

## 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 مصرف کنندگان و روشی ابتكاری 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 بھینه 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 مصرف کنندگان در کنار یکدیگر، یک نقطه از فضای جواب مساله است. اگر در یک چیدمان مفروض، تمام مصرف کنندگان 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 می‌تواند  $k$  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.

**واژه‌های کلیدی:** بھینه سازی ترکیبی، مساله مجاورت مصرف کنندگان، رتبه بندی ریسک‌های پروژه

تاریخ وصول: ۱۲/۱۰/۸۲

تاریخ تصویب: ۲۰/۵/۸۴

دکتر سید محمد سیدحسینی، 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،

$$G_1 \cup G_2 \cup G_3 \cup \dots \cup G_n = R \quad (2)$$

**الگوی مجاورت:** مد نظر است که مصرف کننده‌ها در مجاورت یکدیگر چیدمان شوند که این چیدمان را الگوی مجاورت می‌نامیم. الگوهای مجاورت همان نقاط فضای جواب مساله هستند. یک الگوی مجاورت CAP می‌تواند از نوع  $k$  بعدی باشد. یک الگوی مجاورت  $k$  بعدی، عبارتست از فرمی از چیدمان تمام مصرف کننده‌ها به گونه‌ای که هر مصرف کننده حداقل  $2 \times k$  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 می‌باشند.

$C_2$	$C_1$	$C_5$	$C_3$	$C_4$
$C_5$	$C_3$	$C_4$	$C_1$	$C_2$

(الف) (ب)

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 کننده‌ها، 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 حداقل  $4$  مصرف کننده همسایه در مجاورت خود داشته باشد.

در شکل ۲-الف مصرف کننده‌های  $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$  و  $C_7$  به ترتیب دارای دو، سه و چهار مصرف کننده مجاور می‌باشند. با تعمیم این موضوع در یک مساله  $k$  بعدی CAP، هر مصرف کننده حداقل  $2 \times k$  همسایه در مجاورت خود خواهد داشت. عطف به مباحث فوق، CAP در زمرة مسائل ترکیبی دسته بندی می‌گردد.

$C_7$	$C_2$	$C_3$	$C_6$	$C_2$
$C_1$	$C_5$	$C_3$	$C_4$	$C_7$
$C_3$	$C_6$		$C_5$	$C_1$

(ب) (الف)

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

## 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 می‌شود، مسائل ترکیبی<sup>۲</sup> می‌باشند [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 پژوه است. همچنین در حوزه امور برنامه ریزی حمل و نقل، مجموعه مسائل مسیریابی<sup>۳</sup> قرار می‌گیرند [۲] که از نوع مسائل ترکیبی می‌باشند. نمونه دیگر، مسائل برش و چیدمان<sup>۴</sup> [۳] هستند که عموماً اهداف آنها رسیدن به کروکی‌های مناسب برای برش و چیدمان اقلام در یک فضا و با هدف کمینه سازی ضایعات مواد و فضا و یا پایداری چیدمان می‌باشد.

در این مقاله، نوعی جدید از مسائل ترکیبی، با عنوان مساله مجاورت مصرف کنندگان (CAP)<sup>۵</sup> مطرح می‌گردد. بخش دوم مقاله به طرح مساله، علت مطرح شدن آن و ارائه تعاریفی تحت آن می‌پردازد. در بخش سوم به کاربردهایی که 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 ریسک‌های پژوه<sup>۶</sup>، 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 یافته‌اند.

## ۲. طرح مساله

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

$$G_j \subseteq R \quad \forall j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

<sup>2</sup> Combinatorial problems

<sup>3</sup> Routing problems

<sup>4</sup> Cutting & Packing Problems (C&P)

<sup>5</sup> Consumer Adjacency Problem (CAP)

<sup>6</sup> Project risk ranking problem

طور مستقیم و یا غیرمستقیم در ریشه مسائل مختلفی جستجو کرد. در ادامه، برخی از مسائلی ذکر می‌گردد که تحت CAP می‌توان به آنها پرداخت. قابل ذکر است که در نمونه‌های ذکر شده در ذیل، از مساله یک بعدی CAP استفاده شده است لیکن در برخی موارد می‌توان آنها را به ابعاد بیشتر نیز تعیین داد.

**مساله رتبه‌بندی ریسک‌ها:** رویکرد نظام مند به مدیریت ریسک، باعث مطرح شدن فرآیند مدیریت ریسک<sup>۷</sup> شده است. روند متعارف این فرآیند شامل شناسایی ریسک‌ها، آنالیز ریسک‌ها (كمی و یا کیفی)، پاسخگویی به ریسک‌ها و در نهایت پایش و کنترل ریسک‌ها می‌باشد.<sup>[۴]</sup> در فاز آنالیز ریسک، بعد از اندازه گیری کمی و یا کیفی پیمانه‌های ریسک<sup>۸</sup> (مشخصه‌ها) که مهمترین آنها احتمال ریسک و اثر آن می‌باشند، از این پیمانه‌ها برای تعیین اهمیت نسبی هر ریسک و در نهایت رتبه‌بندی 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 رتبه‌بندی ریسک‌ها پیشنهاد می‌کند و در بخش بعدی به تشریح این موضوع می‌پردازد.

**مساله جانمایی تسهیلات<sup>۹</sup>:** فرض کنید قرار است تسهیلاتی جانمایی شوند. اگر منابعی به تسهیلات سرویس دهنند (مثلاً واحدهای تعمیرات و نگهداری) و مشخص باشد که هر منبع به کدام تسهیل سرویس می‌دهد، با CAP می‌توان برای کاهش سفرهای بین منابع و تسهیلات، جانمایی مناسبی را جستجو کرد.

**مسائل برش و چیدمان:** در مدل سازی نواری<sup>۱۰</sup> کروکی‌های برش دو بعدی، طی پروسه ای که در آن مسائل کوله پشتی<sup>۱۱</sup> برای هر نوار حل می‌شود، اجزای قطعه‌ای موجود در هر نوار مشخص می‌شوند. در اینجاست که نیاز به مرتب کردن نوارها برای رسیدن به کروکی نهایی برش است و CAP کاربرد پیدا می‌کند.

**مساله خاصی از فروشنده دوره گرد<sup>۱۲</sup>:** فروشنده ای را در نظر بگیرید که قرار است مسیری از رئوس را عبور نماید. ماموریت خاص وی این است که در این مسیر، محموله‌هایی را از راسی گرفته و به راس دیگری تحويل دهد. در استفاده از CAP برای این مساله، می‌توان محموله‌ها را منابع و مسیرهای بین هر دو راس را مصرف کننده در نظر گرفت.

**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.

صرف این منبع، پیوسته است؛ چرا که این مصرف کننده‌ها با یکدیگر دارای پیوستگی در همسایگی می‌باشند (۲ با ۵، ۵ با ۳ و ۳ با ۶). حال اگر از منبعی دیگر، مصرف کننده‌های ۳، ۵ 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  $B_1 = \{C_1, C_2\}$  و  $B_2 = \{C_1, C_3\}$  و  $B_3 = \{C_2, C_3\}$  باشند، این سه منبع در ارای 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 می‌باشند. با این تعریف، اگر ارزش الگو را با  $U$  نمایش دهیم حدود  $U$  از رابطه (۳) بدست می‌آید.

$$0 \leq U \leq \sum_{i=1}^m W_i \quad (3)$$

**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

<sup>7</sup> Risk Management Process (RMP)

<sup>8</sup> Risk measures

<sup>9</sup> Facility layout problem

<sup>10</sup> Strip

<sup>11</sup> Knapsack problem

<sup>12</sup> Traveling Salesman Problem (TSP)

گیرنده نیست [۵]. کلیم و لودین [۷] روش PDM<sup>۱۶</sup> را برای رتبه‌بندی ریسک‌ها مطرح می‌کنند که بر اساس مقایسات زوجی ریسک‌ها و امتیازدهی به آنها صورت می‌گیرد. هیمز [۸] روشی را به نام RFRM<sup>۱۷</sup> ارائه می‌دهد که در آن ماتریس احتمال و اثر، مبنای رتبه‌بندی ریسک‌ها 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 نمی‌دهد. کونتیو [۹] نیز روشی را به نام رتبه‌بندی پارتوبی<sup>۱۸</sup> پیشنهاد کرده است که برمبنای تئوری مطلوبیت استوار می‌باشد. وی در این روش، ریسک‌ها را بر اساس احتمال و اثر به طور جداگانه رتبه‌بندی کرده و سپس از مفهوم مرزهای موثر پارتوبی برای دستیابی به رتبه‌بندی نهایی استفاده می‌کند.

در استفاده از CAP برای رتبه‌بندی ریسک‌ها، ریسک‌ها در حکم مصرف کننده‌ها و خوش‌بندی<sup>۱۹</sup> ریسک‌ها بر اساس پیمانه‌های ریسک (مشخصه‌ها) که توسط خبرگان ارائه می‌شوند، در حکم منابع می‌باشند. برای تبیین روند تحلیل، گروهی از خبرگان تحلیل‌گیر ریسک را در نظر بگیرید به طوری که هر خبره دارای یک ارزش وزنی می‌باشد 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 داشت خود، به هر یک از این پیمانه‌ها، ارزش وزنی را نسبت می‌دهد. اکنون به عنوان بخش اصلی تحلیل، هر خبره به ازای هر یک از پیمانه‌های ریسک، ریسک‌های شناسایی شده را در قالب خوش‌هایی دسته‌بندی کرده و به این خوش‌ها اوزانی را نسبت می‌دهد. 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 خوشة، از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$W_c = W_s \times W_{a|s} \times W_{c|a|s} \quad (5)$$

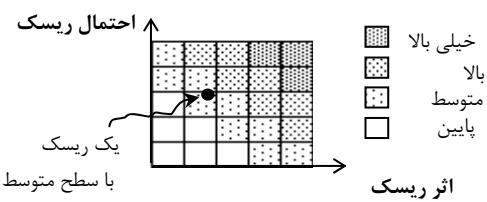
در رابطه (۵)،  $W_c$  بیانگر ارزش وزنی نهایی خوشة است،  $W_s$  نشان دهنده ارزش وزنی خبره است،  $W_{a|s}$  بیانگر ارزش وزنی پیمانه ریسک  $a$  است از نظر خبره است و  $W_{c|a|s}$  نشان دهنده ارزش وزنی خوشه  $c$  است که بر اساس پیمانه  $a$  و با نظر کارشناس  $s$  مطرح شده است.

مساله تشکیل سلول<sup>۲۰</sup>: در این نوع مسائل با در نظر گیری مашین 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 رتبه‌بندی ریسک‌های پروژه**  
مورد توافق بیشتر محققین مدیریت ریسک است که روش‌های آنالیز کیفی ریسک پر کاربرد تر از روش‌های کمی هستند زیرا داده‌های تاریخی که برای اجرای آنالیز کمی ریسک ضروری هستند، معمولاً در دسترس نیستند؛ از طرفی داده‌های تاریخی موجود نیز متعلق به پروژه‌های گذشته هستند و ممکن است برای پروژه جاری مناسب نباشند [۵]. یکی از پر کاربرد ترین و مهمترین ابزارهای رتبه‌بندی ریسک‌ها تحت آنالیز کیفی، استفاده از ماتریس احتمال و اثر ریسک<sup>۲۱</sup> 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 گرفته‌اند، رتبه‌بندی می‌شوند. در واقع این تکنیک به طور ضمنی از فرمول متعارف (۴) برای تعیین سطح اهمیت ریسک استفاده می‌کند.

$$\text{سطح ریسک} = \text{احتمال ریسک} \times \text{اثر ریسک} \quad (4)$$



شکل ۳. نمونه‌ای از یک ماتریس احتمال و اثر ریسک

در برخی از مراجع مدیریت ریسک، به داده‌های کیفی، امتیازات ترتیبی<sup>۱۵</sup> نسبت داده شده و سپس با استفاده از رابطه (۴)، ریسک‌ها رتبه‌بندی می‌شوند؛ که بسیاری از محققین نظریه چیمن و وارد [۶] بر غیرقابل اطمینان بودن این رویه تاکید کرده‌اند. 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 مهمناً، نادیده گرفته شوند، چرا که طی این تکنیک، ریسک‌هایی که احتمال زیاد و اثر غیر مهمناً دارند با ریسک‌هایی که احتمال کم و اثر مهمناً دارند معادل فرض می‌شوند که این، لزوماً معنکس کننده نظر تصمیم

<sup>16</sup> Precedence Diagramming Method (PDM)

<sup>17</sup> Risk Filtering, Ranking, and Management (RFRM)

<sup>18</sup> Pareto ranking technique

<sup>19</sup> Clustering

<sup>20</sup> Cell formation problem

<sup>21</sup> Probability-impact risk rating matrix

<sup>22</sup> Ordinal scores

رتبه بندی ریسک‌های پروژه، در قسمت (الف) از ضمائم، یک مثال ساده، تشریح شده است.

### ۵. مدل‌سازی CAP یک بعدی

مدل برنامه‌ریزی ریاضی CAP یک بعدی به صورت (۶) تا (۱۲) نوشته می‌شود. تعاریف مرتبط با این مدل، مطابق ذیل می‌باشند:  $m$  : تعداد منابع و  $n$  تعداد مصرف‌کنندگان می‌باشند.  $B_i$ : مجموعه مصرف‌کنندگانی که منبع  $i$  ام به آنها سرویس می‌دهد ( $\forall i = 1, 2, 3, \dots, m$ ).  $W_i$  : ارزش وزنی منبع  $i$  ام ( $\forall i = 1, 2, 3, \dots, m$ ).

$X_{ij}$  : نقش متغیر کمبود (Slack) در محدودیت ردیف (۷) را بر عهده دارد ( $\forall i = 1, 2, 3, \dots, m$ ).  $P_i$  : برابر ۱ است اگر مصرف‌کننده  $i$  ام دارای پیوستگی در مصرف باشد و در غیر این صورت برابر صفر است ( $\forall i = 1, 2, 3, \dots, m$ ).  $\psi_{jk}$  : برابر ۱ است اگر مصرف‌کننده های  $j$  ام و  $k$  ام در مجاورت یکدیگر واقع شوند و در غیر این صورت برابر صفر است ( $\forall j, k = 1, 2, 3, \dots, n$   $\Delta ABC$  و  $j \neq k$ ).

نمایید که همواره  $\psi_{kj} = \psi_{jk}$ .  $T_j$  : برابر ۱ است اگر مصرف‌کننده  $j$  ام در ابتدا یا انتهای سریال (الگوی مجاورت) واقع شود و در غیر این صورت برابر صفر است ( $\forall j = 1, 2, 3, \dots, n$ ).

$\delta$  : هر زیر مجموعه از کل مصرف‌کنندگان ( $\forall \delta \subseteq C$ ).  $n(\delta)$  : نماد نمایش تعداد عناصر مجموعه  $\delta$ .

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 می‌گردد.

$$\text{Max } U = \sum_{i=1}^m W_i \times P_i$$

$$\text{St.} \\ x_i + \sum_{\forall j \in B_i} \sum_{\forall k \in B_i / j > k} \psi_{jk} = n(B_i) - 1 \quad \forall i | 1 < n(B_i) < n$$

$$x_i \leq n(B_i) \times (1 - P_i) \quad \forall i | 1 < n(B_i) < n$$

$$\sum_{j=1}^n T_j = 2 \quad (9)$$

$$T_j + \sum_{k=1}^n \psi_{jk} = 2 \quad \forall j = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

$$\sum_{\forall j \in \delta} \sum_{\forall k \in \delta / j > k} \psi_{jk} \leq n(\delta) - 1 \quad \forall \delta \subseteq C | 2 < n(\delta) < n - 1 \quad (11)$$

$$\forall \psi_{jk} \in \{0, 1\} \quad \forall T_j \in \{0, 1\} \quad \forall P_i \in \{0, 1\} \quad \forall x_i \geq 0 \quad (12)$$

لازم به ذکر است که مبنای اصلی فرمولاسیون مساله، خوشبندی ریسک‌ها می‌باشد لذا نتایج نهایی رتبه بندی، تحت تاثیر مستقیم خوشبندی می‌باشد. خوشبندی دارای درجاتی از ارزش هستند. خوشبندی‌هایی که حاوی ریسک‌های هم اهمیت (مثلاً ریسک‌هایی که احتمال وقوع آنها زیاد است) باشند از نوع درجه یک می‌باشند. همچنین خوشبندی‌هایی که دارای ریسک‌هایی با اهمیت نزدیک به هم (مثلاً ریسک‌هایی 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 خوشبندی‌های بیشتری نسبت به خوشبندی‌های حاوی ریسک‌های مهم‌تر، ارزش وزنی بیشتری نسبت به خوشبندی‌های حاوی ریسک‌های کم اهمیت‌تر خواهد داشت. برای مثال اگر برای پیمانه احتمال، ریسک‌ها را با درجات اهمیت بالا (H)، متوسط (M) و پایین (L) مقدار دهی کرده باشند، برای خوشبندی درجه یک، می‌توان به ترتیب به خوشبندی‌های حاوی ریسک‌های با احتمال بالا، متوسط و پایین، وزن‌های ۴، ۵ و ۳ را نسبت داد و برای خوشبندی درجه دو به خوشبندی‌های حاوی ریسک‌های بالا و متوسط، وزن ۲ و به خوشبندی‌های حاوی ریسک‌های متوسط و کم، وزن ۱ را نسبت داد. از مزایای کاربرد CAP برای رتبه بندی ریسک‌ها، 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 پیمانه‌های 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

(6)

(7)

(8)

(9)

(10)

(11)

(12)

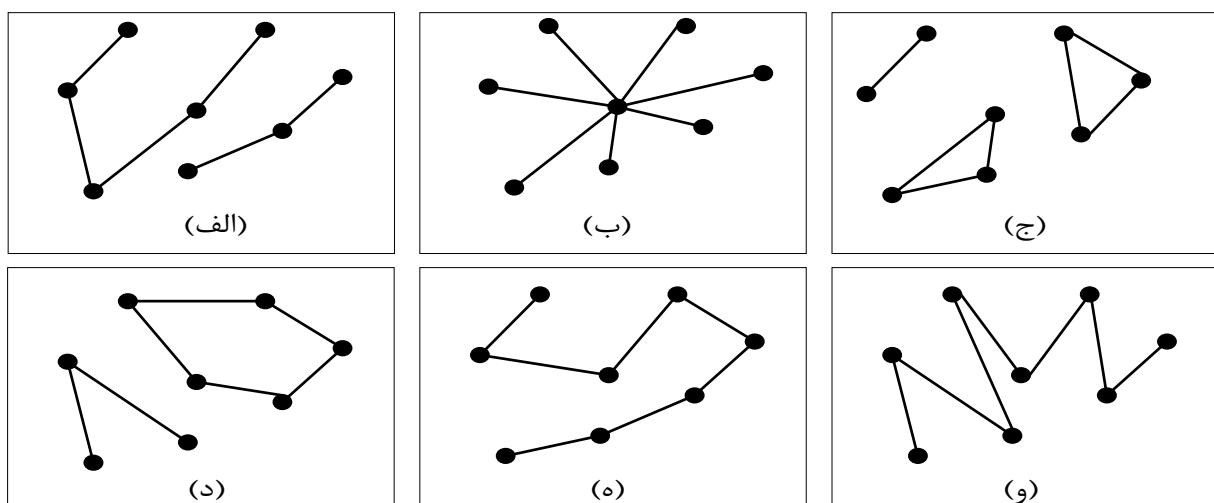
در مدل، برای جلوگیری از بروز حلقه، از مجموعه محدودیتهای حجیم (۱۱) استفاده شده است. در حقیقت وجود تعارض بین منابع باعث هدایت حل، به سمت چیدمان‌های غیر مجاز حلقوی می‌شود که با داشتن محدودیتهای ردیف (۱۱) از ایجاد این نوع چیدمان‌ها جلوگیری می‌شود.

اگر بدانیم بین منابع مساله، هیچ‌گونه تعارضی وجود ندارد، آنگاه می‌توان از سری محدودیتهای (۱۱) چشمپوشی کرد. در قسمت‌های (۵) و (و) از شکل ۴، دو چیدمان مجاز نشان داده شده‌اند.

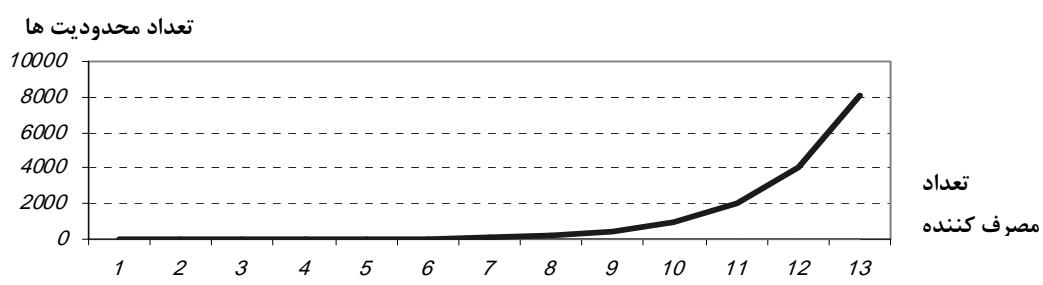
برای روشن شدن نحوه مدل‌سازی (۶) تا (۱۲)، مساله‌ای با  $n=5$  و  $m=7$  در بخش (الف) از ضمائم، فرموله شده است. مدل (۶) تا (۱۲) نشان می‌دهد که CAP عملأ در زمرة مسائل پیچیده<sup>۲۰</sup> و از نظر زمان حل<sup>۲۱</sup> به صورت نمایی می‌باشد. از نظر حجم مدل، به ازای  $m$  منبع و  $n$  مصرف کننده، مدل فوق دارای حداقل  $0.5 \times (2^{m+n} + 2 \times m - n^2 - n - 2)$  محدودیت و حداقل  $0.5 \times (4 \times m + n^2 + n)$  محدودیت و متغیر می‌باشد.

محدودیت ردیف (۷) باعث مجاورت سریالی تمام مصرف کننده‌های منبع  $i$  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 می‌گردد. محدودیت‌های 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 جلوگیری می‌کنند که هر دو الگوی غیر مجاز می‌باشند یعنی در فضای جواب فرار 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 (و) از شکل ۴ نشان داده شده است.

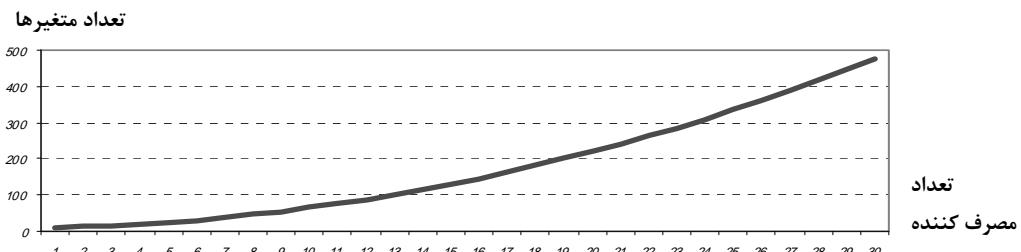


شکل ۴. برخی نمونه‌های غیر مجاز (الف؛ ب؛ ج؛ د؛ ه و مجاز (ه؛ و) چیدمان مصرف کننده‌ها در CAP یک بعدی با  $n=8$



شکل ۵. نمودار افزایش تعداد محدودیت‌ها به ازای افزایش تعداد مصرف کننده‌ها در مدل (۶) تا (۱۲)

<sup>۲۰</sup>NP-hard  
<sup>۲۱</sup>CPU-time



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

ساختار: ساختار را با کروشه نمایش داده و گوییم عبارتست از ترتیب ثابت شده چند مصرف کننده. برای مثال  $[C_3 C_4 C_5 C_1]$  یک ساختار می‌باشد. منظور از ثابتی این است که مجاورت مصرف کننده‌ها در حل نهایی مساله، مطابق ساختار بوده و تغییری نخواهد کرد. در واقع هر ساختار می‌تواند یک حل جزئی<sup>۲۲</sup> فرض شود. مجموعه مصرف کننده‌های کناری ساختار را با  $\Omega$  نمایش می‌دهیم. این مجموعه همواره دارای دو عنصر می‌باشد. همچنین مجموعه کل مصرف کننده‌های موجود در ساختار را با  $E$  نمایش می‌دهیم.

#### مراحل الگوریتم:

- مطابق روابط (۱۳) و (۱۴)، مقدار ارزش وزنی هر مصرف کننده و همچنین ارزش‌های وزنی مجاورت بین هر دو مصرف کننده را محاسبه نمایید. در ضمن قرار دهید  $E = \{ \}$ .
- 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  $\Omega$ ، قرار دهید. مطابق رابطه (۱۸) مجموعه  $E$  را بهنگام نمایید.

$$\pi_{pq} = \max\{\pi_{jk}\} \quad \forall j, k = 1, 2, 3, \dots, n \quad (15)$$

$$[] \rightarrow [C_p C_q] \quad (16)$$

$$\Omega = \{C_p, C_q\} \quad (17)$$

$$E = E + \{C_p, C_q\} \quad (18)$$

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

همانطور که پیداست، افزایش حجم نمایی مدل شدیداً به تعداد مصرف کننده‌ها یعنی  $n$  بستگی دارد لیکن تأثیر تغییرات تعداد منابع در حجم مدل همواره فرمی خطی دارد. برای مثال یک مساله با  $n = 10$  و  $m = 5$  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  $j$  از آنها استفاده می‌کند را ارزش وزنی آن مصرف کننده نامیده و آن را با  $\pi_j$  نمایش می‌دهیم.  $\pi_j$  از رابطه (۱۳) محاسبه می‌گردد. یادآوری این که  $G_j$  عبارتست از مجموعه منابعی که مصرف کننده  $j$  از آنها استفاده می‌کند.

$$Y = \{i \mid R_i \in G_j\} \quad \pi_j = \sum_{i \in Y} W_i \quad (13)$$

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

$$Y = \{i \mid R_i \in G_j \& R_i \in G_k\} \quad \pi_{jk} = \sum_{i \in Y} W_i \quad (14)$$

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

<sup>22</sup> Partial solution

افزایش تعداد مصرف کننده‌ها زمان حل، به طور فراینده‌ای افزایش  
می‌یابد.

### ضمایم

ضمیمه الف) مثالی از مدل‌سازی CAP یک بعدی در رتبه بندی ریسک‌های پروژه: فرض کنید در یک مساله رتبه بندی ریسک‌های 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 وزن دهی 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 تجربه‌تر 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،۰۰، ۴،۰ و ۱،۰ را نسبت می‌دهد. وی معتقد است که شانس وقوع ریسک‌های ۱، ۲ و ۴ متوسط است؛ او به این خوشة، ارزش وزنی ۲،۵ را می‌دهد. همچنین به نظر وی شانس وقوع ریسک ۳ بالاست؛ وی به این خوشة نیز ارزش وزنی ۴ را نسبت می‌دهد. او درخصوص شانس وقوع سایر ریسک‌ها نظری ندارد. او اثر هزینه‌ای ریسک‌های ۲، ۴ و ۵ را کمی مهم (با ارزش وزنی ۱،۰۸) و اثر هزینه‌ای ریسک‌های ۱ و ۳ را کم اهمیت‌تر از خوشة قبلی (با ارزش وزنی ۱،۵) اعلام می‌کند.

خبره اول درخصوص 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.

$$\pi_{\hat{p}p} = \max\{\pi_{1p}, \pi_{2p}, \dots, \pi_{np}\} \quad \forall \hat{p} \notin E \quad (19)$$

$$\pi_{\hat{q}q} = \max\{\pi_{1q}, \pi_{2q}, \dots, \pi_{nq}\} \quad \forall \hat{q} \notin E \quad (20)$$

$$\text{If } \pi_{\hat{p}p} > \pi_{\hat{q}q} \text{ Then } \hat{l} = q = \hat{p} \quad l = p, \quad \text{Else} \quad (21)$$

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

$$\text{If } \pi_p < \pi_q \text{ Then } \hat{l} = q = \hat{p}, \quad l = p, \quad \text{Else}$$

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

$$E = E + \{C_{\hat{l}}\} \& \Omega = \Omega - \{l\} + \{\hat{l}\} \quad (22)$$

$$[\dots C_l] \rightarrow [\dots C_l C_{\hat{l}}] \quad (23)$$

۴- درصورتی که ساختار، شامل تمام مصرف کننده‌ها 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 حداقل 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

جدول ۱. نتایج مثال‌های حل شده

درصد هدف $U / U^*$	حل تحت الگوریتم ابداعی		حل تحت مدل (۶) تا (۱۲)		تعداد مشاهده	تعداد هزینه کننده
	CPU TIME (SEC.)	U	CPU TIME (SEC.)	$U^*$		
100 .0 %	بسیار ناچیز	91 .6	1	91 .6	8	1
100 .0 %	بسیار ناچیز	53	1	53	7	2
100 .0 %	بسیار ناچیز	104 .5	1.5	104 .5	8	3
75 .2 %	بسیار ناچیز	109	8	145	14	4
95 .8 %	بسیار ناچیز	68	4	71	9	5
84 .6 %	بسیار ناچیز	57 .5	12 .5	68	20	6
83 .8 %	بسیار ناچیز	31	0.9	37	7	7
80 .7 %	بسیار ناچیز	111	8	137 .5	16	8
84 .5 %	بسیار ناچیز	42	3.5	49 .7	9	9
100 .0 %	بسیار ناچیز	53	1	53	6	10

از نظر خبره اول می‌باشد. 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) ضمایم حل می‌گردد. در قدم اول الگوریتم، مقادیر ارزشی مصرف‌کنندگان به صورت  $\pi_2 = 37.5, \pi_1 = 41.5$ ،  $\pi_4 = 53, \pi_3 = 56.5$  و  $\pi_5 = 32$  بدست می‌آیند. اکنون پس از قرار دادن  $E = \{ \}$ ، قدم‌های بعدی الگوریتم مطابق تکرارهای (B1) تا (B5) خواهد بود.

### Max

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

### St.

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

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

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

$$x_1 \leq 3 \times (1 - P_1) \quad x_3 \leq 3 \times (1 - P_3) \quad x_4 \leq 2 \times (1 - P_4) \quad (\text{A4})$$

$$x_5 \leq 2 \times (1 - P_5) \quad x_6 \leq 4 \times (1 - P_6) \quad x_7 \leq 3 \times (1 - P_7) \quad (\text{A5})$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

همچنین ارزش‌های وزنی منابع مساله (خوشه‌ها)، به کمک رابطه (۵) شامل  $W_4 = 12$ ،  $W_3 = 14.5$ ،  $W_1 = 10$ ،  $W_2 = 16$ ،  $W_7 = 11$  و  $W_6 = 17.5$ ،  $W_5 = 2$  از حاصلضرب  $2.0 \times 2.0 \times 2.5$  بدست آمده است که در آن، اعداد ۲.۰، ۲.۰ و ۲.۵ به ترتیب اوزان مربوط به خبره اول، پیمانه احتمال ریسک و خوشه ریسک‌های ۱، ۲ و ۴ استخراج شده

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

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

$$\max\{12, 11, 14.5, 27.5, 28.5, 32\} = 32 = \pi_{45} \quad E = \{2, 4, 5\} \quad \Omega = \{C_2, C_5\} [C_4 C_2] \rightarrow [C_5 C_4 C_2] \quad (B2)$$

$$\max\{\pi_{12}, \pi_{23}, \pi_{15}, \pi_{35}\} = \max\{12, 11, 17.5, 17.5\} = 17.5 = \pi_{15} \dots E = \{1, 2, 4, 5\} \quad \Omega = \{C_2, C_1\} [C_5 C_4 C_2] \rightarrow [C_1 C_5 C_4 C_2] \quad (B3)$$

$$\max\{\pi_{13}, \pi_{23}\} = \max\{27.5, 11\} = 27.5 = \pi_{13} \dots E = \{1, 2, 3, 4, 5\} \quad \Omega = \{C_2, C_3\} \quad [C_1 C_5 C_4 C_2] \rightarrow [C_3 C_1 C_5 C_4 C_2] \quad (B4)$$

ضمیمه (ج) دو نمونه از مساله‌های حل شده: - مساله شماره حل بهینه= حل توسط الگوریتم ابتکاری:  $U = 91.6$  و  $[C_6 C_5 C_3 C_8 C_7 C_2 C_4 C_1]$  داده‌ها: دو (فاقد تعارض منابع):

$$B_1 = \{C_1, C_2, C_4\} \quad B_2 = \{C_3, C_5, C_6, C_7, C_8\} \quad B_3 = \{C_1\} \quad B_4 = \{C_2, C_4, C_7, C_8\} \quad B_5 = \{C_3, C_5, C_6\}$$

$$B_6 = \{C_1, C_2, C_4, C_7\} \quad B_7 = \{C_3, C_8\} \quad B_8 = \{C_5, C_6\} \quad B_9 = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_7, C_8\} \quad B_{10} = \{C_1, C_4\}$$

$$B_{11} = \{C_2, C_7, C_8, C_3\} \quad B_{12} = \{C_3, C_5, C_6\} \quad B_{13} = \{C_6\}$$

$i$	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:  $U = 71.00$  و  $[C_8 C_6 C_1 C_7 C_4 C_5 C_3 C_2 C_9]$  حل توسط الگوریتم ابتکاری:  $U = 6800$  و  $[C_7 C_4 C_5 C_3 C_2 C_1 C_6 C_8 C_9]$  داده‌ها:

$$B_1 = \{C_1, C_2, C_3, C_7\} \quad B_2 = \{C_8, C_5, C_4, C_6\} \quad B_3 = \{C_1, C_2, C_3\} \quad B_4 = \{C_1, C_8\} \quad B_5 = \{C_1, C_7\}$$

$$B_6 = \{C_1, C_6\} \quad B_7 = \{C_2, C_9\} \quad B_8 = \{C_3, C_5\} \quad B_9 = \{C_4, C_7\} \quad B_{10} = \{C_1, C_2, C_4, C_5\}$$

$$B_{11} = \{C_5, C_2, C_3, C_4\} \quad B_{12} = \{C_3\} \quad B_{13} = \{C_5\} \quad B_{14} = \{C_7\}$$

$i$	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

[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.

### قدرتانی

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

### مراجع

- Korte, B., Vygen, J., "Combinatorial Optimization: Theory and Algorithms", 3rd edition, Springer, 2006.
- 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.

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