نیازمندی تولید، (X_t^{oi}) برحسب تعداد پالت‌های پُر، از محصول i در سطح عملیات صفر (0) (به عنوان مثال محصولات نهایی) در دوره t برابر با X_t^{oi} تعریف می‌شود.

سهمیه تولید[2] یا تقاضا، Q^{ni}، است. تعداد پالت های پُر محصول i در سطح عملیات n، که برای افق برنامه‌ریزی بر مرحله ni تحمیل شده است.

تشریح شش نوع از متغیرها: نماد سازی علامت ها و ثبت متغیرها شبیه به کار بیتران و چانگ (1987) است.

$\mathbf{X}_t^{ni}$: تعداد کانبان‌های جدا شده[3] در مرحله ni که به ترتیب در چرخه تولید[4] از یک پالت پُر در فرآیند تولید (P^{ni})، در دوره t موجود است.

$\mathbf{Y}_t^{ni}$: تعداد کانبان‌ها در مرحله ni که از پالت‌های به هم متصل شده (پالت‌های مربوط به هم) در ذخیره موجودی (I^{ni}) در دوره t از هم جدا شده‌اند.

$\mathbf{U}_t^{ni}$: تعداد کانبان‌های جدا شده در مرحله ni که در فرآیند تولید (P^{ni}) در پایان دوره t در دسترس است و هنوز هیچ‌گونه تولیدی در چرخه تولید شروع نشده است.

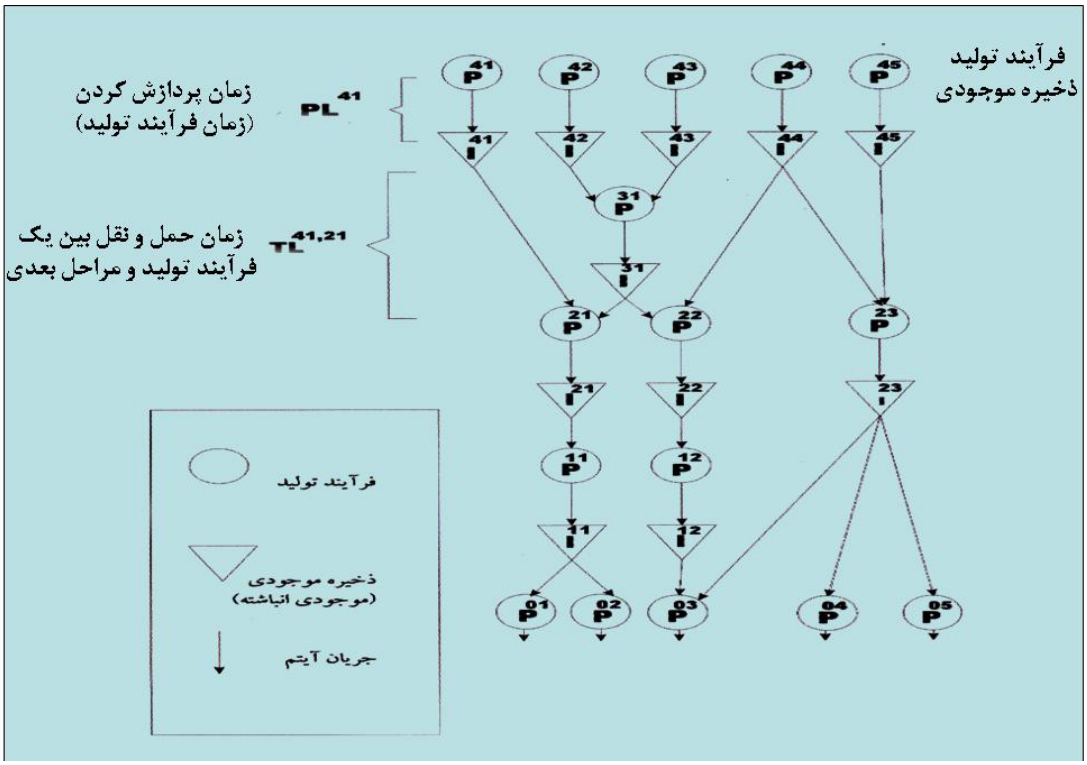
$\mathbf{V}_t^{ni}$: تعداد پالت‌های پُر در مرحله ni که در ذخیره موجودی (I^{ni}) در پایان دوره t در دسترس است.

$\mathbf{W}_t^{ni}$: تعداد واحدهای محصول i درسطح عملیات n است‌که در پالت نیمه پُر شده باقی مانده و در ذخیره موجودی (I^{ni}) در دسترس بوده و در پایان دوره t از پالت جدا شده است.

$\mathbf{U}_o^{ni}$ تعداد کانبان‌های جدا شده در مرحله ni که در شروع افق برنامه‌ریزی به فرآیند تولید (P^{ni}) اضافه شده است.

1. Successor Nodes

2. Production Quota
3. Detached Kanbans
4. Inventory stockpile
Trigger The Production



نگاره ۵- زنجیره تامین تعمیم یافته و نکات مهم

فرموله کردن مدل بهینه سازی ریاضی

در این بخش فرموله کردن مدل بهینه‌سازی ریاضی ارائه شده است. مدل غیرخطی زنجیرهٔ تأمین (SN)[1]، یک برنامه عدد صحیح ترکیبی[2] برای چند محصول و چند مرحله، شبکه اصلی زنجیره تأمین با زمان‌های پردازش کردن و حمل و نقل غیر صفر که در اینجا حاصل می‌شود توسعه تحقیقات قبلی و از نوآوری‌های این مقاله است. همه محدودیت‌های مدل به استثناء محدودیت‌های (الف-۵) و (ب - ۳) ناشی از توابع حد بالا[3] به صورت خطی هستند.

جدول ۴- فرموله کردن مدل غیر خطی زنجیرهٔ تأمین (SN)

Minimize

$$\sum_{\forall i \in I, n \in N} C_{Uo}^{ni} U_o^{ni} + \sum_{\forall i \in I, n \in N, t \in T} C_v^{ni} \left[V_o^{ni} + V_t^{ni} + 1 - \left(1 / \alpha^{ni} \right) \right] + \sum_{\forall i \in I, n \in N, t \in T} C_x^{ni} X_t^{ni}$$

به طوری که:

محدودیت جریان تولید:

$$U_{t-1}^{ni} + Y_{t-1}^{ni} - x_t^{ni} - U_t^{ni} = o$$

$$n = 1,...,N ; i = 1,...,I ; t = 1,...,T$$

محدودیت جریان موجودی در مرحلهni:

$$V_{t-1}^{ni} + X_{t-PL^{ni}}^{ni} - Y_t^{ni} - V_t^{ni} = o$$

$$n = 1,...,N ; i = 1,...,I ; t = PL^{ni} + 1,...,T$$

محدودیت‌های ظرفیت تولید:

1. Supply Chain Nonlinear Model (SN)
2. Complex Integer Program
3. The Ceiling Function

$$\begin{cases} X_t^{ni} \le U_{t-1}^{ni} + Y_{t-1}^{ni}, \\ X_t^{ni} \le \beta_t^{ni}, \\ X_t^{ni} \le Q^{ni} - \sum_{r=1}^{t-1} X_r^{ni}, \\ n = 1,...,N; i = 1,...,I; t = 1,...,T \end{cases}$$

محدودیت مواد مناسب برای هر گره بعدی از مرحله ni :

$$e^{ni,qr}\alpha^{qr}X_t^{qr} \le \alpha^{ni}V_{t-1-TL^{ni,qr}}^{ni} + W_{t-1-TL^{ni,qr}}^{ni} + \alpha^{ni}X_{t-PL^{ni}-TL^{ni,qr}}^{ni}$$
$$n = 1...,N; \quad i = 1,...,I; \quad t = (PL^{ni} + TL^{ni,qr} + 1),...,T)$$

محدودیت مواد مناسب برای همه مراحل بعدی از مرحله ni با زمان‌های حمل ونقل برابر:

$$\sum_{\forall qr \in S(ni)} e^{ni,qr}\alpha^{qr}X_t^{qr} \le \sum_{\forall qr \in S(ni)} \alpha^{ni}V_{t-1-TL^{ni,qr}}^{ni} + \sum_{\forall qr \in S(ni)} W_{t-1-TL^{ni,qr}}^{ni}$$

$$+ \sum_{\forall qr \in S(ni)} \alpha^{ni}X_{t-PL^{ni}-TL^{ni,qr}}^{ni}, \forall qr \in S(ni)$$ رابطه (ب ـ۴)

$$n = 1,...,N; i = 1,...,I; t = (PL^{ni} + TL^{ni,qr} + 1),...,T$$

محدودیت؛ جریان موجودی بین مرحله ni و هر کدام از مراحل بعدی آنها، در سطح‌های مجاور:

$$\begin{cases} Y_t^{ni} = \left[\left(e^{ni,qr}\alpha^{qr}X_{t+TL^{ni,qr}}^{qr} - W_{t-1}^{ni} \right) \Big/ \alpha^{ni} \right], \\ Y_o^{ni} = o, \end{cases}$$ رابطه (الف ـ۵)

$$n = 1,...,N; i = 1,...,I; t = (PL^{ni} + TL^{ni,qr} + 1),...,T$$

محدودیت؛ جریان موجودی بین مرحلهni وتمامی مراحل بعدی آن‌ها که زمان‌های حمل و نقل برابردارند:

$$\sum_{\forall qr \in S(ni)} Y_t^{ni} = \left[\left(\sum_{\forall qr \in S(ni)} e^{ni,qr}\alpha^{qr}X_{t+TL^{ni,qr}}^{qr} - \sum_{\forall qr \in S(ni)} W_{t-1}^{ni} \right) \Big/ \alpha^{ni} \right]$$

رابطه (ب ـ۵)

$$n = 1,...,N; i = 1,...,I; t = (PL^{ni} + TL^{ni,qr} + 1),...,T$$

محدودیت؛ تعداد محصولات، در قسمت چپ، پالت نیمه‌پُر شده از دوره قبل:

$$\sum_{\forall qr \in S(ni)} \alpha^{ni}Y_t^{ni} + \sum_{\forall qr \in S(ni)} W_{t-1}^{ni} - \sum_{\forall qr \in S(ni)} e^{ni,qr}.\alpha^{qr}X_{t+TL^{ni,qr}}^{qr} - W_t^{ni} = o,$$

رابطه (۶)

$$n = 1,...,N; i = 1,...,I; t = (PL^{ni} + TL^{ni,qr} + 1),...,T$$

محدودیت‌های، قبل از شرایط پایدار، برای شروع پردازش کردن:

رابطه (۷)
$$V_o^{ni} - \sum_{t=1}^{PL^{ni}} V_t^{ni} = 0, \quad n = 1,...,N; i = 1,...,I$$

رابطه (۸)
$$Y_o^{ni} - \sum_{t=1}^{PL^{ni}} Y_t^{ni} = 0, \quad n = 1,...,N; i = 1,...,I$$

رابطه (۹)
$$W_o^{ni} - \sum_{t=1}^{PL^{ni}} W_t^{ni} = 0, \quad n = 1,...,N; i = 1,...,I$$

همه متغیرها، غیر منفی و عدد صحیح می باشند:

اعداد صحیح غیر منفی و $U_o^{ni}, U_t^{ni}, V_t^{ni}, W_t^{ni}, X_t^{ni}, Y_t^{ni} \geq 0$

رابطه (۱۰)
$$n = 1,...,N; \qquad i = 1,...,I; t = 1,...,T$$

محدودیت خطی

مدل (SN)، یک برنامه عدد صحیح غیرخطی ناشی از توابع حد بالا در محدودیت‌های (الف- ۵) و (ب- ۵) است. این محدودیت‌ها می‌توانند به صورت خطی شده باشند، هم چنین می‌خواهیم مدل، یک برنامه خطی عدد صحیح باشد که برای حل، نسبت به برنامه عدد صحیح غیرخطی ساده‌تر است. در محدودیت (الف- ۵)، تعداد کانبان‌هایی که از پالت‌های مرتبط به هم (Y_t^{ni}) از مرحله ni در زمان t جدا شده‌اند، توسط تعداد کانبان‌هایی که در مرحله بعدی qr آنها در زمان $t - TL^{ni,qr}$ استفاده شده‌اند، تعریف شده است.

در این مدل، پالت‌ها همیشه پر نیستند، و تعداد محصولات، باید برای همه مراحل برآورد و محاسبه شوند. تعداد کانبان‌هایی که از پالت‌های مرتبط‌شان، جدا شده‌اند (Y_t^{ni})، بعد از تعداد محصولات مورد استفاده، محاسبه می‌شوند. درضمن تعداد پالت‌ها، به سمت بالا گرد شده‌اند. (چون تعداد پالت‌ها عدد صحیح هستند) با گرد کردن تابع حد بالا (تعداد پالت‌ها به سمت بالا)، می‌دانیم که معادلات (الف- ۵) و (ب- ۵) غیرخطی هستند، بنابراین این تابع حد بالا[1] به صورت خطی در آمده را برای دو محدودیت مورد نظر (که این دو محدودیت الزام‌آور نیز هستند، تغییرات مجاز ایجاد می‌شود.) در سطح خطای مجاز[2] (حدود تغییرات: Tolerance) از یک عدد صحیح تعریف می‌کنیم. که به طور کلی انحراف در طراحی خطای مجاز موجب انحراف در خصوصیات عملکردی محصول می شود. برای تولید هر محصولی علی رغم نوسانات مواد و تولید (تجهیزات و اپراتور) و شرایط محیطی دارای انحرافات قابل قبول خواهد بود. در مدل مطرح شده انحراف قابل قبول برای اطمینان از سطح کیفیت محصول در دامنه‌ی خطای مجاز $\pm 10^{-6}$ در نظر گرفته شده است که این خطا در دامنه‌ی ($1\text{-}10^{-5}$) مورد بررسی قرار گرفته است، زیرا مقدار مثبت وسط رابطه موجب انحراف در خصوصیات عملکردی محصول می‌شود. یعنی علی رغم نوسانات مواد و تولید و شرایط محیطی دارای انحراف قابل قبول در دامنه مجاز نیست. یعنی جواب از ۱۰۰٪ بیشتر خواهد شد از این‌رو این انحراف برای دامنه مورد نظر قابل قبول نیست. فرض کنید حدود تغییرات (خطای مجاز) امکان‌پذیر (موجه) خطی نهایی $\pm 10^{-6}$ است، یعنی یک عدد صحیح، در برنامه خطی (LP) به داشتن خطای مجاز در دامنه $\pm 10^{-6}$ محدود یا کران‌دار شده است. از اینرو محدودیت (الف- ۵) معادل می‌شود با:

محدودیت کسری (Fractional)

$$Y_t^{ni} \leq \left\{ \left(e^{ni,qr}\alpha^{qr}X^{qr}_{t+TL^{ni,qr}} - W^{ni}_{t-1}\right) \Big/ \alpha^{ni} \right\} + (1-10^{-5})$$

محدودیت در داخل سطح خطای مجاز است. توجه داشته باشید که کران بالای تعداد محصولات، در یک پالت می‌تواند برای تعیین یک سطح خطای مجاز مناسب، مورد استفاده باشد. برای مثال، فرض کنید حداکثر تعداد از یک نوع محصول، در یک پالت، 100,000 عدد است. قسمت کسری از محدودیت فوق یعنی سمت راست محدودیت به صورت زیر است:

$$\left\{ \left(e^{ni,qr}\alpha^{qr}X^{qr}_{t+TL^{ni,qr}} - W^{ni}_{t-1}\right) \Big/ \alpha^{ni} \right\}$$

که جزء کسری می‌تواند به صورت یکی از دو شکل زیر باشد.

$$0, \frac{1}{100000}, ..., \frac{1}{10}, ..., \frac{9}{10}, ..., \frac{99999}{100000}, 1$$

1. Ceiling function
2. Tolerance level

یا

$(0,10^{-5}, ..., 10^{-1}, ..., 9\times10^{-1}, 99999\times10^{-5}, 1$

با این شرایط و نظر به این که$(1\text{-}10^{-5})$ از $(1\text{-}10^{-6})$ کوچک‌تر است، محدودیت (الف-۵) در داخل محدوده خطای مجاز $\pm10^{-6}$ اجراء می‌شود.

$$Y_t^{ni} \le \left\{ \left(e^{ni,qr}\alpha^{qr}X^{qr}_{t+TL^{ni,qr}} - W^{ni}_{t-1} \right) \Big/ \alpha^{ni} \right\} + (1-10^{-5})$$

هم چنین حدود تغییرات خطی، محدودیت (ب ـ ۵) به دلیل بالا، به کاربرده شده و به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$\sum_{\forall qr\in S(ni)} Y_t^{ni} \le \left\{ \left(\sum_{\forall qr\in S(ni)} e^{ni,qr}\alpha^{qr}X^{qr}_{t+TI^{ni,qr}} - \sum_{\forall qr\in S(ni)} W^{ni}_{t-1} \right) \Big/ \alpha^{ni} \right\} + (1-10^{-5})$$

آن گاه برنامه غیر خطی عدد صحیح زنجیره تأمین (SN)، به یک برنامه خطی عدد صحیح تعدیل و اصلاح شده است. «مدل خطی زنجیره تأمین» (SL) نشان دهنده مدل(SN) اما به استثناء محدودیت‌های مورد نظراست. تغییرات مدل (SN) برای فرموله کردن دوباره همان شرایط قبلی به علاوه تغییراتی که در محدودیت‌ها ایجاد شده است.

نتیجه‌گیری

به طور گسترده‌تر، یک زنجیره تأمین، شامل دو یا چند سازمان است که از نظر قانونی از هم جدا بوده و توسط جریان‌های مواد، اطلاعات و مالی به هم پیوسته و مرتبط هستند. این سازمان‌ها می‌توانند شرکت‌هایی باشند که قطعات، اجزای تشکیل دهنده و محصولات نهایی تولید می‌کنند و حتی تأمین‌کنندگان خدمات تهیه و توزیع (پشتیبانی) و خود مشتری (نهایی) را نیز دربرگیرند. هدف همه کسانی که در زنجیره تأمین فعالیت می‌کنند، «افزایش رقابت‌پذیری»[1] دیده شده است. (استدلر کیلگر،۹،۱۳۸۲) دلیل این امر این است که امروزه از دیدگاه مشتری نهایی، فقط یک واحد سازمانی تنها در مورد رقابت‌پذیری محصولات و خدماتش مسئول نیست و این امر به ندرت اتفاق می‌افتد و زنجیره تأمین، همه سازمان‌ها را یک جا در نظر می‌گیرد. به هر حال به دلیل پیچیدگی سیستم‌های زنجیره تأمین، چون مسائل سیستمی، به طور کلی مشکل و مسئله‌ساز هستند، از این‌رو تعریف و مشخص کردن آن بر روی رایانه، دشواری‌های زیادی را به همراه دارد. بنابراین سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری، برای حل مسائل از تعداد زیادی از نرم‌افزارهای کامپیوتری که ابداع و نوشته شده‌اند کمک می‌گیرد. این سیستم‌های پشتیبانی تصمیم‌گیری زنجیره تأمین اصلی، شامل تجزیه و تحلیل آماری، استخراج داده، ابزارهای تحلیل پردازش به صورت مستقیم، هوش مصنوعی، تکنیک‌های بهینه‌سازی ریاضی شامل الگوریتم‌های ابتکاری و صحیح و مدل‌های شبیه‌سازی را به کار می‌گیرند. این مقاله یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری را که یک مدل بهینه‌سازی ریاضی به کار برده، ارائه داده است و مدل، یک سیستم زنجیره تأمین فراگیر چند محصولی - چند مرحله‌ای، چند دوره‌ای با تقاضای قطعی را مورد مطالعه قرار داده است. مدل یک سطح خطای مجاز را برای یک عدد صحیح، در تابع حد بالا با محدودیت‌های غیرخطی را تعریف کرده است. اگر چه این سطح خطای مجاز، تعداد اقلام، در یک پالت را محدود می‌کند، اما مدلی که به صورت خطی عدد صحیح درآمده، همه متغیرها را حفظ و نگهداری کرده و به عنوان مدل اولیه، همان مجموعه از جواب‌های موجه و بهینه مدل اصلی را تأمین می‌کند. بنابراین، مدل، جزئیات عملکرد سیستم‌ها را حفظ می‌کند. چنانچه با نگرش کاربردی به این مقاله بنگریم، گرچه ممکن است اجرای تولید بهنگام در صنایع کشور امکان پذیر بنظر نرسد، اما یکی از زیر سیستم‌های JIT یعنی سیستم کانبان قابل اجراء و انجام خواهد بود.

نتایج کار تشریح می‌کنند که مدل بطور مؤثر در برنامه‌ریزی تولید و تحویل توسط عوامل زیر کمک رساننده باشند و این عوامل عبارتند از :

۱- کاهش هزینه‌های سیستم[2]؛ شامل :

الف- کاهش هزینه نگهداری موجودی[3] (حداقل کردن کار در جریان ساخت (WIP) و حداقل کردن موجودی کالای ساخته شده)

ب- کاهش هزینه‌های عملیات تولید[4] (در شرایط نسبی مانند، تعداد کانبان‌های تزریق شده و در شرایط مطلق مانند ظرفیت مازاد[5])

۲- بهبود خدمات مشتری؛ شامل:

الف- ارضاء تقاضاهای مشتری[6].

ب- کاهش کمبود موجودی[7].

ج- بهبود جریانهای مواد[1].

1. Competivity Increase

2. Reducing System Costs
3. Reducing Inventory Holding Cost
4. Reducing Manufacturing Operation Costs
5 Excess Capacity
6.Improving Customer Serivice
7. Reducing Stock - Outs

با اجرای این مدل برای سیستم‌های زنجیره تأمین، مدیران قادر خواهند بود که سیستم را به طور مؤثر و توسط کنترل کردن بهترِ، جریان مواد، کار در جریان ساخت (WIP) و موجودی کالای ساخته شده، در بین تسهیلات که در حین بهبود یافتن فرصت‌های تحویل محصول، به مقادیر صحیح، به مکان مناسب، در زمان مناسب اداره و کنترل کنند. بنابراین هزینه‌ها در سرتاسر زنجیره تأمین به صورت حداقل (کمینه) درمی‌آیند. به طور اختصار بر روی توسعه انواع کاربردهای مدل، بررسی به عمل آمده است. طبیعتاً ایجاد یک مدل بهینه‌سازی ریاضی که بتواند همه محدودیت‌ها و توسعه پارامترها را به همراه یکدیگر ایجاد نماید، مشکل و دشوار به نظر می‌رسد، اما با توجه به نیاز استفاده از توسعه کاربردها می‌توان در هر مرحله، بخشی از توسعه، نه همه آن را، در این مدل‌ها وارد نمود. نتیجه جالب از مقایسه و تغییر شکل مدل این است که هردو مدل همان مجموعه جواب‌های جزئی موجه و بهینه و از ارزش بهینه‌ی یکسانی نیز برخوردار شده‌اند. با توجه به مطالعات صورت گرفته و همچنین بررسی مرور ادبیات زنجیره تأمین و کنترل سیستم کانبان که برگرفته شده از فلسفه تولید بهنگام (JIT) است، می‌توان دریافت که روند تحقیقات در این جهت به سمت توسعه یک مدل بهینه‌سازی ریاضی برای برنامه‌ریزی تولید و تحویل در سیستم‌های زنجیره تأمین شبکه تعمیم یافته به منظور پیدا کردن تعیین تعداد بهینه کانبان‌های تزریق شده به سیستم، تعیین تعداد پالت‌های تولید شده در سیستم، تعیین تعداد کانبان‌های جدا شده در چرخه تولید و تعیین تعداد محصولات در یک پالت برای هر مرحله، محققین را واداشته تا بررسی‌ها و تحقیقات خود را بیش‌تر به صورت مدل‌های کلی و کمی ارائه بدهند. در این مقاله محققین قصد دارند، لزوم اهمیت کنترل سیستم کانبان را که برگرفته از فلسفه تولید بهنگام است را در یک سیستم زنجیره تأمین که فرآیند آن شامل پردازش تولید و ذخیره موجودی از طریق ارتباط جریان اقلام و جریان کانبان در یک مرحله و یا بلافاصله قبل از مرحله است، مورد بررسی و تحقیق قرار دهند.

پیشنهادها و توصیه‌های کاربردی

با توجه به مطالب بررسی شده در این مقاله موارد زیر به عنوان تحقیقات آتی پیشنهاد می‌گردد:

۱- ارائه مدل های شبیه سازی،جهت تعیین کنترل سیستم کانبان در تعیین تعداد بهینه کانبان و تعداد کانبان‌های جدا شده در چرخه تولید، تعیین تعداد کانبان‌های تزریق شده به سیستم و تعیین تعداد پالت‌های تولید شده، در یک سیستم تولیدی چند محصولی- چند مرحله‌ای، چند دوره‌ای با یکی از ساختارهای شبکه زنجیره تامین با تقاضای ثابت در یک سیستم با پارامترهای قطعی.

۲- ارائه مدل‌های شبیه‌سازی جهت تعیین کنترل کانبان در یک سیستم تولیدی چند محصولی ـ چند مرحله‌ای، چند دوره‌ای، با تقاضاهای متغیر (تصادفی) در یک سیستم تصادفی (غیر قطعی).

۳- ارائه مدل‌های زنجیره مارکوف، جهت تعیین کنترل کانبان در یک سیستم تولیدی چند محصولی- چند مرحله‌ای، چند دوره‌ای، با تقاضاهای ثابت با یکی از ساختارهای شبکه، در یک سیستم قطعی.

۴- ارائه مدل‌های زنجیره‌ای مارکوف جهت تعیین کنترل کانبان، در یک سیستم تولیدی چند محصولی- چند مرحله‌ای، چند دوره‌ای با تقاضاهای تصادفی با یکی از ساختارهای شبکه در یک سیستم تصادفی.

۵- در نظر گرفتن هزینه‌های راه‌اندازی و آماده سازی (Setup Cost) تابع هدف مدل‌های غیرخطی و عدد صحیح ارائه شده، به دو هزینه قبلی. (هدف، حداقل کردن مجموع هزینه نگهداری کردن موجودی‌ها به علاوه مجموع هزینه‌های عملیات و اداره کردن به علاوه مجموع هزینه‌های راه‌اندازی و آماده سازی).

۶- ارائه مدل‌های برنامه‌ریزی خطی، برنامه‌ریزی عدد صحیح، برنامه‌ریزی غیرخطی، مدل‌های شبیه‌سازی، زنجیره مارکوف، مدل‌های ابتکاری و شبه ابتکاری و غیره جهت تعیین تعداد بهینه کانبان در یک سیستم تولیدی چند محصولی، چند مرحله‌ای، چند دوره‌ای با تقاضاهای ثابت و تصادفی با یکی از ساختارهای شبکه زنجیره تامین.

۷- بررسی سایر پارامترهایی که در این مقاله، فرصت بررسی اثرشان بر عملکرد مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی و خطی عدد صحیح ارائه شده، وجود نداشته است. (مانند هزینه نگهداری و کمبود یک واحد موجودی، هزینه‌های نصب و راه‌اندازی و آماده سازی دستگاه‌های جدید، موجودی اولیه ایستگاه‌های تولیدی، ضرایب مصرف موجودی و ...).

1. Improving Material Flows

۸- بررسی اثرات ترکیبی ناشی از تغییرات پارامترها بر عملکرد سیستم. (تجزیه و تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای حساس سیستم).
۹- ارزیابی مدل‌های برنامه‌ریزی غیرخطی و خطی عدد صحیح، از طریق مقایسه نتایج این مدل‌ها، با مدل‌های شبیه‌سازی، زنجیره مارکوف و مدل‌های ابتکاری و شبه ابتکاری.
۱۰- ارائه روشی برای تصحیح تعداد کانبان‌ها، کنترل سیستم کانبان در ایستگاه‌های تولید، در حالتی که مقادیر واقعی پارامترهایی مانند تقاضا، زمان پردازش کردن، زمان حمل و نقل با مقادیر پیش بینی شده این پارامترها متفاوت باشد.

محدودیت‌های تحقیق

محدودیت‌های مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح تغییر شکل یافته عبارتند از:

۱- در مدل خطی عدد صحیح، برخلاف مدل غیرخطی، پالت‌ها همیشه پُر نیستند و حداکثر تعداد محصولات در یک پالت، باید برای همه مراحل تخمین زده شده و محاسبه شوند نه برای هر مرحله.

۲- در مدل خطی عدد صحیح تعداد کانبان‌هایی که از پالت‌های مرتبط شان جدا شده‌اند باید بعد از محاسبه تعداد محصولات مورد استفاده قرار گیرند. زمانی که تعداد محصولات تعیین گردید، تعداد کانبان‌ها تعیین می‌شوند. از این‌رو، تعداد کانبان‌ها به تعداد محصولات مورد نیاز سفارش شده بستگی دارد.

۳- در مدل خطی عدد صحیح تعداد کانبان‌ها در یک پالت نسبت به مدل غیرخطی محدود می‌شود (این محدودیت موجب می‌شود که به زمان انجام کار اضافه شود و یا به بیان دیگر معطلی‌ها در سیستم بیشتر شود و در نتیجه موجب افزایش هزینه شود.)

۴- با تغییراتی که در پارامترهای مدل ایجاد شده است، در واقع یک محدودیت این است که زمان‌های حمل و نقل و پردازش کردن در مدل خطی عدد صحیح به صورت قطعی و مثبت در نظر گرفته شده است، در صورتی که در مدل غیرخطی صفر بود.

۵- در مدل خطی عدد صحیح پراکندگی تقاضا زیاد نیست، در واقع در این مدل تقاضا به عنوان یک ورودی و قطعی در نظر گرفته شده است. از این‌رو هرچه پراکندگی تقاضا بیشتر باشد، عدم اطمینان کارایی سیستم کانبان، کمتر خواهد بود و در واقع با بیشتر شدن پراکندگی در الگوی ورودی تقاضا، پیش‌بینی می‌شود، کارایی روش کاهش یافته و در نتیجه هزینه کل سیستم، بیشتر شود.

۶- در مدل خطی عدد صحیح به طور کلی ساختار مدل قطعی در نظر گرفته شده است. از این‌رو عواملی که موجب عدم اطمینان می‌شوند، منجر به مواردی همچون:

الف) موجودی نیمه ساخته بیشتر.
ب) کارایی کمتر ماشین‌آلات و تجهیزات.
ج) زمان تکمیل سفارشات طولانی‌تر.
د) سفارشات تکمیل نشده بیش تر.
ه) نیاز به اضافه کاری زیادتر.

۷- یکی از محدودیت‌های کاربردی در رابطه با سیستم کانبان این است، که چون تأمین‌کنندگان اغلب در نزدیکی و اطراف شرکت‌های تولیدکننده اصلی مستقر نیستند، یا به عبارتی تأمین‌کنندگان مواد و کالاهای نیمه ساخته و ساخته شده در سر تا سر کشور پراکنده‌اند، از این‌رو این امر می‌تواند به طور چشمگیری موانع و هزینه‌های پشتیبانی را افزایش دهد و به طور جدی بر اجراء و انجام فرآیند کانبان منسجم تأثیرگذار باشد و در نهایت موجب تضعیف سیستم کانبان شود.

مزایا و معایب مدل

الف) مزایای پیشنهادی سیستم کانبان که در سیستم زنجیره تأمین سودمند خواهند بود عبارتند از:

طراحی اولیه سیستم کانبان در این تحقیق:

۱- از پر کردن موجودی اضافی در پالت جلوگیری می‌کند.
۲- هزینه‌های بالاسری (سربار) مرتبط شده با هزینه‌های کمبود را کاهش می‌دهد.
۳- هزینه‌های بالاسری مربوط به عملیات تسهیلات زنجیره را کاهش می‌دهد.
۴– هزینه‌های مربوط به انتقال اطلاعات به حداقل ممکن می‌رسد.
۵- ظرفیت بیش از اندازه در فرآیند تولید را محدود می‌کند.
۶- از تولید انبوه اجتناب می‌شود.
۷- پس مانده‌های مواد (مواد زائد) و ضایعات به حداقل ممکن می‌رسد.

۸- در سیستم کانبان، کنترل می‌تواند ادامه داشته باشد.
۹- واگذاری مسئولیت به کارگران خط تولید (طراحی دیدگاه‌های کاری براساس شأن و منزلت انسانی، اعتماد متقابل، پشتیبانی و اجازه دادن کارگران برای رسیدن به حداکثر نیروی بالقوه آنها.)
۱۰- تلاش در جهت ایجاد دیدگاه‌های کاری که بتواند به تغییرات، سریع پاسخگو باشد.
۱۱- راز موفقیت سیستم کانبان این است که تمام بخش‌های یک سازمان به یکدیگر وابسته هستند.
۱۲- اجراء، نصب و راه‌اندازی سیستم کانبان ساده و نسبتاً ارزان است.
۱۳- تعیین کمیت و موقعیت کانبان‌ها، به سادگی، مقدار موجودی را کنترل می‌کند.
۱۴- کانبان یک سیستم توزیع شده است که رفتار پیچیده سیستم در آن از طریق قوانین و مقررات داخلی، به صورت خیلی ساده کنترل می‌شود.

ب- معایب پیشنهادی مدل

۱- اجرای تغییرات کانبان در سیستم تولیدی، یکباره صورت نمی‌گیرد و همان گونه که اساس فرضیات سیستم، یکنواختی تولید است، از این‌رو تغییر در تعداد کانبان موجود نیز به آرامی صورت می‌گیرد.
۲- در سیستم کانبان اگر تعداد کارت‌های بین دو ایستگاه را کاهش دهیم، به طور خودکار موجودی در جریان ساخت را بین دو ایستگاه کاری کاهش خواهیم داد، اما اگر تعداد کارت‌ها را خیلی کاهش دهیم، ممکن است با کمبود موجودی مواجه شویم.
۳- اجزای فرآیند کانبان که از تکنیک‌های ژاپنی‌ها است، در بیشتر مواقع قابل صدور هستند اما فرآیند کامل به خودی خود هنوز با محیط‌های خارج از ژاپن به طور موفق تطبیق داده نشده است.
۴- در بعضی مواقع در حین کار هرگاه مشکلی در خط تولید به وجود آید، کارگر مربوطه چراغ قرمز رنگی که علامت هشدار است را روشن می‌کند، در نتیجه کل خط تولید، تا رفع کامل مشکل متوقف می‌گردد. در این هنگام تمامی کارگران به محل مشکل می‌روند تا برای حل مسئله به یکدیگر کمک کنند. این عمل هر چند کار گروهی و اتحاد کارگران را به همراه دارد ولی منجربه اتلاف زمان و هزینه برای سیستم خواهد بود.

۵- محیط کسب و کار خارجی در کشور، با محیط کسب و کار در ژاپن، بسیار متفاوت است. اگرچه این امر متأثر از نیروها و عوامل خارجی زیادی می‌باشند، معهذا ساختار روابط صنعتی و ارتباط جغرافیایی به عنوان دو عاملی که دارای قابلیت اجراء هستند در این بحث مورد توجه قرار گرفته‌اند:

۵-۱- روابط صنعتی: ساختار روابط صنعتی در ایران تحت الشعاع روابط نه چندان دوستانه بین اتحادیه های اصلی ، دولت و کارفرمایان است. اتحادیه‌های داخلی خیلی با هم اشتراک مساعی ندارند و مبادلات تجاری بزرگ، در سال‌های اخیر برای آنها تعریف شده است. فرآیند کانبان نیازمند کار گروهی، چند مهارتی، چرخش شغلی، شیوه‌های کار و مفهوم کار گروهی است. در حال حاضر برای شاخص‌های بالا موانع وجود دارد، و علاوه بر آن روحیه پایین در محیط کار از طریق روابط غیر دوستانه بین کارکنان و مدیران و کارفرمایان و از طرفی عدم امنیت شغلی، این شرایط را ضعیف‌تر می‌کند. شاید مهمتر از همه بحث‌های متعدد صنعتی، فرآیند کانبان منسجم شده را خیلی حساس و آسیب‌پذیر می‌کند. اگر یک تأمین‌کننده نتواند، ارسال و تحویل به موقع بخش‌ها را تضمین کند، شرکت برای کاهش وقفه‌های تولید برنامه‌ریزی نشده باید موجودی‌های بیشتری را ارسال کند. از این‌رو سطح‌های زیادترموجودی‌ها موجب هزینه‌های بیشتری می‌شوند.

۵-۲- محدودیت‌های جغرافیایی: مجاورت جغرافیایی را می‌توان به عنوان یکی از عوامل پنهان در داستان موفقیت ژاپنی داشت. تأمین‌کنندگان اغلب در اطراف شرکت‌های اصلی متمرکز و جمع شده‌اند. این امر به طور چشمگیری موانع و هزینه‌های پشتیبانی را کاهش می‌دهد. موفقیت کانبان منسجم شده در ژاپن می‌تواند ناشی از مجاورت کارخانه‌های مونتاژ اصلی به تأمین‌کنندگان بخش‌ها باشد. یک ویژگی صنعت ژاپن ناشی از کوچکی کشور است. در صورتی که کشور ایران دارای تأمین‌کنندگانی است که در سرتاسرکشور پراکنده شده‌اند. این مانع پشتیبانی به طور جدی تأثیر اجراء و انجام فرآیند کانبان منسجم را تضعیف می‌کند، در نتیجه زمان‌های انتظار طولانی از موجودی‌ها موجب افزایش سطح‌های زیاد ذخیره ایمنی می‌شوند.

۶- کاربرد محدود برای شرکت‌های کوچک

اغلب شرکت‌های تولیدی ایران در مقایسه با رقبای جهانی، به طور نسبی کوچک می‌باشند. به عنوان مثال در شرکت‌های با

اندازه کوچک و حتی متوسط، گاری‌های مخصوص تحویل حمل مواد ممکن است بین ۱۰ الی ۱۵ بار در روز مواد را حمل کنند، که این مورد خود موجب هزینه‌های گزافی است. علاوه بر این، تولید کنندگانی که مجبور نیستند تا تغییرات را به طور سریع در برنامه‌های تولید خود اعمال کنند، احتمالاً در سازگاری با محیط، با مشکل مواجه خواهند شد. به علاوه، ایجاد روابط مطلوب با تأمین‌کنندگان برای شرکت‌های کوچک مشکل است. از این‌رو به دست آوردن سیستم کانبان منسجم به شدت مشکل می‌شود و از طرف دیگر سیستم کانبان ساده می‌تواند هزینه‌ها را توسط هموار سازی فرآیند تولید کاهش دهد و بدین طریق می‌توان موجودی‌های مازاد را کاهش و در نتیجه کیفیت را می‌توان بهبود بخشید و کار در فرآیند ساخت را نیز می‌توان کاهش داد.

۷- تفاوت‌های فرهنگی

موانع فرهنگی ممکن هستند، مانع از اجرای فرآیند کانبان شوند. موفقیت حوزه تولید به یک سازمان اجتماعی وابسته است که فرآیند تولید تمایل به متعهد ساختن کارگران نسبت به عملکرد اقتصادی شرکت دارد. نگرش مثبت ژاپنی‌ها به کار که همراه با ساعات طولانی‌تر کار و کوتاه بودن تعطیلات در مقایسه با کشور ایران و حتی کشورهای اروپایی و امریکایی در تعارض است. از آن جایی که افراد همه چیز را همان طور که هست، دوست دارند و می‌پسندند از این‌رو تغییرات به راحتی امکان پذیر نخواهد بود.

تفاوت فرهنگی مهمی که ممکن است بر اجرای فرآیند کانبان در کشور ما اثر منفی داشته باشد، ارتباط رقابتی بین کارکنان و مدیران است.

منابع و مآخذ

۱. استدلر هارتموت و کریستوف کیلگر، «مدیریت زنجیره تأمین و برنامه‌ریزی پیشرفته»، مترجمان نسرین عسکری ورضا زنجیرانی فراهانی، انتشارات ترمه، تهران، ۱۳۸۲ چاپ اول

۲. بیجاری، مهدی، برنامه‌ریزی تولید با تقاضای احتمالی پایان نامه دکتری در رشته مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۲

۳. رادفورد راسل و حمید نوری، مباحث نوین در مدیریت تولید و عملیات جلد اول و دوم، مترجمان دردانه داوری و دیگران انتشارات سازمان مدیریت صنعتی، تهران، ۱۳۸۱ چاپ دوم.

۴. درک فرنچ و هیثر ساورد، فرهنگ مدیریت «توصیفی»،ترجمه محمد صائبی، انتشارات مرکز آموزش مدیریت دولتی، تهران ۱۳۷۱

۵. فیض‌آبادی، جواد؛ مقدمه‌ای بر مدیریت زنجیره تأمین، مجله تدبیر؛ شماره ۱۳۱؛ فروردین ۱۳۸۲

6. Akturk M.S. and Erhun F., 1999, An overview of design and operation issues of kanban system. International Journal of Production Research, 37,pp. 3859-3881.
7. Bard, J.F. and Golony,B.,1991,Determining the number of kanbans in a multiproduct, multistage production system. International Journal of production Research, 29,pp.881-895.
8. Beamon, B.M.,1999 Measuring supply chain performance, International Journal of operations and productions Management,19,pp.275-292.
9. 9- Bitran, G.R. and Chang,L., 1987, A mathematical programming approach to A deterministic kanban system. Management Science, 33, pp. 427-441.
10. 10-Chan, E.W.,Muckstadt,J.A. and Rappold, J.A., 1999, Determining and allocating capacity-driven safety stock in multi-echelon system, school of Operations Research and Industrial Engineering, Cornell University, Ithaca, NY.
11. Donaldson, H., Johnson, E.L., Ratliff, H.D. and Zhang. M., 1998, Schedule - driven cross-docking network, Georgia Tech TLI Report.
12. Kimura, O. and Terada, H., 1981, Design and analysis of pull system,
13. a method of multi - stage production control. International Journal of production Research, 19,pp.241-253.
14. Li, A. and Co, H.C., 1991, A dynamic programming model for the kanban assignment problem in a multi-stage multi-period production system. International Journal of production Research, 29,pp.1-16.

15. Miyazaki, S., Ohta, H. and Nishiyama, N., 1988, The optimal operation planning of kanban to minimize the total operation cost. International Journal of production Research, 26,pp.1605-1611.
16. Monden, Y., 1993, Toyota production system second edition, Norcross, GA: Engineering and Management Press.
17. Ohno, k., Nakashima, K.and Kojima, M., 1995, Optimal numbers of two kinds of kanbans in a JIT production system. International Journal of production Research, 33,pp.1387-1401.
18. 17-OlssonJohan.Kanban-an Integrated JIT System at http://www.geocities.com/ Times Square/ 1848/japan 21. html.
19. Ratliff, H. D., Vande Vate, J. and zhang,M, 1999, Network design for load-driven cross-docking systems, Georgia Tech TLI Report.
20. Ress, L. P., Philipoom, P. R., Taylor, B. W. III and Huang, P. Y., 1987, Dynamically adjusting the number of kanbans in a just-in-time production system using estimated values of leadtime. IIE Transactions, 19, pp. 199-207.
21. Simchi-Levi, D., Kaminsky, P. and Simshi-Levi, E., 2000, Design and Managing the Supply Chain, USA, McGraw-Hill.
22. Srisawat, S., Optimization Model UMI Dissertation Services From Proquest Company, 2002,PP,10- 25
23. White, John, A production hand book, John wiley & Sons,4 thed, 1987.