نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولیـــد دانشگاه علم و صنعت ایران
جلد ۱۹، شماره ۴، زمستان ۱۳۸۷، صفحه ۱۱۷-۱۰۷

A NEW PROBLEM AS CONSUMER ADJACENCY PROBLEM (CAP) AND A HEURISTIC ALGORITHM TO SOLVE IT; WITH DISCUSSION ABOUT ITS APPLICATION TO RANK PROJECT RISKS

S.M.Seyedhoseini, S. Noori, M. Hatefi & H. Ghadirian

Department of Industrial Engineering, Iran University of Science & Technology,
seyedhoseini@yahoo.com, snoori@iust.ac.ir, hatefima@yahoo.com

Abstract: This paper, introduces a new problem in the field of combinatorial problems as Consumers Adjacency Problem (CAP). Assume a set of resources with specific utility values. Also assume a set of consumers that are common in the resources. Each of packing of the consumers is one of the solution space points. In a given packing, if whole consumers of a given resource are continuous adjacent, the utility value of the resource adds to the objective function. It is desired to determine the suitable pack the consumers in order to have the maximum sum of utility value of resources. To the one-dimensional problem, in this paper, a formulation based on the mathematical programming is provided and a heuristic solving method is introduced. Also, as a useful application, project risk ranking by CAP is discussed.

ارائه یک مساله جدید با عنوان مساله مجاورت مصرف‌کنندگان و روشی ابتکاری برای حل آن، به همراه تشریح کاربرد مساله برای رتبه بندی ریسک‌های پروژه

سید محمد سیدحسینی، سیامک نوری، محمد علی هاتفی و حسینعلی قدیریان

چکیده: در این مقاله، نوع جدیدی از مسائل بهینه سازی ترکیبی، با عنوان مساله مجاورت مصرف کنندگان ارائه می‌گردد. مجموعه‌ای از منابع را در نظر بگیرید که هر یک دارای ارزش وزنی مشخصی می‌باشد. همچنین مجموعه‌ای از مصرف کنندگان را در نظر بگیرید که از این منابع به طور مشترک استفاده می‌کنند. هر چیدمان مکانی از مصرف‌کنندگان در کنار یکدیگر، یک نقطه از فضای جواب مساله است. اگر در یک چیدمان مفروض، تمام مصرف‌کنندگان یک منبع مفروض به طور پیوسته در یک زنجیره مجاورت واقع شوند، ارزش وزنی منبع فوق، در تابع هدف افزوده می‌گردد. هدف مساله عبارتست از تعیین چیدمان مکانی مناسبی برای مصرف کنندگان، به گونه‌ای که بیشترین ارزش ممکن در تابع هدف افزوده گردد. یک مساله مجاورت مصرف کنندگان می تواند k بعدی باشد. در مقاله حاضر، روشی برای مدل سازی مساله یک بعدی به فرم برنامه‌ریزی ریاضی ارائه شده و تکنیکی ابتکاری برای حل آن مطرح می‌گردد. همچنین به عنوان یک نمونه کاربردی مناسب، چگونگی استفاده از این مساله برای رتبه بندی ریسک‌های پروژه تشریح خواهد شد.

واژه های کلیدی: بهینه سازی ترکیبی، مساله مجاورت مصرف کنندگان، رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه

تاریخ وصول: ۸۲/۱۰/۱۲
تاریخ تصویب: ۸۴/۵/۲۰

دکتر سید محمد سید حسینی، استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، seyedhoseini@yahoo.com
دکتر سیامک نوری، استاد دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران
محمد علی هاتفی، دانشجوی دکتری دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، hatefima@yahoo.com
حسینعلی قدیریان، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی صنایع،

۱. مقدمه

در چالش‌های روزمره صنعت و تجارت، مسائل مختلفی مطرح می‌گردند که بسیاری از آنها به دلیل محدودیت منابع می‌باشند. در این راستا، یکسری از مهمترین مسائلی که در حوزه‌های تخصصی مختلفی مطرح می شود، مسائل ترکیبی[۲] می باشند [۱]. برای نمونه ریشه مسائل مرتب‌سازی مجموعه‌ای از گزینه‌ها به کمک مجموعه‌ای از معیارها را می‌توان در مسائل ترکیبی جستجو کرد که نمونه‌ای کاربردی از آن، رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه است. همچنین در حوزه امور برنامه ریزی حمل و نقل، مجموعه مسائل مسیریابی[۳] قرار می گیرند [۲] که از نوع مسائل ترکیبی می باشند. نمونه دیگر، مسائل برش و چیدمان[۴] [۳] هستند که معمولاً اهداف آنها رسیدن به کروکی های مناسبی برای برش و چیدمان اقلام در یک فضا و با هدف کمینه سازی ضایعات مواد و فضا و یا پایداری چیدمان می باشد.

در این مقاله، نوعی جدید از مسائل ترکیبی، با عنوان مساله مجاورت مصرف کنندگان (CAP)[۵]مطرح می گردد. بخش دوم مقاله به طرح مساله، علت مطرح شدن آن و ارائه تعاریفی تحت آن می پردازد. در بخش سوم به کاربردهایی که CAP می‌تواند داشته باشد اشاراتی خواهد شد. در بخش چهارم نیز به عنوان یک نمونه کاربردی مناسب، چگونگی استفاده از CAP برای مدل سازی مساله رتبه بندی ریسک های پروژه[۶]، تشریح خواهد شد. بخش‌های بعدی نیز به ترتیب به مدل سازی مساله یک بعدی در قالب برنامه ریزی ریاضی، ارائه الگوریتم ابتکاری حل و تجزیه و تحلیل نتایج مربوطه، اختصاص یافته اند.

۲. طرح مساله

مجموعه R که شامل m منبع $R_1, R_2, \cdots, R_m$ است را در نظر بگیرید به طوری که هر یک از این منابع دارای ارزش وزنی مشخص و غیر منفی W_i $(\forall i = 1,2,3,....,m)$ می‌باشد. همچنین مجموعه C که شامل n مصرف کننده $C_1, C_2, \cdots, C_n$ است را در نظر بگیرید به طوری که هر مصرف کننده، از تعدادی از منابع بالا استفاده می کند. مجموعه مصرف کننده هایی که از منبع i ام استفاده می کنند را با B_i $(\forall i = 1,2,3,....,m)$ نمایش می دهیم. همچنین مجموعه منابعی که مورد استفاده مصرف کننده j ام می باشند را با G_j $(\forall j = 1,2,3,....,n)$ نمایش داده و در این ارتباط، روابط (۱) و (۲) را می پذیریم.

$$G_j \subseteq R \qquad \forall j = 1,2,3,...,n \qquad (۱)$$

$$G_1 \cup G_2 \cup G_3 \cup .....\cup G_n = R \qquad (۲)$$

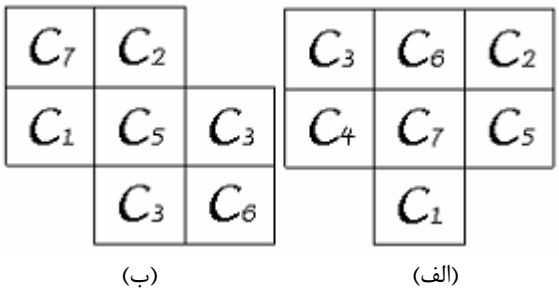
الگوی مجاورت: مد نظر است که مصرف کننده ها در مجاورت یکدیگر چیدمان شوند که این چیدمان را الگوی مجاورت می نامیم. الگوهای مجاورت همان نقاط فضای جواب مساله هستند. یک الگوی مجاورت CAP می تواند از نوع k بعدی باشد. یک الگوی مجاورت k بعدی، عبارتست از فرمی از چیدمان تمام مصرف کننده ها به گونه ای که هر مصرف کننده حداکثر $2\times k$ همسایه در مجاورت خود داشته باشد. CAP از لحاظ بصری می‌تواند یک، دو و یا سه بعدی باشد.

در یک مساله یک بعدی، هر سریالی شامل تمام مصرف کننده‌ها، یک نقطه از فضای جواب مساله می‌باشد. برای نمونه در یک مساله یک بعدی با $n = 5$، دو جواب نمونه در شکل ۱ نشان داده شده است. همانطور که از شکل پیداست، در جواب CAP یک بعدی، به جز دو مصرف کننده کناری که تنها یک همسایه دارند، بقیه مصرف کننده‌ها دارای دو مصرف کننده در مجاورت خود می باشند.

شکل ۱. دو نمونه جواب برای CAP یک بعدی با $n=5$

همچنین در یک مساله دو بعدی هر شبکه شطرنجی (grid) از تمام مصرف کننده ها، نقطه‌ای از فضای جواب است. در شکل ۲ دو نمونه برای مساله‌ای با $n = 7$ ارائه شده است. در مسائل دو بعدی، هر مصرف کننده حداکثر می تواند ۴ مصرف کننده همسایه در مجاورت خود داشته باشد.

در شکل ۲-الف مصرف‌کننده‌های C_2، C_6 و C_7 به ترتیب دارای دو، سه و چهار مصرف کننده مجاور می باشند. با تعمیم این موضوع در یک مساله k بعدی CAP، هر مصرف کننده حداکثر $2\times k$ همسایه در مجاورت خود خواهد داشت. عطف به مباحث فوق، CAP در زمره مسائل ترکیبی دسته بندی می گردد.



شکل ۲. دو نمونه جواب برای CAP دو بعدی با $n=7$

[2] *Combinatorial problems*
[3] *Routing problems*
[4] *Cutting & Packing Problems (C&P)*
[5] *Consumer Adjacency Problem (CAP)*
[6] *Project risk ranking problem*

پیوستگی و انقطاع نسبت به منابع: به ازای یک الگوی مجاورت مفروض، هر گاه تمام مصرف کننده‌هایی که از یک منبع مفروض استفاده می‌کنند، در پیوستگی مجاورتی نسبت به هم قرار داشته باشند، گوییم مصرف منبع مذکور پیوسته است و در غیر این صورت آن را انقطاع مصرف، نامگذاری می‌کنیم. برای مثال فرض کنید در الگوی مجاورت شکل ۲-ب، مصرف کننده‌های ۲، ۳ ،۵ و ۶ از منبعی مفروض استفاده کنند.

مصرف این منبع، پیوسته است؛ چرا که این مصرف کننده ها با یکدیگر دارای پیوستگی در همسایگی می‌باشند (۲ با ۵، ۵ با ۳ و ۳ با ۶). حال اگر از منبعی دیگر، مصرف کننده‌های ۵، ۳ و ۷ استفاده کنند، طبق الگوی مجاورت شکل ۲-ب، این منبع دارای انقطاع مصرف می‌باشد زیرا مصرف کننده ۷ با هیچ یک از مصرف کننده‌های ۳ و ۵ مجاور نیست.

تعارض بین منابع: هرگاه مجموعه مصرف کننده‌های منابع به گونه‌ای باشند که برای پیوستگی یک منبع مفروض، انقطاع منبعی دیگر الزامی باشد، گوییم بین منابع فوق تعارض وجود دارد.

برای مثال اگر در یک مساله یک بعدی، مجموعه مصرف کننده‌های سه منبع به صورت مجموعه‌های $B_1 = \{C_1, C_2\}$، $B_2 = \{C_1, C_3\}$ و $B_3 = \{C_2, C_3\}$ باشند، این سه منبع دارای تعارض مصرف هستند چرا که مثلاً داشتن الگوی مجاورتی که در آن مصرف کننده‌های C_1، C_2 و C_3 به ترتیب چیدمان شده باشند باعث انقطاع منبع دوم خواهد بود (به علت عدم مجاورت بین C_1 و C_3) و هیچ ساختار مجازی نمی‌تواند هر سه منبع را به صورت پیوسته داشته باشد.

ارزش یک الگوی مجاورت : ارزش یک الگوی مجاورت عبارتست از مجموع ارزش وزنی منابعی از آن که دارای پیوستگی مصرف می باشند. با این تعریف، اگر ارزش الگو را با U نمایش دهیم حدود U از رابطه (۳) بدست می آید.

$$0 \le U \le \sum_{i=1}^{m} W_i \qquad (۳)$$

تابع هدف CAP : هدف مساله عبارتست از تعیین الگوی مجاورتی که دارای بیشترین ارزش (U) باشد. بهترین وضعیت زمانی رخ می‌دهد که هیچ منبعی دارای انقطاع مصرف نباشد. به عبارت دیگر، با مدل‌سازی صحیح مساله، بهترین الگوی جواب، چیدمانی است که در آن مصرف کننده‌ها نسبت به ارزش گذاری منابع، دارای انسجام و تراکم بیشتری نسبت به سایرین باشند.

۳. کاربردهایی از CAP

از آنجایی که در CAP، فرض محدودیت منابع، به طور خاص به عنوان هسته اصلی طرح مساله می‌باشد، این مساله را می‌توان به طور مستقیم و یا غیرمستقیم در ریشه مسائل مختلفی جستجو کرد. در ادامه، برخی از مسائلی ذکر می گردند که تحت CAP می‌توان به آنها پرداخت. قابل ذکر است که در نمونه های ذکر شده در ذیل، از مساله یک بعدی CAP استفاده شده است لیکن در برخی موارد می‌توان آنها را به ابعاد بیشتر نیز تعمیم داد.

مساله رتبه‌بندی ریسک‌ها: رویکرد نظام مند به مدیریت ریسک، باعث مطرح شدن فرآیند مدیریت ریسک[۷] شده است. روند متعارف این فرآیند شامل شناسایی ریسک‌ها، آنالیز ریسک‌ها (کمی و یا کیفی)، پاسخگویی به ریسک‌ها و در نهایت پایش و کنترل ریسک‌ها می‌باشد[۴]. در فاز آنالیز ریسک، بعد از اندازه گیری کمی و یا کیفی پیمانه‌های ریسک[۸] (مشخصه‌ها) که مهمترین آنها احتمال ریسک و اثر آن می‌باشند، از این پیمانه‌ها برای تعیین اهمیت نسبی هر ریسک و در نهایت رتبه بندی ریسک‌ها استفاده می‌شود تا بدین ترتیب در فاز پاسخگویی ریسک، به ریسک‌های مهمتر توجه بیشتری شود. مقاله حاضر، CAP را به عنوان روشی ساده و مناسب برای رتبه بندی ریسک‌ها پیشنهاد می‌کند و در بخش بعدی به تشریح این موضوع می‌پردازد.

مساله جانمایی تسهیلات[۹]: فرض کنید قرار است تسهیلاتی جانمایی شوند. اگر منابعی به تسهیلات سرویس دهند (مثلاً واحدهای تعمیرات و نگهداری) و مشخص باشد که هر منبع به کدام تسهیل سرویس می دهد، با CAP می توان برای کاهش سفرهای بین منابع و تسهیلات، جانمایی مناسبی را جستجو کرد.

مسائل برش و چیدمان: در مدل سازی نواری[۱۰]کروکی های برش دو بعدی، طی پروسه ای که در آن مسائل کوله پشتی[۱۱] برای هر نوار حل می شود، اجزای قطعه ای موجود در هر نوار مشخص می شوند. در اینجاست که نیاز به مرتب کردن نوارها برای رسیدن به کروکی نهایی برش است و CAP کاربرد پیدا می کند.

مساله خاصی از فروشنده دوره گرد[۱۲]: فروشنده ای را در نظر بگیرید که قرار است مسیری از رئوس را عبور نماید. ماموریت خاص وی این است که در این مسیر، محموله هایی را از راسی گرفته و به راس دیگری تحویل دهد. در استفاده از CAP برای این مساله، می‌توان محموله‌ها را منابع و مسیرهای بین هر دو راس را مصرف کننده در نظر گرفت.

---

[7] *Risk Management Process (RMP)*
[8] *Risk measures*
[9] *Facility layout problem*
[10] *Strip*
[11] *Knapsack problem*
[12] *Traveling Sale-man Problem (TSP)*

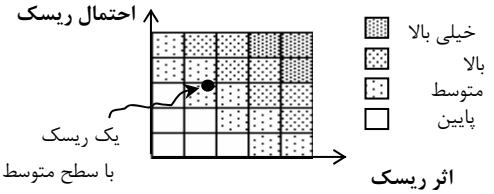
مساله تشکیل سلول[۱۳]: در این نوع مسائل با در نظر گیری ماشین آلات به عنوان منبع و لحاظ کردن قطعات به عنوان مصرف کننده، می‌توان از جواب CAP برای ترسیم شماتیک گروه بندی سلول‌ها کمک گرفت.

۴. کاربرد CAP در مساله رتبه بندی ریسک های پروژه

مورد توافق بیشتر محققین مدیریت ریسک است که روش‌های آنالیز کیفی ریسک پر کاربرد تر از روش های کمی هستند زیرا داده‌های تاریخی که برای اجرای آنالیز کمی ریسک ضروری هستند، معمولاً در دسترس نیستند؛ از طرفی داده های تاریخی موجود نیز متعلق به پروژه های گذشته هستند و ممکن است برای پروژه جاری مناسب نباشند[۵]. یکی از پر کاربرد ترین و مهمترین ابزارهای رتبه بندی ریسک ها تحت آنالیز کیفی، استفاده از ماتریس احتمال و اثر ریسک[۱۴] است[۴].

در این ماتریس، پیمانه‌های احتمال و اثر ریسک که در مقیاس متغیرهای زبانی بیان شده‌اند، دو بعد ماتریس را مطابق شکل ۳ تشکیل می‌دهند. ریسک‌ها بر حسب مقدار احتمال و اثر، در این ماتریس قرار گرفته و بر حسب ناحیه‌ای که در آن قرار گرفته اند، رتبه بندی می‌شوند. در واقع این تکنیک به طور ضمنی از فرمول متعارف (۴) برای تعیین سطح اهمیت ریسک استفاده می کند.

سطح ریسک = احتمال ریسک × اثر ریسک (۴)



شکل ۳. نمونه‌ای از یک ماتریس احتمال و اثر ریسک

در برخی از مراجع مدیریت ریسک، به داده‌های کیفی، امتیازات ترتیبی[۱۵] نسبت داده شده و سپس با استفاده از رابطه (۴)، ریسک‌ها رتبه بندی می‌شوند؛ که بسیاری از محققین نظیر چپمن و وارد [۶] بر غیرقابل اطمینان بودن این رویه تاکید کرده اند. یکی دیگر از مشکلات استفاده از ماتریس احتمال و اثر ریسک این است که در آن ممکن است اهمیت ریسک‌های با احتمال کم و اثر مهم، نادیده گرفته شوند، چرا که طی این تکنیک، ریسک‌هایی که احتمال زیاد و اثر غیر مهم دارند با ریسک‌هایی که احتمال کم و اثر مهم دارند معادل فرض می‌شوند که این، لزوماً منعکس کننده نظر تصمیم گیرنده نیست [۵]. کلیم و لودین [۷] روش PDM[۱۶] را برای رتبه‌بندی ریسک ها مطرح می کنند که بر اساس مقایسات زوجی ریسک‌ها و امتیازدهی به آنها صورت می‌گیرد. هیمز [۸] روشی را به نام RFRM[۱۷] ارائه می‌دهد که در آن ماتریس احتمال و اثر، مبنای رتبه بندی ریسک ها می‌باشد لیکن از دامنه‌های عددی برای تعیین منطقه احتمال ریسک استفاده می‌شود. وی تحت این روش، معیارهای دیگری را در تعیین اولویت ریسک‌ها لحاظ می‌کند مانند قابلیت کنترل ریسک و قابلیت کشف ریسک؛ لیکن روند خاصی را در اعمال این معیارها ارائه نمی دهد. کونتیو[۹] نیز روشی را به نام رتبه بندی پارتویی[۱۸] پیشنهاد کرده است که برمبنای تئوری مطلوبیت استوار می‌باشد. وی در این روش، ریسک‌ها را بر اساس احتمال و اثر به طور جداگانه رتبه بندی کرده و سپس از مفهوم مرزهای موثر پارتویی برای دستیابی به رتبه بندی نهایی استفاده می کند.

در استفاده از CAP برای رتبه بندی ریسک‌ها، ریسک‌ها در حکم مصرف کننده‌ها و خوشه بندی[۱۹] ریسک‌ها بر اساس پیمانه‌های ریسک (مشخصه‌ها) که توسط خبرگان ارائه می‌شوند، در حکم منابع می باشند. برای تبیین روند تحلیل، گروهی از خبرگان تحلیل‌گیر ریسک را در نظر بگیرید به طوری که هر خبره دارای یک ارزش وزنی می باشد که بیانگر تجربه و تخصص وی است. تاکنون پیمانه‌های مختلفی در خصوص ریسک‌ها مطرح شده‌اند مانند احتمال ریسک، اثر ریسک (اثر زمانی، اثر هزینه‌ای و اثر تکنیکال)، قابلیت کنترل ریسک، قابلیت کشف ریسک و غیره. هر خبره بر اساس دانش خود، به هر یک از این پیمانه‌ها، ارزش وزنیی را نسبت می‌دهد. اکنون به عنوان بخش اصلی تحلیل، هر خبره به ازای هر یک از پیمانه های ریسک، ریسک‌های شناسایی شده را در قالب خوشه‌هایی دسته بندی کرده و به این خوشه ها اوزانی را نسبت می دهد. لازم به ذکر است که هر سه نوع ارزش وزنی مذکور در بالا باید تحت یک مقیاس واحد، مقدار دهی شوند (مثلاً بین صفر تا یک). ارزش وزنی نهایی یک خوشه، از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$W_c = W_s \times W_{a|s} \times W_{c|a|s} \qquad (۵)$$

در رابطه (۵)، W_c بیانگر ارزش وزنی نهایی خوشه c ام، W_S نشان دهنده ارزش وزنی خبره s ام، $W_{a|s}$ بیانگر ارزش وزنی پیمانه ریسک a ام از نظر خبره s ام و $W_{c|a|s}$ نشان دهنده ارزش وزنی خوشه c ام است که بر اساس پیمانه a ام و با نظر کارشناس s ام مطرح شده است.

[13] *Cell formation problem*
[14] *Probability-impact risk rating matrix*
[15] *Ordinal scores*
[16] *Precedence Diagramming Method (PDM)*
[17] *Risk Filtering, Ranking, and Management (RFRM)*
[18] *Pareto ranking technique*
[19] *Clustering*

لازم به ذکر است که مبنای اصلی فرمولاسیون مساله، خوشه‌بندی ریسک ها می‌باشد لذا نتایج نهایی رتبه بندی، تحت تاثیر مستقیم خوشه‌ها می‌باشد. خوشه‌ها دارای درجاتی از ارزش هستند. خوشه‌هایی که حاوی ریسک‌های هم اهمیت (مثلاً ریسک‌هایی که احتمال وقوع آنها زیاد است) باشند از نوع درجه یک می‌باشند. همچنین خوشه هایی که دارای ریسک‌هایی با اهمیت نزدیک به هم (مثلاً ریسک هایی که احتمال وقوع آنها زیاد یا متوسط است) می‌باشند از نوع درجه دو هستند. این روند درجه بندی همینطور می‌تواند ادامه یابد. برای افزایش اعتبار نتیجه رتبه بندی، نکاتی باید رعایت گردد. نکته اول این که هر چقدر پیمانه ریسک، مهم‌تر باشد باید برای آن خوشه های بیشتری نسبت به سایرین در نظر گرفته شود. دوم این که هر چقدر درجه خوشه بالاتر باشد ارزش وزنی بیشتری خواهد داشت. همچنین خوشه‌های حاوی ریسک‌های مهم تر، ارزش وزنی بیشتری نسبت به خوشه‌های حاوی ریسک‌های کم اهمیت‌تر خواهند داشت. برای مثال اگر برای پیمانه احتمال، ریسک‌ها را با درجات اهمیت بالا (H)، متوسط (M) و پایین (L) مقدار دهی کرده باشند، برای خوشه بندی درجه یک، می توان به ترتیب به خوشه‌های حاوی ریسک‌های با احتمال بالا، متوسط و پایین، وزن‌های ۵، ۴ و ۳ را نسبت داد و برای خوشه بندی درجه دو به خوشه‌های حاوی ریسک‌های بالا و متوسط، وزن ۲ و به خوشه‌های حاوی ریسک‌های متوسط و کم، وزن ۱ را نسبت داد. از مزایای کاربرد CAP برای رتبه بندی ریسک ها، این است که تمام پیمانه‌های ریسک، به طور جداگانه در مقیاس ترتیبی مورد تحلیل قرار می‌گیرند و در نتیجه مشکل محاسباتی پیش نمی‌آید. همچنین امکان در نظر گرفتن پیمانه های متعدد ریسک وجود دارد. در ضمن در شرایط عدم وجود قسمت‌هایی از اطلاعات، باز هم امکان کاربرد مدل وجود دارد. برای روشن شدن چگونگی استفاده از CAP در رتبه بندی ریسک های پروژه، در قسمت (الف) از ضمائم، یک مثال ساده، تشریح شده است.

۵. مدلسازی CAP یک بعدی

مدل برنامه ریزی ریاضی CAP یک بعدی بـه صـورت (۶) تـا (۱۲) نوشته می شود. تعاریف مرتبط با این مدل، مطابق ذیل می باشند:

m,n : m تعداد منابع و n تعداد مصرف کننده‌ها می‌باشند.

B_i: مجموعه مصرف کننده هایی که منبع i ام به آنها سرویس می-دهد ($\forall i = 1,2,3,...,m$).

W_i : ارزش وزنی منبع i ام ($\forall i = 1,2,3,...,m$).

x_i: نقش متغیر کمبود (Slack) در محدودیت ردیف (۷) را بر عهده دارد ($\forall i = 1,2,3,...,m$).

P_i: برابر ۱ است اگر مصرف کننده i ام دارای پیوستگی در مصرف باشد و در غیر این صورت برابر صفر است ($\forall i = 1,2,3,...,m$).

ψ_{jk} : برابر ۱ است اگر مصرف کننده های j ام و k ام در مجاورت یکدیگر واقع شوند و در غیر این صورت برابر صفر است ($j \neq k \;\; \& \;\; \forall j,k = 1,2,3,...,n \triangle ABC$). همچنین توجه نمایید که همواره $\psi_{jk} = \psi_{kj}$.

T_j: برابر ۱ است اگر مصرف کننده j ام در ابتدا یا انتهای سریال (الگوی مجاورت) واقع شود و در غیر این صورت برابر صفر است ($\forall j = 1,2,3,...,n$).

δ: هر زیر مجموعه از کل مصرف کننده ها ($\forall \delta \subseteq C$).

$n(..)$: نماد نمایش تعداد عناصر مجموعه .. .

در مدل (۶) تا (۱۲)، تابع هدف در ردیف (۶) قرار دارد. همانطور که مشخص است، به ازای هر منبع که دارای پیوستگی در مصرف است، P_i برابر یک شده و ارزش W_i به تابع هدف افزوده می گردد.

$$Max \quad U = \sum_{i=1}^{m} W_i \times P_i \tag{۶}$$

St.

$$x_i + \sum_{\forall j \in B_i} \sum_{\forall k \in B_i \mid j>k} \psi_{jk} = n(B_i) - 1 \qquad \forall i \mid 1 < n(B_i) < n \tag{۷}$$

$$x_i \leq n(B_i) \times (1 - P_i) \qquad \forall i \mid 1 < n(B_i) < n \tag{۸}$$

$$\sum_{j=1}^{n} T_j = 2 \tag{۹}$$

$$T_j + \sum_{k=1}^{n} \psi_{jk} = 2 \qquad \forall j = 1,2,3,...,n \tag{۱۰}$$

$$\sum_{\forall j \in \delta} \sum_{\forall k \in \delta \mid j>k} \psi_{jk} \leq n(\delta) - 1 \qquad \forall \delta \subseteq C \mid 2 < n(\delta) < n-1 \tag{۱۱}$$

$$\forall \psi_{jk} \in \{0,1\} \quad \forall T_j \in \{0,1\} \quad \forall P_i \in \{0,1\} \quad \forall x_i \geq 0 \tag{۱۲}$$

محدودیت ردیف (۷) باعث مجاورت سریالی تمام مصرف کننده های منبع i ام می‌گردد. در این رابطه، برای یک منبع با مصرف پیوسته، مقدار x_i صفر شده و این باعث می‌شود که در محدودیت (۸)، متغیر P_i به نفع تابع هدف، برابر یک گردد. در محدودیت (۸)، عبارت $n(B_i)$ نقش عددی بزرگ را ایفا می‌کند چرا که اگر x_i مقدار غیر صفر داشته باشد آنگاه P_i باید برابر صفر گردد. محدودیت ردیف (۹) باعث قرارگیری اجباری دو تا از مصرف کننده‌ها در ابتدا و انتهای الگوی مجاورت می گردد. محدودیت های ردیف (۱۰) نیز، هر مصرف کننده به جز مصرف کننده‌های کناری را مجبور به همسایگی با دو مصرف کننده دیگر می‌نمایند.

مجموعه قیود (۹) و (۱۰) از به وجود آمدن ساختار غیر مجاز جدا از هم مانند قسمت (الف) از شکل ۴ و ایجاد ساختار درختی و غیر رشته‌ای مانند قسمت (ب) از شکل ۴ جلو گیری می‌کنند که هر دو الگوی غیر مجاز می‌باشند یعنی در فضای جواب قرار ندارند. یکی از یک بعدی CAP معضلات، رخ دادن حلقه (Loop) در چیدمان است که این مورد نیز غیرمجاز است که نمونه‌های آن در قسمت‌های (ج) و (د) از شکل ۴ نشان داده شده است.

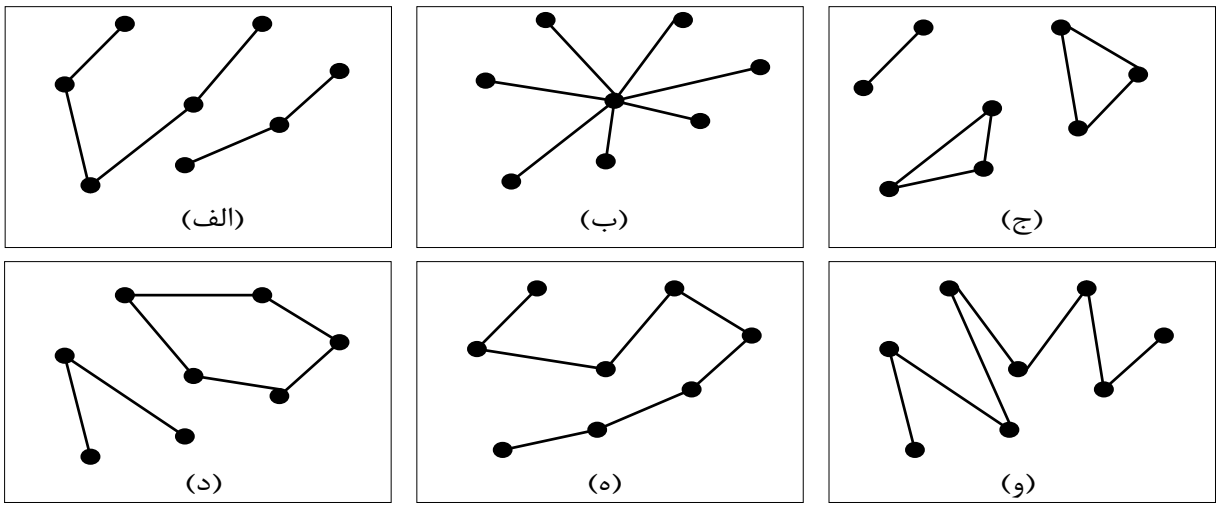
در مدل، برای جلوگیری از بروز حلقه، از مجموعه محدودیت‌های حجیم (۱۱) استفاده شده است. در حقیقت وجود تعارض بین منابع باعث هدایت حل، به سمت چیدمان‌های غیر مجاز حلقوی می‌شود که با داشتن محدودیت‌های ردیف (۱۱) از ایجاد این نوع چیدمان ها جلوگیری می‌شود.

اگر بدانیم بین منابع مساله، هیچ‌گونه تعارضی وجود ندارد، آنگاه می‌توان از سری محدودیت‌های (۱۱) چشم‌پوشی کرد. در قسمت‌های (ه) و (و) از شکل ۴، دو چیدمان مجاز نشان داده شده‌اند.

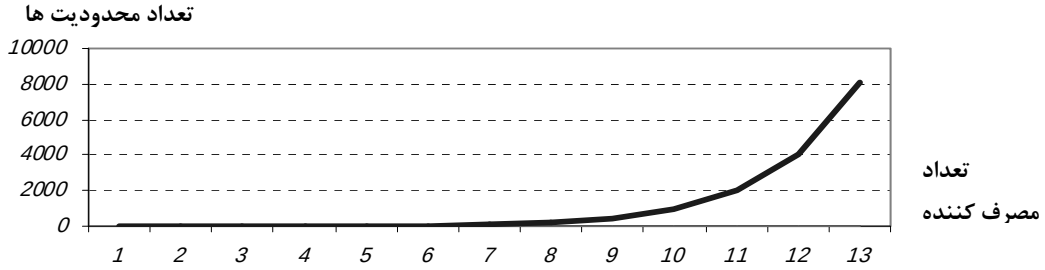
برای روشن شدن نحوه مدل‌سازی (۶) تا (۱۲)، مساله‌ای با $n=5$ و $m=7$ در بخش (الف) از ضمائم، فرموله شده است.

مدل (۶) تا (۱۲) نشان می‌دهد که CAP عملاً در زمره مسائل پیچیده[20] و از نظر زمان حل[21] به صورت نمایی می‌باشد.

از نظر حجم مدل، به ازای m منبع و n مصرف‌کننده، مدل فوق دارای حداقل $0.5\times(2^{n+1}+2\times m-n^2-n-2)$ محدودیت و حداکثر $0.5\times(2^{n+1}+4\times m-n^2-n-2)$ محدودیت و $0.5\times(4\times m+n^2+n)$ متغیر می‌باشد.

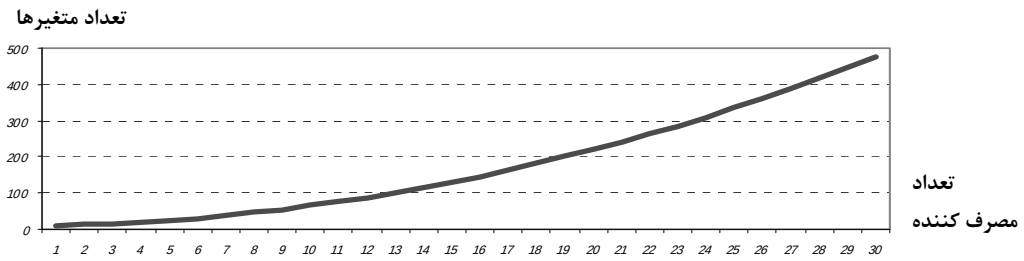


شکل ۴. برخی نمونه‌های غیر مجاز (الف؛ ب؛ ج؛ د) و مجاز (ه؛ و) چیدمان مصرف کننده ها در CAP یک بعدی با n=8



شکل۵. نمودار افزایش تعداد محدودیت‌ها به ازای افزایش تعداد مصرف کننده‌ها در مدل (۶) تا (۱۲)

[20] *NP-hard*
[21] *CPU-time*



شکل۶. نمودار افزایش تعداد متغیرها به ازای افزایش تعداد مصرف کننده‌ها در مدل (۶) تا (۱۲)

همانطور که پیداست، افزایش حجم نمایی مدل شدیداً به تعداد مصرف کننده‌ها یعنی n بستگی دارد لیکن تاثیر تغییرات تعداد منابع در حجم مدل همواره فرمی خطی دارد. برای مثال یک مساله با $m=5$ و $n=10$ دارای حداقل ۹۷۳ محدودیت و ۶۵ متغیر خواهد بود. در شکل‌های ۵ و ۶ به ترتیب میزان افزایش تعداد محدودیت‌ها و تعداد متغیرهای مدل در اثر افزایش تعداد مصرف کننده‌ها نشان داده شده است.

۶. الگوریتم ابتکاری برای حل CAP یک بعدی

برای توضیح الگوریتم، ابتدا تعاریف ذیل را مد نظر قرار دهید:

ارزش وزنی یک مصرف کننده: مجموع ارزش وزنی منابعی که مصرف کننده C_j از آنها استفاده می‌کند را ارزش وزنی آن مصرف کننده نامیده و آن را با π_j نمایش می‌دهیم. π_j از رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد. یادآوری این که G_j عبارتست از مجموعه منابعی که مصرف کننده jام از آنها استفاده می‌کند.

$$Y=\{i \mid R_i \in G_j\} \qquad \pi_j=\sum_{i\in Y} W_i \qquad (۱۳)$$

ارزش وزنی مجاورت دو مصرف کننده: مجموع ارزش وزنی منابعی که هر دو مصرف کننده C_j و C_k از آنها استفاده می‌کنند را ارزش وزنی مجاورت آن دو مصرف کننده نامیده و آن را با $\pi_{jk}=\pi_{jk}$ نمایش می‌دهیم. π_{jk} طبق رابطه (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$Y=\{i \mid R_i \in G_j \,\&\, R_i \in G_k\} \quad \pi_{jk}=\sum_{i\in Y} W_i \quad (۱۴)$$

قابل توجه این که ارزش‌های وزنی مربوط به مصرف کننده‌ها را می‌توان از ارزش وزنی یگانه π_j و در ادامه ارزش‌های وزنی دوگانه π_{jk} و ارزش وزنی سه گانه π_{jkl} و تا ارزش وزنی $n-1$ گانه توسعه داد و الگوریتم ابتکاری را بر پایه آنها استوار کرد لیکن در الگوریتم حاضر، صرفاً از ارزش های وزنی یک و دوگانه مصرف کننده‌ها استفاده شده است.

ساختار: ساختار را با کروشه نمایش داده و گوییم عبارتست از ترتیب تثبیت شده چند مصرف کننده. برای مثال $[C_3C_4C_5C_1]$ یک ساختار می‌باشد. منظور از تثبیت این است که مجاورت مصرف کننده‌ها در حل نهایی مساله، مطابق ساختار بوده و تغییری نخواهد کرد. در واقع هر ساختار می تواند یک حل جزئی[۲۲] فرض شود. مجموعه مصرف کننده های کناری ساختار را با Ω نمایش می‌دهیم. این مجموعه همواره دارای دو عنصر می‌باشد. همچنین مجموعه کل مصرف کننده‌های موجود در ساختار را با E نمایش می‌دهیم.

مراحل الگوریتم:

۱- مطابق روابط (۱۳) و (۱۴)، مقدار ارزش وزنی هر مصرف کننده و همچنین ارزش های وزنی مجاورت بین هر دو مصرف‌کننده را محاسبه نمایید. در ضمن قرار دهید $E=\{\}$.

۲- طبق رابطه (۱۵)، دو مصرف کننده با بیشترین ارزش وزنی را تعیین کنید و آنها را C_p و C_q بنامید. در ادامه، مطابق رابطه (۱۶) ساختار شامل دو مصرف کننده تعیین شده را تشکیل دهید و آنها را مطابق (۱۷) در مجموعه Ω، قرار دهید. مطابق رابطه (۱۸) مجموعه E را بهنگام نمایید.

$$\pi_{pq}=\max\{\pi_{jk}\} \qquad \forall j,k=1,2,3,...,n \qquad (۱۵)$$

$$[\,] \rightarrow [C_pC_q] \qquad (۱۶)$$

$$\Omega=\{C_p,C_q\} \qquad (۱۷)$$

$$E=E+\{C_p,C_q\} \qquad (۱۸)$$

۳- مطابق روابط (۱۹) تا (۲۱) مصرف کننده $C_{\hat{l}}$ را که با اعضای Ω دارای بیشترین ارزش مجاورت است، شناسایی نمایید. حال مطابق رابطه (۲۲) مجموعه‌های Ω و E را بهنگام کنید. اکنون مطابق رابطه (۲۳)، $C_{\hat{l}}$ را در کنار مصرف کننده مربوطه یعنی C_l در ساختار قرار دهید.

[22] *Partial solution*

$$\pi_{\hat{p}p} = \max\{\pi_{1p}, \pi_{2p}, ..., \pi_{np}\} \quad \forall \hat{p} \notin E \qquad (۱۹)$$

$$\pi_{\hat{q}q} = \max\{\pi_{1q}, \pi_{2q}, ..., \pi_{nq}\} \quad \forall \hat{q} \notin E \qquad (۲۰)$$

$$If \ \pi_{\hat{p}P} > \pi_{\hat{q}q} \ Then \ \hat{l} = q = \hat{p}\, l = p, \ Else \qquad (۲۱)$$

$$If \ \pi_{\hat{p}P} < \pi_{\hat{q}q} \ Then \ \hat{l} = p = \hat{q}, \ l = q, \ Else$$

$$If \ \pi_{P} < \pi_{q} \ Then \ \hat{l} = q = \hat{p}, \ l = p, \ Else$$

$$\hat{l} = p = \hat{q}, \ l = q$$

$$E = E + \{C_{\hat{l}}\} \ \& \ \Omega = \Omega - \{l\} + \{\hat{l}\} \qquad (۲۲)$$

$$[\dots C_l] \rightarrow [\dots C_l C_{\hat{l}}] \qquad (۲۳)$$

۴- درصورتی که ساختار، شامل تمام مصرف‌کننده‌ها است ($E = C$)، الگوریتم به پایان رسیده و ساختار بدست آمده جواب مساله می‌باشد؛ در غیر این صورت به قدم ۳ بازگردید. در جهت روشن شدن مراحل الگوریتم، در قسمت (ب) از ضمائم، یک مساله نمونه، حل شده است.

۷. تجزیه و تحلیل و نتیجه گیری

نتایج حل ده مساله نمونه توسط الگوریتم ابتکاری و همچنین با مدل (۶) تا (۱۲) تحت کامپیوتر پنتیوم در جدول ۱ آورده شده است. برای نمونه، متن مساله شماره (۱) (فاقد تعارض منابع) و متن مساله شماره (۵) (حاوی تعارض منابع) در بخش (ج) از ضمائم آمده است. توضیح این که در تمام مثال‌هایی که تعارضی بین منابع وجود ندارد جواب حل الگوریتم ابتکاری با جواب حل بهینه برابر می‌شود. در شرایطی که تعارض بین محدودیت‌ها وجود داشته باشد، مطابق مثال‌های حل شده توسط الگوریتم ابتکاری، در بدترین شرایط حداکثر تا ۲۵٪ از فرصت‌های بهینگی از دست می‌رود. از لحاظ سرعت حل، بزرگترین مسائل می‌توانند در زمانی بسیار ناچیز توسط الگوریتم ابتکاری حل شوند لیکن تحت مدل (۶) تا (۱۲) با افزایش تعداد مصرف کننده‌ها زمان حل، به طور فزاینده‌ای افزایش می‌یابد.

ضمایم

ضمیمه الف) مثالی از مدل‌سازی CAP یک بعدی در رتبه بندی ریسک‌های پروژه: فرض کنید در یک مساله رتبه بندی ریسک های پروژه، تعداد پنج ریسک توسط خبرگان شناسایی شده اند. تحلیلگران ریسک تشخیص داده اند که سه پیمانه موثر برای رتبه بندی ریسک‌ها عبارتند از احتمال ریسک، اثر هزینه‌ای ریسک و اثر زمانی ریسک.

آنها همچنین برای وزن‌دهی عناصر تحت تحلیل، مقیاس بین ۰ تا ۵ را برگزیده‌اند. از دو خبره که اولی دارای تجربیات با ارزشی می‌باشد ($W_{S=1} = 2.0$) و دومی کم تجربه تر است ($W_{S=2} = 1.0$)، درخصوص احتمال و اثر ریسک‌های شناسایی شده، نظرخواهی شده است. خبره اول به سه پیمانه مذکور، به ترتیب ارزش‌های وزنی ۲،۰، ۴،۰ و ۱،۰ را نسبت می‌دهد. وی معتقد است که شانس وقوع ریسک های ۱، ۲ و ۴ متوسط است؛ او به این خوشه، ارزش وزنی ۲،۵ را می‌دهد. همچنین به نظر وی شانس وقوع ریسک ۳ بالاست؛ وی به این خوشه نیز ارزش وزنی ۴ را نسبت می‌دهد. او در خصوص شانس وقوع سایر ریسک‌ها نظری ندارد. او اثر هزینه ای ریسک‌های ۲، ۴ و ۵ را کمی مهم (با ارزش وزنی ۱،۸) و اثر هزینه‌ای ریسک‌های ۱ و ۳ را کم اهمیت‌تر از خوشه قبلی (با ارزش وزنی۱،۵) اعلام می‌کند.

خبره اول در خصوص اثر زمانی ریسک‌ها تنها به اظهار این موضوع اکتفا می‌کند که اثر زمانی ریسک‌های ۱ و ۲ نزدیک به کم است (با ارزش وزنی ۱،۰). مشابه چنین نظراتی از خبره دوم نیز اخذ می‌گردد. اکنون، ریسک‌های پنج گانه، در حکم مصرف کننده‌ها و خوشه‌های بدست آمده از نظرات خبرگان، در حکم منابع CAP می‌باشند.

جدول ۱. نتایج مثال‌های حل شده

مساله	تعداد مصرف کننده	حل تحت مدل (6) تا (12)		حل تحت الگوریتم ابداعی		درصد هدف
		U*	CPU TIME (SEC .)	U	CPU TIME (SEC .)	U / U*
1	8	91 .6	1	91 .6	بسیار ناچیز	100 .0%
2	7	53	1	53	بسیار ناچیز	100 .0%
3	8	104 .5	1 .5	104 .5	بسیار ناچیز	100 .0%
4	14	145	8	109	بسیار ناچیز	75 .2%
5	9	71	4	68	بسیار ناچیز	95 .8%
6	20	68	12 .5	57 .5	بسیار ناچیز	84 .6%
7	7	37	0 .9	31	بسیار ناچیز	83 .8%
8	16	137 .5	8	111	بسیار ناچیز	80 .7%
9	9	49 .7	3 .5	42	بسیار ناچیز	84 .5%
10	6	53	1	53	بسیار ناچیز	100 .0%

به این ترتیب، با در نظر گرفتن صرفاً خوشه‌های درجه یک، از مجموعه نظرات ارائه شده توسط خبره اول، مجموعه‌های $B_1=\{C_1,C_2,C_4\}$، $B_2=\{C_3\}$، $B_3=\{C_2,C_4,C_5\}$، $B_4=\{C_1,C_3\}$ و $B_5=\{C_1,C_2\}$ و از نظرات ارائه شده توسط خبره دوم نیز مجموعه‌های $B_6=\{C_1,C_3,C_4,C_5\}$ و $B_7=\{C_2,C_3,C_4\}$ استخراج می‌گردند.

همچنین ارزش‌های وزنی منابع مساله (خوشه‌ها)، به کمک رابطه (۵) شامل $W_1=10$، $W_2=16$، $W_3=14.5$، $W_4=12$، $W_5=2$، $W_6=17.5$ و $W_7=11$ محاسبه می‌شوند. برای مثال $W_1=10$ از حاصلضرب $2.5\times2.0\times2.0$ بدست آمده است که در آن، اعداد 2.0، 2.0 و 2.5 به ترتیب اوزان مربوط به خبره اول، پیمانه احتمال ریسک و خوشه ریسک‌های ۱، ۲ و ۴ استخراج شده از نظر خبره اول می باشند. مدل‌سازی این مساله با $n=5$ و $m=7$ مطابق روابط (A0) تا (A14) می‌باشد.

ضمیمه ب) مثالی از حل CAP یک بعدی به کمک الگوریتم ابتکاری: در اینجا مساله نمونه (A0) تا (A14)، ارائه شده در بخش (الف) ضمائم حل می‌گردد. در قدم اول الگوریتم، مقادیر ارزشی مصرف‌کنندگان به صورت $\pi_1=41.5, \pi_2=37.5, \pi_3=56.5$, $\pi_4=53$ و $\pi_5=32$ بدست می‌آیند. اکنون پس از قرار دادن $E=\{\}$؛ قدم‌های بعدی الگوریتم مطابق تکرارهای (B1) تا (B5) خواهند بود.

Max

$$U=10\times P_1+16\times P_2+14.5\times P_3+12\times P_4+2\times P_5+17.5\times P_6+11\times P_7 \quad (A0)$$

St.

$$x_1+\psi_{12}+\psi_{14}+\psi_{24}=2 \qquad x_3+\psi_{24}+\psi_{25}+\psi_{45}=2 \quad (A1)$$

$$x_4+\psi_{13}=1 \quad x_5+\psi_{12}=1 \qquad x_7+\psi_{23}+\psi_{24}+\psi_{34}=2 \quad (A2)$$

$$x_6+\psi_{13}+\psi_{14}+\psi_{15}+\psi_{34}+\psi_{35}+\psi_{45}=3 \quad (A3)$$

$$x_1\le 3\times(1-P_1) \qquad x_3\le 3\times(1-P_3) \qquad x_4\le 2\times(1-P_4) \quad (A4)$$

$$x_5\le 2\times(1-P_5) \qquad x_6\le 4\times(1-P_6) \qquad x_7\le 3\times(1-P_7) \quad (A5)$$

$$T_1+T_2+T_3+T_4+T_5=2 \quad (A6)$$

$$T_1+\psi_{12}+\psi_{13}+\psi_{14}+\psi_{15}=2 \qquad T_2+\psi_{12}+\psi_{23}+\psi_{24}+\psi_{25}=2 \quad (A7)$$

$$T_3+\psi_{13}+\psi_{23}+\psi_{34}+\psi_{35}=2 \qquad T_4+\psi_{14}+\psi_{24}+\psi_{34}+\psi_{45}=2 \quad (A8)$$

$$T_5+\psi_{15}+\psi_{25}+\psi_{35}+\psi_{45}=2 \quad (A9)$$

$$\psi_{12}+\psi_{13}+\psi_{23}\le 2 \quad \psi_{12}+\psi_{14}+\psi_{24}\le 2 \quad \psi_{12}+\psi_{15}+\psi_{25}\le 2 \quad (A10)$$

$$\psi_{13}+\psi_{34}+\psi_{34}\le 2 \quad \psi_{13}+\psi_{15}+\psi_{35}\le 2 \quad \psi_{14}+\psi_{15}+\psi_{45}\le 2 \quad (A11)$$

$$\psi_{23}+\psi_{24}+\psi_{34}\le 2 \quad \psi_{23}+\psi_{25}+\psi_{35}\le 2 \quad \psi_{24}+\psi_{25}+\psi_{45}\le 2 \quad (A12)$$

$$\psi_{34}+\psi_{35}+\psi_{45}\le 2 \quad (A13)$$

$$\forall x_i\ge 0 \quad \forall P_i\in\{0,1\} \quad \forall T_j\in\{0,1\} \quad \forall \psi_{jk}\in\{0,1\} \quad (A14)$$

همانطور که پیداست، در حل بدست آمده، منابع اول و پنجم و هفتم دارای انقطاع مصرف هستند و بقیه منابع دارای پیوستگی بین مصرف کنندگان می‌باشند، در نتیجه مقدار تابع هدف در حل نهایی برابر $U=16+14.5+12+17.5=60$ خواهد بود.

تعبیر جواب حاصل شده، از لحاظ صورت مساله ارائه شده در بخش (الف) از ضمائم این است که ریسک‌ها به ترتیب اهمیت به صورت ۳، ۱، ۵، ۴ و ۲ رتبه‌بندی می‌شوند.

$\max\{12, 29.5, 27.5, 17.5, 11, 35.5, 14.5, 28.5, 17.5, 32\} = 35.5 = \pi_{24}$ $E = \{2,4\}$ $\Omega = \{C_2, C_4\}$ $[]®[C_4C_2]$ (B1)

$\max\{12, 11, 14.5, 27.5, 28.5, 32\} = 32 = \pi_{45}$ $E = \{2,4,5\}$ $\Omega = \{C_2, C_5\}[C_4C_2] \rightarrow [C_5C_4C_2]$ (B2)

$\max\{\pi_{12}, \pi_{23}, \pi_{15}, \pi_{35}\} = \max\{12, 11, 17.5, 17.5\} = 17.5 = \pi_{15} ... E = \{1,2,4,5\}$ $\Omega = \{C_2, C_1\}[C_5C_4C_2] \rightarrow [C_1C_5C_4C_2]$ (B3)

$\max\{\pi_{13}, \pi_{23}\} = \max\{27.5, 11\} = 27.5 = \pi_{13} ... E = \{1,2,3,4,5\}$ $\Omega = \{C_2, C_3\}$ $[C_1C_5C_4C_2] \rightarrow [C_3C_1C_5C_4C_2]$ (B4)

ضمیمه ج) دو نمونه از مساله‌های حل شده: - مساله شماره دو (فاقد تعارض منابع):

حل بهینه= حل توسط الگوریتم ابتکاری: $[C_6C_5C_3C_8C_7C_2C_4C_1]$ و $U = 91.6$؛ داده‌ها:

$B_1 = \{C_1, C_2, C_4\}$ $B_2 = \{C_3, C_5, C_6, C_7, C_8\}$ $B_3 = \{C_1\}$ $B_4 = \{C_2, C_4, C_7, C_8\}$ $B_5 = \{C_3, C_5, C_6\}$
$B_6 = \{C_1, C_2, C_4, C_7\}$ $B_7 = \{C_3, C_8\}$ $B_8 = \{C_5, C_6\}$ $B_9 = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_7, C_8\}$ $B_{10} = \{C_1, C_4\}$
$B_{11} = \{C_2, C_7, C_8, C_3\}$ $B_{12} = \{C_3, C_5, C_6\}$ $B_{13} = \{C_6\}$

i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳
W_i	۱۰	۱۵	۳	۷.۵	۸.۵	۲	۴	۴.۳	۵.۲	۶	۶.۱	۱۰	۱۰

مساله شماره پنج (حاوی تعارض منابع): حل بهینه: $[C_8C_6C_1C_7C_4C_5C_3C_2C_9]$ و $U = 71.00$؛ حل توسط الگوریتم ابتکاری: $[C_7C_4C_5C_3C_2C_1C_6C_8C_9]$ و $U = 6800$؛ داده‌ها:

$B_1 = \{C_1, C_2, C_3, C_7\}$ $B_2 = \{C_8, C_5, C_4, C_6\}$ $B_3 = \{C_1, C_2, C_3\}$ $B_4 = \{C_1, C_8\}$ $B_5 = \{C_1, C_7\}$
$B_6 = \{C_1, C_6\}$ $B_7 = \{C_2, C_9\}$ $B_8 = \{C_3, C_5\}$ $B_9 = \{C_4, C_7\}$ $B_{10} = \{C_1, C_2, C_4, C_5\}$
$B_{11} = \{C_5, C_2, C_3, C_4\}$ $B_{12} = \{C_3\}$ $B_{13} = \{C_5\}$ $B_{14} = \{C_7\}$

i	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴
W_i	۶	۷	۹	۳	۵	۶	۷	۱۰	۱۴	۵	۹	۶	۳	۱۱

قدردانی

مولفین مقاله، لازم می‌دانند که قدردانی خود را از مسئولین محترم مرکز تحقیقات و توسعه مدیریت پروژه- شرکت مدیریت توسعه صنایع پتروشیمی، بخاطر حمایت از مطالعه تحقیقاتی حاضر، اعلام نمایند. این مرکز با ماموریت تسریع بهبود عملکرد طراحی و اجرای پروژه‌های پتروشیمی در جهت تحقق اهداف پروژه‌ها و در چارچوب هزینه، زمان و کیفیت بهینه پروژه‌ها فعالیت می‌کند (WWW.PMIR.COM).

مراجع

[1] Korte, B., Vygen, J., *"Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms"*, 3rd edition, Springer, 2006.

[2] Lau, T.W.E., Ho, Y.C., *"Super-Heuristics and Their Applications to Combinatorial Problems"*, Asian Journal of Control, Vol. 1, No. 1, 1999, PP. 1-13.

[3] Dychoff, H., *"A Typology of Cutting and Packing Problems"*, European Journal of Operational Research, Vol. 44, 1990, PP: 145-159.

[4] Project Management Institute (PMI), *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)*, Newtown Square, Pennsylvania, USA, 2004.

[5] Pipattanapiwong, J., *Development of Multi-party Risk and Uncertainty Management Process for an Infrastructure Project*, PhD Thesis, Kochi University of Technology, 2004.

[6] Chapman, C.B., Ward, S.C., *Project Risk Management: Processes, Techniques and Insights*, John Wiley, Chichester, UK, Second edition, 2003.

[7] Kleim, R.L., Ludin, S., *Reducing Project Risk*, Gower, 1997.

[8] Haimes, Y.Y., *Risk Modeling, Assessment, and Management*, John Wiley & Sons, Inc., Canada, 2004.

[9] Kontio, J., *Software Engineering Risk Management: A Method*, Improvement Framework and Empirical Evaluation, PhD Thesis, Helsinki University of Technology, 2001.