Journal of Dam and Hydroelectric PowerPlant
2nd Year / No. 7 / February 2016

نشریه علمی پژوهشی سد و نیروگاه برق آبی
سال دوم / شماره هفتم / زمستان ۱۳۹۴

استراتژی کارای بازی‌های همکارانه در سامانه‌های غیرمتمرکز به کمک آنالیز قابلیت اطمینان: مطالعه موردی در شبکه توزیع آب

هادی حیدری قره‌بلاغ*[۱]
اشکان حافظ الکتب[۲]
احمد ماکویی[۳]
صدیق رئیسی[۴]

چکیده

با توجه به پیشرفت روزافزون فناوری و بروز محیط‌های شدید رقابتی، مهم‌ترین هدف شبکه‌های توزیع غیرمتمرکز که توسط تأمین‌کنندگان مختلف اداره می‌شود، بیشینه نمودن سود خود و افزایش قابلیت اطمینان شبکه است. یکی از ابزارهای کلیدی برای ارتقای کارایی در فضای رقابتی، بهره‌گیری از تئوری بازی و بازی همکارانه در شبکه‌های توزیع و حمل‌ونقل است؛ بنابراین هدف اصلی تحقیق، تعیین استراتژی‌های بهینه بازی‌های همکارانه بین تأمین‌کنندگان با ملاحظات عدم قطعیت در پارامترهای جریان، هزینه و زمان است که می‌تواند بنا به دلایل گوناگون ازجمله نوسانات عرضه و تقاضا، مسائل سیاسی، بلایای طبیعی، زلزله، جنگ، افت ولتاژ جریان (در سامانه‌های انتقال نیرو و نوسانات توزیع آب) باشد. برای این منظور در این مقاله دو مسئله ریاضی در حالت قطعی و غیرقطعی با توجه به انواع ائتلاف بازیگران در شبکه موردبررسی، قابلیت اطمینان تحلیل و استراتژی بهینه بازی‌های همکارانه در قالب مطالعه موردی در صنعت توزیع آب بررسی شده است.

کلمات کلیدی

شبکه، بازی همکارانه، قابلیت اطمینان، عدم قطعیت.

۱*. دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، st_h_heidari@azad.ac.ir.
۲. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.
۳. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران.
۴. دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب.

تاریخ دریافت:۹۴/۰۹/۰۲
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۶

مقدمه

پیشرفت روزافزون فناوری در صنایع پتروشیمی، خودروسازی، شبکه‌های توزیع آب، برق و نیروگاه‌ها، هوایی، نظامی و شبکه‌های حمل‌ونقل، همراه با فضای رقابتی پیچیده و سنگین در حال اتفاق است. همچنین، سازمان‌ها و شرکت‌های تجاری با محیط‌های رقابتی‌تر و پیچیده‌تری نسبت به قبل مواجه هستند (لانسیونی[1] و همکاران، ۲۰۰۳). این امر سازمان‌ها را وادار می‌کند که متغیرهای اصلی مانند زمان و هزینه را به‌عنوان یک عنصر مهم در دنیای رقابتی امروز در نظر بگیرند و سطح خدمت به مشتریان را افزایش دهند و محصولات را مطابق با خواسته مشتریان تهیه نمایند (پترسون[2] و همکاران، ۲۰۰۳).

همین امر سبب شده است تا سطح انتظارات مصرف‌کنندگان نسبت به محصولات تولیدی و یا خدمات ارائه‌شده تا حد زیادی افزایش یابد. در این شرایط نمی‌توان انتظار داشت که صرفاً تأمین انتظارات مشتریان بتواند شرایط مناسب را برای تصمیم‌گیرندگان بنگاه‌های اقتصادی برقرار سازد. امروزه ضرورت دارد تا نقش عامل مهم دیگری به نام بقا کیفیت و قابلیت اطمینان در تصمیم‌گیری‌های استراتژیک موردتوجه قرار گیرد. به دلیل اینکه با کوچک‌ترین خرابی، خدمت قابل‌ارائه به مشتری تا حد زیادی تحت‌الشعاع قرار می‌گیرد و هزینه بسیار سنگینی به صنعت موردنظر وارد می‌آید؛ بنابراین در سامانه‌های غیرمتمرکز که توسط چند عرضه کننده (بازیگر) که به‌عنوان تصمیم‌گیرنده هستند، اداره می‌شوند افزایش قابلیت اطمینان و در دسترس بودن شبکه که یکی از نیازهای اساسی مشتریان با توجه به پیشرفت فناوری و افزایش سطح انتظارات مشتریان است، از ضروریات است. در این نوع سامانه‌ها هدف، بیشینه‌سازی سود بازیگران به‌نحوی‌است که قابلیت اطمینان کل سیستم بیشینه شود. بازی همکارانه در رویکرد تئوری بازی‌ها یک ابزار بسیار مناسب برای تخصیص و هزینه‌یابی است. ایده تئوری بازی‌ها پیدا کردن استراتژی‌های مطلوب و افزایش بهره‌وری برای بازیگران است. ایده تئوری بازی‌ها پیدا کردن استراتژی‌های مطلوب و افزایش بهره‌وری با وجود پایداری برای بازیگران است. پایدار بودن به این معنی است که هزینه هر شرکت زمانی که باهم همکاری می‌نمایند کمتر از زمانی است که همکاری نمی‌کنند. این احتیاجات به‌وسیله یک مفهوم پایدار رویکرد تئوری بازی‌های همکارانه ارائه می‌گردد. سپس شرکت‌ها باید جهت تخصیص هزینه یکی از راه‌های فردی یا بازی همکارانه را انتخاب کنند (تیمر[3] و همکاران، ۲۰۱۳).

این تحقیق برای توسعه زمینه‌های به‌کارگیری روش‌های مرسوم تصمیم‌گیری‌های همکارانه با اتکا بر نظریه بازی‌ها تعریف شده است و هدف اصلی آن متمرکز بر توسعه روش‌های تصمیم‌گیری موجود با اتکا بر ارزیابی قابلیت اطمینان و مخاطرات موجود و قابل پیش‌بینی است. سؤال اصلی تحقیق این است که آیا ترکیب استراتژی بازی‌های همکارانه با ملاحظات قابلیت اطمینان و با توجه به تغییرات ظرفیت انتقال آب، زمان و هزینه برای تأمین‌کنندگان، بهینه است؟

قبل از مرور ادبیات و پیشینه تحقیق، تعاریف مهم ارائه می‌گردد.

تئوری بازی‌ها یک رویکرد میان‌رشته‌ای است که به بررسی رفتار بین دو یا چند بازیگر و یا یک گروه با استفاده از ویژگی‌های خاص خود می‌پردازد. ایده تئوری بازی‌ها پیدا کردن استراتژی‌های مطلوب، افزایش بهره‌وری و یا کاهش هزینه برای بازیگران است.

در ادامه به‌صورت مختصر به تاریخچه و تعریف قابلیت اطمینان اشاره می‌شود. تاریخچه مباحث قابلیت اطمینان به اوایل سال ۱۹۳۰، زمانی که مشکلات مربوط به تولید برق در ایالات‌متحده آمریکا پیش آمد، مربوط می‌شود. در سال ۱۹۵۴، یک نشست ملی در قابلیت اطمینان و کنترل کیفیت برای اولین بار در ایالات‌متحده برگزار شد. دو سال بعد یعنی در سال ۱۹۵۶، برای اولین بار کتاب‌های موجود در قابلیت اطمینان منتشر شد. قابلیت اطمینان یعنی احتمال این‌که سیستم با تابع چگالی مشخص تحت شرایط کاری مشخص برای یک دوره مشخص از زمان کار کند. به زبان ریاضی قابلیت اطمینان[4] عبارت است از احتمال این‌که یک سیستم با موفقیت و بدون شکست در فاصله زمانی ۰ تا t با توجه به رابطه (۱) کار کند.

[1] Lancioni
[2] Patterson
[3] Timmer
[4] Reliability

$$R(t) = P(T \geq t), t \geq 0 \quad (1)$$

که در آن T= یک متغیر تصادفی به مفهوم احتمال شکست یا عدم اطمینان سیستم.

شبکه و تئوری شبکه از دیدگاه‌های مختلفی توسط محققین بررسی شده است. شبکه، یکی از کاربردی‌ترین مدل‌ها در برنامه‌ریزی ریاضی و تحقیق در عملیات است که ازجمله می‌توان به کاربرد شبکه در برنامه‌ریزی و کنترل موجودی‌ها، برنامه‌ریزی تولید، برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، مکان‌یابی تسهیلات و بسیاری دیگر از این قبیل اشاره کرد. همچنین می‌توان کاربردهای واقعی شبکه و گراف را در برنامه‌ریزی خطوط هوایی، خطوط ریلی، جاده‌ها و خطوط لوله به کار بست و مدل‌سازی نمود (چریجور[1]، ۲۰۰۲). یکی دیگر از کاربردهای تئوری بازی‌ها در شبکه در دنیای واقعی را می‌توان به توزیع خطوط لوله نفت بین کشورها نام برد. در دنیای واقعی شبکه‌ها اغلب توسط چندین مالک (کشور، شرکت) کنترل می‌شوند. به‌عنوان نمونه، می‌توان به خطوط لوله گاز طبیعی که در کشورهای اروپایی به‌صورت سیستم یکپارچه وجود دارد و هر کشور کنترل قسمت خاص این سیستم توزیع را در دست دارد اشاره نمود (ریس[2] (۲۰۰۵)، کلای و زمل[3] (۱۹۸۲)، فریسک[4] و همکاران (۲۰۱۰)).

یکی از مباحث مهم در شبکه‌ها، مسئله بیشینه‌سازی جریان در شبکه است. که در آن هدف، بیشینه‌سازی مقدار حمل‌ونقل جریان از گره اولیه به گره مقصد با توجه به ظرفیت‌های کمان است. حافظ الکتب و ماکوئی (۲۰۱۵) مسئله بیشینه‌سازی جریان را در حالت عدم قطعیت و با استفاده از بازی‌های همکارانه، در سه حالت بدبینانه، خوش‌بینانه و واقعی بررسی نمودند. نکته اساسی در این تحقیق این است که فقط ظرفیت جریان بین گره‌ها به‌صورت عدم قطعی در نظر گرفته شده است. بل[5] (۱۹۹۹)، یک مدل حمل‌ونقل از مبدأ تا مقصد را با پنج مسیر فرضی و چهار سناریو با استفاده از بازی‌های همکارانه مجموع صفر و با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی خطی با رویکرد کمینه نمودن هزینه، بهینه نموده است. در دهه‌های اخیر با توجه به سطح پایین موجودی و افزایش روزافزون سطح انتظارات مشتریان، هزینه‌های لجستیک در شبکه‌های توزیع افزایش زیادی یافته است. برای کاهش هزینه‌ها از روش‌های مختلف تئوری بازی‌ها و بازی همکارانه افقی در شبکه لجستیک استفاده شده است که بازی همکارانه افقی باعث شده که سود در اثر رقابت بین شرکت‌ها افزایش یابد (لوزانو[6] و همکاران، ۲۰۱۳). در بازار رقابتی اقتصادهای در حال ظهور مانند چین و هند، فشار بیش‌ازحد بر روی زنجیره عرضه جهانی باعث بروز محدودیت جدید برای این کشورها در شبکه حمل‌ونقل شده است که با بهره‌گیری از بازی همکارانه تئوری بازی‌ها برای بهینه نمودن، مشکل حمل‌ونقل رفع شده است. برای بهینه نمودن شبکه حمل‌ونقل از روش شاپلی برای پایدار نمودن زنجیره عرضه و کاهش فشار بیش‌ازحد استفاده شده است (ریس، ۲۰۰۵). سان کریستوبا و رامون[7] (۲۰۱۴)، تخصیص هزینه بین فعالیت‌های شبکه را با استفاده از تئوری بازی‌ها بررسی نموده و بهینه نموده است.

همچنین در دهه گذشته، قابلیت اطمینان شبکه حمل‌ونقل و سامانه‌های توزیع نیروگاه‌ها، بسیار موردتوجه قرار گرفته است. دو دلیل زیر اهمیت این موضوع را نشان می‌دهد:

۱) تجارب حوادثی مانند زلزله کوبه که در کشور ژاپن در سال ۱۹۹۵ اتفاق افتاد، بسیاری از محققان را به فکر واداشت که شناسایی و افزایش قابلیت اطمینان شبکه حمل‌ونقل به‌عنوان یک عنصر مهم و حیاتی برای نجات مردم و خدمات اورژانسی، اقدامی اساسی و حیاتی در شبکه‌های حمل‌ونقل موردبررسی قرار گیرد. همچنین در موارد ویژه مانند اختلالات آب و هوایی نامساعد، تصادفات و حوادث جاده‌ای و حملات تروریستی این موضوع حائز اهمیت است؛ ۲) افزایش فعالیت‌های اقتصادی در سراسر جهان، منجر به اهمیت سامانه‌های شبکه‌ای و افزایش ارزش عملکرد شبکه‌ها شده است (ژتو[8]، ۲۰۱۱). به همین دلیل می‌توان نتیجه گرفت که برای فعالان اقتصادی قابلیت اطمینان شبکه‌های حمل‌ونقل و ظرفیت قابلیت اطمینان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

از طرف دیگر قابلیت اطمینان، عامل کلیدی برای کیفیت سامانه‌ها است (آمین[9] و همکاران، ۲۰۱۳)؛ بنابراین با افزایش

---

[1] Schrijver
[2] Reyes
[3] Kalai & zemel
[4] Frisk
[5] Bell
[6] Lozano
[7] San cristoba & Ramon
[8] Szeto
[9] Amin

روزافزون توجه به کیفیت، یافتن راهی برای ارتقا پایایی محصول بیش‌ازپیش موردتوجه قرار گرفته است. برای باقی ماندن در شرایط رقابتی، افزایش کیفیت محصول و کاهش هزینه‌های مرتبط با آن نقش تعیین‌کننده‌ای دارند (کیو[1]، ۲۰۰۱).

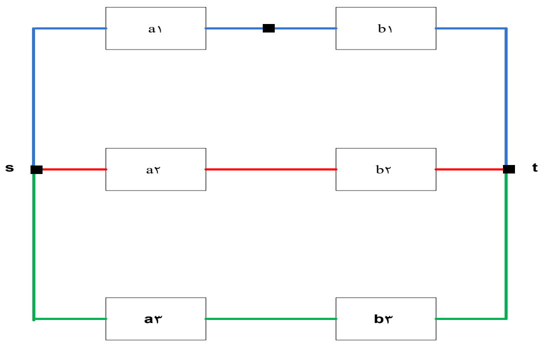
بسیاری از سامانه‌های دنیای واقعی، مانند سامانه‌های انتقال قدرت می‌تواند به‌عنوان یک شبکه جریان چندبخشی که در آن هر بخش مستقل می‌تواند دارای سود باشد، تشکیل شود. بسیاری از سامانه‌های دنیای واقعی را می‌توان به‌عنوان سامانه‌های شبکه چندبخشی (دولت) در نظر گرفت و قابلیت اطمینان آن را به دست آورد. چانگ[2] و همکاران (۲۰۱۵) با روش الگوریتم جدید cut-based قابلیت اطمینان را برای شبکه‌هایی که جریان آن‌ها توسط چند بازیگر و یا چند دولت هدایت می‌شود به دست آورده‌اند. همچنین خلیلی دامغانی و همکاران (۲۰۱۳)، بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان سامانه‌های سری- موازی، کمینه نمودن مقدار و وزن شبکه را با در نظر گرفتن نوع تخصیص افزونگی به‌عنوان متغیر تصمیم و با بهره‌گیری از الگوریتم فرا ابتکاری PSO و رویکرد حل مسئله تابع چند هدف، بهینه نموده‌اند.

ژتو (۲۰۱۱) بازی همکارانه را برای اندازه‌گیری قابلیت اطمینان باوجود تناقضات در شبکه‌های حمل‌ونقل، به‌منظور کمینه نمودن هزینه مسیرها و از سوی دیگر، برای به بیشینه رساندن مجموع انتظارات توسط بازیگران مطرح نمود. برای بهینه نمودن از روش‌های استاکلبرگ و تعادل نش استفاده گردیده و تأکید شده است که بازی غیر همکارانه منجر به حالت بدتر و غیرکارا می‌گردد. در انتهای پیشینه تحقیق در جدول (۱)، جمع‌بندی مقالات مرور شده در رابطه با موضوع آورده شده است.

همان‌طور که در جدول (۱) ملاحظه می‌شود، در هیچ‌کدام از مقالات موردبررسی، همه هشت هدف به‌طور هم‌زمان در مدل‌ها و تحقیقات در نظر گرفته نشده است. مقالاتی که در این زمینه کار شده صرفاً چند هدف را مدنظر قرار داده‌اند؛ بنابراین نوآوری اصلی این مقاله، ترکیب اهداف هشت‌گانه در شبکه در سامانه‌های غیرمتمرکز توسط بازیگران است.

مواد و روش‌ها

چارچوب اصلی مسئله موردبررسی در این پژوهش در شکل (۱) ارائه شده است. فرض کنید که یک سیستم شبکه غیرمتمرکز پیوسته، توسط سه بازیگر به‌طور هم‌زمان کنترل می‌شود؛ گره‌های a_1 و b_1 توسط بازیگر اول، گره‌های a_2، b_2 توسط بازیگر دوم و a_3 و b_3 توسط بازیگر سوم کنترل می‌شود. حال در این شبکه، بیشینه نمودن سود بازیگران در کل زنجیره و تعیین قابلیت اطمینان کارای کل زنجیره، با توجه به مقادیر زمان انتقال، هزینه و جریان آب با بهره‌گیری از مدل‌سازی در بازی‌های همکارانه در حالت‌های قطعی و غیرقطعی مدنظر قرار گرفته است. در مدل شکل (۱)، a و b گره‌های مواصلاتی و ایستگاه‌های تلمبه‌خانه برای تأمین آب برای کانال‌ها هستند.



شکل (۱): مدل شبکه سه مالک (سه بازیگر)(تودینو[3]،۲۰۱۳)

در حالت قطعی، فرض می‌شود که قابلیت اطمینان کل شبکه به‌صورت کامل (قابلیت اطمینان ۱۰۰٪) در نظر گرفته می‌شود.

ولی در حالت غیرقطعی، به علت تغییر پارامترها ازجمله ظرفیت، هزینه و زمان انتقال در دنیای واقعی و عدم ثبات آن‌ها به دلیل مسائلی از قبیل نوسانات عرضه و تقاضا، مسائل سیاسی، بلایای طبیعی، زلزله، جنگ، افت ولتاژ جریان در سامانه‌های انتقال نیرو و نوسانات توزیع آب، قابلیت اطمینان شبکه دستخوش تغییرات عمده می‌شود.

فرض کنید یک مجموعه شبکه با برخی از گره‌ها و کمان‌ها به‌صورت $\tilde{N}=(V,A,\widetilde{Cap},\widetilde{Cost},\tilde{T},O,D)$ تعریف شود که در آن O و D به ترتیب مبدأ و مقصد در شبکه و به‌صورت $O,D\in V$ تعریف شوند.

---
[1] Kuo
[2] Chang
[3] Todinov

ولی در حالت غیرقطعی، به علت تغییر پارامترها ازجمله ظرفیت، هزینه و زمان انتقال در دنیای واقعی و عدم ثبات آن‌ها به دلیل مسائلی از قبیل نوسانات عرضه و تقاضا، مسائل سیاسی، بلایای طبیعی، زلزله، جنگ، افت ولتاژ جریان در سامانه‌های انتقال نیرو و نوسانات توزیع آب، قابلیت اطمینان شبکه دستخوش تغییرات عمده می‌شود.

جدول (۱): لیست مقالات مرور شده مرتبط با ادبیات موضوع

ردیف	نام نویسنده	عنوان مقاله	تئوری بازی ها	بازی همکارانه	قابلیت اطمینان	شاخص عدم قطعیت			شبکه	بیشینه سازی جریان
						هزینه	جریان	زمان		
۱	Hafezalkotob Ashkan Ahmad Makui	Cooperative maximum-flow problem under uncertaintry in logistic networks	✓	✓					✓	✓
۲	G H Bell Michael	Measuring Network Reliability: A Game Theoretic Approach	✓	✓	✓			✓	✓	
۳	J.M. Mulvey, R.J. Vanderbei, S.A. Zenios	Robust optimization of large-scale systems					✓		✓	
۴	Kaveh Khalili-Damghani Amir-Reza Abtahi Madjid Tavana	A new multi-objective particle swarm optimization method for solving reliability redundancy allocation problems			✓					
۵	Yeh, Wei-Chang, Changseok Bae, and Chia-Ling Huang	A new cut-based algorithm for the multi-state flow network reliability problem			✓				✓	
۶	Szeto, W. Y	Cooperative game approaches to measuring network reliability considering paradoxes	✓	✓	✓				✓	
۷	Lancioni Richard, Hope Jensen Schau, & Michaeal F. Smith	Internet impacts on supply chain management	✓	✓						
۸	Patterson Krik A, Grimm Curtis M, & Corsi Thomas M	Adopting new technologies for supply chain management	✓	✓						
۹	Kuo, Way, ed	Optimal reliability design: fundamentals and applications			✓					
۱۰	Schrijver, Alexander	On the history of the transportation and maximum flow problems							✓	✓
۱۱	P.M. Reyes	Logistics networks: A game theory application for solving the transshipment problem	✓						✓	
۱۲	E. Kalai, E. Zemel	Generalized network problem yielding totally balanced games	✓						✓	
۱۳	M. Frisk, M. Göthe-Lundgren, K. Jörnsten, M. Rönnqvist	Cost allocation in collaborative forest transportation						✓	✓	
۱۴	Todinov, Michael T	Flow Networks: Analysis and optimization of repairable flow networks, networks with disturbed flows, static flow networks and reliability networks.			✓				✓	
۱۵	Lozano, Sebastián, et al.	Cooperative game theory approach toallocating benefits of horizontal cooperation	✓	✓				✓		
۱۶	San Cristóba, José Ramón	Cost allocation between activities that have caused delays in a project using game theory		✓				✓		
۱۷	Timmer, Judith, Michela Chessa, and Richard J. Boucherie	Cooperation and game-theoretic cost allocation in stochastic inventory models with continuous review	✓	✓				✓		
۱۸	Amin, Ayman, Lars Grunske, and Alan Colman	An approach to software reliability prediction based on time series modeling			✓					
		روش پیشنهادی مقاله	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

فرض کنید یک مجموعه شبکه با برخی از گره‌ها و کمان‌ها به‌صورت $\widetilde{N}$ =(V,A,$\widetilde{Cap}$,$\widetilde{Cost}$,$\widetilde{T}$,O,D) تعریف شود که در آن O و D به ترتیب مبدأ و مقصد در شبکه و به‌صورت O,D ∈ V تعریف شوند. شبکه مزبور از n گره تشکیل شده و گره‌ها در مجموعه V={1,2,…,n} و کمان‌ها در مجموعه A={(i,j,k)/i,j,k∈V} هماهنگ شده‌اند. در شبکه موردنظر سه متغیر تصادفی غیر منفی $\widetilde{T}$، $\widetilde{Cap}$ و$\widetilde{Cost}$ که به ترتیب ظرفیت جریان آب، زمان انتقال و هزینه حمل هر واحد از جریان هستند، برای هر کمان در مجموعه A تعریف شده است. همچنین در حالت غیرقطعی s و $\acute{s}$ شاخص احتمال وقوع سناریوها در مجموعه$\Omega = (1,2, \dots s, \dots, S)$ و $\acute{\Omega} = (1,2, \dots \acute{s}, \dots, \acute{S})$برای مقادیر نامشخص ظرفیت، زمان و هزینه کمان‌ها در نظر گرفته شده است. m= شاخص ائتلاف[1] بین بازیگران در شبکه و C{m} یا C_m= ائتلاف بازیگر یا بازیگران m در شبکه. در این تحقیق، علامت "~" برای تأکید بر مقادیر نامشخص استفاده شده است. واضح است که در مواردی که تمام اجزا در شبکه قطعی باشند، شبکه به‌صورت $N = (V, A, Cap, Cost, T, O, D)$ نشان داده می‌شود.

این تحقیق با دو نوع شبکه یکی در حالت قطعی و دیگری در حالت غیرقطعی با پارامترهای جریان، هزینه و زمان که می‌توانند بنا به دلایل ذکرشده در دنیای واقعی تغییر کنند، در نظر گرفته می‌شود.

همچنین مفروضات مسئله عبارت‌اند از:

۱- هر بازیگر قادر است دو یا چند اقدام و یا مجموعه‌ای از اقدامات را انجام دهد.

۲- تصمیم‌گیری هر بازیگر بر اساس قواعد بازی و دیگر بازیگران تعیین می‌شود.

۳- با توجه به دو فرض عقلانیت و بیشینه نمودن سود، بازیگران برای بیشینه نمودن بازده و بهره‌وری خود فعالیت می‌کنند.

۴- ظرفیت کمان، هزینه و زمان انتقال نامشخص است. اتخاذ رویکرد بهینه بین بازیگران، با سناریوسازی احتمالی تعریف می‌شود.

۵- مقدار هزینه انتقال در شبکه توزیع مستقل فرض شده است و تابعی وابسته به متغیرهای دیگر نیست.

بنابراین مدل ریاضی پیشنهادی در حالت قطعی و غیرقطعی در ادامه ارائه شده است:

$$Max\ f \tag{۲}$$

Subject to:

$$\textstyle\sum_j y_{Oj} = 1 \quad \forall j; j = 1,2, \dots, n \tag{۳}$$

$$\textstyle\sum_i y_{iD} = 1 \quad \forall i; i = 1,2, \dots, n \tag{۴}$$

$$\sum_j y_{ij} \le 1 \quad \forall i,j;\ i,j = 1,2, \dots, n \tag{۵}$$

$$\sum_i y_{ij} \le 1 \quad \forall i,j; i,j = 1,2, \dots, n \tag{۶}$$

$$\sum_i y_{ij} - \sum_k y_{jk} = 0 \quad \forall i,j;k; i,j,k = 1,2, \dots, n \tag{۷}$$

$$X_{ij} - y_{ij} cap_{ij} \le 0 \quad \forall i \ne j; i,j = 1,2, \dots, n \tag{۸}$$

$$X_{Oj} - y_{Oj} cap_{Oj} \le 0 \ \ \forall j; j = 1,2, \dots, n \tag{۹}$$

$$X_{iD} - y_{iD} cap_{iD} \le 0 \ \ \forall i; i = 1,2, \dots, n \tag{۱۰}$$

$$\sum_i X_{ij} - \sum_k X_{jk} = 0 \quad \forall i \ne j \ne k; i,j,k = 1,2, \dots, n \tag{۱۱}$$

$$\sum_{i,j} y_{ij}.T_{ij} + \sum_j y_{Oj}.T_{Oj} + \sum_i y_{iD}.T_{iD} \le T_{max} \quad \forall i,j; i,j = 1,2, \dots, n \tag{۱۲}$$

$$\sum_{i,j} y_{ij}.T_{ijs} + \sum_j y_{Oj}.T_{Ojs} + \sum_i y_{iD}.T_{iDs} \ \ge T_{min} \quad \forall i,j; i,j = 1,2, \dots, n \tag{۱۳}$$

$$\sum_{i,j} X_{ij}.cost_{ij} + \sum_j X_{Oj}.cost_{Oj} + \sum_i X_{iD}.cost_{iD} \le B_c \quad \forall i,j; i,j = 1,2, \dots, n \tag{۱۴}$$

$$f - X_{ij} - M\big(1 - y_{ij}\big) \le 0 \quad \forall i,j; i,j = 1,2, \dots, n \tag{۱۵}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \tag{۱۶}$$

$$X_{ijs} \ge 0 \quad \forall i,j \tag{۱۷}$$

که در این روابط پارامتر Cap_{ij}= ظرفیت کمان بین i و j به‌نوعی که $i,j\epsilon V; i, j = 1,2, \dots, n$ ، T_{ij} = زمان انتقال بین i و j به قسمی که $i,j\epsilon V; i, j = 1,2, \dots, n$، T_{min}= کمینه زمان انتقال در شبکه N، T_{max}= بیشینه زمان انتقال

[1] Coalition

در شبکه N، $Cost_{ij}$ = هزینه حمل هر واحد از جریان آب بین i و j به نوعی که $j \epsilon V; i, j = 1,2,\ldots,n$ و B_c= بودجه بازیگران با توجه به ائتلاف بازیگران. همچنین متغیر y_{ij} = متغیر صفر و یک کمان بین i و j به قسمی که $i,j \epsilon V; i, j = 1,2,\ldots,n$، X_{ij}= جریان شبکه بین i و j به نوعی که $i,j \epsilon V; i, j = 1,2,\ldots,n$ و f = بیشینه جریان آب در شبکه. رابطه (۲) بیان‌کننده بیشینه جریان در حالت قطعی است. محدودیت‌های (۳) تا (۷) به پیدا نمودن مسیر بهینه در شبکه موردنظر می‌پردازد. محدودیت (۸) تا (۱۰) محدودیت‌های ظرفیت کمان‌ها در شبکه هستند. محدودیت (۱۱) برای تعادل بین شبکه است. محدودیت (۱۲) و (۱۳)، محدودیت پنجره زمانی است. محدودیت (۱۴)، محدودیت بودجه در دسترس برای ائتلاف‌های بازیگران را در کل شبکه نشان می‌دهد. محدودیت (۱۵) محدودیت جریان در شبکه است و محدودیت‌های (۱۶) و (۱۷) متغیرهای مدل را نشان می‌دهد. در ادامه مدل ریاضی پیشنهادی در حالت غیرقطعی ارائه می‌گردد:

$$Max\acute{f} = \sum_{s} P_s \acute{f}_s - \lambda \sum_{s} P_s \Big(\acute{f}_s - \sum_{\acute{s}} P_{\acute{s}}\, \acute{f}_{\acute{s}}\Big)^2 \quad (۱۸)$$

Subject to:

$$\sum_j y_{Ojs} = 1 \quad \forall j; j = 1,2,\ldots,n \quad s \epsilon \Omega \quad (۱۹)$$

$$\sum_i y_{iDs} = 1 \quad \forall i; i = 1,2,\ldots,n \quad s \epsilon \Omega \quad (۲۰)$$

$$\sum_j y_{ijs} \le 1 \quad \forall i,j = 1,2,\ldots,n \quad s \epsilon \Omega \quad (۲۱)$$

$$\sum_i y_{ijs} \le 1 \quad \forall i,j = 1,2,\ldots,n \quad s \epsilon \Omega \quad (۲۲)$$

$$\sum_i y_{ijs} - \sum_k y_{jks} = 0 \quad \forall i,j;k; i,j,k = 1,2,\ldots,n \quad , \quad s \epsilon \Omega \quad (۲۳)$$

$$X_{ijs} - y_{ijs}\widetilde{Cap}_{ijs} \le 0 \quad \forall i \ne j; i,j = 1,2,\ldots,n\,, s \epsilon \Omega \quad (۲۴)$$

$$X_{Ojs} - y_{Ojs}\widetilde{Cap}_{Ojs} \le 0 \quad \forall j; j = 1,2,\ldots,n\,, s \epsilon \Omega \quad (۲۵)$$

$$X_{iDs} - y_{iDs}\widetilde{Cap}_{iDs} \le 0 \quad \forall i; i = 1,2,\ldots,n\,, s \epsilon \Omega \quad (۲۶)$$

$$\sum_i X_{ijs} - \sum_k X_{jks} = 0 \quad \forall i \ne j \ne k; i,j,k = 1,2,\ldots,n \quad , s \epsilon \Omega \quad (۲۷)$$

$$\sum_{i,j} y_{ijs}\,.\tilde{T}_{ijs} + \sum_j y_{Ojs}\,.\tilde{T}_{Ojs} + \sum_i y_{iDs}\,.\tilde{T}_{iDs} \le T_{max} \quad \forall i,j; i,j = 1,2,\ldots,n \quad , \quad s \epsilon \Omega \quad (۲۸)$$

$$\sum_{i,j} y_{ijs}\,.\tilde{T}_{ijs} + \sum_j y_{Ojs}\,.\tilde{T}_{Ojs} + \sum_i y_{iDs}\,.\tilde{T}_{iDs} \ge T_{min} \quad \forall i,j; i,j = 1,2,\ldots,n \quad , \quad s \epsilon \Omega \quad (۲۹)$$

$$\sum_{i,j} X_{ijs}\,.\widetilde{Cost}_{ijs} + \sum_j X_{Ojs}\,.\widetilde{Cost}_{Ojs} + \sum_i X_{iDs}\,.\widetilde{Cost}_{iDs} \le B \quad \forall i,j; i,j = 1,2,\ldots,n \quad , \quad s \epsilon \Omega \quad (۳۰)$$

$$\acute{f}_s - X_{ijs} - M(1 - y_{ijs}) \le 0 \quad \forall i,j; i,j = 1,2,\ldots,n \quad , \quad s \epsilon \Omega \quad (۳۱)$$

$$y_{ijs} \in \{0,1\} \quad \forall i,j \;, \quad s \epsilon \Omega \quad (۳۲)$$

$$X_{ijs} \ge 0 \quad \forall i,j \;, \quad s \epsilon \Omega \quad (۳۳)$$

در مدل‌سازی به روش غیرقطعی، از رویکرد سناریوسازی با اضافه کردن شاخص به متغیرها و پارامترهای نامشخص استفاده شده است. هدف از رویکرد بهینه سازی در روش غیرقطعی، بیشینه‌سازی تابع هدف مورد انتظار با یک سطح قابل‌قبول است. رابطه (۱۸) بیان‌کننده بیشینه جریان مورد انتظار با در نظر گرفتن احتمال وقوع سناریوهای s و s' با در نظر گرفتن کمینه واریانس ممکن با ضریب λ است. اتخاذ توضیحات مبتنی بر حالت سناریو زمانی که از روش عدم قطعیت پیروی می‌کند از رابطه زیر پیروی می‌کند(مول‌وی[1] و همکاران، ۱۹۹۵).

$$Mean(flow) - \lambda_f(variance(flow)) \quad (۳۴)$$

به این معنی که میانگین جریان‌های ورودی بیشینه و انحراف معیار جریان‌های ورودی کمینه می‌شود. محدودیت‌های (۱۹) تا (۳۳) در مدل قطعی توضیح داده شده است با این تفاصیل، محدودیت‌ها در روش غیرقطعی، به‌صورت سناریو در نظر گرفته شده است. رابطه (۱۸) حالت غیرخطی دارد و مدل‌های غیرخطی، سخت‌تر از مدل‌های خطی حل می‌شوند و برای غلبه بر این مشکل، از روش تراکنشی استفاده شده است. همچنین مدل‌های غیرخطی لزوماً جواب بهینه نمی‌دهند و

[1] Mulvey

جواب بهینه محلی می‌دهند. درنهایت مدل به‌صورت زیر خطی سازی می‌شود (حافظ الکتب و ماکویی، ۲۰۱۵).

$$Max\acute{f} = \sum_s P_s \acute{f}_s - \lambda \sum_s P_s \left(e_{1s} + e_{2s}\right) \qquad (۳۵)$$

Subject to:

$$\acute{f}_s - \sum_{\acute{s}} P_{\acute{s}} \acute{f}_{\acute{s}} - e_{1s} + e_{2s} = 0 \qquad s \in \Omega , \acute{s} \in \acute{\Omega} \qquad (۳۶)$$

رابطه (۳۵) یک رابطه خطی است. در این رابطه متغیرهای e_{1s} و e_{2s} برای غلبه بر این مشکل خطی سازی شده، معرفی شده است. همچنین P_s و $P_{\acute{s}}$ = احتمال وقوع سناریوها در حالت‌های خوش‌بینانه، محتمل‌ترین زمان و بدبینانه است. سپس با حل دو مدل پیشنهادی مقدار و ارزش تابع هدف به دست می‌آید. همچنین قابلیت اطمینان کل شبکه و ارزش بازی در ائتلاف‌های مختلف بازی در شبکه حاصل می‌شود. این مدل برنامه‌ریزی خطی می‌تواند به‌طور مؤثر مورد استفاده قرار گیرد. ایده اساسی برای حل این است که یک‌بار شبکه به‌طور مستقل برای صاحبان و بازیگران در مرحله اول و سپس برای تمام ائتلاف‌های دونفره صاحبان و بازیگران شبکه و در مرحله سوم همه ائتلاف‌ها برای صاحبان و بازیگران در نظر گرفته شده است. با توجه به مطلوبیت انتقال بازی[۱] برای هر وضعیت ائتلافی، میزان سود باید بالاتر از مجموع ائتلاف‌های تکی p_i باشد.

$$v(C_m) \geq \sum_{P_i \in C_m} v(p_i) \qquad (۳۷)$$

در حقیقت، ترکیب مطلوبیت ائتلاف‌های بازیگران بیشتر از مجموع بیشینه ترکیب انفرادی بازیگران است؛ بنابراین $v\left(p_i\right)$ ارزش بازی بازیگر i ام است.

مطلوبیت ائتلاف بازیگران با ائتلاف c_m طبق رابطه (۳۸) است.

$$EU(C_m) = v(C_m) - \sum_{P_i \in C_m} v(p_i) \qquad (۳۸)$$

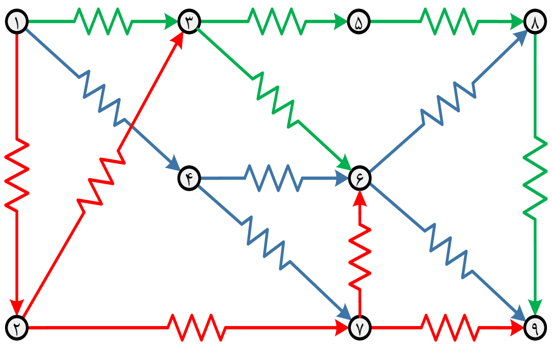
همچنین هم‌افزایی بازیگران با توجه به ائتلاف بازیگران از رابطه (۳۹) به دست می‌آید.

$$Synergy(C_m) = \frac{EU(C_m)}{v(C_m)} \qquad (۳۹)$$

نتایج

مطالعه موردی

به‌منظور بررسی و تصدیق اعتبار مدل پیشنهادی و اثبات کاربردی بودن آن و مقایسه نتایج آن، از مطالعه موردی استفاده شده است. بدین منظور یک شبکه انتقال و توزیع آب با سه تأمین‌کننده که مطابق شکل (۲) رقابت می‌کنند، در نظر گرفته شده است. تأمین‌کننده یا بازیگر اول مجموعه {(۱،۳)،(۳،۵)،(۳،۶)،(۵،۸)،(۸،۹)} تأمین‌کننده یا بازیگر دوم مجموعه {(۱،۴)،(۴،۶)،(۴،۷)،(۶،۸)،(۶،۹)} و تأمین‌کننده یا بازیگر سوم مجموعه {(۱،۲)،(۲،۳)،(۲،۷)،(۷،۶)،(۷،۹)} را تحت کنترل دارند. همچنین احتمال وقوع سناریوهای خوش‌بینانه، محتمل‌ترین و بدبینانه‌ترین حالت به ترتیب ۰/۲۵، ۰/۵۰ و ۰/۲۵ در نظر گرفته شده است. ذکر این نکته ضروری است که توزیع داده‌ها نرمال فرض شده است.



شکل (۲): چیدمان بازیگران در شبکه توزیع آب

در جدول (۲)، مقادیر ظرفیت انتقال آب برحسب مترمکعب، زمان انتقال آب بین گره‌ها و هزینه‌های انتقال در حالت‌های بدبینانه، محتمل‌ترین و خوش‌بینانه‌ترین ذکر شده است.

[۱] Transfer Utility Game

جدول (۲): مقادیر ظرفیت، زمان و هزینه‌های انتقال

بازیگران	کمان	Cap(m^3)			T(min)			Cost(100/000 Rial)		
		بدبینانه	متوسط	خوش‌بینانه	بدبینانه	متوسط	خوش‌بینانه	بدبینانه	متوسط	خوش‌بینانه
بازیگر ۱	۱۳	۳۲۸	۳۹۷	۴۸۰	۱۸۷	۱۷۰	۸	۷۶	۷۵	۶۸
	۳۵	۳۲۳	۳۹۸	۴۰۹	۱۶۳	۱۰۷	۷۶	۹۴	۸۸	۳۶
	۳۶	۲۷۶	۲۹۴	۳۱۲	۹۵	۶۱	۴۲	۸۵	۲۴	۲۰
	۵۸	۵۴	۱۷۲	۲۹۳	۱۸۲	۱۷۶	۱۶۴	۶۰	۲۷	۳
	۸۹	۱۰۵	۲۷۷	۳۱۵	۱۲۳	۷۳	۷	۴۹	۲۰	۵
بازیگر ۲	۱۴	۸۶	۱۹۷	۳۲۸	۱۴۲	۵۶	۷	۸۳	۱۰	۵
	۴۶	۹۲	۲۸۹	۴۰۳	۱۷۸	۴۸	۶	۹۸	۴۹	۱۷
	۴۷	۲۳۶	۲۵۱	۳۵۷	۱۳۷	۱۲	۹	۵۳	۱۰	۸
	۶۸	۱۲۲	۱۳۵	۴۵۹	۱۵۴	۵۸	۳۸	۵۹	۵۸	۱۰
	۶۹	۲۱۳	۲۷۴	۳۲۳	۱۳۶	۱۳۰	۱۲۸	۹۵	۷۱	۲۱
بازیگر ۳	۱۲	۷۹	۴۸۳	۴۸۶	۱۹۲	۱۶۱	۹۸	۹۲	۴۳	۱۵
	۲۳	۸۲	۱۶۹	۳۹۸	۱۰۶	۶۳	۳۴	۶۶	۶۱	۲۷
	۲۷	۶۹	۲۹۰	۴۳۵	۱۷۱	۱۱۰	۲۹	۶۳	۵۲	۳۶
	۷۶	۴۷	۲۵۱	۲۶۶	۱۷۳	۹۷	۷۹	۷۵	۶۸	۵۳
	۷۹	۹۹	۱۳۶	۴۱۱	۱۷۸	۸۶	۷۹	۸۱	۷۷	۴۰

جدول (۳): نتایج حل مدل برای حالت قطعی و غیرقطعی

Coalition	f	$\acute{f} = v(C_m)$	$EU(C_m)$	$Synergy(C_m)$	R	$\acute{v}(C_m)$
C{1}	۲۳	۲۲/۴۴	۰	۰	۰/۷۱	۲۲/۴۴
C{2}	۳۸	۳۶/۶۳	۰	۰	۰/۹۳	۳۶/۶۳
C{3}	۲۹	۲۸/۰۶	۰	۰	۰/۷۲	۲۸/۰۶
C{1,2}	۷۶	۷۴/۱۹	۱۵/۱۲	۰/۲۰۳	۱	۷۴/۱۹
C{1,3}	۵۸	۵۶/۶۳	۶/۱۳	۰/۱۰۸	۰/۸۶	۴۸/۷
C{2,3}	۱۰۳	۹۳/۲۵	۲۸/۵۶	۰/۳۰۶	۰/۹۰	۸۳/۹۲
C{1,2,3}	۱۳۶	۱۲۶/۷۵	۳۹/۶۲	۰/۳۱۲	۱	۱۲۶/۷۵

برای حل مدل، مقادیر بودجه برای هر بازیگر ۵۰۰۰ واحد پولی[1]، مقادیر کمینه و بیشینه T_{min} و T_{max} به ترتیب ۱۰۰ و ۱۰۰۰ دقیقه در نظر گرفته شده است. بعد از حل مدل با نرم‌افزار گمز[2] خروجی مدل در جدول (۳) ارائه شده است. لازم به ذکر است f، $\acute{f}$، $v(C_m)$، R، $EU(C_m)$، $Synergy(C_m)$ و $\acute{v}(C_m)$ = به ترتیب مقدار جریان در حالت قطعی، مقدار جریان در حالت غیرقطعی، ارزش و مقدار غیرقطعی ائتلاف بازیگران با توجه به رابطه (۳۶)، قابلیت اطمینان شبکه، مطلوبیت ائتلاف بازیگران، هم‌افزایی ائتلاف بازیگران و درنهایت ارزش و مقدار غیرقطعی ائتلاف بازیگران با اعمال قابلیت اطمینان.

با توجه به نتایج جدول (۳)، در حالت‌های مدل ریاضی قطعی و غیرقطعی در شبکه توزیع آب، بازی‌های همکارانه باعث افزایش میزان سود بازیگران شده است. میزان تابع مطلوبیت با توجه به تعدد بازی همکارانه افزایش چشمگیری داشته است. همچنین هم‌افزایی بازی‌های همکارانه نیز در حال افزایش است. به‌طور مثال وقتی بازیگران به‌صورت انفرادی فعالیت می‌کنند طبق رابطه (۳۷) و (۳۸) مطلوبیت بازیگران در شبکه توزیع صفر است. ولی زمانی که باهم به‌صورت سه‌نفره فعالیت می‌کنند هم‌افزایی به میزان ۰/۳۱۲ رشد فزاینده‌ای داشته و میزان سود بیشتری نصیب بازیگران می‌گردد. به همین دلیل ازجمله نوآوری‌های این مقاله، می‌توان به رشد هم‌افزایی ائتلاف بازیگران اشاره نمود.

همچنین لازم به ذکر است، در حالت غیرقطعی، ارزش بازی طبق رابطه (۳۴)، اختلاف بین میانگین و انحراف معیار با در نظر گرفتن پارامتر λ (ضریب انحراف معیار که برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است)، محاسبه می‌شود.

شاخص قابلیت اطمینان شبکه با توجه به توزیع نرمال داده‌ها، از رابطه (۳۹) به دست می‌آید.

$$R = min\{1,1 - \{(f - (\mu_{\acute{f}} - 3\sigma_{\acute{f}}\}/6\sigma_{\acute{f}}\} \qquad (۳۹)$$

$\mu_{\acute{f}}$ و $\sigma_{\acute{f}}$= به ترتیب میانگین و انحراف معیار در حالت غیرقطعی که از رابطه‌های (۱۸) و (۳۴) محاسبه می‌شوند (مول وی و همکاران، ۱۹۹۵). درواقع کل بازه تغییرات برابر با $6\sigma_{\acute{f}}$ با توجه به نرمال بودن کل شبکه در نظر گرفته شده است. قابلیت اطمینان به دنبال این است که چه درصدی از بدترین جواب حالت غیرقطعی کمتر از مقدار قطعی تابع هدف شده است. پس قابلیت اطمینان مسئله مقدار مکمل آن خواهد بود. ممکن است در حالت‌هایی بدترین جواب حالت غیرقطعی از مقدار تابع هدف قطعی بیشتر شود که در این حالات قابلیت اطمینان برابر یک فرض شده است.

همچنین ارزش بازی کل سیستم با توجه به ائتلاف‌ها از رابطه (۴۰) به دست می‌آید.

$$\acute{v}(C_m) = v(C_m) * R \qquad (۴۰)$$

یعنی ارزش بازی در حالت غیرقطعی بین بازیگران زمانی است که قابلیت اطمینان شبکه در آن اعمال شود. همان‌طور که از جدول (۳) به‌وضوح قابل‌مشاهده است، زمانی که تأمین‌کنندگان باهم همکاری می‌کنند، قابلیت اطمینان شبکه نیز همانند سود بازیگران افزایش و به همان میزان ارزش بازی ارتقا می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق دو مدل ریاضی یکی در حالت قطعی و دیگری در حالت غیر قطعی در شبکه توزیع آب با ملاحظات قابلیت اطمینان با استراتژی بازی‌های همکارانه ارائه گردید. در مدل‌سازی صورت گرفته در حالت قطعی فرض بر آن است که شرایط به‌صورت ایده‌آل وجود دارد و بازیگران با شرایط عدم اطمینان مواجه نیستند. ولی مدل ریاضی در حالت غیرقطعی، متناسب با دنیای واقعی و در شرایط عدم اطمینان موردبررسی قرار گرفته است. در این حالت به علت وجود مسائل و ملاحظات سیاسی، بلایای طبیعی، زلزله، جنگ و نوسانات توزیع آب، میزان ظرفیت جریان حمل، زمان و هزینه حمل بین عرضه‌کنندگان یا بازیگران، می‌تواند دستخوش تغییرات گردد.

مدل‌های ریاضی در حالت قطعی و غیرقطعی، به ترتیب سعی در بیشینه نمودن میزان حمل آب ارسالی و کسر تغییرات مجاز دارد. همان‌طور که در جدول (۳) نشان داده شده است، بازیگران برای افزایش کارایی سامانه‌های لجستیکی در محیط رقابتی و افزایش قابلیت اطمینان، رو به بازی‌های همکارانه

[1] واحد پولی معادل یکصد هزار ریال در نظر گرفته شده است.

[2] GAMS

می‌آورند تا میزان سود و ارزش بازی خود را افزایش دهند. همان‌طور که از نتایج تحقیق قابل‌مشاهده است هم‌افزایی بازیگران با توجه به بازی‌های همکارانه رو به افزایش است. همچنین لازم به ذکر است از نوآوری‌های تحقیق می‌توان به ارائه مدلی بهینه که در حالت قطعی و غیرقطعی، هشت هدف مرتبط با جدول (۱) را پوشش داده است اشاره نمود؛ بنابراین استراتژی بهینه در شرایط عدم اطمینان در شبکه‌های توزیع آب که به‌صورت غیرمتمرکز اداره می‌شود، بهره بردن از بازی‌های همکارانه برای پیشبرد اهداف شرکت‌ها و کشورها است.

مراجع

1- Ayman, A., Grunske, L. and Colman, A. (2013). “An approach to software reliability prediction based on time series modeling.” *Journal of Systems and Software.* 86(7), 1923-1932.

2- Bell, M. G. (1999). “Measuring network reliability: a game theoretic approach.” *Journal of advanced transportation.* 33(2), 135-146.

3- Kalai, E. and Zemel, E. (1982). “Generalized network problem yielding totally balanced games.” *Operations Research.* 30(5), 998–1008.

4- Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J. and Zenios, S. A. (1995). “Robust optimization of large-scale systems.” *Operations Research*. 43(2) , 264-281.

5- Hafezalkotob, A. and Makui, A. (2015). “Cooperative maximum-flow problem under uncertainty in logistic networks.” *Applied Mathematics and Computation.* 250(January 2015), 593-604.

6- Khalili-Damghani, K., Abtahi, A. R. and Tavana, M. (2013). “A new multi-objective particle swarm optimization method for solving reliability redundancy allocation problems.” *Reliability Engineering & System Safety.* 111(March 2013), 58-75.

7- Kuo, W. E. (2001). “Optimal reliability design: fundamentals and applications.” Cambridge university press.

8- Lancioni, R., Hope, J. S. and Smith, M. F. (2003). “Internet impacts on supply chain management.” *Industrial Marketing Management*. 32(3), 173-175.

9- Lozano, S. (2013). “Cooperative game theory approach to allocating benefits of horizontal cooperation.” *European Journal of Operational Research.* 229(2), 444-452.

10- Frisk, M., Göthe-Lundgren, M., Jörnsten, K. and Rönnqvist, M. (2010). “Cost allocation in collaborative forest transportation.” *European Journal of Operational Research.* 205(2), 448-458.

11- Reyes, P. M. (2005). “Logistics networks: A game theory application for solving the transshipment problem.” *Applied Mathematics and Computation.* 168(2), 1419-1431.

12- Patterson K. A., Grimm, C. M. and Corsi, T. M. (2003). “Adopting new technologies for supply chain management.” *Transportation Research part.* 39(2), 95-121.

13- Cristóba, S. and Ramón, J. (2014). “Cost Allocation between Activities that have Caused Delays in a Project Using Game Theory.” *Procedia Technology* . 16(2014), 1017-1026.

14- Schrijver, A. (2002). “On the history of the transportation and maximum flow problems.” *Mathematical Programming*. 91(3), 437-445.

15- Szeto, W. Y. (2011). “Cooperative game approaches to measuring network reliability considering paradoxes.” *Transportation Research Part C: Emerging Technologies.* 19(2), 229-241.

16- Timmer, J., Chessa, M. and Richard J. B. (2013). “Cooperation and game-theoretic cost allocation in stochastic inventory models with continuous review.” *European Journal of Operational Research.* 231(3), 567-576.

17- Todinov, M. T. (2013). Flow Networks: Analysis and optimization of repairable flow networks, networks with disturbed flows, static flow networks and reliability networks. Newnes.

18- Yeh, W., Changseok, B. and Chia-Ling, H. (2015). “A new cut-based algorithm for the multi-state flow network reliability problem. ” *Reliability Engineering & System Safety.* 136(April 2015), 1-7.