مدیریت تولید و عملیات، دوره ششم، شماره (۱)، پیاپی(۱۰)، بهار و تابستان ۱۳۹٤
دریافت: ۹۲/۱/۱۵ پذیرش: ۹۳/۳/۳۱
صص: ۱۲۷– ۱٤۸

یک رویکرد برنامه‌ریزی تعاملی فازی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چندسطحی، چند کالایی و چند دوره‌ای تحت شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن هزینه و زمان

محمد امیرخان [۱*]، احمد نورنگ [۲]، رضا توکلی مقدم [۳]

۱– دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران
۲– استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده علوم و مهندسی، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران
۳– استاد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران

چکیده

طراحی شبکه زنجیره تأمین توجه محققان زیادی را در سال‌های اخیر به خود جلب کرده است. در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط امکانی جدیدی برای مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین (شامل سه بخش خرید، تولید و توزیع) چند کالایی، چند دوره‌ای تحت شرایط عدم قطعیت ارایه می‌شود. این مدل دو هدفه است که هدف اول با استفاده از مفاهیم هزینه‌گذاری مبتنی بر فعالیت و هزینه مالکیت کل و هدف دوم با استفاده از مفهوم تولید به هنگام (JIT) به ترتیب دو عامل هزینه و زمان را بهینه می‌کند. برای حل مدل مذکور از یک رویکرد حل فازی تعاملی استفاده می‌شود. خروجی‌های مدل شامل مقدار خرید از هر تأمین‌کننده، مقدار تولید از هر محصول، میزان موجودی، مقدار زودکرد و دیرکرد کالاها، نوع حمل کالاها، مقدار حمل مواد اولیه و محصولات بین تسهیلات مختلف و نیز انتخاب تأمین‌کنندگان در دوره‌های متفاوت است. به منظور ارزیابی و اعتبارسنجی مدل و رویکرد حل مذکور، یک مثال عددی ارایه و سپس با روش فوق حل شده و در ادامه، نتایج آن با نتایج یک روش غیرفازی مقایسه می‌شود. در خاتمه نتایج تحقیق ارایه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: شبکه زنجیره تأمین، لجستیک، عدم قطعیت، مجموعه فازی.

*نویسنده مسؤول: st_m_amirkhan@azad.ac.ir

۱- مقدمه

در جهان امروزی، تغییرات سریع اقتصادی و فشار رقابتی فزاینده بازار، شرکت‌ها را ملزم می‌کند که روی لجستیک یکپارچه و زنجیره تأمین تمرکز کرده و به آن روی آورند. یک شبکه زنجیره تأمین دارای ساختار مناسب مزیت رقابتی را برای شرکت‌ها فراهم و آن‌ها را در کنترل آشفتگی‌های فزاینده محیطی یاری می‌کند (دالرت[۱] و همکاران، ۲۰۰۷). مبحث بهینه‌سازی جریان مواد در شبکه یکی از مهمترین و با ارزش‌ترین مباحث در زنجیره تأمین است، بگونه‌ای که اگر توجه کافی در این زمینه صورت گیرد، منافع زیادی را برای شرکت به دنبال خواهد داشت. ماهیت پیچیده و پویای زنجیره تأمین درجه بالایی از عدم قطعیت را بر تصمیمات برنامه‌ریزی زنجیره تأمین تحمیل می‌کند و بگونه‌ای قابل توجه بر عملکرد کل زنجیره اثر می‌گذارد (کلیبی[۲] و همکاران، ۲۰۱۰). عدم قطعیت به دو صورت می‌تواند بیان گردد: (۱) انعطاف‌پذیری[۳] در محدودیت‌ها و اهداف و (۲) عدم قطعیت در داده‌ها (پیشوایی و ترابی[٤]، ۲۰۱۰). **انعطاف‌پذیری با مقدار منعطفی از اهداف و محدودیت‌هایی مرتبط است که** با استفاده از **مجموعه‌های فازی مدل شده است** (بلمن و زاده[٥]، ۱۹۷۰). برای مقابله با این نوع عدم قطعیت، از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی منعطف[٦] استفاده می‌شود. عدم قطعیت در داده‌ها می‌تواند به دو دسته تقسیم شود:

۱) تصادفی بودن[۷] پارامترهای مدل که از ماهیت تصادفی رخدادها ناشی می‌شود و با عدم قطعیت مرتبط با عضویت یا عدم عضویت عناصر در یک مجموعه مقابله می‌کند. در حالت قطعی یک عضو یا متعلق به یک مجموعه مشخص است و یا نه (مولا[۸] و همکاران، ۲۰۰٦)، در حالیکه در شرایط عدم قطعیت، عضویت و یا عدم عضویت در یک مجموعه مشخص کاملاً متفاوت با حالت قطعی است و از یک مقدار عددی به نام درجه عضویت که عددی در بازه [۰،۱] است استفاده می‌شود. برای مدل کردن این نوع عدم قطعیت از رویکردهای برنامه‌ریزی احتمالی[۹] استفاده می‌شود. (برای نمونه به السید[۱۰] و همکاران (۲۰۱۰) مراجعه شود)

۲) عدم قطعیت شناختی[۱۱] که به کمبود دانش در ارتباط با پارامترهای مدل می‌پردازد و برای مقابله با این نوع عدم قطعیت از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی[۱۲] استفاده می‌شود. (برای نمونه به پیشوایی و ترابی (۲۰۱۰) مراجعه شود)

اکثر محققان برنامه‌ریزی زنجیره تأمین با استفاده از توزیع‌های احتمالی، عدم قطعیت‌های موجود در زنجیره تأمین را مدل می‌کنند که این توزیع‌ها معمولاً از داده‌های گذشته استفاده می‌کنند. از آنجاییکه داده‌های آماری گذشته قابل اطمینان و یا همواره در دسترس نیستند، لذا مدل‌های احتمالی ممکن است بهترین انتخاب نباشد (وانگ و لیانگ[۱۳]، ۲۰۰۵). تئوری مجموعه‌های فازی و تئوری امکانی می‌تواند گزینه‌های مناسبتری نسبت به تئوری احتمالی برای مقابله با عدم قطعیت‌های زنجیره تأمین باشد که البته آن‌ها بسیار ساده‌تر بوده و همچنین، به داده‌های کمتری نیاز دارد (دوبویس و همکاران[۱٤]، ۲۰۰۳). بایکاسوگلو و گوکن[۱٥] (۲۰۰۸) یک طبقه‌بندی از مسائل برنامه‌ریزی ریاضی فازی ارایه کرده‌اند، به‌گونه‌ای که آن‌ها ۱۵ نوع مختلف از مدل‌های

برنامه‌ریزی ریاضی فازی را شناسایی و برای هر نوع، رویکردهای حل مختلفی را نیز ارایه نموده‌اند.

از وظایف اصلی برنامه‌ریزی زنجیره تأمین تعیین مقادیر خرید، تولید و توزیع برای تسهیلات واقع در سطوح مختلف شبکه زنجیره در دوره زمانی میان‌مدت است. در گذشته، یا این فعالیت‌ها به صورت مستقل انجام می‌گرفت و یا منجر به موجودی‌های زیاد و عملکرد سراسری بسیار ضعیف می‌شد (ترابی و هسینی[۱۶]، ۲۰۰۸). پژوهش‌های مختلفی به مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین پرداخته‌اند که در این مقاله برای بررسی آن‌ها، ابتدا پنج معیار اصلی "تعریف مسأله و مفروضات"، "محدودیت‌ها"، "خروجی‌ها"، "اهداف" و "روش حل" در نظر گرفته شده که هر یک از این معیارهای اصلی خود شامل چندین معیار فرعی هستند. جدول ۱ این معیارها و همچنین یک سیستم کدگذاری برای آن‌ها را ارائه می‌دهد (معیارها استخراج شده مبتنی بر (فراهانی و الهی پناه[۱۷]، ۲۰۰۸) و همچنین، بررسی‌های نویسنده است). در ادامه، تحقیقات بررسی شده گذشته بر اساس این سیستم در جدول ۲ کدگذاری شده است.

با توجه به دانش ما نسبت به تحقیقات انجام شده در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین و همچنین، بررسی مقالات ذکر شده در جدول ۲ مشاهده می‌شود که در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین تحقیقات کمی وجود دارد که به طور همزمان سه عامل هزینه، زمان و کیفیت را مدلسازی کرده باشد، بگونه‌ای که برای عامل هزینه از مفاهیم هزینه‌گذاری مبتنی بر فعالیت[۱۸] (ABC) و هزینه مالکیت کل[۱۹] (TCO) استفاده کرده باشد، برای عامل زمان، تولید به هنگام[۲۰] (JIT) را لحاظ کرده باشد و برای عامل کیفیت، یک مقدار حداقلی کیفیت را برای مواد اولیه تحویلی در نظر گرفته باشد. همچنین، در مدل برای انتقال مواد بین تسهیلات مختلف کانال‌های متنوعی وجود داشته باشد. چند کالایی، چند سطحی، چند دوره‌ای و چند هدفه بودن از مهمترین ویژگی‌های مسائل زنجیره تأمین واقعی است که در اکثر مدل‌های قبلی برای سادگی کار بعضی از آن‌ها نادیده گرفته شده است، در حالیکه همه این ویژگی‌ها در مدل تحقیق حاضر گنجانده شده است. مدل حاضر، برخلاف اکثر مدل‌های قبلی، مقادیر زودکرد و دیرکرد کالاهای تحویلی را محاسبه کرده و سعی بر کمینه کردن آن نیز دارد. از آنجاییکه عدم قطعیت پارامترهای استفاده شده در مسأله از نوع عدم قطعیت شناختی است، لذا برای مدل کردن مسأله از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی استفاده شده است. با توجه به مباحث فوق، ویژگی‌های مقاله حاضر در جدول(۳) کدگذاری شده است.

هدف اصلی این مقاله تعیین مقادیر بهینه تهیه، تولید و توزیع برای تسهیلات واقع در رده‌های مختلف زنجیره تأمین (چندین تأمین‌کننده مواد اولیه، یک تولیدکننده، چندین مرکز توزیع و چندین خرده‌فروش) در سطوح تاکتیکی و استراتژیک (مربوط به انتخاب تأمین‌کننده) است که با استفاده از مجموعه‌های فازی عدم قطعیت‌های موجود در آن مدل می‌شود.

از آنجایی که هر سه قسمت تأمین، تولید و توزیع به طور همزمان در مدل لحاظ شده است، لذا بهینگی تصمیمات هر بخش به طور همزمان (و نه به طور

مجزا) و با در نظر گرفتن تصمیمات بخش‌های دیگر بررسی شد.

ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. در بخش دوم مقاله، مسأله مورد نظر تعریف و مدل آن ارایه می‌گردد. در بخش سوم، رویکرد حل مسأله تشریح شده و به منظور بررسی اعتبار و کارایی مدل و روش حل، یک مثال عددی در بخش چهارم ارایه و سپس با استفاده از رویکرد مذکور حل شده است. در بخش پنجم، نتایج تحقیق بیان و سپس پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی ارایه می‌گردد. در انتها منابع و مراجع استفاده شده ذکر می‌گردد.

۲- تعریف مسأله و مدل‌سازی

از آنجایی‌که زنجیره تأمین عمدتاً ساختار شبکه‌ای دارد، این مقاله سعی بر آن دارد تا یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط امکانی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین چند کالایی، چند رده‌ای و چند دوره‌ای در سه بخش تهیه، تولید و توزیع ارایه دهد. مدل فوق برای تعیین مقادیر تهیه، تولید و توزیع برای تسهیلات در رده‌های مختلف زنجیره تأمین در سطوح تاکتیکی و استراتژیک بکار می‌رود. مسأله مورد نظر که در شکل ۱ نیز نشان داده شده است، دارای چندین تأمین‌کننده مواد اولیه، یک تولیدکننده، چندین مرکز توزیع و چندین خرده‌فروش است. شبکه مذکور مبتنی بر شبکه انتقال مواد یک کارخانه تولیدی محصولات غذایی است که با استفاده از مجموعه‌های فازی عدم قطعیت‌های موجود در آن مدل می‌گردد.

جدول(۱):دسته‌بندی‌معیارهاو راهنمای کدگذاری

تعریف مسأله و فرضیات		
سطح برنامه‌ریزی	استراتژیک	St
	تاکتیکی	Ta
	عملیاتی	Op
تعداد محصولات	تک محصولی	SPr
	چند محصولی	PPr
	تک منبعی	Ss
سطوح مورد بررسی در زنجیره	تأمین	Sup
	تولید	Pro
	توزیع	Dis
قطعیت داده‌ها	همه قطعی	Cr
	حداقل‌یک غیرقطعی	U
تعداد دوره‌ها	تک دوره‌ای	SP
	چند دوره‌ای	MP
مواد اولیه	چندگانه	MRM
	تکی	SRM
تعداد توابع هدف	تک هدفه	SOb
	چند هدفه	MOb
ساختار مدل	خطی	L
	غیرخطی	LN
جریان فیزیکی	رو به جلو	F
	معکوس‌ویادو طرفه	IL
محدودیت‌ها		
تأمین کل تقاضا		DS
ظرفیت تسهیلات		UC
زمان و فاصله مجاز برای تحویل کالا		TG
تعداد تسهیلات مجاز به راه‌اندازی		UN
پنجره زمانی		TW
سطح خدمت انبارها		SS
خروجی‌ها		
مکان‌یابی تسهیلات		FL
میزات تولید		PQ
میزان حمل مواد بین تسهیلات		TQ
روش حمل		TM
تخصیص تقاضا		DD
موجودی		In
مسیریابی وسایل حمل		Ro
اهداف		
کمینه کردن هزینه یا بیشینه کردن سود		C
بیشینه کردن سطح خدمت‌رسانی		CLC
تعادل بین رده‌ها		B
بیشینه کردن سطح استواری تصمیمات		RO
بیشینه‌کردن مقدار کل خرید		VP
روش حل		
دقیق		Ex
ابتکاری		Hu
فراابتکاری		MHu

جدول(۲): کدگذاری مقالات بررسی شده

مراجع	تعریف مسأله و مفروضات	محدودیت‌ها	خروجی‌ها	اهداف	روش حل
سیاریف[۲۱] و همکاران (۲۰۰۲)	St, Op, SPr, Sup, Pro, Dis, Cr, SP, SRM, SOb, LP, F	DS, UC, UN	PQ, TQ, FL	C	MHu
چن و لی[۲۲] (۲۰۰۴)	Ta, MPr, Pro, Dis, U, MP, MOb, NLP, F	DS, UC	PQ, TQ, In	C,CLC, B, RO	Hu
اسکیگون[۲۳] (۲۰۰۵)	St, Op, MPr, SS, Dis, Cr, SP, SOb, NLP, F	DS, UC	FL, TM	C, CLC	Hu
وانگ[۲۴] و همکاران (۲۰۰۴)	Ta, MPr, Pro, Dis, Cr, MP, MOb, LP, F	UC, TG	PQ, TQ	C, CLC	Ex
امیری[۲۵] (۲۰۰۶)	St, SPr, Dis, U, SP, SOb, LP, F	DS, UC, UN	FL, TQ	C	Hu
پیدرو[۲۶] و همکارن (۲۰۰۹)	Ta, MPr, Sup, Pro, Dis, U, MP, MRM, SOb, LP, F	DS, UC	PQ, TQ, In	C	Ex
لیانگ[۲۷] (۲۰۰۸)	Ta, MPr, Pro, Dis, U, MP, MOb, LP, F	DS, UC	PQ, TQ, In	C, CLC	Hu
زنجیرانی فراهانی و الهی پناه (۲۰۰۸)	Ta, Op, MPr, Dis, Cr, MP, MOb, LP, F	UC	TQ	C, CLC	MHu
بیدهندی[۲۸] و همکارن (۲۰۰۹)	St, Ta, MPr, Sup, Pro, Dis, Cr, SP, MRM, SOb, LP, F	DS, UC	FL, TQ	C	Ex
لی[۲۹] و همکاران (۲۰۰۸)	Ta, SPr, Dis, Cr, MP, SOb, LP, F	DS, UC	In, TQ	C	Ex
جایارامان و پیرکول[۳۰] (۲۰۰۱)	St, Op, SPr, SS, Sup, Pro, Dis, Cr, SP, MRM, SOb, LP, F	DS, UC, UN, SS	FL, PQ, TQ, DD	C	Hu
اولیوارز[۳۱] و همکاران (۲۰۱۰)	St, Ta, SPr, SS, Dis, Cr, SP, MOb, LP, F	DS, UC	FL, TQ, TM	C, CLC	Ex
تی سیاکیس و پاپاجورجیو[۳۲] (۲۰۰۸)	St, Ta, Op, MPr, Pro, Dis, Cr, SP, SOb, LP, F	UC, DS	FL, PQ, TQ	C	Ex
ترابی و هسینی (۲۰۰۸)	Ta, MPr, Sup, Pro, Dis, U, MP, MRM, MOb, LP, F	DS, UC, TG	PQ, TQ, In	C, VP	Hu, Ex
زگردی و اسکندرپور[۳۳] (۲۰۱۰)	St, Ta, MPr, Pro, Dis, U, SP, MOb, NLP, IL	-	FL, PQ, TQ	C, CLC	Ex
پیشوایی و ترابی (۲۰۱۰)	St, Ta, SPr, Pro, Dis, U, MP, MOb, LP, IL	DC, UC	FL, PQ, TQ	C, CLC	Hu, Ex
اسکیگون و همکاران (۲۰۰۶)	St, Ta, SPr, Dis, Cr, SP, SOb, NLP, F	DS, TG	FL, TQ, TM, RO	C, CLC	Hu
لو و بوستل[۳۴] (۲۰۰۷)	St, Ta, SPr, Pro, Dis, Cr, SP, SOb, LP, IL	DS	FL, PQ, TQ	C, CLC	Hu, Ex
ترابی و هسینی (۲۰۰۹)	Ta, MPr, Sup, Pro, Dis, U, MP, MRM, MOb, LP, F	DS, UC, TG	PQ, TQ, In	C, VP, CLC	Hu, Ex
توکلی مقدم[۳۵] و همکاران (۲۰۱۰)	St, Ta, MPr, Dis, U, SP, MOb, LP, F	DS, UC	FL, TQ	C, CLC	MHu
غفاری بالانجی (۱۳۸۹)	St, Ta, SPr, Sup, Pro, Dis, U, SP, SOb, LP, F	DS, UC, UN, SS	FL, DD, PQ, TQ, In	RO	Hu, Ex
عرب (۱۳۸۹)	Ta, Op, MPr, Dis, Cr, MP, MOb, LP, F	UC	TQ	C, CLC	MHu
فلاح تفتی[۳۶] و همکاران (۲۰۱۴)	St, Ta, SPr, Sup, Dis, U, MP, SRM, MOb, L, IL	DS, UC	FL, TQ	C, CLC	Hu, Ex

جدول(۳): کدگذاری مدل مقاله حاضر

تعریف مسأله و فرضیات	محدودیت‌ها	خروجی‌ها	اهداف	روش حل
St, Ta, MPr, Sup, U, MP, MRM, MOb, LP, F	UC, TG	TQ, TM, In	C, CLC	Hu, Ex

در این تحقیق، به منظور محاسبه هزینه‌های بخش تأمین مواد اولیه، از مفاهیم ABC و TCO استفاده شده است. ABC یکی از ابزارهای مؤثر هزینه‌یابی است که به طور گسترده در صنایع مختلف استفاده می‌شود و ابزار مناسبی برای مدل‌سازی برنامه‌ریزی ریاضی در قسمت خرید است. از این‌رو هزینه‌های قسمت تأمین در سه سطح در نظر گرفته می‌شود که آن سه سطح عبارتند از: (۱) سطح تأمین‌کننده، (۲) سطح سفارش و (۳) سطح واحد (دگریو و رودهوفت[۳۷]، ۲۰۰۰). سطح اول، شامل هزینه‌ها و شرایطی می‌شود که شرکت خریدار عملاً تأمین‌کننده‌ای را در طی افق برنامه‌ریزی انتخاب نماید. نمونه‌هایی از هزینه‌های این سطح شامل هزینه‌های ممیزی کیفیت که توسط خریدار برای ارزیابی یک تأمین‌کننده تحمیل می‌شود و نیز هزینه‌های تحقیق و توسعه اضافی به واسطه به کارگیری یک تأمین‌کننده خاص است. پارامترهای سطح سفارش شامل هزینه‌ها و شرایطی می‌شود که هر زمان یک سفارش توسط تأمین‌کننده‌ای خاص پاسخ داده می‌شود، مانند هزینه‌های مرتبط با پذیرش، صورتحساب، حمل و نقل، سفارش‌دهی. سطح واحد شامل هزینه‌ها و شرایط مرتبط با واحدهای محصولاتی می‌شود که برای آن تصمیمات خرید انجام می‌گیرد، برای مثال قیمت، خطای درونی (مثلاً به واسطه مسائل کیفی)، خطای بیرونی، هزینه‌های نگهداری موجودی. در قسمت توزیع محصولات نهایی، دو رویکرد لحاظ می‌گردد: (۱) ارسال مستقیم از تولیدکننده به بخش خرده‌فروشان و (۲) ارسال از تولیدکننده به بخش خرده‌فروشان از طریق مراکز توزیع که رویکرد دوم شامل هزینه‌های انبارداری در بخش عمده‌فروشان است. در این بخش ابتدا مجموعه‌ها، اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مسأله بیان و سپس مدل ریاضی مسأله ارایه می‌گردد.

۲-۱- مجموعه‌ها و اندیس‌ها

k: اندیس خرده‌فروشان، $(k=1,2,\ldots,K)$

j: اندیس مراکز توزیع، $(j=1,2,\ldots,J)$

l: اندیس روش حمل، $(l=1,2,\ldots,L)$

r: اندیس مواد اولیه، $(r=1,2,\ldots,R)$

p: اندیس محصولات، $(p=1,2,\ldots,P)$

t,h: اندیس دوره‌ها، $(t,h=1,2,\ldots,T)$

s: اندیس تأمین‌کنندگان، $(s=1,2,\ldots,S)$

۲-۲- پارامترها و متغیرها

پارامترها:

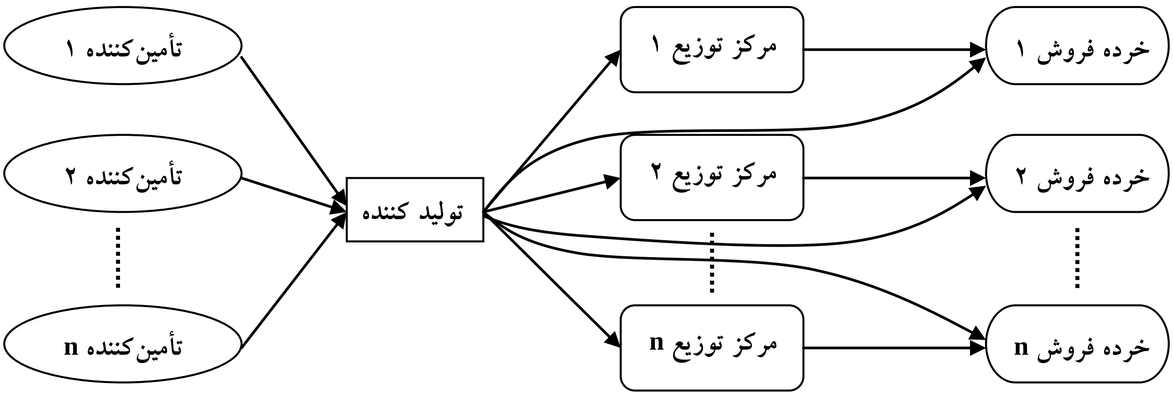
$\widetilde{slc}_s$ هزینه کل متناظر با انتخاب تأمین‌کننده s در کل دوره برنامه‌ریزی (هزینه سطح تأمین‌کننده).

$\widetilde{olc}_{st}$ هزینه کل متناظر با تخصیص سفارشی به عرضه‌کننده s در دوره t (هزینه سطح سفارش).

$\widetilde{Cx}_{rst}$ هزینه هر واحد ماده اولیه r که در دوره t از عرضه‌کننده s خریداری می‌شود.

$\widetilde{aulc}_{rst}$ هزینه‌های اضافی سطح واحد از ماده اولیه r که در دوره t از عرضه‌کننده s خریداری می‌شود.

$\widetilde{Hr}_r$ هزینه نگهداری هر واحد ماده اولیه r در قسمت تولیدکننده.



شکل(۱): شبکه فیزیکی استفاده شده در این مقاله برای جریان

$\widetilde{Hf}_p$ هزینه نگهداری هر واحد محصول p در قسمت تولیدکننده.

$\widetilde{Pc}_{pt}$ هزینه تولید هر واحد محصول p در دوره t.

$\tilde{C}^1_{pj}$ هزینه انتقال هر واحد محصول p با روش l از تولیدکننده به مرکز توزیع j.

$\tilde{C}^2_{pk}$ هزینه انتقال هر واحد محصول p با روش l از تولیدکننده به خرده فروش k.

$\tilde{C}^3_{pjk}$ هزینه انتقال هر واحد محصول p با روش l از مرکز توزیع j به خرده فروش k.

$\tilde{H}^1_{jp}$ هزینه نگهداری هر واحد محصول p در قسمت مرکز توزیع j.

$\tilde{H}^2_{pk}$ هزینه نگهداری هر واحد محصول p در قسمت خرده فروش k.

Br_{rp} مقدار ماده اولیه r مورد نیاز برای تولید یک واحد محصول p.

$\tilde{D}_{pkt}$ مقدار تقاضا محصول p توسط خرده‌فروش k در دوره t.

$\widetilde{Ca}_{jt}$ ظرفیت دریافت کالای مرکز توزیع j در دوره t.

$\widetilde{Cca}_{kt}$ ظرفیت دریافت کالای خرده‌فروش k در دوره t.

$\tilde{Q}_{pjt}$ ظرفیت نگهداری محصول p در مرکز توزیع j در دوره t.

$\widetilde{SUR}^{max}_{pkt}$ حداکثر ظرفیت نگهداری خرده‌فروش k برای کالای p در دوره t.

$\tilde{B}^{max}_{pkt}$ حداکثر مقدار مجاز برای کمبود کالای p در خرده‌فروش k در دوره t.

$\widetilde{Qr}_{rt}$ ظرفیت نگهداری مواد اولیه r در قسمت تولیدکننده در دوره t.

$\widetilde{Qf}_{pt}$ ظرفیت نگهداری محصول p در قسمت تولیدکننده در دوره t.

$\widetilde{Qu}_{rs}$ نرخ متوسط خرابی ماده اولیه r عرضه شده توسط تأمین‌کننده s.

$\tilde{Q}_{pjt}$ نرخ قابل قبول خرابی برای ماده اولیه r از نظر تولیدکننده.

$\widetilde{Slu}_s$ سطح متوسط خدمت‌رسانی (درصدی از تحویل‌های به‌موقع) تأمین‌کننده s.

$\widetilde{Slt}$ سطح قابل قبول خدمت‌رسانی از نظر تولیدکننده.

$\widetilde{UBQ}X_{rst}$ حداکثر مقدار مجاز برای QX_{rst}.

متغیرها:

A_s متغیر صفر و یک نشان‌دهنده استفاده از تأمین‌کننده s در کل دوره.

N_{st} متغیر صفر و یک نشان‌دهنده استفاده از تأمین‌کننده s در دوره t.

QX_{rst} مقدار خریداری شده از ماده اولیه r از تأمین‌کننده s در دوره t.

Ir_{rt} مقدار موجودی ماده اولیه r در قسمت تولیدکننده در دوره t.

If_{pt} مقدار موجودی محصول p در قسمت تولیدکننده در دوره t.

X_{pjtl} مقدار محصول p که با روش حمل l در دوره t از قسمت تولیدکننده به مرکز توزیع j انتقال می‌یابد.

Y_{pktl} مقدار محصول p که در دوره t با روش حمل l از قسمت تولیدکننده به خرده‌فروش k انتقال می‌یابد.

Z_{pjktl} مقدار محصول p که در دوره t با روش حمل l از مرکز توزیع j به خرده‌فروش k انتقال می‌یابد.

SUR_{pkt} مقدار مازاد کالای p تحویل داده شده به خرده‌فروش k در دوره t.

B_{pkt} مقدار کمبود کالای p تحویل داده شده به خرده‌فروش k در دوره t.

V_{pkt} متغیر صفر و یک که نشان‌دهنده مازاد یا کمبود کالای p تحویل داده شده به خرده‌فروش k در دوره t است.

MP_{pt} مقدار تولید محصول p در دوره t.

۲-۳- مفروضات مسأله

مفروضات زیر برای مدل‌سازی مسأله در نظر گرفته شده است:

- فاصله بین تسهیلات مختلف به گونه‌ای است که از زمان بین ارسال سفارش تا دریافت کالا صرفنظر شده است (یعنی کالاهای سفارش داده شده در هر دوره، در همان دوره (و نه در دوره‌های بعدی) در اختیار سفارش دهنده قرار می‌گیرد).
- هزینه‌های استفاده شده در این مسأله همگی از نوع خطی هستند.
- برای نمایش پارامترهای غیرقطعی مسأله از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است.
- کالاهای مختلف با استفاده از مکانیزم کششی و به صورت رو به جلو در طول شبکه جریان دارند.
- مکان‌های تسهیلات ثابت و از پیش تعیین شده هستند.

۲-٤- مدل ریاضی مسأله

مدل‌سازی ریاضی مسأله مورد نظر به صورت زیر ارایه می‌گردد:

$$\begin{aligned}\textbf{Min}\ \ Z_1 = &\sum_{s=1}^{S} \widetilde{slc}_s.A_s \\ &+\sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S} \widetilde{olc}_{st}.N_{st}+\sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R}(\widetilde{Cx}_{rst}+\widetilde{aulc}_{rst}).QX_{rst} \\ &+\sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R}\widetilde{Hr}_r.Ir_{rt}+\sum_{t=1}^{T}\sum_{p=1}^{P}(\widetilde{PC}_{pt}.MP_{pt}+\widetilde{Hf}_p.If_{pt}) \\ &+\sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P}\widetilde{C}^1_{pjl}.X_{pjtl}+\sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\widetilde{C}^2_{pkl}.Y_{pktl} \\ &+\sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P}\widetilde{C}^3_{pjkl}.Z_{pjktl} \\ &+\sum_{j=1}^{J}\sum_{t=1}^{T}\sum_{p=1}^{P}\left(\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=1}^{t}X_{pjhl}-\sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}\sum_{h=1}^{t}Z_{pjkhl}\right).\widetilde{H}^1_{jp} \\ &+\sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}\widetilde{H}^2_{kp}.SUR_{pkt}\end{aligned} \tag{۱}$$

$$\textbf{Min}\ \ Z_2=\sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T}(B_{pkt}+SUR_{pkt}) \tag{۲}$$

s.t.

$$Ir_{r(t-1)}+\sum_{s=1}^{S}QX_{rst}-Ir_{rt}=\sum_{r=1}^{R}Br_{pr}.MP_{pt} \qquad \forall r,t \tag{۳}$$

$$If_{p(t-1)}+MP_{pt}+If_{pt}=\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}X_{pjtl}+\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}Y_{pktl} \qquad \forall p,t \tag{٤}$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}X_{pjtl}+\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}Y_{pktl}\le If_{pt} \qquad \forall p,t \tag{۵}$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L}X_{pjtl}-\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T}Z_{pjktl}=0 \qquad \forall p,j \tag{٦}$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L}Y_{pktl}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T}Z_{pjktl}=\sum_{t=1}^{T}\widetilde{D}_{pkt} \qquad \forall p,k \tag{۷}$$

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=1}^{t}X_{pjhl}-\sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=1}^{t}Z_{pjkhl}\le\widetilde{Q}_{pjt} \qquad \forall p,j,t\ne T \tag{۸}$$

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=1}^{t}X_{pjhl}\ge\sum_{k=1}^{K}\sum_{h=1}^{t}\sum_{l=1}^{L}Z_{pjkhl} \qquad \forall p,j,t\ne T \tag{۹}$$

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{l=1}^{L}X_{pjtl}\le\widetilde{Ca}_{jt} \qquad \forall j,t \tag{۱۰}$$

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{l=1}^{L}Y_{pktl}+\sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}Z_{pjktl}\le\widetilde{Cca}_{kt} \qquad \forall k,t \tag{۱۱}$$

$$\sum_{h=1}^{t}\sum_{l=1}^{L}Y_{pkhl}+\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=1}^{t}Z_{pjkhl}-\sum_{h=1}^{t}\widetilde{D}_{pkt}=SUR_{pkt}-B_{pkt} \qquad \forall p,k,t \tag{۱۲}$$

$$SUR_{pkt}\le\widetilde{SUR}^{max}_{pkt}.V_{pkt} \qquad \forall p,k,t \tag{۱۳}$$

$$B_{pkt}\le\widetilde{B}^{max}_{pkt}.(1-V_{pkt}) \qquad \forall p,k,t \tag{۱٤}$$

$$Ir_{rt}\le\widetilde{Qr}_{rt} \qquad \forall r,t \tag{۱۵}$$

$$If_{pt} \leq \widetilde{Qf}_{pt} \qquad \forall p,t \tag{۱٦}$$

$$\sum_{s=1}^{S} \widetilde{Qu}_{rs} \cdot QX_{rst} \leq \widetilde{Qt}_{r} \cdot \sum_{s=1}^{S} QX_{rst} \qquad \forall r,t \tag{۱۷}$$

$$\sum_{s=1}^{S} \sum_{r=1}^{R} \widetilde{Slu}_{s} \cdot QX_{rst} \geq \widetilde{Slt} \cdot \sum_{r=1}^{R} \sum_{s=1}^{S} QX_{rst} \qquad \forall t \tag{۱۸}$$

$$QX_{rst} \leq \widetilde{UBQ}X_{rst} \cdot N_{st} \qquad \forall r,s,t \tag{۱۹}$$

$$A_{s} \leq \sum_{t=1}^{T} N_{st} \qquad \forall s \tag{۲۰}$$

$$N_{st} \leq A_{s} \qquad \forall t,s \tag{۲۱}$$

$$A_{s}, N_{st}, V_{pkt} \in \{0,1\} \qquad \forall p,j,t \tag{۲۲}$$

$$QX_{rst}, Ir_{rt}, If_{pt}, MP_{pt}, X_{pjtl}, Y_{pktl}, Z_{pkjtl}, SUR_{pkt}, B_{pkt} \geq 0 \qquad \forall p,j,k,t,l \tag{۲۳}$$

در تابع هدف Z_1، عبارت اول هزینه‌های سطح تأمین‌کننده، عبارت دوم هزینه‌های سطح سفارش و عبارت‌های سوم و چهارم هزینه‌های سطح واحد را نشان می‌دهد. عبارت پنجم هزینه‌های قسمت تولیدکننده را نشان می‌دهد، بگونه‌ای که این هزینه‌ها شامل هزینه‌های تولید و انبارداری محصولات است. عبارت‌های ششم و هفتم و هشتم هزینه‌های جابجایی محصولات را بین تسهیلات مختلف را نشان می‌دهد. دو عبارت آخر هم به ترتیب هزینه‌های نگهداری موجودی را در دو بخش خرده‌فروش و مرکز توزیع نشان می‌دهد. البته این نکته باید ذکر گردد که در حالت طبیعی در قسمت خرده‌فروشی‌ها موجودی وجود ندارد و موجودی‌های این بخش شامل محصولات مازاد تحویل داده شده به این بخش‌ها است. تابع هدف Z_2 تحویل به موقع را نشان می‌دهد، بگونه‌ای که مجموع کمبود و مازاد کالای p تحویلی را در قسمت خرده‌فروشان در همه دوره‌ها کمینه می‌کند. محدودیت‌های (۳) و (٤) به ترتیب محدودیت تعادل مواد اولیه و محصولات ساخته شده را در قسمت تولیدکننده نشان می‌دهد. محدودیت (٥) تضمین می‌کند که مقدار کل کالاهای سفارش داده شده در هر دوره نباید از ظرفیت آن دوره تجاوز کند. محدودیت (٦) تعادل بین کالاهای وارد شده به مراکز توزیع و نیز کالاهای خارج شده از آن را در کل دوره برنامه‌ریزی تنظیم می‌کند و به عبارتی دیگر بیانگر این مطلب است که موجودی مراکز توزیع در پایان افق برنامه‌ریزی برابر صفر است. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که کل تقاضا در پایان افق زمانی برآورده خواهد شد. محدودیت (۸) نشان می‌دهد که اختلاف بین کالاهای وارد شده به هر مرکز توزیع و کالاهای خارج شده از آن نباید از ظرفیت آن مرکز تجاوز کند. محدودیت (۹) تضمین می‌کند که مقدار

کالای خارج شده از هر مرکز نباید از موجودی آن مرکز تجاوز کند. محدودیت‌های (۱۰) و (۱۱) به ترتیب، ظرفیت تحویل گرفتن کالا را در هر دوره برای مراکز توزیع و خرده‌فروشان نشان می‌دهد. محدودیت (۱۲) مقدار کمبود یا مازاد کالای تحویل داده شده به خرده‌فروشان را در هر دوره نشان می‌دهد. محدودیت‌های (۱۳) و (۱٤) نشان می‌دهد که در هر دوره فقط یک حالت کمبود یا مازاد کالای تحویلی می‌تواند اتفاق بیافتد و به عبارت دیگر مقدار هر دوی آن‌ها همزمان مثبت نخواهد بود. همچنین، این محدودیت‌ها حداکثر مقدار مجاز برای کمبود و مازاد کالا در هر دوره را مشخص می‌کند. محدودیت‌های (۱۵) و (۱٦) به ترتیب، ظرفیت انبار را برای مواد اولیه و محصولات در قسمت تولیدکننده در هر دوره نشان می‌دهد. محدودیت (۱۷) شرط کیفیت را در مواد اولیه خریداری شده از تأمین‌کنندگان برقرار می‌سازد. محدودیت (۱۸) مربوط به محدودیت تحویل به موقع مواد اولیه از تأمین‌کنندگان به کارخانه است. محدودیت (۱۹) مربوط به حداکثر مقدار خرید مواد اولیه است. محدودیت‌های (۲۰) و (۲۱) محدودیت‌های تمامیت[۳۸] بوده و جزء محدودیت‌های ساختاری مسأله می‌باشند. محدودیت‌های (۲۲) و (۲۳) نوع و دامنه متغیرهای به کار رفته در مسأله را مشخص می‌کند.

۳- روش حل پیشنهادی

همان‌طور که در مدل اصلی مسأله مشاهده می‌شود، اکثر پارامترهای مدل از نوع فازی هستند که آن شامل پارامترهای تابع هدف، مقادیر سمت راست و ضرایب تکنولوژیکی است، در حالیکه محدودیت‌ها، توابع هدف و متغیرهای مسأله قطعی هستند. برای حل مدل ارایه شده در این مقاله از یک رویکرد دو مرحله‌ای استفاده شده است. در مرحله اول، مدل فازی اولیه به یک مدل قطعی کمکی معادل تبدیل می‌شود. در مرحله دوم از یک روش فازی برای به دست آوردن جواب توافقی نهایی ترجیح داده شده استفاده می‌شود.

۳-۱- مدل قطعی معادل

در اینجا برای تبدیل مدل امکانی مسأله که شامل ضرایب غیردقیق هم در تابع هدف و هم در محدودیت‌ها است، به مدل قطعی معادل از روش خیمنز و همکاران[۳۹] (۲۰۰۷) استفاده شده است. روش مذکور از لحاظ محاسباتی بسیار کارامد است، زیرا خاصیت خطی بودن را حفظ می‌کند و همچنین، تعداد توابع هدف و محدودیت‌های نامساوی را افزایش نمی‌دهد. به سبب کارایی محاسباتی و سادگی در کسب داده‌ها، از توزیع فازی مثلثاتی برای مدل کردن ماهیت غیردقیق پارامترهای مبهم مسأله استفاده می‌شود. فرض کنید که $\tilde{c} = (c^p, c^m, c^o)$ یک عدد فازی مثلثی باشد، آنگاه تابع عضویت آن ($\mu_{\tilde{c}}(x)$) به صورت زیر است:

$$\mu_{\tilde{c}}(x) = \begin{cases} f_c(x) = \dfrac{x - c^p}{c^m - c^p} & \text{if} \quad c^p \le x \le c^m \\ 1 & \text{if} \quad x = c^m \\ g_c(x) = \dfrac{c^o - x}{c^o - c^m} & \text{if} \quad c^m \le x \le c^o \\ 0 & \text{if} \quad x < c^p \ \text{ or } \ x > c^o \end{cases}$$

(۲٤)

همچنین، بازه مورد انتظار (EI) و مقدار مورد انتظار (EV) از عدد فازی $\tilde{c}$ به صورت ذیل تعریف می‌شود (هیلپرن[٤٠]، ۱۹۹۲):

$$EI(\tilde{c}) = [E_1^c, E_2^c]$$

$$= \left[\int_0^1 f_c^{-1}(x)dx \, , \int_0^1 g_c^{-1}(x)dx\right] \quad (۲۵)$$

$$EV(\tilde{c}) = \frac{E_1^c + E_2^c}{2} \quad (۲۶)$$

با توجه به اینکه برای نمایش پارامترها از توزیع فازی مثلثی استفاده شده است، داریم:

$$EI(\tilde{c}) = [\frac{1}{2}(c^p + c^m), \frac{1}{2}(c^m + c^o)] \quad (۲۷)$$

$$EV(\tilde{c}) = \frac{c^p + 2c^m + c^o}{4} \quad (۲۸)$$

حال مدل برنامه‌ریزی ریاضی فازی زیر را که در آن همه پارامترها به صورت فازی تعریف شده‌اند، در نظر بگیرید:

$$\begin{aligned} &\text{Min} \quad Z = \tilde{c}\,x \\ &\text{s.t} \quad \tilde{a}_i\,x \ge \tilde{b}_i \qquad i = 1,\dots, l \\ &\qquad \tilde{a}_i\,x = \tilde{b}_i \qquad i = l+1,\dots, m \\ &\qquad x \ge 0 \end{aligned} \quad (۲۹)$$

ماهیت غیردقیق و غیرقطعی پارامترهای مسأله باعث می‌شود که ما اعداد فازی را مقایسه کنیم که البته، آن شامل دو مسأله عمده است: شدنی بودن و بهینگی، بنابراین، پاسخ به دو سؤال زیر ضروری است (خیمنز و همکاران، ۲۰۰۷):

۱) چگونگی تعریف شدنی بودن بردار تصمیم x هنگامی که محدودیت‌ها شامل اعداد فازی است.

۲) چگونگی تعریف بهینگی تابع هدف با ضرایب فازی.

مطابق با روش رتبه‌بندی خیمنز (۱۹۹۶) برای هر جفت از اعداد فازی $\tilde{a}$ و $\tilde{b}$، درجه‌ای که در آن $\tilde{a}$ از $\tilde{b}$ بزرگتر است به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\mu_M(\tilde{a}, \tilde{b}) = \begin{cases} 0 & \text{if } E_2^a - E_1^a < 0 \\ \dfrac{E_2^a - E_1^b}{E_2^a - E_1^b - (E_1^a - E_2^b)} & \text{if } 0 \in \left[E_1^a - E_2^b, E_2^a - E_1^b\right] \\ 1 & \text{if } E_1^a - E_2^b > 0 \end{cases} \quad (۳۰)$$

وقتی $\mu_M(\tilde{a}, \tilde{b}) \ge \alpha$ باشد، آنگاه گفته می‌شود که دست کم در درجه ، $\tilde{a}$ بزرگتر یا مساوی $\tilde{b}$ است و آن به صورت $\tilde{a} \ge_\alpha \tilde{b}$ نمایش داده می‌شود. با توجه به روش خیمنز و همکاران (۲۰۰۷)، بردار تصمیم $x \in \mathcal{R}$ در درجه α شدنی است اگر $min_{i=1,\dots,m}\{\mu_M(\tilde{a}_i x, \tilde{b}_i)\} = \alpha$ باشد. لذا برای محدودیت‌های مسأله (۲۹) داریم:

$$\frac{E_2^{a_i x} - E_1^{b_i}}{E_2^{a_i x} - E_1^{a_i x} + E_2^{b_i} - E_1^{b_i}} \ge \alpha \qquad i = 1, \dots, l \quad (۳۱)$$

حال با ساده‌سازی رابطه فوق داریم:

$$\left[(1-\alpha)E_2^{a_i} + \alpha E_1^{a_i}\right]x \ge \alpha E_2^{b_i} + (1-\alpha)E_1^{b_i} \quad (۳۲)$$

برای حالت تساوی نیز داریم:

$$\tilde{a} \ge_{\alpha/2} \tilde{b} \quad , \quad \tilde{a} \le_{\alpha/2} \tilde{b} \quad (۳۳)$$

که با بازنویسی رابطه فوق داریم:

$$\frac{\alpha}{2} \le \mu_M(\tilde{a}, \tilde{b}) \le 1 - \frac{\alpha}{2} \quad (۳٤)$$

جواب شدنی x^0، یک جواب بهینه قابل قبول برای مدل (۲۹) است، اگر شرط زیر صادق باشد:

$$\mu_M(\tilde{c}x, \tilde{c}x^0) \ge \frac{1}{2} \quad (۳۵)$$

از اینرو x^0 حداقل در درجه $\frac{1}{2}$ جواب بهتری را نسبت به بردارهای شدنی دیگر (با هدف کمینه‌سازی) ارایه می‌کند، همچنین داریم:

$$\tilde{c}x \geq_{1/2} \tilde{c}x^0 \tag{۳۶}$$

که با استفاده از روابط قبلی داریم:

$$\frac{E_2^{cx} - E_1^{cx^0}}{E_2^{cx} - E_1^{cx} + E_2^{cx^0} - E_1^{cx^0}} \geq \frac{1}{2} \tag{۳۷}$$

یا

$$\frac{E_2^{cx} + E_1^{cx}}{2} \geq \frac{E_2^{cx^0} + E_1^{cx^0}}{2} \tag{۳۸}$$

با لحاظ کردن روابط (۳۲)، (۳٤) و (۳۸) در مدل (۲۹)، مدل α- پارامتری آن به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\begin{aligned}
&\text{Min} \quad Z = EV(\tilde{c})\, x \\
&\text{s.t.} \\
&[(1- \ ).\, E_2^{a_i} + \quad E_1^{a_i}]x \geq \quad E_2^{b_i} + (1^{\circ} \ ).\, E_1^{b_i} \quad , \\
&\qquad\qquad\qquad\qquad i = \quad 1, \ldots, m
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&[(1-\frac{\alpha}{2}).\, E_2^{a_i} + \frac{\alpha}{2}.\, E_1^{a_i}]x \geq \frac{\alpha}{2}\, E_2^{b_i} + \\
&\qquad (1-\frac{\alpha}{2}).\, E_1^{b_i} \quad , \quad i = l+1, \ldots, m \\
&[\frac{\alpha}{2}.\, E_2^{a_i} + (1-\frac{\alpha}{2}).\, E_1^{a_i}]x \leq (1-\frac{\alpha}{2}).\, E_2^{b_i} + \\
&\qquad \frac{\alpha}{2}.\, E_1^{b_i} \quad , \quad i = l+1, \ldots, m \\
&x \geq 0
\end{aligned} \tag{۳۹}$$

مطابق با آنچه که در قسمت قبل توضیح داده شد، می‌توانیم مدل قطعی کمکی معادل مدل مسأله اصلی را به صورت فوق فرمول‌بندی کنیم، که البته مدل حاصل به صورت ذیل خواهد بود. همان‌طور که مشاهده می‌شود، تعداد محدودیت‌های مسأله کمکی معادل از تعداد محدودیت‌های مسأله اصلی بیشتر است و آن به‌خاطر اینست که هر محدودیت مساوی در مدل اصلی به دو محدودیت نامساوی در مدل کمکی معادل تبدیل شده است.

$$\begin{aligned}
\text{Min} \quad \boldsymbol{Z_1} = &\sum_{s=1}^{S} \frac{slc_s^p + 2slc_s^m + slc_s^o}{4}.\, A_s + \sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S} \frac{olc_{st}^p + 2olc_{st}^m + olc_{st}^o}{4}.\, N_{st} \\
&+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R} (\frac{cx_{rst}^p + 2cx_{rst}^m + cx_{rst}^o}{4} + \frac{aulc_{rst}^p + 2aulc_{rst}^m + aulc_{rst}^o}{4}).\, QX_{rst} \\
&+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{r=1}^{R} \frac{Hr_r^p + 2Hr_r^m + Hr_r^o}{4}.\, Ir_{rt} \\
&+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{p=1}^{P} (\frac{Pc_{pt}^p + 2Pc_{pt}^m + Pc_{pt}^o}{4}.\, MP_{pt} + \frac{Hf_p^p + 2Hf_p^m + Hf_p^o}{4}.\, If_{pt}) \\
&+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L}\sum_{j=1}^{J}\sum_{p=1}^{P} \frac{C_{pjl}^{1\ p} + 2C_{pjl}^{1\ m} + C_{pjl}^{1\ o}}{4}.\, X_{pjtl} \\
&+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} \frac{C_{pkl}^{2\ p} + 2C_{pkl}^{2\ m} + C_{pkl}^{2\ o}}{4}.\, Y_{pktl} \\
&+ \sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L}\sum_{j=1}^{J}\sum_{k=1}^{K}\sum_{p=1}^{P} \frac{C_{pjkl}^{3\ p} + 2C_{pjkl}^{3\ m} + C_{pjkl}^{3\ o}}{4}.\, Z_{pjktl} \\
&+ \sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} \frac{H_{kp}^p + 2H_{kp}^m + H_{kp}^o}{4}.\, SUR_{pkt} \\
&+ \sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} (\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=1}^{t} X_{pjhl} - \sum_{l=1}^{L}\sum_{k=1}^{K}\sum_{h=1}^{T} Z_{pjkhl}).\, \frac{H_{jp}^{1\ p} + 2H_{jp}^{1\ m} + H_{jp}^{1\ o}}{4}
\end{aligned} \tag{٤٠}$$

$$\text{Min} \quad \boldsymbol{Z_2} = \sum_{p=1}^{P}\sum_{k=1}^{K}\sum_{t=1}^{T} (B_{pkt} + SUR_{pkt}) \tag{٤١}$$

$$Ir_{r(t-1)} + \sum_{s=1}^{S} QX_{rst} - Ir_{rt} = \sum_{r=1}^{R} Br_{pr} . MP_{pt} \qquad \forall r, t \tag{۴۲}$$

$$If_{p(t-1)} + MP_{pt} + If_{pt} = \sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} X_{pjtl} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L} Y_{pktl} \qquad \forall p, t \tag{۴۳}$$

$$\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} X_{pjtl} + \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L} Y_{pktl} \le If_{pt} \qquad \forall p, t \tag{۴۴}$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L} X_{pjtl} - \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} Z_{pjktl} = 0 \qquad \forall p, j \tag{۴۵}$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L} Y_{pktl} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} Z_{pjktl} \le \sum_{t=1}^{T} (\left(1-\frac{\alpha}{2}\right).\frac{D_{pkt}^{m}+D_{pkt}^{o}}{2} + \left(\frac{\alpha}{2}\right).\frac{D_{pkt}^{p}+D_{pkt}^{m}}{2}) \qquad \forall p, k \tag{۴۶}$$

$$\sum_{t=1}^{T}\sum_{l=1}^{L} Y_{pktl} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\sum_{t=1}^{T} Z_{pjktl} \ge \sum_{t=1}^{T} (\left(\frac{\alpha}{2}\right).\frac{D_{pkt}^{m}+D_{pkt}^{o}}{2} + \left(1-\frac{\alpha}{2}\right).\frac{D_{pkt}^{p}+D_{pkt}^{m}}{2}) \qquad \forall p, k \tag{۴۷}$$

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=1}^{t} X_{pjhl} - \sum_{k=1}^{K}\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=1}^{t} Z_{pjkhl} \le \left(\alpha.\frac{Q_{pjt}^{p}+Q_{pjt}^{m}}{2} + (1-\alpha).\frac{Q_{pjt}^{m}+Q_{pjt}^{o}}{2}\right) \qquad \forall p, j, t \ne T \tag{۴۸}$$

$$\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=1}^{t} X_{pjhl} \ge \sum_{k=1}^{K}\sum_{h=1}^{t}\sum_{l=1}^{L} Z_{pjkhl} \qquad \forall p, j, t \ne T \tag{۴۹}$$

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{l=1}^{L} X_{pjtl} \le (\alpha.\frac{Ca_{jt}^{p}+Ca_{jt}^{m}}{2} + (1-\alpha).\frac{Ca_{jt}^{m}+Ca_{jt}^{o}}{2}) \qquad \forall j, t \tag{۵۰}$$

$$\sum_{p=1}^{P}\sum_{l=1}^{L} Y_{pktl} + \sum_{p=1}^{P}\sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L} Z_{pjktl} \le (\alpha.\frac{Cca_{kt}^{p}+Cca_{kt}^{m}}{2} + (1-\alpha).\frac{Cca_{kt}^{m}+Cca_{kt}^{o}}{2}) \qquad \forall k, t \tag{۵۱}$$

$$\sum_{h=1}^{t}\sum_{l=1}^{L} Y_{pkhl} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=1}^{t} Z_{pjkhl} - \sum_{h=1}^{t}\left(\left(\frac{\alpha}{2}\right).\frac{D_{pkt}^{m}+D_{pkt}^{o}}{2} + \left(1-\frac{\alpha}{2}\right).\frac{D_{pkt}^{p}+D_{pkt}^{m}}{2}\right) \le SUR_{pkt} - B_{pkt} \qquad \forall p, k, t \tag{۵۲}$$

$$\sum_{h=1}^{t}\sum_{l=1}^{L} Y_{pkhl} + \sum_{j=1}^{J}\sum_{l=1}^{L}\sum_{h=1}^{t} Z_{pjkhl} - \sum_{h=1}^{t}\left(\left(1-\frac{\alpha}{2}\right).\frac{D_{pkt}^{m}+D_{pkt}^{o}}{2} + \left(\frac{\alpha}{2}\right).\frac{D_{pkt}^{p}+D_{pkt}^{m}}{2}\right) \ge SUR_{pkt} - B_{pkt} \qquad \forall p, k, t \tag{۵۳}$$

$$SUR_{pkt} \le (\alpha.\frac{SUR_{pkt}^{\max\ p}+SUR_{pkt}^{\max\ m}}{2} + (1-\alpha).\frac{SUR_{pkt}^{\max\ m}+SUR_{pkt}^{\max\ o}}{2}).V_{pkt} \qquad \forall p, k, t \tag{۵۴}$$

$$B_{pkt} \le (\alpha.\frac{B_{pkt}^{\max\ p}+B_{pkt}^{\max\ m}}{2} + (1-\alpha).\frac{B_{pkt}^{\max\ m}+B_{pkt}^{\max\ o}}{2}).(1-V_{pkt}) \qquad \forall p, k, t \tag{۵۵}$$

$$Ir_{rt} \le (\alpha.\frac{Qr_{rt}^{p}+Qr_{rt}^{m}}{2} + (1-\alpha).\frac{Qr_{rt}^{m}+Qr_{rt}^{o}}{2}) \qquad \forall r, t \tag{۵۶}$$

$$If_{pt} \le (\alpha.\frac{Qf_{pt}^{p}+Qf_{pt}^{m}}{2} + (1-\alpha).\frac{Qf_{pt}^{m}+Qf_{pt}^{o}}{2}) \qquad \forall p, t \tag{۵۷}$$

$$\sum_{s=1}^{S}((1-\alpha).\frac{Qu_{rs}^{p}+Qu_{rs}^{m}}{2} + \alpha.\frac{Qu_{rs}^{m}+Qu_{rs}^{o}}{2}).QX_{rst} \le (\alpha.\frac{Qt_{r}^{p}+Qt_{r}^{m}}{2} + (1-\alpha).\frac{Qt_{r}^{m}+Qt_{r}^{o}}{2}).\sum_{s=1}^{S} QX_{rst} \qquad \forall r, t \tag{۵۸}$$

$$\sum_{s=1}^{S}\sum_{r=1}^{R}(\alpha.\frac{Slu_{s}^{p}+Slu_{s}^{m}}{2} + (1-\alpha).\frac{Slu_{s}^{m}+Slu_{s}^{o}}{2}).QX_{rst} \ge ((1-\alpha).\frac{slt^{p}+slt^{m}}{2} + \alpha.\frac{slt^{m}+slt^{o}}{2}).\sum_{r=1}^{R}\sum_{s=1}^{S} QX_{rst} \qquad \forall t \tag{۵۹}$$

$$QX_{rst} \le \left(\alpha.\frac{UBQX_{rst}^{p}+UBQX_{rst}^{m}}{2} + (1-\alpha).\frac{UBQX_{rst}^{m}+UBQX_{rst}^{o}}{2}\right)+.N_{st} \qquad \forall r, s, t \tag{۶۰}$$

$$A_s \le \sum_{t=1}^{T} N_{st} \qquad \forall s \tag{۶۱}$$

$$N_{st} \le A_s \qquad \forall t, s \tag{۶۲}$$

$$A_s, N_{st}, V_{pkt} \in \{0,1\} \qquad \forall p, j, t \tag{۶۳}$$

$$QX_{rst}, Ir_{rt}, If_{pt}, MP_{pt}, X_{pjtl}, Y_{pktl}, Z_{pkjtl}, SUR_{pkt}, B_{pkt} \ge 0 \qquad \forall p, j, k, t, l \tag{۶۴}$$

۳-۲ رویکرد حل فازی

رویکرد حل فازی برای مسائل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه ابتدا توسط زیمرمن[٤١] (۱۹۷۸) ایجاد شد. چندین روش مختلف برای پرداختن به مدل‌های امکانی در ادبیات مرتبط ارایه شده است (وانگ و لیانگ، ۲۰۰۵؛ اینوگوچی و رامیک[٤٢]، ۲۰۰۰؛ پارا[٤٣] و همکاران، ۲۰۰۵). در این مقاله برای حل مدل قطعی ارایه شده از روش ترابی و هسینی (۲۰۰۸) استفاده می‌شود. گام‌های روش مذکور به صورت زیر است:

گام ۱: توزیع‌های امکانی مثلثی یا ذوزنقه‌ای مناسب برای پارامترهای مسأله را تعیین و مدل مسأله را فرمول‌بندی کن.

گام ۲: با استفاده از مقدار مورد انتظار مطابق با پارامترهای غیردقیق، تابع هدف غیردقیق مدل را به تابع هدف قطعی تبدیل کن.

گام ۳: مقدار (حداقل درجه شدنی قابل قبول از بردار تصمیم) را تعیین کن و محدودیت‌های فازی مسأله را به محدودیت‌های قطعی تبدیل کن و سپس مدل قطعی کمکی معادل مسأله را فرمول‌بندی کن.

گام ٤: جواب ایده‌ال - مثبت (α-PIS) و جواب ایده‌ال - منفی (NIS-) را برای هر تابع هدف و سطح - شدنی تعیین کن.

گام ٥: تابع عضویت خطی را برای هر تابع هدف به صورت ذیل تعیین کن:

$$\mu_1(x)=\begin{cases}1 & \text{if} \quad Z_1 \le Z_1^{\alpha-Pis}\\ \dfrac{Z_1^{\alpha-Nis}-Z_1}{Z_1^{\alpha-Nis}-Z_1^{\alpha-Pis}} & \text{if} \quad Z_1^{\alpha\text{-Pis}} \le Z_1 \le Z_1^{\alpha-Nis}\\ 0 & \text{if} \quad Z_1 > Z_1^{\alpha-Nis}\end{cases}$$

(٦٥)

$$\mu_2(x)=\begin{cases}1 & \text{if} \quad Z_2 \le Z_2^{\alpha-Pis}\\ \dfrac{Z_2^{\alpha-Nis}-Z_2}{Z_2^{\alpha-Nis}-Z_2^{\alpha-Pis}} & \text{if} \quad Z_2^{\alpha\text{-Pis}} \le Z_2 \le Z_2^{\alpha-Nis}\\ 0 & \text{if} \quad Z_2 > Z_2^{\alpha-Nis}\end{cases}$$

(٦٦)

به طوری که $\mu_h(x)$ به درجه رضایت از تابع هدف hام اشاره می‌کند.

گام ٦: مدل قطعی دو هدفه معادل مسأله را با استفاده از تابع تجمعی ترابی و هسینی (۲۰۰۸) به یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط تبدیل کن. تابع تجمعی فوق به صورت زیر است:

$$\begin{aligned}\max \quad & \lambda(x)=\gamma\lambda_0+(1-\gamma).\sum_h \theta_h\mu_h(x)\\ \text{s.t} \quad & \lambda_0 \le \mu_h(x) \quad , \quad h=1,2\\ & x\in F(x) \quad , \quad \lambda_0 \text{ and } \lambda \in [0,1]\end{aligned}$$

(٦٧)

به طوری‌که $F(x)$ ناحیه شدنی شامل متغیرهای مدل قطعی معادل را مشخص می‌کند و θو به ترتیب، اهمیت تابع هدف hام و ضریب تصحیح را مشخص می‌کند. لازم به ذکر است که $_0=\min_h\{\mu_h(x)\}$ حداقل درجه رضایت از توابع هدف را نشان می‌دهد.

گام ۷: مقادیر و θ_h را مشخص کن و مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط تک هدفه مربوطه را حل کن. اگر تصمیم‌گیرنده با جواب فعلی قانع شد توقف کن، در غیر این صورت با تغییر مقادیر و (و اگر لازم باشد θ_h) و رفتن به گام ۳ جواب توافقی دیگری را ایجاد کن.

٤- نتایج محاسباتی

در این بخش برای نشان دادن اعتبار و کارایی مدل و رویکرد حل و نیز عملی بودن آن‌ها یک مثال عددی ارایه و سپس با رویکرد حل مذکور حل می‌گردد. جدول ٤ ابعاد مثال نمونه و جداول ٥ و ٦ نیز به ترتیب، منابع تولید تصادفی مجموعه داده‌ها و لیست مقدار مواد اولیه مورد نیاز برای تولید هر واحد محصول را نشان می‌دهد. برای تولید اعداد فازی مثلثی، سه نقطه حساس (محتمل‌ترین مقدار، مقدار بدبینانه و مقدار خوشبینانه) برای هر پارامتر غیردقیق تخمین زده می‌شود. برای این منظور ابتدا محتمل‌ترین مقدار هر پارامتر (c^m) به صورت تصادفی با استفاده از جدول ٥ تولید می‌شود. سپس بدون از دست دادن کلیت مسأله، با استفاده از توزیع یکنواخت دو عدد تصادفی (r_1,r_2) بین ۰٫۲ و ۰٫۸ تولید می‌شود و مقادیر بدبینانه (c^p) و خوشبینانه (c^o) از عدد فازی به صورت زیر محاسبه می‌شود (برای نمونه به پیشوایی و ترابی،۲۰۱۰؛ فلاح تفتی[44] و همکاران، ۲۰۱٤ مراجعه شود):

$$c^o = (1 + r_1)c^m \qquad (٦٨)$$

$$c^p = (1 - r_2)c^m \qquad (٦٩)$$

قبل از حل مسأله با پارامترهای فازی، ابتدا مسأله به صورت قطعی و غیرفازی در نظر گرفته شده و جواب‌های آن مورد بررسی قرار می‌گیرد (برای مقادیر پارامترها از محتمل‌ترین مقدار هر پارامتر (c^m) استفاده شده است).

اگر مسأله به صورت تک هدفه و برای تابع هدف اول (و بدون در نظر گرفتن تابع هدف دوم) حل شود، جواب بهینه برابر با «۲۰۳٤۳٤۹۰» می‌شود که به ازای این جواب تابع هدف دوم «۲۹۳۵» می‌شود. اگر مسأله به صورت تک هدفه و برای تابع هدف دوم (و بدون در نظر گرفتن تابع هدف اول) حل شود، جواب بهینه برابر با «۸۵» می‌شود که به ازای این جواب تابع هدف اول «۲۵۰۱۸۳۲۰» می‌شود. در ادامه، با استفاده از روش گام[45] یک جواب کارا برای مدل قطعی به دست آمده است، به‌گونه‌ای که مقدار تابع هدف اول برابر «۲۰٤٦۸۹۳۰» و مقدار تابع هدف دوم برابر «۸۷» است.

در ادامه، جواب‌های مدل فازی مسأله مورد بررسی قرار می‌گیرد. جداول ۷ و ۸ جواب‌های حاصل از حل مسأله را به ترتیب برای تابع هدف اول و تابع هدف دوم مدل در دو حالت قطعی و فازی به ازای پارامترهای مختلف α نشان می‌دهند. برای حل مدل‌ها از نرم‌افزار Gams 22.9.2 استفاده شده است. همانطور که در این جداول مشاهده می‌شود، در حالت فازی مقادیر تابع هدف به طور محسوسی با حالت قطعی اختلاف دارند که آن اهمیت در نظر گرفتن حالت عدم قطعیت را نشان می‌دهد. همچنین، به ازای برخی از مقادیر α مسأله نشدنی است.

جدول(٤):. ابعاد مسأله نمونه

مجموعه‌ها	تعداد
تأمین‌کننده	٤
مرکز توزیع	۳
خرده‌فروش	٤
محصول	۳
روش انتقال	۲
دوره	٥

جدول(٥):. منبع تولید تصادفی مجموعه داده‌ها

توزیع تصادفی متناظر	پارامترها	توزیع تصادفی متناظر	پارامترها	توزیع تصادفی متناظر	پارامترها
U(150,300)	$S\tilde{U}R_{pkt}^{\max}$	U(600,800)	$\tilde{C}_{pk}^{2}$	U(1000,1500)	$sl\tilde{c}_{s}$
U(500,700)	$\tilde{B}_{pkt}^{\max}$	U(200,400)	$\tilde{C}_{pjk}^{3}$	U(100,200)	$ol\tilde{c}_{st}$
U(4000,6000)	$Q\tilde{r}_{rt}$	U(50,100)	$\tilde{H}_{jp}^{1}$	U(400,600)	$C\tilde{x}_{rst}$
U(500,700)	$Q\tilde{f}_{pt}$	U(50,100)	$\tilde{H}_{kp}^{2}$	U(0.1,0.2).Cx_{r}	$aul\tilde{c}_{rst}$
U(0.01,0.03)	$Q\tilde{u}_{rs}$	N(100,10)	$\tilde{D}_{pkt}$	U(50,100)	$H\tilde{r}_{r}$
U(0.03,0.05)	$Q\tilde{t}_{r}$	U(500,800)	$C\tilde{a}_{jt}$	U(500,700)	$P\tilde{c}_{pt}$
U(0.90,0.95)	$Sl\tilde{u}_{s}$	U(300,700)	$Cc\tilde{a}_{kt}$	U(50,100)	$H\tilde{f}_{p}$
U(0.90,0.95)	$Sl\tilde{t}$	U(800,1300)	$\tilde{Q}_{pjt}$	U(300,500)	$\tilde{C}_{pj}^{1}$
U(600,800)	$UBQX_{rst}$				

جدول (٦): لیست مقدار مواد اولیه مورد نیاز برای تولید هر واحد محصول

محصولات	مواد اولیه							
	١	٢	٣	٤	٥	٦	٧	٨
١	٢	٣	١	٠	١	٣	٠	١
٢	١	٠	١	٢	١	٠	٢	٢
٣	٢	١	١	٠	٢	٢	١	٢

جدول(٧):. نتایج حاصل از حل مدل تک هدفه به ازای تابع هدف اول

	حالت فازی	حالت قطعی
	مقدار تابع هدف اول	مقدار تابع هدف اول
٠,١	–	
٠,٢	–	
٠,٣	–	
٠,٤	١٧٥٤٠٣٦٠	
٠,٥	١٦٩٩١٣١٠	٢٠٣٤٣٤٩٠
٠,٦	١٧٥٦٤٢٤٠	
٠,٧	١٨١٥٢٩٨٠	
٠,٨	١٨٧٥٨٩٩٠	
٠,٩	–	

جدول(٨):. نتایج حاصل از حل مدل تک هدفه به ازای تابع هدف دوم

	حالت فازی	حالت قطعی
	مقدار تابع هدف دوم	مقدار تابع هدف دوم
٠,١	–	
٠,٢	–	
٠,٣	–	
٠,٤	٥٢	
٠,٥	٠	٨٥
٠,٦	٠	
٠,٧	٣١	
٠,٨	١٥٦	
٠,٩	–	

جدول(٩):. نتایج حاصل از حل مدل دو هدفه

	حالت فازی (ترابی و هسینی، ٢٠٠٩)		حالت قطعی (یک جواب کارا با استفاده از روش گام)	
α	Z_1	Z_2	Z_1	Z_2
٠,٤	١٩٠١٧٩٨٠	٥٢		
٠,٥	١٧٠٢١٣١٠	٧٣		
٠,٦	١٧٥٧٣٢٣٠	٦٣	٢٠٤٦٨٩٣٠	٨٧
٠,٧	١٨١٣٠٦٦٠	٨٤		
٠,٨	١٨١٩٤٧٢٠	٨٨		

در ادامه، رویکرد ارائه شده در بخش ۳ برای به دست آوردن جواب‌های مدل دو هدفه فازی مسأله اتخاذ شده است. در این مثال θ= (0.8,0.2) قرار داده شده است، در حالیکه تصمیم‌گیرنده می‌تواند متناسب با ترجیحات خود، مقدار مورد نظر خود را انتخاب کند. در صورت کثرت تعداد توابع هدف، از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری همچون AHP می‌توان برای به دست آوردن وزن‌های توابع استفاده کرد.

جواب‌های حاصل از حل مدل‌های قطعی و فازی در جدول ۹ نشان داده شده است. البته حالت فازی به ازای ۰,٤ = و های مختلفی حل شده است (برای سایر هایی که ذکر نشده مسأله نشدنی است).

همان‌طور که در جدول (۹) مشاهده می‌شود، به ازای $\alpha =$ ۰,٤ مقادیر توابع هدف در حالت‌های قطعی و فازی تقریباً با هم برابر است، ولی به ازای های دیگر اختلاف قابل توجه‌ای بین مقادیر توابع هدف در حالت‌های قطعی و فازی وجود دارد که آن اهمیت لحاظ کردن عدم قطعیت در مدل را نشان می‌دهد. جدول ۱۰ تحلیل حساسیت روی پارامترهای مسأله را نشان می‌دهد. با بررسی جدول ۱۰ مشاهده می‌شود که در حالت $\alpha =$ ۰,٤ توابع هدف نسبت به تغییر حساسیت بالایی از خود نشان می‌دهند، در حالت $\alpha =$ ۰,٥ حساسیت کمتر است و در حالت‌های دیگر، تغییر تقریباً بی‌تأثیر است.

جدول (۱۰): نتایج نهایی حاصل از حل مدل به ازای پارامترهای مختلف

		Z_1	Z_2			Z_1	Z_2
	۰,٤	۱۹۰۱۷۹۸۰	٥۲		۰,٤	۱۷٥۷۳۲۳۰	٦۳
	۰,٥	۱۷۳۹۱۷٦۰	٥۲		۰,٥	۱۷٥۷۲۹۸۰	٦۳
۰,٤	۰,٦	۱۷٤۳۲۹٦۰	٦۷	۰,٦	۰,٦	۱۷٥۷۲٦۰۰	٦۳
	۰,۷	۱۷٤۹۰۳۷۰	۹۱		۰,۷	۱۷٥۷۲٥٤۰	٦۳
	۰,۸	۱۹۰۳٦٦۳۰	٥۲		۰,۸	۱۷٥۷۲۸۷۰	٦۳
	۰,٤	۱۷۰۲۱۳۱۰	۷۳		۰,٤	۱۸۱۳۰٦٦۰	۸٤
	۰,٥	۱۷۰۲۰۰۰۰	۷۲		۰,٥	۱۸۱۳۱٦۰۰	۸٤
۰,٥	۰,٦	۱۷۰۱۹۸۹۰	۷۲	۰,۷	۰,٦	۱۸۱۳۰۳۸۰	۸٤
	۰,۷	۱۷۰٤۳۳۰۰	۸۰		۰,۷	۱۸۱۳۰٥٥۰	۸٤
	۰,۸	۱۷۰۲۰۰۰۰۰	۷۲		۰,۸	۱۸۱۳۰۰۰۰	۸٤

٥- نتیجه‌گیری

در این مقاله، به مدل‌سازی جریان مواد و محصولات در شبکه زنجیره تأمین در حالت عدم قطعیت پرداخته شده است. به منظور بررسی تحقیقات گذشته، ابتدا معیارهای مرتبط با مسأله طراحی شبکه زنجیره تأمین در قالب پنج دسته "تعریف مسأله و مفروضات"، "محدودیت‌ها"، "خروجی‌ها"، "اهداف" و "روش حل" طبقه‌بندی شده است که البته هر کدام از این معیارها نیز شامل چندین

زیرمعیار هستند. سپس یک سیستم کدگذاری برای این معیارها ارایه و در ادامه، مقالات و تحقیقات صورت گرفته در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین در قالب این مدل کدگذاری شده است. همچنین، حالت‌های مختلف عدم قطعیت تشریح و با توجه به ماهیت مسأله، مدل برنامه‌ریزی امکانی برای مدل کردن مسأله انتخاب گردیده است. در حین فرآیند مدل‌سازی، هر سه قسمت تأمین، تولید و توزیع در مدل لحاظ شده است. مدل ارایه شده در این مقاله مدل جامعی بوده که مباحث هزینه، کیفیت، تحویل به موقع، ساختار چند سطحی، چند دوره‌ای، چند کالایی زنجیره و همچنین زودکرد و دیرکرد محصولات تحویلی را در بر می‌گیرد. برای حل مدل از یک رویکرد دو مرحله‌ای استفاده شده، به‌گونه‌ای که ابتدا مدل امکانی مسأله به یک مدل قطعی معادل تبدیل و سپس با استفاده از یک رویکرد تعاملی، جواب‌های نهایی حاصل شده است. برای نشان دادن اعتبار و عملی بودن مدل و همچنین، رویکرد حل یک مثال عددی ارایه شده است. این مثال، هم با یک روش قطعی و هم با رویکرد حل پیشنهادی برای حالت‌های تک هدفه و چند هدفه و به ازای پارامترهای مختلف حل و جواب‌های نهایی مقایسه و بررسی شده است. همچنین، به ازای برخی پارامترهای مسأله تحلیل حساسیت صورت گرفته است. با بررسی جواب‌های به دست آمده مشاهده می‌شود که به ازای برخی پارامترهای مسأله، جواب‌های قطعی و فازی بسیار به هم نزدیک هستند، در حالی‌که به ازای برخی پارامترهای دیگر، اختلاف معناداری بین جواب‌ها وجود دارد که آن اهمیت بکارگیری مباحث عدم قطعیت در فرآیند مدل‌سازی را نشان می‌دهد. در انتها پیشنهاداتی برای تحقیقات آتی به صورت ذیل ارایه می‌گردد:

- غیرقطعی در نظر گرفتن متغیرهای مدل (علاوه بر پارامترها).
- به کارگیری یکپارچه برنامه‌ریزی امکانی با برنامه‌ریزی انعطاف‌پذیر در مسأله.
- در نظر گرفتن برخی تصمیمات سطح عملیاتی در مسأله.
- لحاظ کردن انبارهای موقت در مدل.
- اضافه کردن حالت‌های برگشت‌پذیری به مسأله.
- استفاده از روش‌های فراابتکاری برای حل مدل در صورت بزرگتر شدن ابعاد مسأله و پیچیدگی زمانی.

منابع

عرب، رحمت. (۱۳۸۹). ارایه یک مدل ریاضی زمانبندی در شبکه‌های توزیع و حل آن با یک روش فراابتکاری کارآمد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران.

غفاری بالانجی، شیوا. (۱۳۸۹). طراحی شبکه زنجیره توزیع با هدف حداقل هزینه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران.

Amiri, A. (2006). Designing a distribution network in a supply chain system: Formulation and efficient solution procedure. *European Journal of Operational Research*, 171(2), 567-576.

Baykasoglu, A., & Gőken, T. (2008). A review and classification of fuzzy mathematical programs. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 19(3), 205-229.

Bellman, R.E., & Zadeh, L.A. (1970). Decision making in a fuzzy environment, *Management Science*, 17, 141–164.

Bidhandi, H. M., & Mohd Yusuff, R. (2011). Integrated supply chain planning under uncertainty using an improved stochastic approach. *Applied Mathematical Modelling*, 35(6), 2618-2630.

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

Degraeve, Z., & Roodhooft, F. (2000). A mathematical programming approach for procurement using activity based costing. *Journal of Business Finance & Accounting*, 27(1-2), 69-98.

Dubois, D., Fargier, H., & Fortemps, P. (2003). Fuzzy scheduling: modelling flexible constraints vs. coping with incomplete knowledge, *European Journal of Operational Research*, 147, 231–252.

Dullaert, W., Bräysy, O., Goetschalckx, M., Raa, B., & Center, A. (2007). Supply chain (re) design: Support for managerial and policy decisions, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 7(2), 73-92.

El-Sayed, M., Afia, N., & El-Kharbotly, N. (2010). A stochastic model for forward–reverse logistics network design under risk *Computers & Industrial Engineering*, 58, 423–431.

Eskigun, E., Uzsoy, R., Preckel, P.V., Beaujon, G., Krishnan, S., & Tew, J.D. (2005). Outbound supply chain network design with mode selection, lead times and capacitated vehicle distribution centers, *European Journal of Operational Research*, 165(1), 182-206.

Eskigun, E., Uzsoy, R., Preckel, P.V., Beaujon, G., Krishnan, S., & Tew, J.D. (2006). Outbound Supply Chain Network Design with Mode Selection and Lead Time Considerations. *Wiley Periodicals, Naval Research Logistics*, 54, 282-300.

Fallah-Tafti, A., Sahraeian, R., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Moeinipour, M. (2014). An interactive possibilistic programming approach for a multi-objective closed-loop supply chain network under uncertainty. *International Journal of Systems Science*, 45(3), 283-299.

Farahani, R. Z., & Elahipanah, M. (2008). A genetic algorithm to optimize the total cost and service level for just-in-time distribution in a supply chain. *International Journal of Production Economics*, 111(2), 229-243.

Heilpern, S. (1992). The expected value of a fuzzy number. *Fuzzy Sets and Systems*, 47(1), 81-86.

Inuiguchi, M., & Ramík, J. (2000). Possibilistic linear programming: a brief review of fuzzy mathematical programming and a comparison with stochastic programming in portfolio selection problem. *Fuzzy Sets and Systems*, 111(1), 3-28.

Jayaraman, V., & Pirkul, H. (2001). Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities, *European Journal of Operational Research*, 133, 394-408.

Jimenes, M. (1996). Ranking fuzzy numbers through the comparison of its expected intervals. *International Journal of Uncertainty Fuzziness and Knowledge Based Systems*, 4, 379-388.

Jimenez, M., Arenas, M., & Bilbao, A. (2007). Linear programming with fuzzy parameters: an interactive method manufacturer . *Applied Mathematical Modelling*, 36(6), 2762-2776.

Peidro, D., Mula, J., Poler, R., & Verdegay, J. L. (2009). Fuzzy optimization for supply chain planning under supply, demand and process uncertainties . *Fuzzy Sets and Systems*, 160(18), 2640-2657.

Pishvaee, M., & Torabi, S.A. (2010). A possibilistic programming approach for closed-loop supply chain network design under uncertainty *Fuzzy Sets and Systems*, 161(20), 2668-2683.

Syarif, A., Yun, Y.S., & Gen M. (2002). Study on multi-stage logistic chain network: a spanning tree-based genetic algorithm approach , *Computers & Industrial Engineering*, 43, 299-314.

Tavakkoli-Moghaddam, R., Ramtin, F., Golmohammadi, V., & Asghari Torkamani, E. (2010). Allocation within distribution network design problem with flexibility demand , *Proceeding of World Congress on Engineering*, Vol. 3, June 30 - July 2, 2010, London, U.K.

Torabi, S.A., & Hassini, E. (2008). An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning .*Fuzzy Sets and Systems*, 159(2), 193-214.

Torabi, S.A., & Hassini, E. (2009). Multi-site production planning integrating procurement and distribution plans in multi-echelon supply chains: an interactive fuzzy goal programming approach , *International Journal of Production Research*, 47(19), 5475˚5499.

Tsiakis, P., & Papageorgiou, L.G. (2008). Optimal production allocation and distribution supply chain networks , *International Journal of Production Economics*, 111, 468˚483.

resolution . *European Journal of Operational Research*, 177(3), 1599-1609.

Klibi, W., Martel, A., & Guitouni, A. (2010). The design of robust value-creating supply chain networks: a critical review . *European Journal of Operational Research*, 203(2), 283-293.

Lee, B.K., Kang, K.H., & Lee Y.H. (2008). Decomposition heuristic to minimize total cost in a multi-level supply chain network , *Computers & Industrial Engineering*, 54, 945˚959.

Liang, T. F. (2008). Fuzzy multi-objective production/distribution planning decisions with multi-product and multi-time period in a supply chain .*Computers & Industrial Engineering*, 55(3), 676-694.

Lu, Z., & Bostel, N. (2007). A facility location model for logistics systems including reverse flows: The case of remanufacturing activities , *Computers & Operations Research*, 34, 299˚323.

Mula, J., Poler, R., & Garcia, J.P. (2006). MRP with flexible constraints: a fuzzy mathematical programming approach , *Fuzzy Sets and Systems* 157, 74˚97.

Olivares-Benitez, E., González-Velarde, J.L., & Ríos-Mercado, R.Z. (2012). A supply chain design problem with facility location and bi-objective transportation choices , *TOP*, 20(3), 729-753.

Parra, M. A., Terol, A.B., Gladish, B.P., & Rodriguez Uria, M. (2005). Solving a multiobjective possibilistic problem through compromise programming . *European Journal of Operational Research*, 164(3), 748-759.

Paksoy, T., Pehlivan, N. Y., & Özceylan, E. (2012). Application of fuzzy optimization to a supply chain network design: A case study of an edible vegetable oils

Wang, W., Fung, R.Y.K., & Chai, Y. (2004). Approach of just-in-time distribution requirements planning for supply chain management”, *International Journal of Production Economics*, 91, 101-107.

Wang, R. C., & Liang, T. F. (2005). Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning . *International Journal of Production Economics*, 98(3), 328-341.

Zegordi, S.H., & Eskandarpour, M. (July 2010). Reverse logistic network design with fuzzy demand of return products , The *10th Iranian Conference on Fuzzy Systems*, Shahid Beheshti University.

Zimmermann, H. J. (1978). Fuzzy programming and linear programming with several objective functions . *Fuzzy Sets and Systems*, 1(1), 45-55.

پی‌نوشت

1- Dullaert
2- Klibi
3- Flexibility
4- Pishvaee & Torabi
5- Bellman & Zadeh
6- Flexible Mathematical Programming
7- Randomness
8- Mula
9- Stochastic Programming Approach
10- El-Sayed
11- Epistemic Uncertainty
12- Possibilistic Programming Approach
13- Wang & Liang
14- Dubois
15- Baykasoglu & Göçken
16- Torabi & Hassini
17- Farahani & Elahipanah
18- Activity-Based Costing
19- Total Cost Of Ownership
20- Just-In-Time
21- Syarif
22- Chen & Lee
23- Eskigun
24- Wang
25- Amiri
26- Peidro
27- Liang
28- Bidhandi
29- Lee
30- Jayaraman & Pirkul
31- Olivares
32- Tsiakis & Papageorgiou
33- Zegordi & Eskandarpour
34- Lu & Bostel
35- Tavakoli Moghadam
36- Fallah-Tafti
37- Degraeve & Roodhooft
38- Integrality Constraint
39- Jimenes
40- Heilpern
41- Zimmermann
42- Inuiguchi & Ramík
43- Parra
44- Fallah-Tafti
45- Step