نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید

سال نهم، شماره هجدهم، بهار و تابستان ۱۴۰۰، صفحه ۸۱-۹۵
www.ier.basu.ac.ir

ISSN: 2345-2269

DOI: 10.22084/IER.2021.24119.2022

ارائه رویکرد برنامه‌ریزی دوسطحی چندپیرو در حالت عدم همکاری برای موقعیت‌یابی از پیش‌انبارهای اضطراری بحران

احسان ثقه‌ئی[1*]، عزیزالله معماریانی[2]، علی بزرگی‌امیری[3]

۱. دکتری مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
۲. استاد گروه مهندسی برق و کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران
۳. دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
دریافت ۱۴۰۰/۲/۱۰
پذیرش ۱۴۰۰/۴/۳۰
(مقاله پژوهشی)

کلمات کلیدی:
موقعیت‌یابی از پیش اقلام امدادی
مدیریت بحران
برنامه‌ریزی دوسطحی چندپیرو
الگوریتم تکاملی هم‌زمان
مسأله مکان‌یابی و تخصیص انبارهای اضطراری

خلاصه

ساختار غیر متمرکز تصمیم‌گیری در طراحی شبکه انبارهای اضطراری بحران، استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی کلاسیک را با چالش مواجه می‌کند. هدف این مقاله توسعه یک مدل جدید بهینه‌سازی دوسطحی چندپیرو برای مسأله مکان‌یابی و تخصیص انبارهای اضطراری در سطوح ملی و منطقه‌ای بوده است. مسأله به‌صورت عدم همکاری پیروها مدل‌سازی شده است. این نوع مدل‌سازی برای کشورهایی که طراحی شبکه انبارهای اضطراری بحران آن‌ها به‌صورت غیرمتمرکز است مناسب می‌باشد. پارامترهای مدل‌ها براساس داده‌های واقعی کشور ایران تنظیم شده است. باتوجه به پیچیدگی‌های بالای حل، یک رویکرد تکاملی هم‌زمان برمبنای روش‌های تخصیص ابتکاری و الگوریتم ژنتیک جهت حل مسأله در سایزهای مختلف توسعه داده شده است. ساختار حل به‌گونه‌ای انعطاف‌پذیر طراحی شده و براساس تعداد پیروها و میزان قدرت آن‌ها قابلیت تنظیم را دارا می‌باشد. در نهایت، تحلیلی در خصوص تغییر تعداد تصمیم‌گیرندگان و قدرت آن‌ها درجذب تسهیلات و تأثیر بر توابع هدف مدل دوسطحی صورت گرفته است.

۱. مقدمه

بلایای طبیعی بخشی از واقعیت دنیا امروز می‌باشند که باوجود پیشرفت‌های فراوان علم و تکنولوژی همچنان هرساله باعث ایجاد خسارت‌های اجتماعی و اقتصادی فراوانی می‌شوند. برای مثال در سال ۲۰۱۹ وقوع ۳۹۶ بحران، بیش از ۹۵ میلیون نفر را در دنیا تحت تأثیر قرار داده است و خسارت‌های ناشی از آن‌ها رقمی معادل ۱۳۰ میلیارد دلار تخمین زده شده است. در همان سال تقریباً حدود ۱۱۷۵۵ نفر در اثر این بحران‌ها جان خود را از دست داده‌اند [۱]. مدیریت بحران یک حوزه بین رشته‌ای در حال رشد برای کمک و توانا ساختن جوامع مختلف جهت آماده‌سازی و پاسخ به بحران‌های مختلف و حوادث شدید است. از نگاه ترتیب زمانی فعالیت‌ها، فرایند مدیریت بحران شامل چهار مرحله کاهش، آمادگی، پاسخ‌گویی و بازسازی می‌باشد. در مرحله‌امادگی، هدف کاهش زمان پاسخ‌گویی به بحران می‌باشد. موقعیت‌یابی از پیش‌مراکز ذخیره‌سازی اقلام اضطراری، یکی از فعالیت‌های اصلی مربوط فاز آمادگی می‌باشد. مکان‌یابی موجودی‌های بحرانی در نزدیکی محل موردنیاز را موقعیت‌یابی از پیش تعریف می‌کنند [۲]. این اقلام اضطراری شامل غذا، آب قابل شرب، دارو، واکسن، تجهیزات پزشکی، چادر، ژنراتور و ... می‌باشد [۳]. امروزه

* نویسنده مسئول: احسان ثقه‌ئی
تلفن: ۸۸۰۲۱۰۶۷-۰۲۱؛ پست الکترونیکی: E.saghehei@iau-malayer.ac.ir

موقعیت‌یابی از پیش، یکی از استراتژی‌های مناسب جهت کاهش سطح تلفات و هزینه‌های سیستم مدیریت بحران در فاز قبل از وقوع بحران می‌باشد. اقلام اضطراری ذخیره‌سازی شده در شبکه a رسانی، زمان پاسخ‌گویی جهت کمک به مجروحان بحران را کاهش می‌دهد. موقعیت‌یابی از پیش فواید زیادی برای سازمان‌های امدادی ایجاد می‌کند. سازمان‌های بشر دوستانه با به‌کارگیری این استراتژی از مزایای استفاده از تأمین‌کنندگان محلی، منطقه‌ای و بین‌المللی با بهترین قیمت‌ها استفاده می‌کنند. همچنین خرید با حجم بالا توسط سازمان‌های بشردوستانه، قدرت خرید آن‌ها را افزایش و آن‌ها را از مزایای خرید های کلی بهرمند می‌گرداند [۴].

از تصمیمات کلیدی که در موقعیت‌یابی از پیش می‌توان گرفت، تعیین مکان، تعداد و ظرفیت تسهیلات ذخیره‌سازی، تعیین سطح موجودی اقلام موردنیاز عملیات امداد و نجات بحران و همچنین تصمیم‌گیری در خصوص چگونگی توزیع این اقلام به مراکز توزیع و تقاضا می‌باشد. تاکنون تحقیقات زیادی در به‌کارگیری مدل‌های تحقیق در عملیات درخصوص مسائل مکان‌یابی، جریان شبکه و مدیریت موجودی صورت گرفته است. مکان‌یابی انبارهای اضطراری، یکی از مسأله‌های کلیدی موقعیت‌یابی از پیش اقلام امدادی می‌باشد. انبارهای اضطراری جهت پشتیبانی پاسخ‌گویی به بحران‌ها در نقاط مختلف یک کشور جایابی می‌شوند. ساختار کلی این انبارها در قالب یک شبکه پشتیبانی قابل طراحی و به‌صورت سلسله مراتبی امکان تبادل کالا بین آن‌ها مهیا می‌باشد. برای مثال بعضی از این انبارها در سطح ملی و بعضی دیگر در سطح منطقه‌ای جایابی می‌شوند و امکان ارسال اقلام اضطراری به‌صورت مستقیم و غیرمستقیم از سطح ملی به سطح منطقه‌ای وجود دارد. همچنین می‌توان اقلام اضطراری را از انبارهای ملی و منطقه‌ای به مکان‌های توزیع موقت که نزدیک به نقاط تقاضا باشند، ارسال نمود. در این تحقیق مسأله مکان‌یابی و تخصیص انبارهای اضطراری در سطح ملی و منطقه‌ای کشور مورد بررسی قرار گرفته است. رویکرد مورد استفاده جهت مدل‌سازی مسأله، رویکرد برنامه‌ریزی دوسطحی با بیش از یک پیرو می‌باشد.

۲. مرور ادبیات مربوط به تحقیق

بعد از بررسی پژوهش‌های صورت گرفته در حوزه استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی دوسطحی در مسائل مکان‌یابی بحران مواردی مشخص شد که خلاصه این تحقیقات در جدول‌های (۱) و (۲) ارائه شده است. با بررسی اجمالی تحقیقات انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت تاکنون تعداد پژوهش‌های محدودی در استفاده از رویکرد برنامه‌ریزی دوسطحی در خصوص مدل‌سازی مسأله موقعیت‌یابی ازپیش انبارهای اضطراری بحران صورت گرفته است. شاید بتوان گفت تاکنون تحقیقی درخصوص استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی دوسطحی چندپیرو در خصوص مسأله مکان‌یابی و تخصیص انبارهای اضطراری صورت نگرفته است. کنگسام ساکسگول و همکاران، یک مدل بهینه‌سازی مکان‌یابی- تخصیص درخصوص برنامه‌ریزی تخلیه پیش از وقوع بحران سیل ارائه نمودند. در این تحقیق یک رویکرد بهینه‌سازی دوسطحی با هدف اخذ تصمیمات بهینه جهت تعیین مکان پناهگاه‌ها و ظرفیت آن‌ها توسعه داده شده است. مسأله به‌صورت بازی استکلبرگ ارائه شد. دو بازیکن این مسأله به‌ترتیب شامل قدرت برنامه‌ریزی و گروهی از ناحیه تخلیه می‌باشند. بازیکن اول با هدف کمینه‌سازی کل زمان تخلیه شبکه، تعداد و مکان پناهگاه را تعیین نمود. بازیکن دوم با هدف جابه‌جایی امن با حداقل زمان، درخصوص رفتن به پناهگاه باتوجه به مکان و ظرفیت پناهگاه‌ها تصمیم‌گیری می‌نماید. در این تحقیق از الگوریتم ژنتیک جهت حل مدل‌ها استفاده شده است [۵]. هوالی و همکاران در سال ۲۰۱۲، مسأله‌های مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی در سیستم مدیریت بحران را به‌صورت یکپارچه در ساختار یک مدل دوسطحی فرموله کردند. اهداف سطح اول و دوم به‌ترتیب بیشینه‌سازی زمان کل خدمات و کمینه‌سازی هزینه‌های پشتیبانی بود. آن‌ها برای حل مدل‌های خود از الگوریتم ژنتیک استفاده نمودند [۶]. لی و همکاران در تحقیقی که در سال ۲۰۱۲ انجام دادند، مدلی مبتنی بر سناریو جهت مکان‌یابی پناهگاه‌ها و برنامه‌ریزی‌های حمل‌ونقل‌های تخلیه در خصوص وقوع گردباد با اندازه‌های مختلف توسعه دادند. ایشان یک مدل بهینه‌سازی دوسطحی تصادفی در این خصوص طراحی کردند. تصمیم‌گیرنده سطح بالا، برنامه‌ریز تسهیلات و سطح پایین، کاربران شبکه درنظر گرفته شده است. مدل سطح بالا یک مدل دومرحله‌ای برنامه‌ریزی تصادفی در خصوص مکان‌یابی و تخصیص می‌باشد. در مرحله اول شناسایی پناهگاه‌ها و بعد از مشاهده یک سناریو گردباد در مرحله دوم، انتخاب پناهگاه خارج از محدوده بحران جهت تخصیص ناحیه تخلیه به آن صورت گرفته است. سطح پایین مدل در خصوص تصمیم‌گیرندگان کاربران شبکه در خصوص انتخاب مسیر است [۷].

۳. بیان مسأله و نوآوری تحقیق

بحث سلسله مراتبی بودن شبکه ذخیره‌سازی و توزیع اقلام اضطراری بیانگر این موضوع می‌باشد که مسأله مکان‌یابی انبارهای اضطراری ممکن است دارای چندین تصمیم‌گیرنده در سطوح مختلف و با سطح اختیارات مختلف باشد. در برخی کشورها دولت مرکزی به‌صورت مستقل از مدیران منطقه‌ای اقدام به مکان‌یابی برخی تسهیلات بنیادین همچون انبارهای نگهداشت کالا در سطح کشور می‌کند، این در حالی است که تصمیم‌گیرندگان منطقه‌ای فارغ از مصلحت‌های ملی به‌دنبال جذب منابع به‌نفع منطقه تحت پوشش خود می‌باشند و سعی بر کسب مطلوبیت بیشتر در آن منطقه را دارند. مکان‌یابی انبارهای ذخیره‌سازی اقلام اضطراری در سطوح مختلف ملی و منطقه‌ای نیز از این مقوله مستثنی نمی‌باشد. تعیین بهینه مکان و تعداد سایت‌های ذخیره‌سازی اقلام اضطراری در سطوح ملی بر تعداد و مکان انبارهای سطوح منطقه‌ای و سطح موجودی کالاهای مربوط به آن‌ها تأثیرگذار است. ضمناً چگونگی تخصیص انبارها به نقاط تقاضا و تخصیص اقلام اضطراری در سطوح پایین‌تر، خود عاملی تأثیرگذار بر مکان انبارهای سطح بالاتر می‌باشد.

جدول (۱): خلاصه تحقیقات صورت گرفته در زمینه استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی در مسائل مکان‌یابی در مدیریت بحران

نویسندگان	مسأله	نوع مدل	فاز	بحران	روش حل	چند کالایی	تعداد پیروها
جینگ و همکاران [۸]	مکان‌یابی-تخصیص منابع	عدد صحیح مختلط	آمادگی و پاسخ‌گویی	زلزله	ازدحام ذرات PSO	>۱	۱
هوالی و همکاران [۶]	مکان‌یابی-مسیریابی	عدد صحیح	پاسخ‌گویی	کلی	الگوریتم ژنتیک	>۱	۱
لی و یین هونگ [۹]	توزیع	عدد صحیح مختلط	پاسخ‌گویی	کلی	شمارش صحیح	۱	۱
کاماچو-والجو و همکاران [۱۰]	توزیع	عدد صحیح مختلط	پاسخ‌گویی	زلزله	تک‌سطحی کردن و حل ابتکاری	۱	۱
گوتجهر و دزبور [۱۱]	توزیع	عدد صحیح مختلط	پاسخ‌گویی	کلی	دقیق	۱	۱
خو و همکاران [۱۲]	توزیع	عدد صحیح	پاسخ‌گویی	زلزله	الگوریتم ژنتیک تعاملی	۱	۱
چن و همکاران [۱۳]	تخصیص منابع	عدد صحیح مختلط	پاسخ‌گویی و بازسازی	زلزله	تفاضلی تودرتو	۱	۱
صفایی و همکاران [۱۴]	موقعیت‌یابی ازپیش	عدد صحیح مختلط	آمادگی	سیل	تک‌سطحی کردن و حل دقیق	۱	۱
حائری [۱۵]	موقعیت‌یابی ازپیش	عددصحیح مختلط	آمادگی و پاسخ‌گویی	زلزله	برنامه‌ریزی آرمانی فازی	>۱	۱
ثقه ئی و همکاران [۱۶]	موقعیت‌یابی ازپیش	عددصحیح مختلط	آمادگی و پاسخ‌گویی	زلزله	ژنتیک تودرتو	۱	۱
تحقیق حاضر	موقعیت‌یابی ازپیش	عددصحیح مختلط	آمادگی و پاسخ‌گویی	زلزله	تکاملی هم‌زمان	۱	>۱

جدول (۲): خلاصه تحقیقات صورت گرفته در زمینه استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی در مسائل مکان‌یابی در مدیریت بحران

نویسندگان	مدل سطح بالا		مدل سطح پایین	
	تصمیم	تابع هدف	تصمیم	تابع هدف
جینگ و همکاران [۸]	مکان‌یابی، موجودی، تخصیص	هزینه (↓)	مکان‌یابی، موجودی، تخصیص	هزینه (↓)
هوالی و همکاران [۶]	مکان‌یابی	هزینه (↓)	انتخاب مسیر	زمان رضایت‌مندی (↑)
لی و یین هونگ [۹]	مکان‌یابی مرکز توزیع	هزینه (↓)	تخصیص	تعادل کاربر (↓)
کاماچو-والجو و همکاران [۱۰]	تخصیص	زمان پاسخ (↓)	تخصیص	هزینه حمل‌ونقل (↓)
گوتجهر و دزبور [۱۱]	مکان‌یابی مرکز توزیع	هزینه (↓)، تقاضای پوشش داده نشده (↓)	تخصیص	تعادل کاربر (↓)
خو و همکاران [۱۲]	مکان‌یابی	فاصله وزن‌دار (↓)	انتخاب مسیر	زمان حمل‌ونقل (↓)
چن و همکاران [۱۳]	مکان‌یابی-تخصیص	زمان پاسخ (↓)	تخصیص	کمینه نرخ تحقق تقاضا (↑)
صفایی و همکاران [۱۴]	موجودی-مکان‌یابی	تقاضای پوشش داده نشده (↓)، هزینه (↓)	تخصیص	ریسک تأمین (↓)
حائری [۱۵]	موجودی- مکان‌یابی	تقاضای پوشش داده نشده (↓)، هزینه (↓)	تخصیص	هزینه حمل‌ونقل تأمین اقلام امدادی (↓)
ثقه‌ئی و همکاران [۱۶]	مکان‌یابی-تخصیص	مجموع وزنی فاصله‌ها (↓)	مکان‌یابی-تخصیص	مجموع وزنی فاصله‌ها (↓)
تحقیق حاضر	مکان‌یابی-تخصیص	هزینه (↓)	مکان‌یابی-تخصیص	زمان پاسخ‌گویی (↓)

وجود تصمیم‌گیرندگان مختلف در حوزه مدیریت بحران، استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی ریاضی استاندارد برای تعیین بهینه مکان انبارهای ذخیره‌سازی اقلام اضطراری را با چالش‌هایی مواجه می‌کند و اثربخشی این نوع برنامه‌ریزی را کاهش می‌دهد. برنامه‌ریزی‌های ریاضی استاندارد بیشتر شامل مسأله‌هایی می‌شود که در آن یک تصمیم‌گیرنده وجود دارد. به‌طور کلی مسأله‌هایی که شامل چند تصمیم‌گیرنده مجزا در سطوح مختلف باشند و همچنین هرکدام از تصمیم‌گیرندگان به‌دنبال منفعت بیشتر برای خود باشند را می‌توان مسأله‌های بهینه‌سازی چندسطحی نامید. بهینه‌سازی چندسطحی یکی از حوزه‌های پراهمیت برنامه‌ریزی ریاضی می‌باشد.

باتوجه به موارد مطرح شده در خصوص ماهیت چندسطحی بودن مسأله موقعیت‌یابی انبارهای اضطراری بحران، در این مقاله سعی شده

است از رویکردهای بهینه‌سازی دوسطحی با بیش از یک پیرو که حالت خاصی از مسائل چندسطحی است، جهت مدل‌سازی مکان‌یابی و تخصیص انبارهای سطح ملی و منطقه‌ای به‌یکدیگر استفاده شود. استفاده از برنامه‌ریزی دوسطحی، یک روش برای جلوگیری از ایجاد اختلال در تصمیم‌گیرندگان سطح بالا (دولت مرکزی) توسط تصمیم‌گیرندگان سطح پایین (مدیران منطقه‌ای) در رابطه با مسأله موقعیت‌یابی از پیش‌انبارهای اضطراری است. در مدل بهینه‌سازی طراحی شده، محدودیت‌هایی برای ظرفیت انبارها و حداستانه فاصله‌ای خدمت‌دهی درنظر گرفته شده است. چارچوب کلی حل مدل، براساس الگوریتم‌های تکاملی هم‌زمان طراحی شده است. مسائل مختلفی با تعداد و قدرت‌های متفاوت برای تصمیم‌گیرندگان تنظیم و حل شده است. باتوجه به مرور ادبیات صورت گرفته تحقیق و همان‌طور که در جدول‌های (۱) و (۲) نیز مشخص است، سهم نوآوری این تحقیق را می‌توان به شرح زیر خلاصه کرد:

- تصمیم‌گیری هم‌زمان در خصوص مکان و تخصیص انبارهای اضطراری در سطوح ملی و منطقه‌ای در شبکه ذخیره‌سازی و توزیع اقلام امدادی بحران.
- مدل‌سازی مسأله مکان‌یابی و تخصیص بااستفاده از رویکرد بهینه‌سازی دوسطحی چندپیرو با درنظر گرفتن قدرت تصمیم‌گیرندگان.
- توسعه مدل برنامه‌ریزی دوسطحی مبتنی بر حداقل رساندن مجموع کل هزینه‌های استقرار و توزیع کالا در سطح بالا و کل زمان پاسخ‌گویی در سطح پایین.
- طراحی یک رویکرد حل تکاملی هم‌زمان مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای حل مدل‌های مکان‌یابی-تخصیص دوسطحی چندپیرو با تعداد پیروهای متغیر در حالت عدم همکاری.

۴. برنامه‌ریزی دوسطحی چند رهبر/چندپیرو

مسأله‌های تصمیم‌گیری در سازمان‌های غیرمتمرکز معمولاً تحت بازی استکلبرگ مدل‌سازی می‌شوند [۱۷]. این مسأله‌ها در قالب مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی مدل‌سازی می‌شوند. به‌طوری‌که یک مسأله بهینه‌سازی با عنوان رهبر (سطح بالا) توسط یک مسأله دیگر بهینه‌سازی به عنوان پیرو (سطح پایین) محدود شود [۱۸]. در مفهوم برنامه‌ریزی دوسطحی تصمیم‌گیری سطح بالا ابتدا سیاست خود را تعیین می‌کند و سپس تصمیم‌گیرنده سطح پایین استراتژی خود را با فرض آگاه بودن از تصمیم اخذ شده توسط تصمیم‌گیرنده سطح بالا جهت بهینه‌سازی اهداف خود انتخاب می‌کند. این موضوع تا رسیدن به نقطه تعادل ادامه پیدا خواهد کرد. مدل کلی برنامه‌ریزی دوسطحی به‌صورت زیر ارائه شده است [۱۹]:

$$\min_{x\in X} F(x,y)$$
$$s.t\ G(x,y)\le 0$$
$$\min_{y\in Y} f(x,y)$$
$$s.t\ g(x,y)\le 0$$
$$x,y\ge 0$$

رهبر سعی در کمینه کردن تابع $F(x,y)$ و انتخاب $x\in X$ دارد به‌طوری‌که بهترین پاسخ به پیرو ارائه گردد تا پیرو هم با درنظر گرفتن $y(x^*)$ بتواند تابع تابع $f(x,y)$ را کمینه نماید. همچنین در هر سطح بایستی محدودیت‌های $G(x,y)\le 0$ و $g(x,y)\le 0$ درنظر گرفته شود.

با فرض این واقعیت که محدودیت‌های برنامه‌ریزی دوسطحی نسبت به برنامه‌ریزی با یک تصمیم‌گیرنده بیشتر می‌باشد اما کاربردهای مسائل بهینه‌سازی با چند تصمیم‌گیرنده در دنیای واقعی در حال افزایش می‌باشد [۲۰]. مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی زیادی وجود دارند که واحدهای تصمیم‌گیرنده چندگانه یا در مدل سطح بالا یا مدل سطح پایین وجود دارند. این‌گونه مسائل تحت عنوان برنامه‌ریزی دوسطحی چندرهبر و چندپیرو نام‌گذاری شده‌اند. مطابق با جدول (۳) این‌گونه مسائل از حیث استقلال و اشتراکات موجود در تابع هدف، محدودیت‌ها و متغیرها مربوط به پیروها یا رهبرها به نه دسته تقسیم شده‌اند [۲۱].

یکی از ابتدایی‌ترین تحقیقات صورت گرفته در خصوص حل مدل‌های دوسطحی چندپیرو را می‌توان به تحقیق لیو در سال ۱۹۹۸ نسبت داد. ایشان ضمن معرفی فرم کلی مسأله برنامه‌ریزی دوسطحی چندپیرو، جزئیات مربوط به الگوریتم ژنتیک توسعه داده شده را تشریح نمودند [۲۲]. لو، شی و جانگ با همکاری محققان دیگری، تحقیقات زیادی در حوزه حل و معرفی برنامه‌ریزی چندسطحی چندرهبر و چندپیرو انجام داده‌اند. ایشان در مسأله چندپیرو با تمرکز بر مسائل تصمیم‌گیری با درنظر گرفتن عدم همکاری، روش حلی را از طریق رویکرد یک‌سطحی نمودن مسأله برنامه‌ریزی خطی بااستفاده از شرایط کاهن تاکر ارائه نمودند [۲۳].

جدول (۳): انواع مسائل دوسطحی چندپیرو/ چند رهبر

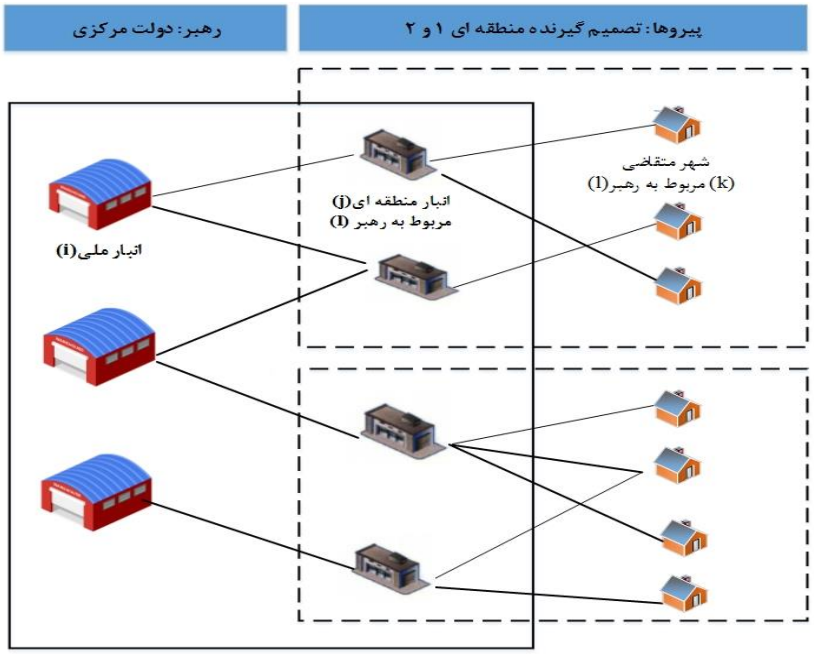
ارتباط	فاکتور ارتباطات		
پیروها/رهبرها	متغیرهای تصمیم	تابع هدف	محدودیت‌ها
عدم همکاری	مستقل	مستقل	مستقل
همکاری	مشترک	مشترک	مشترک
همکاری نسبی	مشترک	مشترک	مستقل
		مستقل	مشترک
			مستقل
مرجع-بدون همکاری	مستقل اما برخی از متغیرها در پیروها به عنوان مرجع	مشترک	مشترک
			مستقل
		مستقل	مشترک
			مستقل

چنگ و همکاران یک الگوریتم ژنتیک در خصوص برنامه‌ریزی دوسطحی کسری با چندپیرو ارائه نمودند [۲۴]. سینها یک رویکرد تودرتو تکاملی برای حل مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی چنددوره‌ای چندپیرو و چندرهبر ارائه نمود [۲۵]. گائو در پایان‌نامه دکتری خود ضمن توسعه یک سیستم توسعه پشتیبان پنج حالت از مسائل

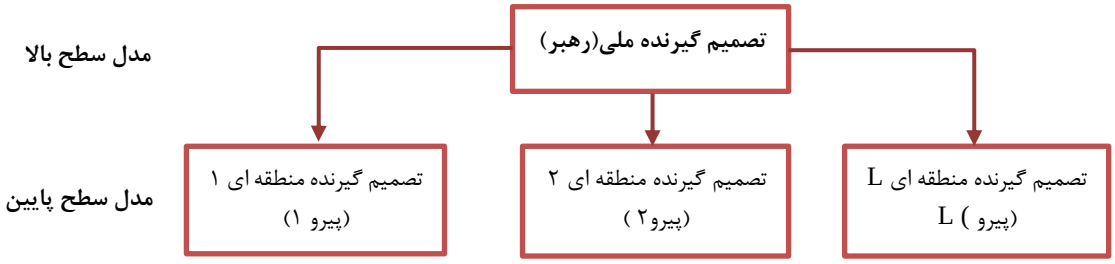
دوسطحی/خطی/فازی/ چندپیرو/چندهدفه را درنظر گرفت. برای حل این مدل‌ها روش‌های تقریبی براساس الگوریتم شاخه کران، kامین بهترین و برش مجموعه توسعه داد و روش تکاملی براساس الگوریتم PSO برای حل مسأله چندرهبر و یک پیرو ارائه نمود. در انتها تحقیق دقت الگوریتم‌های توسعه داده شده بااستفاده از دو مطالعه موردی در حوزه مدیریت جریان واگن‌ها در صنعت ریلی و بازار انرژی مورد سنجش قرار گرفت [۲۶]. مسائل برنامه‌ریزی دوسطحی در فرم ساده خطی جزو مسائل سخت از لحاظ پیچیدگی حل دسته بندی می‌شوند [۲۷]. لذا با افزایش سایز مسأله یا تعداد تصمیم‌گیرندگان به‌صورت فرم مسائل چندرهبر و چندپیرو، پیچیدگی حل افزایش پیدا کرده و کارایی روش‌های حل کلاسیک کاهش و الگوریتم‌های تکاملی مورد توجه بیشتر قرار می‌گیرند.

۵. فرموله کردن مسأله

سطح‌بندی پیشنهادی شبکه ذخایر اقلام اضطراری در شکل (۱) مشخص شده است. در این مسأله یک شبکه زنجیره‌تأمین دارای سه لایه شامل انبارهای ملی، منطقه‌ای و نقاط تقاضا مشخص شده است. انبارهای منطقه‌ای اقلام اضطراری خود را از انبارهای ملی دریافت می‌کنند. همان‌طور که در شکل (۲) مشخص است، مدل‌سازی این مسأله به دو سطح تقسیم بندی شده است. به‌ترتیب مدل سطح بالا و پایین در خصوص مکان‌یابی و تخصیص انبارهای ملی و منطقه‌ای تصمیم‌گیری می‌کنند. مدل از یک تصمیم‌گیرنده در سطح ملی (رهبر) و چند تصمیم‌گیرنده در سطح منطقه‌ای (پیرو) تشکیل شده است. برای مثال تصمیم‌گیرنده سطح بالا را می‌توان دولت مرکزی هر کشوری درنظر گرفت. تصمیم‌گیرنده مدل سطح بالا، مکان‌یابی انبارهای ملی و تخصیص انبارهای ملی به سطوح منطقه‌ای را برعهده دارد. تصمیم‌گیرندگان مدل سطح پایین، نمایندگان استانی پارلمان و یا متولیان بحران منطقه‌ای درنظر گرفته می‌شوند. این تصمیم‌گیرندگان در خصوص تعیین مکان انبارهای منطقه‌ای و تخصیص آن‌ها به نقاط تقاضا در منطقه تحت پوشش خود تصمیم‌گیری می نمایند. تصمیمات مدل سطح پایین، مکان انبارهای ملی و چگونگی تخصیص آن‌ها به انبارهای منطقه‌ای را تحت تأثیر قرار می‌دهد.



شکل(۱): مسأله مکان‌یابی- تخصیص انبارهای اضطراری از طریق برنامه‌ریزی دوسطحی دوپیرو



شکل (۲): چارچوب کلی مسأله دوسطحی یک رهبر و چندپیرو

۵-۱. مفروضات مدل‌سازی

- مناطق جغرافیایی هر پیرو برای مکان‌یابی انبارهای منطقه‌ای به‌صورت جداگانه و مستقل از یکدیگر می‌باشند.
- هر پیرو موظف به برطرف نمودن نیاز شهرهای متقاضی تحت پوشش خود هستند. حداکثر تعداد انبارهای ملی و منطقه‌ای موردنیاز جهت راه‌اندازی توسط مدل مشخص می‌گردد.
- هر انبار ملی امکان خدمت‌دهی به چند انبار منطقه‌ای را دارا می‌باشد.
- هر انبار منطقه‌ای امکان خدمت‌دهی به چند شهر متقاضی مربوط به منطقه تحت پوشش خود را دارا می‌باشد.
- شهرهای متقاضی مربوط به هر پیرو کالای موردنیاز خود را از طریق چندین انبار منطقه‌ای مربوط به خود دریافت می‌نمایند.
- تقاضا انبارهای منطقه‌ای برای هر پیرو را می‌توان از طریق چندین انبار ملی برطرف نمود.
- دوره زمانی را ثابت درنظر گرفته و مدل ایستا است.
- تسهیلات ذخیره‌سازی دارای محدودیت ظرفیت می‌باشند.
- مسأله تک‌کالایی است.
- مسأله با فرض وقوع یک بحران مدل‌سازی شده است.
- امکان دریافت کالا به‌صورت مستقیم از انبارهای ملی به نقاط تقاضا وجود ندارد.

۵-۲. فرمولاسیون ریاضی

اندیس‌ها و مجموعه‌ها:

i مجموعه شهرهای کاندید انبارهای ملی $(i \in I)$

j مجموعه شهرهای کاندید انبارهای منطقه‌ای $(j \in J)$

k مجموعه شهرهای متقاضی اقلام امدادی $(k \in K)$

l مجموعه پیروها $(l \in L)$

M_l زیرمجموعه‌ای از انبارهای منطقه‌ای مربوط به پیرو lام

N_l زیرمجموعه‌ای از شهرهای متقاضی دریافت کالای امدادی مربوط به پیرو lام

پارامترها:

c_{ij} هزینه واحد حمل‌ونقل کالا از انبار ملی iام به انبار منطقه‌ای jام

f_i هزینه ثابت استقرار انبار ملی در شهر کاندیدiام

$\bar{f}_j^l$ هزینه ثابت استقرار انبار منطقه‌ای در شهر کاندید j ام مربوط به پیرو l ام

d_{ij} مسافت جاده ای بین انبار ملی iام و انبار منطقه‌ای jام

$\bar{d}_{jk}^l$ مسافت جاده ای بین انبار منطقه‌ای jام و شهر متقاضی kام مربوط به پیرو lام

p_i ظرفیت انبار ملی i ام

$\bar{p}_j^l$ ظرفیت انبار منطقه‌ای jام مربوط به پیرو lام

D_k^l تقاضا کالا امدادی شهر متقاضی kام مربوط به پیرو lام

$\bar{t}_{jk}^l$ زمان پاسخ‌گویی به تقاضا شهر متقاضی kام پیرو lام از انبار منطقه‌ای j ام

tr_i حداکثر فاصله‌ای که انبار ملی iام به انبارهای منطقه‌ای کالا ارسال نماید.

$\bar{tr}_j^l$ حداکثر فاصله‌ای که انبار منطقه‌ای Jام می‌تواند به شهرهای متقاضی کالا ارسال نماید.

B^l حداکثر بودجه در اختیار پیرو lام جهت استقرار انبارهای منطقه‌ای

متغیرها:

z_i اگر یک انبار ملی در شهر کاندید i ام استقرار پیدا کند برابر با ۱ و در غیر این صورت مساوی با صفر است.

x_{ij} میزان محموله‌های امدادی که از انبار ملی iام به انبار منطقه‌ای jام تخصیص داده می‌شود.

$\bar{z}_j^l$ اگر یک انبار منطقه‌ای مربوط به پیرو lام در شهر کاندید j ام استقرار پیدا کند برابر با ۱ و در غیر این صورت مساوی با صفر است.

y_{jk}^l میزان محموله‌های امدادی که از انبار منطقه‌ای jام به شهر متقاضی kام تخصیص داده می‌شود.

s_{ij} اگر انبار منطقه‌ای jام به انبار ملی i ام تخصیص داده شود برابر با ۱ و در غیر این صورت مساوی با صفر است.

مدل سطح بالا با یک رهبر:

$$\text{Min} \quad \sum_i f_i z_i + \sum_i \sum_i c_{ij} x_{ij} \qquad (۱)$$

Subject to:

$$\sum_i z_i \geq 1 \qquad (۲)$$

$$s_{ij} \leq x_{ij} \leq s_{ij} p_i \qquad \forall i,j \qquad (۳)$$

$$s_{ij} \leq z_i \qquad \forall i,j \qquad (۴)$$

$$d_{ij} s_{ij} \leq tr_i \qquad \forall i,j \qquad (۵)$$

$$\sum_j x_{ij} \leq p_i z_i \qquad \forall i \qquad (۶)$$

$$\sum_i x_{ij} \leq \bar{p}_j \bar{z}_j^l \qquad \forall l, j \in M_l \qquad (۷)$$

$$\sum_i x_{ij} = \sum_{k \in N_l} y_{jk}^l \qquad \forall l, j \in M_l \qquad (۸)$$

$$z_i, s_{ij} \in \{0,1\} \ , x_{ij} \in int \qquad (۹)$$

مدل سطح پایین با چندپیرو:

$$\text{Min} \quad \sum_{j \in M_l} \sum_{k \in N_l} \bar{t}_{jk}^l y_{jk}^l \qquad \forall l \qquad (۱۰)$$

Subject to:

$$\bar{z}_j^l \leq \sum_{k \in N_l} y_{jk}^l \leq \bar{p}_j^l \bar{z}_j^l \qquad \forall l, j \in M_l \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{j \in M_l} y_{jk}^l \geq D_k^l \qquad \forall l, k \in N_l \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{k \in N_l} y_{jk}^l = \left(\sum_i x_{ij}\right) \bar{z}_j^l \qquad \forall l, j \in M_l \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{j \in M_l} \bar{f}_j^l \bar{z}_j^l \leq B^l \qquad \forall l \qquad (۱۴)$$

$$\bar{z}_j^l \in \{0,1\}, y_{jk}^l \in int \qquad \forall l, j \in M_l, k \in N_l \qquad (۱۵)$$

مدل سطح بالا:

معادلات (۱) الی (۹) نشان‌دهنده مدل سطح پایین می‌باشند. معادله (۱) تابع هدف تصمیم‌گیرنده سطح پایین (دولت مرکزی) است که به دنبال حداقل‌سازی مجموع کل هزینه‌های متغیر تخصیص کالا از انبارهای ملی به انبارهای منطقه‌ای تأسیس شده متعلق به تمامی پیروها و هزینه راه‌اندازی انبارهای ملی می‌باشد. محدودیت (۲) تضمین می‌کند که حداقل یک انبار ملی در کلیه نقاط کاندید تأسیس

شود. محدودیت (۳) تضمین‌کننده این است که اگر متغیر تخصیص s_{ij} مقدار یک به‌دست آورد، متغیر x_{ij} هم صفر نمی‌گیرد، در غیر این صورت هر دو مقدار صفر می‌گیرند. به عبارتی دیگر اگر انبار منطقه‌ای به انبار ملی تخصیص یابد، مقدار ارسال کالا بین آن‌ها حداکثر به اندازه ظرفیت انبار می‌باشد. محدودیت (۴) تضمین می‌کند که اگر انبار ملی در نقطه کاندیدا استقرار پیدا کند، امکان تخصیص به انبارهای منطقه‌ای را دارا می‌باشد، در غیر این صورت مقدار متغیر تخصیص صفر می‌شود. معادله (۵)، محدودیت حدآستانه مسافت جهت سرویس‌دهی انبار ملی به انبارهای منطقه‌ای است، به این معنی که اگر کاندیدای انبار منطقه‌ای در فاصله‌ای خارج از حد آستانه از انبار ملی قرار گرفته باشد اجازه دریافت کالا از آن انبار ملی را پیدا نمی‌کند. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که مجموع کل، کالاهای تخصیص یافته از هر انبار ملی به انبارهای منطقه‌ای بیش از ظرفیت انبار ملی صورت نگیرد. محدودیت (۷) تضمین‌کننده این است که بیشتر از ظرفیت انبار منطقه‌ای، کالا از انبارهای ملی به آن انبار منطقه‌ای تخصیص داده نشود. محدودیت (۸) باعث می‌شود که میزان کل اقلام دریافتی هر انبار منطقه‌ای از انبارهای ملی برابر با کالاهای ارسالی از آن انبار منطقه‌ای به شهرهای متقاضی باشد.

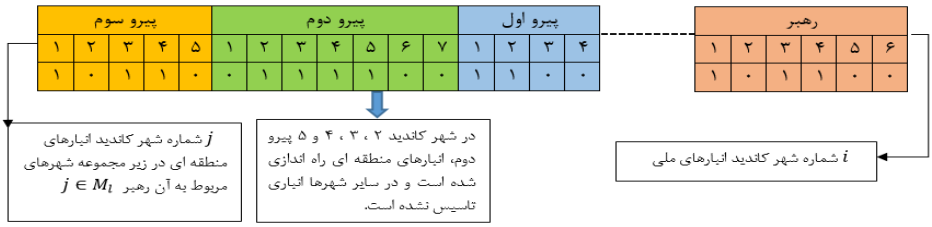
مدل سطح پایین:

معادلات (۱۰) الی (۱۵) مربوط به مدل سطح بالا می‌باشند. تابع هدف مدل سطح بالا، معادله (۱۰) می‌باشد که تمامی رهبرها بدون همکاری با یکدیگر به‌دنبال حداقل‌سازی مجموع کل وزنی زمان پاسخ‌گویی و میزان کالا تخصیص داده شده به تمامی شهرهای متقاضی مربوط به خود می‌باشند. در فرایند تخصیص انبارهای ملی به انبارهای منطقه‌ای، اولویت بیشتر با انبار منطقه‌ای است که قدرت آن پیرو، بیشتر از بقیه پیروها باشد. محدودیت (۱۱) تضمین‌کننده این است که اگر انبار منطقه‌ای در شهر کاندید j ام راه‌اندازی نشود، مجموع کل کالاهای ارسالی از آن انبار منطقه‌ای به شهرهای متقاضی صفر شود و اگر انبار در آن شهر استقرار پیدا کرد، بیشتر از یک واحد و کمتر از ظرفیت انبار منطقه‌ای کالا به شهرهای متقاضی ارسال شود. محدودیت (۱۲) باعث می‌شود، تقاضا تمامی شهرهای متقاضی هریک از پیروها به‌صورت مستقل تأمین شود و شهری وجود نداشته باشد که حداقل به اندازه تقاضا موردنیاز خود از انبارهای منطقه‌ای کالا دریافت نکرده باشد. محدودیت (۱۳) تضمین‌کننده تعادل تخصیص کالا به انبارهای منطقه‌ای برای هریک از پیروها است، به این نحو که میزان تخصیص از انبارهای ملی به انبار منطقه‌ای بایستی مساوی کالا تخصیص یافته از انبارهای منطقه‌ای به نقاط تقاضا باشد. محدودیت (۱۴) تضمین‌کننده آن است که هریک از تصمیم‌گیرندگان سطح پایین بیشتر از بودجه در اختیار خود اقدام به تأسیس انبار اضطراری ننمایند. معادلات (۹) و (۱۵) به‌ترتیب محدودیت‌های مربوط به نوع متغیرهای تصمیم مدل سطح بالا و پایین است.

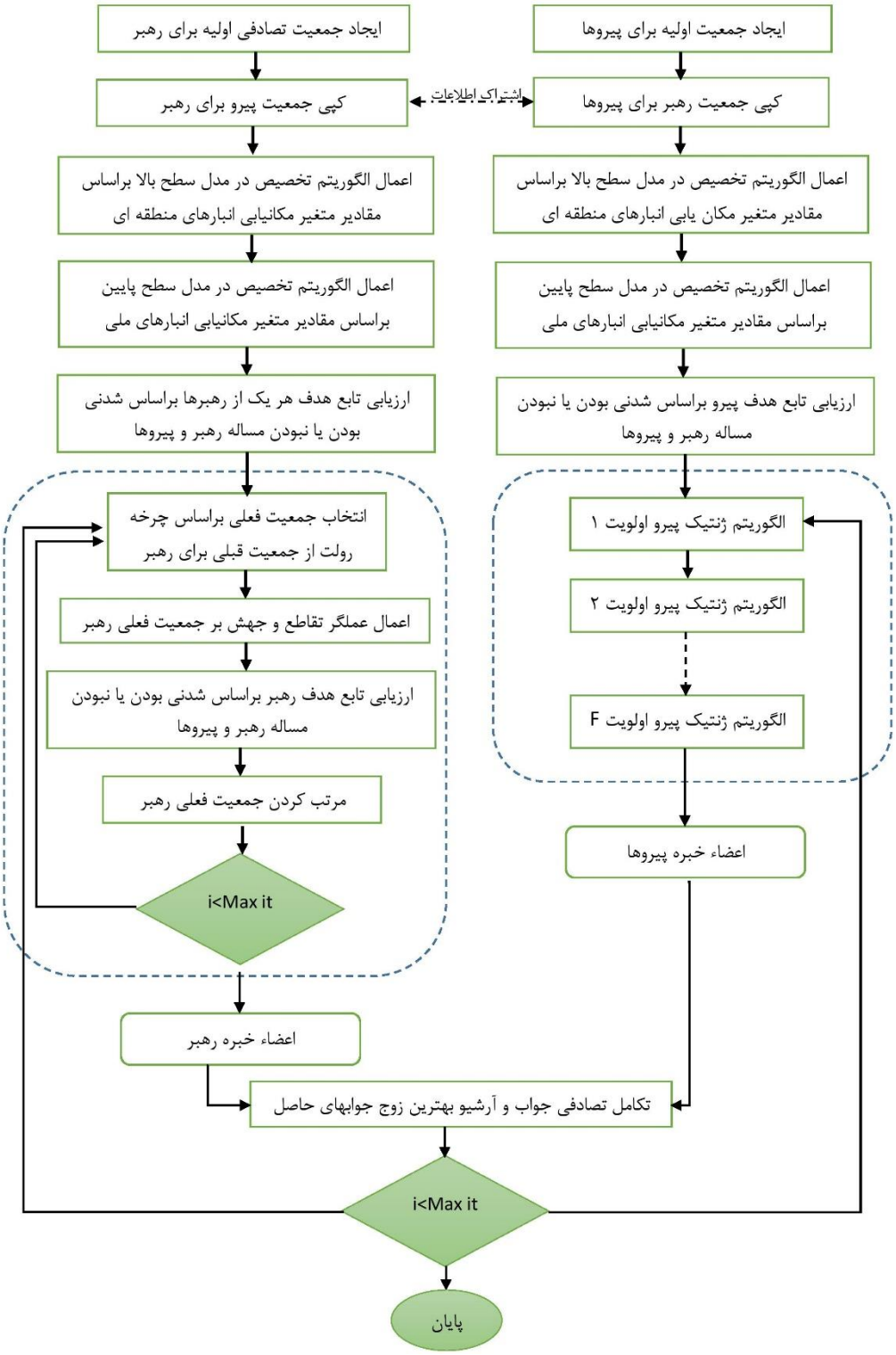
۶. حل مدل برنامه‌ریزی دوسطحی چندپیرو عدم همکاری برای مسأله مکان‌یابی و تخصیص

ساختار کلی الگوریتم حل توسعه داده شده در این مقاله براساس رویکردهای تکاملی هم‌زمان می‌باشد. همان‌طور که در شکل (۴) مشخص است، ساختار کلی الگوریتم براساس اشتراک اطلاعات بین الگوریتم‌های تکاملی موازی می‌باشد. اشتراک اطلاعات به این معنی می‌باشد که بردار جواب‌های تمامی پیروها برای رهبر کپی می‌شود و هم‌زمان بردار جواب رهبر برای پیروها کپی می‌شود. این موضوع کمک به در جریان قرار گرفتن هر سطح از مدل از جواب‌های سطح دیگر مدل می‌نماید. ساختار کلی الگوریتم از دو فاز تولید جواب اولیه و ارزیابی جواب‌ها تشکیل شده است که در ادامه مراحل این الگوریتم تشریح شده است.

گام اول: در فاز تولید جواب اولیه هر دو الگوریتم ژنتیک (مربوط به مدل سطح بالا و سطح پایین) به‌صورت موازی اقدام به تولید جواب‌های تصادفی برای متغیرهای مکان‌یابی انبارهای ملی و منطقه‌ای می نمایند. مطابق با شکل (۳)، ساختار بردار جواب مسأله بیانگر مقداردهی به متغیرهای مکان‌یابی انبارهای ملی و منطقه‌ای در سطح بالا و پایین مدل می‌باشد و تعیین متغیرهای تخصیص در دو سطح مدل، توسط دو الگوریتم تخصیص ابتکاری به‌صورت جداگانه صورت می‌گرد. بردار جواب به این صورت است که به تعداد پیروها، بردارهای سطری حاوی اعداد تصادفی صفر یا یک ایجاد می‌گردد. درج عدد یک در خانه‌های کروموزم به معنی تأسیس انبار ملی یا منطقه‌ای در شهر کاندید است. برای مثال همان‌طور که در شکل (۳) نیز مشخص است برای مسأله ۳ پیرو مشخص شده، بردار جواب ارائه شده به‌ترتیب نشان‌دهنده وجود ۶ شهر کاندید جهت راه‌اندازی انبارهای ملی و ۴، ۷ و ۵ شهر کاندید برای پیروهای ۱ الی ۳ جهت راه‌اندازی انبارهای منطقه‌ای می‌باشد که از آن میان رهبر اقدام به راه‌اندازی انبارهای ۱، ۳ و ۴ نموده است.



شکل (۳): ساختار بردار جواب الگوریتم ژنتیک موازی مدل برنامه‌ریزی دوسطحی سه پیرو



شکل (۴): ساختار حل هم‌زمان ژنتیک بهینه‌سازی دوسطحی یک رهبر و چندپیرو عدم همکاری

گام دوم و سوم: هم‌زمان بااستفاده از الگوریتم‌های ابتکاری تخصیص، به‌ترتیب در مدل سطح بالا و سطح پایین تخصیص تسهیلات صورت می‌گیرد.

گام چهارم: در این مرحله جواب‌ها ارزیابی شده و مقادیر تابع هدف محاسبه می‌شوند. اگر جواب‌های به‌دست آمده رهبر برای پیرو نشدنی باشد، جریمه‌ای برای تابع هدف در الگوریتم ژنتیک پیرو درنظر گرفته می‌شود. این جریمه مازاد بر جریمه‌ای است که در صورت نشدنی بودن بردارهای جواب تولید شده پیرو اعمال می‌گردد. در الگوریتم ژنتیک رهبر نیز اگر جواب پیرو نشدنی باشد، جریمه‌ای برای رهبر درنظر گرفته می‌شود. مکانیزم جریمه می‌توانند تضمین‌کننده محدودیت‌های تعادل در مدل‌های سطح بالا و پایین یعنی معادلات شماره [۴] و [۱۴] باشد. ضمناً اعمال جریمه با هدف اشتراک

اطلاعاتی جواب‌ها جهت هم‌سویی جواب‌های پیرو و رهبر برای جستجو جواب‌های در فضای شدنی در نظر گرفته شده است.

گام پنجم: در فاز ارزیابی، عملگرهای تقاطع و جهش بر جواب‌های اولیه اعمال می‌گردد. از عملگر تقاطع دونقطه‌ای جهت ایجاد کرموزوم‌های فرزند استفاده شده است. عملگر جهش به‌مشابه عملگر تقاطع به‌صورت تصادفی و با شانس یکسان، یک خانه از کروموزوم را انتخاب کرده و مقدار آن از صفر به یک و از یک به صفر تغییر می‌کند.

گام ششم: اجرای گام ۴ و ذخیره بهترین جواب‌ها در حافظه الگوریتم.

گام هفتم: تکرار مراحل قبلی تا زمان توقف الگوریتم‌ها براساس شرایط توقف تعیین شده.

۶-۱. تنظیم پارامترهای مدل ریاضی

باتوجه به موقعیت جغرافیایی کشور ایران و قرار گرفتن بر گسل‌های مختلف، یکی از بحران‌های با ریسک بالا در این کشور بحران زلزله می‌باشد. این موضوع باعث گردید جهت انتخاب یک بحران با هدف تنظیم پارامترهای مدل ریاضی، بحران زلزله مبنای جمع‌آوری داده‌های این تحقیق قرار گیرد. در این مرحله باتوجه به پارامترهای مدل ریاضی، داده‌های لازم از سازمان‌ها و منابع اطلاعاتی موجود در کشور ایران جمع‌آوری شده است که در ادامه فرایند تنظیم آن‌ها تشریح شده است.

تقاضا (D_k^l):

جهت تخمین این پارامتر از دو معیار جمعیت و ریسک زلزله‌پذیری شهرهای مختلف ایران استفاده شده است. ۱۱۸ شهر با جمعیت بالای ۱۵۰۰۰۰ نفر در ایران به‌عنوان نقاط تقاضا درنظر گرفته شده است. آمار مربوط به جمعیت این شهرها (PP_k^l) باتوجه به سرشماری عمومی نفوس و مسکن صورت گرفته در سال ۱۳۹۵ از درگاه ملی آمار مربوط به مرکز آمار ایران استخراج شده است. جهت تعیین ریسک زلزله خیزی (ER_k^l) هر شهرستان از آیین‌نامه طراحی ساختمان‌ها در خصوص زلزله استاندارد ۲۸۰۰ ایران ویرایش چهارم استفاده شده است. جهت محاسبه تقاضا نهایی پیرو lام مطابق با فرمول (۱۶) محاسبات صورت گرفته است.

$$D_k^l = PP_k^l \times ER_k^l \qquad (۱۶)$$

پارامترهای مسافت و زمان ($d_{ij}, \bar{d}_{JK}, \bar{t}_{jk}^l$):

۹ شهر مربوط به مراکز استان‌های بزرگ ایران به‌عنوان کاندید انبارهای ملی و ۳۱ شهر مربوط به مراکز تمامی استان‌های کشور ایران به‌عنوان کاندید انبارهای منطقه‌ای درنظر گرفته شده است. در این تحقیق برای محاسبه ماتریس مسافت و زمان بین شهرهای مختلف، مبنا مسافتهای جاده‌ای بوده است. اطلاعات ماتریس‌های مسافت و زمان از پلتفرم نقشه گوگل و سرویس فاصله API از طریق برنامه‌نویسی پایتون مستخرج شده است.

حد آستانه خدمت دهی انبارهای ملی (tr_i):

تراکم جمعیت در شهرهای مختلف در ایران همگون نمی‌باشد، برای مثال در مرکز و شمال کشور تراکم جمعیتی زیاد و شهرها به یکدیگر نزدیک می‌باشد و در جنوب شرقی شهرها دارای فاصله زیادی از یکدیگر می‌باشند. بنابراین مطابق با فرمول (۱۷) و (۱۸) جهت محاسبه این پارامتر از میانگین فاصله هر شهر کاندید جهت راه اندازی انبارهای ملی و منطقه‌ای از سایر تسهیلات کاندید جهت سرویس دهی استفاده شده است.

$$tr_i = \sum_{j=1}^{J} d_{ij} \Big/ J \qquad (۱۷)$$

$$\bar{tr}_j^l = \sum_{k=1}^{K} \bar{d}_{jk} \Big/ K \qquad (۱۸)$$

ظرفیت انبارهای ملی و منطقه‌ای ($p_i, \bar{p}_j$):

ظرفیت انبارهای ملی و منطقه‌ای براساس نسبتی از جمعیت قابل پوشش توسط شهر کاندید می‌باشند. مطابق با فرمول‌های (۱۹) و (۲۰) جمعیت قابل پوشش (cov_i, cov_j) براساس جمع وزن شهرهایی که در شعاع پوشش خدمت‌دهی شهر کاندید قرار می‌گیرند، محاسبه می‌شوند. در نهایت ظرفیت انبارها مطابق با فرمول‌های (۲۱) و (۲۲) از ضرب جمعیت تحت پوشش در میزان α به‌دست می‌آیند. پارامتر α براساس سایز شهر کاندید بزرگ، متوسط و کوچک به‌صورت مقادیری گسسته محاسبه شده است.

$$cov_i = \sum_{j \in S} udw_j \;\; \mathrm{S} = \{\mathrm{j}, d_{ij} \le tr_i\} \qquad (۱۹)$$

$$cov_j = \sum_{k \in T} ldw_k \;\; \mathrm{T} = \{\mathrm{k}, \bar{tr}_j^l \le \bar{tr}_j^l\} \qquad (۲۰)$$

$$p_i = \alpha * cov_i \qquad (۲۱)$$

$$\bar{p}_j = \alpha * cov_j \qquad (۲۲)$$

۶-۲. نتایج محاسباتی

پارامترهای الگوریتم ژنتیک هم‌زمان براساس روش آزمون و خطا مطابق با جدول (۴) تنظیم شده است. مکانیزم مرتب‌سازی و انتخاب در این الگوریتم چرخه رولت می‌باشد. در این تحقیق با هدف تحلیل چگونگی تأثیر قدرت و تعداد پیروها بر مقادیر توابع هدف مدل دوسطحی، مطابق با جدول (۵)، تعدادی مسأله با درنظرگفتن یک، دو و سه تصمیم‌گیرنده برای مدل سطح پایین (پیروها) و اولویت‌بندی‌های متفاوت در تخصیص انبارهای ملی به انبارهای منطقه‌ای مرتبط با آن‌ها تنظیم شده است که در ادامه نتایج حل مدل‌ها به تفکیک ارائه شده است.

جدول (۴): تنظیم پارامترهای الگوریتم حل

نام الگوریتم	اندازه جمعیت	نرخ تقاطع	نرخ جهش	فشار انتخاب	حداکثر تکرار
ژنتیک رهبر	۱۰۰	۰/۸	۰/۳	۱	۳۰
ژنتیک پیروها	۱۰۰	۰/۷	۰/۳	۱	۳۰
الگوریتم دوسطحی	۱۰۰	-	-	-	۱۰۰

جدول (۵): مشخصات مسأله‌های حل شده

نام مسأله	تعداد پیرو	ترتیب اولویت قدرت پیروها
MFUC-۱	۲	-
MFUC-۲-۱۲	۲	۱-۲
MFUC-۲-۲۱	۲	۲-۱
MFUC-۳-۱۲۳	۳	۱-۲-۳
MFUC-۳-۱۳۲	۳	۱=۳=۲
MFUC-۳-۲۱۳	۳	۲-۱-۳
MFUC-۳-۲۳۱	۳	۲-۳-۱
MFUC-۳-۳۱۲	۳	۳-۱-۲
MFUC-۳-۳۲۱	۳	۳-۲-۱

خلاصه نتایج حاصل از حل مدل‌ها، شامل سه شاخص میانگین جواب‌ها، بهترین جواب و انحراف معیار جواب‌ها برای توابع هدف مسأله با تعداد یک و دو پیرو محاسبه و در جدول‌های (۶) و (۷) ارائه شده است. در حل مسأله دو پیرو، مسأله‌ای که قدرت پیرو شماره ۲ در آن بیشتر بوده است، جواب‌های بهتری از حیث میانگین، بهترین جواب و انحراف معیار برای برای رهبر (تابع هدف هزینه)، نسبت به مسأله‌ای است که پیرو شماره ۱در اولویت قرارداشته، به‌دست آورده است. در این مسأله مقادیر بیشتری برای جمع توابع هدف پیروها (جمع کل زمان پاسخ‌گویی به همه شهرهای متقاضی) نسبت به مسأله مشابه حاصل شده است. همان‌طور که در شکل‌های (۵) و(۶) مشخص شده است مسأله‌ای که پیرو شماره ۱ از قدرت بیشتری برخوردار بوده است، از نظر بهترین جواب و میانگین جواب‌های حاصل برای توابع هدف پیرو شماره ۱ و ۲ نتایج نسبتاً بهتری کسب نموده است. شاید بتوان این‌گونه تحلیل کرد که بهبود جواب پیروها منجر به بدتر شدن جواب رهبرها شده است. همان‌طور که در شکل (۷) مشخص است، روند تغییرات تابع هدف رهبر در مقابل با تغییرات توابع هدف پیروها به‌صورت جداگانه و جمع کل آن‌ها به‌صورت غیرخطی بوده است و در واقع مدل در تلاش برای بهتر کردن جواب مدل سطح بالا بوده است.

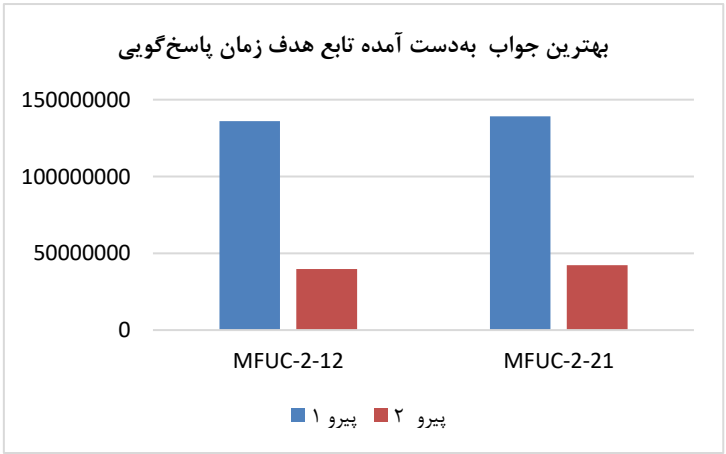
نتایج حل مسأله با سه پیرو برای شش حالت ممکن از اولویت‌بندی پیروها در تخصیص انبارهای ملی به انبارهای منطقه‌ای مطابق با جدول (۸) ارائه شده است. در حالتی که پیرو شماره ۳ از قدرت بیشتری برخوردار بوده است نتایج بهتری برای مدل سطح بالا (رهبر) حاصل شده است. اگر از دید شهرهای متقاضی کالاهای امدادی در سرتاسر کشور، مسأله تحلیل شود، زمانی که پیرو شماره ۲ از قدرت بیشتری برخوردار بوده است، نتایج بهترین در مجموع برای کل زمان پاسخ‌گویی به‌دست آمده است. مطابق با شکل (۸) با افزایش تعداد تصمیم‌گیرندگان در مدل سطح پایین، جمع کل توابع هدف پیروها (جمع کل زمان پاسخ‌گویی) افزایش داشته است. بنابراین افزایش تعداد تصمیم‌گیرندگان در نهایت نمی‌تواند باعث بهبود شرایط امدادرسانی در فاز پاسخ‌گویی برای شهرهای متقاضی شود. اما همان‌طور که در شکل (۹) مشخص است افزایش تعداد تصمیم‌گیرندگان منجر به کاهش تابع هدف رهبر یا همان دولت مرکزی شده است.

جدول (۶): نتایج محاسباتی حل مسأله دوسطحی عدم همکاری یک پیرو

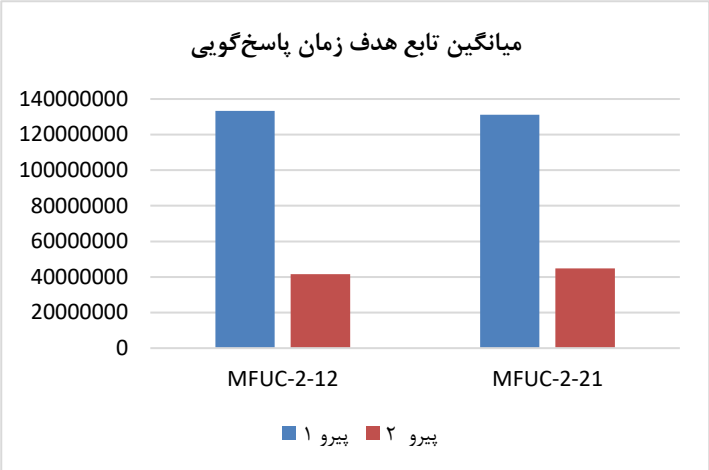
مجموع کل هزینه‌ها			مجموع کل زمان پاسخ‌گویی‌ها		
میانگین تابع هدف	بهترین تابع هدف	انحراف معیار تابع هدف	میانگین تابع هدف	بهترین تابع هدف	انحراف معیار تابع هدف
۱۸۵۱۸۰۱۹۱۷	۱۸۳۹۳۷۱۲۵۰	۱۶۳۰۰۳۰۳/۵	۱۳۲۹۱۸۹۸۹/۳	۱۳۲۶۲۰۹۳۸	۵۱۲۸۵۷۶/۶۸

جدول (۷): نتایج محاسباتی حل مسأله دوسطحی عدم همکاری دو پیرو

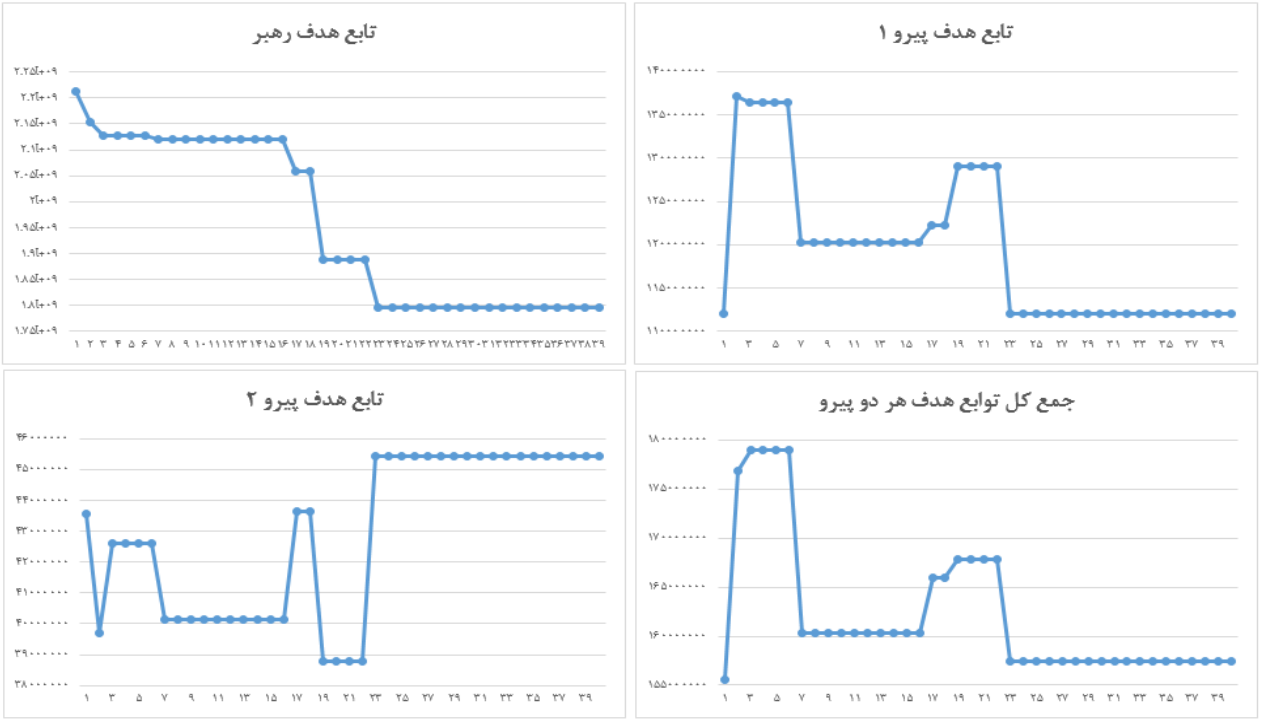
نام مسأله	مجموع کل هزینه‌ها			مجموع کل زمان پاسخ‌گویی‌ها		
	میانگین تابع هدف	بهترین تابع هدف	انحراف معیار تابع هدف	میانگین تابع هدف	بهترین تابع هدف	انحراف معیار تابع هدف
MFUC-۲-۱۲	۱۸۵۱۸۰۱۹۱۷	۱۸۳۹۳۷۱۲۵۰	۱۶۳۰۰۳۰۳	۱۷۴۹۵۶۰۵۴	۱۷۵۸۸۰۰۱۲	۵۹۴۹۰۴۶
MFUC-۲-۲۱	۱۷۹۵۸۴۸۰۲	۱۸۱۳۴۰۷۵۸	۶۷۲۱۰۰۱	۱۸۵۱۶۶۲۱۰۲	۱۷۸۵۲۳۱۹۲۰	۳۹۷۱۲۴۵۶



شکل (۵): مقایسه بهترین جواب توابع هدف پیروها در مسأله‌های عدم همکاری دو پیرو



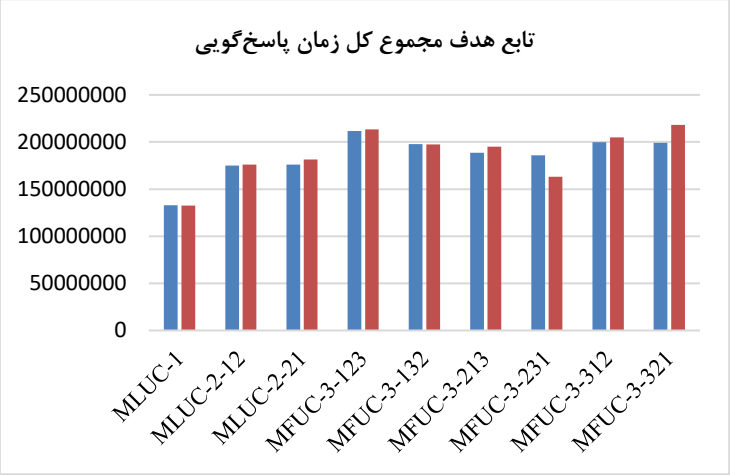
شکل (۶): مقایسه میانگین جواب‌های توابع هدف پیروها در مسأله‌های عدم همکاری دو پیرو



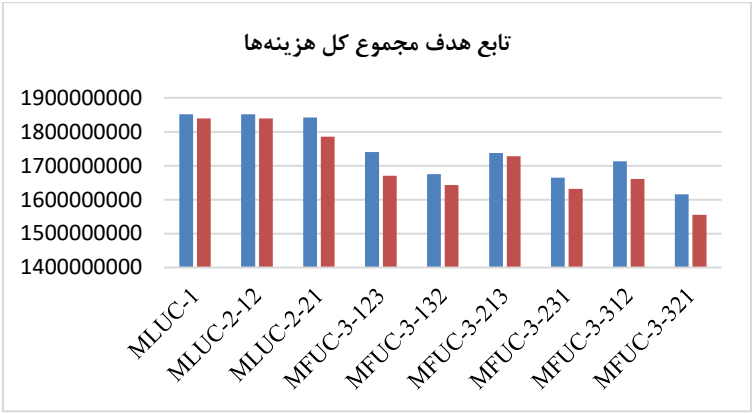
شکل(۷): روند تغییرات توابع هدف رهبر و پیروها به ازاء بهترین جواب حاصله

جدول (۸): نتایج محاسباتی حل مسأله دوسطحی عدم همکاری سه پیرو

نام مسأله	مجموع کل هزینه‌ها			مجموع کل زمان پاسخ‌گویی ها		
	میانگین تابع هدف	بهترین تابع هدف	انحراف معیار تابع هدف	میانگین تابع هدف	بهترین تابع هدف	انحراف معیار تابع هدف
MFUC-۳-۱۲۳	۱۷۴۰۶۸۰۰۴۷	۱۶۷۰۱۴۴۱۵۰	۶۶۱۶۰۷۲۰	۲۱۱۸۶۰۴۳۷	۲۱۳۲۵۱۶۹۹	۱۴۶۱۰۴۶
MFUC-۳-۱۳۲	۱۶۷۴۹۶۸۵۶۷	۱۶۴۳۱۹۷۲۴۰	۲۹۹۸۲۹۱۳	۱۹۷۸۳۹۳۸۴	۱۹۷۲۶۷۳۴۵	۱۳۹۹۷۱۰
MFUC-۳-۲۱۳	۱۷۳۳۴۷۰۸۸۷	۱۷۲۸۳۵۴۸۶۰	۵۸۶۰۲۱۵	۱۹۱۷۶۵۲۷۶	۱۹۴۹۵۷۷۵۸	۱۴۱۳۶۸۷۱
MFUC-۳-۲۳۱	۱۶۶۸۹۳۰۷۴۷	۱۶۳۱۳۶۱۸۲۰	۴۴۱۳۴۰۴۹	۱۸۶۸۹۸۹۸۳	۱۶۳۱۵۸۲۹۲	۲۷۵۲۹۰۵۶
MFUC-۳-۳۱۲	۱۷۱۲۹۴۶۸۳۳	۱۶۶۰۶۴۴۶۵۰	۴۸۶۱۵۴۱۰	۱۹۹۸۶۷۶۲۷	۲۰۴۸۷۳۲۶۵	۸۰۱۶۹۸۲
MFUC-۳-۳۲۱	۱۶۱۵۴۴۶۹۴۰	۱۵۵۵۳۷۷۶۰۰	۵۷۱۶۷۶۶۴	۱۹۹۰۶۲۹۶۱	۲۱۸۰۶۶۱۱۰	۲۰۲۵۵۸۰۹



شکل (۸): مقایسه جمع توابع هدف پیروها برای مسائل با تعداد و قدرت‌های متفاوت تصمیم‌گیرندگان در مدل سطح پایین



شکل (۹): مقایسه تابع هدف رهبر برای مسائل با تعداد و قدرت‌های متفاوت تصمیم‌گیرندگان در مدل سطح پایین

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهاد آتی

در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی دوسطحی چندپیرو جهت مکان‌یابی و تخصیص انبارهای نوآوری این تحقیق درنظر گرفتن مدل مکان‌یابی و تخصیص به‌صورت چندپیرو در حالت عدم همکاری با تعداد و قدرت‌های مختلف تصمیم‌گیرندگان مدل سطح پایین می‌باشد. این موضوع به‌منظور مشارکت تصمیم‌گیرندگان سطح منطقه‌ای در فرایند تصمیم‌گیری می‌باشد. این رویکرد مدل‌سازی قابلیت به‌کارگیری و توسعه در مسائل مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره‌تأمین کسب و کار غیرمتمرکز را دارا می‌باشد. از یک رویکرد حل تکاملی همزمان با بهره‌گیری از الگوریتم‌های ژنتیک و ابتکاری تخصیص جهت حل مدل استفاده شده است. دلیل انتخاب رویکردهای تکاملی در حل مدل این مقاله، پیچیدگی بالای مسأله دوسطحی مکان‌یابی-تخصیص و عدم کارایی روش‌های حل دقیق در حل این‌گونه مسائل در ابعاد بزرگ و متغیرهای تصمیم گسسته می‌باشد.

یکی از مقتضیات لجستیک در بحران بحث وجود عدم قطعیت درخصوص نوع بحران، زمان وقوع بحران و شدت خسارت‌های وارده و در نهایت میزان تقاضا کالا امدادی است. در همین راستا توسعه مدل حاضر با فرض وجود منابع عدم قطعیت در پارامترهای و مفروضات مدل‌سازی می‌تواند به‌عنوان پیشنهاد آتی برای سایر محققان درنظر گرفته شود. یکی از مقوله‌هایی که کمک به تحلیل جامع‌تری از نقش و میزان قدرت تصمیم‌گیرندگان می‌نماید، تغییر نقش تصمیم‌گیرندگان منطقه‌ای به‌عنوان رهبر مدل و توسعه مدل‌های چند رهبر برای مسأله فعلی است. همچنین می‌توان در مدل‌سازی برنامه‌ریزی دوسطحی اشتراکاتی در توابع هدف، محدودیت‌ها پیروها و رهبران درنظر گرفت که این موضوع باعث طراحی مدل‌هایی با همکاری کامل و نسبی را منجر می‌گردد. همچنین به‌کارگیری سایر رویکردهای تکاملی حل مسائل بهینه‌سازی دوسطحی همچون رویکرد تکاملی متوالی تودرتو یا الگوریتم‌های فراابتکاری دیگر همچون الگوریتم مورچگان، جست‌وجو ممنوع، شبیه‌سازی تبرید، با هدف مقایسه کیفیت جواب‌های مسأله این تحقیق با تعداد پیرو مشخص، جز پیشنهادات آتی می‌باشد.

مراجع

[1] Disaster 2019: Year in Review, in Cred Crunch Newsletter. 2020.
[2] Akkihal, A.R., Inventory pre-positioning for humanitarian operations. 2006, Massachusetts Institute of Technology.
[3] Verma, A. and G.M. Gaukler, Pre-positioning disaster response facilities at safe locations: An evaluation of deterministic and stochastic modeling

approaches. Computers & Operations Research, 2015. 62: p. 197-209.
[4] Rawls, C.G. and M.A. Turnquist, Pre-positioning and dynamic delivery planning for short-term response following a natural disaster. Socio-Economic Planning Sciences, 2012. 46(1): p. 46-54.
[5] Kongsomsaksakul, S., Y. Chao, and C. Anthony, Shelter location-allocation model for flood evacuation planning. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2005. 6: p. 4237-4252.
[6] Hua-li, S., W. Xun-qing, and X. Yao-feng, A Bi-level programming model for a multi-facility location-routing problem in Urban emergency system, in Engineering Education and Management. 2012, Springer. p. 75-80.
[7] Li, A.C., et al., Shelter location and transportation planning under hurricane conditions. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2012. 48(4): p. 715-729.
[8] Jing, W., et al. Multi-level emergency resources location and allocation. in 2010 IEEE International Conference on Emergency Management and Management Sciences. 2010. IEEE.
[9] Li, K. and D. Yinhong. The algorithms for the bi-level programming location model based on the demand assigning. in 2013 10th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD). 2013. IEEE.
[10] Camacho-Vallejo, J.-F., et al., A bi-level optimization model for aid distribution after the occurrence of a disaster. Journal of Cleaner Production, 2015. 105: p. 134-145.
[11] Gutjahr, W.J. and N. Dzubur, Bi-objective bilevel optimization of distribution center locations considering user equilibria. Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 2016. 85: p. 1-22.
[12] Xu, J., et al., A new model for a 72-h post-earthquake emergency logistics location-routing problem under a random fuzzy environment. Transportation Letters, 2016. 8(5): p. 270-285.
[13] Chen, Y.-x., et al., Supply allocation: bi-level programming and differential evolution algorithm for Natural Disaster Relief. Cluster Computing, 2017: p. 1-15.
[14] Safaei, A.S., S. Farsad, and M.M. Paydar, Robust bi-level optimization of relief logistics operations. Applied Mathematical Modelling, 2018. 56: p. 359-380.
[15] Haeri, A., et al., A bi-level programming approach for improving relief logistics operations: A real case in Kermanshah earthquake. Computers & Industrial Engineering, 2020: p. 106532.
[16] Saghehei, E., A. Memariani, and A. Bozorgi-Amiri, A Bi-level Programming Approach for Pre-positioning Emergency Warehouses. International Journal of Engineering, 2021. 34(1): p. 128-139.
[17] Simaan, M. and J.B. Cruz Jr, On the Stackelberg strategy in nonzero-sum games. Journal of Optimization Theory and Applications, 1973. 11(5): p. 533-555.
[18] Sakawa, M. and I. Nishizaki, Cooperative and noncooperative multi-level programming. Vol. 48. 2009: Springer Science & Business Media.
[19] Bracken, J. and J.T. McGill, Mathematical programs with optimization problems in the constraints. Operations Research, 1973. 21(1): p. 37-44.
[20] Talbi, E.-G., Metaheuristics for bi-level optimization. Vol. 482. 2013: Springer.
[21] Zhang, G., J. Lu, and Y. Gao, Multi-level decision making. 2015: Springer.
[22] Liu, B., Stackelberg-Nash equilibrium for multilevel programming with multiple followers using genetic algorithms. Computers & Mathematics with Applications, 1998. 36(7): p. 79-89.
[23] Lu, J., C. Shi, and G. Zhang, On bilevel multi-follower decision making: General framework and solutions. Information Sciences, 2006. 176(11): p. 1607-1627.
[24] Du, C.-J. and H.-C. Li, Genetic algorithm for solving a class of multi-follower fractional bi-level programming problems. Jisuanji Yingyong/ Journal of Computer Applications, 2012. 32(11): p. 2998-3001.
[25] Sinha, A., et al., Finding optimal strategies in a multi-period multi-leader–follower Stackelberg game using an evolutionary algorithm. Computers & Operations Research, 2014. 41: p. 374-385.
[26] Gao, Y., Bi-level decision making with fuzzy sets and particle swarm optimisation. 2010.
[27] Hansen, P., B. Jaumard, and G. Savard, New branch-and-bound rules for linear bilevel programming. SIAM Journal on scientific and Statistical Computing, 1992. 13(5): p. 1194-1217.

IERPS Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

ISSN: 2345-2269

Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems

Spring and Summer 2020, Volume 9., No. 18., pp. 81-95
www.ier.basu.ac.ir

DOI: 10.22084/IER.2021.24119.2022

A multi-follower Bi-level Programming Approach in Uncooperative with Emergency Warehouses Pre-positioning

E. Saghehei[1*], A. Memariani[2], A. Bozorgi Amiri[3]

1. Ph.D. in Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
2. Professor, Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, Kharazmi University, Tehran, Iran
3. Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Campus of Technical Colleges, University of Tehran, Tehran, Iran

ARTICLE INFO

***Article history*:**

Received 30 April 2021
Accepted 21 July 2021

***Keywords*:**

Pre-positioning relief item
Disaster management
Multi follower Bi-level programming
Co-Evolutionary algorithm
Emergency warehouse location-allocation problem

ABSTRACT

The decentralized decision-making structure in the design of crisis emergency warehouse network challenges the use of classical optimization models. The aim of this paper is to develop a new multi-follower bi-level optimization model for the emergency warehouse location-allocation problem in terms of national and regional levels. This type of modeling is suitable for countries whose crisis warehouse network design is decentralized. The parameters of the models are based on real data in Iran. Due to the high complexity of the solution, a co-evolutionary approach based on innovative allocation methods and genetic algorithms has been developed to solve the problems with different sizes. The solution structure is designed to be flexible and can be adjusted based on the number of followers and their authority. Finally, an analysis has been done about the change in the number of decision makers and their power to absorb facilities on the objective functions of the bi-level model.

[*] Corresponding author. E. Saghehei
Tel.:021-88021067; E-mail address: E.saghehei@iau-malayer.ac.ir