مدل برنامه‌ریزی چندمحصولی و چند دوره‌ای خرید - تولید - توزیع در زنجیره تأمین با پارامترهای فازی

علیرضا پورروستا[۱]، رضا توکلی مقدم[۲] و سعداله ابراهیم‌نژاد*[۳]

[۱] کارشناس ارشد مهندسی صنایع- دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران جنوب

[۲] استاد دانشکده مهندسی صنایع و سیستم‌ها- پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران

[۳] استادیار گروه مهندسی صنایع- دانشگاه آزاد اسلامی - واحد کرج

(تاریخ دریافت ۹۰/۴/۱۵، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده ۹۱/۳/۲۸، تاریخ تصویب ۹۱/۶/۱۸)

چکیده

در این مقاله، مدل‌سازی مسئله یکپارچه خرید - تولید - توزیع در قالب برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فازی ارائه شده است. با توجه به نبود قطعیت‌های موجود در مسائل واقعی، پارامترهای تقاضا، ظرفیت و هزینه که ممکن است مقادیر آنها در دسترس نباشند یا به دقت معلوم نباشند، به شکل اعداد فازی ذوزنقه‌ای در نظر گرفته شدند. در ادامه، دو روش رتبه‌بندی اعداد فازی برای تبدیل مدل فازی به مدل قطعی و حل آن به کار رفته است. برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، مثال‌هایی با ابعاد مختلف توسط داده‌های تصادفی ایجاد شد و در دو حالت قطعی و فازی آزمایش شد. نتایج محاسباتی حاصل از حل مدل، نشان داد در مدل فازی به دلیل استفاده از روش α-cut نسبت به مدل قطعی، مدل انعطاف‌پذیرتر شده و مقدار تابع هدف کمتری دارد. نبود قطعیت در پارامترهایی مانند تقاضا، ظرفیت و هزینه‌ها سبب می‌شوند دامنه تغییرات پارامترها در مدل فازی انعطاف‌پذیرتر باشد و در فضای جواب انعطاف‌پذیر، مناسب‌ترین ترکیب تولید، از بین α برش‌های مختلف انتخاب شود؛ در حالی که در شرایط قطعیت، به دلیل قطعی‌بودن مقادیر پارامترها، اجازه انعطاف‌پذیری به مقادیر پارامترهای مدل داده نمی‌شود، در نتیجه فضای جواب محدود شده و موجب افزایش مقدار تابع هدف می‌شود. مدل فازی علاوه بر نزدیک بودن به محیط واقعی، سبب می‌شود مدیران بر اساس درجه نبود قطعیت، از شرایط محیط واقعی، نسبت به میزان ریسک‌پذیری یا ریسک‌گریزی خودشان تصمیم‌گیری کنند و بر اساس آن، نسبت به استراتژی ترکیب تولید مورد نظر خود اقدام کنند. همچنین نتایج مدل پیشنهادی، موازنه کاهش درجه نبود اطمینان و افزایش هزینه‌ها را برای مدیران نشان می‌دهد. علاوه بر نتایج ذکر شده، محاسبات نشان داد، فازی بودن مدل، افزایش قابل توجهی در پیچیدگی محاسبات و زمان حل مسئله به وجود نمی‌آورد.

واژه‌های کلیدی: مسئله یکپارچه خرید- تولید- توزیع، برنامه‌ریزی ریاضی عددصحیح مختلط فازی[۱]، رتبه‌بندی اعداد فازی

مقدمه

در سال‌های اخیر تحقیقات گوناگونی در زمینه مدل‌سازی و حل مسائل برنامه‌ریزی یکپارچه خرید - تولید - توزیع در زنجیره تأمین انجام شده است. در اکثر این تحقیقات، پارامترهای مسئله مانند عرضه، تقاضا، زمان‌های تولید، ظرفیت و هزینه‌های سیستم به صورت قطعی در نظر گرفته شده‌اند. گرچه بیشتر تصمیم‌گیری‌ها در جهان واقعی در محیطی رخ می‌دهد که اهداف، محدودیت‌ها و پارامترها به دقت معلوم نیستند.

با توجه به طبقه‌بندی دیویس [۱] سه نوع منبع نبود قطعیت را در زنجیره‌های تأمین می‌توان مشخص کرد (عدم قطعیت عرضه، نبود قطعیت فرآیند و نبود قطعیت تقاضا). عرضه، مرتبط با تغییرپذیری یا عملکرد تأمین‌کنندگان در ارسال کالای معیوب یا با تأخیر است.

نبود قطعیت فرآیند، نتیجه غیر قابل اعتماد بودن فرآیند تولید به دلیل خرابی‌های ماشین است و سرانجام نبود قطعیت تقاضا که از دو مورد دیگر مهم‌تر است، حاصل پیش‌بینی نادرست تقاضای مشتریان در مراکز فروش است. این مشکلات، منجر به افزایش علاقه‌مندی در استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی احتمالی و برنامه‌ریزی ریاضی فازی شده است [۲].

با توجه به اینکه استفاده از برنامه‌ریزی احتمالی، نیازمند وجود داده‌های تاریخی است و از طرفی ممکن است این داده‌ها موجود نباشند یا به دقت معلوم نباشند، بنابراین

* نویسنده مسئول: تلفن: ۳۴۱۸۲۳۳۳ , فاکس: ۲۲۱۱۳۲۲۹، Email: ibrahimnejad@kiau.ac.ir

تئوری مجموعه‌های فازی می‌تواند گزینه مناسبی برای بیان ابهام و نبود قطعیت در پارامترها باشد. در زمینه برنامه‌ریزی ریاضی فازی، دو موضوع مختلف می‌تواند مورد توجه قرار گیرد: منعطف‌بودن محدودیت‌ها و تابع هدف و همچنین فازی‌بودن ضرایب به دلیل نبود اطلاعات یا اطلاعات مبهم [۳]. در این مقاله، مسئله ربرنامه‌ریزی یکپارچه خرید - تولید - توزیع در زنجیره تأمین با چند تأمین‌کننده، چند تولیدکننده، چند مرکز توزیع و چند مرکز فروش در دوره‌های زمانی مختلف و با در نظر گرفتن پارامترهای فازی هزینه، تقاضا و ظرفیت در قالب برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح فازی مختلط فرمول‌بندی می‌شود. برای حل مدل نیز ابتدا از دو روش رتبه‌بندی برای تبدیل مدل فازی به قطعی نظیر استفاده شده و پس از تبدیل، با الگوریتم شاخه و کران حل می‌شود.

مرور ادبیات موضوع

مطالعات نسبتاً کمی در زمینه مدل‌سازی و حل فرآیندهای یکپارچه خرید- تولید- توزیع در زنجیره تأمین و در شرایط فازی انجام شده است [۴]. چن و چانگ [۵] زنجیره تأمین سه‌سطحی را با چند تأمین‌کننده، چند تولیدکننده، چند مرکز توزیع و چند مرکز فروش در چند دوره زمانی مورد مطالعه قرار دادند. در مدل ریاضی آنها هزینه‌های خرید، تولید و توزیع در نظر گرفته شده است. لیانگ [۶] یک مدل چندهدفه فازی را برای مسئله تولید- توزیع ارائه کرد؛ به طوری که مدل او به طور همزمان هزینه‌های تولید-توزیع، مجموع محصولات برگشتی و مجموع زمان‌های ارسال را حداقل می‌کند. او برای حل مدل از توسعه روش ماکس - مین [۷] استفاده کرد.

بیلگن [۲] یک مدل ریاضی یکپارچه برنامه‌ریزی تولید - توزیع، در یک زنجیره تأمین چندسطحی با چند خط تولید، چند کارخانه، چند مرکز توزیع مطرح کرد. مدل او به طور همزمان تخصیص محصولات به خطوط تولید، مقدار محصول حمل و نقل شده و تعیین تعداد وسایل نقلیه در مسیرهای از پیش تعریف شده را فرموله می‌کند. همچنین، تصمیمات استراتژیک مربوط به تخصیص محصولات به خطوط تولید و تصمیمات تاکتیکی مربوط به مسیریابی توزیع را یکپارچه می‌کند.

میولا و همکاران [۸] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح فازی مختلط با تقاضای فازی مطرح کردند. رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی فازی ارائه‌شده، در واقع توسعه مدل پایه‌ای برنامه‌ریزی ریاضی عدد صحیح مختلط مطرح شده توسط مک‌دونالد و کریمی [۹] با در نظر گرفتن تقاضای غیرقطعی است. لیانگ و چنگ [۱۰] مجموعه‌های فازی را برای مسائل یکپارچه‌سازی برنامه‌ریزی تولید/ توزیع با چند محصول، چند دوره زمانی در زنجیره‌های تأمین، با در نظر گرفتن ارزش زمانی پول برای هر نوع هزینه عملیاتی به کار بردند. مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی آنها تلاش می‌کند تا به طور همزمان مجموع هزینه‌ها و مجموع زمان ارسال را با رعایت سطوح موجودی، ظرفیت ماشین و نیروی کار به علاوه تقاضای تجاری و فضای در دسترس در هر مقصد و محدودیت بودجه حداقل کند.

الیف و همکاران [۱۱] در مقاله‌ای به بررسی مسئله برنامه‌ریزی یکپارچه چنددوره‌ای، چندمحصولی تولید- توزیع در زنجیره تأمین، به طوری که تقاضای مشتری و ظرفیت‌های تولید نامعین هستند، پرداختند. مدل یکپارچه تولید - توزیع پیشنهاد شده، مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی فازی است که تابع هدف فازی و محدودیت‌ها منعطف هستند. مدل با الگوریتم ژنتیک حل شده و یک جواب تقریبی به‌دست آمده است. پیدرو و همکاران [۱۲] کارایی یک رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی خطی‌فازی را برای برنامه‌ریزی زنجیره تأمین به شرط نبود قطعیت تشریح کردند. مدل فازی به طور یک جا، همه نبود قطعیت‌های ذاتی منابع را در برنامه‌ریزی زنجیره تأمین تاکتیکی به دلیل نبود اطلاعات (تقاضا، فرآیند، عرضه) پوشش می‌دهد. این مدل با استفاده از اطلاعات یک مسئله زنجیره تأمین واقعی (تولید اتومبیل) آزمایش می‌شود. ترابی و حسینی [۱۳] یک مدل چندهدفه امکانی برای یکپارچه‌کردن برنامه‌ریزی خرید، تولید و توزیع در یک زنجیره تأمین چندسطحی، چندمحصولی و چنددوره‌ای مطرح کردند. روش دو فازی تعاملی نیز برای حل مدل مطرح شده است. در فاز اول، برنامه‌ریزی امکانی با به کاربردن راهبردهای مناسب به یک مدل چند هدفه قطعی تبدیل می‌شود. سپس، یک رویکرد جدید فازی (روش TH) برای پیداکردن جواب‌های سازگار به کار می‌رود. در جداول (۱) و (۲) مقایسه‌ای بین تحقیقات مختلف از نظر روش حل، نوع مدل، ساختار زنجیره و پارامترهای فازی مورد استفاده انجام شده است.

جدول ۱: مرور روش‌های حل پیشنهاد شده در منابع

نویسنده	روش حل مدل	نوع مدل	سطوح زنجیره
بیلگن [۲]	عملگر ماکس- مین، ترکیب محدب ماکس- مین، فازی و عملگر	FMILP	دوسطحی
ترابی وحسینی [۱۳]	استفاده از رویکرد لای و هوآنگ[۱۶] و حل با الگوریتم جدید ابتکاری	MOPMILP	سه‌سطحی
الیف وهمکاران [۱۱]	الگوریتم فرا ابتکاری ژنتیک	FMILP	دو سطحی
پیدرو همکاران [۱۲]	رویکرد کادناس و وردگای [۱۹]	FMILP	سه‌سطحی
لیانگ و چنگ [۱۰]	استفاده از رویکرد لای و هوآنگ [۱۶] و عملگر ماکس- مین	FMOLP	دو سطحی
چن و چانگ [۵]	مفهوم α برش و اصل توسعه بلمن و زاده [۷]	FMOLP	سه‌سطحی
مک دونالد و کریمی [۹]	عملگر ماکس- مین	FMILP	سه‌سطحی
لیانگ [۶]	عملگر ماکس- مین	FMOLP	یک‌سطحی
میولا همکاران [۸]	روش ژن و همکاران [۲۰]	FMILP	سه‌سطحی

جدول ۲: پارامترهای فازی مفروض در مرور منابع

نویسنده	پارامترهای فازی										
	تقاضا	تابع هدف	خرید مواد اولیه	نگهداری	تولید	حمل ونقل	سایر هزینه‌ها	زمان‌های تولید	ظرفیت تولید	ظرفیت حمل و نقل	سایر پارامترها
بیلگن [۲]		*							*	*	
ترابی و حسینی [۱۳]	*		*	*	*	*	*		*		*
الیف و همکاران [۱۱]	*		*	*	*	*	*		*		*
پیدرو و همکاران [۱۲]	*			*	*	*	*	*	*	*	*
لیانگ و چنگ [۱۰]	*	*							*		*
چن و چانگ [۵]	*		*			*					
مک دونالد و کریمی [۹]	*		*	*	*	*	*	*			
لیانگ [۶]		*									
میولا و همکاران [۸]	*										

مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فازی خرید - تولید - توزیع در زنجیره تأمین

تعریف مسئله

شبکه زنجیره تأمین مفروض، شامل چهار مرحله است. نخستین مرحله زنجیره شامل S تأمین‌کننده است که مواد اولیه و محصول نیم‌ساخته را برای کارخانه‌ها فراهم می‌کنند. دومین مرحله شامل P کارخانه است که تغییر شکل مواد اولیه به محصول نهایی اتفاق می‌افتد. سومین مرحله شبکه شامل W مرکز توزیع (DC)است که محصولات نهایی از کارخانه‌ها به این مراکز ارسال می‌شوند و آخرین مرحله شامل Z منطقه فروش (CZ) است که فروش محصولات در این مراکز انجام می‌شود. در شبکه زنجیره تأمین مفروض، اطلاعات زیر داده شده است:

- ساختار زنجیره تأمین شامل تعداد تأمین‌کننده‌ها، کارخانه‌ها، مراکز توزیع و مراکز فروش
- هزینه‌های واحد خرید، تولید، حمل‌ونقل، راه‌اندازی و نگهداری
- داده‌های موجودی: ظرفیت نگهداری
- داده‌های تولید: ظرفیت تولید، ضریب مصرف
- داده‌هایی مانند عرضه، تقاضا

و خروجی‌های مسئله به این ترتیب است:

- برنامه خرید و تولید هرکارخانه در هر دوره
- مقدار نگهداری در کارخانه‌ها و مراکز توزیع
- مقدار ارسال مواد اولیه و محصول نهایی از تأمین‌کننده به کارخانه، از کارخانه به مرکز توزیع و از آنجا به مراکز فروش

افق برنامه‌ریزی مسئله میان‌مدت است. به دلیل نبود قطعیت در مسائل واقعی و کاربردی‌شدن مدل، پارامترهای تقاضا، هزینه خرید مواد اولیه، هزینه تولید، ظرفیت‌های نگهداری و تولید به صورت اعداد فازی ذوزنقه‌ای در نظر گرفته شده‌اند.

مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری مسئله

S: مجموعه تأمین‌کننده‌ها $(s = 1,2,\dots,S)$

R: مجموعه مواد اولیه $(r = 1,2,\dots,R)$

P: مجموعه کارخانه‌ها $(p = 1,2,\dots,P)$

W: مجموعه مراکز توزیع $(w = 1,2,\dots,W)$

Z: مجموعه مراکز فروش $(z = 1,2,\dots,Z)$

T: مجموعه دوره‌های زمانی $(t = 1,2,\dots,T)$

G: مجموعه محصولات نهایی $(g = 1,2,\dots,G)$

q_{rst}: مقدار ماده اولیه r عرضه شده از تأمین‌کننده s در دوره t

x_{rspt}: مقدار ماده اولیه r ارسال‌شده از تأمین‌کننده s به کارخانه p در دوره t

RI_{rpt}: سطح موجودی ماده اولیه r در کارخانه p در دوره t

y_{gpt}: مقدار تولید محصول g در کارخانه p در دوره t

GI_{gpt}: سطح موجودی محصول g درکارخانه p در دورهt

WI_{gwt}: سطح موجودی محصول g در مرکز توزیع w در دوره t

m_{gpwt}: مقدار ارسال محصول g از کارخانه p به مرکز توزیع w در دوره t

n_{gwzt}: مقدار ارسال محصول g از مرکز توزیع w به مرکز فروش z در دوره t

k_{gpt}: اگر محصول g در کارخانه p در دوره t تولید شود مقدار ۱ و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$\widetilde{SC}_{rst}$: هزینه فازی خرید یک واحد مواد اولیه r از تأمین‌کننده s در دوره t

$\widetilde{PC}_{gpt}$: هزینه فازی تولید یک واحد محصول g در کارخانه p در دوره t

HR_{rpt}: هزینه نگهداری یک واحد ماده اولیه r در کارخانه p در دوره t

HG_{gpt}: هزینه نگهداری یک واحد محصول g در کارخانه p در دوره t

HW_{gwt}: هزینه نگهداری یک واحد محصول g در مرکز توزیع w در دوره t

TR_{rspt}: هزینه ارسال یک واحد ماده اولیه r از تأمین‌کننده s به کارخانه p در دوره t

TG_{gpwt}: هزینه حمل‌ونقل یک واحد محصول g از کارخانه p به مرکز توزیع w در دوره t

TW_{gwzt}: هزینه حمل‌ونقل یک واحد محصول g از مرکز توزیع w به مرکز فروش z در دوره t

F_{gpt}: هزینه ثابت راه‌اندازی محصول g در کارخانه p در دوره t

$\widetilde{D}_{gzt}$: تقاضای فازی محصول g در مرکز فروش z در دوره t

$\widetilde{cap}_{gpt}$: ظرفیت تولید فازی محصول g در کارخانه p در دوره t

$\widetilde{V}_{gwt}$: ظرفیت نگهداری فازی محصول g در مرکز توزیع w در دوره t

$\widetilde{\beta}_{rst}$: حداکثر عرضه فازی ماده اولیه r توسط تأمین‌کننده s در دوره t

α_{rg}: ضریب مصرف ماده اولیه r در تولید یک واحد محصول g

تابع هدف

تابع هدف مسئله شامل حداقل‌کردن مجموع هزینه‌های خرید، راه‌اندازی محصول در هر کارخانه، تولید، نگهداری (مواد اولیه در کارخانه، محصول نهایی در کارخانه و محصول نهایی در مرکز توزیع) و حمل‌ونقل (مواد اولیه از تأمین‌کننده به کارخانه، محصول نهایی از کارخانه به مرکز توزیع و محصول نهایی از مرکز توزیع به مرکز فروش) است.

$$\begin{aligned}\text{Min } Z &= \sum_r\sum_s\sum_t \widetilde{SC}_{rst}\, q_{rst} \\ &+ \sum_g\sum_p\sum_t \big(F_{gpt} z_{gpt} \widetilde{PC}_{gpt} y_{gpt} \\ &+ HG_{gpt} GI_{gpt}\big) \\ &+ \sum_r\sum_s\sum_p\sum_t TR_{rspt} x_{rspt} \\ &+ \sum_g\sum_p\sum_w\sum_t TG_{gpwt} m_{gpwt} \\ &+ \sum_g\sum_w\sum_z\sum_t TW_{gwzt} n_{gwzt} \\ &+ \sum_r\sum_p\sum_t HR_{rpt}\, RI_{rpt}\end{aligned} \quad (۱)$$

محدودیت‌ها

محدودیت‌های مدل به این شرح است:

s. t

$$q_{rst} \geq \sum_p x_{rspt} \;\; \forall r,s,t \quad (۲)$$

$$\begin{aligned}RI_{rpt} &= RI_{rp,t-1} + \sum_s x_{rspt} \\ &- \sum_g \alpha_{rg} . y_{gpt} \;\; \forall r,p,t\end{aligned} \quad (۳)$$

$$\begin{aligned}GI_{gpt} &= GI_{gp,t-1} + y_{gpt} \\ &- \sum_w m_{gpwt} \;\; \forall g,p,t\end{aligned} \quad (۴)$$

$$\begin{aligned}WI_{gwt} &= WI_{gw,t-1} + \sum_p m_{gpwt} \\ &- \sum_z n_{gwzt} \;\; \forall g,w,t\end{aligned} \quad (۵)$$

$$\widetilde{D}_{gzt} \leq \sum_w n_{gwzt} \;\; \forall g,z,t \quad (۶)$$

$$y_{gpt} \leq \widetilde{cap}_{gpt} k_{gpt} \;\; \forall g,p,t \quad (۷)$$

$$\sum_p m_{gpwt} \leq \widetilde{V}_{gwt} \;\; \forall g,w,t \quad (۸)$$

$$q_{rst} \leq \beta_{rst} \;\; \forall r,s,t \quad (۹)$$

$$\sum_w m_{gpwt} \leq M. k_{gpt} \;\; \forall g,p,t \quad (۱۰)$$

$$\begin{aligned}&q_{rst}, x_{rspt}, RI_{rpt}, y_{gpt}, GI_{gpt}, WI_{gwt}, m_{gpwt} \\ &, n_{gwzt}, B_{gwt} \geq 0, k_{gpt} \in \{0,1\} \\ &\forall r,s,p,t,g,w,z\end{aligned} \quad (۱۱)$$

محدودیت (۲) نشان می‌دهد که مقدار عرضه مواد اولیه از هر تأمین‌کننده حداقل برابر با مقدار ارسال از آن تأمین‌کننده به همه کارخانه‌ها است. محدودیت (۳) تعادل موجودی مواد اولیه در کارخانه‌ها را بیان می‌کند، به طوری که موجودی در یک دوره برابر موجودی دوره قبل به علاوه مقدار ارسال از تأمین‌کنندگان به کارخانه در این دوره، منهای مقدار مصرف مواد اولیه برای تولید محصولات نهایی است. محدودیت (۴) و (۵) نیز به ترتیب تعادل موجودی را در مراکز تولید و مراکز توزیع را تضمین می‌کنند. محدودیت (۶) بیان می‌کند که مقدار ارسال محصول نهایی از مراکز توزیع به مرکز فروش z باید حداکثر برابر با تقاضای مرکز توزیع z باشد. محدودیت (۷) نشان‌دهنده حداکثر ظرفیت تولید محصول در هر کارخانه، محدودیت (۸) حداکثر ظرفیت در مراکز توزیع و محدودیت (۹) مربوط به حداکثر مقدار عرضه توسط تأمین‌کنندگان است. محدودیت (۱۰) اشاره می‌کند که قبل از اینکه محصول g از کارخانه‌ها به مراکز توزیع ارسال شود، باید راه‌اندازی و تولید آن انجام گیرد که در این جا M عددی بسیار بزرگ است. محدودیت (۱۱) نیز به ترتیب غیرمنفی بودن متغیرهای تصمیم‌گیری و صفر یا یک بودن متغیر k_{gpt} را نشان می‌دهد.

روش‌های رتبه‌بندی اعداد فازی و تبدیل مدل فازی به مدل قطعی

روش‌های مختلفی برای حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی فازی توسعه داده شده است. از مهم‌ترین روش‌های حل مسائل برنامه‌ریزی ریاضی فازی،[2] می‌توان به روش ماکس-مین [۷]، ترکیب محدب عملگر ماکس - مین [۱۴]، فازی و عملگر [۱۵]، روش لای و هوآنگ [۱۶] اشاره کرد.

رتبه‌بندی اعداد فازی بر اساس یک یا چند ویژگی مختلف از اعداد فازی انجام می‌گیرد. این ویژگی ممکن است مرکز ثقل، ناحیه زیر تابع عضویت و یا نقاط تقاطع بین مجموعه‌ها باشد. یک روش رتبه‌بندی، ویژگی مشخصی از اعداد فازی را در نظر گرفته و آنها را بر اساس این ویژگی رتبه‌بندی می‌کند. از این رو، اولین نتیجه معقول این است که نباید انتظار داشته باشیم روش‌های رتبه‌بندی مختلف، رتبه‌های یکسانی را به یک نمونه یکسان از اعداد فازی نسبت دهند. پیچیدگی‌های اینچنین، رتبه‌بندی اعداد فازی را تا حدودی دشوار می‌کند.

در این مقاله، برای تبدیل مدل برنامه‌ریزی ریاضی مختلط عددصحیح فازی به مدل قطعی نظیر، از دو روش رتبه‌بندی اعداد فازی استفاده شده است. ۱- روش رتبه‌بندی از طریق بازه انتظاری (خیمنز [۱۷]) و ۲- رتبه‌بندی با استفاده از فاصله با علامت (یائو و وو[۱۸]).

روش۱: رتبه‌بندی اعداد فازی با استفاده از مقایسه بازه انتظاری[۳] آنها

خیمنز [۱۷] روش رتبه‌بندی اعداد فازی را بر مبنای مقایسه بازه انتظاری آنها پیشنهاد داد. اگر عدد فازی ذوزنقه‌ای به شکل $\tilde{A}=\{a_1,a_2,a_3,a_4\}$ باشد، آن را می‌توان به صورت تابع زیر نوشت:

$$\mu_{\tilde{A}}(x)=\begin{cases}0\ \forall x\in(-\infty,a_1]\\ f_A(x)\ \forall x\in[a_1,a_2]\\ 1\ \forall x\in[a_2,a_3]\\ g_A(x)\ \forall x\in[a_3,a_4]\\ 0\ \forall x\in[a_4,\infty)\end{cases} \qquad (۱۲)$$

برای تضمین اینکه معکوس توابع $f_A^{-1}(x)$ و $g_A^{-1}(x)$ وجود دارد، فرض می‌شود که $f_A(x)$ پیوسته و صعودی و $g_A(x)$ پیوسته و نزولی است. بازه انتظاری یک عدد فازی به این صورت تعریف می‌شود:

$$EI(\tilde{A})=[E_1^{\tilde{A}},E_2^{\tilde{A}}]=\left[\int_{a_1}^{a_2}x\,df_A(x),-\int_{a_3}^{a_4}x\,dg_A(x)\right] \qquad (۱۳)$$

با تجمیع اجزا و با تغییر متغیر خواهیم داشت:

$$EI(\tilde{A})=[E_1^{\tilde{A}},E_2^{\tilde{A}}]=\left[\int_0^1 f_A^{-1}(\alpha)d\alpha,-\int_0^1 g_A^{-1}(\alpha)d\alpha\right] \qquad (۱۴)$$

اگر توابع $f_A(x)$ و $g_A(x)$ *خطی باشند و* $\tilde{A}$ عدد فازی ذوزنقه‌ای باشد، بازه انتظاری آن خواهد بود:

$$EI(\tilde{A})=\left[\frac{1}{2}(a_1+a_2),\frac{1}{2}(a_3+a_4)\right] \qquad (۱۵)$$

و همچنین ارزش انتظاری عدد فازی $\tilde{A}$ نصف مقدار بازه انتظاری است:

$$EV(\tilde{A})=\frac{E_1^{\tilde{A}}+E_2^{\tilde{A}}}{2} \qquad (۱۶)$$

و برای عدد فازی ذوزنقه‌ای $\tilde{A}$ به صورت زیر است:

$$EV(\tilde{A})=\frac{a_1+a_2+a_3+a_4}{4} \qquad (۱۷)$$

تعریف ۱: برای هر دو عدد فازی $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ درجه عضویت بزرگ‌تر بودن $\tilde{A}$ از $\tilde{B}$ به شکل زیر است:

$$\mu_M(\tilde{A},\tilde{B})=\begin{cases}0\ ;\ \text{if } E_2^a-E_1^b<0,\\ \dfrac{E_2^A-E_1^B}{E_2^A-E_2^B-(E_1^A-E_2^B)}\ ;\ \text{if } 0\in[E_1^a-E_2^b,E_2^a-E_1^b]\\ 1\ ;\ \text{if } E_1^a-E_2^b>0.\end{cases} \qquad (۱۸)$$

به طوری که $[E_1^{\tilde{A}},E_2^{\tilde{A}}]$ و $[E_1^{\tilde{B}},E_2^{\tilde{B}}]$ بازه‌های انتظاری $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ هستند. وقتی که $\mu_M(\tilde{A},\tilde{B})=0.5$ می‌گوییم که $\tilde{A}$ و $\tilde{B}$ مساوی هستند. وقتی که $\mu_M(\tilde{A},\tilde{B})\geq\alpha$ می‌گوییم که $\tilde{A}$ با حداقل درجه α بزرگ‌تر مساوی از $\tilde{B}$ است و آن را با $\tilde{A}\geq_\alpha\tilde{B}$ نمایش می‌دهیم.

تعریف ۲: فرض کنید بردار $x\in R^n$ گفته می‌شود آن با درجه α قابل قبول است، اگر: $\min\{\mu_M(\tilde{A}x,\tilde{B})\}=\alpha$ که آن را می‌توانیم بنویسیم: $\tilde{A}x\geq_\alpha\tilde{B}$ با توجه به این رابطه، خواهیم داشت:

$$\frac{E_2^{Ax}-E_1^B}{E_2^{Ax}-E_1^{Ax}+E_2^B-E_1^B}\geq\alpha\ \Rightarrow \qquad (۱۹)$$

$$[(1-\alpha)E_2^A+\alpha E_1^A]x\geq\alpha E_2^B+(1-\alpha)E_1^B$$

بنابراین با توجه به تعاریف بالا می‌توانیم مدل فازی را به مدل قطعی و دقیق نظیر آن تبدیل کنیم به این ترتیب:

$$\text{Min } EV(\tilde{C})x \qquad (۲۰)$$

$$\text{s.t. } x\in\{x\in R^n|\tilde{A}x\geq_\alpha\tilde{B},x\geq0\}$$

در ادامه تبدیل مدل فازی به مدل قطعی نشان داده شده است.

$$\text{Min } Z=\sum_r\sum_s\sum_t\tfrac{1}{4}(SC_{rst}^1+SC_{rst}^2+SC_{rst}^3+SC_{rst}^4)q_{rst}+\sum_r\sum_s\sum_p\sum_t TR_{rspt}x_{rspt}+\sum_g\sum_p\sum_w\sum_t TG_{gpwt}m_{gpwt}+\sum_g\sum_p\sum_t\left(F_{gpt}z_{gpt}+\tfrac{1}{4}(PC_{gpt}^1+PC_{gpt}^2+PC_{gpt}^3+PC_{gpt}^4)y_{gpt}+HG_{gpt}GI_{gpt}\right)$$

$$+\sum_g \sum_w \sum_z \sum_t TW_{gwzt} n_{gwzt} + \sum_r \sum_p \sum_t HR_{rpt} RI_{rpt} + \sum_g \sum_w \sum_t HW_{gwt} WI_{gwt} \tag{۲۱}$$

s. t.

$$(1-\alpha)\frac{D^1_{gzt}+D^2_{gzt}}{2}+\alpha\frac{D^3_{gzt}+D^4_{gzt}}{2} \le \sum_w n_{gwzt} \quad \forall g,z,t \tag{۲۲}$$

$$y_{gpt} \le \left((1-\alpha)\frac{cap^3_{gwt}+cap^4_{gwt}}{2} + \alpha\frac{cap^1_{gwt}+cap^2_{gwt}}{2}\right) k_{gpt} \; \forall g,p,t \tag{۲۳}$$

$$\sum_p m_{gpwt} \le (1-\alpha)\frac{V^3_{gwt}+V^4_{gwt}}{2} + \alpha\frac{V^1_{gwt}+V^2_{gwt}}{2} \; \forall g,w,t \tag{۲۴}$$

محدودیت‌های قطعی به همان شکل سابق باقی می‌مانند.

روش ۲: رتبه‌بندی اعداد فازی با استفاده از روش فاصله با علامت[۴]

یائو و وو [۱۸] از فاصله با علامت برای تعریف رتبه‌بندی اعداد فازی استفاده کردند. فاصله با علامت مورد استفاده در اعداد فازی شباهت‌هایی در جزئیات با فاصله با علامت در اعداد حقیقی دارد. فاصله با علامت برای رتبه‌بندی اعداد فازی را می‌توان به طور خلاصه به صورت زیر توضیح داد: فرض کنید F خانواده اعداد فازی روی R باشد. فاصله با علامت روی R، $d^*(a,0)=a$ است. بنابراین برای $a,b \in R$، خواهیم داشت: $d^*(a,b)=a-b$. برای $\tilde{D},\tilde{E} \in F$ با α- برش، $(0 \le \alpha \le 1)$، یک بازه بسته $D(\alpha)=[D_L(\alpha),D_R(\alpha)]$ وجود دارد. پس، فاصله با علامت $\tilde{D},\tilde{E}$ تعریف می‌شود:

$$d(\tilde{D},\tilde{E}) = \frac{1}{2}\int_0^1 [D_L(\alpha)+D_R(\alpha)-E_L(\alpha)-E_R(\alpha)]d\alpha \tag{۲۵}$$

می‌توان ثابت کرد که d یک توسعه‌ای از d^* است. و،

$$d(\tilde{D},\tilde{E})>0 \text{ iff } d(\tilde{D},0)>d(\tilde{E},0) \text{ iff } \tilde{E} \prec \tilde{D} \tag{۲۶}$$

$$d(\tilde{D},\tilde{E})<0 \text{ iff } d(\tilde{D},0)<d(\tilde{E},0) \text{ iff } \tilde{D} \prec \tilde{E}$$

$$d(\tilde{D},\tilde{E})=0 \text{ iff } d(\tilde{D},0)=d(\tilde{E},0) \text{ iff } \tilde{E} \approx \tilde{D}$$

فاصله با علامت یک عدد فازی ذوزنقه‌ای همچون $\tilde{A}=\{a_1,a_2,a_3,a_4\}$ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$d(\tilde{A},0)=\frac{1}{2}\int_0^1 [a_1+(a_2-a_1)\alpha+a_4-(a_4-a_3)\alpha]d\alpha = \frac{1}{4}(a_1+a_2+a_3+a_4) \tag{۲۷}$$

اگر $\tilde{A},\tilde{B}$ دو عدد فازی مثلثی یا ذوزنقه‌ای باشند، رابطه رتبه‌بندی آنها به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\tilde{A} \le \tilde{B} \Leftrightarrow d(\tilde{A},0) \le d(\tilde{B},0) \tag{۲۸}$$

حال با توجه به تعاریف بالا و با استفاده از روش یادشده، مدل برنامه‌ریزی یکپارچه خرید – تولید – توزیع ارائه شده به مدل قطعی نظیر آن تبدیل می‌شود.

مثال‌های عددی و نتایج

برای اعتبارسنجی مدل پیشنهادی مثال‌هایی با تعداد متفاوت تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مرکز توزیع حل شده است. در طراحی مثال‌ها موارد زیر در نظر گرفته شده‌اند:

مقادیر هزینه‌های سیستم شامل خرید، تولید و غیره مطابق جدول (۳) به طور تصادفی در بازه‌های یکنواخت تولید شده‌اند.

جدول ۳: **مقادیر پارامترها**

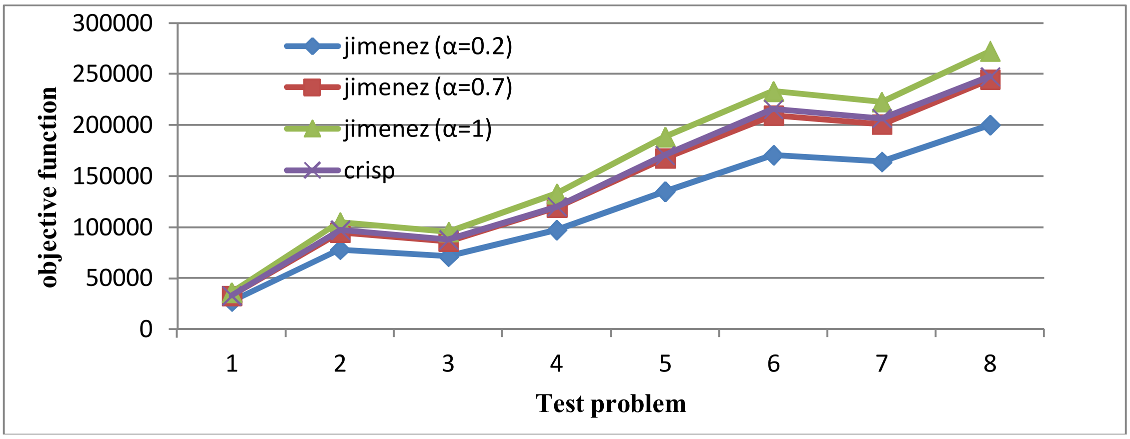
پارامتر	توزیع پارامتر
HR_{rpt}	U(12,18)
HG_{gpt}	U(18,25)
HW_{gwt}	U(14,20)
TR_{rspt}	U(5,10)
TG_{gpwt}	U(5,15)
TW_{gwzt}	U(6,12)
F_{gpt}	U(750,1500)
α_{rg}	U(1,3)

تقاضای مراکز فروش برای هر محصول در هر دوره عدد فازی ذوزنقه‌ای، $\tilde{D}_{gzt}=(60,80,100,120)$ است. مقادیر موجودی در مراکز تولید و توزیع در ابتدای دوره برنامه‌ریزی صفر است. ظرفیت مراکز تأمین برای هر محصول در هر دوره ۶۷۰، ظرفیت تولید کارخانه‌ها $\widetilde{cap}_{gpt}=(340,360,400,420)$ و ظرفیت هر مرکز توزیع $\tilde{V}_{gwt}=(390,400,490,520)$ است. افق

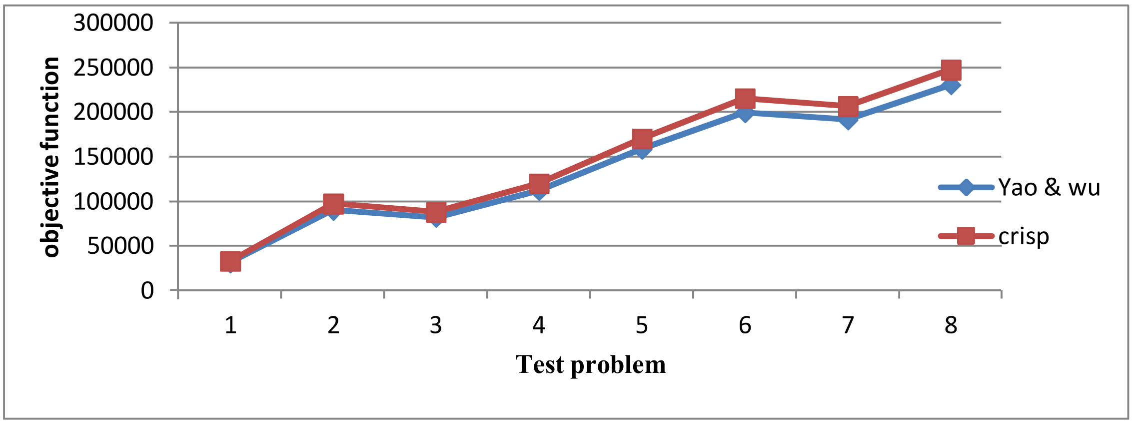
برنامه‌ریزی مسئله، میان‌مدت (تاکتیکی) است بنابراین دوره‌های زمانی نیم سال و فصل در نظر گرفته شده است. مثال‌های عددی طراحی‌شده در بالا توسط نرم‌افزار «لینگو8» و با الگوریتم شاخه و کران اجرا شده است. مقادیر تابع هدف مدل‌های قطعی و غیرفازی شده با روش‌های خیمنز و یائو و وو و به ازای مقادیر مختلف درجه α در جدول (۴) فهرست شده است. در شکل (۱) مقایسه‌ای بین مقادیر مختلف توابع هدف انجام شده است. همان طور که مشخص است، روش رتبه‌بندی فازی ارائه‌شده توسط خیمنز، جواب‌های بهتری را نسبت به جواب‌های به دست آمده از روش قطعی می‌دهد. همچنین در شکل (۲) مقایسه بین مقادیر تابع هدف روش قطعی و روش رتبه‌بندی ارائه‌شده توسط یائو و وو انجام شده است. در جدول (۵) زمان‌های حل مسائل نمونه آمده است.

جدول ۴: مقادیر توابع هدفمدل‌های قطعی و غیرفازی‌شده با روش‌های خیمنز و یائو و وو

شماره مسئله	تعداد تأمین‌کننده	تعداد تولیدکننده	تعداد توزیع‌کننده	تعداد مراکز فروش	روش قطعی	روش یائو و وو	روش خیمنز		
							α =0. 2	α =0. 7	α =1
1	3	2	2	2	32862	31299	27384	32877	36183
2	3	2	4	6	97319	90313	78214	94741	105104
3	5	3	4	6	87986	82071	71403	86111	95640
4	5	3	6	8	120133	112227	97412	119328	132873
5	10	4	6	8	170465	158744	135045	167438	188462
6	10	4	8	10	215570	199659	170724	209545	233224
7	20	5	8	10	206619	191458	164160	200717	222616
8	20	5	10	12	247551	230827	200125	244866	272545



شکل ۱: نمودار مقادیر تابع هدف مدل قطعی و مدل قطعی شده با روش خیمنز



شکل ۲: نمودار تابع هدف مدل قطعی و قطعی شده با روش یائو و وو

جدول ۵: زمان حل مسائل نمونه (ثانیه)

Problem	|S|	|P|	|W|	|Z |	Crisp	Yao	Jimenez
1	3	2	2	2	1	1	1
2	3	2	4	6	1	1	1
3	5	3	4	6	3	3	4
4	5	3	6	8	5	5	6
5	10	4	6	8	17	18	19
6	10	4	8	10	18	20	21
7	20	5	8	10	36	45	43
8	20	5	10	12	39	48	45

بحث در جواب‌ها و مقایسه مقادیر تابع هدف برای پارامترهای قطعی و پارامترهای فازی به ازای مقادیر α

برای نشان دادن تأثیر پارامترهای فازی بر نتایج خروجی و مقدار تابع هدف، در این قسمت به بررسی محدودیت‌های فازی می‌پردازیم.

اگر محدودیت زیر را به عنوان یک محدودیت فازی در نظر بگیریم:

$$\tilde{D}_{gzt} \leq \sum_{w} n_{gwzt}$$

$\tilde{D}_{gzt}$(تقاضای فازی محصول g در مرکز فروش z در دوره t) یک عدد فازی ذوزنقه‌ای متقارن است. بنابراین داریم:

$$(D^1_{gzt}+D^2_{gzt})/2 < D_{gzt} < (D^3_{gzt}+D^4_{gzt}/2)$$

حال اگر H_1 و H_2 فوق صفحه‌های مربوط به محدودیت‌های زیر باشد، در آن صورت داریم:

$$H_1: (D^1_{gzt}+D^2_{gzt})\frac{1}{2} < D_{gzt} < \textstyle\sum_w n_{gwzt}\ if\ \alpha = 0$$

$$H_2: (D^3_{gzt}+D^4_{gzt})\frac{1}{2} > D_{gzt} < \sum_w n_{gwzt}\ if\ \alpha = 1$$

با توجه به اینکه سایر محدودیت‌های مدل کوچک‌تر مساوی هستند، ولی محدودیت تقاضا به شکل بزرگ‌تر مساوی است؛ چون تابع هدف از نوع کمینه‌سازی است، بنابراین محدودیت تقاضا در تعیین جواب بهینه مؤثر است. در نتیجه، در حالتی که α=۰ است، فوق صفحه H_1 با سایر محدودیت‌ها فضای جواب را می‌سازند و اگر $\alpha=1$ باشد، فوق صفحه H_2 با سایر محدودیت‌ها، فضای جواب را می‌سازند. فضای جواب در حالت دوم کوچک‌تر از حالت اول است، چون فوق صفحه H_2 نسبت به مبدأ مختصات در سطح بالاتر قرار دارد که موجب افزایش مقدار تابع هدف می‌شود. فرض کنید S فضای جواب سایر محدودیت‌ها است؛ پس داریم:

$$S_2 = S \cup H_2 \subseteq S_1 = S \cup H_1\ then\ Z_2^* \geq Z_1^*$$

چون دو محدودیت فازی دیگر به شکل کوچک‌تر مساوی هستند و تابع هدف از نوع کمینه است، بنابراین در مقدار تابع هدف بهینه تأثیر ندارد.

حل یک مثال عددی:

$$if\ \tilde{D}_{gzt} = (100,200,400,500)$$

$$(D_{gzt}^{1}+D_{gzt}^{2})\frac{1}{2}=150$$
$$\sum_{w} n_{gwzt} \geq 150, \alpha=0$$
$$(D_{gzt}^{3}+D_{gzt}^{4})\frac{1}{2}=450$$
$$\sum_{w} n_{gwzt} \geq 450, \alpha=1$$

مثال بالا نشان می‌دهد محدودیت با حد پایین تقاضای ۱۵۰، فضای بیشتری نسبت به محدودیت با حد پایین تقاضای ۴۵۰ ایجاد می‌کند؛ در نتیجه مقدار تابع هدف کمتری (۵۹۳۲۲) در مقایسه با حالت دوم (۷۸۴۵۸) خواهد داشت. بنابراین در حالت فازی مقدار متغیرهای تصمیم‌گیری تحت تأثیر پارامتر α- *cut* تغییر می‌کنند. به عنوان مثال اگر مسئله نمونه ۱ را در نظر بگیریم، هزینه‌های کل برای α=۰/۲ برابر ۲۷۳۸۳ به دست آمده است، در حالی که برای α=۰/۷ مقدار ۳۲۸۷۷ به دست آمده است. تفاوت این دو حالت برای مقادیر α در این است که اگر بخواهیم درجه عضویت (امکان) برآورده شدن تقاضای مشتریان، ۵۰درصد افزایش یابد (تفاضل دو α)، هزینه‌های کل سیستم به مقدار ۵۹۹۴ واحد معادل با ۲۱ درصد افزایش می‌یابد. در نتیجه با افزایش درجه عضویت (α-cut) تأمین تقاضای مشتریان، هزینه‌های سیستم افزایش می‌یابد. بنابراین در نظر گرفتن حالت فازی ابزاری در اختیار مدیران قرار می‌گیرد تا بر حسب درجه عضویت (درجه قطعیت) در تأمین تقاضای مشتریان و تجزیه و تحلیل هزینه‌های مربوطه، بهترین استراتژی خرید، تولید و توزیع را انجام دهند. به عبارت دیگر مدیران می‌توانند بین کاهش درجه نبود اطمینان و افزایش هزینه‌ها موازنه ایجاد کنند که میزان این موازنه به درجه خوش‌بینی و بدبینی مدیران در تأمین تقاضای مشتریان دارد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط فازی برای مسئله خرید- تولید - توزیع در زنجیره تأمین در شرایط نبود قطعیت ارائه شد. در ادامه برای حل مدل FMILP، مدل فازی با استفاده از دو روش رتبه‌بندی اعداد فازی، به قطعی معادل آن تبدیل شد. برای نشان دادن اعتبار و عملکرد مدل پیشنهادی، مدل با استفاده از داده‌های تصادفی تولید شده و بار دیگر با در نظر گرفتن داده‌های فازی و به ازای مقادیر مختلف α توسط نرم‌افزار «لینگوی8» حل شد. همچنین در مقایسه دو روش رتبه‌بندی خیمنز و یائو و وو، روش بازه انتظاری خیمنز به دلیل در نظر گرفتن انعطاف‌پذیری در محدودیت‌های مدل با استفاده از α- برش‌های مختلف و به دست آمدن مقدار توابع هدف بهتر، روشی کاراتر است. علاوه بر مقایسه کارایی دو روش بالا، لازم به ذکر است که نبود قطعیت در پارامترهایی مانند تقاضا، ظرفیت و هزینه‌ها سبب می‌شود دامنه تغییرات پارامترها در مدل فازی انعطاف‌پذیرتر باشد و در فضای جواب انعطاف‌پذیر، مناسب‌ترین ترکیب تولید، از بین α برش‌های مختلف انتخاب شود؛ در حالی که در شرایط قطعیت، به دلیل قطعی‌بودن مقادیر پارامترها، اجازه انعطاف‌پذیری به مقادیر پارامترهای مدل داده نمی‌شود. در نتیجه فضای جواب محدود شده و موجب افزایش مقدار تابع هدف می‌شود. همچنین اجرای مدل فازی، افزایش زیادی در پیچیدگی محاسبات و زمان حل ایجاد نمی‌کند. در صورت در نظر گرفتن مسائل با ابعاد بزرگ‌تر زمان حل مسئله به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد بنابراین برای تحقیقات بعدی استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری پیشنهاد می‌شود.

مراجع

1- Davis, T. (1993). “Effective supply chain management.” *Sloan Management Review*, Vol. 34, PP. 35-46.

2- Bilgen, B. (2010). “Application of fuzzy mathematical programming approach to the production allocation and distribution supply chain network problem.” *Expert system with applications*, Vol. 37, PP. 4488-4495.

3- Dubois, D., Fargier, H. and Fortemps, P. (2003). “Fuzzy scheduling: modeling flexible constraints vs. coping with incomplete knowledge.” *European Journal of Operational Research*, Vol. 147, PP. 231-252.

4- Peidro, D., Mula, J. , Poler, R. and Verdegay, J. L. (2009). “Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand, and process uncertainties.” *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 160, PP. 2640-2657.

5- Chen, S. P. and Chang, P. C. (2006). “A mathematical programming approach to supply chain models with fuzzy parameters.” *Engineering Optimization*, Vol. 38, PP. 647-669.

6- Liang, T. F. (2008). “Integrating production-transportation planning decision with fuzzy multiple goals in supply chains.” *International Journal of Production Resea*rch, Vol. 46, PP. 1477-1494.

7- Bellman, R. E. and Zadeh, L. A. (1970). “Decision making in a fuzzy environment.” *Management Sciences*, Vol. 17, PP. 141-164.

8- Mula, J., Peidro, D. and Poler, R. (2010). “The effectiveness of a fuzzy mathematical programming approach for supply chain production planning with fuzzy demand.” *International journal of production economics*, Vol. 128, PP. 136-143

9- McDonald, C. M. and Karimi, I. A. (1997). “Planning and scheduling of parallel semi-continuous processes. 1, Production planning. ” *Industrial & Engineering Chemical Research*, Vol. 36, PP. 2691-2700.

10- Liang, T. F. and 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,* Vol. 36, PP. 3367-3377.

11- Aliev, R. A., Fazlollahi, B., Guirimov, B. G. and Aliev, R. R. (2007). “Fuzzy-genetic approach to aggregate production-distribution planning in supply chain management.” *Information Sciences*, Vol. 177, PP. 4241-4255.

12- Peidro, D., Mula, J. , Jimenez, M. and Botela, M. D. M. (2010). “A fuzzy linear programming based approach for tactical supply chain planning in an uncertainty environment.” *European Journal of Operational Research*, Vol. 205, PP. 65-80.

13- Torabi, S. A. and Hassini, E. (2008). “An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning.” *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 159, PP. 193-214.

14- Werner, B. (1987). “An interactive fuzzy programming system.” *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 23, PP. 131-147.

15- Zimmermann, H. J. (1996). *Fuzzy set theory and its applications.* 3rd. Ed. Kluwer Academic Pub, Boston.

16- Lai, Y. J. and Hwang, C. L. (1992). “Fuzzy mathematical programming-methods and applications.” *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*, 394.

17- Jimenez, M., Arenas, M., Bilbao, A. and Guez, M. V. (2007). “Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method resolution.” *European Journal of Operational Research*, Vol. 177, PP. 1599-1609.

18- Yao, J. S. and Wu, K. (2000). “Ranking of fuzzy numbers based on decomposition principle and signed distanced.” *fuzzy sets and systems,* Vol. 116, PP. 275-288.

19- Cadenas, J. M. and Verdegay J. L. (1997). “Using fuzzy numbers in linear programming.” *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics Part B-Cybernetics* Vol. 27, PP. 1016-1022.

20- Gen, M. S. and Syarif, A. (2005). “Hybrid genetic algorithm for multi-time period production / distribution planning.” *Computers and Industrial Engineering,* Vol. 48, PP. 799-809.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1-Fuzzy Mixed Integer Linear Programming (FMILP)
2-Fuzzy Mathematical Programming (FMP)
3-Expected Interval
4-Signed Distance Method