

بهینه سازی الکوی توزیع و پشتیبانی در زنجیره تأمین سامانه آماد و پشتیبانی در شرایط پویا و عدم قطعیت

امید ویسی^۱، جعفر حیدری^{۲*}، جعفر رزمی^۳، محمدصادق سنگری^۴

چکیده

تحقیقات انجام شده در زمینه تصمیمات مدیریت لجستیک و برنامه‌ریزی توزیع، نگرش یکسانی به مؤلفه‌های مکانیابی و موجودی نظیر مقدار سفارش، مقدار ذخیره اطمینان مراکز ذخیره‌سازی موجودی و جوابگویی به تقاضاها دارند. هدف اصلی این مقاله تصمیم‌گیری در مسائل لجستیک نظامی است که در آن ضمن مکان‌یابی مراکز پشتیبانی، هزینه‌های مسئله حداقل و زمان رسیدن محموله‌ها به مناطق پیش‌بینی‌شده نیز حداقل گردد و در نتیجه سطح سرویس‌دهی که منجر به رضایتمندی یگان‌ها می‌شود حداکثر گردد. در این مقاله به مسئله مکان‌یابی و موجودی در یگان‌های پشتیبانی در شرایط پویا و عدم قطعیت در قالب برنامه‌ریزی ریاضی سه سطحی پرداخته شده است. در این مقاله پشتیبانی مناطق به‌عنوان سطح اول و پشتیبانی یگان‌ها یا مراکز توزیع به‌عنوان سطح دوم و یگان‌ها به‌عنوان سطح سوم در نظر گرفته شده است، مسئله تحقیق تعیین تعداد و مکان استقرار واحدهای پشتیبانی (انبارها) و سطح موجودی آنها و تخصیص یگان‌ها یا واحد پشتیبانی مستقیم (به‌صورت سیار یا ثابت) جهت تأمین کالاها مورد نیاز می‌باشد به‌طوری‌که ضمن کاهش هزینه کل در کوتاهترین زمان ممکن برای چابکی، پشتیبانی به شکل مطلوب‌تر و علمی‌تری با افزایش رضایتمندی انجام‌گیرد و بتواند تمام واحدها در هر دوره زمانی به‌طور کامل با سطح قابل قبول تحت پوشش قرار دهد مدل ارائه شده چند کالایی و چند دوره‌ای تحت شرایط عدم قطعیت در میزان تقاضا و هزینه‌ها می‌باشد. در ادامه مدل پیشنهادی با رویکرد فازی با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی محدودیت‌شناسی را با ارائه‌ی شاخص فازی جدید *Me* که حالت توسعه‌یافته‌ی شاخص اعتبار است با نرم‌افزار GAMS ۲۴ حل شده است .

واژه‌های کلیدی: لجستیک، مکان‌یابی - موجودی، پویایی، عدم قطعیت

۱. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه تهران، تهران، ایران، Omid_vte@yahoo.com
۲. دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول) j.heydari@ut.ac.ir
۳. استاد، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۴. استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی (فومن)، دانشگاه تهران، تهران، ایران

مقدمه

پاسخگویی سریع به نیاز متغیر موجود و انعطاف‌پذیری لازم مرتبط با آن از مسائل مهم در سازمان‌ها و صنایع پیچیده امروزی است. تصمیم‌گیری درباره نحوه به‌کارگیری تسهیلات در شبکه و تخصیص و طرح تحویل سفارش‌ها را می‌توان از تصمیم‌های مهم استراتژیک در این حوزه دانست.

سازمان نظامی برای شرکت در رزم دارای اجزایی است که در گفتمان رایج سامانه‌های رزم نامیده می‌شود. سامانه رزم عبارت است از ترکیبی از نفرات، تجهیزات و روش‌هایی که برای انجام عمل مخصوصی در هم ادغام شده‌اند. در حقیقت برای اجرای عملیات تاکتیکی نه سامانه اصلی (شامل: سامانه فرماندهی، کنترل و ارتباط؛ سامانه اطلاعات؛ سامانه مانور؛ سامانه مهندسی؛ سامانه توپخانه صحرائی؛ سامانه هوا/زمین؛ سامانه جنگ الکترونیکی؛ سامانه توپخانه پدافند هوایی و سامانه پشتیبانی خدمات رزمی) فعالیت دارند. هرکدام از این سامانه‌های اصلی خود شامل سامانه‌های جزئی نیز هستند. (گات زمینی؛ ۱۳۷۸: ۷۳) سامانه پشتیبانی خدمات رزمی^۱ به اقداماتی که یگان‌های رزمی درزمینهٔ آماد و ترابری، خدمات بهداری، امور مالی، قضایی، جایگزینی، نگهداری، امور غیرنظامیان و سایر خدمات لجستیکی دیگر ارائه می‌کنند، اطلاق می‌شود (رستمی، ۱۳۸۶: ۲۱).

مطالعه جنگ‌های اخیر که شمایی اولیه از جنگ‌های آینده است، نشان می‌دهد که سامانه پشتیبانی خدمات رزمی (قسمت‌های پشتیبانی‌کننده)، علیرغم وسعت و پراکندگی بسیار زیاد میدان نبرد، نیروها را در خارج از میدان رزم حمایت می‌کنند. فرماندهان، طراحان و کارشناسان ستادی بزرگ از فواصل دور قادر به طرح نقشه‌های عملیاتی و اجرای آن در کوتاه‌ترین مدت خواهند بود. در جنگ‌های آینده - که ماهیتی کوتاه‌مدت دارند- سرعت واکنش یا سرعت کنش و واکنش، موضوعی سرنوشت‌ساز بوده که می‌تواند ابعاد دیگر جنگ را تحت تأثیر خود قرار دهد (سلامی؛ ۱۳۸۷: ۱۲۰).

توسعه روزافزون فضای رقابتی موجب شده سازمان‌ها برای بقای خود تلاشی چشمگیر در جهت بهینه‌سازی زنجیره تأمین خود به‌کارگیرند تا توان پاسخگویی به نیازهای متنوع و به‌روز را

در حداقل زمان و با صرف حداقل هزینه داشته باشند. از این رو، می‌توان مدیریت زنجیره تأمین را یکی از حوزه‌های بسیار مهم و کاربردی مدیریت استراتژیک نظامی دانست. اتخاذ رویکرد کل‌نگر و سیستمی و نیز لحاظ کردن عوامل استراتژیک در تصمیمات زنجیره تأمین می‌تواند ضامن بقای درازمدت سازمان در فضای رقابتی امروزی باشد. در مسائل واقعی برنامه‌ریزی در زنجیره‌های تأمین اغلب اهدافی متضاد همچون حداقل سازی هزینه کل زنجیره، حداکثر سازی ارزش کل خرید مواد و قطعات، حداقل سازی اقلام معیوب، کمینه کردن تأخیر در تحویل اقلام و ... معمولاً مدنظر قرار می‌گیرند. این موضوع پیچیدگی مدل‌های برنامه‌ریزی زنجیره تأمین را موجب شده است.

لجستیک، بخشی از فرآیندهای زنجیره تأمین است که مسئول برنامه‌ریزی، اجرا و کنترل کارا و اثربخش جریان مستقیم و معکوس مواد و کالا، انبارش آن‌ها، ارائه خدمات و انتقال اطلاعات مرتبط بین مبدأ و محل مصرف کالا یا خدمت باهدف برآورده نمودن نیاز مشتری است. (کاردر و زنجیرانی فراهانی، ۱۳۹۶)

به‌طور کلی مدیریت لجستیک نظامی، مدیریت یکپارچه مجموعه فعالیت‌هایی است که جهت تأمین، انبارش، حمل‌ونقل، تعمیر و نگهداری کالاهای ضروری، در راستای حمایت و پشتیبانی نیروهای جنگی صورت می‌پذیرد. کار متخصصین لجستیک نظامی برقرار کردن توازن مناسبی میان انجام این فعالیت‌ها به نحوی است که با کمترین میزان مصرف منابع بتوان به سطح مورد انتظاری از پشتیبانی عملکردی دست یافت (عیسایی، ۱۳۹۰).

تصمیم‌گیری در زمینه جایابی تسهیلات عنصری حیاتی در برنامه‌ریزی استراتژیک برای دامنه گسترده‌ای از سازمان‌های لجستیکی و شرکت‌های خصوصی و دولتی است. هزینه‌های بسیار زیاد ساخت تسهیلات و پروژه‌های مکان‌یابی یا مکان‌یابی مجدد تسهیلات را به سرمایه‌گذاری بلندمدت مبدل کرده است.

موضوع مکان‌یابی و موجودی در شبکه‌های لجستیکی، با تمرکز بر میانی ارائه‌شده و نگاه به تصمیمات موجود در سطوح مختلف بتوان به سیستمی منعطف‌تر و چابک‌تر نزدیک شد. سپس، در بخش انتهایی تلاش خواهد شد تا با ارائه و توسعه مدلی ریاضی یک مسئله واقعی از لجستیک نظامی ارائه گردد.

تشریح مسئله

هر فعالیت اجرایی بدون حمایت و پشتیبانی خوب از آن موفق نخواهد شد و این در همه حوزه‌ها اعم از تجاری یا نظامی مورد توجه می‌باشد در راستا حوزه نظامی نیز از این قاعده مستثنی نبود و هرگونه فعالیت یا عملیاتی نظامی بدون پشتیبانی به نتیجه قابل قبول نخواهد رسید، پشتیبانی واحدهای نظامی نیز با توجه به حجم بالا و گستردگی و تنوع مأموریت‌ها از پیچیدگی زیادی برخوردار می‌باشد و این پیچیدگی‌های به علت محیط پویا و غیرقطعی واقعی در فضای جنگ‌های امروز نیز پیچیده‌تر شده است بنابراین هدف اصلی این مقاله تصمیم‌گیری در مسائل لجستیک نظامی است. مدل شامل تصمیم‌گیری در مورد محل‌های استقرار مراکز پشتیبانی واحدهای عملیاتی در زنجیره تأمین سامانه آماد و پشتیبانی می‌باشد که در آن باید هزینه‌های مسئله حداقل و زمان رسیدن محموله‌ها به مناطق پیش‌بینی شده نیز حداقل گردد و همچنین حداقل سطح سرویس که منجر به موفقیت و افزایش رضایتمندی افراد می‌گردد حداکثر گردد. به طوری که در حداقل زمان ممکن کالا به یگان‌های عملیاتی در جهت نیل به چابکی و یکپارچگی در زنجیره تأمین ارائه گردد. نتایج و دستاوردهای این تحقیق برای حلقه‌های زنجیره تأمین سه سطحی که شامل پشتیبانی مناطق، پشتیبانی تیپ و یگان‌ها می‌باشد در این مدل موجب افزایش سطح خدمات پشتیبانی از یگان‌ها در کمترین زمان ممکن و با کمترین هزینه و بالاترین سطح رضایتمندی در مراکز پشتیبانی و در نتیجه دستیابی به مزیت رقابتی نسبت به دشمن را سبب می‌گردد.

با توجه به فضای غیرقطعی حاکم بر مسئله نظریه مجموعه‌های فازی برای مواجهه با عدم قطعیت مورد استفاده قرار گرفته است و دلیل این انتخاب این است که اولاً در بسیار از مسائل واقعی داده‌های تاریخی کافی برای پارامترهای دارای عدم قطعیت وجود ندارد، بنابراین بندرت می‌توان توزیع درستی برای پارامترهای نامعین به دست آورد دوماً در طراحی لجستیک نظامی تحت شرایط عدم قطعیت، عدم قطعیت پارامترها از طریق برنامه‌ریزی تصادفی مبتنی بر سناریو تعداد زیاد سناریوها جهت بیان عدم قطعیت می‌تواند به مشکلات و چالش‌های محاسباتی منجر شود.

پیشینه تحقیق

تصمیم‌گیری در ارتباط با مدیریت زنجیره تأمین و آنالیزهای لجستیک می‌تواند به سه سطح

استراتژیک، تدبیری (تاکتیکی) و عملیاتی تقسیم گردد به طوری که این سطوح به ترتیب شامل سه تصمیم‌گیری مهم در زمینه مکان‌یابی، موجودی و شبکه توزیع می‌باشند (دبیات و همکاران، ۲۰۱۴) و (مکس و کیف، ۲۰۰۷). حال زمانی یک سیستم بهینه می‌تواند رخ دهد که تمامی این عناصر به طور همزمان در نظر گرفته شوند. این در حالی است که برخی از مطالعات صورت گرفته در ادبیات، این سطوح را به صورت جداگانه در نظر گرفته‌اند؛ برای مثال (امیری، ۲۰۰۶) (داسکین، ۲۰۰۵) و (جانز و همکاران، ۱۹۸۵) (وی و یانگ، ۲۰۰۴) روی مسئله موجودی تمرکز کردند.

پرل و سیریسوپونسلیپ در سال ۱۹۹۸ اولین تحقیق بر روی یکپارچه‌سازی مدل تصمیم‌گیری ترکیبی مکان‌یابی و موجودی و حمل‌ونقل را انجام داده است، اما این مدل با استفاده از آزمایش‌ها عددی اعتبارسنجی نشده بود (پرل و سیریسوپونسلیپ، ۱۹۹۸). مقاله دیگر در این زمینه در سال ۱۹۹۸ است که یک تعادل بین تصمیمات مکان‌یابی، موجودی و حمل‌ونقل در طراحی شبکه توزیع ایجاد نموده است که برخلاف مقاله قبلی با مثال عددی حل شده است (جایارمان، ۱۹۸۸). نوزیک و ترنکوئیست یک مطالعه موردی در صنعت اتومبیل را مورد مطالعه خود قرار داده و اثر هزینه موجودی اطمینان بر مکان‌یابی مراکز توزیع را آنالیز کرده است (نوزیک و ترنکوئیست، ۱۹۹۸). یک شبکه زنجیره دوسطحی برای مکان‌یابی مراکز توزیع تعادل بین زمان سفارش و موجودی اطمینان توسط سوريجان و همکاران در سال ۲۰۰۷ در نظر گرفته شده است. اوزسن و همکاران در سال ۲۰۰۸ مسئله مکان‌یابی عمده‌فروشان ظرفیت دار را با ادغام ریسک که در مقالات قبلی مطرح نشده بود، در مقاله خود بررسی نموده است که می‌تواند نه محذب و نه مقعر باشد. یانگ و همکاران در سال ۲۰۱۱ اثر تصمیمات مکان‌یابی مراکز توزیع بر سودهای حاشیه‌ای زنجیره را مورد مطالعه قرار داده است.

اگرالی و همکاران در سال ۲۰۱۲ یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد ص حیح مختلط برای مکان‌یابی موجودی با ظرفیت نامحدود برای تسهیلات ارائه داده است. باراهونا و جنسن در سال ۱۹۹۸، ژانگ و هو در سال ۲۰۰۵ مدل‌های مکان‌یابی-موجودی یکسانی را با ظرفیت‌های محدود و نامحدود بسط و گسترش داده‌اند. علاوه بر محدودیت ظرفیت موجودی، محدودیت میزان سفارش نیز در این مقالات لحاظ شده است که باعث نزدیک‌تر شدن مدل به دنیای واقعی شده است.

برخی از مطالعات در زمینه‌ی عدم قطعیت در زنجیره تأمین چند سطحی با در نظر گرفتن جریان چند محصولی توسط تسیاسی و همکاران در سال ۲۰۰۱ ارائه شده است. در این مدل، هدف پیدا کردن ظرفیت و مکان تسهیلات جدید و بهترین جریان کالا در شبکه بود تا هزینه‌های کل مورد انتظار حداقل شود. لیاوو در سال ۲۰۰۹ یک مدل توسعه‌یافته در زنجیره تأمین را بررسی می‌کنند که در آن تقاضای مشتری غیرقطعی می‌باشد؛ و در آن‌ها ذخیره اطمینان برای پاسخ به نوسانات تقاضا در نظر گرفته‌اند. یکی از مطالعات موفق میراندا و گریدو در سال ۲۰۰۸ می‌باشد که توسعه مدل مکان‌یابی موجودی خود در سال ۲۰۰۴ است. مسئله شامل یک زنجیره تأمین سه سطحی با در نظر گرفتن کارخانه، عمده‌فروش و مشتری است که در آن مکان مراکز توزیع و میزان سفارش عمده‌فروشان با توجه به سطح سرویس موردنظر تعیین می‌شود. تقاضا احتمالی است و از توزیع نرمال پیروی می‌کند. همچنین میراندا و گریدو در سال ۲۰۰۹ و ژین هوو جین در سال ۲۰۰۷ مسئله مکان‌یابی-موجودی را با تقاضای غیرقطعی بررسی کرده‌اند.

سجادی و همکاران در سال ۲۰۱۶ یک زنجیره تأمین سه سطحی را مورد بررسی قرار می‌دهند که در آن علاوه بر تقاضا، مدت‌زمان تحویل نیز احتمالی می‌باشد. نوآوری مقاله استفاده از رویکرد صف برای به دست آوردن مقدار سفارش سالانه، خرید و کمبود و میانگین موجودی در شرایط پایدار است و درنهایت بر اساس نتایج حاصل از آنالیز صف مسئله مکان‌یابی موجودی فرموله شده است.

با استفاده از روش‌های مشابه، ماهار و همکاران در سال ۲۰۰۹ اولین شبکه ۴ سطحی را که شامل تأمین‌کننده، عمده‌فروش مرکزی، چندین فروشگاه و گره‌های تقاضا می‌شود مورد بررسی قرار داده است. در این مقاله پیدا کردن نقاط بهینه فروشگاه‌ها برای تأمین تقاضای احتمالی گره‌ها با توجه به کمینه کردن هزینه‌های مکان‌یابی، انتقال، موجودی و کمبود موردتوجه پژوهشگران می‌باشد. فیروزی و همکاران در سال ۲۰۱۳ تخفیف مقداری را به‌عنوان یک سیاست موجودی و سیلوا و گائو در سال ۲۰۱۳ هزینه‌های تکمیل موجودی را در مرکز توزیع ادغام کرده است. ملو و همکاران در سال ۲۰۰۶ عملکرد مدل مکان‌یابی موجودی پویا را از چندین جنبه از جمله ساختار شبکه توزیع، مدیریت موجودی، تخصیص مجدد پویای تسهیلات و فرصت‌های مطالعاتی آتی ارزیابی و پیشنهاد نموده‌اند. در این تحقیق تصمیمات تخصیص و

موجودی نسبت به زمان تغییر می‌کند که در تحقیقات گذشته به صورت ایستا در نظر گرفته می‌شد. همچنین هینوجوسا و همکاران در سال ۲۰۰۸ مدل جایارامان در سال ۱۹۹۸ را گسترش داده و میزان سفارش را در محیطی پویا به دست آورده است. دیابات و همکاران ۲۰۰۹ سیاست موجودی را مرور پیوسته، ظرفیت تسهیلات را نامحدود و تقاضا را قطعی در نظر گرفته‌اند. همچنین جریان تک‌محصولی و میزان سفارش محدود می‌باشد. هزینه‌های لحاظ شده در تابع هدف شامل هزینه مکان‌یابی، نگهداری موجودی، موجودی اطمینان، سفارش دهی، سطح سرویس و هزینه‌های حمل‌ونقل است. ویجک و همکاران در سال ۲۰۱۲ و شوندی و بزرگی در سال ۲۰۱۲ یک مدل مکان‌یابی موجودی را با تقاضای پواسون و فازی بررسی نموده‌اند. مسئله اصلی تصمیم‌گیری این است که تصمیم‌گیرندگان عموماً با پارامترهای غیرقطعی مواجه می‌شوند که ممکن است در دنیای واقعی تغییر کند و یا به دلیل نبودن اطلاعات به‌طور دقیق قابل محاسبه نباشند. در مقاله دیگر مسئله مکان‌یابی - موجودی با در نظر گرفتن تقاضای فازی بررسی شده است و مدل جدید و روش حل برای رسیدن به جواب عملی ارائه شده است (شوندی و بزرگی، ۲۰۱۲). مقاله سجادی و داوود پور در سال ۲۰۱۲ نیز همانند مقاله قبل است با این تفاوت که در مقاله سجادی و داوود پور جریان کالا چند محصولی است.

در اکثر مقاله‌های مطالعه شده هدف حداقل نمودن هزینه کل بوده است که این هزینه واحد از اجزای مختلفی تشکیل شده است که به تصمیمات مدل بستگی دارد؛ بنابراین هدف اکثر مقاله‌ها تعیین پیکربندی شبکه با حداقل هزینه کل است. مطالعات لندکی تصمیمات قیمت‌گذاری را با دیگر تصمیمات زنجیره تأمین هماهنگ کرده و مدل‌های ماکزیم سود را بررسی می‌کنند. کایا و همکاران در سال ۲۰۱۶ مسئله‌ی قیمت‌گذاری، موجودی و مکان‌یابی را در یک زنجیره تأمین حلقه بسته بررسی کرده‌اند. هدف به دست آوردن مکان بهینه تسهیلات است در حالی که جریان بهینه از میان آن‌ها عبور کند. همچنین آن‌ها از سیاست قیمت‌گذاری منطقه‌ای استفاده نموده و قیمت بهینه کالاهای جدید را به دست آورده‌اند. تقاضا قطعی است. یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط ارائه شده که به دلیل پیچیدگی حل با استفاده از روش‌های دقیق، از الگوریتم‌های فرا ابتکاری برای حل آن استفاده شده است. مطالعات دیگر با در نظر گرفتن تابع هدف ماکزیم سازی مقاله‌ی احمدی جاوید و همکاران در سال ۲۰۱۵ است. هدف از این مقاله مطالعه مسئله مکان‌یابی-موجودی به همراه ماکزیم سازی سود

در یک زنجیره تأمین چند محصولی همراه با تقاضای حساس به قیمت است. مدل به صورت برنامه‌ریزی غیرخطی مختلط عدد صحیح فرموله و برای حل آن از الگوریتم آزادسازی لاگرانژ در دو حالت ظرفیت دار و بدون ظرفیت استفاده شده است. شن در سال ۲۰۰۷ وشو و همکاران در سال ۲۰۱۲ مسئله مکان‌یابی موجودی همراه با ماکزیمم کردن سود را بررسی کرده‌اند اما تقاضای وابسته به قیمت در آن لحاظ نشده است. فرانسیسکو تاپیا آبدادر سال ۲۰۱۸ یک مسئله مکان‌یابی موجودی را در حالت پایه و به صورت دوره‌ای در یک شبکه توزیع ارائه نموده است و ژو دای و همکاران در سال ۲۰۱۸ یک مدل زنجیره تأمین مکان‌یابی موجودی برای کالاها فاسدشدنی با محدودیت‌های فازی ارائه نموده و با دو الگوریتم ابتکاری حل نمودند. که مطالعات انجام شده در قالب جدول یک ارائه شده است.

جدول ۱: پیشنهاد تحقیق مکان‌یابی-موجودی

روش حل	تصمیم‌گیری مدل			رویکرد مدل سازی	هدف		سیاست موجودی		ظرفیت تسهیلات		پارامتر تقاضا			جریان کالا		دوره زمانی		سطوح شبکه لجستیک					مقاله‌ها
	مسیریابی	موجودی	تخصیص		هزینه	سود	مرور پیوسته	مرور دورهای	نامحدود	محدود	فازی	قطعی	احتمالی	چند کالا	تک کالا	چند دورهای	تک دورهای	تأمین	باز تولید	جمع آوری	توزیع	تولید	
روش حل دقیق		✓	✓	MINLP	✓			✓			✓				✓		✓				✓		مقاله حاضر (۲۰۱۹)
فرا ابتکاری شبیه‌سازی تیرید	✓	✓		MINLP	✓				✓			✓		✓							✓	✓	Nova Indah Saragih et al (۲۰۱۹)
روش تجزیه بندرز تعمیم یافته	✓	✓		MLP	✓				✓		✓			✓		✓					✓		Zheng et al (۲۰۱۹)
آزادسازی لاگرانژ و محدودیته		✓	✓	MINLP	✓		✓				✓			✓	✓		✓				✓		Diabat et al (۲۰۱۸)
الگوریتم فرا ابتکاری (ژنتیک هیبریدی و جستجوی هارمونی هیبریدی)		✓		MILP	✓				✓	✓			✓			✓					✓		Zhuo Dai et al (۲۰۱۸)

روش حل دقیق		✓	✓	MINLP	✓			✓			✓			✓				✓		Savadkoohi, et al, (۲۰۱۸)
ازادسازی لاگرانژ	✓	✓		MINLP	✓			✓				✓	✓					✓	✓	Rafie-Majd et al (۲۰۱۸)
روش حل دقیق		✓	✓	MINLP	✓			✓			✓			✓						Zahiri et al (۲۰۱۸)
روش حل دقیق		✓		MILP	✓			✓		✓				✓						Taipa et al (۲۰۱۸)
روش حل دقیق		✓		MINLP		✓		✓		✓		✓		✓					✓	Mahmoudi et al (۲۰۱۷)
فرا ابتکاری				MILP	✓				✓				✓		✓		✓	✓	✓	Kaya, & Urek, (۲۰۱۶)
الگوریتم فرا ابتکاری		•	•	MINLP	✓									✓		✓		✓	✓	Asl Najafi et al (۲۰۱۵)
ازادسازی لاگرانژ		✓	✓	MINLP	✓		✓			✓				✓		✓	✓			Mirano et al (۲۰۱۴)
لاگرانژ دومرحله‌ای		✓	✓	MINP	✓						✓					✓		✓		Diabat.a (۲۰۱۳)
حل دقیق بر مبنای شاخه و حد		✓	✓	MINLP	✓				✓			✓					✓			Berman et al (۲۰۱۲)

بهبود سازی الگوی توزیع و پشتیبانی در زنجیره تأمین... / ۹۱

ابتکاری زنجیر		✓	✓	MINP	✓				✓				✓	✓				✓		Liao et al(۲۰۱۱)
		✓	✓						✓						✓	✓				Silva(۲۰۱۱)
فرا ابتکاری	✓	✓	✓	MICP	✓						✓			✓	✓			✓		Javidi ahmad(۲۰۱۰/)
الگوریتم فرا ابتکاری (جستجوی ممنوعه)		✓	✓	MINLP	✓					✓			✓		✓				✓	Melo(۲۰۰۹)
الگوریتم لاگرانژ و الگوریتم ابتکاری		✓	✓	MINLP	✓				✓		✓			✓	✓				✓	Diabat, et al(۲۰۰۹)
تکنیک آزاد سازی لاگرانژ		✓	✓	NLP	✓			✓					✓		✓				✓	Shen,max(۲۰۰۹)
روش دقیق و ابتکاری	✓	✓	✓	MILP	✓					✓		✓	✓		✓					Garrido et al(۲۰۰۸)
الگوریتم فرا ابتکاری		✓	✓		✓						✓		✓	✓					✓	Tatoko &ben Yosef(۲۰۰۵)
الگوریتم تقریبی		✓	✓		✓					✓		✓							✓	Gabor&omren(۲۰۰۴)
		✓	✓	MINLP	✓				✓		✓		✓		✓				✓	Mirana&Garrido(۲۰۰۴)
آزاد سازی لاگرانژ		✓	✓	MINLP	✓				✓			✓		✓	✓				✓	Daskin(۲۰۰۲)
الگوریتم فرا ابتکار ی		✓	✓	NLP	✓					✓			✓		✓				✓	Tsiakis et al(۲۰۰۱)

روش شناسی مسئله

تحقیق پیش رو از نظر نوع کاربردی از نظر روش یک تحقیق نظری و تحلیلی ریاضی است. در این مقاله یک مدل ریاضی طراحی می‌گردد که بر اساس مطالعات کتابخانه‌ای (مرور ادبیات و تحقیقات پیشین و مطالعه موردی) انجام می‌پذیرد. همچنین تجزیه و تحلیل داده‌ها در نرم افزار GAMS انجام شده است.

تعریف مساله

فرماندهی آماد و پشتیبانی در مناطق شش‌گانه نژاجا یگان‌های است که لجستیک نظامی همه یگان‌های نیروی زمینی ارتش ج.ا.ایران را در استان‌های مختلف به عهده دارد. تأمین مواد غذایی (برنج، آرد، قند، چای و ...) و وسایل شخصی (شامل پوشاک، وسایل بهداشتی)، کلیه سازوبرگ نظامی انفرادی و آماده‌سازی و پشتیبانی تجهیزات مهندسی رزمی و تعمیر و تجهیز خودروهای نظامی، پشتیبانی جنگ‌افزار و مهمات در مناطق مختلف نیروی زمینی ارتش وظیفه آماد و پشتیبانی است. همه آمادگاه‌ها و زاغه‌های مهماتی نیز زیر نظر آماد و پشتیبانی اداره می‌شوند. بر اساس آخرین تغییرات در ساختار و سازمان هریک از مناطق به‌صورت مستقل وظیفه پشتیبانی از تیپ‌ها و یگان‌های مستقر در منطقه خود را بر عهده‌دارند؛ بنابراین همان‌طور که ما در مدل طراحی نموده‌ایم مدل در سه سطح پشتیبانی مناطق، پشتیبانی مستقیم (تیپ) و یگان‌ها جزء به‌عنوان مصرف‌کننده طراحی شده است. که یگانها کالاها و مواد و مهمات مصرفی خود را از پشتیبانی‌ها دریافت می‌نمایند.

در اینجا با توجه به ساختار همگون پشتیبانی مناطق ما برای مثال نمونه یکی از آن‌ها را انتخاب نمودیم که دارای چندین انبار (K) و چند تیپ که هرکدام دارای مراکز توزیع (j) متفاوت بوده و آن نیز چند یگان (i) را پشتیبانی می‌نمودند به طوری که چند نوع کالا با عمر و انقضای متفاوت بود باید به دست مصرف‌کننده نهایی که یگان جزء که گردان می‌باشد در حداقل زمان ممکن با بالاتریت سطح رضایتمندی و کمترین هزینه پشتیبان نماییم پارمترهای مدل نیز بر اساس داده‌های واقعی در حوزه آماد و پشتیبانی زمینی بر اساس نظر کارشناسان خبره استخراج گردید.

در نهایت برای اینکه مدل کاربردی تر بوده و واقعی تر باشد، مدل را غیر قطعی در نظر گرفته و هزینه‌ها و تقاضاها در مأموریت‌ها به عنوان پارامتر غیرقطعی و به صورت فازی در نظر گرفته شده است. همان‌طور که اشاره گردید هدف این مسئله کمینه سازی زمان وهزینه و

بیشتر نمودن سطح رضایتمندی در تدارک و پشتیبانی یگان در مأموریت ها و به صورت چند دوره ای در نظر گرفته شده است.

فرضیات مدل

۱. مسئله در چندین دوره برنامه ریزی می شود.
۲. تعداد انبارهای موقت که می توانند در یک دوره فعال باشد محدود است.
۳. بعضی از اقلام داری محدودیت زمانی در رسیدن به مقصد هستند.
۴. موجودی اولیه در ابتدای دوره زمانی صفر است.
۵. هر یگان کلیه درخواست خود را از یک مرکز دریافت می کند.
۶. سطح رضایتمندی و وزن مربوط به آن توسط خبرگان در حوزه آماد و پشتیبانی داده می شود.
۷. در این سیستم لجستیکی چندین کالا وجود دارد.

مدل ریاضی مسئله

مدل ریاضی مسئله مکان یابی موجودی در سامانه آماد و پشتیبانی با توجه به مفروضات ارائه شده، بصورت زیر فرمول بندی می شود.

مجموعه ها به شرح زیر تعریف می شوند.

k	مکان های بالقوه پشتیبانی مناطق $k \in \{1, \dots, K\}$
j	مکان های بالقوه پشتیبانی تیپ (مراکز توزیع) $(DC) \{1, \dots, j\}$
i	اندیس یگان ها دریافت کننده خدمات پشتیبانی $i \in \{1, \dots, I\}$
n	سطوح ظرفیت $n \in \{1, \dots, N\}$
p	(کالاها) $p \in \{1, \dots, P\}$
t, r	دوره زمانی $t, r \in \{1, \dots, T\}$
w	تاریخ انقضای محصول $w \in \{1, \dots, W = \max\{LF_p\}\}$

پارامترها مدل به شرح زیر می باشند

\widehat{GU}_{kpn}	هزینه ثابت ایجاد پشتیبانی k با ظرفیت n برای اختصاص یک واحد کالای p
$\widehat{F}u_{jpn}$	هزینه ثابت ایجاد مرکز توزیع DC_j با ظرفیت n برای ذخیره سازی کالای p

$\bar{P}u_{jkp}$	هزینه حمل و نقل هر واحد کالای p بین پشتیبانی کننده k و DC_j در دوره t
$\bar{C}u_{ijp}$	هزینه حمل و نقل هر واحد کالای p بین DC_j و یگان i در دوره t
σ_{jpt}	هزینه ثابت سفارش دهی از کالای p در DC_j در دوره t
\tilde{h}_{jpt}	هزینه نگهداری هر واحد موجودی از کالای p برای دوره t در مرکز توزیع j
$\bar{O}d_{pt}$	هزینه هر واحد از کالای p که در دوره t فاسد می شود
$\bar{S}C_{ipt}$	هزینه هر واحد کمبود تقاضای برآورده نشده برای کالای p برای مشتری i در دوره t
Cd_{jnp}	ظرفیت DC_j در سطح n برای کالای p در دوره t
TT	زمان کل رساندن کالاها به یگان ها
LT_{kp}	زمان بارگیری کالای p از پشتیبانی k
RT_{kjp}	زمان طی کردن حمل کالای p از پشتیبانی k به j
OT_{jpt}	حد بالای زمان رسیدن کالای p به مرکز توزیع j در دوره t
OTT_{ipt}	حد بالای زمان رسیدن کالای p به مرکز توزیع i در دوره t
ε_p^*	نرخ مطلوب از میزان رضایتمندی یگان به ازای هر کالا بر اساس نظر خیره
φ_{ipt}	وزن اهمیت کالای p در گره های i در دوره های زمانی t
Cm_{knp}	ظرفیت پشتیبانی کننده k در سطح n برای کالای p در دوره t
\bar{D}_{ipt}	تقاضای یگان i برای کالای p در دوره t
LF_p	مدت زمان نگهداری کالای p
M	عدد بزرگ

متغیرهای مسئله:

TC	هزینه کل شبکه زنجیره تامین
Z_{kpn}	در صورتی که انبار پشتیبانی مناطق k با سطح ظرفیت n که برای تامین کالای p ایجاد گردد یک، در غیر این صورت صفر
U_{jpn}	اگر DC_j با ظرفیت n برای ذخیره سازی کالای p ایجاد شود یک، در غیر این صورت صفر
Y_{kjp}	اگر DC_j به پشتیبانی منطقه k برای دریافت کالای p تخصیص داده شود یک، در غیر این صورت، صفر
X_{jip}	اگر یگان i به DC_j برای دریافت کالای p تخصیص داده شود یک، در غیر این صورت صفر
Q_{kjpt}^w	ارسال مقدار سفارش کالای p با طول عمر باقیمانده w که از پشتیبانی کننده k به مرکز توزیع i در دوره t
qs_{jiprt}^w	ارسال مقدار سفارش کالای p با طول عمر باقیمانده w که در دوره r دریافت می شود به یگان i در دوره t
ro_{jp}	باز سفارش کالای p در DC_j
I_{jpt}^+	مقدار موجودی مثبت کالای p در DC_j در پایان دوره t (که منقضى نشده است)

مقدار کمبود کالای p از تقاضای مشتری i در DC_j در پایان دوره t I_{jip}^-
 اگر سطح موجودی کالای p در DC_j کمتر از مقدار باز سفارش در دوره t است یک، در غیر این صورت a_{jpt} صفر.
 مقدار سفارش مورد کالای p در DC_j که در ابتدای دوره r دریافت شده است و در پایان دوره t منقضی EXI_{jprt} شده است

مدل ریاضی پیشنهادی

با استفاده از پارامترهای بالا، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی^۱ پیشنهاد شده به شرح زیر ارائه گردیده است

$$Min TT = \sum_k \sum_j \sum_i \sum_p \sum_w \sum_t (Q_{kjpt}^w LT_{kp} + Y_{kjp} RT_{kjp} + X_{jip} RT_{jip} + qS_{jip}^w LT_{jp}) \quad (1)$$

$$Min TC = \sum_{k,n,p} Gu_{knp} \cdot Z_{knp} + \sum_{j,n,p} Fu_{jpn} \cdot U_{jpn} + \sum_{j,p,t} I_{jpt}^+ \cdot \tilde{h}_{jpt} + \sum_{i,j,p,t} I_{jip}^- \cdot SC_{ipt} + \sum_{j,p,t} a_{jpt} \cdot \tilde{O}_{jpt} + \sum_{j,p,r,t} \tilde{O}d_{pt} \cdot EXI_{jprt} + \sum_{k,j,p,t} \sum_{w=1}^{lf_p} Q_{kjpt}^w \cdot Pu_{jkp} + \sum_{i,j,p,r} \sum_{w=1}^{LF_p} qS_{jip}^w \cdot Cu_{ijp} \quad (2)$$

$$Max R = \sum_j \sum_i \sum_p \sum_w \sum_t \sum_r \varphi_{ipt} \left(\frac{qS_{jip}^w}{D_{ipt}} \right) \quad (3)$$

St:

$$\sum_j X_{ijp} = 1 \quad \forall i, p \quad (4)$$

$$\sum_k Y_{jkp} \leq 1 \quad \forall i, p \quad (5)$$

$$X_{ijp} \leq \sum_n U_{jpn} \quad \forall i, j, p \quad (6)$$

۱. Mixed integer Nonlinear programming (MINLP)

$$Y_{jkp} \leq \sum_n Z_{kpn} \quad \forall j, k, p \quad (۷)$$

$$\sum_n U_{jpn} \leq ۱ \quad \forall j, p \quad (۸)$$

$$\sum_n Z_{knp} \leq ۱ \quad \forall k, p \quad (۹)$$

$$X_{ijp} \geq \sum_n U_{jpn} \quad \forall i = j, p \quad (۱۰)$$

$$\sum_n Z_{knp} \times \sum_n U_{jpn} = Y_{jkp} \quad \forall j = k, p \quad (۱۱)$$

$$\sum_k \sum_{w=1}^{LF_p} Q_{kjpr}^w + I_{jp,r-1}^+ \leq \sum_n U_{jpn} \cdot Cd_{jpn} \quad \forall j, p, r \quad (۱۲)$$

$$\sum_j \sum_{w=1}^{LF_p} Q_{kjpr}^w \leq \sum_{n=1}^N Z_{knp} \cdot Cm_{knp} \quad \forall k, p, r \quad (۱۳)$$

$$qs_{jiprt}^w \leq M \cdot X_{ijp} \quad \forall i, j, p, r, t, 1 \leq w \leq LF_p \quad (۱۴)$$

$$Q_{kjpr}^w \leq M \cdot Y_{jkp} \quad \forall k, j, p, r, 1 \leq w \leq LF_p \quad (۱۵)$$

$$\sum_{r=1}^t \sum_{w=1}^{LF_p} q s_{jiprt}^w + I_{jip,t}^- \geq D_{ipt} \cdot X_{ijp} \quad \forall i, j, p, t \quad (۱۶)$$

$$\sum_{r=1}^t \sum_{k=1}^K \sum_{w=1}^{LF_p} Q_{kjpr}^w - \sum_{i=1}^I \sum_{r=1}^t \sum_{w=1}^{LF_p} \sum_{c=1}^t q s_{jiprc}^w - \sum_{r=1}^t \sum_{c=1}^t EXI_{jprc}^+ = I_{jpt}^+ \quad \forall j, p, t \quad (۱۷)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=r}^T qs_{jiprt}^w \leq \sum_{k=1}^K Q_{kjpr}^w \quad \forall j, p, r, w \quad (۱۸)$$

$$I_{jp,t-1}^+ - ro_{jp} + 1 \leq M \cdot (1 - a_{jpt}) \quad \forall j, p, t \quad (۱۹)$$

$$ro_{jp} - I_{jp,t-1}^+ \leq M \cdot a_{jpt} \quad \forall j, p, t \quad (۲۰)$$

$$\sum_{r=t}^t \sum_{k=1}^K \sum_{w=1}^{LF_p} Q_{kjpr}^w \leq M \cdot a_{jpt} \quad \forall j, p, t \quad (۲۱)$$

$$EXI_{jprt} = \sum_{k=1}^K Q_{kjpr}^{w=t-r+1} - \sum_{i=1}^I \sum_{c=r}^t qs_{jiprc}^{w=t-r+1} \quad \forall j, p, 1 \leq r \leq t \leq t \quad (۲۲)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{t=r+w}^T qs_{jiprt}^w = 0 \quad \forall j, p, 1 \leq w \leq LF_p, 1 \leq r \leq T \quad (۲۳)$$

$$\sum_j w_{ipt} \left(\frac{qs_{jiprt}^w}{D_{ipt}} \right) \geq \varepsilon_p^* \quad \forall i, p, r, t, w \quad (۲۴)$$

$$\sum_k \sum_w (Q_{kjpt}^w LT_{kp} + Q_{kjpt}^w RT_{kjp}) \leq OT_{jpt} \quad \forall j, p, t \quad (۲۵)$$

$$\sum_j \sum_w (qs_{jiprt}^w RT_{jip} + qs_{jiprt}^w LT_{ip}) \leq OTT_{ipt} \quad \forall i, p, t \quad (۲۶)$$

$$Z_{kpn}, U_{jpn}, Y_{jkp}, X_{ijp}, a_{jpt}, X_{jt} \in \{0, 1\} \quad (۲۷)$$

$$Q_{kjpt}^w, qs_{jiprt}^w, ro_{jp}, I_{jip,t}^-, I_{jpt}^+, EXI_{jprt}, RS_j, \geq 0 \quad (۲۸)$$

توضیحات مدل

تابع هدف (۱) باهدف به حداقل رساندن زمان کل سفر بین گره‌ها و زمان‌های بارگیری کالاها می‌باشد و تابع هدف (۲) مینیمم کردن هزینه کل شبکه زنجیره تأمین، از جمله هزینه استقرار انبارهای پشتیبانی منطقه، هزینه‌های راه‌اندازی مراکز توزیع، هزینه‌های نگهداری، هزینه‌های کمبود، هزینه‌های سفارش دهی، هزینه انقضا، هزینه حمل‌ونقل کالاها از پشتیبانی منطقه به DCها (پشتیبانی مستقیم)، هزینه حمل‌ونقل کالاها از مراکز توزیع (DC) به یگان‌ها می‌باشد، تابع هدف (۳) نرخ میزان رضایتمندی از رسیدن کالاها به نقطه پایانی در تمامی دوره‌های زمانی را حداکثر می‌کند.

محدودیت‌ها (۴) و (۵) تضمین می‌کند برای هر مرکز توزیع و هر یگان تنها یک منبع تخصیص داده شود در واقع، هر یگان باید به یک پشتیبانی مستقیم اختصاص داده شود و به همین ترتیب، هر پشتیبانی مستقیم باید به یک پشتیبانی منطقه اختصاص داده شود محدودیت‌ها (۶) و (۷) اطمینان حاصل شود که هر یگان یا مرکز توزیع را می‌توان به مرکز توزیع یا پشتیبانی منطقه اختصاص داده‌شده در صورتی که این تسهیل قبلاً باز شده باشد. محدودیت‌ها (۵) و (۹) اطمینان حاصل می‌کنند که هر یک از تسهیلات (نقاط بالقوه) را می‌توان در یکی از ظرفیت‌های احتمالی آن باز کرد. محدودیت‌ها (۱۰) و (۱۱) اطمینان حاصل می‌کنند که امکانات در همان محل نامزدی باید باهم در صورتی که قبلاً باز شده باشند، به هم متصل شوند. با توجه به استراتژی تک یافتن منابع در زنجیره تأمین و تأثیر قابل توجهی از هزینه حمل‌ونقل بر کل هزینه‌ها، فرضی منطقی است که امکانات در همان مکان به یکدیگر اختصاص داده می‌شود. محدودیت‌ها (۱۲) و (۱۳) مربوط به ظرفیت‌های مراکز توزیع و پشتیبانی مناطق می‌باشند. معادله (۱۲) تضمین می‌کند که موجودی حداکثر ممکن از یک مرکز توزیع نمی‌تواند از ظرفیت خود در هر دوره فراتر رود. به‌طور مشابه، معادله (۱۳) تضمین می‌کند که حداکثر مقدار ممکن موجود در پشتیبانی منطقه و ارسال‌شده توسط یک پشتیبانی منطقه نباید از مقداری موجود قرار داده‌شده در آن در هر دوره تجاوز کند. محدودیت‌ها (۱۴) و (۱۵) به این معنی است که یگان‌ها کالاها را از پشتیبانی مستقیم دریافت می‌کنند اگر آن‌ها قبلاً به هم متصل شده باشند و همچنین پشتیبانی مستقیم دریافت کالا از پشتیبانی منطقه می‌تواند داشته باشد اگر آن‌ها قبلاً به هم متصل شده باشند.

محدودیت (۱۶) بیان می‌کند که تعداد کل کالای دریافت شده توسط یک یگان و کمبود آن بزرگ‌تر مساوی تقاضای آن است. با توجه به ارزش حیاتی کالاها و هزینه‌های مربوط به کمبود آن، مدل در مورد مقدار ارضای مطلوب تقاضای یا کمبود احتمالی تصمیم می‌گیرد محدودیت (۱۷) معادله تعادل موجودی تجمعی است. در یک مرکز توزیع معین، مقدار موجودی در پایان هر دوره برابر با مجموع اقلام دریافت شده از اولین دوره تا پایان این دوره منهای مجموع اقلام ارسال شده برای یگان‌ها و منقضی شده در این دوره‌ها است. محدودیت (۱۸) مقدار ارسال کالاها از مرکز توزیع به یگان‌ها نمی‌تواند در هر دوره از ورودی آن بیشتر باشد. محدودیت‌ها (۱۹) - (۲۱) ارتباط بین موجودی در دسترس و وضعیت سفارش در یک دوره معین را بیان می‌کنند. به طوری که اگر سطح موجودی در ابتدای یک دوره معین کمتر از نقطه سفارش باشد، در این دوره ($ajpt = 1$) می‌شود. محدودیت‌ها (۲۲) و (۲۳) به فاسد شدن و یا غیرقابل استفاده شدن کالاها می‌پردازند. محدودیت (۲۲) تعداد سفارش‌ها دریافت شده که در پایان هر دوره فاسد و یا غیرکاربردی می‌شود را محاسبه می‌کند درحالی که محدودیت (۲۳) تخصیص کالاها تنها زمانی مجاز است که منقضی نشده باشد. محدودیت (۲۴) تضمین می‌کند نرخ رضایتمندی از مقدار کالاهای تحویلی به یگان‌ها در هر دوره زمانی بایستی، حداقل میزان رضایتمندی مطلوب بر اساس نظر خبره را تأمین کند. محدودیت (۲۵) و (۲۶) محدودیت پنجره زمانی برای رسیدن محصولات به گره‌های مرکز پشتیبانی مستقیم و یگان‌ها را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۷) و (۲۸) نوع متغیر تصمیم را نشان می‌دهد.

خطی سازی معادلات غیر خطی

همان‌طور که مشاهده می‌شود، مدل ارائه بالا غیرخطی است با توجه به کالاها از ضرب دو متغیر باینری که در محدودیت (۱۱) وجود دارد برای تشکیل یک همگرایی خطی از چنین شرایط غیرخطی، از روش زیر می‌تواند استفاده شود. معادله غیرخطی (۲۹) را به صورت زیر در نظر بگیرید:

$$y = X_1 \cdot X_2 \cdot \dots \cdot X_n \quad (29)$$

که در آن متغیرهای X_1, X_2, \dots, X_n باینری هستند که معادله خطی معادله بالا به شرح زیر است:

$$X_1 + X_2 + \dots + X_n \geq n.y \quad (30)$$

$$y \geq X_1 + X_2 + \dots + X_n - (n - 1) \quad (31)$$

بر این اساس، محدودیت غیر خطی (۴-۱۱) را می‌توان با دو معادله خطی به صورت زیر جایگزین کرد:

$$\sum_n Z_{knp} + \sum_n U_{jpn} \geq 2Y_{jkp} \quad \forall j = k, p \quad (32)$$

$$\sum_n Z_{kpn} + \sum_n U_{jpn} \leq 1 + Y_{jkp} \quad \forall j = k, p \quad (33)$$

محاسبه عدم قطعیت:

طبیعت پیچیده و پویای زنجیره‌های تأمین بخصوص در حوزه لجستیک نظامی و افق بلندمدت برنامه‌ریزی این‌گونه مسائل در سطح استراتژیکی مانند طراحی شبکه، درجه بالایی از عدم قطعیت را به نتیجه تصمیمات این مسائل اعمال می‌کند. این موضوع به‌طور قابل توجهی عملکرد کل زنجیره تأمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. میزان عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله طراحی شبکه، به دلیل سختی کنترل و تخمین میزان و کیفیت برگشتی‌ها افزایش می‌یابد. برای مثال تقاضا به‌عنوان یک پارامتر، از عوامل زیادی تأثیر می‌پذیرد که کمبود دانش درباره رفتار هر یک از آنان موجب عدم قطعیت تقاضای برآورد شده است. سایر پارامترهای مسئله مانند انواع هزینه‌ها و ظرفیت نیز کم‌وبیش شرایطی مشابه پارامتر تقاضا دارند؛ بنابراین با توجه به ضعف دانش ما در شناخت عوامل تأثیرگذار و مکانیسم و میزان تأثیر آن بر پارامترهای مسئله موردبررسی، اکثر این پارامترها می‌توانند از عدم قطعیت قابل توجهی برخوردار باشند. از طرفی همان‌طور که در بالا نیز ذکر شد با توجه به تغییر پارامترها در طول زمان و همچنین افق زمانی بلندمدت تخمین پارامترها که در مسئله استراتژیکی مانند طراحی شبکه می‌تواند در حدود پنج سال یا بیشتر باشد، استفاده از الگوی (توزیع) تاریخی پارامترها با فرض وجود کافی و مطمئن داده‌های تاریخی سودمند نیست. البته این نکته نیز قابل ذکر است که برای برخی پارامترها ممکن است هیچ داده تاریخی موجود نباشد. لذا با توجه به دسته‌بندی ارائه‌شده برای عدم قطعیت در بخش مرور ادبیات، می‌توان نتیجه گرفت که عدم قطعیت موجود در پارامترهای مسئله مورد مطالعه از نوع عدم قطعیت معمول کسب‌وکار و عدم قطعیت شناختی می‌باشد. در این حلت برای برآورد پارامترهای دارای عدم قطعیت، معمولاً تا حد ممکن اطلاعات و داده‌های

مرتبط با پارامترهای موردنظر جمع‌آوری شده و سپس با استفاده از نظرات میدانی خبرگان در مورد حدود و شکل تغییرات پارامترهای موردنظر مورد مطالعه، تصمیم‌گیری می‌شود.

بنابراین، یافتن توزیع‌های احتمال برای این پارامترهای غیرقطعی مشکل و حتی غیرممکن است. متعاقباً، در چنین شرایطی، ما با پارامترهای غیرقطعی همراه با عدم قطعیت دانش (عدم قطعیتی که از کمبود دانش در ارتباط با مقادیر دقیق ناشی می‌شود) مواجه خواهیم بود. عملاً، جهت تخمین این پارامترهای غیردقیق، ناچاریم بر داده‌های حاصل از قضاوت تصمیم‌گیرنده‌ها (به عبارتی کارشناسان و افسران آمادی) تکیه کنیم. طبیعتاً، این داده‌های حاصل از قضاوت، بر اساس تجربیات کارشناسان است. بر این اساس، این پارامترها می‌توانند از طریق فرضیه‌ی امکان‌پذیری که مکمل فرضیه‌ی احتمال است، فرموله شوند.

در حوزه‌ی برنامه‌ریزی ریاضی، سه روش اصلی برای کار با عدم قطعیت وجود دارد: ۱- برنامه‌ریزی احتمالی، هرگاه اتفاق / انتخاب اتفاقی دلیل اصلی عدم قطعیت باشد که برای آن متغیرهای احتمالی با توزیع احتمال معین استفاده می‌شود. ۲- بهینه‌سازی پایدار روش ریسک معکوس را ارائه می‌دهد. ۳- روش فازی، از طریق آن می‌توان با عدم قطعیت برآیند در داده و انعطاف‌پذیری در اهداف و/یا انعطاف در محدودیت‌ها کار کرد.

در این وضعیت که ممکن است میزان اطلاعاتی کافی از گذشته برای مدل‌سازی پارامترهای عدم قطعیت برای داده وجود نداشته باشد، بنابراین پیدا کردن توزیع احتمال سخت یا غیرممکن خواهد بود. در نتیجه با اتکا به داده‌های حاصل از قضاوت متخصصان آن حوزه، می‌توان یک توزیع احتمال مناسب برای هر داده مبهم در شکل اعداد مثلثی یا دوزنقه‌ای فازی تعریف کرد. رویکردهای برنامه‌ریزی امکانی، اغلب برای حل مسائل بهینه‌سازی که با این نوع از داده‌های غیردقیق سروکار دارند، استفاده می‌شود.

در اینجا، امکان (pos) و ضرورت (nes) دو میزان/مقیاس فازی هستند که به میزان زیادی نشان از گرایش‌ها/حالات تصمیم‌گیرندگان به خوش‌بینی و بدبینی‌شان بر اساس تجربیات و قضاوت آن‌ها صورت می‌پذیرد، دارد. همچنین، اعتبار مقیاس دوگانه است و گرایش محتمل تصمیم‌گیرندگان به هر دو روش خوش‌بینانه و بدبینانه را پشتیبانی می‌کند. قابل توجه است، اندازه‌گیری احتمال، سطح احتمال وقوع یک رویداد محتمل را تخمین می‌زند در صورتی که اندازه‌گیری ضرورت، کم‌ترین سطح احتمال وقوع چنین رویداد غیرقطعی را نشان می‌دهد.

همچنین می توان اعتبار را به عنوان یک مقیاس در نظر گرفت که درجه قطعیت وقوع یک رویداد را تعیین می کند. برای کار با پارامترهای غیرقطعی، روش برنامه ریزی امکانی Me محور ارائه شده توسط خو^۱ و ژو (۲۰۱۳) در این مقاله بکار گرفته شده است. خو و ژو رویکرد برنامه ریزی امکانی محدودیت شانسی را با ارائه ی شاخص فازی جدید Me که حالت توسعه یافته ی شاخص اعتبار است، توسعه دادند Me دو شاخص استاندارد فازی عبارتند از امکان و ضرورت را ترکیب می کند. قابل توجه است که شاخص امکان، سطح امکان پذیری رخ دادن رویدادی غیرقطعی که شامل پارامترهای امکانی است را شامل می شود در حالی که شاخص ضرورت، کمینه ی سطح امکان پذیری رخ دادن یک رویداد غیرقطعی را نشان می دهد. در عمل، تصمیم گیرندگان دارای نگرش های خوش بینانه - بدبینانه متفاوتی هستند و این پارامترهای خوش بینانه - بدبینانه بر اساس تجربیات شخصی و قضاوت های آن ها تعیین می شود.

بر اساس معیار Me ، آن ها مدل عمومی چند هدف فازی با شانس و اهداف محدود را توسعه دادند. همچنین دو مدل تخمینی (مانند مدل تقریبی بالا UAM و مدل تقریبی پایین LAM) را از طریق جداسازی منطقه فازی با استفاده از مجموعه تئوری سخت برای کار با مدل و به دست آوردن راه حل، به کار برده شد.

با در نظر گرفتن $(\theta, p(\theta), pos)$ به عنوان فضای احتمال، خو و ژو شاخص فازی Me را به صورت زیر تعریف کردند.

$$Me\{A\} = Nec\{A\} + (\lambda Pos\{A\} - Nec\{A\}) \quad (34)$$

که A مجموعه ای در $p(\theta)$ است و $(0 \leq \lambda \leq 1)$ به عنوان پارامترهای خوش بینانه و بدبینانه برای تعیین گرایش های تلفیقی تصمیم گیرندگان ارائه می شود. ارزش این اندازه گیری از یک حالت خوش بینانه به بدبینانه تغییر می کند که محدوده آن $(pos\{A\} - Nec\{A\})$ است.

برای درک بهتر، مدل احتمال چند هدف عمومی زیر را در نظر بگیرید.

$$\begin{cases} \max [f_1(x, \xi), [f_2(x, \xi)], \dots, [f_m(x, \xi)] \\ s. t: \{g_r(x, \xi) \leq \cdot\} \geq \cdot, \quad r=1,2,\dots,p \\ x \in X \end{cases} \quad (35)$$

که ξ بردار متغیرهای فازی/احتمالی است. از طریق استفاده از روش مورد انتظار و عملگرهای شانس محدود، مدل (۳۵-۴) می‌تواند به صورت زیر بازنویسی شود.

$$\begin{cases} \max [E[f_1(x, \xi)], E[f_2(x, \xi)], \dots, E[f_m(x, \xi)] \\ \{ch\{g_r(x, \xi) \leq \cdot\} \geq s_r, \quad r=1,2,\dots,p \quad x \in X \end{cases} \quad (36)$$

که E و Ch به ترتیب نمایانگر ارزش مورد انتظار و محدودیت شانس هستند.

خو و ژو برای محاسبه ارزش متغیرهای فازی مثلثی $\xi = (r_1, r_2, r_3)$ زمانی که $r_1 \geq \cdot$ است ارائه دادند.

$$E[\xi] = \frac{(1-\lambda)}{3}r_1 + \frac{1}{3}r_2 + \frac{\lambda}{3}r_3 \quad (37)$$

همچنین برای اندازه‌گیری شانس رویداد فازی خو و ژو از مقیاس فازی عمومی Me استفاده کردند.

$$Ch\{g_r(x, \xi) \leq \cdot\} \geq \delta_r \leftrightarrow Me\{g_r(x, \xi) \leq \cdot\} \geq \delta_r \quad (38)$$

که $\delta_r (r = 1, 2, \dots, p)$ نمایانگر پایین‌ترین سطح اطمینان تصمیم‌گیرندگان برای ارضای محدودیت r ام می‌باشد. بر این اساس از طریق به‌کارگیری معادله (۳۷-۴) به صورت زیر تغییر می‌کند.

$$ECM \begin{cases} \max [E[f_1(x, \xi)], E[f_2(x, \xi)], \dots, E[f_m(x, \xi)] \\ s. t. \\ Me\{g_r(x, \xi) \leq \cdot\} \leq \cdot\} \geq \delta_r \quad r = 1, 2, \dots, p \\ x \in X \end{cases} \quad (39)$$

ژوو و خو ثابت کردند که برای هر $x_0 \in X$ معادله زیر اعتبار دارد.

$$\begin{aligned} Pos\{g_j(X, \xi) \leq \cdot\} \geq Me\{g_j(X, \xi) \leq \cdot\} \geq Nec\{g_j(X, \xi) \leq \cdot\} \leq \\ \cdot\} \geq \delta_r \end{aligned} \quad (40)$$

در انتها از طریق استفاده از معادلات بالا به دو مدل، مدل تقریبی بالا UAM و مدل تقریبی پایین LAM زیر تبدیل کرد.

$$LAM \begin{cases} \max [E[f_1(x, \xi)], E[f_r(x, \xi)], \dots, E[f_m(x, \xi)]] & (41) \\ \text{s. t.} \\ \text{Nec}\{g_r(x, \xi) \leq \cdot\} \geq \delta_r, \quad r = 1, 2, \dots, p \\ x \in X \end{cases}$$

$$UAM \begin{cases} \max [E[f_1(x, \xi)], E[f_r(x, \xi)], \dots, E[f_m(x, \xi)]] & (42) \\ \text{s. t.} \\ \text{Pos}\{g_r(x, \xi) \leq \cdot\} \geq \delta_r, \quad r = 1, 2, \dots, p \\ x \in X \end{cases}$$

حال فرض کنیم که توابع هدف خطی به صورت $f_j(x, \xi) = \sum_{i=1}^n \bar{C}_{ij} \cdot x_i : j = 1 \dots n$ و پارامترهای \bar{C}_{ij} عدد فازی مثلثی $(c_{ij}, a_{ij}^c, \beta_{ij}^c)$ است که مقدار میانگین بوده و a_{ij}^c, β_{ij}^c از پراکندگی سمت چپ و راست است. بر این اساس مدل برابری LAM و UAM به صورت زیر ارائه می شود.

$$LAM: \begin{cases} \left(\max \sum_{i=1}^n \left(\frac{1-\lambda}{\gamma} \cdot c_{ij} + \frac{c_{ij}}{\gamma} + \frac{\lambda}{\gamma} \cdot c_{ij} \right) \cdot x_i, \quad j = 1, \dots, m \right. & (43) \\ \text{s. t.} \\ b_r - \delta_r a_r^b \geq a_r^T x + (1 - \delta_r) \cdot \beta_r^{aT} x, \quad r = 1, 2, \dots, p \\ x_i \geq \cdot, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

$$UAM \begin{cases} \max \sum_{i=1}^n \left(\frac{(1-\lambda)}{\gamma} \cdot c_{ij} + \frac{c_{ij}}{\gamma} + \frac{\lambda}{\gamma} \cdot c_{ij} \right) \cdot x_i, \quad j = 1, \dots, m & (44) \\ \text{s. t.} \\ b_r + (1 - \delta_r) \beta_r^b \geq a_r^T x - (1 - \delta_r) \cdot a_r^{aT} x, \quad r = 1, 2, \dots, p \\ x_i \geq \cdot, \quad i = 1, 2, \dots, n \end{cases}$$

به صورت کلی UAM راه حل های بهینه ی بهتر ارائه می دهد زیرا از گرایش بهینه در محدودیت استفاده کرده و محدوده ی پذیرش آن بزرگ تر از LAM است. پس بعد از حل LAM و UAM به صورت هم زمان تصمیم گیرندگان فاصله ای به عنوان راه حل خواهند داشت (تصمیم بهینه).

روش حل و نتایج عددی

با توجه به سه سطحی بودن مسئله (پشتیبانی مناطق، پشتیبانی مستقیم (تیپ) و یگان، از سالورهای حل مسائل خطی برای حل این مسئله استفاده کرد. در ادامه یک الگوریتم شمارشی که خاص این مسئله توسعه داده شده است، استفاده شده است. در این روش حل، برای تمام یگان‌ها با استفاده از سالور GUROBI حل می‌شود.

به منظور اعتبارسنجی مدل و الگوریتم حل، نمونه مسائل عددی با در نظر گرفتن شرایط واقعی پشتیبانی از یگان‌های نظامی طراحی شدند. الگوریتم ارائه شده در محیط ۲۴،۷ GAMS کد نویسی شده و با کمک حل کننده GURBI 8 اجرا شد. کامپیوتر مورد استفاده در اجرای نمونه مسائل، یک کامپیوتر با ۵ هسته‌ای CPU ۲،۲ GHz و RAM ۸GB است. در جداول زیر نتایج آزمایش‌های عددی ارائه شده است. در این جدول جریان کالا از انواع مختلف در دوره‌های مختلف از پشتیبانی مناطق به مراکز پشتیبانی مستقیم و از مراکز پشتیبانی مستقیم به یگان‌ها بر اساس مدل فوق مشخص می‌گردد؛ که به صورت زیر نشان داده شده است.

داده‌های ورودی:

برای ارزیابی رویکرد پیشنهادی و اثبات کارایی و صحت مدل برنامه ریزی فازی، این مدل در نرم افزار برنامه نویسی GAMS پیاده سازی گردید. ابتدا برای تشریح مدل پیشنهادی، نمونه ای ارائه شده که در اینجا با توجه به ساختار پشتیبانی مناطق برای نمونه یکی از آن‌ها را انتخاب نمودیم که دارای دو انبار و سه تیپ که دو یگان را پشتیبانی می‌نمودند انتخاب گردیده به طوری که دو نوع کالا به عنوان مثال کالای نوع A با عمر دو دوره ای و کالای نوع B با عمر و انقضای سه دوره ای بود و بقیه پارمترهای مدل نیز بر اساس داده های واقعی در حوزه آماد و پشتیبانی زمینی بر اساس داده ها و نظر کارشناسان خبره این حوزه استخراج گردید.

جدول ۲: مدت زمان حرکت بین گره‌های ز و k برای کالاهای p1 و p2

$j3$	$j2$	$j1$	RT_{kjp}
۱۶۳	۱۳۸	۱۸۹	$k1$
۲۸۳	۲۴۱	۱۷۶	$k2$

بهینه سازی الگوی توزیع و پشتیبانی در زنجیره تأمین... / ۱۰۵

جدول ۳: زمان بارگیری هر واحد کالای p_1 و p_2 در پشتیبانی k

p_2	p_1	LT_{kp}
۱	۲	k_1
۱	۲	k_2

جدول ۴: زمان بارگیری هر واحد از کالای p_1 و p_2 در DC_j

p_2	p_1	LT_{jp}
۳	۲	j_1
۵	۲	j_2
۱	۲	j_3

جدول ۵: مدت زمان حرکت بین گره‌های i و j برای کالاهای p_1 و p_2

i_2	i_1	RT_{jip}
۳۰	۳۶۴	j_1
۱۹۳	۵۸	j_2
۲۸۱	۶۵	j_3

جدول ۶: هزینه حمل و نقل بین گره‌های j و k برای کالاهای p_1 و p_2

j_3	j_2	j_1	Pu_{jkp}
۱۹۷	۱۶۰	۲۱۵	k_1
۲۷۵	۲۴۳	۱۸۳	k_2

جدول ۷: هزینه حمل و نقل بین گره‌های i و j برای کالاهای p_1 و p_2

i_2	i_1	Cu_{ijp}
۳۰	۳۶۴	j_1
۱۹۳	۵۸	j_2
۲۸۱	۶۵	j_3

جدول ۸: هزینه ثابت پشتیبانی گره‌های k برای نگهداری کالاهای p_1 و p_2 و به ازای تمامی

ظرفیت‌های n

p_2	p_1	GU_{kpn}
-------	-------	------------

۷۹	۵۰	$k1$
۸۲	۴۶	$k2$

جدول ۹: هزینه ثابت DC_j برای ذخیره‌سازی کالاهای $p1$ و $p2$ و به ازای تمامی ظرفیت‌های n

$p2$	$p1$	Fu_{jpn}
۳۵	۶۳	$j1$
۳۳	۵۹	$j2$
۳۸	۵۶	$j3$

جدول ۱۰: هزینه متغیر نگهداری هر واحد کالاهای $p1$ و $p2$ در DC_j به ازای تمامی ظرفیت‌های n

$p2$	$p1$	h_{jpt}
۲۱	۵	$j1$
۱۸	۷	$j2$
۶	۴	$j3$

جدول ۱۱: هزینه فاسدشدن هر واحد کالای p در دوره t

$p2$	$p1$	Od_{pt}
۸۱	۱۳۳	$t1$
۷۹	۱۳۱	$t2$

جدول ۱۲: هزینه کمبود هر واحد کالای p در دوره t به ازای تمام یگان‌ها

$p2$	$p1$	SC_{ipt}
۱۵	۲۱	$t1$
۱۳	۲۲	$t2$

جدول ۱۳: تقاضای گره‌های i در دوره زمانی $t1$

$p2$	$p1$	D_{ipt}
۸۰	۵۰	$i1$
۱۰۰	۶۵	$i2$

جدول ۱۴: تقاضای گره‌های i در دوره زمانی t_2

p_2	p_1	D_{ipt}
۹۰	۶۰	i_1
۹۵	۶۰	i_2

جدول ۱۵: ظرفیت پشتیبانی k گره‌های p در دوره‌های زمانی t_1 و t_2

p_2	p_1	Cm_{knp}
۹۰	۶۰	k_1
۸۶	۶۰	k_2

جدول ۱۶: ظرفیت نگهداری در DC_j گره‌های p در دوره‌های زمانی t_1 و t_2

p_2	p_1	Cd_{jnp}
۱۹۵	۱۴۰	j_1
۲۱۶	۱۲۵	j_2
۲۰۸	۱۳۲	j_3

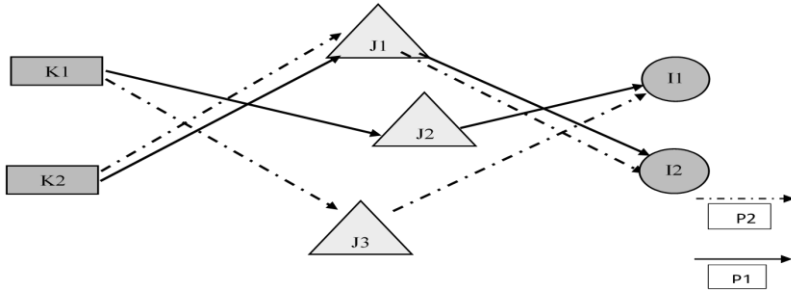
جدول ۱۷: وزن اهمیت کالای p در گره‌های i در دوره زمانی t_1

p_2	p_1	w_{ipt}
۰.۱۷	۰.۱۱	i_1
۰.۱	۰.۱۵	i_2

جدول ۱۸: وزن اهمیت کالای p در گره‌های i در دوره زمانی t_2

p_2	p_1	w_{ipt}
۰.۱۱	۰.۱۵	i_1
۰.۱	۰.۱۱	i_2

مدت زمان نگهداری کالاهای p^1 و p^2 تا قبل از فاسد شدن به ترتیب ۲ روز است. سطح نرخ رضایتمندی برای تمامی مشتریان E^* بر اساس نظر خبره برای همه ۰.۷ است. توابع هدف بهینه مثال موردنظر که زمان رسیدن کل، هزینه کل تأمین کالا و رضایتمندی مشتری هستند، به ترتیب برابر ۳۲۷۴ دقیقه، ۱۲۰۴۳۵ واحد پولی و نرخ رضایتمندی ۰.۹۶



شکل ۱: شبکه جواب به دست آمده در مثال نمونه

پس از ارائه مثال نمونه و نحوه مکان‌یابی و موجودی در دوره های مختلف، در ادامه اثر عدم قطعیت در مسئله پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که اشاره شد مدل مکان‌یابی و موجودی در تدارک و پشتیبانی مأموریت‌ها در شرایط عدم قطعیت توسط تئوری فازی و با استفاده از اعداد فازی مثلثی ارائه گردید. برای کار با پارامترهای غیرقطعی، روش برنامه‌ریزی امکانی Me محور ارائه شده توسط (خو و ژو، ۲۰۱۳) در این مقاله بکار گرفته شده است. خو و ژو رویکرد برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانس را با ارائه شاخص فازی جدید Me که حالت توسعه یافته‌ی شاخص اعتبار است ارائه نموده است

پس از انتخاب توابع توزیع احتمال مثلثی برای پارامترهای امکانی بر مبنای داده‌های موجود و نظرات افراد خبره، مدل‌های قطعی معادل مدل ارائه شده در این تحقیق با استفاده از Me در مسئله مورد مطالعه به صورت زیر می‌باشد. شاخص پارامترهای هزینه، ظرفیت و تقاضا غیرقطعی و به صورت اعداد فازی مثلثی است. با این فرض، دو مدل حد پایین و بالا UAM و LAM با در نظر گرفتن حدود پراکندگی اعداد فازی (α و β) پارامتر خوش‌بینانه-بدبینانه (λ) و کمینه سطح اطمینان تصمیم‌گیرنده برای ارضای محدودیت $am(\delta_r)$ می‌باشد در مدل ارائه شده، تابع هدف و محدودیت‌های (۱۲) و (۱۳) و (۱۶) شامل پارامترهای فازی می‌باشند که در ادامه به کمک تعیین مقدار انتظاری پارامترها در تابع هدف و کمینه سطح اطمینان

تصمیم گیرنده برای ارضای محدودیت‌ها تبدیل به معادل قطعی‌شان می‌شوند.

در محیط فازی، به دست آوردن پاسخ قطعی و معین برای تصمیم گیرنده واقع بینانه نیست. در نتیجه، مزیت مهم استفاده از دو مدل تقریب ارائه شده حاصل از رویکرد قطعی به کار گرفته شده، ایجاد بازه برای تابع هدف طبق سطوح اطمینان انتخابی است. در این صورت، تصمیم گیرندگان حدود بالا و پایین تصمیم بهینه را طبق نگرش و سطوح اطمینان مطلوبشان خواهند دانست و در این صورت اطلاعات بیشتری در اختیار تصمیم گیرنده خواهد بود.

شایان ذکر است که کلیه هزینه‌ها از جمله هزینه ثابت افتتاح انبار در پشتیبانی مناطق و یا مرکز توزیع پشتیبانی تیپ، هزینه حمل و نقل بین قسمت‌های مختلف، هزینه سفارش دهی، هزینه نگهداری، هزینه‌های خراب شدن و هزینه‌های کمبود با توجه به میانگین نرخ تورم در دوره بعدی (ماهانه) ۲٪ افزایش می‌یابد با توجه به آسیب پذیری زیاد در سامانه‌های لجستیکی، هرگونه کمبود ممکن است منجر به ضرر و زیان زیادی شود؛ بنابراین، هزینه کمبود واحد زیاد است و به عنوان هزینه انقضا واحد تخمین زده می‌شود که ضریب ۳ می‌شود.

در نهایت، به منظور برآورد پارامترهای نهایی به عنوان داده‌های مبهم، اعداد فازی مثلثی به عنوان ضرب ارزش متناظر از پیش تعریف در احتمال در نظر گرفته می‌شود بر این اساس، پراکندگی پارامترها به ترتیب،

$\bar{D}_{ipt}, \bar{C}m_{knp}, \bar{C}d_{jnp}, \bar{S}C_{ipt}, \bar{O}d_{pt}, \bar{h}_{jpt}, \bar{\sigma}_{jpt}, \bar{C}u_{ijp}, \bar{P}u_{jkp}, \bar{F}u_{jpn}, \bar{G}U_{kpn}$ با $(. / .120 و 70)$ ،
 $(. / .110 و 90)$ ، $(. / .110 و 90)$ ، $(. / .110 و 90)$ ، $(. / .140 و 70)$ ، $(. / .110 و 80)$ ، $(. / .120 و 90)$ ، $(. / .110 و 90)$ ،
 $(. / .110 و 80)$ ، $(. / .120 و 90)$ ، $(. / .110 و 90)$ می‌باشد با پارامتر خوش بینانه-بدبینانه $(\lambda = 2)$ و کمینه سطح اطمینان تصمیم گیرنده برای ارضای محدودیت α م $(\delta_r = 70)$ می‌باشد.

جدول ۲: مقایسه جواب‌های مدل قطعی LAM و UAM با داده‌های فازی

مدل	هزینه کل	زمان انتقال	میزان رضایتمندی	تعداد مراکز پشتیبانی	تعداد پشتیبانی مستقیم	جریان پشتیبانی منطقه و پشتیبانی تیپ	جریان پشتیبانی منطقه و پشتیبانی به یگان	زمان کل (S)
LAM	۱۲۶۷۳۵	۳۴۶۱	۰.۹۷	۲ ۲	۲ و ۱ ۲ و ۱	۵۹۰	۴۵۰	۲۴:۳۷
UAM	۱۱۸۲۲۴	۳۱۸۶	۰.۹۵	۲ ۲	۲ و ۱ ۳ و ۱	۵۶۰	۴۰۱	۲۷:۲۵
مدل قطعی	۱۲۰۴۳۵	۳۲۷۴	۰.۹۶	۲ ۲	۲ و ۱ ۳ و ۱	۵۷۲	۴۱۶	۲۰:۴۰

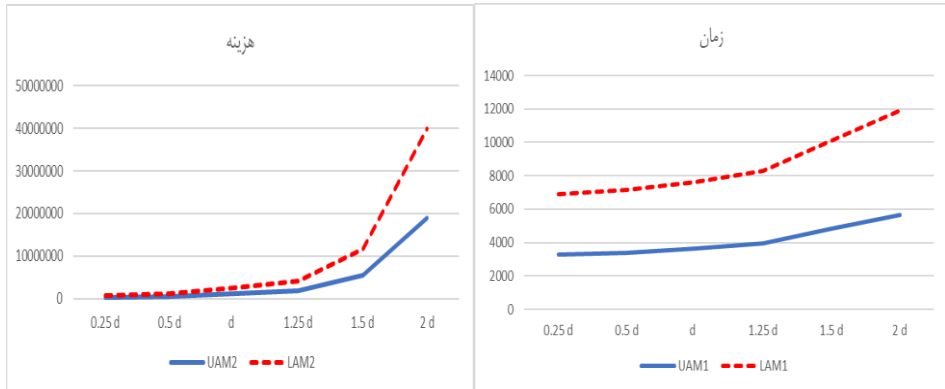
با توجه به مقدار مورد انتظار (مرکزی) پارامترهای فازی و مقادیر خروجی آن بین مقادیر LAM و UAM است. براساس خروجی هر مدل بر اساس داده‌های مسئله نمونه برای حالتی که داده‌ها دقیق باشند حل و با حالتی که عملاً در واقعیت داده فازی و غیر قطعی در نظر گرفته شده است مقایسه گردیده که در سه مدل حل شده مقادیر UAM به قطعی‌ها نزدیکتر بوده و قابل اتکا بیشتری می‌باشد بنابر این در داده‌های غیر قطعی بر اساس بازه‌ای که بین دو مدل LAM و UAM به دست می‌آید اما تعداد و مقادیر در هر دوره را می‌توان با اتکا به UAM تصمیم‌گیری نمود.

تحلیل حساسیت

در این بخش جهت ارائه‌ی چشم‌اندازهای مدیریتی، چندین تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای اساسی مسأله مذکور با ۲ مرکز پشتیبانی منطقه‌ای، ۳ مرکز توزیع، ۳ یگان، ۳ دوره زمانی و ۲ محصول صورت پذیرفته است و نتایج گزارش گردیده است. دو پارامتری که به طور اثربخشی می‌توانند بر ساختار شبکه مذکور تأثیر بگذارند، تقاضا، ظرفیت مراکز توزیع هستند. لذا تحلیل حساسیت روی مقادیر این پارامترها می‌تواند اطلاعات ارزشمندی را منتقل کند.

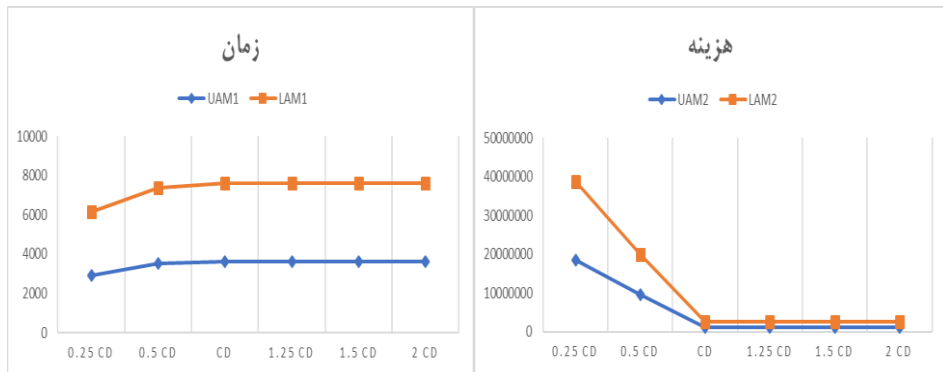
همانطور که در شکل (۲) قابل مشاهده است، افزایش در میزان تقاضای یگانها منجر به افزایش هزینه کل (تابع هدف) در کل شبکه می‌گردد. با افزایش تقاضا لازم است تا تعداد بیشتری انبار و مراکز توزیع در شبکه برای پاسخگویی به آن احداث شود. همچنین، برخی

مواقع، با افزایش میزان تقاضا، سیستم توزیع در تأمین همه تقاضاها ناتوان است که در این صورت دچار کمبود خواهد شد. در نتیجه در هر دوی این حالتها هزینه کل سیستم افزایش خواهد یافت.



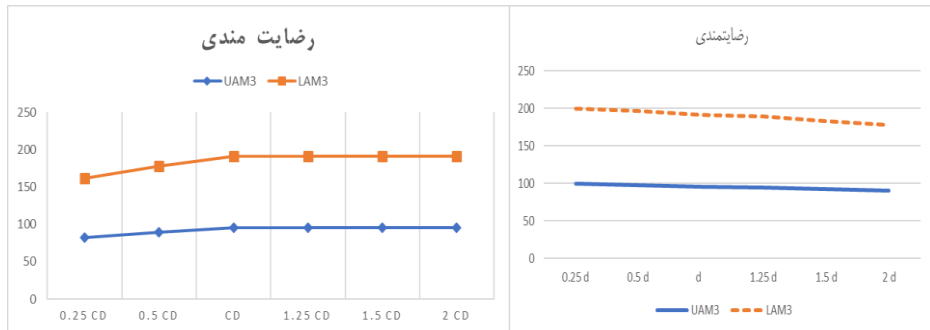
شکل ۲: میزان حساسیت تابع هدف هزینه و زمان با تغییر در مقادیر پارامتر D

مقادیر تابع هدف را با توجه به تغییرات در مقادیر مختلف ظرفیت مراکز توزیع cd نشان می دهد. ظرفیت، ارتباط مستقیم با میزان تقاضاهای پاسخ داده شده و و کمبود دارد. همانطور که از شکل (۳) قابل برداشت است، به ازای ظرفیت‌های پایین مراکز توزیع، هزینه کل بیشتر است به این علت که با فرض ثابت بودن تقاضا، با کاهش ظرفیت، قابلیت پاسخگویی مراکز توزیع به تقاضای یگان‌ها پایین می‌آید و سیستم دچار کمبود خواهد شد و با اضافه شدن هزینه کمبود، هزینه کل افزایش می‌یابد. اما، با بالا رفتن ظرفیت از حدی مشخص، هزینه کل تغییر نمی‌کند چون از آن سطح به بعد به همه تقاضاها پاسخ داده خواهد شد. از روی شکل (۳) تغییرات نسبت به تابع را نشان می دهد به ازای ظرفیت‌های پایین مراکز توزیع، زمان کاهش یافته چون مقدار کمتری بارگیری و جابه جا می شوند ولی به ازای ظرفیت‌های بیشتر زمان تغییری نکرده و چون با تغییر سطح ظرفیت میزان کالای جابجا شده تغییر نکرده و زمان افزایش نمی یابد.



شکل ۳: میزان حساسیت تابع هدف هزینه و زمان با تغییر در مقادیر پارامتر ظرفیت مراکز توزیع cd

برابر شکل (۴) از طرفی با افزایش تقاضا زمان پاسخگویی نیز به زمان بارگیری و حمل به ازای هر واحد بیشتر نیز افزایش می یابد اما سطح رضایتمندی زیاد تغییر نمی کند چونکه میزان تقاضا با افزایش هزینه و زمان برآورده می شود. اما بر اساس شکل (۴) که تغییرات سطح رضایتمندی را نشان می دهد با تغییر در سطح ظرفیت قابلیت پاسخگویی مراکز توزیع به تقاضای یگان‌ها پایین می آید و سیستم دچار کمبود خواهد شد در نتیجه سطح رضایت مندی نیز پایین می آید.



شکل ۴: میزان حساسیت تابع هدف رضایتمندی با تغییر در مقادیر پارامتر تقاضا و ظرفیت مراکز توزیع

بحث و نتیجه گیری

فعالیت‌های لجستیکی و آماد و پشتیبانی یکی از اقدامات مهم و اساسی در سیستم‌های نظامی است. و برنامه‌ریزی‌های دقیق و حساب‌شده می‌تواند موجب افزایش کارایی و موفقیت در واحد های اجرایی و عملیاتی گردد. یک برنامه‌ریزی صحیح و منسجم احتمال افزایش موفقیت را در شرایط مختلف و بالا می‌برد. در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی توزیع چندهدفه برای استقرار دوره‌ای مراکز توزیع اقلام آمادی و همچنین نحوه تخصیص کالاها به یگان‌ها و میزان سطح موجودی کالاها و نگهداری آنها در مراکز پشتیبانی با در نظر گرفتن دوره عمر آن کالاها و هزینه های مربوط به آن و زمان ارسال آنها ارائه شده است به طوری که مدل شامل در حداقل زمان ممکن، پاسخگوی نیاز یگانها بوده تقاضای را برآورد نموده و در نتیجه سطح رضایتمندی فرماندهان و کارکنان بیشتر می شود درحالی که هزینه راه اندازی و عملیاتی نمودن سیستم لجستیکی حداقل گردد مدل ارائه شده چند کالایی و چند دوره‌ای در شرایط عدم قطعیت در میزان تقاضا و هزینه‌ها می‌باشد. این مدل در هر سه سطح استراتژیک عملیاتی و تاکتیکی تصمیم‌سازی می نماید در ادامه مدل پیشنهادی با رویکرد فازی با استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی امکانی محدودیت شانس را با ارائه‌ی شاخص فازی جدید Me که حالت توسعه یافته‌ی شاخص اعتبار است با نرم افزار $GAMS ۲۴$ حل گردید. جواب‌ها در مقیاس واقعی مسئله ما در زمان قابل قبول ارائه شد. بنابر این مدل مربوطه می تواند به عنوان یک ابزار کاربردی در سامانه آماد و پشتیبانی با توجه به ساختار جدید به کار گرفته شود.

فهرست منابع

کاردر لاله، زنجیرانی فراهانی، رضا، (۱۳۹۶)؛ زنجیره تأمین و لجستیک در سطح ملی و بین الملل، تهران، موسسه مطالعات و پژوهشهای بازرگانی، چاپ دوم، تهران، ایران
رستمی محمود (۱۳۸۶) فرهنگ واژه‌های نظامی، انتشارات ایران سبز، تهران.
بی‌نا، (۱۳۸۵) آیین‌نامه عملیات، گات زمینی دافوس آجا، تهران.
عیسایی، حسین. (۱۳۹۰). مدیریت لجستیک (کارکردها و فرآیندها) (چاپ اول). تهران: انتشارات دانشگاه جامع امام حسین (ع).

Agrali, S. J. Geunes, and Z. C. Taskin. (۲۰۱۲). "A Facility Location Model with Safety Stock Costs: Analysis of the Cost of Singlesourcing Requirements." *Journal of Global Optimization* ۵۴: ۵۵۱-۵۸۱.

Ahmadi-Javid, A. and Hoseinpour, P. (۲۰۱۵). Incorporating location, inventory and price decisions into a supply chain distribution network design problem.

Computers & Operations Research, ۵۶, pp. ۱۱۰-۱۱۹.

Barahona, F. and D. Jensen.(۱۹۹۸). "Plant Location with Minimum Inventory." Mathematical Programming ۸۳ (۱): ۱۰۱-۱۱۱.

Diabat, A. Aouam, T. and Ozsen, L.,(۲۰۰۹). An evolutionary programming approach for solving the capacitated facility location problem with risk pooling. International Journal of Applied Decision Sciences, ۲(۴), pp.۳۸۹-۴۰۵.

Diabat, A., Jabbarzadeh, A., & Khosrojerdi, A. (۲۰۱۸). A perishable product supply chain network problem with reliability and disruption considerations. International Journal of Production Economics.

Firoozi, Z., S. H. Tang, Sh Ariafar, and M. K. A. M. Ariffin.(۲۰۱۳). "An Optimization Approach for a Joint Location Inventory Model Considering Quantity Discount Policy." Arabian Journal for Science and Engineering ۳۸ (۴): ۹۸۳-۹۹۱.

Hinojosa, Y., J. Kalcsics, S. Nickel, J. Puerto, and S. Velten.(۲۰۰۸). "Dynamic Supply Chain Design with Inventory." Computers & Operations Research ۳۵ (۲): ۳۷۳-۳۹۱.

Jha, A., K. Somani, M. K. Tiwari, F. T. S. Chan, and K. J. Fernandes.(۲۰۱۲). "Minimizing Transportation Cost of a Joint Inventory Location Model Using Modified Adaptive Differential Evolution Algorithm." The International Journal of Advanced Manufacturing Technology ۶۰: ۳۲۹-۳۴۱.

Jayaraman, V.(۱۹۹۸). "Transportation, Facility Location and Inventory Issues in Distribution Network Design: An Investigation." International Journal of Operations & Production Management ۱۸ (۵): ۴۷۱-۴۹۴.

Kaya, O., & Urek, B. (۲۰۱۶). A mixed integer nonlinear programming model and heuristic solutions for location, inventory and pricing decisions in a closed loop supply chain. Computers & Operations Research, ۶۵, ۹۳-۱۰۳

Lei Ning, Cao Jiping, Gao Yinjie, Wang Qingxiao, (۲۰۱۹), Dynamic multi-objective optimization of battlefield support

Liao, S., and C. Hsieh.(۲۰۰۹). "A Capacitated Inventory-location Model: Formulation, Solution Approach and Preliminary Computational Results." In Next-Generation Applied Intelligence, edited by B. Chien, T. Hong, S. Chen and M. Ali, ۳۲۳-۳۳۲. Berlin: Springer.

Max Shen, Z., and L. Qi.(۲۰۰۷). "Incorporating Inventory and Routing Costs in Strategic Location Models." European Journal of Operational Research ۱۷۹ (۲): ۳۷۲-۳۸۹.

Miranda, P. A., and R. A. Garrido.(۲۰۰۸). "Valid Inequalities for Lagrangian Relaxation in an Inventory Location Problem with Stochastic Capacity." Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review ۴۴ (۱): ۴۷-۶۵.

Miranda, P. A., and R. A. Garrido.(۲۰۰۴). "Incorporating Inventory Control Decisions into a Strategic Distribution Network Design Model with Stochastic

Demand.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* ۴۰ (۳): ۱۸۳-۲۰۷.

Miranda, P. A., and R. A. Garrido.(۲۰۰۹). “Inventory Service-level Optimization within Distribution Network Design Problem.” *International Journal of Production Economics* ۱۲۲ (۱): ۲۷۶-۲۸۵

Mahar, S., Bretthauer, K.M. and Venkataramanan, M.A.,(۲۰۰۹). An algorithm for solving the multi-period online fulfillment assignment problem. *Mathematical and Computer Modelling*, ۵۰(۹), pp.۱۲۹۴-۱۳۰۴.

Melo, M. T., S. Nickel, and F. Saldanha da Gama.(۲۰۰۶). “Dynamic Multi-Commodity Capacitated Facility Location: A Mathematical Modeling Framework for Strategic Supply Chain Planning.” *Computers & Operations Research* ۳۳ (۱): ۱۸۱-۲۰۸.

Melo, M. T., S. Nickel, and F. Saldanha-da-Gama.(۲۰۰۹). “Facility Location and Supply Chain Management – A Review.” *European Journal of Operational Research* ۱۹۶ (۲): ۴۰۱-۴۱۲.

Nova Indah Saragih, Senator Nur Bahagia, Suprayogi, Ibnu Syabri,(۲۰۱۹), A heuristic method for location-inventory-routing problem in a three-echelon supply chain system, *Computers & Industrial Engineering*, Volume ۱۲۷, Pages ۸۷۵-۸۸۶,

Nozick, L. K., and M. A. Turnquist.(۱۹۹۸). “Integrating Inventory Impacts into a Fixed-charge Model for Locating Distribution Centers.” *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review* ۳۴ (۳): ۱۷۳-۱۸۶.

Ozsen, L., C. R. Coullard, and M. S. Daskin.(۲۰۰۸). “Capacitated Warehouse Location Model with Risk Pooling.” *Naval Research Logistics* ۵۵ (۴): ۲۹۵-۳۱۲.

Perl, J., and S. Sirisoponsilp.(۱۹۸۸). “Distribution Networks: Facility Location, Transportation and Inventory.” *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management* ۱۸ (۶): ۱۸-۲۶.

Rafie-Majd, Z., Pasandideh, S. H. R., & Naderi, B.(۲۰۱۸). Modelling and solving the integrated inventory-location-routing problem in a multi-period and multi-perishable product supply chain with uncertainty: Lagrangian relaxation algorithm. *Computers & Chemical Engineering*, ۱۰۹, ۹-۲۲.

Sourirajan, K., L. Ozsen, and R. Uzsoy.(۲۰۰۷). “A Single-product Network Design Model with Lead Time and Safety Stock Considerations.” *IIE Transactions* ۳۹ (۵): ۴۱۱-۴۲۴.

Sadjadi, S.J., Makui, A., Dehghani, E. and Pourmohammad, M.(۲۰۱۶). Applying queuing approach for a stochastic location-inventory problem with two different mean inventory considerations. *Applied Mathematical Modelling*, ۴۰(۱), pp.۵۷۸-۵۹۶.

Savadkahi, E., Mousazadeh, M., Torabi, S.Ali,(۲۰۱۸) A possibilistic Location-Inventory model for multi-period perishable pharmaceutical supply chain network design.*Chemical Engineering Research and Design*

Silva, F., and L. Gao.(۲۰۱۳). “A Joint Replenishment Inventory-location Model.” *Networks and Spatial Economics* ۱۳ (۱): ۱۰۷-۱۲۲.

Shavandi, H., and B. Bozorgi.(۲۰۱۲). “Developing a Location-inventory Model under Fuzzy Environment.” *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* ۶۳: ۱۹۱-۲۰۰.

Sajady, H., and H. Davoudpour.(۲۰۱۲). “Two-echelon, Multi-commodity Supply Chain Network Design with Mode Selection, Leadtimes and Inventory Costs.” *Computers & Operations Research* ۳۹: ۱۳۴۵-۱۳۵۴.

Shu, J., Z. Li, H. Shen, T. Wu, and W. Zhong.(۲۰۱۲). “A Logistics Network Design Model with Vendor Managed Inventory.” *International Journal of Production Economics* ۱۳۵: ۷۵۴-۷۶۱.

Tsiakis, P., Shah, N. and Pantelides, C.C.,(۲۰۰۱). Design of multi-echelon supply chain networks under demand uncertainty. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, ۴۰(۱۶), pp.۳۵۸۵-۳۶۰۴.

Tapia-Ubeda,FranciscoJ.MirandaPabloA.RodaIrene.MacchiMarco,Durán Orlando,(۲۰۱۸).An Inventory-Location Modeling Structure for Spare Parts Supply Chain Network Design Problems in Industrial End-User Sites,Volume ۵۱, Issue ۱۱, Pages ۹۶۸-۹۷۳,

Yang, T., and J. Lu.(۲۰۱۱). “The Use of a Multiple Attribute Decision-making Method and Value Stream Mapping in Solving the Pacemaker Location Problem.” *International Journal of Production Research* ۴۹ (۱۰): ۲۷۹۳-۲۸۱۷.

Wijk, A. C. C., I. J. B. F. Adan, and G. J. van Houtum.(۲۰۱۲). “Approximate Evaluation of Multi-Location Inventory Models with Lateral Transshipments and Hold Back Levels.” *European Journal of Operational Research* ۲۱۸: ۶۲۴-۶۳۵.

Xin-hua, L., and Q. Jin.(۲۰۰۷). “Joint Decision Problem for Inventory Control and Facility Location.” In *IEEE International Conference on Automation and Logistics*, Shandong, China, August ۱۸-۲۱, ۲۸۷۳-۲۸۷۷.

Zhang, Y., and J. Huo.(۲۰۰۵). “Customer Service and Distribution Center Location.” In *International Conference on Services Systems and Services Management (ICSSSM)*, ۳۱۵-۳۱۷.

Chongqing. Zhang Zhi-Hai; Avinash Unnikrishnan,(۲۰۱۶). A coordinated location- inventory problem in closed-loop supply chainTransportation Research Part B ۸۹ , ۱۲۷-۱۴۸

Zheng Xiaojin, Meixia Yin, Yanxia Zhang,(۲۰۱۹), Integrated optimization of location, inventory and routing in supply chain network design, *Transportation Research Part B: Methodological*,Volume ۱۲۱,Pages ۱-۲۰,

Zhuo Dai, Faisal Aqlan, Xiaoting Zheng, Kuo Gao,(۲۰۱۸),A location-inventory supply chain network model using two heuristic algorithms for perishable products with fuzzy constraints, *Computers & Industrial Engineering*,Volume ۱۱۹,Pages ۳۳۸-۳۵۲,ISSN ۰۳۶۰-۸۳۵۲