فصلنامه مدیریت راهبردی در سیستم های صنعتی ( مدیریت صنعتی سابق)
دانشگاه آزاد اسلامی واحد سنندج
سال هفدهم/ شماره ۶۱ / پاییز ۱۴۰۱

# کاربرد نظریه بازی در بهینه‌سازی مسئله حمل‌ونقل سبز چندسطحی با ذینفعان چندگانه

**محمود درویش صفت**
دانشجو دکتری، مدیریت صنعتی گرایش تولید و عملیات، دانشکده مدیریت دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه، ایران
**جواد رضاییان** (نویسنده مسؤول)
دانشیار، عضو هیأت علمی دانشگاه علوم و فنون مازندران، بابل، ایران
**Email: j.rezaeian@ustmb.ac.ir**
**محمد مهدی پورپاشا**
استادیار، واحد چالوس، دانشگاه آزاد اسلامی، چالوس، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۱ * تاریخ پذیرش ۱۴۰۱/۰۸/۱۰

## چکیده
تئوری بازی حوزه ای از ریاضیات کاربردی است و به مطالعه رفتار راهبردی یعنی شرایطی که مطلوبیت هرعامل، بـه انتخـاب خود و بازیگران دیگر همبستگی دارد می پردازد. زندگی روزمره ما، مثال هایی بیشمار از چنین وضـعیتی دارد. هـدف از انجـام این تحقیق مدل سازی و حل مسله حمل و نقل سبز چند سطحی و ذینفعان متعدد به کمک تئـوری بـازی بـا مطـرح کـردن سناریو های مختلف به نحوی که کلیه ذینفعان حاضر در بازی به حدکثر منافع خود دست یابند می باشد. لذا یک مـدل جـامع چند سطحی زنجیره تأمین متشکل از چند ذینفع همزمان، در نظر گرفته شده است، در مرحله اول با توجه به فاکتور های حمل و نقل و توزیع محصول بین اعضای زنجیره، مدل بهینه جهت دستیابی به کمترین هزینه در سطوح مختلـف شـامل، کمتـرین هزینه های خرید و تولید، نگهداری، کمبود و انبار همچنین کمینه سازی میزان دی اکسید کربن تولید شده در مراحل مختلـف تولید و حمل برای طرفین بدست می آوریم، در ادامه رقابتی در چهار چوب یک بازی جهت انتخاب حالتی بهینه بین ذینفعـان زنجیره تامین ارائه خواهد شد تا بهترین تصمیم در شرایط یک بازی مشارکتی با در نظر گرفتن سـناریو هـای مختلـف اتخـاذ گردد. در این راستا از نرم افزار اکسل و گمز جهت مدل سازی و حل مثال عددی مطرح شده استفاده شد و نتایج بدست آمـده برتری مقادیر بهینه مدل تئوری بازی را تایید کرد.

**کلمات کلیدی:** حمل و نقل سبز چند سطحی، ذینفعان چند گانه، نظریه بازی.

## ۱-مقدمه

نظریه بازی‌ها شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی است که در علوم اجتماعی و به ویـژه در اقتصـاد، زیسـت‌شناسـی، مهندسـی، علـوم سیاسی، روابط بین‌الملل، علوم کامپیوتر و فلسفه مورد استفاده قرار گرفته است. نظریه بازی‌ها در تـلاش اسـت توسـط ریاضـیات رفتار را در شرایط راهبردی یا بازی‌ها، که در آنها موفقیت فرد در انتخاب کردن وابسـته بـه انتخـاب دیگـران مـی‌باشـد، بدسـت آورد.یک بازی شامل مجموعه‌ای از بازیکنان، مجموعه‌ای از حرکت‌ها یا راه‌بردها و نتیجه مشخصی برای هر ترکیب از راه‌بردهـا می‌باشد. نظریه بازی تلاش می‌کند تا رفتار ریاضی حاکم بر یک موقعیت استراتژیک (تضاد منافع) را مدل‌سازی کند. این موقعیت زمانی پدید می‌آید که موفقیت وابسته به راه بردهایی است که دیگران انتخاب می‌کنند. هدف نهـایی ایـن دانـش یـافتن راهبـرد بهینه برای بازیکنان است. در دنیای رقابتی امروز سازمانها توجه ویژه به سیاست های انتخاب بهینه نشان می دهند. زیرا یکـی از مهترین مسائل مدیریتی که تضمین کننده سود سازمان می باشد استفاده از تکنیک های علمی و بروز در انتخاب تامین کنندکان[1] می باشد. مدیران موفق در سازمانها مشتری و تامین کننده گان خود را بخشی از سازمان و در واقع شـریک و همکـار خـود مـی بینند و با آنها رقابتی همکارانه در پیش می گیرند و منافع سازمان را با منافع آنها مشترک می بینند.

امروزه سازمان ها با مشتریانی روبرو هستند که خواهان تنوع بالا در محصولات و خدمات، هزینه کم، کیفیت بـالا و پاسـخگویی سریع هستند(Salami & Edalat Panah, 2020). انتخاب بهینه تأمین کننده مـی توانـد بـا بـه حـداقل رسـاندن هزینـه و اطمینان از رضایت مستمر مشتری، ساختار اجتماعی و اقتصادی یـک شـرکت را تقویـت کنـد (Zimmer & et al., 2016). ذینفعان چندگانه شامل گیرندگان کالا یا خدمت، از سازمان هستند این ذینفعان ممکـن اسـت اهـداف متفـاوتی را دنبـال کننـد، بنابراین منافع واقعی هر یک از ذینفعان در چنین مـدل هـای بهینـه سـازی بـه درسـتی جلـب نمـی شـود (Lima & et al., 2016).در این مقاله در پی انتخاب یک تعامل بهینه در شبکه حمل و نقل با در نظر گرفتن کمینه سازی میزان دی اکسید کربن تولید شده در مراحل مختلف تولید و حمل در شرایط ذینفعان چندگانه با استفاده از سناریو های مطرح شده توسـط نظریـه بـازی مشارکتی جهت دستیابی به منافع مشترک بین سطوح مختلف زنجیره هستیم. اکثر مطالعات موجود در طراحی بهینـه و عملیـات زنجیره تامین تکیه بر مدل های بهینه سازی دارند، و یک تصمیم گیرنده برای بهینه سازی و طراحـی و تصـمیم هـای عملیـاتی تحت تابع اهداف کلی و واحد برای کل زنجیره تامین فرض می شود. در نتیجه جواب های بهینه از مدل ها می توانـد در حالـت ذینفغان چندگانه غیر بهینه (یا زیر مجموعه ای از جواب بهینه) و یا حتی غیر قابل قبول باشد، زیـرا علایـق واقعـی هـر کـدام از ذینفغان در این گونه مدلها بطور درست در نظرگرفته نشده است. امروزه رویکرد بنگاه ها تنها کاهش هزینه ها که شامل: کاهش موجودی انبار، کاهش زمان چرخه تولید، کاهش هزینه حمل مواد، افزایش کیفیت و ... نیست؛ بلکه رویکرد افزایش تـوان رقـابتی ضمن رعایت موارد فوق، از ضروریات مهم در بازارهای جهانی است. این امر موجب شده است که در اکثر صنایع فضـای رقـابتی شدیدی ایجاد شود (Fengqi & Gao, 2018). در پژوهش حاضر، هدف استفاده از رویکرد مشارکتی تئوری بازی جهت ایجاد ائتلاف و افزایش توان رقابتی در برابر رقبا می باشد. دراین پژوهش با توجه به در نظر گرفتن عواید همه ذینفعان در فرایند، یـک مدل حمل ونقل چند سطحی از ذینفعان در نظر گرفته می شود که می تواند از تـامین کننـده، واسـطه توزیـع و مصـرف کننـده تشکیل شود. این پژوهش در مرحله اول مسئله حمل نقل سبز با توجه به کمینه سازی میـزان دی اکسـید کـربن تولیـد شـده در مراحل مختلف تولید و حمل را مدل سازی و حل می کند. در ادامه یک بازی رقابتی جهت انتخـاب حـالتی بهینـه بـین ذینفعـان مسله حمل و نقل سبز ارائه خواهد شد تا بهترین تصمیم در شرایط یک بازی مشارکتی با در نظر گـرفتن سـناریو هـای مختلـف اتخاذ گردد و پاسخ های بدست آمده از دو روش مورد مقایسه قرار می گیرد.

## ۲- روش شناسی پژوهش

الف) پیشینه تحقیق

1. Supplier selection

در پژوهشی که بدنبال کاهش هزینه های شبکه زنجیره تامین بود یک مدل ریاضی بمنظور طراحی شبکه زنجیره تامین با درنظر گرفتن مساله برنامه ریزی تولید و حمل و نقل برای محصولات وابسته به زمان تولید ارائه شد، مدل در محیط نرم افزار GAMS (WIN 64 ) کدنویسی و با استفاده از الگوریتم (سیمپلکس)[۲] حل شد. جهت اعتبار سنجی مدل و الگوریتم پیشنهادی، ابتدا مثال عددی ارائه شد و سپس با استفاده از تحلیل حساسیت و تغییر پارامتر ها، الگوریتمی ارائه و کد نویسی انجام شده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج محاسباتی مناسب بودن مدل و رویکرد بهینه سازی را تایید کرد(Gholami, 2020). پژوهشی دیگر مسئله‌ی طراحی شبکه‌ی حمل‌ونقل شهری پایدار با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها، نظریه‌ی بازی‌ها و روش رتبه‌بندی بهترین–بدترین را مطالعه و مدلسازی کرد. ابتدا با استفاده از مدلسازی و برنامه‌ریزی ریاضی، تحلیل پوششی داده‌ها و نظریه‌ی بازی‌ها، دو مدل متفاوت مبتنی بر کارایی جهت مطالعه‌ی مسائل مرتبط با شبکه‌ی حمل و نقل پایدار همچون انتخاب پروژه‌های زیرساختی حمل و نقل، احداث خیابان‌ها و خطوط اتوبوس‌رانی، ارائه و سپس عوامل مؤثر بر پایداری شبکه‌های حمل و نقل شهری شناسایی و با استفاده از روش بهترین–بدترین رتبه‌بندی شدند و لیست نهایی شاخص‌های ارزیابی انتخاب گردید. همچنین الگوریتم ژنتیک جهت حل مدل‌های ارائه شده مورد استفاده قرار گرفت. تحلیل نتایج آزمون‌های محاسباتی نشان داد که با خطای کمتر از ۴ درصد، عملکرد الگوریتم پیشنهادی از هر دو لحاظ کیفیت جواب بدست آمده و زمان دست‌یابی به جواب نزیک به بهینه در هر دو مدل پیشنهادی بسیار مطلوب است. نتایج ارزیابی پروژه‌های کاندید در شهر اصفهان نشان می‌دهد در هر دو مدل، پایداری شبکه تحت جواب‌های انتخاب شده بطور قابل توجهی بهبود یافته است(Mahmoudi, 2019). در تحقیقی با عنوان انتخاب تامین کنندگان با رویکرد تئوری بازی همکارانه، محدودیت ظرفیت و ارسال همزمان اقلام زنجیره تامینی شامل یک خریدار و چندین تامین‌کننده در نظر گرفته شد و به تحلیل تصمیمات انتخاب تامین‌کننده، تصمیمات موجودی و سیاست‌های ارسال محصول پرداخته شد. یک مدل همکارانه را در این پژوهش به منظور یکپارچگی این تصمیمات توسعه دادند. در این مدل، سیکل سفارش خریدار مضرب صحیحی از سیکل تامین کننده بود و تامین‌کنندگان امکان برون‌سپاری باقیمانده ظرفیت خود را دارند. در این پژوهش نشان داده شد که همکاری بین اعضای زنجیره تامین منجر به پاسخ‌های پایداری می‌گردد که هزینه‌های زنجیره را برابر مدل متمرکز خواهد نمود. همچنین نشان داده شد که هزینه فرصت اعضای زنجیره در انتخاب تامین کنندگان، میزان سفارش تخصیص یافته به آنها و عایدی زنجیره تامین تاثیر چشم گیری دارد(Mohammadi Tabar, 2017). در پژوهشی که با عنوان بهینه سازی تصمیم گیری در زنجیره تامین چند سطحی با رهیافت تئوری بازی بمنظور بهینه کردن تصمیم گیری در شرایط مختلف هماهنگی زنجیره تامین و تمرکز روی مساله قیمت گذاری و موجودی انجام شد، برای تحلیل دقیق موضوع با تئوری بازی چهار سناریو طراحی شد. هر سناریو پس از بررسی به عنوان پایه و اساسی برای سناریو بعدی در نظر گرفته شد. مثلا سناریو اول محرکی برای سناریو دوم بود و این روال تا پایان ادامه داشت. سناریو اول، دوم و سوم روی هماهنگی تصمیمات زنجیره تامین تاکید داشت و سناریو آخر، تصمیمات پیکره زنجیره تامین را دریک حالت یکپارچه بررسی کرد(Araghi, 2017).

از سویی دیگر در پژوهشی با عنوان بهینه سازی مدیریت زنجیره تامین سبز با توجه به عدم قطعیت در نتیجه ریسک، یک مدل بهینه سازی چند هدفه برای حداقل کردن هزینه ها و ریسک ذاتی و عامل تولید دی اکسید کربن ارائه شد. نتایج بیان کرد در پیامد ریسک امکانات و تصادفات بین تجهیزات عدم قطعیت وجود دارد که تابع توزیع آن ناشناخته است. بنابر این بهینه سازی استوار برای حل عدم قطعیت بکار برده شد و از روش وزن دهی مرکب نیز در حل مسئله استفاده شد تا سه تابع ریسک،عامل تولید دی اکسید کربن و هزینه ها به یک تابع تبدیل شوند(Jafari et al., 2022).

در مقاله ای دیگر قوانین دولتی برای ترویج هماهنگ کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن در بین شرکتها بر پایه زنجیره تامین سبز به کمک آنالیز تئوری بازی مورد تحلیل قرار گرفت. یک مدل تئوری بازی تکاملی برای یک زنجیره تامین سبز دو سطحی که از تولید کنندگان سبز و تامین کنندگان سبز تشکیل شده است ارائه شد. هدف تجزیه و تحلیل فاکتورهای متنوع داخلی و خارجی که بر روی رفتار هر دو بخش بازیگران در یک بازی موثراند بود. نتایج حالتهای زیادی را معرفی کرد، اما تنها استراتژی

2. simplex

پایا زمانی است که یک، مجموع منافع کاهش انتشار آلاینده مشترک و یارانه های دولتی بزرگتر از مجموع هزینه های ورودی انتشار مشترک و منافع سواری آزاد (فرار از هزینه ها) باشد. دوم، نرخ افزایش یکطرفه منافع کاهش انتشارآلاینده ها بزرگتر از نرخ هزینه ها برای منافع اصلی باشد. نتایج نشان داد چه در شرکتهای پایین دست و چه در شرکتهای بالا دست در زنجیره تامین سبز فقط تحمیل قوانین مجازاتها بر رفتار سودجویانه و سواری آزاد موجب کاهش سریعتر انتشار گازهای مضر می شود Zheng ). (Liu & et al., 2022 همچنین در مقاله ای دیگر با استفاده از تئوری بازی در شرایط احتمالی مدلی برای بهینه کردن زنجیره های تامین چند گانه غیر متمرکز ارائه شد. همچنین تاثیرات عدم قطعیت در زنجیره تامین با ذینفعان چندگانه مورد بررسی قرار گرفت و استراتژی های بهینه متناظر بر اساس تئوری بازی، جهت عاملی در مقابل عدم قطعیت ارائه شد. یک برنامه ریزی احتمالی دو مرحله ای با بازی یک رهبر– چندین پیرو و شرایط عدم اطمینان هم برای رهبر و هم برای پیرو انجام شد و مدل بدست آمده به عنوان یک برنامه ریزی غیر خطی ترکیبی احتمالی دو مرحله ای عدد صحیح – صفر و یک می باشد ,Fengqi .(Gao Jiyao & 2018)

در تحقیقی با عنوان رویکردی یکپارچه در ارزیابی پایداری زنجیره تامین به کمک تئوری بازی تکاملی، پایداری زنجیره تامین با تعادل سیستم در یک دوره زمانی طولانی بعد از یکپارچه سازی ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گرفت. به کمک تئوری بازی تکاملی یک چهار چوب مفهومی نظری برای توضیح و پیش بینی پایداری زنجیره تامین با معیار های کیفی و شاخص های کمی و آماری ارائه شد. جنبه برجسته مدل مقیاس پذیری در مقابل تغییرات دامنه و معیارها است، به طور آزمایشی مدل در یک زنجیره تامین بیمه سلامت عمومی با تئوری بازی تکاملی پیاده سازی شد (Sujatha Babu & Usha Mohan, 2017). در پژوهشی که با عنوان رویکرد همکاری نظری بازی برای انتخاب تامین کننده، قیمت گذاری و تصمیمات موجودی در یک زنجیره تامین چند سطحی انجام شد، یک روش یکپارچه برای انتخاب بهینه تامین کننده، قیمت گذاری و تصمیمات موجودی در یک زنجیره تأمین چند سطحی پیشنهاد گردید. برای ارزیابی سهم حاشیه ای اعضای زنجیره تأمین، بویژه تأمین کنندگان، از یک رویکرد بازی مشارکتی استفاده شد و یک مطالعه عددی و تجزیه و تحلیل حساسیت برای بررسی مدل انجام شد ونتایج نشان داد که افزایش یک مقیاس بازار خرده فروشی، قیمت و تقاضا برای محصول را در این بازار افزایش می دهد، در حالی که بر بازار خرده فروشی دیگر بدون تأثیر باقی مانده است. بعلاوه افزایش مقیاس بازار اهمیت این بازار و تأمین کنندگانی را که فقط اجزای محصول را در این بازار تهیه می کنند افزایش می دهد و همچنین تغییر هزینه راه اندازی تأثیر کمی نسبت به تصمیمات قیمت گذاری و سهم حاشیه ای اعضای زنجیره تأمین دارد (Huang & et al., 2012).

بررسی پژوهش های پیشین نشان داد که تحقیقات زیادی در مورد نقش تئوری بازی در بهینه سازی مسئله حمل ونقل سبز چند سطحی با ذینفعان چندگانه صورت نپذیرفته است که تلاش کردیم در این تحقیق به آن اشاره کنیم.

در پژوهش حاضر، هدف استفاده از رویکرد مشارکتی تئوری بازی جهت ائتلاف و افزایش توان رقابتی در بهینه سازی مدل حمل و نقل سبز با ذینفعان چند گانه در برابر رقبا می باشد، در حالتی که همه ذینفعان به طور مشترک منافع خود را تامین کنند و به بهترین حالت ممکن دست یابند. دراین پژوهش با ارائه یک مدل حمل ونقل با توجه به کمینه سازی میزان دی اکسید کربن تولید شده در مراحل مختلف تولید و حمل و در نظر گرفتن عواید همه ذینفعان، جواب بهینه ای مورد محاسبه قرار می گیرد. در مدل مفروض مجموعه ای از یک زنجیره تامین و ذینفعان در نظر گرفته می شود که از چهار سطح تامین کننده، تولید کننده، واسطه توزیع و مصرف کننده تشکیل شده است. ابتدا با در نظر گرفتن محدودیت های مسئله حمل و نقل با هدف تامین محصول در سطوح مختلف زنجیره، کمترین هزینه های خرید، تولید، نگهداری،کمبود و انبار و همچنین کمینه سازی میزان دی اکسید کربن تولید شده در مراحل مختلف تولید و حمل، مدل سازی می شود و جواب بهینه بدست می آید، سپس مسئله توسط رقابتی در چهار چوب یک بازی جهت انتخاب حالتی بهینه بین ذینفعان زنجیره تامین به روش ارزش شپلی حل می شود تا بهترین تصمیم در شرایط یک بازی مشارکتی با در نظر گرفتن سناریو های مختلف اتخاذ گردد. در واقع به کمک تئوری بازی

سناریو هایی جهت حداکثر سازی منافع طرفین طرح و حالت بهینه انتخاب میشود و پاسخ بدست آمده با نتایج حل مدل حمل و نقل مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

ب) هدف مدل حمل و نقل

بهترین میزان ارسال هر کالا از هرتامین کننده به هرتولیدکننده و از هر تولیدکننده به هر مرکز توزیع و از هر مرکز به هر مشتری و کمترین هزینه انتقال در همه سطوح مشخص می شود. و همچنین کمترین میزان تولید دی اکسید کربن در حمل و نقل و حین تولید محصولات مد نظر قرار می گیرد.

ج) مفروضات مدل

– مراکز استقرار مشتریان از پیش تعیین شده و مشخص هستند.

– مراکز استقرار تامین کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع کننده ها از قبل تعیین شده و معلوم است.

– محدودیتی در تعداد وسایل نقلیه وجود ندارد.

– همه مراکز توزیع و یا تولید لزوما مشابه نیستند، به طور مثال هر مرکز تولید نمی تواند هر محصول را تولید کند یا اینکه هر تامین کننده فقط قادر است تعدادی خاص از قطعات را فراهم کند.

– وسایل حمل و نقلی که بین سطوح مختلف بکار می روند لزوما یکسان نیستند.

– هر وسیله نقلیه در طول سفر خود فقط به یک مقصد سرویس می دهد.

– در آغاز دوره، موجودی مراکز توزیع و تولید صفر است.

– کمبود برای مشتری مجاز است و به صورت فروش از دست رفته محسوب می شود.

– هر وسیله نقلیه که از تامین کننده به مرکز تولید یا از مرکز تولید به مرکز توزیع اعزام می شود، در طول روز می تواند به مراکز تولید یا مراکز توزیع مختلفی سرویس دهد اما در هر بار عزیمت فقط می تواند به یک مرکز سرویس دهد.

– هر وسیله نقلیه که از مرکز توزیع به مشتری اعزام می شود، در هر بار عزیمت فقط به یک مشتری سرویس می دهد.

– هر وسیله نقلیه که از مرکز توزیع به مشتری اعزام می شود، در طول روز می تواند به مشتریان مختلفی سرویس دهد مشروط بر این که بعد از سرویس دهی به هر مشتری به مرکز مربوطه باز گردد و بارگیری مجدد انجام شود.

– یک وسیله نقلیه موجود در مرکز تامین کننده یا تولید کننده و یا مرکز توزیع در یک روز نمی تواند دو بار به یک مرکز تولید یا مرکز توزیع و یا مشتری سرویس دهد.

– محدودیت ظرفیت وجود دارد.

د) اندیسها و مجموعه ها

i : اندیس تامین کننده $i \in \{0,1,2,\dots,I\}$

j : اندیس تولید کننده $j \in \{0,1,2,\dots,J\}$

k : اندیس توزیع کننده $k \in \{0,1,2,\dots,K\}$

l : اندیس مشتری $l \in \{0,1,2,\dots,L\}$

p : اندیس محصول $P \in \{0,1,2,\dots,P\}$

s : اندیس قطعه $s \in \{0,1,2,\dots,S\}$

t : اندیس دوره $t \in \{0,1,2,\dots,T\}$

α : اندیس وسیله نقلیه موجود در مراکز تامین کننده $\alpha \in \{0,1,2,\dots,\alpha\}$

β : اندیس وسیله نقلیه موجود در کارخانجات تولیدی $\beta \in \{0,1,2,\dots,\beta\}$

γ : اندیس وسیله نقلیه موجود در مراکز توزیع $\gamma \in \{0,1,2,\dots,\gamma\}$

ه) پارامترها

$q_{as}$ : هزینه حمل هر کیلوگرم قطعه $s$ در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه α

$q_{\beta p}$ : هزینه حمل هر کیلوگرم محصول $p$ در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه $\beta$

$q_{\gamma p}$ : هزینه حمل هر کیلوگرم محصول $p$ در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه $\gamma$

$SP_a$ : ظرفیت وسیله نقلیه $\alpha$ بر حسب کیلوگرم

$SP_\beta$ : ظرفیت وسیله نقلیه $\beta$ بر حسب کیلوگرم

$SP_\gamma$ : ظرفیت وسیله نقلیه $\gamma$ بر حسب کیلوگرم

$W_p$ : وزن محصول p بر حسب کیلوگرم

$W_s$ : وزن قطعه $s$ بر حسب کیلوگرم

$Capps_{ist}$ : ظرفیت کل تامین کننده i از مواد اولیه s در دوره t

$Cappm_{jpt}$ : ظرفیت کل کارخانه j از محصول p در دوره t

$Cappd_{kpt}$ : ظرفیت کل توزیع کننده k از محصول p در دوره t

$Capm_{jt}$ : ظرفیت انبار مرکز توزیع j در دوره t

$Capd_{kt}$ : ظرفیت انبار مرکز توزیع k در دوره t

$Vol_P$ : حجم هر واحد محصول p

$C_{ist}$ : هزینه خرید قطعه s از تامین کننده i

$C_{jpt}$ : هزینه تولید محصول p در کارخانه j

$d_{ij}$ : فاصله تامین کننده i تا کارخانه j

$d_{jk}$ : فاصله کارخانه j تا توزیع کننده k

$d_{kl}$ : فاصله توزیع کننده k تا مشتری l

$dm_{plt}$ : تقاضای مشتری l از محصول p در دوره t

$O_{sp}$ : ضریب مصرف قطعه s در محصول p

$Hor_{\alpha t}$ :ساعات کاری وسیله نقلیه $\alpha$ در دوره t

$Hor'_{\beta t}$ :ساعات کاری وسیله نقلیه $\beta$ در دوره t

$Hor''_{\gamma t}$ :ساعات کاری وسیله نقلیه $\gamma$ در دوره t

$fc_{ij\alpha t}$ : هزینه ثابت ارسال وسیله نقلیه $\alpha$ از تامین کننده i به تولید کننده j در دوره t

$fc'_{jk\beta t}$ : هزینه ثابت ارسال وسیله نقلیه $\beta$ ازتولید کننده j به توزیع کننده k در دوره t

$fc''_{kl\gamma t}$ : هزینه ثابت ارسال وسیله نقلیه $\gamma$ از توزیع کننده k به مشتری l در دوره t

$h_{jpt}$ : هزینه نگهداری هر واحد محصول p در مرکز تولید j در دوره t

$h'_{kpt}$ : هزینه نگهداری هر واحد محصول p مرکز توزیع k در دوره t

$N_{lpt}$ : جریمه کمبود برای مشتری l از محصول p در دوره t

$time_{ij}$ : زمان رفت و برگشت از تامین کننده i به تولید کننده j

$time'_{jk}$ : زمان رفت و برگشت از تولید کننده j به توزیع کننده k

$time''_{kl}$ : زمان رفت و برگشت از توزیع کننده k به مشتری l

$Taxm_{jp}$ : مالیات بر انتشار گاز دی اکسید کربن به ازای تولید هر واحد محصول p توسط مرکز تولید j

$Taxv_a$ : مالیات بر انتشار گاز دی اکسید کربن به ازای حرکت وسیله نقلیه $\alpha$ در واحد مسافت

$Taxv_\beta$ : مالیات بر انتشار گاز دی اکسید کربن به ازای حرکت وسیله نقلیه $\beta$ در واحد مسافت

$Taxv_{\gamma}$ : مالیات بر انتشار گاز دی اکسید کربن به ازای حرکت وسیله نقلیه $\gamma$ در واحد مسافت

و) متغیرها

$V_{jpt}$ : میزان تولید هر واحد محصول p در مرکز تولید j در دوره t

$x_{ijast}$ : میزان قطعه s که از تامین کننده i به کارخانه j توسط وسیله نقلیه $\alpha$ در دوره t حمل می شود

$y_{jk\beta pt}$ : میزان محصول p که از کارخانه j تا توزیع کننده k توسط وسیله نقلیه $\beta$ در دوره t حمل می شود

$Z_{kl\gamma pt}$ : میزان محصول p که از توزیع کننده k تا مشتری l توسط وسیله نقلیه $\gamma$ در دوره t حمل می شود

$R_{jpt}$ : موجودی مرکز تولید j از محصول p در دوره t

$R'_{kpt}$ : موجودی مرکز توزیع k از محصول p در دوره t

$M_{lpt}$ : میزان سفارش عقب افتاده مشتری l از محصول p در دوره t

$U_{ij\alpha t}$ : متغیر صفر و یک نشان دهنده عزیمت یا عدم عزیمت وسیله نقلیه $\alpha$ از تامین کننده i به تولید کننده j در دوره t

$U'_{jk\beta t}$ : متغیر صفر و یک نشان دهنده عزیمت یا عدم عزیمت وسیله نقلیه $\beta$ از تولید کننده j به توزیع کننده k در دوره t

$U''_{kl\gamma t}$ : متغیر صفر و یک نشان دهنده عزیمت یا عدم عزیمت وسیله نقلیه $\gamma$ از توزیع کننده k به مشتری l در دوره t

ز) تابع هدف

جملات اول، دوم و سوم تابع هدف هزینه ثابت به کار گیری وسایل نقلیه ( از تامین کننده به تولید کننده، از تولید کننده به مراکز توزیع و از مراکز به مشتریان ) را نشان می دهد. جملات چهارم، پنجم و ششم نیز مربوط به هزینه حمل قطعات از تامین کننده به تولید کننده و هزینه حمل محصول از تولید کننده به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به مشتری می باشد. جمله هفتم مربوط به هزینه خرید قطعات از تامین کنندگان و جمله هشتم مربوط به هزینه تولید محصولات نزد تولیدکننده می باشد.جملات نهم و دهم مربوط به هزینه نگهداری محصول نزد تولید کننده و در انبار توزیع کننده است. جمله یازدهم هم نشان دهنده هزینه کمبود برای مشتری می باشد. در ادامه جمله دوازدهم مربوط به کمینه سازی میزان دی اکسید کربن تولید شده جهت تولید محصولات در مراکز تولید است. جملات سیزدهم، چهاردهم و پانزدهم نیز جهت کمینه سازی میزان دی اکسید کربن تولید شده توسط سه نوع وسیله نقلیه مورد استفاده در حمل و نقل محصولات در سطوح مختلف نوشته شده است.

$$Min\ Cost = Min\ Z_1 = \sum_i \sum_j \sum_{\alpha} \sum_t fc_{ij\alpha t} \times U_{ij\alpha t}$$

$$+ \sum_j \sum_k \sum_{\beta} \sum_t fc'_{jk\beta t} \times U'_{jk\beta t}$$

$$+ \sum_k \sum_l \sum_{\gamma} \sum_t fc''_{kl\gamma t} \times U''_{kl\gamma t}$$

$$+ \sum_i \sum_j \sum_{\alpha} \sum_s \sum_t (q_{\alpha s} \times w_s \times d_{ij}) \times X_{ij\alpha st}$$

$$+ \sum_j \sum_k \sum_{\beta} \sum_p \sum_t (q_{\beta p} \times w_p \times d_{jk}) \times Y_{jk\beta pt}$$

$$+ \sum_k \sum_l \sum_{\gamma} \sum_p \sum_t (q_{\gamma p} \times w_p \times d_{kl}) \times Z_{kl\gamma pt}$$

$$+ \sum_i \sum_j \sum_{\alpha} \sum_s \sum_t C_{ist} \times X_{ij\alpha st}$$

$$+ \sum_j \sum_p \sum_t c_{jpt} \times V_{jpt}$$

$$+\sum_{j}\sum_{p}\sum_{t} h_{jpt} \times R_{jpt}$$
$$+\sum_{k}\sum_{p}\sum_{t} h'_{kpt} \times R'_{kpt}$$
$$+\sum_{l}\sum_{p}\sum_{t} N_{lpt} \times M_{lpt}$$
$$+\sum_{j}\sum_{p}\sum_{t} Taxm_{jp} \times V_{jpt}$$
$$+\sum_{i}\sum_{j}\sum_{\alpha}\sum_{t} U_{ij\alpha t} \times Taxv_{\alpha} \times d_{ij}$$
$$+\sum_{j}\sum_{k}\sum_{\beta}\sum_{t} U'_{jk\beta t} \times Taxv_{\beta} \times d_{jk}$$
$$+\sum_{k}\sum_{l}\sum_{\gamma}\sum_{t} U"_{kl\gamma t} \times Taxv_{\gamma} \times d_{kl}$$

ح) محدودیت ها

محدودیت اول تا سوم نشان می دهد که یک وسیله نقلیه می تواند در یک روز به دفعات از تامین کننده به کارخانه و از کارخانه به مراکز توزیع و از آنجا به مشتری اعزام شود مشروط بر این که این کار در طول ساعات کاری آن روز انجام شود، (به لحاظ محدودیت زمانی مشکل ایجاد نشود).

$$\sum_{i}\sum_{j} time_{ij} \times U_{ij\alpha t} \leq Hor_{\alpha t} \qquad \forall t, \alpha$$
$$\sum_{j}\sum_{k} time'_{jk} \times U'_{jk\beta t} \leq Hor'_{\beta t} \qquad \forall t, \beta$$
$$\sum_{k}\sum_{l} time"_{kl} \times U"_{kl\gamma t} \leq Hor''_{\gamma t} \qquad \forall t, \gamma$$

محدودیت چهارم ظرفیت تامین کننده را مشخص می کند.

$$\sum_{j}\sum_{\alpha} X_{ij\alpha st} \leq Capps_{ist} \qquad \forall\, i\,, s, t$$

محدودیت پنجم ظرفیت تولید کننده را مشخص می کند.

$$V_{jpt} \leq Cappm_{jpt} \qquad \forall\, j\,, p, t$$

محدودیت ششم ظرفیت توزیع کننده را مشخص می کند.

$$\sum_{l}\sum_{\gamma} z_{kl\gamma pt} \leq Cappd_{kpt} \qquad \forall\, k\,, p, t$$

محدودیت هفتم ظرفیت موجودی مرکز تولید را مشخص می کند.

$$\sum_{p} Vol_P \times R_{jpt} \leq Capm_{jt} \qquad \forall j, t$$

محدودیت هشتم ظرفیت موجودی مرکز توزیع را مشخص می کند.

$$\sum_{p} Vol_P \times R'_{kpt} \leq Capd_{kt} \qquad \forall k, t$$

محدودیت نهم میزان محصول تولیدی کارخانه با توجه به قطعات دریافتی از تامین کننده را نشان می دهد.

$$\sum_{i}\sum_{\alpha} X_{ij\alpha st} \geq \sum_{p} V_{jpt} \times O_{sp} \qquad \forall\ j,s,t$$

رابطه بعدی محدودیت تعادلی است که نشان می‌دهد میزان ارسال یک محصول از یک مرکز تولید به مراکز توزیع در یـک دوره حداکثر برابر با میزان محصولی است که از کارخانجات مختلف دریافت می‌کند به اضافه مقدار موجودی از همان محصول از دوره قبل،

$$V_{jpt} + R_{jp(t-1)} \geq \sum_{k}\sum_{\beta} y_{jk\beta pt} \qquad \forall j,p,t$$

رابطه بعدی در محدودیت یازدهم یک رابطه تعادلی است که نشان می‌دهد میزان عرضه یک مرکز توزیع حداکثر برابر بـا میـزان محصولی است که از کارخانجات مختلف دریافت می‌کند به اضافه مقدار موجودی از دوره قبل از همان محصول. سمت چپ ایـن محدودیت کل محصول P ارسال شده از کارخانجات مختلف به مرکز توزیع k را نشان می‌دهد. سمت راست این محـدودیت نیـز کل محصول p ارسالی از مرکز k به مشتریان مختلف را مشخص می‌کند.

$$\sum_{j}\sum_{\beta} y_{jk\beta pt} + R'_{kp(t-1)} \geq \sum_{l}\sum_{\gamma} z_{kl\gamma pt} \qquad \forall p,k,t$$

محدودیت دوازدهم مربوط به تامین تقاضای مشتریان است.

$$\sum_{k}\sum_{\gamma} z_{kl\gamma pt} + M_{lpt} \geq dm_{plt} \qquad \forall l,p,t$$

محدودیت بعدی بیان می کند، میزان موجودی از یک محصول در یک دوره مشخص در یک مرکز تولید برابر میزان موجودی از همان محصول از دوره قبل به علاوه میزان تولید از آن محصول، منهای میزان ارسال آن محصول به مراکـز توزیـع در آن دوره است.

$$R_{jpt} = R_{jp(t-1)} + V_{jpt} - \sum_{k}\sum_{\beta} y_{jk\beta pt} \qquad \forall\ j,p,t$$

محدودیت چهاردهم بیان می کند، میزان موجودی از یک محصول در یـک دوره مشـخص در یـک مرکـز توزیـع برابـر میـزان موجودی از همان محصول از دوره قبل به علاوه میزان دریافتی آن محصول از مراکز تولید در آن دوره، منهای میزان ارسـال آن محصول به مراکز مشتریان در آن دوره است.

$$R'_{kpt} = R'_{kp(t-1)} + \sum_{j}\sum_{\beta} y_{jk\beta pt} - \sum_{l}\sum_{\gamma} Z_{kl\gamma pt} \quad \forall\ k,p,t$$

سه محدودیت آخر تضمین‌کننده ظرفیت وسایل نقلیه هستند. دقت کنید که از تامین‌کننده به تولیدکننده قطعه ارسال می‌شـود، از تولیدکننده به توزیع کننده و از توزیع کننده به مشتری، محصول ارسال می‌شود.

$$\sum_{s} W_s \times x_{ij\alpha st} \leq SP_{\alpha} \times U_{ij\alpha t} \qquad \forall\ i,j,\alpha,t$$

$$\sum_{p} W_p \times y_{jk\beta pt} \leq SP_{\beta} \times U'_{jk\beta t} \qquad \forall\ j,k,\beta,t$$

$$\sum_{p} W_p \times z_{kl\gamma pt} \leq SP_{\gamma} \times U''_{kl\gamma t} \qquad \forall\ k,l,\gamma,t$$

علامت متغیرهای تصمیم نیز به صورت زیر خواهد بود:

Binary: $U_{ij\alpha t}, U'_{jk\beta t}, U''_{kl\gamma t}$

$X_{ij\alpha st}, Y_{jk\beta pt}, Z_{kl\gamma pt}, R'_{kpt}, R_{jpt}, M_{lpt}, V_{jpt} \geq 0$, عدد صحیح

ت) مدل بازی

ی) بازی همکارانه [۳] و غیر همکارانه

در یک دسته بندی می توان بازی ها را به دو دسته همکارانه و غیر همکارانه تقسیم کرد. بازیهای غیرهمکارانه بازیهایی هستند که در آن تمام بازیکنان به صورت مستقل در بازی ظاهر می شوند و هر بازیکن درصدد حداکثر کردن منافع خویش است. جستجوی منافع بیشتر در اغلب موارد به ضرر بازیکنان است. در بازیهای همکارانه بازیکنان به منظور دستیابی به منافع بیشتر بجای رقابت همکاری نموده و با تشکیل ائتلاف بر سر انتخاب استراتژی هایی که پیامد جمعی را افزایش می دهند توافق می نمایند . بازیهای همکارانه کاربردهای بسیار زیادی دارد. بسیاری از مناقشات ملی، منطقه ای و حتی بین المللی را که در آن تعارضات ممکن است به تحمیل هزینه های سنگین به طرفین منجر شود می توان از طریق مدلهای بازیهای همکارانه پیگیری کرد و هزینه را پایین آورد.

فرم مشخصه بازی همکارانه با n بازیکن (N.V) است که در آن N={1.2.....n} بوده و V تابع مشخصه و نشان دهنده پیامد هر ائتلاف است. هر زیر مجموعه از N={1.2.....n} به غیر از مجموعه تهی یک ائتلاف را تشکیل می دهند، با S نمایش داده می شوند .پیامد ائتلاف S برابر جمع پیامد تک تک اعضای ائتلاف S است یعنی:

$$V(S) = \sum_{i \in S} u_i(a_1 \dots \dots \dots a_n)$$

که $a = (a_1 \dots \dots \dots a_n)$ استراتژی انتخابی بازیکنان ائتلاف S است .هدف پیداکردن ائتلافی است که پیامد آن برابر حداکثر پیامد قابل حصول باشد.

$$V(N) = max_a \sum_{i=1}^{n} u_i\ (a)$$

ک) تخصیص اعتبار با استفاده از ارزش شپلی [۴]

در این روش سعی می شود به هریک از اعضای ائتلاف پیامدی تخصیص داده شود که به آن ارزش شپلی یا قدرت آن بازیکن در ائتلاف می گویند. ارزش تخصیص یافته به همه بازیکنان در برداری نمایش داده می شود که به بردار تابع ارزش معروف است. ارزش تخصیص یافته به اعضای ائتلاف را با تابع ارزش نمایش می دهند.

$$\emptyset(V) = (\emptyset_1(V) \times \emptyset_2(V) \times \dots \dots \dots \emptyset_N(V))$$

$\emptyset(V)$ نشان دهنده ارزش بازیکن i در بازی همکارانه با تابع مشخصهV است. ارزش اختصاص یافته به هر بازیکن:

$$\emptyset_i(V) = \sum_{i \in S} \frac{(|s| - 1)! \times (n - |s|)!}{n!} \times [\, V(S) - V(S - \{i\})]$$

که در آن |s| تعداد اعضای ائتلاف و [V(S)−V(S−{i})] میزان افزایش پیامد ائتلاف در صورت پیوستن عضو با آن ائتلاف را نشان می دهد (Asghari et al. 2012).

در این پژوهش با توجه به تعداد مولفه های حاضر در مساله حمل و نقل (شاملI تعداد تامین کننده، J تعداد تولید کننده، K تعداد مراکز توزیع و L تعداد مشتریان) که در مجموع (I+J+K+L)، تعداد بازیکنان شرکت کننده در ائتلاف می باشد. تعداد تمامی ائتلاف های ممکن برابر ۲ با توان (I+J+K+L)، خواهد بود. در این تحقیق پیامد هر بازیکن، V({i})، را از خروجی حل مساله حمل و نقل با اعمال شرایط ائتلاف بدست می آوریم و سپس با روش ارزش شپلی، ارزش کلی ائتلاف مد نظر محاسبه می گردد. در پایان اعلام می گردد که کدام ائتلاف بهینه ترین حالت ممکن را در مسله حمل و نقل ایجاد خواهد کرد.

ل) مثال: یک زنجیره متشکل از دو تامین کننده، یک تولید کننده، یک توزیع کننده، و دو مشتری در نظر می گیریم. لازم به توضیح است اعداد استفاده شده برای مقادیر اندیس ها، مجموعه ها و پارامترها ، فرضی و صرفا جهت حل مثال عددی است.

---

3. Cooperative Game

4 Shapley Value.

اندیسها و مجموعه ها

i : اندیس تامین کننده = ۲

j : اندیس تولید کننده = ۱

k : اندیس توزیع کننده = ۱

l : اندیس مشتری = ۲

p : اندیس محصول = ۱

s : اندیس قطعه = ۲

t : اندیس دوره = ۱

α : اندیس وسیله نقلیه موجود در مراکز تامین کننده = ۱

β : اندیس وسیله نقلیه موجود در کارخانجات تولیدی = ۱

γ : اندیس وسیله نقلیه موجود در مراکز توزیع = ۱

پارامترها

$q_{as}$ : هزینه حمل هر کیلوگرم قطعه $s$ در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه α

| | | |
|---|---|---|
| ۲ | ۱ | |
| ۳۰۰ | ۲۰۰ | ۱ |

$q_{\beta p}$ : هزینه حمل هر کیلوگرم محصول $p$ در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه β

$q_{\beta 1p1}$=۲۵۰

$q_{\gamma p}$ : هزینه حمل هر کیلوگرم محصول $p$ در واحد مسافت توسط وسیله نقلیه γ

$q_{\gamma 1p1}$ =۴۰۰

$SP_a$ : ظرفیت وسیله نقلیه α بر حسب کیلوگرم

$SP_{a1}$ =۲۵۰۰۰

$SP_\beta$ : ظرفیت وسیله نقلیه β بر حسب کیلوگرم

$SP_{\beta 1}$=۲۹۰۰۰

$SP_\gamma$ : ظرفیت وسیله نقلیه γ بر حسب کیلوگرم

$SP_{\beta 1}$=۲۸۰۰۰

$W_p$ : وزن محصول p بر حسب کیلوگرم

$W_{p1}$=۲۲

$W_s$ : وزن قطعه $s$ بر حسب کیلوگرم

$W_{S1}$=۳ و $W_{S2}$=۶

$Taxv_a$ : مالیات بر انتشار گاز دی اکسید کربن به ازای حرکت وسیله نقلیه α در واحد مسافت = $Taxv_{a1}$ ۲۰۰

$Taxv_\beta$ : مالیات بر انتشار گاز دی اکسید کربن به ازای حرکت وسیله نقلیه β در واحد مسافت = $Taxv_{\beta 1}$ ۳۰۰

$Taxv_\gamma$ : مالیات بر انتشار گاز دی اکسید کربن به ازای حرکت وسیله نقلیه γ در واحد مسافت = $Taxv_{\gamma 1}$ ۳۵۰

$Capps_{ist}$ : ظرفیت کل تامین کننده i از مواد اولیه s در دوره t

| | ۱ |
|---|---|
| ۱.۱ | ۶۰۰۰۰۰ |
| ۱.۲ | ۵۵۰۰۰۰ |
| ۲.۱ | ۵۵۰۰۰۰ |
| ۲.۲ | ۶۰۰۰۰۰ |

$Cappm_{jpt}$ : ظرفیت کل کارخانه j از محصول p در دوره t

| | ۱ |
|---|---|
| ۱.۱ | ۳۵۰۰۰۰ |

$Cappd_{kpt}$ : ظرفیت کل توزیع کننده k از محصول p در دوره t

| | ۱ |
|---|---|
| ۱.۱ | ۴۵۰۰۰۰ |

$Capm_{jt}$ : ظرفیت انبار مرکز توزیع j در دوره t

$Capm_{j1t1}$=۴۰۰۰۰

$Capd_{kt}$ : ظرفیت انبار مرکز توزیع k در دوره t

$Capd_{k1t1}$=۷۰۰۰۰

$Vol_P$ : حجم هر واحد محصول p $Vol_{P1}$ = ۴

$C_{ist}$ : هزینه خرید قطعه s از تامین کننده i

| | ۱ |
|---|---|
| ۱.۱ | ۵۲ |
| ۱.۲ | ۳۳ |
| ۲.۱ | ۴۸ |
| ۲.۲ | ۵۳ |

$C_{jpt}$ : هزینه تولید محصول p در کارخانه j

| | ۱ |
|---|---|
| ۱.۱ | ۹ |

$d_{ij}$ : فاصله تامین کننده i تا کارخانه j

| | ۱ |
|---|---|
| ۱ | ۸۹ |
| ۲ | ۱۳۹ |

$d_{jk}$ : فاصله کارخانه j تا توزیع کننده k

$d_{j1k1}$=۸۴

$d_{kl}$ : فاصله توزیع کننده k تا مشتری l

| | ۱ | ۲ |
|---|---|---|
| ۱ | ۲۲ | ۳۵ |

$dm_{plt}$ : تقاضای مشتری l از محصول p در دوره t

| | ۱ |
|---|---|
| ۱.۱ | ۴۴ |
| ۱.۲ | ۳۷ |

$O_{sp}$ : ضریب مصرف قطعه s در محصول p

| ۱ | |
|---|---|
| ۱ | ۱ |
| ۱ | ۲ |

$Taxm_{jp}$ : مالیات بر انتشار گاز دی اکسید کربن به ازای تولید هر واحد محصول p توسط مرکز تولید j

$Taxm_{j1p1}$ =۵۰۰

$Hor_{\alpha t}$ : ساعات کاری وسیله نقلیه $\alpha$ در دوره t

$Hor_{\alpha 1t1}$=۴۸۰

$Hor'_{\beta t}$ : ساعات کاری وسیله نقلیه $\beta$ در دوره t

$Hor'_{\beta 1t1}$=۵۲۰

$Hor''_{\gamma t}$ : ساعات کاری وسیله نقلیه $\gamma$ در دوره t

$Hor''_{\gamma t}$=۵۴۰

$fc_{ij\alpha t}$: هزینه ثابت ارسال وسیله نقلیه α از تامین کننده i به تولید کننده j در دوره t

| ۱ | |
|---|---|
| ۲۳۰ | ۱.۱.۱ |
| ۳۳۰ | ۲.۱.۱ |

$fc'_{jk\beta t}$ : هزینه ثابت ارسال وسیله نقلیه β ازتولید کننده j به توزیع کننده k در دوره t

| ۱ | |
|---|---|
| ۱۹۰ | ۱.۱.۱ |

$fc''_{kl\gamma t}$ : هزینه ثابت ارسال وسیله نقلیه γ از توزیع کننده k به مشتری l در دوره t

| ۱ | |
|---|---|
| ۱۴۵ | ۱.۱.۱ |
| ۲۴۵ | ۱.۲.۱ |

$h_{jpt}$ : هزینه نگهداری هر واحد محصول p در مرکز تولید j در دوره t

| ۱ | |
|---|---|
| ۵ | ۱.۱ |

$h'_{kpt}$ : هزینه نگهداری هر واحد محصول p مرکز توزیع k در دوره t

| ۱ | |
|---|---|
| ۵ | ۱.۱ |

$N_{lpt}$ : جریمه کمبود برای مشتری l از محصول p در دوره t

| ۱ | |
|---|---|
| ۱۵۳۰۰۰۰ | ۱.۱ |
| ۱۶۵۰۰۰۰ | ۲.۱ |

$time_{ij}$ : زمان رفت و برگشت از تامین کننده i به تولید کننده j

| ۱ | |
|---|---|
| ۳۸ | ۱ |
| ۴۸ | ۲ |

$time'_{jk}$ : زمان رفت و برگشت از تولید کننده j به توزیع کننده k

$time'_{j1k1}$ =۴۸

$time"_{kl}$ : زمان رفت و برگشت از توزیع کننده k به مشتری l

| | | |
|---|---|---|
| ۲ | ۱ | |
| ۱۱ | ۸ | ۱ |

پس از جایگذاری اعداد فرضی داده شده در مدل طراحی شده و حل مسئله به کمک نرم افزار گمز مقادیر بهینه مدل حمل و نقل بدست می آید که طبق جداول زیر می باشد.

مقدار قطعه s که در دوره t توسط ماشین a از تامین کننده i به تولید کننده j حمل شده

| VARIABLE X | |
|---|---|
| INDEX 1 = 1 INDEX 2 = 1 | |
| 1 | |
| ۸۱ | 1.1 |
| ۸۱ | 2.1 |

مقدار محصول p که در دوره t توسط ماشین B از تولیدکننده j به توزیع کننده k حمل شده

| VARIABLE Y | |
|---|---|
| INDEX 1 = 1 INDEX 2 = 1 | |
| 1 | |
| ۸۱ | 1.1 |

مقدار محصول p که در دوره t توسط ماشین g از توزیع کننده k به مشتری l حمل شده

| VARIABLE Z | |
|---|---|
| INDEX 1 = 1 INDEX 2 = 1 | |
| 1 | |
| ۴۴ | 1.1 |
| INDEX 1 = 1 INDEX 2 = 2 | |
| 1 | |
| ۳۷ | 1.1 |

مقدار موجودی محصول p در انبار تولید کننده j در دوره t

| VARIABLE R |
|---|
| ( ALL 0 ) |

مقدار موجودی محصول p در انبار توزیع کننده k در دوره t

| VARIABLE R′ |
|---|
| (ALL 0 ) |

مقدار تولید محصول p توسط تولید کننده j در دوره t

| VARIABLE V | |
|---|---|
| 1 | |
| ۸۱ | 1.1 |

مقدار کمبود از سفارش مشتری l از محصول p در دوره t

| VARIABLE M |
|---|
| (ALL 0 ) |

مقدار تابع هدف نهایی بدست آمده از مدل خطی حمل و نقل

| VARIABLE ZZ =۷/۴۷۴۹۸۷ E+7 |
|---|

در ادامه پس از در نظر گرفتن سناریو های مختلف، که در واقع ۱۶ حالت سناریو مطرح و حالات ائتلافی توسط تئوری بـازی مـد نظر قرار خواهد گرفت ، محاسبات مربوطه به روش ارزش شپلی انجام می شود و جواب های نهایی مسئله طبق جداول زیر ارائـه می شود.

مقدار قطعه s که در دوره t توسط ماشین a از تامین کننده i به تولید کننده j حمل شده

| VARIABLE X | |
|---|---|
| INDEX 1 = 1 INDEX 2 = 1 | |
| 1 | |
| ۷۸ | 1.1 |
| ۷۸ | 2.1 |

مقدار محصول p که در دوره t توسط ماشین B از تولیدکننده j به توزیع کننده k حمل شده

| VARIABLE Y | |
|---|---|
| INDEX 1 = 1 INDEX 2 = 1 | |
| 1 | |
| ۷۸ | 1.1 |

مقدار محصول p که در دوره t توسط ماشین g از توزیع کننده k به مشتری l حمل شده

| VARIABLE Z | |
|---|---|
| INDEX 1 = 1 INDEX 2 = 1 | |
| 1 | |
| ۴۳ | 1.1 |
| INDEX 1 = 1 INDEX 2 = 2 | |
| 1 | |
| ۳۵ | 1.1 |

مقدار موجودی محصول p در انبار تولید کننده j در دوره t

| VARIABLE R |
|---|
| ( ALL 0 ) |

مقدار موجودی محصول p در انبار توزیع کننده k در دوره t

| VARIABLE R′ |
|---|
| (ALL 0 ) |

مقدار تولید محصول p توسط تولید کننده j در دوره t

| VARIABLE V | |
|---|---|
| 1 | |
| ۷۸ | 1.1 |

مقدار کمبود از سفارش مشتری l از محصول p در دوره t

| VARIABLE M | |
|---|---|
| 1 | |
| ۱ | 1.1 |
| ۲ | 2.1 |

مقدار ارزش شپلی تابع هدف نهایی بدست آمده از مدل بازی (جریمه کمبود در مدل محاسبه شده با تئوری بازی لحاظ شده):

| VARIABLE ZZ = ۷/۳۵۱۵۵۷E+7 |
|---|

از مقایسه مقادیر بدست آمده متغیر ZZ که همان مقدار نهایی تابع هدف می باشد ، حل مدل به کمک تئوری بازی و در نظر گرفتن ائتلاف ها در بازی مشارکتی، به وضوح نشان می دهد مقدار تابع هدف با وجود جریمه کمبود کمتر شده است و بهبود حاصل شده به واسطه روش ائتلافی بازی مورد تایید قرار می گیرد.

## ۳- نتایج و بحث

نظریه بازی تلاش می‌کند تا رفتار ریاضی حاکم بر یک موقعیت استراتژیک (تضاد منافع) را مدل‌سازی کند. این موقعیت زمانی پدید می‌آید که موفقیت یک فرد وابسته به راه بردهایی است که دیگران انتخاب می‌کنند. هدف نهایی این دانش یافتن راه‌برد بهینه برای بازیکنان است. رفتار راهبردی، زمانی بروز می کند که مطلوبیت هرعامل، نه فقط به راهبرد انتخاب شده توسط خود وی بلکه به راهبرد انتخاب شده توسط بازیگران دیگر همبستگی داشته باشد.یکی از انواع بازی ها ،بازی مشارکتی می باشد.در این نوع از بازی اجازه داده می شود که بازیکنان تشکیل یک ائتلاف بدهند تا در تصمیم گیری و اطلاعات و نتیجه شریک باشند. در این پژوهش از رویکرد این نوع بازی استفاده شده است.

در ابتدا با شناسائی عوامل تاثیر گذار بر رقابت پذیری درشبکه حمل ونقل سبز چند سطحی متشکل از تامین کننده، فروشنده، واسطه توزیع و مشتری مدلسازی مسئله برنامه ریزی خطی حمل و نقل جهت محاسبه مقادیر بهینه انجام گردید، از آنجاییکه تئوری بازی به مطالعه موقعیت های استراتژیک بازیکنان یک بازی می پردازد و هدف این تئوری تخمین راههای مختلف انجام حرکت در یک بازی برای برآوردن سود بیشتر است، لذا در ادامه به کمک محاسبه ارزش شپلی اختصاص یافته به سناریو های مختلف ممکن مطرح شد و حالات ائتلافی و مشارکتی مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت بهترین اعتلاف به عنوان راه حل نهایی و پاسخ مدل بازی ارزش شپلی برگزیده شد. در ادامه روند پژوهش یک مثال عددی با مقادیر فرضی ارائه شد که ابتدا توسط مسله حمل و نقل مدل سازی و به کمک نرم افزار گمز محاسبات آن انجام شد و خروجی ها و پاسخ مقادیر متغییر های مسئله در جداول مربوطه ارائه شد، سپس مسئله توسط تئوری بازی همکارانه سناریو سازی و به کمک نرم افزار اکسل و با روش ارزش شپلی حل شد، نتایج بدست آمده از حل تئوری بازی نیز در جداول مشابه ارائه گردید، در صورتی که نتایج بدست آمده از حل به دو روش مذکور مورد مقایسه قرار گیرد مشاهده خواهد شد علیرغم آنکه در جواب نهایی مسئله تئوری بازی مقداری بابت جریمه کمبود به مقدار تابع هدف افزوده شده است اما با توجه به مقادیر بدست آمده می توان نتیجه گرفت تئوری بازی با در نظر گرفتن شرایط اعتلاف بین شرکت کنندگان در یک بازی همکارانه می تواند به پاسخ بهتری دست یابدکه مقادیر بدست آمده تابع هدف نهایی حل مسله به کمک تئوری بازی تایید کننده این مطلب می باشد.

باتوجه به بررسی های انجام شده در این پژوهش در تحقیقات آتی می توان متغیر های بیشتر و یا شروط بیشتری به مسله افزوده گردد که از آن جمله می توان به وجود زمان تحویل برای مشتریان، ارسال همزمان بار برای چند مشتری، میزان اشتغال زایی فرایند کاری در زنجیره و یا حتی همپوشانی مشتریان در حین توزیع اشاره داشت علاوه بر این امکان افزودن شرایط عدم اطمینان یا عدم قطعیت به مسله وجود دارد و نیز می توان تابع ریسک به مسله اضافه گردد. از سوی دیگر این امکان وجود دارد که مسئله به روش های مختلف دیگری از جمله روشهای فرا ابتکاری مدل سازی و حل شود و پاسخ های بدست آمده با هم مورد مقایسه قرار گیرد.

## ٤-منابع


1. Araghi, N. (2017). Optimizing decision-making in the multi-level supply chain with a game theory approach, Business Management PHD Thesis, *Faculty of Management and Economics, University of Scientific Research, Tehran*. (In Persian)
2. Asghari, N., Eshaghi Gorji, M. & Abounoori, E. (2019). Modeling budget distribution in Iran using game theory, *Quarterly Journal of Modeling of Econometrics*, 2,133-153. (In Persian)
3. Chakraborty, P., & Poddar, M. (2020). Role of Multiple Stakeholders in Value Co-creation and Effects on Medical Tourism. *Jindal Journal of Business Research*, *9*(1), 18-26.
4. Nur, F. (2020). *Developing models and algorithms to design a robust inland waterway transportation network under uncertainty*. Mississippi State University.
5. Gao, J., & You, F. (2019). A stochastic game theoretic framework for decentralized optimization of multi-stakeholder supply chains under uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, *122*, 31-46.

6. Gholami, M. (2020). A mathematical model for designing supply chain network considering production and transportation planning for production time dependent products, Industrial Management Master Thesis, *Ghiasuddin Jamshid Kashani University, Faculty of Industry and Management.* (In Persian)
7. Huang, Y., & Huang, G. Q. (2012). Integrated supplier selection, pricing and inventory decisions in a multi-level supply chain. In *Decision-Making for Supply Chain Integration* (pp. 47-62). Springer, London.
8. Jafari-Nodoushan, A., Fakhrzad, M. B., & Maleki, H. (2022). Optimization of the green supply chain management considering uncertainty in consequence of risk (Case Study: Golsam company). *Journal of Industrial and Systems Engineering*, *14*(2), 322-340.
9. Kannan, D. (2018). Role of multiple stakeholders and the critical success factor theory for the sustainable supplier selection process. *International Journal of Production Economics*, *195*, 391-418.
10. Lima, C., Relvas, S., & Barbosa-Póvoa, A. P. F. (2016). Downstream oil supply chain management: A critical review and future directions. *Computers & Chemical Engineering*, *92*, 78-92.
11. Mahmoudi, R. (2019). Designing a sustainable urban transportation network using data envelopment analysis and game theory, Industrial Engineering PHD Thesis, *Isfahan University of Technology, Faculty of Industrial and Systems Engineering*. (In Persian)
12. Masheli A. & Mohamaditabar, D. (2017). Selecting suppliers with a collaborative game theory approach considering capacity constraints and sending items simultaneously, *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems,* no 10. (In Persian)
13. Salimi, P. & Edalatpanah, SA. (2020). Supplier selection using fuzzy AHP method and D-numbers, *Journal of fuzzy Extension and Applications*, 1. 1-14. 10. 22105/jfea.2020.248437.1007.
14. Babu, S., & Mohan, U. (2018). An integrated approach to evaluating sustainability in supply chains using evolutionary game theory. *Computers & operations research*, *89*, 269-283.
15. Gao, J., & You, F. (2019). A stochastic game theoretic framework for decentralized optimization of multi-stakeholder supply chains under uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, *122*, 31-46.
16. Liu, Z., Qian, Q., Hu, B., Shang, W. L., Li, L., Zhao, Y., ... & Han, C. (2022). Government regulation to promote coordinated emission reduction among enterprises in the green supply chain based on evolutionary game analysis. *Resources, Conservation and Recycling*, *182*, 106290.
17. Zimmer, K., Fröhling, M., & Schultmann, F. (2016). Sustainable supplier management–a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development. *International journal of production research*, *54*(5), 1412-1442.

# Application of Game Theory on Optimizing Multilevel Green Transportation Problem under Multi-Stakeholder's Condition

**Mahmood Darvishsefat**
Ph.D. Candidiate in Industrial Management, Production and Operations Orientation, Faculty of Management, Islamic Azad University, Firuzkuh Branch, Iran
**Javad Rezaeian** (Corresponding Author)
Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Mazandaran University of Science and Technology, Babol, Iran
**j.rezaeian@ustmb.ac.ir**
**Mohammad Mahdi Pourpasha**
Assistant Professor, Department of Mathematics, Islamic Azad University, Chalus Branch, Iran

## Abstract
Game theory is a branch of applied mathematics, which has been recently used to study strategic behavior, i.e. the conditions in which the desirability of each factor depends on the decisions made by the players. This paper proposes a multilevel green transportation model under multi-stakeholder's condition, that game theory could be used to selects the best interactive mode by presenting different scenarios so that all stakeholders in a game achieve their maximum benefits. In this paper, a comprehensive multi-level supply chain model consisting of several simultaneous stakeholders has been considered. An optimal model was developed to achieve the lowest cost at different levels of the chain. The optimal model includes the lowest costs of purchase and production, maintenance, shortage, and warehousing. The model also includes various components of products transportation and distribution for all members of the chain. The produced $Co^2$ at different stages of production and transportation for both involved parties was accounted in the model to minimize the environmental impacts. Furthermore, a competition in the context of a game to select the optimal situation between the stakeholders of the supply chain has been considered make the best decision in terms of a participatory game by considering different scenarios. In this paper, Excel and Gams software were used to model and solve the numerical example. The results confirmed the superiority of the optimal values of the game theory model.

**Keywords:** Game Theory, Multi-Stakeholders, Multilevel Green Transportation**.**