فصلنامه علمی ° پژوهشی مطالعات مدیریت صنعتی ° سال سیزدهم، شماره ۳۷، تابستان ۹۴
صفحات ۱۲۱-۹۱

ارائه یک مدل برنامه ریزی آرمانی برای کاهش هزینه‌های لجستیک و افزایش سطح سرویس در زنجیره تامین

کاوه خلیلی دامغانی،* مریم تاجیک خاوه**

(تاریخ دریافت:۹۳/۲/۳۰-تاریخ پذیرش:۹۴/۲/۲۲)

چکیده

عملکرد زنجیره تامین معمولاً باید با معیارهای چندگانه اندازه گیری شود. در این مقاله به برنامه ریزی یکپارچه شبکه زنجیره تامین با سطوح تامین، تولید و توزیع با توجه به هزینه‌های لجستیک و سطح سرویس به طور همزمان خواهیم پرداخت. یک مدل برنامه ریزی ریاضی خطی مختلط چند هدفه با اهداف کاهش هزینه‌های تامین، تولید و توزیع، به عنوان هزینه‌های لجستیک و کاهش سطح سفارشات معوق و زمان دریافت مواد اولیه و محصول به عنوان سطح سرویس ارائه خواهد شد. برنامه‌ریزی آرمانی به عنوان راه حل مساله چند هدفه به کار گرفته خواهد شد. در نهایت، برای نشان دادن کاربردی بودن مدل پیشنهادی و روش حل ارائه شده، یک مطالعه موردی در صنعت لبنیات با استفاده از رویکرد پیشنهادی بررسی می‌شود.

واژگان کلیدی: برنامه ریزی یکپارچه، زنجیره تامین، تصمیم گیری چند هدفه، مدل برنامه‌ریزی آرمانی.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

* استادیار مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب(نویسنده مسئول)
Kaveh.khalili@gmail.com
** دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

مقدمه

توسعه روز افزون فضای رقابتی و جهانی شدن بازار محصولات موجب شده است که سازمان‌ها در جهت بقای خود، تلاش چشمگیری را در راستای تامین و تدارک، تولید و توزیع کالا شرکت خود به کار گیرند تا توان پاسخ‌گویی به نیازهای متنوع مشتریان را در حداقل زمان و با صرف حداقل هزینه داشته باشند. این موضوع، سبب پیدایش فلسفه مدیریت زنجیره تامین (SCM)[1] شده است. مدیریت زنجیره تامین در حقیقت یکپارچه سازی واحدهای سازمانی در طول زنجیره تامین و هماهنگ سازی جریان‌های مواد، اطلاعات و مالی را شامل می‌شود.

مساله طراحی شبکه زنجیره تامین شامل تصمیمات استراتژیکی می‌شود که به پیکربندی زنجیره تامین اشاره دارد و به عنوان مساله زیر ساختاری در مدیریت زنجیره تامین، اثرات دیرپایی بر سایر تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی شرکت دارد. به علاوه در دنیای رقابتی امروز، یکپارچه و همزمان درنظر گرفتن هزینه‌های مرتبط با تامین و تدارک، تولید و توزیع در یک مدل می‌تواند بطور چشمگیری در کاهش هزینه‌ها و افزایش رضایت مشتریان نقش داشته باشد.

هر چند برای سال‌ها، مساله طراحی زنجیره تامین به صورت گسترده‌ای در قالب مسائل کیفی مطرح شده بود، با ظهور علم تحقیق در عملیات، در طول سالهای گذشته مدل‌های ریاضی برای حل این مسائل مورد استفاده قرار گرفته است.

جهت طراحی زنجیره تامین اکثر محققین مدل‌های ریاضی یک هدفه ارائه داده‌اند که در آنها یک معیار (معمولا حداقل سازی هزینه) به عنوان تابع هدف در نظر گرفته می‌شود و سایر معیارها به عنوان محدودیت‌ها محسوب می‌شوند. اغلب مدل‌های یک هدفه برای حداقل کردن جمع هزینه‌های خرید، هزینه‌های موجودی و هزینه‌های سفارش به کار می‌روند.

1 -Supply Chain Management

در مدل‌های چندهدفه، محققین به دنبال دستیابی همزمان به چند معیار (معمولا حداقل سازی هزینه و حداکثر سازی سود و حداکثر سازی سطح سرویس) هستند که معمولا این اهداف در یک جهت نیستند و به صورت متضاد عمل می‌کنند.

در سال ۲۰۰۰ صبری و بیمون[1] یک مدل تصادفی چند هدفه به طور همزمان در سطوح برنامه-ریزی استراتژیک و عملیاتی با اهداف کاهش هزینه، افزایش سطح سرویس مشتری و انعطاف پذیری (حجم یا زمان تحویل) ارائه داده اند که این مدل ترکیبی از تولید، تحویل و عدم قطعیت تقاضا است که به کمک سیستم های زنجیره تامین کارآمد، موثر و انعطاف پذیر و بررسی شبکه های رقیب توسعه یافته و با یک مثال عددی نشان داده شده است(Sabri, Beamon، 2000). ساختار زنجیره تامین شامل چهار رده تامین کنندگان، کارخانه، مراکز توزیع و مشتری می‌باشد. تیمپه و کالراس[2] در سال ۲۰۰۰ یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط ارائه دادند که این مدل، ترکیبی از جنبه های مربوط به تولید، توزیع و بازاریابی است و شامل سایت های تولید (کارخانه ها) و نقاط فروش با در نظر گرفتن مقیاسهای زمانی متفاوت تولید و توزیع با تکیه بر ویژگی های استاندارد مسائل تولید انبوه (مواد خام، تولید، موجودی ها، تقاضا) با یک مطالعه موردی در صنایع شیمیایی است(Timpe, Kallrath، 2000). توابع هدف این مدل حداکثرسازی فروش کل و حداکثر سازی حاشیه سود است.

کالراس[3] در سال ۲۰۰۲ یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی تولید، توزیع و فروش در یک شبکه زنجیره تامین چند واحد تولیدی بر اساس شاخص زمان و توصیف و حل یک مساله واقعی در صنایع شیمیایی که قابل اجرا در صنایع دیگر است، با اهداف حداکثرسازی سطح فروش، حداقل سازی هزینه‌ها و حداکثرسازی سود ارائه داده است (Kallrath, 2002)

1 -Sabri & Beamon (2000)
2- Timpe & Kallrath (2000)
3 -Kallrath (2002)

مدل پیشنهادی چن و همکاران[1] در سال ۲۰۰۳ یک مدل برنامه ریزی چند هدفه غیر خطی عدد صحیح مختلط برای برنامه‌ریزی تولید و توزیع در یک محیط چند محصول، چند دوره و چند کارخانه با اهداف حداکثرسازی سود سرمایه گذاری، حداکثرسازی سطح سرویس مشتری، حداکثرسازی موجودی اطمینان و اطمینان از توزیع عادلانه سود و با حل یک مثال عددی است(Chen, Wang, Lee, 2003).

در سال ۲۰۰۴ چن و لی[2] یک مدل برنامه ریزی غیرخطی چند هدفه عدد صحیح مختلط در یک محیط چند محصول، چند دوره و چند مرحله که در آن تقاضا و قیمت غیر قطعی است، با اهداف حداکثرسازی سود، حداکثرسازی سطح سرویس حداکثرسازی موجودی اطمینان و توانایی تصمیم گیری در برابر تقاضای نامشخص محصول طراحی کرده و با یک مثال عددی نشان دادند(Chen, Lee, 2004).

آلتیپارماک و همکاران[3] در سال ۲۰۰۶ یک مدل برنامه ریزی چند هدفه عدد صحیح مختلط غیر خطی با اهداف به حداقل رساندن هزینه کل زنجیره تامین، حداکثر سازی سطح خدمات مشتری (زمان تحویل به موقع) و حداکثر سازی استفاده از ظرفیت مراکز توزیع در یک زنجیره تامین چند سطحی (تامین کنندگان، کارخانه‌ها، مراکز توزیع و مشتریان) ارائه داده اند. در این مقاله یک روش راه حل جدید بر اساس الگوریتم های ژنتیک برای پیدا کردن مجموعه ای از راه حل‌های مطلوب پارتو برای مساله طراحی شبکه زنجیره تامین چند هدفه پیشنهاد می‌شود. یک مطالعه تجربی با استفاده از داده های واقعی یک شرکت تولید کننده محصولات پلاستیکی در ترکیه، در دو مرحله انجام شده است (Altiparmak, Gen, Lin, Paksoy, 2006)

چرن و هیسه[4] در سال ۲۰۰۷ یک الگوریتم ابتکاری برای مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه برای برنامه ریزی تولید با اهداف ماکزیمم سازی سود و ماکزیمم سازی سطح سرویس ارائه

1 -Chen et al(2003)
2 -Chen & Lee (2004)
3 -Altiparmak et al (2006)
4 -Chern & Hsieh (2007)

دادند(Chern, Hsieh, 2007) که علی اف و همکاران در سال ۲۰۰۷ این مدل را با برنامه ریزی خطی فازی که درآن هم تابع هدف و هم متغیرهای تصمیم گیری، فازی بودند با الگوریتم ژنتیک حل کردند(Aliev, Fazlollahi, Guirimov, Aliev, 2007). مدل ارائه شده توسط علی اف و همکاران[1] یک مدل برنامه ریزی خطی فازی یکپارچه برای برنامه ریزی تولید و توزیع در محیط چند دوره و چند محصول با اهداف حداکثرسازی سود و حداکثرسازی سطح سرویس است. هم تابع هدف و هم متغیرهای تصمیم گیری فازی در نظر گرفته شده اند. این مدل از لحاظ برنامه نویسی، فازی فرموله شده و با استفاده از بهینه سازی ژنتیکی (الگوریتم ژنتیک) حل و با یک مثال عددی نشان داده شده است. روغنیان و همکاران[2] در سال ۲۰۰۷، مدل برنامه ریزی خطی احتمالی چند هدفه دو سطحی (تولید و توزیع) با در نظر گرفتن تقاضای بازار، ظرفیت تولید هر کارخانه، منابع در دسترس همه کارخانه ها برای هر محصول با متغیرهای تصادفی و محدودیت هایی که ممکن است شامل توزیع احتمال مشترک باشد یا نباشد، با اهداف کاهش هزینه‌های توزیع و تولید و کاهش ظرفیت توزیع ارائه داده اند(Roghanian, Sadjadi, Aryanezhad, 2007). این مدل احتمالی ابتدا به یک مدل قطعی معادل در هر سطح تبدیل می‌شود، که برای حل این مساله برنامه ریزی غیر خطی چند هدفه تکنیک برنامه نویسی فازی اعمال می‌شود. دو مثال عددی ساده برای نشان دادن مدل و رویکرد حل آن مورد استفاده قرار گرفته است.

در سال ۲۰۰۸ لیانگ و چنگ[3] یک مدل برنامه‌ریزی خطی چند هدفه فازی برای برنامه‌ریزی تولید و توزیع با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا و ظرفیت در محیط چند دوره‌ای و چند محصولی با اهداف فازی برای یک شرکت تولیدکننده اجزا مکانیکی پیشنهاد کردند. این مدل با در نظر گرفتن سطح موجودی، ظرفیت دستگاه در دسترس، سطح کار در هر منبع، پیش بینی تقاضا و فضای انبار در دسترس در هر قسمت، با اهداف حداقل سازی هزینه های

1 -Aliev et al (2007)

2 -Roghanian et al (2007)

3 -Liang & Cheng (2008)

کل و زمان تحویل طراحی شده است. در همان سال سلیم و همکاران[1] یک مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه با استفاده از روش برنامه ریزی فازی آرمانی در شرایط عدم قطعیت برای مساله برنامه‌ریزی تولید و توزیع توسعه دادند. در این مقاله، یک مساله برنامه ریزی چند هدفه، چند محصول و چند دوره تولید و توزیع با اهداف افزایش درآمد، کاهش سطح موجودی، کاهش هزینه سرمایه گذاری، کاهش هزینه های لجستیک و افزایش سطح سرویس با یک مثال عددی بیان شده است(Liang, Cheng, 2008). ترابی و حسینی[2] در سال ۲۰۰۸ برای اولین بار مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه احتمالی عدد صحیح مختلط برای یکپارچه سازی برنامه ریزی تدارکات، تولید و توزیع با اهداف حداکثرسازی سطح سرویس و حداقل سازی هزینه-ها و همچنین ماهیت مبهم برخی از پارامترهای مهم از جمله تقاضای بازار، هزینه و سطح ظرفیت ارائه کرده که با رویکرد فازی و با یک مثال عددی حل شده است(Torabi.,Hassini,2008.). آذرون و همکاران[3] در سال ۲۰۰۸ مدل برنامه ریزی چند هدف تصادفی برای طراحی زنجیره تامین تحت عدم قطعیت ارائه دادند. اهداف این مدل شامل به حداقل رساندن مجموع هزینه‌های سرمایه گذاری فعلی و مورد انتظار آینده، حمل و نقل، هزینه های کمبود و توسعه ظرفیت، به حداقل رساندن واریانس کل هزینه و به حداقل رساندن ریسک های مالی یا مواجه با بودجه پیش بینی نشده است. راه حل به کار رفته در این مدل با مثال عددی نشان داده شده است(Azaron, Brown, Tarim, Modarres, M.,2008).

دیز- مادرونیرو و پیدرو[4] در سال ۲۰۱۱ یک مدل برنامه ریزی آرمانی فازی چند هدفه برای برنامه ریزی زنجیره تامین و تبدیل آن به یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط برای ساختار زنجیره تامین متمرکز و غیرمتمرکز با هدف کاهش هزینه ها و افزایش سود ارائه داده اند(Díaz-Madroñero, Peidro, 2011). این مدل با استفاده از مثال های ارائه شده توسط المانی و همکاران در سال ۲۰۱۰ اعتبار سنجی و ارزیابی شده است.

1 -Selim et al. (2008)

2 -Torabi and Hassini (2008)

3 -Azaron et al (2008)

4 -Díaz-Madroñero &Peidro(2011)

در سال ۲۰۱۳ سانگ سانگ و پاپا گئورگیو[1] یک مدل برنامه ریزی خطی چند هدفه عدد صحیح مختلط برای برنامه ریزی تولید، توزیع و ظرفیت زنجیره تامین با توجه به هزینه، پاسخگویی و سطح سرویس مشتری به طور همزمان با اهداف بهینه سازی هزینه کل، زمان جریان کل و کل فروش از دست رفته پیشنهاد داده اند. همچنین، دو استراتژی برای گسترش ظرفیت کارخانه در مدل در نظر گرفته شده است. این مدل چند هدفه با روش -∈ constraint و روش لکسیکوگرافی minimax حل شده و برای نشان دادن کاربرد مدل پیشنهادی و روش حل آن یک مثال عددی مورد بررسی قرار گرفته است (Songsong, 2013 Papageorgiou,).

با بررسیهای انجام شده در ادبیات موضوع مرتبط با این مساله، مشخص می شود که یک مدل جامع چندهدفه، چند محصولی، چندسطحی، چند دوره ای در حوزه مساله طراحی و توزیع زنجیره های تامین وجود ندارد. در واقع مدلی که بتوانند به صورت توامان هزینه های لجستیک را کاهش داده و و سطح سرویس را افزایش دهد و در مورد چندین محصول در یک زنجیره تامین با در نظر گرفتن لایه های تامین کننده گان، تولیدکننده گان، توزیع کننده گان و در شرایط برنامه ریزی در یک افق چند دوره ای به حل مساله بپردازد وجود ندارد. در این تحقیق قصد داریم که چنین مدلی را که بتواند تمام ویژگی های یاد شده را به انضمام در نظر گرفتن محدودیت های موجودی، انبارداری، تحویل به موقع و پست افت را در نظر بگیرد را ارائه نماییم.

برنامه ریزی آرمانی

برنامه‌ریزی آرمانی یکی از تکنیک مسائل تصمیم گیری چند هدفه و یک روش بسیار کارامد در تصمیم گیری چند هدفه است و تکنیکی است که نگرش متفاوتی را در مورد حل انواعی از مسائل برنامه‌ریزی که دارای اهداف چندگانه و متعارض هستند ارائه می‌کند واولویت اهداف توسط تصمیم گیرنده تعیین می‌شود. برخلاف برنامه‌ریزی خطی که مستقیما به بهینه

1 -Songsong & Papageorgiou (2013)

سازی تابع هدف می‌پردازد، برنامه ریزی آرمانی به مینیمم کردن انحراف بین اهداف و راه حل بهینه می‌پردازد. تابع هدف مساله اصلی به صورت محدودیت جدید همراه با متغیر کمکی و مقدار بهینه مورد نظر دوباره فرمول بندی می‌شود. متغیرهای کمکی را متغیرهای انحراف از آرمان می نامیم. روش های برنامه ریزی آرمانی دارای ساختار مشترکی هستند که هدف آنها حداقل کردن انحراف نامساعد هر یک از اهداف از سطح مشخص آرمان‌های مربوط به آنهاست. به این صورت که در تابع هدف مساله مجموع انحرافات نامطلوب از هر آرمان که توسط تصمیم گیرنده تعیین می‌شود، حداقل می‌شوند. متغیرهای انحرافی دلالت بر مقادیری دارند که نشان می‌دهند کدام یک از آرمان‌های متعدد، نسبت به سطوح مشخص خود بیشتر یا کمتر برآورده شده‌اندبروندادد این تکنیک مشخص خواهد کرد که کدامیک از آرمان‌ها برآورده شده، کدام یک به دست نیامده و به چه میزان برآورده نشده است.

در بسیاری از موقعیت‌های واقعی، ممکن است انحراف از آرمان‌های خاصی بسیار مهمتر ازانحراف از سایر آرمان‌ها باشد.

همچنین برای یک آرمان مشخص،امکان دارد انحراف در یک جهت،اهمیت بیشتری نسبت به جهت مخالف آن داشته باشد. برای‌چنین وضعیت‌هایی‌می‌توان متغیرهای وزنی w_j^+ و w_j^- به ترتیب به d_j^+ و d_j^- تخصیص داد، به گونه‌ای که مدل برنامه‌ریزی آرمانی موزون به صورت(۴-۲) نوشته می‌شود:

$$
\begin{aligned}
&Min \quad Z(d^-, d^+) = \sum_{j=1}^{k} (w_j^- d_j^- + w_j^+ d_j^+) \\
&s.t: g_i(x) \le 0 \qquad i = 1,2,...,m \\
&f_j(x) + d_j^- - d_j^+ = b_j \qquad j = 1,...,k \\
&X, d_j^-, d_j^+ \ge 0; \qquad \forall j \\
&d_j^- \cdot d_j^+ = 0 \qquad \forall j
\end{aligned}
\tag{۴-۲}
$$

که در آن w_j^+ و w_j^- وزن‌هایی هستند که به ترتیب به انحراف‌های مثبت و منفی از اهداف تخصیص داده شده اند و b_j آرمان تعیین شده برای اهداف است.

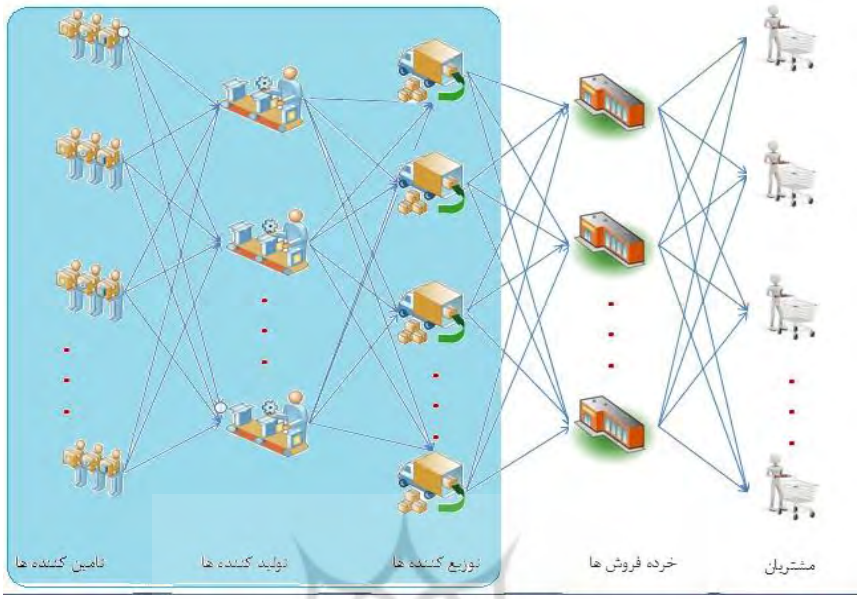
بیان مساله

در این مقاله برنامه‌ریزی بهینه تامین، تولید و توزیع برای شبکه زنجیره تامین مفروض سه سطحی، ترکیبی از تعدادی تامین کننده، سازندگان (کارخانه تولیدی) و مراکز توزیع (انبار) که مناطق مختلف بطور بالقوه وجود دارند و برای حالت چند کالایی مدل سازی می‌شود.

در این مساله تعداد تولیدکننده ها، تامین کننده ها، توزیع کننده ها و میزان تقاضای آنها ، محصولات، ظرفیت، هزینه‌ها ، در طول دوره برنامه ریزی معلوم ،ثابت و قطعی هستند. هزینه های زنجیره شامل هزینه های تامین، تولید، توزیع و حمل و نقل است. هزینه های نگهداری کالا نیز در تولید کننده و توزیع کننده به تفکیک محصولات مختلف در نظر گرفته می‌شوند.هزینه حمل و نقل شامل هزینه های جابجایی و ارسال مواد اولیه از تامین کننده ها به تولیدکنندگان، هزینه‌های جابجایی و ارسال محصولات از تولیدکنندگان به توزیع‌کننده ها به تفکیک محصولات معلوم و قطعی می باشد.انواع مواد اولیه در تامین کننده ها و میزان مصرف آن ها در محصولات مشخص و معلوم و پارامتر هستند. زمان های تحویل در مورد تامین کننده ها و تولید کننده ها مشخص می باشد. در این زنجیره دو نوع مشتری تعریف می‌شود. تولیدکننده که مشتری تامین کننده است و مصرف کننده نهایی که مشتری تولید کننده است. فرض بر این است که کل نیاز مواد اولیه تولیدکنندگان از تامین‌کنندگان در زنجیره تامین و کل نیاز محصولات مراکزتوزیع از تولیدکنندگان قرار گرفته در زنجیره تامین، تامین می‌گردد. کمبود در تولیدکنندگان مجاز و به صورت سفارشات معوق می‌باشد.

حل مساله منجر به تعیین میزان خرید ماده اولیه از تامین کننده توسط هر کارخانه، میزان تولید محصول توسط هر کارخانه، میزان حمل محصول نهایی از هر کارخانه به مراکز توزیع، سطح موجودی پایان دوره مواد اولیه و محصولات در کارخانه، سطح موجودی پایان دوره محصولات در مراکز توزیع، زمان دریافت مواد اولیه از تامین کننده به کارخانه و زمان دریافت محصول نهایی از کارخانه به مراکز توزیع به تفکیک مواد اولیه و محصول با هدف کاهش هزینه‌های لجستیک و افزایش سطح سرویس به مشتریان خواهد شد.

شبکه زنجیره تامین در تصویر۱ نشان داده شده است.



تصویر ۱- شبکه زنجیره تامین

مدل ریاضی

نمادها

i: اندیس تامین کنندگان (i= 1,..., I)

j: اندیس تولید کنندگان(کارخانه) (j = 1,..., J)

k: اندیس مراکز توزیع (انبار) (k = 1,..., K)

l: اندیس محصول نهایی (l = 1,..., L)

n: اندیس ماده اولیه (n = 1,..., N)

t: اندیس دوره های زمان (t = 1,..., T)

پارامترهای مدل

D_{lkt} : تقاضای محصول l در مرکز توزیع k در طول دوره t

Ur_{nl} : مقدار ماده اولیه n مورد نیاز برای تولید یک واحد محصول l

Cap_{ljt} : ظرفیت تولید محصول l در کارخانه j در طول دوره t

Vmr_j: حجم انبار مواد اولیه کارخانه j

Vmp_j : حجم انبار محصول نهایی کارخانه j

Vdc_k: حجم انبار محصول نهایی مرکز توزیع k

Pc_{lj} : هزینه های تولید یک واحد محصول l (به جز ماده اولیه) در کارخانه j

Pr_{ni} : قیمت فروش ماده اولیهn توسط تامین کننده i

Hmr_{nj} : هزینه‌های نگهداری یک واحد مواد اولیه n در کارخانه j

Pp_{lj} : قیمت فروش محصولl توسط تولیدکننده j

Hmp_{lj} : هزینه‌های نگهداری یک واحد واحد محصولl در کارخانه j

Hdc_{lk} : هزینه‌های نگهداری یک واحد محصول l در مرکز توزیع k

Qp_l : فضای مورد نیاز هر واحد محصول نوع l

Qr_n : فضای مورد نیاز هر واحد ماده اولیه نوع n

Fcr_{nij} : هزینه‌های ثابت حمل و نقل ماده اولیه n از تامین کننده i به کارخانه j

Vcr_{nij}: هزینه‌های حمل و نقل یک واحد مواد اولیه n از تامین کننده i به کارخانه j

Vcp_{ljk}: هزینه های متغیر حمل و نقل یک واحد محصول l از کارخانه j به مرکز توزیع k

Fcp_{ljk} : هزینه‌های ثابت حمل و نقل محصول l از کارخانه j به مرکز توزیع k

Tdp_{ljkt} : زمان تحویل واحد دسته محصول نهایی l از کارخانه j به مرکز توزیع k در دوره t

Tdr_{nijt} : زمان تحویل واحد دسته مواد اولیه n از تامین کننده i به کارخانه j در دوره t

$Tp\max_{ljkt}$:حداکثر زمان دریافت مجاز واحد دسته محصول نهایی l از کارخانه j توسط مرکز توزیع k در دوره t

$Tr\max_{nijt}$: حداکثر زمان دریافت مجاز واحد دسته مواد اولیه n از تامین کننده i توسط کارخانه j در دوره t

Bsm_{ni} : اندازه دسته ماده اولیه n در تامین کننده i

Bsp_{lj}: اندازه دسته محصولl در کارخانه j

SSm_{njt}: ذخیره احتیاطی ماده اولیه n در انبار کارخانه j در دوره t

SSp_{lkt}: ذخیره احتیاطی محصول نهایی l در مرکز توزیع k در دوره t

Cbl_{lk}: هزینه واحد کمبود محصول l در مرکز توزیع k

α_{lkt}: حداکثر مقدار مجاز سفارشات معوق محصول l در مرکز توزیع k در دوره t که به صورت درصدی از تقاضای آن دوره تعریف می‌شود.

متغیرهای تصمیم‌گیری

X_{nijt} : میزان خرید ماده اولیه n از تامین‌کننده i توسط تولیدکننده j در دوره t

Y_{ljt}: میزان تولید محصول l توسط تولید کننده j در دوره t

Z_{ljkt}: مقدار حمل محصول نهایی l از تولیدکننده j به مرکز توزیع k در دوره t

IRm_{njt}: سطح موجودی پایان دوره مواد اولیه n در کارخانه j در دوره t

Ipm_{ljt}: سطح موجودی پایان دوره محصول l در کارخانه j در دوره t

Ip_{lkt}: سطح موجودی پایان محصول l در مرکز توزیع k در دوره t

TR_{nijt} : زمان دریافت مواد اولیه n از تامین کننده i به کارخانه j در دوره t

TP_{ljkt}: زمان دریافت محصول نهایی l از کارخانه j به مرکز توزیع k در دوره t

W_{nijt} : ۱، اگر کارخانه j به تامین کننده i ماده اولیه n را در دوره t سفارش دهد، در غیر اینصورت ۰

U_{ljkt} :۱، اگر مرکز توزیع k به کارخانه j محصول l را در دوره t سفارش دهد، در غیر اینصورت ۰

$B\lg_{lkt}$: سطح پس افت محصول l در مرکز توزیع k در پایان دوره t

Q_{lkt} : مقدار فروش محصول l در مرکز توزیع k در دوره t

توابع هدف

توابع سازنده هزینه‌های لجستیک

تابع هزینه‌های لجستیک حاوی سه تابع هزینه تامین، تولید و توزیع است.

TCs: هزینه‌های تامین شامل هزینه‌های تامین و خرید و حمل و نقل مواد اولیه به کارخانه ها و هزینه نگهداری موجودی مواد اولیه در کارخانه‌ها در هر دوره می‌باشد.

$$TCs = \sum_t \sum_n \sum_i \sum_j X_{nijt} \cdot Vcr_{nij} + \sum_t \sum_n \sum_i \sum_j X_{nijt} \cdot \Pr_{ni} + \sum_t \sum_n \sum_i \sum_j W_{nijt} \cdot Fcr_{nij} + \sum_t \sum_n \sum_j Hmr_{nj} \cdot IRm_{njt} \quad (۱)$$

TCp: هزینه‌های تولید شامل هزینه‌های تولید و نگهداری موجودی محصول نهایی در کارخانه‌ها در هر دوره می‌باشد.

$$TCp = \sum_t \sum_l \sum_j Y_{ljt} \cdot Pc_{lj} + \sum_t \sum_l \sum_j Hmp_{lj} \cdot IPm_{ljt} \quad (۲)$$

$TCdc$:هزینه‌های توزیع شامل هزینه‌های خرید، حمل و نقل و نگهداری موجودی محصول و هزینه های کمبود در هر دوره در مراکز توزیع است.

$$TCdc = \sum_t \sum_l \sum_j \sum_k Z_{ljkt} \cdot Pp_{lj} + [\sum_t \sum_l \sum_j \sum_k Z_{ljkt} \cdot Vcp_{ljk} + \sum_t \sum_l \sum_j \sum_k U_{ljkt} \cdot Fcp_{ljk}] + \sum_t \sum_l \sum_k Hdc_{lk} \cdot Ip_{lkt} + \sum_t \sum_l \sum_k Cbl_{lk} \cdot B\lg_{lkt} \quad (۳)$$

تابع سطح سرویس

عدم انحراف از زمان‌های تحویل در مورد تامین‌کننده ها و تولیدکنندگان و کاهش سطح سفارشات معوق در مراکز توزیع به عنوان سطح سرویس زنجیره تعریف می‌شود.

SL_1: تابعی است که میزان انحراف زمان تحویل مواد اولیه از تامین کننده و محصول نهایی از کارخانه را از زمانی که توسط مشتری تعیین شده است را در دوره t، تعریف می‌کند.

$$SL = \sum_t \sum_n \sum_i \sum_j (Tr\max_{nijt} - TR_{nijt}) + \sum_t \sum_l \sum_j \sum_k (Tp\max_{ljkt} - TP_{ljkt}) \quad (۴)$$

SL_2: تابعی است که سطح سفارشات معوق در مراکز توزیع را نشان می‌دهد.

$$SL_2 = \sum_t \sum_l \sum_k B\lg_{lkt} \quad (۵)$$

محدودیت‌های مدل

محدودیت سطح موجودی

این محدویت‌ها شامل محدودیت‌های سطح موجودی در انبار تولیدکنندگان ومراکز توزیع می‌باشد.

$$IRm_{njt} = IRm_{nj,t-1} + \sum_i X_{nijt} - \sum_l Ur_{nl} \cdot Y_{ljt} \qquad \forall t,n,j \quad (۶)$$

$$IPm_{lj,t} = IPm_{lj,t-1} + Y_{ljt} - \sum_k Z_{ljkt} \qquad \forall t,l,j \quad (۷)$$

$$IP_{lkt} = IP_{lk,t-1} + \sum_j Z_{ljkt} - Q_{lkt} \qquad \forall t,l,k \quad (۸)$$

$$IRm_{njt} \geq SSm_{njt} \qquad \forall t,n,j \quad (۹)$$

$$IP_{lkt} \geq SSp_{lkt} \qquad \forall t,l,k \quad (۱۰)$$

محدودیت (۶) نشان می‌دهد میزان موجودی مواد اولیه در انبار کارخانه‌ها در هر دوره برابر با موجودی دوره قبل به اضافه میزان خرید ماده اولیه و ذخیره اطمینان آن دوره منهای میزان استفاده مواد اولیه آن دوره می‌باشد. محدودیت (۷) میزان موجودی محصول در انبار کارخانه‌ها و و محدودیت (۸) تعادل موجودی محصول در مراکز توزیع با در نظر گرفتن سفارشات معوق را نشان می‌دهد.علاوه براین، محدودیت‌های (۹) و(۱۰) به ترتیب تعادل

ذخیره اطمینان ماده اولیه در انبار کارخانه و محصول نهایی درمراکز توزیع را در هر دوره نشان می‌دهد.

محدودیت فضای انبارها

$$\sum_{n} Qr_n \cdot IRm_{njt} \le Vmr_j \qquad \forall t, j \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{l} Qp_l \cdot IPm_{ljt} \le Vmp_j \qquad \forall t, j \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{l} Qp_l \cdot IP_{lkt} \le Vdc_k \qquad \forall t, k \qquad (۱۳)$$

محدودیت‌های (۱۱) و (۱۲) به ترتیب نشان دهنده محدودیت فضای انبار مواد اولیه و محصول در کارخانه‌ها به تفکیک مواد اولیه و محصول و محدودیت(۱۳) محدودیت فضای انبار محصول در مراکز توزیع را در هر دوره نشان می‌دهد.

محدودیت ظرفیت تولید

$$Y_{ljt} \le Cap_{ljt} \qquad \forall l, j, t \qquad (۱۴)$$

محدودیت (۱۴) نشان می‌دهد که میزان تولید هر محصول توسط کارخانه از حداکثر ظرفیت هر کارخانه برای هر محصول در هر دوره کمتر است.

محدودیت تحویل به موقع

$$Tdr_{nijt} \times (X_{nijt} / Bsm_{ni}) \le Tr\max_{nijt} \qquad \forall n, i, j, t \qquad (۱۵)$$

$$Tdp_{ljkt} \times (Z_{ljkt} / Bsp_{lj}) \le Tp\max_{ljkt} \qquad \forall l, j, k, t \qquad (۱۶)$$

محدودیت‌های (۱۵) و (۱۶) نشان می‌دهد که زمان تحویل مواد اولیه توسط تامین کنندگان و محصولات توسط کارخانه ها از زمان قابل قبولی که توسط کارخانه ها و مراکز توزیع تعیین

شده است، کمتر می‌باشد. به عبارت بهتر در محدودیت (۱۵) که برای مواد اولیه و ارتباط بین تامین کننده ها و تولیدکننده ها نوشته می شود، به ازای هر ماده اولیه n و هر کدام از تامین کننده گان i و هر کدام از تولیدکننده گان j در دوره برنامه ریزی t ام، میزان خرید مواد اولیه در زمان تحویل خرید، بخش بر اندازه انباشته ارسالی بایستی کوچکتر یا مساوری با حد مجاز زمانی اعلام شده از سوی تولید کننده باشد. در محدودیت (۱۶) که برای محصولات ساخته شده و ارتباط بین تولیدکننده ها و توزیع کننده ها نوشته می شود، به ازای هر محصول l و هر کدام از تولیدکننده گان j و هر کدام از توزیع کننده گان k در دوره برنامه ریزی t ام، میزان خرید محصول ضربدر زمان تحویل خرید، بخش بر اندازه انباشته ارسالی بایستی کوچکتر یا مساوی با حد مجاز زمانی اعلام شده از سوی توزیع کننده کننده باشد.

خواهیم داشت:

$$Tdr_{nijt} \cdot X_{nijt} / Bsm_{ni} = TR_{nijt} \qquad \forall n,i,j,t \qquad (۱۷)$$

$$Tdp_{ljkt} \cdot Z_{ljkt} / Bsp_{lj} = TP_{ljkt} \qquad \forall l,j,k,t \qquad (۱۸)$$

محدودیت تقاضای پس افت

$$B\lg_{lk,t} = B\lg_{lk,t-1} + D_{lkt} - Q_{lkt} \qquad \forall t,l,k \qquad (۱۹)$$

محدودیت(۱۹) بیان می کند که سفارشات معوق هر محصول در مرکز توزیع در دوره t برابر است با سفارشات معوق دوره قبل به علاوه تقاضای محصول توسط مرکز توزیع در آن دوره منهای مقدار کل محصول فروخته شده در طول دوره t.

$$B\lg_{lkt} \le \alpha_{lkt}.D_{lkt} \qquad \forall t,l,k \qquad (۲۰)$$

$$D_{lkt} - Q_{lkt} \le B\lg_{lkt} \qquad \forall t,l,k \qquad (۲۱)$$

این محدودیت‌ها حدود مقدار فروش از دست رفته را نسبت به میزان تقاضای محصول در مراکز توزیع مشخص می‌کند.

محدودیت‌های منطقی

$$W_{nij} \cdot M_1 \geq X_{nij} \quad (۲۲)$$

$$U_{ljk} \cdot M_2 \geq Z_{ljk} \quad (۲۳)$$

$$U_{ljkt}, W_{nijt} \in \{1,0\} \qquad \forall n,i,j,k \quad (۲۴)$$

$$X_{nijt}, Y_{ljt}, Z_{ljkt}, U_{ljkt}, W_{nijt}, IPm_{ljt}, IP_{lkt}, TR_{nij}, TP_{ljk}, IRm_{njt}, B\lg_{lkt}, Q_{lkt} \geq 0 \qquad \forall n,l,i,j,k \quad (۲۵)$$

اعداد M_1وM_2اعداد بسیار بزرگ هستند.

مدل برنامه‌ریزی آرمانی مساله تحقیق

مدل برنامه ریزی آرمانی قطعی موزون برای حل مدل این تحقیق به کاربرده می‌شود. در این مدل پنج هدف اصلی برای زنجیره تامین در نظر گرفته شده است. اهداف حداقل کردن هزینه‌های تامین‌کننده، تولیدکننده، توزیع کننده، زمان تحویل مواد اولیه و محصولات به مشتریان و سطح سفارشات معوق در مراکز توزیع می‌باشد. فرمول ریاضی توابع هدف در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول**Error! No text of specified style in document.**-۱ فرمول ریاضی توابع هدف

تابع هدف	فرمول ریاضی
هزینه‌های تامین	$Min(TCs) = \sum_t \sum_n \sum_i \sum_j X_{nijt} \cdot Vcr_{nij} + \sum_t \sum_n \sum_i \sum_j X_{nijt} \cdot \Pr_{ni} + \sum_t \sum_n \sum_i \sum_j W_{nijt} \cdot Fcr_{nij} + \sum_t \sum_n \sum_j Hmr_{nj} \cdot IRm_{njt}$

هزینه‌های تولید	$Min(TCp)=\sum_t\sum_l\sum_j Y_{ljt}\cdot Pc_{lj}+\sum_t\sum_l\sum_j Hmp_{lj}\cdot IPm_{ljt}$
هزینه‌های توزیع	$Min(TCdc)=\sum_t\sum_l\sum_j\sum_k Z_{ljkt}\cdot Pp_{lj}+\sum_t\sum_l\sum_k Hdc_{lk}\cdot Ip_{lkt}+$ $[\sum_t\sum_l\sum_j\sum_k Z_{ljkt}\cdot Vcp_{ljk}+\sum_t\sum_l\sum_j\sum_k U_{ljkt}\cdot Fcp_{ljk}]+\sum_t\sum_l\sum_k Cbl_{lk}\cdot B\lg_{lkt}$
زمان تحویل مواد اولیه و محصولات	$Max(SL_1)=\sum_t\sum_n\sum_i\sum_j(Tr\max_{nijt}-TR_{nijt})+\sum_t\sum_l\sum_j\sum_k(Tp\max_{ljkt}-TP_{ljkt})$
سطح سفارشات معوق در مراکز توزیع	$Min(SL_2)=\sum_t\sum_l\sum_k B\lg_{lkt}$

برای هریک از اهداف، آرمانی توسط تصمیم‌گیرنده مشخص خواهد شد و مدل برنامه ریزی آرمانی به صورت رابطه (۲۶) خواهد بود.

$$
\begin{aligned}
&Min \quad \sum_{i=1}^{m} w_m(d_m)\\
&s.t\\
&TCs-d_1=g_1\\
&TCm-d_2=g_2\\
&TCdc-d_3=g_3\\
&SL_1+d_4=g_4\\
&SL_2-d_5=g_5\\
&d_1,d_2,d_3,d_4,d_5\geq 0\\
&\text{and system constrsint (6)...(25)}
\end{aligned}
\qquad (۲۶)
$$

مدل (۲۶) یک مدل برنامه ریزی آرمانی قطعی موزون است که در آن

m: اندیس تابع هدف $(m = 1,..., 5)$

g_m: مقدار آرمان m ام

w_m: وزن‌آرمان تعیین شده برای هدف m ام

d_m: متغیرانحراف ازآرمان m ام

$$d_m, w_m \geq 0 \qquad \forall m$$

مثال کاربردی

جهت مطالعه موردی، زنجیره تامین در صنعت لبنیات از یک طرح ایجاد کارخانه لبنیات و مطالعات امکان سنجی آن بهره برداری شده است.در این زنجیره مفروض سه تامین کننده، دوکارخانه تولید لبنیات و سه مرکز توزیع وجود دارد. محصولات آن شیر، ماست و ماست طعم‌دار می‌باشد. مواد اولیه تولید کارخانه‌جات شامل شیر،بطری بسته‌بندی شیر، نایلون شرینگ، استارتر، استابیلایزر، طعم دهنده، ظرف یک بار مصرف ۹۰۰ گرمی، ظرف یک بار مصرف ۲۵۰گرمی، فویل آلومینیومی و شیر خشک می‌باشد. میزان مواد اولیه مورد نیاز این محصولات از مثال واقعی الهام گرفته شده است.هزینه‌های حمل و نقل این مثال به تفکیک مواد اولیه و محصول با توجه به فواصل مفروض این منابع از یکدیگر برآورد شده است. تامین‌کننده‌ها شرکت بازرگانی هستند که مواد اولیه را با قیمت‌های مستقل تامین می‌کنند. قیمت ها و ارقام با الگو از مثال‌های واقعی تخمین زده شده است.

خروجی حل این مساله میزان خرید هرماده اولیه ازهر تامین‌کننده توسط هر تولیدکننده، میزان تولید هر محصول توسط هر تولید کننده، مقدار حمل هر محصول ازهرتولیدکننده به هر مرکز توزیع، سطح موجودی پایان دوره هرماده اولیه در هر کارخانه،سطح موجودی پایان دوره هر محصول در هر کارخانه، سطح موجودی پایان دوره هر محصول در هر مرکز توزیع، زمان دریافت هرماده اولیه از هر تامین کننده به هرکارخانه، زمان دریافت هر محصول از هرکارخانه به هر مرکز توزیع، مقدار فروش هرمحصول در هر مرکز توزیع وسطح پس افت پایان دوره هر محصول درهرمرکز توزیع در هر دوره زمانی را نشان می‌دهد، بطوریکه همزمان هزینه های

تولید و تامین و توزیع، زمان دریافت مواد اولیه و محصول و سطح پست افت زمان تحویل کالا حداقل شود.

برای حل مثال، آرمانها مطابق جدول ۲ در نظر گرفته شده است.

جدول۲- مقدار آرمان های مثال واقعی

متغیر	G1	G2	G3	G4	G5
مقدار	6,173,463,000	248,697,500	8,178,599,000	1,122	۰

جهت حل مساله، ابتدا تابع هدف بی مقیاس شده است .خروجی حل مدل برنامه ریزی آرمانی مطابق جدول ۳ است.

جدول۳- نتایج حل مثال واقعی

متغیر	مقدار
تابع هدف	0.11
TCS	6,351,488,000
TCP	260,050,000
TCDC	8,382,266,000
SL1	1115.74
SL2	۰
D1	178,024,900
D2	11,352,500
D3	203,667,400
D4	6.48
D5	۰
هزینه کل	14,993,804,000

متغیرهای تصمیم‌گیری این مثال با حل مدل برنامه ریزی آرمانی با LINGO در جداول ۴ الی* زیر ارائه شده است.

جدول ۴ میزان خرید بهینه هرماده اولیه ازهر تامین‌کننده توسط هر تولیدکننده را نشان دمی دهد. برای مثال X(7,3,2,4) = 6560 یعنی مقدار بهینه خرید ماده اولیه نوع عفتم از تامین کننده سوم توسط تولید کننده دوم در دوره دوم برنامه ریزی برابر با ۶۵۶۰ واحد می باشد. سایر اعداد جدول ۴ تشریح مشابه آنچه گفته شد دارند. همچنین مقادیر که در جدول قید نشده اند مقدار صفر دارند.

جدول**Error! No text of specified style in document.**- میزان خرید هرماده اولیه ازهر تامین‌کننده توسط هر تولیدکننده

متغیر	مقدار	متغیر	مقدار	متغیر	مقدار
X(1,3,1,1)	77554.1	X(4,1,1,1)	2176.86	X(7,3,2,4)	6560
X(1,3,1,2)	51108	X(4,1,1,3)	1848.8	X(8,2,1,1)	7500
X(1,3,1,3)	68518.9	X(4,2,2,1)	1237.76	X(8,2,1,2)	5795
X(1,3,1,4)	91457	X(4,2,2,4)	354.24	X(8,3,1,1)	5555
X(1,3,2,1)	30328	X(5,1,1,1)	71.565	X(8,3,1,2)	7500
X(1,3,2,2)	27194	X(5,3,2,1)	0.5	X(8,3,1,4)	7500
X(1,3,2,3)	39433.2	X(6,1,1,1)	229.55	X(8,3,2,1)	210
X(1,3,2,4)	37834.8	X(6,1,1,3)	108.95	X(9,1,1,1)	25000
X(2,3,1,1)	93000	X(6,3,2,1)	2	X(9,1,1,2)	25000
X(2,3,1,3)	50000	X(7,2,1,1)	12500	X(9,1,1,4)	23350
X(2,3,1,4)	70000	X(7,2,1,2)	12500	X(9,3,1,1)	21800
X(2,3,2,1)	44100	X(7,2,1,3)	12500	X(9,3,2,1)	14900
X(2,3,2,3)	60000	X(7,2,1,4)	12500	X(9,3,2,3)	14600
X(3,1,1,1)	4127.778	X(7,3,1,1)	11500	X(10,1,2,1)	634.8
X(3,1,1,3)	5333.333	X(7,3,2,1)	10600	X(10,2,1,1)	1610.26
X(3,1,2,1)	4633.333	X(7,3,2,2)	12340		

جدول ۵ میزان بهینه تولید از هر محصول توسط هر تولیدکننده را نشان دمی دهد. برای مثال Y(2,2,3) = 8040 یعنی مقدار بهینه تولید از محصول نوع دوم توسط تولید کننده

دوم در دوره سوم برنامه ریزی برابر ۸۰۴۰ عدد می باشد. سایر اعداد جدول ۴ تشریح مشابه آنچه گفته شد دارند. همچنین مقادیر که در جدول قید نشده اند مقدار صفر دارند.

جدول۵- میزان تولید هر محصول توسط هر تولید کننده

مقدار	متغیر	مقدار	متغیر	مقدار	متغیر
8040	Y(2,2,3)	30000	Y(1,2,4)	55000	Y(1,1,1)
6560	Y(2,2,4)	15000	Y(2,1,1)	30000	Y(1,1,2)
11855	Y(3,1,1)	15000	Y(2,1,2)	50000	Y(1,1,3)
9900	Y(3,1,2)	15000	Y(2,1,3)	70000	Y(1,1,4)
2545	Y(3,1,3)	15000	Y(2,1,4)	20000	Y(1,2,1)
8350	Y(3,1,4)	9100	Y(2,2,1)	22000	Y(1,2,2)
		4300	Y(2,2,2)	30000	Y(1,2,3)

جدول ۶ مقدار حمل بهینه هر محصول از هر تولیدکننده به هر مرکز توزیع را نشان دمی دهد. برای مثال Z(2,2,2,4) = 6560 **یعنی مقدار حمل بهینه خرید محصول نوع دوم از تولیدکننده دوم به مرکز توزیع دوم در دوره چهارم برنامه ریزی برابر با ۶۵۶۰ واحد می باشد. سایر اعداد جدول ۶ تشریح مشابه آنچه گفته شد دارند. همچنین مقادیر که در جدول قید نشده اند مقدار صفر دارند.**

جدول٦-مقدار حمل هر محصول از هر تولیدکننده به هر مرکز توزیع

مقدار	متغیر	مقدار	متغیر	مقدار	متغیر
6560	Z(2,2,2,4)	9000	Z(2,1,1,1)	25000	Z(1,1,1,1)
4500	Z(2,2,3,1)	8850	Z(2,1,1,2)	10000	Z(1,1,1,3)
3400	Z(2,2,3,3)	9550	Z(2,1,1,3)	20000	Z(1,1,1,4)
2525	Z(3,1,1,1)	7500	Z(2,1,1,4)	30000	Z(1,1,3,1)
4825	Z(3,1,1,2)	6000	Z(2,1,3,1)	30000	Z(1,1,3,2)
3350	Z(3,1,1,4)	6150	Z(2,1,3,2)	40000	Z(1,1,3,3)
2150	Z(3,1,2,1)	5450	Z(2,1,3,3)	50000	Z(1,1,3,4)
5075	Z(3,1,2,2)	7500	Z(2,1,3,4)	20000	Z(1,2,2,1)
5000	Z(3,1,2,4)	4600	Z(2,2,2,1)	22000	Z(1,2,2,2)
7180	Z(3,1,3,1)	4300	Z(2,2,2,2)	30000	Z(1,2,2,3)
2545	Z(3,1,3,3)	4640	Z(2,2,2,3)	30000	Z(1,2,2,4)

جدول ۷ میزان بهینه فروش هرمحصول در هر مرکز توزیع در هر دوره زمانی را نشان دمی دهد. برای مثال Q(3,1,1) = 2000 یعنی مقدار بهینه فروش از محصول نوع سوم توسط توزیع کننده اول در دوره اول برنامه ریزی برابر ۲۰۰ عدد می باشد. سایر اعداد جدول ۷ تشریح مشابه آنچه گفته شد دارند. همچنین مقادیر که در جدول قید نشده اند مقدار صفر دارند.

جدول۷-مقدار فروش هرمحصول در هر مرکز توزیع در هر دوره زمانی

متغیر	مقدار	متغیر	مقدار	متغیر	مقدار
Q(1,1,1)	15000	Q(2,1,1)	7500	Q(3,1,1)	2000
Q(1,1,2)	10000	Q(2,1,2)	9000	Q(3,1,2)	3000
Q(1,1,3)	10000	Q(2,1,3)	10000	Q(3,1,3)	1000
Q(1,1,4)	20000	Q(2,1,4)	7500	Q(3,1,4)	4000
Q(1,2,1)	20000	Q(2,2,1)	3000	Q(3,2,1)	2000
Q(1,2,2)	22000	Q(2,2,2)	4500	Q(3,2,2)	3000
Q(1,2,3)	30000	Q(2,2,3)	4500	Q(3,2,3)	2000
Q(1,2,4)	30000	Q(2,2,4)	6000	Q(3,2,4)	5000
Q(1,3,1)	30000	Q(2,3,1)	6000	Q(3,3,1)	5000
Q(1,3,2)	30000	Q(2,3,2)	6000	Q(3,3,2)	2000
Q(1,3,3)	40000	Q(2,3,3)	7500	Q(3,3,3)	1000
Q(1,3,4)	50000	Q(2,3,4)	7500	Q(3,3,4)	1500

جدول۸ زمان دریافت بهینه هرماده اولیه ازهرتامین کننده به هرکارخانه در هر دوره زمانی را نشان دمی دهد. برای مثال TR(7,3,2,4) = 2.62 یعنی زمان دریافت ماده اولیه نوع هفتم از تامین کننده سوم به تولیدکننده دوم در دوره چهارم برنامه ریزی برابر با ۲,۶۲ واحد زمان پس از شروع برنامه ریزی در دوره چهارم می باشد. سایر اعداد جدول ۸ تشریح مشابه آنچه گفته شد دارند. همچنین مقادیر که در جدول قید نشده اند مقدار صفر دارند.

جدول۸ – زمان دریافت هر ماده اولیه از هر تامین کننده به هر کارخانه در هر دوره زمانی

متغیر	مقدار	متغیر	مقدار	متغیر	مقدار
TR(1,3,1,1)	0.78	TR(4,1,1,1)	4.35	TR(7,3,2,4)	2.62
TR(1,3,1,2)	0.51	TR(4,1,1,3)	3.70	TR(8,2,1,1)	5.00
TR(1,3,1,3)	0.69	TR(4,2,2,1)	4.95	TR(8,2,1,2)	3.86
TR(1,3,1,4)	0.91	TR(4,2,2,4)	1.42	TR(8,3,1,1)	3.70
TR(1,3,2,1)	0.30	TR(5,1,1,1)	2.86	TR(8,3,1,2)	5.00
TR(1,3,2,2)	0.27	TR(5,3,2,1)	0.02	TR(8,3,1,4)	5.00
TR(1,3,2,3)	0.39	TR(6,1,1,1)	4.59	TR(8,3,2,1)	0.14
TR(1,3,2,4)	0.38	TR(6,1,1,3)	2.18	TR(9,1,1,1)	5.00
TR(2,3,1,1)	4.65	TR(6,3,2,1)	0.04	TR(9,1,1,2)	5.00
TR(2,3,1,3)	2.50	TR(7,2,1,1)	5.00	TR(9,1,1,4)	4.67
TR(2,3,1,4)	3.50	TR(7,2,1,2)	5.00	TR(9,3,1,1)	4.36
TR(2,3,2,1)	2.21	TR(7,2,1,3)	5.00	TR(9,3,2,1)	2.98
TR(2,3,2,3)	3.00	TR(7,2,1,4)	5.00	TR(9,3,2,3)	2.92
TR(3,1,1,1)	2.75	TR(7,3,1,1)	4.60	TR(10,1,2,1)	2.54
TR(3,1,1,3)	3.56	TR(7,3,2,1)	4.24	TR(10,2,1,1)	3.22
TR(3,1,2,1)	4.63	TR(7,3,2,2)	4.94		

جدول۹ زمان دریافت بهینه هر محصول از هر کارخانه به هر مرکز توزیع در هر دوره زمانی را نشان دمی دهد. برای مثال TP(2,2,2,4) = 0.984 **یعنی زمان دریافت محصول نوع دوم از تولیدکننده دوم به تولیدکننده دوم به توزیع کننده دوم در دوره چهارم برنامه ریزی برابر با ۰,۹۸۴ واحد زمان پس از شروع برنامه ریزی در دوره چهارم می باشد. سایر اعداد جدول ۹ تشریح مشابه آنچه گفته شد دارند. همچنین مقادیر که در جدول قید نشده اند مقدار صفر دارند.**

جدول۹ – زمان دریافت هر محصول از هرکارخانه به هر مرکز توزیع در هر دوره زمانی

متغیر	مقدار	متغیر	مقدار	متغیر	مقدار
TP(1,1,1,1)	1.25	TP(2,1,1,1)	2.25	TP(2,2,2,4)	0.984

0.675	TP(2,2,3,1)	2.2125	TP(2,1,1,2)	0.5	TP(1,1,1,3)
0.51	TP(2,2,3,3)	2.3875	TP(2,1,1,3)	1	TP(1,1,1,4)
0.946875	TP(3,1,1,1)	1.875	TP(2,1,1,4)	0.6	TP(1,1,3,1)
1.809375	TP(3,1,1,2)	0.6	TP(2,1,3,1)	0.6	TP(1,1,3,2)
1.25625	TP(3,1,1,4)	0.615	TP(2,1,3,2)	0.8	TP(1,1,3,3)
0.80625	TP(3,1,2,1)	0.545	TP(2,1,3,3)	1	TP(1,1,3,4)
1.903125	TP(3,1,2,2)	0.75	TP(2,1,3,4)	0.8	TP(1,2,2,1)
1.875	TP(3,1,2,4)	0.69	TP(2,2,2,1)	0.88	TP(1,2,2,2)
1.077	TP(3,1,3,1)	0.645	TP(2,2,2,2)	1.2	TP(1,2,2,3)
0.38175	TP(3,1,3,3)	0.696	TP(2,2,2,3)	1.2	TP(1,2,2,4)

جدول ۱۰ سطح موجودی بهینه مواد اولیه در هر کارخانه را در پایان هر دوره برنامه ریزی را نشان می دهد. برای مثال IRM(8,1,1)=1200 **نشان می دهد که در پایان دوره اول ار ماده اولیه نوع هشتم در تولیدکننده اول ۱۲۰۰ عدد موجودی ذخیره خواهد شد. سایر اعداد جدول ۱۰ تشریح مشابه آنچه گفته شد دارند. همچنین مقادیر که در جدول قید نشده اند مقدار صفر دارند.**

جدول۱۰- سطح موجودی پایان دوره هرماده اولیه در هر کارخانه

مقدار	متغیر	مقدار	متغیر	مقدار	متغیر
1200	IRM(8,1,1)	46.6695	IRM(5,1,1)	38000	IRM(2,1,1)
4595	IRM(8,1,2)	25.8795	IRM(5,1,2)	8000	IRM(2,1,2)
2050	IRM(8,1,3)	20.535	IRM(5,1,3)	8000	IRM(2,1,3)
1200	IRM(8,1,4)	3	IRM(5,1,4)	8000	IRM(2,1,4)
210	IRM(8,2,1)	0.5	IRM(5,2,1)	24100	IRM(2,2,1)
210	IRM(8,2,2)	0.5	IRM(5,2,2)	2100	IRM(2,2,2)
210	IRM(8,2,3)	0.5	IRM(5,2,3)	32100	IRM(2,2,3)
210	IRM(8,2,4)	0.5	IRM(5,2,4)	2100	IRM(2,2,4)
19945	IRM(9,1,1)	111	IRM(6,1,1)	1683.333	IRM(3,1,1)
20045	IRM(9,1,2)	12	IRM(6,1,2)	350	IRM(3,1,2)
2500	IRM(9,1,3)	95.5	IRM(6,1,3)	3461.111	IRM(3,1,3)
2500	IRM(9,1,4)	12	IRM(6,1,4)	350	IRM(3,1,4)

5800	IRM(9,2,1)	2	IRM(6,2,1)	3744.444	IRM(3,2,1)
1500	IRM(9,2,2)	2	IRM(6,2,2)	2766.667	IRM(3,2,2)
8060	IRM(9,2,3)	2	IRM(6,2,3)	1433.333	IRM(3,2,3)
1500	IRM(9,2,4)	2	IRM(6,2,4)	100	IRM(3,2,4)
1186.678	IRM(10,1,1)	9000	IRM(7,1,1)	1117.9	IRM(4,1,1)
779.518	IRM(10,1,2)	6500	IRM(7,1,2)	100	IRM(4,1,2)
434.14	IRM(10,1,3)	4000	IRM(7,1,3)	1085.35	IRM(4,1,3)
40	IRM(10,1,4)	1500	IRM(7,1,4)	100	IRM(4,1,4)
438.24	IRM(10,2,1)	1500	IRM(7,2,1)	746.36	IRM(4,2,1)
345.36	IRM(10,2,2)	9540	IRM(7,2,2)	514.16	IRM(4,2,2)
171.696	IRM(10,2,3)	1500	IRM(7,2,3)	80	IRM(4,2,3)
30	IRM(10,2,4)	1500	IRM(7,2,4)	80	IRM(4,2,4)

جدول ۱۱ سطح موجودی بهینه محصول در هر مرکز توزیع در پایان هر دوره برنامه ریزی را نشان می دهد. برای مثال IP(2,3,1)=4500 **نشان می دهد که در پایان دوره اول از محصول نوع دوم در توزیع کننده سوم ۱۲۰۰ عدد موجودی ذخیره خواهد شد. سایر اعداد جدول ۱۱ تشریح مشابه آنچه گفته شد دارند. همچنین مقادیر که در جدول قید نشده اند مقدار صفر دارند.**

جدول۱۱- سطح موجودی پایان دوره محصول درهر مرکز توزیع

مقدار	متغیر	مقدار	متغیر	مقدار	متغیر
4500	IP(2,3,1)	150	IP(3,2,1)	10000	IP(1,1,1)
4650	IP(2,3,2)	2225	IP(3,2,2)	1500	IP(2,1,1)
6000	IP(2,3,3)	225	IP(3,2,3)	1350	IP(2,1,2)
6000	IP(2,3,4)	225	IP(3,2,4)	900	IP(2,1,3)
525	IP(3,1,1)	2180	IP(3,3,1)	900	IP(2,1,4)
2350	IP(3,1,2)	180	IP(3,3,2)	1600	IP(2,2,1)
1350	IP(3,1,3)	1725	IP(3,3,3)	1400	IP(2,2,2)
700	IP(3,1,4)	225	IP(3,3,4)	1540	IP(2,2,3)
				2100	IP(2,2,4)

در این مساله سطح موجودی پایان دوره هر محصول در هر کارخانه و سطح پس افت پایان دوره هر محصول در هر مرکز توزیع صفر شده است. سایر متغیرهای تصمیم گیری با مقدار صفر در جداول فوق نیامده است. جهت تحلیل اثرات تغییر اوزان بر انحراف از آرمان ها، فرض می‌شود اولویت آرمان ها به ترتیب مینیمم کردن هزینه‌های تامین، زمان تحویل، سطح کمبود، هزینه های توزیع و هزینه‌های تولید باشد. با این مفروضات این مثال با پنج مقدار وزن متفاوت حل شده و نتایج آن در جدول ۱۲ نشان داده شده است.

جدول ۱۲-نتایج تحلیل تغییر اوزان آرمان ها

متغیرها	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ٤	نمونه ٥
تابع هدف	0.11	0.09	0.07	0.09	0.07
W1	0.2	0.25	0.26	0.28	0.28
W2	0.2	0.15	0.1	0.14	0.06
W3	0.2	0.15	0.11	0.17	0.17
W4	0.2	0.25	0.32	0.23	0.28
W5	0.2	0.2	0.21	0.18	0.22
TCS	6,351,488,000	6,351,696,000	6,359,590,000	6,359,590,000	6,354,801,000
TCP	260,050,000	260,050,000	260,050,000	260,050,000	260,950,000
TCDC	8,382,266,000	8,382,266,000	8,383,599,000	8,383,599,000	8,367,739,000
SL1	1115.74	1115.74	1115.74	1115.74	1115.11
SL2	0	0	0	0	0
D1	178,024,900	178,233,300	186,126,800	186,126,800	181,337,600
D2	11,352,500	11,352,500	11,352,500	11,352,500	12,252,500
D3	203,667,400	203,667,400	205,000,500	205,000,500	189,139,700
D4	6.48	6.48	6.48	6.48	7.11
D5	0	0	0	0	0
هزینه کل	14,993,804,000	14,994,012,000	15,003,239,000	15,003,239,000	14,983,490,000

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

این مقاله به بررسی مدل یکپارچه انتخاب تامین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع کنندگان پرداخته است. مدل شامل چهارچوب‌های تعدد منابع می‌باشد. با توجه به این خصیصه مهم یعنی چند محصولی، چند منبعی و یکپارچه سازی، این پژوهش را نسبت به سایر پژوهش-های پیشین واقعی‌تر نمایش می‌دهد.

توجه به هر دو جنبه یکپارچه سازی و فرضیات مدل چند محصولی و چند سطحی باعث ایجاد مدلی کارا و قابل بهره برداری در زنجیره تامین شده است. این مدل هم تامین‌کنندگان، تولید کنندگان و مراکز توزیع را انتخاب و هم میزان سفارش و تولید را بین آن‌ها تقسیم می-نماید، بطوریکه هزینه‌های کل زنجیره حداقل و سطح سرویس حداکثر شود. مدل‌های ارائه شده مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح و خطی می‌باشد و با تکنیک برنامه‌ریزی آرمانی حل شده است.

مدل توسط نرم افزار لینگو کد نویسی و نتایج آن پاسخ های با کیفیت نمایش داده شده است. با توجه به خصوصیات مدل و کیفیت پاسخ دریافتی می‌توان گفت که این مدل‌ها در عمل نیز با قدری تغییرات و مناسب سازی قابل استفاده هستند و در صنایع و کارخانجات جهت مدیریت یکپارچه زنجیرهٔ تامین با محدودیت‌های موجود کمک کننده می‌باشد.

آزمون مدل نشان داد که این مدل و حل آن تا حد خوبی پاسخ‌های با کیفیت را تولید می-نماید. نتایج تحلیل حساسیت می‌تواند بینش و اطلاعات مفیدی را درخصوص مدیریت زنجیره تامین در اختیار گذارد که درنهایت منجر به بالارفتن قدرت چانه زنی در هنگام همگرایی تأمین کنندگان و خریداران شود.

به عنوان پیشنهادات آتی جهت رویکرد حل مدل، یافتن روشی ابتکاری یا فرا ابتکاری پیشنهاد می‌شود. این مدل با روش برنامه‌ریزی آرمانی برای ابعاد کوچک کارایی بهتری از خود نشان می‌دهد و با بزرگ شدن ابعاد مساله و تعداد پارامترها نرم افزارLINGO قادر به حل مسائل مقیاس بزرگ در زمان قابل قبول نمی‌باشد و با افزایش ابعاد مساله زمان حل افزایش نمایی می‌یابد، بنابراین پاسخ دریافتی در مسائل بزرگ پاسخ‌های شدنی می‌باشد.

بنابراین تحقیق در رابطه با یافتن روشی ابتکاری یا روش های فـرا ابتکـاری ماننـد الگـوریتم ژنتیک برای حل مدل‌های بزرگ از اهمیت برخوردار است و می‌تواند دارای ارزش باشد.
بررسی مدل در حالت عدم قطعیت پارامترها نیز می‌تواند به عنوان پیشنهاد آتـی در نظـر گرفتـه شود. به عنوان مثال گسترش مدل، می‌توان تقاضاها را غیر قطعی فرض نمود. افـزودن امکـان کمبود موجودی برای تولیدکننده نیز یکی دیگر از موارد حائز اهمیت برای مـدل مـی‌باشـد. علاوه بر این افزودن مدل‌های تخفیف و محـدودیت ظرفیـت حمـل و نقـل در مـدل فـوق نیـز پیشنهاد می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L., Paksoy,T.,2006. *A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks*. Computers & Industrial Engineering 51 , 196˚215

Aliev, R.A., Fazlollahi, B., Guirimov, B.G., Aliev, R.R., 2007. *Fuzzy-genetic approach to aggregate production–distribution planning in supply chain management.* Information Sciences 177, 4241˚4255.

Azaron,A., Brown, K.N., Tarim, S.A., Modarres, M.,2008. *A multi-objective stochastic programming approach for supply chain design considering risk.* International Journal of Production Economics 116,129-138.

Chen, C.L., Lee, W.C., 2004. *Multi-objective optimization of multi-echelon supply chain networks with uncertain product demands and prices.* Computers and Chemical Engineering 28, 1131˚1144.

Chen, C.L., Wang, B.W., Lee, W.C., 2003. *Multiobjective optimization for a multienterprise supply chain network.* Industrial and Engineering Chemistry Research 42, 1879˚1889.

Chern, C.C., Hsieh, J.S., 2007. *A heuristic algorithm for master planning that satisfies multiple objectives.* Computers and Operations Research 34, 3491˚3513.

Díaz-Madroñero M. and Peidro D., 2011. *A Fuzzy Goal Programming Approach for Collaborative Supply Chain Master Planning.* Research Centre on Production Management and Engineering (CIGIP) Universitat Politècnica de València, Spain, 95-114.

Kallrath, J., 2002. *Combined strategic and operational planning – an MILP success story in chemical industry*. Or Spectrum 24, 315˚341.

Liang, T.-F., Cheng, H.-W., 2008. *Application of fuzzy sets to manufacturing/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in supply chains.* Expert Systems with Applications 36, 3367˚3377.

Park, Y.B., 2005. *An integrated approach for production and distribution planning in supply chain management.* International Journal of Production Research 43, 1205˚1224.

Roghanian, E., Sadjadi, S.J., Aryanezhad, M.B., 2007. *A probabilistic bi-level linear multi-objective programming problem to supply chain planning.* Applied Mathematics and Computation 188, 786˚800.

Sabri, E.H., Beamon, B.M., 2000. *A multi-objective approach to simultaneous strategic and operational planning in supply chain design.* Omega-International Journal of Management Science 28, 581˚598.

Selim, H., Am, C., Ozkarahan, I., 2008. *Collaborative production–distribution planning in supply chain: a fuzzy goal programming approach.* Transportation Research Part E-Logistics and Transportation Review 44, 396˚419.

Songsong, L., Papageorgiou, L.G., 2013, *Multiobjective optimisation of production, distribution and capacity planning of global supply chains in the process industry*. Omega 41 (2013) 369˚382

Timpe, C.H., Kallrath, J., 2000. *Optimal planning in large multi-site production networks.* European Journal of Operational Research 126, 422˚435.

Torabi, S.A., Hassini, E., 2008. *An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning.* Fuzzy Sets and Systems 159,193˚214.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی