فصلنامه علمی – پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی – سال دوازدهم، شماره ۳۴، پاییز ۹۳
صفحات ۱۷ - ۱

طراحی مدل برنامه ریزی تولید چندمحصولی در زنجیره تأمین براساس رویکرد برنامه‌ریزی آرمانی (مطالعه‌ی موردی: گروه صنعتی برنز)

عادل آذر* - اکرم السادات حسینی **

(تاریخ دریافت : ۹۲/۱/۲۷ - تاریخ پذیرش : ۹۳/۳/۱۷)

چکیده

امروزه سازمان‌ها با تغییر مداوم نیاز مشتریان و وجود رقابت‌های شدید در سطح جهانی، باچالش-های متعددی مواجه شده‌اند. هدف مدیریت زنجیره عرضه، بهینه‌سازی کلیه تصمیماتی است که در طول این زنجیره اعم از عرضه کنندگان مواد اولیه، خطوط تولید، انبار محصول نهایی و مشتریان به وقوع می‌پیوندد. هدف این تحقیق، طراحی و ارائه‌ی مدل برنامه‌ریزی ریاضی تولید برای چند محصول در زنجیره عرضه گروه صنعتی برنز است. مدل ارائه شده در این تحقیق، مدل برنامه‌ریزی خطی آرمانی است که بر حداقل کردن هزینه‌های لجستیک و هزینه دیرکرد تحویل محصول به مشتری و حداکثر کردن درآمد فروش تمرکز دارد. همچنین وزن آرمان‌ها براساس مقایسات زوجی توسط خبرگان تعیین گردید. این مدل ریاضی ۴ آرمان، ۱۸۸ محدودیت و ۵۱۰ متغیر دارد. مدل طراحی شده در این تحقیق، با جمع‌آوری اطلاعات از گروه صنعتی برنز حل گردید و جواب بهینه به دست آمد. پس از مقایسه جواب‌های حاصل از حل مدل با وضع موجود، کارایی مدل با استفاده از نظر خبرگان در مورد مطالعه تایید شد.

کلید واژه‌ها: مدیریت زنجیره تأمین، برنامه‌ریزی تولید چند محصولی، برنامه‌ریزی آرمانی، کانبان

---

* استاد گروه مدیریت، دانشگاه تربیت مدرس

AZARA@modares.ac.ir

** کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشگاه تربیت مدرس (نویسنده مسئول)

Hosseini.3171@gmail.com

مقدمه

با تشدید رقابت جهانی سازمان‌ها مجبور شدند با بهبود فرآیندهای داخلی خود، محصولاتی با قیمت پایین، کیفیت بالا، قابل اطمینان و انعطاف‌پذیری بالاتر در طراحی ارائه دهند تا بتوانند در عرصه رقابت باقی بمانند. آن‌ها دریافتند که اتخاذ تصمیمات بهینه و کارا در درون سازمان نمی‌تواند به تنهایی راه را برای موفقیت یک سازمان هموار کند، بلکه کارا بودن سیستم‌های کلیه سازمان‌های بالادستی و پایین دستی تأثیر مستقیمی بر کامیابی سازمان در رسیدن به اهداف دارد. زنجیره عرضه در بر گیرنده کلیه عناصر ایجاد کننده ارزش در مراحل تأمین کالا، ساخت و توزیع که از جذب مواد اولیه شروع شده و در مراحل تبدیل به کالا ادامه یافته و به مشتری نهایی ختم می‌شود.

اگرچه در برخی از کارخانه‌های صنعتی واحدی به نام مدیریت لجستیک وجود دارد که اقداماتی از قبیل انتخاب عرضه‌کنندگان مناسب، خرید مواد اولیه از عرضه‌کنندگان، برنامه-ریزی تولید، مدیریت موجودی، فروش و ارسال کالا به مشتری را انجام می‌دهد ولی عملکرد آن‌ها اثربخشی لازم را ندارد.

گروه صنعتی برنز علی‌رغم وجود واحد مدیریت لجستیک و اتخاذ تصمیمات در خصوص زنجیره عرضه، به دلیل خصوصیات خاص خود از جمله تولید محصولات متنوع، مشتریان خاص و اهمیت تحویل به موقع محصول به دست مشتری و وجود تعداد زیادی تولید کننده داخلی و واردات از خارج کشور، نیازمند برنامه‌ریزی ریاضی دقیق به منظور بهینه‌سازی تصمیمات در کل اعضای زنجیره عرضه می‌باشد. بنابراین، سؤالات تحقیق به صورت زیر است:

۱. متغیرهای تصمیم مدل ریاضی متناسب با زنجیره عرضه گروه صنعتی برنز کدامند؟
۲. مدل ریاضی متناسب با زنجیره عرضه گروه صنعتی برنز چیست؟

مدیریت زنجیره عرضه و اهداف آن. یک زنجیره عرضه شبکه‌ای از شرکت‌ها و سازمان‌ها با ارتباطات بالادستی و پایین‌دستی در فرایندهای مختلف ساخت و تأمین است. اصلی‌ترین هدف وجود هر زنجیره عرضه، برآورده ساختن نیازهای مشتریان به همراه ایجاد سود برای اجزای این زنجیره عرضه است.

مدیریت زنجیره عرضه عبارت است از فرایند برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل کارامد جریان مواد اولیه، موجودی‌های در جریان ساخت، محصولات نهایی و همچنین جریان اطلاعات مرتبط با آن از نقطه اولیه تا نقطه مصرف که با هدف تأمین نیازهای مشتریان انجام می‌شود (Mabert & Vnkataramanan, 1998).

اهدافی که می‌توان با مدیریت بهتر زنجیره تأمین به آن دست یافت را می‌توان در دو دسته کلی تقسیم کرد. این اهداف به شرح زیر می‌باشند (Slack et al., 2001).

۱. تاکید بر برآورده ساختن موثر تقاضاهای مشتریان
۲. سودآور بودن زنجیره تأمین[1]

هم‌چنین جهت سودآوری بیشتر زنجیره تأمین، بایستی کلیه تلاش‌ها را معطوف نیازهای نهایی مشتریان نمود. در همین رابطه جهت موفقیت بیشتر زنجیره، یک سری اهداف فرعی دیگری نیز مطرح می‌شوند که می‌توان آن‌ها را به صورت زیر برشمرد:

- ✓ ایجاد توانایی توسعه‌ی محصولات جدید؛
- ✓ حداقل نمودن مدت زمانی که یک محصول، زنجیره عرضه را طی کرده و به دست مشتری نهایی می‌رسد؛
- ✓ حداکثر نمودن انعطاف پذیری زنجیره عرضه در پاسخ‌گویی به تغییراتی که در نیازهای مشتریان به وجود می‌آید (Lee & Billington, 1995, p. 42).

پیشینه تحقیق

کوهن[2] و مون[3] با ارائه یک مدل مختلط صفر و یک سعی در بهینه نمودن جریان مواد، محصولات و ترکیب تولید محصولات در یک شبکه زنجیره عرضه با ساختار ثابت نمودند (Cohen & Moon, 1987). آرنتزن[4]، برون[5]، هاریسون[6] و ترافتون[7] یک مدل یکپارچه زنجیره

[1] Supply chain profitability
[2] Cohen
[3] Moon
[4] Arntzen
[5] Brown
[6] Harrison
[7] Trafton

عرضه به صورت چند دوره ای برای شرکت‌های بزرگ بین المللی ارائه دادند. در مدل ارائه شده توسط آن‌ها دو تابع هدف وجود دارد. اولین تابع هدف برای حداقل کردن هزینه‌های کل زنجیره است و دومین تابع هدف، مدت زمانی را که طول می‌کشد تا یک محصول به مشتری برسد حداقل می‌کند. محدودیت‌های مدل آن‌ها شامل محدودیت‌های پوشش دادن تقاضاها، ظرفیت عرضه کنندگان در ارائه مواد اولیه، ظرفیت تولید مراکز تولید و نهایتا ظرفیت فروش هر کدام از مراکز فروش است (Arntzen et al., 1995). چاندرا[1] و فیشر[2] مدلی با عنوان برنامه‌ریزی هماهنگ تولید و توزیع را ارائه کردند. تابع هدف این مدل به دنبال حداقل کردن هزینه کل می‌باشد که شامل هزینه‌های راه‌اندازی تولید، حمل و نقل محصولات تولیدی به خرده‌فروشان و هزینه‌های موجودی‌هاست (Chandra & Fisher, 1994).

سبری[3] و بیمون[4] یک مدل یکپارچه چند هدفه جهت بهینه‌سازی تصمیمات زنجیره عرضه ارائه داده‌اند. آن‌ها در مدل خود به برنامه‌ریزی در دو سطح استراتژیک و عملیاتی پرداخته‌اند. در مدل سطح استراتژیک آن‌ها، سه هدف به شرح حداقل کردن هزینه کل زنجیره عرضه، حداکثر کردن نرخ برآورده ساختن تقاضاهای مشتریان و نهایتا حداکثر کردن انعطاف پذیری در مقدار و زمان تحویل مواد اولیه و محصولات وجود دارد. آن‌ها با توجه به اطلاعات به دست آمده از سطح استراتژیک با استفاده از فرمول‌های تعیین مقادیر اقتصادی با هدف حداقل کردن هزینه، مقادیر بهینه خرید، تولید و توزیع و هم‌چنین دوره تناوب آن‌ها را مشخص کرده‌اند (Sabri & Beamon, 2000).

لی[5] و کیم[6] نیز با در نظر گرفتن محدودیت‌های منابع مختلف، ساختار سیستم تولید و توزیع چند کارخانه‌ای، چند محصولی و چند دوره‌ای را ارائه نمودند (Lee, Ha & Kim, 2001).

برون، گریوز[7] و هانکزارنکو[8] با ارائه مدلی از نوع برنامه‌ریزی مختلط صفر و یک، جهت مدلسازی یک سیستم تولید– توزیع چند محصولی گام برداشتند. در مدل ارائه شده توسط آن‌ها، هدف، تعیین مکان مراکز تولید و همچنین مراکز توزیع، ظرفیت مراکز توزیع،

1 Chandra
2 Fisher
3 Sabri
4 Beamon
5 Lee
6 Kim
7 Graves
8 Honzorenco

مقدار تولید در هر مرکز تولید و نهایتا تعیین مقدار محصولات ارسالی از هر کدام از مراکز تولید به مراکز توزیع بود. آن‌ها جهت حل مدل ارائه شده از یکی از تکنیک‌های تجزیه استفاده کردند (Brown et al., 1987). ترابی و هسینی[1] یک مدل احتمالی چند تابع هدفه جدید برای یکپارچه‌سازی تدارکات، تولید و برنامه‌ریزی توزیع به وسیله تابع هدف‌های متناقض به صورت همزمان با در نظر گرفتن عدم اطمینان و عدم قطعیت در برخی از پارامترهای کلیدی و بحرانی مثل تقاضای بازار، هزینه، زمان و سطوح ظرفیت ارائه دادند (Torabi & Hassini, 2008).

میرغفوری یک ساختار سه سطحی شامل سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی را برای زنجیره عرضه مجتمع صنایع لاستیک‌سازی یزد طراحی نموده است. وی در سطح استراتژیک از تحلیل سلسله مراتبی (AHP) با رویکرد فازی در سطح تاکتیکی از برنامه‌ریزی چند هدفه فازی و در سطح عملیاتی از برنامه‌ریزی خطی استفاده نموده است (میرغفوری،۱۳۸۲). پویا نیز به ارائه مدل ریاضی برنامه‌ریزی تولید و توزیع پرداخته است. مدل طراحی شده توسط وی فقط تصمیمات سطح عملیاتی را در بر می‌گیرد. این مدل به دنبال حداقل کردن هزینه‌های تولید، نگهداری و کمبود محصولات در انبارهای توزیع، هزینه‌های تولید و نگهداری قطعات، هزینه‌های خرید و نگهداری مواد خام و سایر هزینه‌های حمل و نقل و ... می‌باشد. محدودیت‌های این مدل شامل محدودیت‌های بالانس موجودی، ظرفیت ماشین‌آلات، منابع در دسترس، ظرفیت نگهداری، ظرفیت توزیع و ... می‌باشد (پویا، ۱۳۸۳).

در سال‌های اخیر، بسیاری از شرکت‌ها با هدف کاهش مواد پای کار و کنترل جریان قطعات نیم‌ساخته، به استراتژی‌های مختلفی چون CONWIP، کانبان و Drum-Buffer-Rope روی آورده‌اند. در این میان، محققان و مدیران اجرایی از استراتژی کانبان استقبال زیادی کرده‌اند و تلاش‌های زیادی در مدل‌سازی و طراحی تکنیک‌های حل مسائل کانبان شده است. مناسب است به خلاصه ای از پژوهش های انجام شده در مورد مدل های تولیدی و توزیع در زنجیره تامین- تحت کنترل کانبان اشاره کنیم.

به کارگیری کانبان برای کنترل فرآیند تولید سیستم تک مرحله‌ای، اولین بار توسط ماندن[2] در سال ۱۹۸۳ مطرح شد (Monden, 1983) و پس از آن، وانگ[3] در سال ۱۹۹۱

[1] E.Hassini
[2] Y. Monden
[3] H. Wang

کانبان را در دو نوع پیکره بندی تولیدی (i. یک ایستگاه- یک ایستگاه؛ ii. یک ایستگاه- چند ایستگاه) استفاده کردند (Wang, 1991). تمرکز اصلی تحقیقات، عموما حول بسط کاربرد کانبان در شرایط مختلف سیستم‌های تولیدی شکل گرفت. از آن جمله یاناگاوا[1] و همکارانش مدل برنامه‌ریزی عملیات کانبان را برای یک سیستم چند مرحله‌ای با نرخ مصرف متفاوت در مراحل تولید ارائه کردند (Yanagawa et al., 1994). سلیامن[2] کاربرد کانبان را به یک زنجیره سه مرحله‌ای با نرخ تولید محدود توسعه دادند (Seliaman & Ahmad, 2008). سارکر[3] یک مدل ریاضی کانبان را برای استفاده در یک سیستم چند مرحله‌ای با فرآیند تولید تک محصولی توسعه دادند (Sarker & Wang, 2004). داتا[4] یک مدل برای کارکرد یک سیستم تولیدی چند محصولی- چند مرحله‌ای تحت روش کانبان ارائه کردند (Dutta & Abdou, 1993). ردا[5] ضمن مروری بر تحقیقات انجام شده درباره کانبان، روش کانبان را با روش‌های دیگر کنترل تولید و موجودی مقایسه کرد (Reda, 1987). چن[6] استفاده از کانبان‌هایی با اندازه متغیر را برای یک سیستم چند محصولی- تک مرحله‌ای پیشنهاد نمود (Chan, 2001). ناکامورا[7] و تاکاهاشی[8] با استفاده از سری‌های زمانی و نمودارهای کنترلی، روش کانبان غیر متمرکز را برای سیستم‌های تولیدی با تقاضای ناپایدار ارائه کردند (Takahashi & Nakamura, 2002). آزاده[9] و همکارانش با تلفیق شبیه‌سازی و تحلیل واریانس، طراحی مجدد سیستم تولیدی را بررسی کردند تا به نقاط بهینه‌ی عملیاتی در روش کانبان دست یابند (Azadeh et al., 2005). یاوز[10] و توفکسی[11] هموارسازی انباشته-های تولیدی را به کمک برنامه‌ریزی پویا پیشنهاد نمودند (Yavuz & Tufekci, 2006).

با توجه به این که تحقیقات اندکی در خصوص مدل برنامه‌ریزی تولید تحت کنترل کانبان در داخل کشور صورت گرفته است، در این تحقیق سعی شده است مدلی جامع برای برنامه‌ریزی زنجیره تأمین گروه صنعتی برنز تحت کنترل کانبان ارائه شود که این مدل برنامه-

[1] Y. Yanagawa
[2] M.E. Seliaman
[3] B.R. Sarker
[4] S.P. Dutta
[5] H.M. Reda
[6] F.T.S. Chan
[7] N. Nakamura
[8] K. Takahashi
[9] A. Azadeh
[10] M. Yavuz
[11] S. Tufekci

ریزی تولید برای چند محصول و به صورت همزمان، اهداف تحقیق را برآورده می‌کند و در انتها نتایج حاصل از این مدل با وضع موجود مقایسه می‌شود.

طراحی مدل ریاضی برنامه‌ریزی تولید

با مرور و بررسی نحوه رشد صنعت خودروسازی حدود چهار دهه اخیر می‌توان دریافت، طلایی‌ترین دوران برای شکل‌گیری صحیح صنایع قطعه‌سازی خودرو در ایران می‌توانست در آغاز تولید و مونتاژ خودرو در ایران طی سال‌های ۱۳۴۷ تا ۱۳۵۶ تحقق یابد، که متأسفانه این چنین نشد. به دنبال آن طی سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۶۹ که تولید خودرو تا ۹۷ درصد کاهش یافت، صنعت قطعه‌سازی نیز صدمات زیادی دید تا این که در سال ۱۳۷۱ با تصویب قانون خودرو و نظارت دو شرکت ساپکو و سازه‌گستر شکل گرفت و زنجیره تولید صنعت خودروسازی کشور کامل شد. هم‌اکنون تعداد شرکت‌های قطعه‌ساز ایران‌خودرو بالغ بر ۷۰۰ واحد و در کل کشور حدود ۱۲۰۰ واحد است و با توجه به سیاست جدید خودروسازان مبنی بر افزایش قطعات ساخت داخل در خودروهای تولیدی و جایگزین ساختن قطعات داخلی به جای قطعات خارجی هر روز به تعداد شرکت‌های سازنده قطعه داخلی افزوده می‌شود.

گروه صنعتی برنز یکی از شرکت‌های قطعه‌ساز و تولید کننده قطعات تزیینی خودرو است که برای باقی ماندن در عرصه رقابت طی برنامه‌ریزی تولید حساب شده و استفاده از سیستم کانبان باید محصولات خود را به موقع برای مشتری ارسال کند و به تعهدات خود نسبت به مشتری عمل کند. سیستم کانبان در گروه صنعتی برنز. سیستم سفارش‌گذاری در برنز، سیستم کانبان است و کل زنجیره تأمین برنز تحت کنترل کانبان عمل می‌کند. زنجیره تأمین گروه صنعتی برنز به جریان مواد، اطلاعات، وجوه و خدمات از عرضه کنندگان مواد اولیه طی کارگاه‌ها و انبارها تا مشتریان اشاره دارد و شامل خیلی وظایف از قبیل خرید مواد اولیه، جریان وجوه، باربری مواد، برنامه‌ریزی و کنترل تولید، کنترل موجودی و فروش و تحویل محصول نهایی به مشتری می‌شود. سیستم کانبان محصولات برنز به صورت دستی عمل نموده، به این شکل که برای هر محصولی، تعدادی کارت کانبان وجود دارد و بر مبنای برنامه و نیاز تولید هفتگی، تعداد کارت مورد نیاز هر روز مشخص شده و توسط انباردار به خطوط تولید انتقال داده شده و بر روی تابلوهای مخصوص کارت کانبان نصب می‌گردد.

کارشناسان ارشد خطوط تولید نیز براساس کارت‌های کانبان، محصولات را تولید می‌کنند و با استفاده از سیستم کانبان دیگری نیاز به مواد اولیه را به انبار مواد اولیه اعلام می‌کنند و مسئول انبار مواد اولیه هم در صورت کمبود مواد اولیه با استفاده از سیستم کانبان، مواد اولیه مورد نیاز را از عرضه‌کنندگان مواد اولیه خریداری می‌کنند. پس از تولید محصولات در خطوط تولید، کارت‌های کانبان به وسیله گیره‌های فلزی بر روی پالت‌ها نصب می‌شود و به انبار محصول نهایی جهت ارسال به مشتری انتقال می‌یابد. عمده سفارشات از طرف ایران خودرو و از طریق اینترانت است. طبق قراردادی که بین ایران خودرو و گروه صنعتی برنز منعقد شده است، برنز موظف است به ازای هر یک دقیقه دیرکرد از زمان تحویل محصول، سه میلیون تومان جریمه بپردازد. زمان تحویل بسته به محل تحویلی که ایران خودرو مشخص کرده است، متفاوت است. برای سفارشاتی که به انبارهای ایران خودرو فرستاده می‌شود زمان تحویل ده ساعته و برای سفارشاتی که مستقیما به خط تولید و مونتاژ ایران خودرو فرستاده می‌شود زمان تحویل سه ساعته در نظر گرفته شده است.

هدف از این تحقیق، ارائه مدلی است که علاوه بر حداقل کردن هزینه‌های حمل و نقل، حداقل کردن قیمت خرید مواد اولیه از عرضه‌کنندگان و حداکثر کردن درآمد فروش، زمان دیرکرد از زمان تحویل محصول را نیز حداقل کند.

طراحی مدل ریاضی قطعی برنامه‌ریزی تولید

اندیس‌های مدل

m : ماده اولیه ($m=1,2,\ldots,M$)

j : مشتری ($j=1,2,\ldots,J$)

p : محصول ($p=1,2,\ldots,P$)

s : عرضه کننده ($s=1,2,\ldots,S$)

l : نوع پالت

تعریف متغیرهای تصمیم

XSpj : مقدار محصول ارسالی p به مشتری j

XPp : مقدار تولید محصول p

TDpj : زمان تحویل محصول p به مشتری j

nt : تعداد کامیون

XNms : مقدار ماده اولیه m که باید از عرضه کننده s خریداری شود

extpj : زمان دیرکردی که محصول به مشتری تحویل داده می‌شود از موعد فرارسیدن کانبان

تعریف پارامترها

Pms : قیمت خرید ماده اولیه m از عرضه کننده s

Vpj : قیمت فروش محصول p به مشتری j

CDpj : هزینه دیرکرد از زمان فرا رسیدن کانبان

Clp : ظرفیت پالت نوع l برای محصول p

coemp : ضریب مصرف ماده اولیه m در محصول p

kindmp : نوع ماده اولیه m در محصول p

tl : ظرفیت هر کامیون برای پالت نوع l

cost_track : هزینه کرایه هر کامیون

tpp : مقدار زمان لازم برای تولید یک واحد محصول p

Dp : تقاضا برای محصول p

TPT : کل زمان در دسترس جهت تولید

caps : مقدار ظرفیت عرضه کننده s (ظرفیت تأمین)

SSm : ذخیره اطمینان ماده اولیه m

PAp : توان تولید محصول p

CTms : هزینه حمل هر واحد ماده اولیه m از عرضه کننده s

bl : حجم پالت l

FIm : موجودی ماده اولیه m در انبار مواد اولیه در ابتدای دوره

bw : کل ظرفیت انبار

EIm : موجودی ماده اولیه m در انبار مواد اولیه در انتهای دوره

upextpj : میانگین زمان دیرکردی که محصول p در دوره برنامه‌ریزی به مشتری j رسیده است

TRpj : زمان تحویل محصول p به مشتری j (از زمان صدور کانبان، چه مدت فرصت داریم که محصول p به مشتری j برسد)

در این مدل از برنامه‌ریزی آرمانی برای ترکیب توابع هدف و رسیدن به جواب بهینه استفاده می‌کنیم. برنامه‌ریزی آرمانی یکی از مهم‌ترین مواد مدل‌های تصمیم‌گیری چند هدفه است. در مدل‌های معمول LP، اهداف در قالب یک تابع هدف عمده بیان می‌شود، اما در برنامه‌ریزی آرمانی حرکت همزمان به سوی چندین هدف، امکان‌پذیر است. در برنامه‌ریزی آرمانی، تصمیم گیرنده برای هر یک از اهداف خود یک سطح مطلوب عددی تعیین می‌کند و آن‌ها را به عنوان آرمانی در نظر می‌گیرد که تلاش مدل در رسیدن به آن‌ها است و حداقل کردن انحرافات را در رسیدن به آرمان‌ها به عنوان معیاری جهت بهینه‌سازی تصمیمات در نظر می‌گیرد. صورت کلی مدل برنامه‌ریزی آرمانی با توجه به مدل و متغیرهای تعریف شده به شرح زیر است:

$$min\ Z = w_1 d_1^+ + w_2 d_2^+ + w_3 d_3^- + w_4 d_4^+$$

S.t .

$$\sum_{s=1}^{S}.\sum_{m=1}^{M} CT_{ms}\ XN_{ms} + nt\,.\,cost_track - d_1^+ \leq G_1 \quad (۱)$$

$$\sum_{s=1}^{S}.\sum_{m=1}^{M} P_{ms}\ XN_{ms} - d_2^+ \leq G_2 \quad (۲)$$

$$\sum_{p=1}^{P}.\sum_{j=1}^{J} V_{pj}\ XS_{pj} + d_3^- \geq G_3 \quad (۳)$$

$$\sum_{p=1}^{P}.\sum_{j=1}^{J} CD_{pj}\,.\,ext_{pj} - d_4^+ \leq G_4 \quad (۴)$$

$$TD_{pj} \leq TR_{pj} + ext_{pj} \quad ,\forall p,\forall j \quad (۵)$$

$$ext_{pj} \leq upext_{pj} \quad ,\forall p,\forall j \quad (۶)$$

$$\sum_{l=1}^{L}\ \sum_{j=1}^{J}.\sum_{p=1}^{P} b_l * \frac{(XP_p - XS_{pj})}{C_{lp}} < bw \quad (۷)$$

$$\sum_{l=1}^{L}\left[\frac{\sum_j^J.\sum_p^P (XS_{pj}/C_{lp})}{t_l}\right] \leq nt \quad (۸)$$

$$XN_{ms} \leq cap_s \quad ,\forall m\ ,\forall s \quad (۹)$$

$$\sum_{p=1}^{P} tp_p\ XP_p \leq TPT \quad (۱۰)$$

$$\sum_{p=1}^{P} coe_{mp} * XP_p \leq \sum_{s=1}^{S} XN_{ms} + FI_m - EI_m \quad ,\forall m \quad (۱۱)$$

$$FI_m \geq SS_m \quad ,\forall m \quad (۱۲)$$

$$\sum_{j=1}^{J} XS_{pj} \geq D_p \quad ,\forall p \tag{۱۳}$$

$$\sum_{m=1}^{M} coe_{mp} * XP_p \geq kind_{mp} \quad ,\forall p \tag{۱۴}$$

$$XP_p \leq PA_p \quad ,\forall p \tag{۱۵}$$

$$KN_{ms} \ , XS_{pj} \ , XP_p \ , TD_{pj} \geq 0 \tag{۱۶}$$

$$ext_{pj} \ , nt = \text{عدد صحیح} \tag{۱۷}$$

در ادامه به تشریح آرمان‌ها و محدودیت‌های مدل خواهیم پرداخت:

آرمان اول: تابع هدف حداقل کردن هزینه‌های حمل و نقل مواد اولیه و محصولات نهایی در زنجیره عرضه

آرمان دوم: تابع هدف حداقل کردن قیمت خرید مواد اولیه از عرضه کنندگان

آرمان سوم: تابع هدف حداکثر کردن درآمد فروش

آرمان چهارم: تابع هدف حداقل کردن هزینه دیرکرد تحویل محصول به مشتری از زمان فرا رسیدن کانبان

سری محدودیت‌های ۵ و ۶ مربوط به زمان دیرکرد محصول به مشتری از زمان فرارسیدن کانبان می‌باشد. محدودیت ۷ نشان می‌دهد که تعداد پالت محصول باقی‌مانده در انبار محصول نهایی باید کمتر از حجم انبار محصول نهایی باشند. محدودیت ۸ نشان می‌دهد که هر کامیون بسته به نوع پالت، چه تعداد پالت محصول را می‌تواند در خود جای دهد. سری محدودیت۹ مربوط به ظرفیت هر عرضه کننده در ارائه مواد اولیه است. محدودیت ۱۰ بیان می‌کند که مقدار زمان لازم برای تولید محصولات باید از کل زمانی که جهت تولید در دسترس است، کمتر باشد. سری محدودیت ۱۱ مربوط به اطمینان از وجود مواد اولیه تولید در طی دوره برنامه‌ریزی و سری محدودیت ۱۲ مربوط به اطمینان از وجود ذخیره اطمینان مواد اولیه در انبار مواد اولیه می‌باشد. محدودیت ۱۳ بیانگر این است که مقدار محصول ارسالی به مشتری نباید کمتر از تقاضای او باشد. محدودیت ۱۴ نشان می‌دهد که برای تولید هر واحد محصول، با توجه به ضریب مصرف مواد اولیه در محصول چه مقدار از مواد اولیه نیاز است. محدودیت ۱۵ بیانگر توان تولید کارخانه برای تولید محصول p طی دوره برنامه‌ریزی است. و

محدودیت‌های ۱۶ و ۱۷ غیر منفی بودن متغیرهای تصمیم را کنترل می‌کند. wi نیز بیانگر ضرایب اهمیت آرمان‌ها در تابع هدف بوده و شرط $\sum_{i=1}^{4} w_i = 1$ برقرار است.

تجزیه و تحلیل مدل

پارامترهای مدل و چگونگی تعیین هریک

۱) ضرایب اهمیت آرمان‌ها در تابع هدف (wi): با بهره‌گیری از نظرات خبرگان و با استفاده از پرسشنامه مقایسات زوجی آرمان‌ها، که در پیوست مقاله آورده شده، تمامی آرمانها دوبه‌دو مورد مقایسه قرار گرفته و وزن هر آرمان تعیین شد.

۲)

جدول ۱. وزن هر آرمان در تابع هدف

آرمان	اول	دوم	سوم	چهارم
وزن	۰,۰۳۶۱۷۵	۰,۳۲۵۸۷۵	۰,۲۹۲۷۷۵	۰,۳۴۵۱۷۵

۲) مقدار آرمان‌ها (Gi): با توجه به این‌که مدل در این تحقیق، چندهدفه و از نوع برنامه‌ریزی آرمانی است، مقدار آرمان‌ها را که به واقعیت نزدیک باشند، پیدا می‌کنیم. به این منظور، مدل یک‌بار به ازای هر آرمان حل شد تا بهترین مقدار خود را حاصل کند. این مقادیر به عنوان آرمان در نظر گرفته شد.

جدول ۲. مقدار آرمان‌ها در توابع هدف

شماره آرمان	مقدار آرمان
آرمان اول	۱۰۸۴۹۴۳۰۰۰۰۰۰
آرمان دوم	۱۴۹۵۸۹۲۰۰۰۰
آرمان سوم	۲۰۱۳۶۷۹۰۰۰۰
آرمان چهارم	۰

سایر پارامترهای مدل نیز از سیستم اطلاعاتی برنز و مصاحبه با مدیر لجستیک کارخانه جمع آوری شد.

حل مدل

مدل ریاضی قطعی پیاده سازی شده ۵۱۰ متغیر و ۱۸۸ محدودیت دارد که توسط نرم‌افزار Excel وارد و به وسیله نرم افزار Lingo حل شده است.

دوره برنامه‌ریزی که در مدل قطعی ارائه شده به عنوان مقیاس زمانی آن‌ها مطرح است، از ابتدای شهریور سال ۱۳۹۰ تا پایان سال ۱۳۹۰ به مدت هفت ماه است. هم‌چنین به علت تنوع بسیار زیاد محصولات تولیدی گروه صنعتی برنز، برای اجرای مدل از بین محصولات در جریان ساخت در کارخانه در ماه‌های مورد بررسی به توصیه مدیر لجستیک کارخانه، چهار محصول رودری‌های جلو و رودری‌های عقب پژو پارس خاکستری و رودری‌های جلو و رودری‌های عقب پژو ۴۰۵ بژ انتخاب گردید و اطلاعات مربوط به آن جمع آوری شد.

داده‌های این مدل برای دو مشتری، یک عرضه کننده، چهار محصول و سی و دو نوع ماده اولیه جمع آوری شد که به دلیل حجم بالای آن، علاقمندان می‌توانند به منبع (حسینی، ۱۳۹۱) مراجعه کنند.

نتایج حاصل از حل مدل

مدل فوق با روش وزنی حل شد که نتایج حاصل از حل آن در دو سطح کلان و عملیاتی آورده شده است. جدول زیر، نسبت انحراف از هر آرمان و میزان تحقق آن‌ها را در مدل در سطح کلان نشان می‌دهد.

جدول ۳. میزان تحقق هر آرمان در مدل ریاضی

شماره آرمان	نوع آرمان	نوع انحراف	نسبت انحراف	مقدار هدف	مقدار بهینه هدف	درصد تحقق آرمان
آرمان اول	Min	d_1^+	۰/۰۰٤۸٤۳٦۲۸	۱۰۸٤۹٤۳۰۰۰۰۰۰	۱۰۸٤۹٤۳۰۰۰۰۰۰	٪۱۰۰
آرمان دوم	Min	d_2^+	۰	۱٤۹٥۸۹۲۰۰۰۰	۱٤۹٥۸۹۲۰۰۰۰	٪۱۰۰
آرمان سوم	Max	d_3^-	۱۳۰۷۹۲/۸	۷۷۸۰٥۰٤۰۰۰	۲۰۱۳٦۷۹۰۰۰۰	٪۳۸
آرمان چهارم	Min	d_4^+	۰	۰	۰	٪۱۰۰
مقدارتابع هدف	Min	–	–	۳۸۲۹۲ /۸٦	۰	–

جدول ۴ نیز میزان تولید محصولات را با استفاده از مدل برنامه‌ریزی ریاضی (وزنی) با میزان تولید واقعی محصولات در دوره برنامه‌ریزی در سطح عملیاتی مقایسه می کند.

جدول٤. مقایسه نتایج حاصل از حل مدل قطعی و داده‌های واقعی سال ۹۰

روش حل / نتایج	وزنی	میزان تولید واقعی در دوره برنامه‌ریزی	درصد بهبود نسبت به داده های واقعی
nt (تعداد کامیون)	٤٣٢	٥٢٥	١٨درصد بهبود
XP1	٦٩٢٤٦	٥٩٤٣٨	١٦درصد بهبود
XP2	٦٩٢٤٦	٥٦٥٨٥	٢٢درصد بهبود
XP3	١٨٨٢٨	٢٠٢٨٧	٧درصد افت
XP4	١٨٨٢٨	٢٠٩٨٤	١٠درصد افت

در جدول ۵ به طور خلاصه مقادیر آرمان‌ها و تابع هدف در مدل ریاضی طراحی شده، هم‌چنین میزان بهبود در دستیابی به آنها در صورت استفاده از مدل ریاضی نسبت به داده‌های واقعی ارائه شده است.

جدول ۵. مقایسه مقادیر آرمان‌ها در مدل قطعی و داده‌های واقعی

شماره آرمان	مقدار بهینه آرمان	مقدار آرمان در مدل ریاضی	درصد بهبود
اول	١٠٨٤٩٤٣٠٠٠٠٠٠	١٠٨٤٩٤٣٠٠٠٠٠٠	١ /٩٧
دوم	١٤٩٥٨٩٢٠٠٠٠	١٤٩٥٨٩٢٠٠٠٠	صفر
سوم	٢٠١٣٦٧٩٠٠٠٠	٧٧٨٠٥٠٤٠٠٠	٤ /٨٧
چهارم	٠	٠	صفر

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

همانطور که در جدول ۱ مشاهده می‌شود آرمان چهارم (حداقل کردن هزینه دیرکرد تحویل محصول به مشتری از زمان فرا رسیدن کانبان) از بیشترین اهمیت برخوردار است. با استفاده از مدل تحقیق، مدت زمانی که طول می‌کشد تا محصول به مشتری برسد، حداقل خواهد شد (جدول ۳). این امر به دلیل گرایش مدل به سمت تولید بر اساس تقاضا و استفاده از سیستم کانبان است. آرمان اول و دوم هم به طور کامل محقق شده است.

از جدول ۴ نتیجه می‌شود که با اجرای مدل ریاضی طراحی شده و با کاهش تعداد کامیون‌هایی که برای ارسال محصولات نهایی به مشتری به کار گرفته می‌شوند می‌توان هزینه-هایی از جمله هزینه‌های حمل و نقل را کاهش داد .

در ابتدای تحقیق، دو سوال در ارتباط با موضوع تحقیق مطرح شد که به طور مجزا بررسی می‌شوند.

در پاسخ به سوال اول مطابق با صفحه ۷ این مقاله، متغیرهای تصمیم در مدل ریاضی زنجیره عرضه گروه صنعتی برنز، متغیرهای مقدار مواد اولیه خریداری شده از عرضه‌کننده، مقدار محصولات ارسال شده به مشتری، میزان تولید هر کدام از محصولات، زمان تحویل هر محصول به مشتری، زمان دیرکرد تحویل محصول به مشتری از زمان فرا رسیدن کانبان و تعداد کامیون‌های حامل محصولات ارسالی به مشتری است.

در پاسخ به سوال دوم، همان‌طور که دیدیم مدل برنامه‌ریزی خطی طراحی شده برای گروه صنعتی برنز مدلی مناسب و چندهدفه بوده و علاوه بر حداقل کردن هزینه‌های مربوط به زنجیره عرضه، درآمد فروش را نیز حداکثر می‌کند.

با توجه به جواب‌های به دست آمده از مدل و مقایسه آن با وضع موجود شرکت، کارایی مدل در بهینه سازی وضعیت موجود مورد تأیید قرار گرفت.

۱) به علت این‌که مدل ریاضی این تحقیق خاص گروه صنعتی برنز است، لذا می‌توان با ایجاد تغییراتی زمینه های کاربرد آن را در سایر زمینه‌های تولیدی به کار گرفت.

۲) مدل ارائه شده در تحقیق، برنامه‌ریزی را برای هفت ماه انجام داده است. در صورت نیاز، کاربران می‌توانند از افق‌های زمانی کوتاه‌تر، ماهانه تا حتی روزانه نیز استفاده کنند.

۳) با توجه به هدف کاهش هزینه‌های کارخانه، با برنامه‌ریزی پیش‌بینی شده و به کارگیری استراتژی‌هایی از ظرفیت کامیون‌ها به طور مطلوب استفاده شود.

۴) طراحی سیستم اطلاعاتی هماهنگ با مدل ضروری به نظر می‌رسد. چرا که استفاده از فناوری اطلاعات در مدیریت زنجیره عرضه باعث بهبود آن خواهد شد.

۵) تحقیق در مورد بهینه‌سازی زنجیره عرضه در محیطهای نادقیق و فازی، می‌تواند باعث واقعی‌تر شدن مدل‌ها شود

منابع

پویا، علیرضا. (۱۳۸۳). طراحی مدل ریاضی برنامه‌ریزی تولید و توزیع شرکت آزمایش (رویکرد زنجیره تأمین). (پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت)، دانشگاه تربیت مدرس.

حسینی، اکرم السادات.(۱۳۹۱). طراحی مدل برنامه ریزی تولید چندمحصولی و چند هدفه در زنجیره تأمین (مطالعه‌ی موردی: گروه صنعتی برنز). (پایان‌نامه کارشناسی ارشد مدیریت)، دانشگاه تربیت مدرس.

میرغفوری، سید حبیب الله. (۱۳۸۲). طراحی مدل ریاضی زنجیره عرضه صنایع لاستیک‌سازی ایران. (رساله دکتری مدیریت)، دانشگاه تربیت مدرس.

Abdou. G & Dutta. S.P. (1993). A Systematic Simulation Approach for the Design of JIT Manufacturing Systems. Journal of Operations Management, (11),3.

Arntzen. C.B ,Brown. G.G, Harrison. P.T & Trafton. L.L. (1995). Global Supply Chain Management at Digital Equipment Coordination. Journal of Interfaces , (25).

Azadeh. A , Bidokhti. B & Sakkaki. S.M.R. (2005). Design of Practical Optimum JIT Systems by Integration of Computer Simulation and Analysis of Variance. Journal of Computers & Industrial Engineering, (49) , 4.

Brown. G.G, Graves. G.W & Honczarenco. M.D. (1987). Design and Operation of Multi-Commodity Production/Distribution Systems Using Promal Goal Decomposition. Journal of Management Science, (33), 11.

Chan. F.T.S . (2001). Effect of Kanban Size on Just-In-Time Manufacturing Systems. Journal of Materials Processing Technology, (116) , 2-3.

Chandra. P & Fisher. M . (1994). Coordination of Production and Distribution Planning. European Journal of Operational Research, (72).

Cohen. A.M & Moon. S. (1987). An Integrated Plant Loading Model with Economice of Scale and Scope. European Journal of Operational Research, 55.

Lee. L.H & Billington.C. (1995). The Evolution of Supply Chain Planning in Practice at Hwelett Packard. Journal of Interfaces, (25),42.

Lee. E.K , Ha. S & Kim. S.K. (2001). Supplier Selection and Management System Considering Relationships in Supply Chain Management. Jornal of IEEE Transactions On Engineering Management , (48) 3.

Mabert. V.A & Vnkataramanan. M.A. (1998). Special Research Focus on Supply Chain Linkage : Challenges for Design and Management in 21st centry. Journal of Decision Science, (23) 3.

Monden. Y. (1983). The Toyota Production System. Journal of Industrial Engineering and Management Press .

Nigel. S , Chambers. S & Johnston. R. (2001). Operations management , Third Edition.

Reda. H.M. (1987). A Review of Kanban-the Japanese: Just-In-Time Production System. Engineering Management International, (4), 2.

Sabri. H.E & Beamon. M.B. (2000). A Multi-Objective Approach to Simultaneous Strategic and Operational Planning in Supply Chain Design. Journal of Omega, (28).

Sarker. B.R & Wang. S. (2004). Optimal Models for a Multi-Stage Supply Chain System Controlled by Kanban Under Just-In-Time Philosophy. European Journal of Operational Research, (172) , 1.

Seliaman. M.E & Ahmad. A.R. (2008). Optimizing Inventory Decisions in a Multi-Stage Supply Chain Under Stochastic Demands. Journal of Applied Mathematics and Computation, (206), 2.

Takahashi. K & Nakamura. N. (2002). Decentralized Reactive Kanban System. European Journal of Operational Research, (139), 2 .

Torabi. S. A & Hassini. E. (2008). An Interactive Possibilistic Programming Approach for Multiple Objective Supply Chain Master Planning. Journal of Fuzzy Sets and Systems, 15.

Wang. H & Wang. Hsu-P. (1991). Optimum Number of Kanbans between Two Adjacent Workstations in a JIT System. International Journal of Production Economics , (22), 3.

Yanagawa. Y , Miyazaki. S & Ohta. H. (1994). An Optimal Operation Planning for the Fixed Quantity Withdrawal Kanban System with Variable Leadtimes. International Journal of Production Economics, (33) , 1-3.

Yavuz. M & Tufekci. S. (2006). A Bounded Dynamic Programming Solution to the Batching Problem in Mixed-Model Just-In-Time Manufacturing Systems. International Journal of Production Economics, (103) , 2.