فصلنامه پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۸۲، بهار ۱۳۹۶، ۲۰۲-۱۷۷

# تخصیص منابع محدود به پیمانکاران با استفاده از روش‌های FAHP و TOPSIS

سیدمهدی ساداتی لمردی*

محمد خلیل‌زاده**

دریافت: ۹۵/۲/۱۵ پذیرش: ۹۵/۸/۱۴

تصمیم‌گیری چندمعیاره / تخصیص منابع / TOPSIS /Fuzzy AHP / نفت / گاز و پتروشیمی

## چکیده

این مقاله راه‌حلی برای تخصیص نقدینگی محدود به پیمانکاران براساس اولویت‌های پروژه (که یکی از مباحث مطرح در مدیریت نقدینگی پروژه‌ها است) ارائه می‌کند. هدف این تحقیق، ارائه راهکاری برای حل مشکلات پیمانکاران عمومی در تخصیص منابع به پروژه‌های نفت و گاز است. در این مقاله، ابتدا شاخص‌های مؤثر بر عملکرد پیمانکاران، با استفاده از روش AHP فازی تعیین می‌شود. سپس، وزن معیارهای مربوطه محاسبه و امتیاز نهایی پیمانکاران با استفاده از روش TOPSIS براساس شاخص‌های مذکور تعیین شده و در ادامه، پیمانکاران رتبه‌بندی می‌شوند. درنهایت، با استفاده از یک روش پیشنهادی، نحوه تخصیص نقدینگی محدود در دست به پیمانکاران ارائه می‌گردد. همچنین برای تشریح روش، از اطلاعات واقعی مربوط به یک پیمانکار عمومی فعال در حوزه نفت و گاز استفاده شده است. در پایان، نتایج ارائه‌شده در خصوص مسأله مورد نظر و همچنین، پیشنهادهای توسعه‌ای ارائه می‌شود.

**طبقه‌بندی JEL: L24، G35، D43.**

*. دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران
mehdi.sadati@srbiau.ac.ir

**. استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران mo.kzadeh@gmail.com

■ محمد خلیل‌زاده، مسئول مکاتبات.

Archive of SID
www.SID.ir

## مقدمه

اولویت‌بندی پرداخت‌ها به پیمانکاران در حین اجرای پروژه‌ها یکی از مهم‌ترین مراحل تصمیم‌گیری برای کارفرما است. پرداخت واقعی و به‌موقع به پیمانکاران یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در موفقیت پروژه‌های ساخت بوده و به‌عبارتی، بهترین راه برای مدیریت پروژه‌های ساخت جهت دستیابی به نتیجه مطلوب با در نظر گرفتن سه وجه هزینه، زمان و کیفیت است. این مقاله با استفاده از روش‌های FAHP و TOPSIS به نحوه تخصیص منابع محدود به پیمانکاران می‌پردازد که یکی از مشکلات و معضلات پیمانکاران عمومی در مدیریت و توزیع منابع و نقدینگی بین پیمانکاران دست دوم در پروژه‌ها محسوب می‌شود.

محققان و کارشناسان مختلفی این مبحث را بررسی کرده و پیشنهادها و الگوریتم‌های مختلفی ارائه داده‌اند. با توجه به این که در دنیای واقعی معیارهای مؤثر بر عملکرد پیمانکاران در موارد بسیاری به‌صورت مبهم بیان می‌شود، استفاده از روش فازی در مدل کردن این مسأله مزایای زیادی داشته و راه‌حل‌های ارائه‌شده به واقعیت نزدیک‌تر است. هدف این مقاله تعیین اهمیت معیارهای مؤثر بر عملکرد پیمانکاران با استفاده از روش AHP فازی و سپس رتبه‌بندی آن‌ها با استفاده از TOPSIS است. همچنین، هدف فرعی آن، ارائه الگوریتمی برای توزیع نقدینگی بین پیمانکاران رتبه‌بندی شده است.

در این مقاله، پس از مرور ادبیات موضوع در بخش دوم به بیان و تشریح مسأله خواهیم پرداخت و در بخش سوم، روش حل مسأله و راهبردهای برخورد با آن ارائه می‌شود. در بخش چهارم نیز نتایج حاصل از روش حل و خروجی نرم‌افزارهای مرتبط ارائه و تشریح شده و در انتها، مقاله با یک جمع‌بندی کلی از مسأله، روش حل و نتایج ملموسی که به‌صورت کاربردی ارائه می‌شود، به پایان می‌رسد.

## ۱. مرور ادبیات موضوع

لاتمن[1] به وجود یک سیستم ارزیابی مناسب با توجه به تمام معیارهای مهم از جمله مبلغ قرارداد، مهارت‌های پیمانکار، درجه بحرانی بودن اشاره می‌کند. همچنین، تأکید دارد

1. Lathman (1994).

www.SID.ir

که یک سیستم مناسب وزن‌دهی برای این معیارها نیاز است. هالت و الومالی[1] معتقدند کیفیت و عملکرد پیمانکار را باید در اولویت معیارهای پرداخت به پیمانکاران قرار داد و حتی بحث‌های تشویق نیز با توجه به کیفیت و عملکرد پیمانکاران باید در نظر گرفته شود. کوماراسامی[2] با اشاره به این‌که باید برای پرداخت به پیمانکاران جمیع معیارها در نظر گرفته شود، به این نکته می‌پردازند که کارفرمایان دولتی این معیارها را در پرداخت در نظر نمی‌گیرند. راسل[3] نیز به طرح بسیاری از ایده‌های مربوط به نحوه مدیریت پیمانکاران بخش‌های دولتی می‌پردازد.

یکی از جامع‌ترین مطالعات در این زمینه را راسل (۱۹۹۲) انجام داده است. وی یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری شامل مدل‌های مالی، خطی، فازی، آماری، مدیریت دانش و مدل‌های هیبریدی برای ارزیابی پیمانکاران ارائه داد. کوماراسامی[4] و هالت[5] مطالعات جامع مشابهی در این زمینه انجام دادند. ساوالهی و همکاران[6] مدل‌های پیش‌ارزیابی برای پیمانکاران را مقایسه کرده و نقاط قوت و ضعف‌شان را بررسی می‌کنند. هالت (۲۰۱۰) نیز به بررسی برخی تحقیقات علمی در این زمینه (در پروژه‌های سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۹) پرداخته است. هالت (۱۹۹۸) و اسلاب[7] یک‌سری دستورالعمل‌های کیفی برای اولویت‌بندی پیمانکاران ارائه دادند. همچنین، فیکن و همکاران[8] یک بررسی مروری از مدل‌های موجود برای ارزیابی پیمانکاران از جهت کیفی برای قرارداد و جهت وزن‌دهی معیارها برای اولویت‌بندی آن‌ها ارائه نموده‌اند. ابادو[9] نیز با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی، به ایجاد مدلی جهت اولویت‌بندی پیمانکاران پرداخته است.

با توجه به مطالعات انجام‌شده، می‌توان چنین نتیجه گرفت که به‌علت گستردگی انواع پروژه‌های موجود در صنایع مختلف، روش واحدی برای اولویت‌بندی پیمانکاران وجود ندارد و باید با توجه به معیارهای خاص آن پروژه، مدلی طراحی و اجرا شود. بنابراین، با

1. Holt & Olomolaiye (1995).
2. Kumaraswamy (1996).
3. Russel (1992).
4. Kumaraswamy (1996).
5. Holt (1998).
6. Sawalhi et al. (2007).
7. Slub (12013).
8. Ficken et al. (2014).
9. Ibadov (2015).

Archive of SID

www.SID.ir

توجه به اهمیت بسیار زیاد صنعت نفت و گاز در کشور، سرعت چشمگیر انجام پروژه‌های این صنعت، بالا بودن ارقام مالی این پروژه‌ها و منحصربه‌فردبودن بعضی معیارهای خاص آن، در این تحقیق بر آن شدیم با توجه به معیارهای خاص پروژه‌های نفت و گاز یک مدل تصمیم‌گیری طراحی کرده و در یکی از پروژه‌های پالایشگاهی ایران پیاده‌سازی کنیم.

با توجه به استفاده از تکنیک‌های Fuzzy-AHP و TOPSIS در این مقاله، در ادامه به بررسی اجمالی استفاده از این روش‌ها در مدل‌های مختلف پرداخته می‌شود.

به‌منظور غلبه بر مشکلات حل مسائل سلسله‌مراتبی، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) بر پایه فرضیات روش AHP و با استفاده از مفهوم نظریه مجموعه‌های فازی توسعه یافته و در حقیقت، برای یک فرد تصمیم‌گیرنده راحت‌تر است که یک قضاوت را به‌صورت یک بازه بیان کند تا به‌صورت یک ارزش ثابت. سرچشمه این امر، این است که با توجه به طبیعت فازی مقایسات زوجی، فرد در بیان ترجیحش ناتوان است[1]. بنابراین، در این پژوهش، برای تعیین وزن معیارها به جای AHP از FAHP استفاده می‌شود.

در ادبیات، چندین رویکرد FAHP با شکل‌های اندک متفاوتی وجود دارند که برای کاربرد در تنوعی از مسائل تصمیم‌گیری شامل ارزیابی/ انتخاب چندمعیاره آلترناتیوها ارائه شده‌اند[2].

فن‌لارهوون و پدریز[3] پژوهشگران پیشتازی بودند که مفهوم منطق فازی را در فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی به کار بردند. چنگ[4] نیز اعداد فازی مثلثی را برای ارائه یک متدلوژی جدید FAHP به‌کار برد، درحالی‌که باکلی[5] از مفهوم اعداد فازی ذوزنقه‌ای به‌جای مثلثی استفاده کرد. در ادامه به تعدادی از پژوهش‌هایی که در فرآیند ارزیابی از FAHP استفاده کرده‌اند، اشاره می‌شود:

وو و همکاران[6]، لی و همکاران[7] و کبکی[8]، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی را به‌منظور

1. Kahraman, et al. (2003).
2. Zahedi (1986); Webber et al. (1996); Chang et al. (2009).
3. Van Laarhoven, & Pedrycz (1983).
4. Chang (1996).
5. Buckley (1985).
6. Wu et al. (2009).
7. Lee et al. (a2008).
8. Cebeci (2009).

Archive of SID

www.SID.ir

مواجهه با مسأله ارزیابی عملکرد برای سیستم‌های متفاوت و با به‌کار بردن چهار منظر کارت امتیاز متوازن به‌کار بردند. در پژوهش‌های مورد اشاره، فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی جهت وزن‌دهی معیارهای ارزیابی استفاده شد.

افزون بر کاربردهای مذکور، مطالعات دیگری نیز وجود دارند که از FAHP در موضوعات مختلفی مانند «انتخاب سبد سهام» تریاکی و آهلاتسیوغلو[1]، «ارزیابی رقابت‌پذیری ملی در بخش فناوری هیدروژن» لی و همکاران[2]، «انتخاب دفاتر کشتی‌رانی» کلیک و همکاران[3]، «تخصیص فضای بهینه در هتل‌ها» وو و همکاران[4]، «انتخاب بهینه کاوش معادن» نقده‌ای و همکاران[5] و «ارزیابی شرکت‌های حمل و نقل مواد خطرناک» گوموس[6]، استفاده کرده‌اند. این تنوع گسترده کاربرد FAHP می‌تواند مؤید انعطاف‌پذیری بسیار بالای این روش در مواجهه با مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره باشد.

روش شباهت به حل ایده‌آل (TOPSIS) که اولین‌بار توسط هوانگ و یون[7] ارائه شد، یکی از مهم‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندشاخصه برای مواجهه با مسائل جهان واقع است[8]. مفهوم اصلی این تکنیک طبق اظهار دنگ و همکاران[9] این است که آلترناتیو برتر باید بیش‌ترین فاصله را از حل ایده‌آل منفی و کم‌ترین فاصله را از حل ایده‌آل مثبت داشته باشد. حل ایده‌آل مثبت براساس نتایج وانگ و الهاگ[10]، جوابی است که معیارهای سود را بیشینه و معیارهای هزینه را کمینه کرده، اما حل ایده‌آل منفی معیارهای هزینه را بیشینه و معیارهای سود را کمینه می‌کند.

مطالعات بسیار زیادی وجود دارند که از TOPSIS و TOPSIS فازی برای ارزیابی عملکرد آلترناتیوها در حوزه‌های متفاوت استفاده کرده‌اند که از آن جمله می‌توان به «ارزیابی عملکرد خطوط هوایی با در نظر گرفتن معیارهای مالی» فنگ و وانگ[11]، «ارزیابی

1. Tiryaki & Ahlatcioglu (2009).
2. Lee et al. (b2008).
3. Celik et al. (2009).
4. Wu et al. (2004).
5. Naghadehi et al. (2009).
6. Gumus (2009).
7. Hwang & Yoon (1981).
8. Yoon & Hwang (1985).
9. Deng et al. (2000).
10. Wang & Elhag (2006).
11. Feng & Wang (2000).

Archive of SID

www.SID.ir

عملکرد مالی خطوط هوایی تایوان» وانگ[1]، «انتخاب فروشنده» شیور و شیه[2]، «حل مسأله طراحی چیدمان کارخانه» یانگ و هونگ[3]، «ارزیابی عملکرد مشاورین مدیریت کیفیت فراگیر[4] در مؤسسات کوچک و متوسط»[5] سرامی و همکاران[6]، «ارزیابی عملکرد هواپیماهای آموزشی» وانگ و چنگ[7] و پرداختن به مسأله «انتخاب مکان انتقال زباله‌های جامد در ترکیه» توسط اونوت و سونر[8] اشاره کرد.

همچنین، تعدادی مطالعات FAHP و TOPSIS را برای حل مسائل چندمعیاره ترکیب کرده‌اند. برای مثال می‌توان به مواردی از جمله «ارزیابی عملکرد شرکت‌های سیمان ترکیه با در نظر گرفتن نسبت‌های مالی به‌عنوان معیارهای ارزیابی» ارتوغرل و کاراکازوغلو[9]، «ارزیابی عملکرد بانکی بر پایه کارت امتیاز متوازن» وو و همکاران[10]، «ارزیابی راه‌حل‌های متفاوت طراحی» لین و همکاران[11] و «ارزیابی شرکت‌های حمل‌ونقل مواد خطرناک» گوموس[12] اشاره کرد. تایلان و همکاران[13] نیز با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس فازی به رتبه‌بندی ۳۰ پروژه ساخت با استفاده از نظرات هفت نفر از تصمیم‌گیرندگان در این زمینه پرداخته و مواردی از اشتباهات موجود در مدل‌های قبلی را تصحیح کردند. پراکاش و باراو[14] نیز برای افزایش سطح پذیرش زنجیره تأمین معکوس، راه‌حل‌ها و رتبه‌بندی آن‌ها در صنعت الکترونیک برای غلبه بر موانع پیاده‌سازی زنجیره تأمین معکوس در این صنعت را بررسی کرده و از تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس استفاده کردند. بیخاخیان و همکاران[15] با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به وزن‌دهی معیارهای چابکی تأمین‌کنندگان

1. Wang (2008).
2. Shyur & Shih (2006).
3. Yang & Hung (2007).
4. TQM
5. SMEs
6. Serami et al. (2009).
7. Wang & Chang (2007).
8. Önüt & Soner (2008).
9. Ertuğrul & Karakaşoğlu (2009).
10. Wu et al. (2009).
11. Lin et al. (2008).
12. Gumus (2009).
13. Taylan et al. (2015).
14. Prakash & Barua (2015).
15. Beikkhakhian et al. (2015).

Archive of SID

www.SID.ir

پرداخته و درنهایت، با استفاده از این وزن‌ها و با استفاده از روش تاپسیس شش تأمین‌کننده را با هدف چابکی رتبه‌بندی کردند. زارع و همکاران[1] نیز در تحقیق خود با استفاده از ترکیب روش‌های تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس فازی، مدلی برای اولویت‌بندی فاکتورهای فریم ورک سوآت در زنجیره تأمین برق در شمال‌غرب ایران ارائه دادند. رنی و همکارانش[2] نیز کاربرد روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و تاپسیس را در مسائل منابع انسانی بررسی کردند. ایشان مدلی برای نحوه گماردن افراد به کارهای مختلف ارائه دادند. آیهان و همکارانش[3] یک مدل دو مرحله‌ای برای ارزیابی تأمین‌کنندگان و انتخاب آن‌ها پیشنهاد کردند که در مرحله اول با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی فازی به وزن‌دهی معیارها پرداخته و در مرحله دوم با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی احتمالی عدد صحیح مختلط تأمین‌کنندگان را انتخاب می‌کند. کاربردهای متنوع و گسترده روش TOPSIS نشانگر انعطاف‌پذیری بالای این روش در حل مسائل تصمیم‌گیری چند شاخصه است.

## ۲. تحلیل الگو

در این بخش به توضیح روش‌های به‌کار برده‌شده شامل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP) که توسعه‌ای از AHP است و روش شباهت به حل ایده‌آل (TOPSIS) به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای ارائه یک رویکرد رتبه‌بندی شرکت‌ها پرداخته می‌شود.

### ۲ـ۱. فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی (FAHP)

در تحلیل تصمیم‌گیری، یک شکاف گسترده میان تئوری و کاربرد وجود دارد. با کمک نظریه مجموعه‌های فازی، تعدادی از نوآوری‌ها برای ترکیب مجموعه فازی و چارچوب تصمیم‌گیری چندمعیاره در زمینه کاربردهای متفاوتی امکان‌پذیر شده‌اند. در مسائل فازی، اطلاعات کاملی درباره سیستم وجود ندارد و می‌توان برای یک معیار خاص، این اطلاعات را با به‌کاربردن عبارات زبانی مانند «بیش از یک عدد»، «حدود یک عدد» یا «بین دو عدد» بیان کرد. اعداد فازی مثلثی و ذوزنقه‌ای می‌توانند این نوع عبارت‌ها را نمایش دهند.

1. Zare et al. (2015).
2. 51 reni et al. (2015).
3. Ayhan et al. (2015).

Archive of SID
www.SID.ir

در ادبیات، تعداد زیادی متدلوژی فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی وجود دارد که توسط پژوهشگران مختلف ارائه شده است. در عمل، غالباً کار با اعداد فازی مثلثی به‌خاطر سادگی محاسبه‌شان راحت‌تر است. همچنین، اعداد فازی مثلثی برای نمایش و پردازش اطلاعات در یک محیط فازی قابل کاربردند[۱]. در این پژوهش از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی مبتنی بر آنالیز اندازه[۲] استفاده شده که مفهوم اعداد فازی مثلثی را به‌کار می‌برد. مراحل روش FAHP مبتنی بر آنالیز اندازه در ادامه آمده‌اند.

### ۱ـ۱ـ۲. ارزش اندازه ترکیبی فازی[۳]

فرض کنید که $X = \{x_1, x_2, ..., x_n$ یک مجموعه شیء[۴] و $U = \{u_1, u_2, ..., u_m$ یک مجموعه هدف[۵] باشد. با توجه به روش آنالیز اندازه[۶]، می‌توان هر شئی را در نظر گرفته و آنالیز اندازه را به‌ترتیب برای هر هدف انجام داد. بنابراین، می‌توان m اندازه آنالیز ترکیبی را برای هر شیء با علائم مورد اشاره در معادله (۱) به‌دست آورد:

$$M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, ..., M_{g_i}^m \quad i = 1, 2, ..., n \qquad (۱$$

که همه $M_{g_i}^j$ها با j=1, 2,..., m اعداد فازی مثلثی هستند.

**تعریف:** فرض کنید که $M_{g_i}^1, M_{g_i}^2, ..., M_{g_i}^m$ ارزش آنالیز اندازه i امین شیء برای m هدف باشد. ارزش اندازه ترکیبی فازی با توجه به i امین شیء به‌صورت معادله (۲) تعریف می‌شود:

$$S_i = \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^j \right]^{-1} \qquad (۲$$

که اجزای $S_i$ همان‌طورکه ارتوغرل و کاراکازوغلو (۲۰۰۹) اشاره کرده‌اند، از فرمول‌های (۳) و (۴) به‌دست می‌آیند:

---

۱. ارتوغرل و کاراکازوغلو (۲۰۰۹).
۲. چنگ (۱۹۹۶).

3. Value of Fuzzy Synthetic Extent.
4. Object.
5. Goal.
6. Extent Analysis.

Archive of SID
www.SID.ir

$$\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j} = (\sum_{j=1}^{m} l_j, \sum_{j=1}^{m} m_j, \sum_{j=1}^{m} u_j) \quad (۳$$

$$\left[\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} M_{g_i}^{j}\right]^{-1} = \left(\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^{n} l_i}\right) \quad (۴$$

### ۲ـ۱ـ۲. روش نمایش اعداد فازی برای مقایسات زوجی

نخستین مرحله از روش FAHP مبتنی بر آنالیز اندازه، تصمیم‌گیری درباره اهمیت نسبی هر زوج از فاکتورها در یک سطح از سلسله‌مراتب است. با کاربرد اعداد فازی مثلثی از طریق مقایسات زوجی، ماتریس ارزیابی فازی $A = (a_{ij})_{n\times m}$ ایجاد می‌شود.

همچنین، اهمیت عنصر j نسبت به عنصر i می‌تواند با عدد فازی $a_{ij}^{-1} = (1/u, 1/m, 1/l)$ نمایش داده شود.

### ۳ـ۱ـ۲. محاسبه بردار اهمیت نسبی (اوزان) عناصر

اگر $A = (a_{ij})_{n\times m}$ یک ماتریس مقایسه زوجی اعداد فازی باشد، که $a_{ij}=(l_{ij}, m_{ij}, u_{ij})$ و $l_{ij} = \frac{1}{l_j}, m_j = \frac{1}{m_j}, u_j = \frac{1}{u_j}$، برای به‌دست‌آوردن تخمین‌هایی از بردار وزن تحت هر معیار، باید اصل مقایسه اعداد فازی در نظر گرفته شود.

**تعریف:** اگر دو عدد فازی مثلثی $M_1=(l_1, m_1, u_1)$ و $M_2=(l_2, m_2, u_2)$ داشته باشیم، درجه امکان $M_1 \geq M_2$ به‌صورت معادله (۵) تعریف می‌شود:

$$V(M_1 \geq M_2) = \sup_{x\geq y}\left[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))\right] \quad (۵$$

وقتی یک زوج (x,y) وجود دارد، چنان‌که $x \geq y$ و $\mu_{M1}(x)=\mu_{M2}(y)=1$ باشد، $V(M_1 \geq M_2)=1$ را خواهیم داشت. و از آنجا که $M_1$ و $M_2$ اعداد فازی محدب هستند، خواهیم داشت:

$$V(M_1 \geq M_2) = hgt(M_1 \cap M_2) = \mu_{M_1}(d) \quad (۶$$

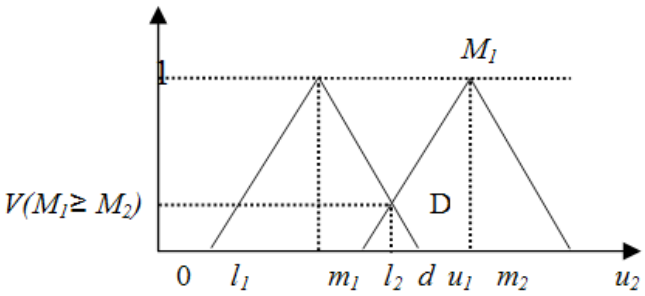
با بسط معادله (۶)، عبارت (۷) حاصل می‌شود:

Archive of SID

www.SID.ir

$$V(M_1 \geq M_2) = \begin{cases} 1 & iff\ m_1 \geq m_2, \\ 0 & iff\ l_2 \geq u_1, \\ \dfrac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & otherwise \end{cases} \quad (۷$$

که d برابر عرض بالاترین نقطه تقاطع D میان $\mu_{M1}$ و $\mu_{M2}$ است.




**شکل ۱ـ اشتراک دو عدد فازی مثلثی $M_1$ و $M_2$** [۱]

برای مقایسه $M_1$ و $M_2$، به هر دو مقدار $V(M_1 \geq M_2)$ و $V(M_2 \geq M_1)$ نیاز داریم.

**تعریف:** امکان این که یک عدد فازی محدب، بزرگ‌تر از k عدد فازی محدب $M_1$ باشد که i=1, 2,..., k، به‌صورت معادله (۸) تعریف می‌شود:

$$V(M \geq M_1, M_2, ..., M_k) = V\ [(M \geq M_1)\ and\ (M \geq M_2)\ and\ ...\ and\ (M \geq M_k)\ ] \quad (۸$$
$$= \min V(M \geq M_i),\ \ i = 1, 2, ..., k.$$

اگر داشته باشیم:

$$d'(A_i) = \min V(S_i \geq S_k) \quad (۹$$

که در آن $k = 1, 2, ..., n; k \neq i$، بردار وزن از معادله (۱۰) به دست می‌آید:

$$W' = (d'(A_1), d'(A_2), ..., d'(A_n))^T \quad (۱۰$$

که $A_i$(i=1, 2,..., n)، n عنصر هستند.

۱. چنگ (۱۹۹۶).

www.SID.ir

از طریق نرمال‌سازی، بردارهای وزنی نرمال شده مطابق با معادله (۱۱) به دست می‌آیند:

$$W = (d(A_1), d(A_2), ..., d(A_n))^T \quad (۱۱$$

که در آن، W یک عدد غیرفازی است.

## ۲ـ۲. متدلوژی روش شباهت به حل ایده‌آل (TOPSIS)

مفهوم اصلی روش TOPSIS بر این فرض استوار است که بهترین آلترناتیو، نزدیک‌ترین به حل ایده‌آل و دورترین از حل ضدایده‌آل است.

برای j آلترناتیو مورد ارزیابی، با توجه به n معیار، $w_{ij}$ ارزش معیار iام را بر آلترناتیو jام نشان می‌دهد. این مقادیر، عناصر ماتریس تصمیم را تشکیل می‌دهند. متدلوژی TOPSIS گام‌های زیر را دربرمی‌گیرد:

گام ۱: ماتریس تصمیم نرمالیزه می‌شود. مقدار نرمالیزه شده $r_{ij}$ با استفاده از معادله (۱۲) محاسبه می‌شود:

$$r_{ij} = \frac{w_{ij}}{\sum_{j=1}^{J} w_{ij}^2}, \quad j = 1,2,...,J, \; i = 1,2,...,n \quad (۱۲$$

گام ۲: ماتریس تصمیم نرمالیزه‌شده، وزن‌دار می‌شود. مقدار نرمالیزه وزن‌دارشده $v_{ij}$ توسط معادله (۱۳) محاسبه می‌شود:

$$v_{ij} = w_i * r_{ij}, \qquad j=1,2,...,j, \qquad j=1,2,3,...,n \quad (۱۳$$

گام ۳: جواب‌های ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه می‌شوند:

$$A^+ = \{v_1^+, v_2^+, ..., v_n^+\} = \left\{\left(\max_j v_{ij} \mid i \in C'\right), \left(\min_j v_{ij} \mid i \in C''\right)\right\} \quad (۱۴$$

$$A^- = \{v_1^-, v_2^-, ..., v_n^-\} = \min_j v_{ij} \mid i \in C', \; \max_j v_{ij} \mid i \in C'' \quad (۱۵$$

که $C'$ و $C''$ به‌ترتیب مرتبط با معیارهای سود و زیان هستند.

گام ۴: مسافت هریک از آلترناتیو از جواب‌های ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه می‌شوند:

Archive of SID
www.SID.ir

$$d_j^+ = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(v_{ij} - v_i^+)^2}, \quad j = 1,2,...,J \qquad (۱۶$$

$$d_j^- = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(v_{ij} - v_i^-)^2}, \quad j = 1,2,...,J \qquad (۱۷$$

گام ۵: نزدیکی نسبی هر آلترناتیو به حل ایده‌آل با توجه به معادله (۱۸) محاسبه می‌شود:

$$CC_j = \frac{d_j^-}{d_j^- + d_j^+} \qquad (۱۸$$

گام ۶: آلترناتیوها با توجه به مقادیر ضرایب نزدیکی نسبی‌شان، به‌صورت نزولی رتبه‌بندی می‌شوند[۱].

### ۳ـ۲. روش پیشنهادی تخصیص منابع به پیمانکاران

پس از تعیین وزن معیارها با استفاده از روش FAHP و رتبه‌بندی آن‌ها با استفاده از روش TOPSIS در گام آخر باید نسبت به توزیع منابع در دست در بین پیمانکاران اقدام کند. با توجه به مشکلات موجود در پروژه‌ها تخصیص یک مقدار مینیمم از منابع به هر پیمانکار جهت انجام امور پرسنلی، کارگری و بیمه و مالیات و... ضروری است. به این منظور و با توجه به نظر خبرگان مبلغی معادل ۲۰ درصد از هر صورت وضعیت به‌عنوان حداقل مبلغ پرداختی به تمام پیمانکاران در نظر گرفته شده است. پس از کسر این میزان از منابع در دست، برای توزیع نقدینگی باقیمانده به‌ترتیب از پیمانکار اول و دارای بیش‌ترین امتیاز، تخصیص شروع شده و تا زمان اتمام نقدینگی این منابع به پیمانکاران بعدی تخصیص خواهد یافت. بنابراین، پیمانکاران در خصوص دریافت نقدینگی به سه دسته تقسیم می‌شود: پیمانکاران با رتبه بالا که ۱۰۰ درصد از مبالغ صورت وضعیت‌های تأییدشده را دریافت می‌کند. دسته دوم شامل یک پیمانکار است که با توجه به اتمام نقدینگی در آن رتبه، بخشی از مبلغ صورت وضعیت به آن تخصیص خواهد یافت و این عدد بین ۲۰ تا ۱۰۰ درصد است و دسته سوم پیمانکارانی هستند که صرفاً حداقل میزان تخصیص یعنی ۲۰ درصد شامل حال آن‌ها شده است.

لازم به ذکر است برای جلوگیری از تکرار نام یک پیمانکار در دسته سوم، یک معیار

۱. اوپریکوویچ و تزنگ (۲۰۰۴).

Archive of SID
www.SID.ir

تعریف شده است که پیمانکارانی که در دسته سوم قرار می‌گیرند در پرداخت‌های بعدی اولویت بالاتری دارند.

## ۳. تجزیه و تحلیل یافته‌های تحقیق

در این بخش یک تخصیص منابع محدود در یک شرکت پیمانکار عمومی در حوزه نفت گاز و پتروشیمی پیاده‌سازی و الگوی ارائه‌شده در بخش سوم برای آن اجرا شد. در ابتدا از طریق محاسبه با افراد خبره در پروژه نُه معیار مؤثر در تخصیص منابع محدود پیمانکاران تعیین شد. این معیارها عبارتند از:

۱. موقعیت پیمانکار در منحنی پیشرفت قرارداد.
۲. میانگین پیشرفت در شش ماه گذشته.
۳. میزان وابستگی پیمانکار به واردات کالاهای خارجی.
۴. وضعیت اثرگذاری فعالیت‌های پیمانکار بر مسیر بحرانی.
۵. سطح عمومیت فعالیت‌های پیمانکار در پروژه.
۶. میزان جریمه تأخیر روزانه مربوط به کارفرما بابت عدم پرداخت عملکرد.
۷. نسبت طلب پیمانکار به کل مبلغ قرارداد.
۸. رتبه و صلاحیت پیمانکاران داخلی و یا معادل آن برای پیمانکاران خارجی.
۹. ضریب مدیریتی مدیرعامل، مدیر پروژه و یا سرپرست کارگاه.

پس از مشخص شدن معیارهای تصمیم‌گیری براساس الگوریتم ارائه شده در روش AHP می‌بایست میزان اهمیت این معیارها نسبت به هم مشخص گردد. در گام اول می‌بایست ماتریس تعیین اهمیت هر معیار نسبت به سایر معیارها مشخص شود. در ابتدا پرسشنامه (جدول ۱) مربوطه بین نخبگان توزیع شده است. همچنین، نحوه وزن‌دهی معیارها نسبت به یکدیگر در اختیار پرسش‌شوندگان قرار گرفت تا براساس آن نسبت به تکمیل پرسشنامه اقدام کند. واضح است در این روش درصورتی‌که اهمیت یک معیار نسبت به دیگری عدد ثابتی باشد، اهمیت معیار دوم نسبت به اول عکس آن خواهد بود. همچنین، اهمیت هر معیار نسبت به خودش نیز برابر با عدد ثابت ۱ است. این پرسشنامه‌ها بین ۱۲ نفر از نخبگان توزیع و پس از تکمیل، گرد آوری شد. گام دوم در این فرآیند، تبدیل مقادیر تکمیل‌شده

Archive of SID
www.SID.ir

**جدول ۱- پرسشنامه تعیین اهمیت شاخص‌ها نسبت به یکدیگر**

| | موقعیت پیمانکار در منحنی پیشرفت قرارداد | میانگین پیشرفت شش ماه گذشته | میزان وابستگی به واردات | وضعیت اثر گذاری بر مسیر بحرانی | سطح عمومیت در پروژه | میزان جریمه تاخیر روزانه | نسبت طلب پیمانکار به کل مبلغ قرارداد | رتبه پیمانکاران داخلی و یا رتبه معادل پیمانکاران خارجی | ضریب مدیریتی مدیر عامل، مدیر پروژه و یا سرپرست کارگاه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| موقعیت پیمانکار در منحنی پیشرفت قرارداد | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۲/۰۰ | ۰/۳۳ | ۰/۳۳ | ۰/۲۰ | ۰/۲۰ | ۳/۰۰ | ۰/۱۴ |
| میانگین پیشرفت شش ماه گذشته | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۳/۰۰ | ۰/۳۳ | ۱/۰۰ | ۰/۳۳ | ۰/۳۳ | ۵/۰۰ | ۰/۲۰ |
| میزان وابستگی به واردات | ۰/۵۰ | ۰/۳۳ | ۱/۰۰ | ۰/۲۰ | ۰/۳۳ | ۰/۲۰ | ۰/۱۴ | ۱/۰۰ | ۰/۱۱ |
| وضعیت اثر گذاری بر مسیر بحرانی | ۳/۰۰ | ۳/۰۰ | ۵/۰۰ | ۱/۰۰ | ۵/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۵۰ | ۳/۰۰ | ۰/۵۰ |
| سطح عمومیت در پروژه | ۳/۰۰ | ۱/۰۰ | ۳/۰۰ | ۰/۲۰ | ۱/۰۰ | ۰/۲۰ | ۰/۳۳ | ۱/۰۰ | ۰/۲۰ |
| میزان جریمه تاخیر روزانه | ۵/۰۰ | ۳/۰۰ | ۵/۰۰ | ۱/۰۰ | ۵/۰۰ | ۱/۰۰ | ۲/۰۰ | ۵/۰۰ | ۰/۵۰ |
| نسبت طلب پیمانکار به کل مبلغ قرارداد | ۵/۰۰ | ۳/۰۰ | ۷/۰۰ | ۲/۰۰ | ۳/۰۰ | ۰/۵۰ | ۱/۰۰ | ۵/۰۰ | ۰/۳۳ |
| رتبه پیمانکاران داخلی و یا رتبه معادل پیمانکاران خارجی | ۰/۳۳ | ۰/۲۰ | ۱/۰۰ | ۰/۳۳ | ۱/۰۰ | ۰/۲۰ | ۰/۲۰ | ۱/۰۰ | ۰/۱۴ |
| ضریب مدیریتی مدیر عامل، مدیر پروژه و یا سرپرست کارگاه | ۷/۰۰ | ۵/۰۰ | ۹/۰۰ | ۲/۰۰ | ۵/۰۰ | ۲/۰۰ | ۳/۰۰ | ۷/۰۰ | ۱/۰۰ |

Archive of SID

www.SID.ir

به اعداد فازی است. همان‌طورکه در بخش سوم تشریح شد، در این پژوهش از اعداد فازی مثلثی استفاده شده است. برای تبدیل اعداد ارائه‌شده جهت اهمیت هردو معیار نسبت به هم به اعداد فازی مثلثی، به این ترتیب عمل می‌شود که بیش‌ترین فراوانی اعلام شده (مد) در پرسشنامه‌ها به‌عنوان عدد وسط مثلث و کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار اعلام شده توسط نخبگان به‌ترتیب به‌عنوان عدد سمت چپ و راست الگوی مثلثی در نظر گرفته می‌شوند. جدول (۲) برشی از اهمیت معیارهای نُه‌گانه نسبت به یکدیگر را نشان می‌دهد.

**جدول ۲ـ تبدیل پرشنامه اهمیت معیارها به شکل فازی**

| | موقعیت پیمانکار در منحنی پیشرفت قرارداد | | | ... | | | ... | | | ... | | | ضریب مدیریتی مدیرعامل، مدیر پروژه و یا سرپرست کارگاه | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| موقعیت پیمانکار در منحنی پیشرفت قرارداد | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | | | | | | | | | | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | ۱/۰۰ |
| میانگین پیشرفت شش ماه گذشته | ۰/۳۳ | ۱/۰۰ | ۲/۰۰ | | | | | | | | | | ۱/۰۰ | ۰/۲۰ | ۳/۰۰ |
| میزان وابستگی به واردات | ۰/۲۰ | ۰/۵۰ | ۲/۰۰ | | | | | | | | | | ۰/۱۱ | ۰/۱۱ | ۰/۲۰ |
| وضعیت اثرگذاری بر مسیر بحرانی | ۰/۵۰ | ۳/۰۰ | ۵/۰۰ | | | | | | | | | | ۳/۰۰ | ۰/۵۰ | ۷/۰۰ |
| سطح عمومیت در پروژه | ۱/۰۰ | ۳/۰۰ | ۷/۰۰ | | | | | | | | | | ۱/۰۰ | ۰/۲۰ | ۵/۰۰ |
| میزان جریمه تاخیر روزانه | ۱/۰۰ | ۵/۰۰ | ۷/۰۰ | | | | | | | | | | ۰/۲۰ | ۰/۵۰ | ۳/۰۰ |
| نسبت طلب پیمانکار به کل مبلغ قرارداد | ۳/۰۰ | ۵/۰۰ | ۷/۰۰ | | | | | | | | | | ۰/۱۴ | ۰/۳۳ | ۳/۰۰ |
| رتبه پیمانکاران داخلی و یا رتبه معادل پیمانکاران خارجی | ۰/۲۰ | ۰/۳۳ | ۳/۰۰ | | | | | | | | | | ۰/۱۴ | ۰/۱۴ | ۰/۵۰ |
| ضریب مدیریتی مدیرعامل، مدیر پروژه و یا سرپرست کارگاه | ۵/۰۰ | ۷/۰۰ | ۹/۰۰ | | | | | | | | | | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ |

در گام بعدی باید براساس روش AHP فازی وزن نرمال‌شده هر معیار را به‌دست آورد و درواقع باید تعیین کرد که اهمیت هریک از معیارها به چه میزان است. این کار با استفاده از روابط (۱) تا (۱۱) به‌دست می‌آید.

حال با استفاده از این معیارها و به‌کاربردن روش TOSIS باید نسبت به اولویت‌بندی و یا رتبه‌بندی پیمانکاران اقدام کرد. در این مرحله، پیمانکاران مختلف در ستون‌های یک جدول و معیارهایی که در روش قبل درجه اهمیت‌شان مشخص شد در سطرهای جدول مذکور

Archive of SID
www.SID.ir

www.SID.ir

**جدول ۳ـ محاسبه وزن نرمال شده هر معیار در روش FAHP**

| | موقعیت پیمانکار در منحنی پیشرفت قرارداد | میانگین پیشرفت شش ماه گذشته | میزان وابستگی به واردات | وضعیت اثرگذاری بر مسیر بحرانی | سطح عمومیت در پروژه | میزان جریمه تأخیر روزانه | نسبت طلب پیمانکار به کل مبلغ قرارداد | رتبه پیمانکاران داخلی و یا رتبه معادل پیمانکاران خارجی | ضریب مدیریتی مدیرعامل، مدیر پروژه و یا سرپرست کارگاه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| موقعیت پیمانکار در منحنی پیشرفت قرارداد | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۸۱ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۸۸ | ۱/۰۰ |
| میانگین پیشرفت شش ماه گذشته | ۰/۸۷ | ۱/۰۰ | ۰/۶۷ | ۱/۰۰ | ۰/۹۵ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۷۷ | ۱/۰۰ |
| میزان وابستگی به واردات | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ |
| وضعیت اثرگذاری بر مسیر بحرانی | ۰/۶۴ | ۰/۷۹ | ۰/۴۶ | ۱/۰۰ | ۰/۷۷ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۵۷ | ۱/۰۰ |
| سطح عمومیت در پروژه | ۰/۹۴ | ۱/۰۰ | ۰/۷۶ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۸۳ | ۱/۰۰ |
| میزان جریمه تاخیر روزانه | ۰/۵۷ | ۰/۷۲ | ۰/۴۱ | ۰/۹۲ | ۰/۷۰ | ۱/۰۰ | ۰/۹۹ | ۰/۵۱ | ۱/۰۰ |
| نسبت طلب پیمانکار به کل مبلغ قرارداد | ۰/۵۲ | ۰/۶۹ | ۰/۳۲ | ۰/۹۳ | ۰/۶۸ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۴۶ | ۱/۰۰ |
| رتبه پیمانکاران داخلی و یا رتبه معادل پیمانکاران خارجی | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۰/۹۷ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ | ۱/۰۰ |
| ضریب مدیریتی مدیرعامل، مدیر پروژه و یا سرپرست کارگاه | ۰/۳۵ | ۰/۵۲ | ۰/۱۹ | ۰/۷۶ | ۰/۵۲ | ۰/۸۲ | ۰/۸۰ | ۰/۳۲ | ۱/۰۰ |
| مینیمم مقادیر هر معیار | ۰/۳۵ | ۰/۵۲ | ۰/۱۹ | ۰/۷۶ | ۰/۵۲ | ۰/۸۲ | ۰/۸۰ | ۰/۳۲ | ۱/۰۰ |
| وزن نرمال شده هر معیار | ۰/۰۶۷ | ۰/۰۹۸ | ۰/۰۳۶ | ۰/۱۴۴ | ۰/۰۹۹ | ۰/۱۵۶ | ۰/۱۵۱ | ۰/۰۶۰ | ۰/۱۸۹ |

گنجانده می‌شوند و سپس، نمره هر پیمانکار در هر معیار و بدون در نظر گرفتن وزن آن معیار در این مرحله مشخص می‌شود.

نحوه پر کردن جدول نیز به دو صورت است. درصورتی‌که امتیاز مربوطه مانند درصد پیشرفت به صورت مشخص تعیین شده باشد، عیناً عدد و یا امتیاز مذکور ذکر می‌شود و اگر امتیاز به‌صورت طیف در نظر گرفته شده باشد، مانند ضریب مدیریتی، مدیر پروژه که یک عدد بین ۱ تا ۵ در نظرگرفته شده است، امتیاز مورد نظر در جدول قرار داده می‌شود. جدول (۴) امتیازات در نظر گرفته شده برای هر پیمانکار و برای هر معیار را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است حدود امتیازات و طیف‌های تعریف‌شده برای امتیاز هر معیار باید از قبل تعریف و در اختیار پرسش‌شوندگان قرار گیرد. از آنجایی که این امتیازات در مراحل بعدی نرمال خواهند شد، بنابراین، اختلاف سطوح آن‌ها تأثیری در محاسبات ندارد.

**جدول ٤ـ تخصیص مقادیر معیارها به پیمانکاران**

| معیارها | موقعیت پیمانکار در منحنی پیشرفت قرارداد | میانگین پیشرفت شش ماه گذشته | میزان وابستگی به واردات | وضعیت اثر گذاری بر مسیر بحرانی | سطح عمومیت در پروژه | میزان جریمه تاخیر روزانه | نسبت طلب پیمانکار به کل مبلغ قرارداد | رتبه پیمانکاران داخلی و یا رتبه معادل پیمانکاران خارجی | ضریب مدیریتی مدیرعامل، مدیر پروژه و یا سرپرست کارگاه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پیمانکار ۱ | ۱ | ۲/۳۲ | ۰/۵ | ۳ | ۱ | ۱۰۰۰ | ۲ | ۱ | ۱ |
| پیمانکار ۲ | ۲ | ۳/۲۵ | ۱ | ۳ | ۱ | ۸۵۰۰ | ۲ | ۱/۵ | ۳ |
| پیمانکار ۳ | ۳ | ۲/۵ | ۱ | ۱ | ۴ | ۰ | ۶ | ۲ | ۳ |
| پیمانکار ۴ | ۲/۵ | ۰/۵ | ۰/۵ | ۳ | ۱ | ۶۵۴ | ۲ | ۱/۵ | ۵ |
| پیمانکار ۵ | ۴ | ۰/۰۵۶ | ۲ | ۵ | ۱ | ۱۲۰۰۰ | ۲ | ۲ | ۴ |
| پیمانکار ۶ | ۳ | ۲/۲ | ۳ | ۱ | ۴ | ۶۰۰ | ۲ | ۲ | ۱ |
| پیمانکار ۷ | ۳ | ۳/۸ | ۳ | ۳ | ۲ | ۲۵۰۰ | ۴ | ۱/۵ | ۱ |
| پیمانکار ۸ | ۲/۵ | ۰/۰۴ | ۲ | ۳ | ۱ | ۸۰۰۰ | ۲ | ۱ | ۴ |
| پیمانکار ۹ | ۲/۵ | ۲/۵ | ۳ | ۵ | ۱ | ۰ | ۶ | ۱/۵ | ۲ |
| پیمانکار ۱۰ | ۳ | ۵/۲ | ۰/۵ | ۱ | ۴ | ۳۷۵۰ | ۴ | ۲ | ۳ |

Archive of SID

www.SID.ir

پس از تخصیص امتیازات به معیارها به ازاء هر پیمانکار و تکمیل جدول خام اولیه در مرحله بعدی باید با استفاده از روش TOPSIS بر این داده‌ها پردازش صورت گرفته و پیمانکاران را اولویت‌بندی کند. براساس گام اول متدولوژی ارائه‌شده در بخش ۲-۲ می‌بایست امتیازات و یا اعداد جدول بی‌مقیاس گردند که این کار با استفاده از رابطه (۱۲) در بخش مذکور ارائه می‌شود. همان‌گونه که از رابطه بر می‌آید ابتدا باید مجموع مربعات معیارها را به‌دست آورده و سپس هر امتیاز را بر مجموع مربعات معیار مرتبط با آن تقسیم کرد. با این کار، اختلاف سطح معیارها از بین رفته و تمام امتیازات بر مبنای یک عدد بین صفر و یک در نظر گرفته شده و به اصطلاح داده‌ها نرمال‌سازی می‌شوند. محاسبات انجام شده برای مسأله ما در جدول (۵) نشان داده شده است.

**جدول ۵ـ محاسبه مربع معیارها و بی‌مقیاس نمودن ماتریس تصمیم**

| معیارها | موقعیت پیمانکار در منحنی پیشرفت قرارداد | میانگین پیشرفت شش ماه گذشته | میزان وابستگی به واردات | وضعیت اثرگذاری بر مسیر بحرانی | سطح عمومیت در پروژه | میزان جریمه تاخیر روزانه | نسبت طلب پیمانکار به کل مبلغ قرارداد | رتبه پیمانکاران داخلی و یا رتبه معادل پیمانکاران خارجی | ضریب مدیریتی مدیرعامل، مدیر پروژه و یا سرپرست کارگاه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پیمانکار ۱ | ۰/۱۱ | ۰/۲۷ | ۰/۰۸ | ۰/۳۰ | ۰/۱۳ | ۰/۰۶ | ۰/۱۸ | ۰/۱۹ | ۰/۱۰ |
| پیمانکار ۲ | ۰/۲۳ | ۰/۳۸ | ۰/۱۶ | ۰/۳۰ | ۰/۱۳ | ۰/۴۹ | ۰/۱۸ | ۰/۲۹ | ۰/۳۱ |
| پیمانکار ۳ | ۰/۳۴ | ۰/۲۹ | ۰/۱۶ | ۰/۱۰ | ۰/۵۳ | ۰/۰۰ | ۰/۵۳ | ۰/۳۸ | ۰/۳۱ |
| پیمانکار ۴ | ۰/۲۹ | ۰/۰۶ | ۰/۰۸ | ۰/۳۰ | ۰/۱۳ | ۰/۰۴ | ۰/۱۸ | ۰/۲۹ | ۰/۵۲ |
| پیمانکار ۵ | ۰/۴۶ | ۰/۰۱ | ۰/۳۳ | ۰/۵۱ | ۰/۱۳ | ۰/۶۹ | ۰/۱۸ | ۰/۳۸ | ۰/۴۲ |
| پیمانکار ۶ | ۰/۳۴ | ۰/۲۵ | ۰/۴۹ | ۰/۱۰ | ۰/۵۳ | ۰/۰۳ | ۰/۱۸ | ۰/۳۸ | ۰/۱۰ |
| پیمانکار ۷ | ۰/۳۴ | ۰/۴۴ | ۰/۴۹ | ۰/۳۰ | ۰/۲۶ | ۰/۱۴ | ۰/۳۵ | ۰/۲۹ | ۰/۱۰ |
| پیمانکار ۸ | ۰/۲۹ | ۰/۰۰ | ۰/۳۳ | ۰/۳۰ | ۰/۱۳ | ۰/۴۶ | ۰/۱۸ | ۰/۱۹ | ۰/۴۲ |
| پیمانکار ۹ | ۰/۲۹ | ۰/۲۹ | ۰/۴۹ | ۰/۵۱ | ۰/۱۳ | ۰/۰۰ | ۰/۵۳ | ۰/۲۹ | ۰/۲۱ |
| پیمانکار ۱۰ | ۰/۳۴ | ۰/۶۰ | ۰/۰۸ | ۰/۱۰ | ۰/۵۳ | ۰/۲۲ | ۰/۳۵ | ۰/۳۸ | ۰/۳۱ |

Archive of SID

www.SID.ir

**جدول ۶ـ وزن‌دار کردن ماتریس تصمیم و تعیین راه‌حل‌های ایده‌آل و ضدایده‌آل**

| معیارها | موقعیت پیمانکار در منحنی پیشرفت قرارداد | میانگین پیشرفت شش ماه گذشته | میزان وابستگی به واردات | وضعیت اثرگذاری بر مسیر بحرانی | سطح عمومیت در پروژه | میزان جریمه تاخیر روزانه | نسبت طلب پیمانکار به کل مبلغ قرارداد | رتبه پیمانکاران داخلی و یا رتبه معادل پیمانکاران خارجی | ضریب مدیریتی مدیرعامل، مدیر پروژه و یا سرپرست کارگاه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پیمانکار ۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۰ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۲ |
| پیمانکار ۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۰۸ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۶ |
| پیمانکار ۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۵ | ۰/۰۰ | ۰/۰۸ | ۰/۰۲ | ۰/۰۶ |
| پیمانکار ۴ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۱۰ |
| پیمانکار ۵ | ۰/۰۳ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ | ۰/۱۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۸ |
| پیمانکار ۶ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ | ۰/۰۱ | ۰/۰۵ | ۰/۰۱ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ |
| پیمانکار ۷ | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۵ | ۰/۰۲ | ۰/۰۲ |
| پیمانکار ۸ | ۰/۰۲ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۴ | ۰/۰۱ | ۰/۰۷ | ۰/۰۳ | ۰/۰۱ | ۰/۰۸ |
| پیمانکار ۹ | ۰/۰۲ | ۰/۰۳ | ۰/۰۲ | ۰/۰۷ | ۰/۰۱ | ۰/۰۰ | ۰/۰۸ | ۰/۰۲ | ۰/۰۴ |
| پیمانکار ۱۰ | ۰/۰۲ | ۰/۰۶ | ۰/۰۰ | ۰/۰۱ | ۰/۰۵ | ۰/۰۳ | ۰/۰۵ | ۰/۰۲ | ۰/۰۶ |
| حل ایده‌آل | ۰/۰۳ | ۰/۰۶ | ۰/۰۲ | ۰/۰۷ | ۰/۰۵ | ۰ | ۰/۰۸ | ۰/۰۲ | ۰/۱۰ |
| حل ضد ایده‌آل | ۰/۰۰۸ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۰۳ | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۱۳ | ۰/۰۰۰ | ۰/۰۲۷ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۲۰ |

در گام دوم مطابق با رابطه (۱۳) ماتریس وزن دار می‌شود. درواقع، در این مرحله اهمیت هر معیار که در روش FAHP تعیین شده بود در امتیاز نرمال شده هر پیمانکار اثر داده می‌شود و در گام بعدی یا سوم با استفاده از رابطه‌های ارائه‌شده در (۱۴) و (۱۵) جواب‌های ایده‌آل مثبت و منفی محاسبه می‌شوند. همان‌گونه که در سطور بالا تشریح شد، اساس روش TOPSIS بر مبنای فاصله جواب‌ها نسبت به جواب‌های ایده‌آل و ضد ایده‌آل است. ماتریس تصمیم وزن‌دار و راه‌حل‌های ایده‌آل و ضدایده‌آل مسأله مورد بررسی در جدول (۶) ارائه شده است.

براساس متدولوژی ارائه‌شده در بخش سوم در گام چهارم روش TOPSIS باید فاصله هریک از آلترناتیوها نسبت به جواب‌های ایده‌آل و ضدایده‌آل تعیین شود. این کار با استفاده از رابطه‌های (۱۶) و (۱۷) به‌دست می‌آید. در گام پنجم و با استفاده از رابطه (۱۸)

Archive of SID
www.SID.ir

نزدیکی نسبی هر آلترناتیو نسبت به جواب ایده‌آل استخراج می‌شود. واضح است آلترناتیوی که بیش‌ترین نزدیکی به جواب ایده‌آل را داشته باشد، مطلوبیت بیش‌تری داشته و اولویت بالاتری دارد. در نتیجه، همان‌گونه که در جدول (۷) نشان داده شده است، رتبه هر پیمانکار براساس نزدیکی امتیاز آن به راه‌حل ایده‌آل تعیین می‌شود. به‌عنوان مثال پیمانکار پنج که بیش‌ترین امتیاز (۰/۴۲۴) را در بین سایر پیمانکار از نظر نزدیکی به جواب ایده‌آل دارا است به‌عنوان پیمانکار نخست و به همین ترتیب، پیمانکار ۱ با ۰/۱۸۶ امتیاز در پایین‌ترین رتبه قرار می‌گیرد و به‌عنوان دهمین پیمانکار در سیستم رتبه‌بندی ما تعیین می‌شود.

همان‌گونه که در بخش سوم تشریح شد، گام‌های حل این مسأله شامل سه مرحله است. در مرحله اول، با استفاده از روش FAHP اهمیت هر معیار مشخص می‌شود. در مرحله دوم، با استفاده از روش TOPSIS پیمانکاران اولویت‌بندی شده و در مرحله سوم باید براساس یک روش پیشنهادی که در بخش ۳ تشریح شده است، منابع محدود بین پیمانکاران توزیع شود.

**جدول ۷ـ محاسبه رتبه پیمانکاران براساس روش TOPSIS**

| معیارها | فاصله از حل ضد ایده‌آل | فاصله از حل ایده‌آل | امتیاز نهایی | رتبه |
|---|---|---|---|---|
| پیمانکار ۱ | ۰/۰۴ | ۰/۱۷ | ۰/۱۸۶ | ۱۰ |
| پیمانکار ۲ | ۰/۱۰ | ۰/۱۷ | ۰/۳۶۴ | ۴ |
| پیمانکار ۳ | ۰/۰۸ | ۰/۱۵ | ۰/۳۶۷ | ۳ |
| پیمانکار ۴ | ۰/۰۹ | ۰/۱۹ | ۰/۳۱۱ | ۸ |
| پیمانکار ۵ | ۰/۱۴ | ۰/۱۹ | ۰/۴۲۴ | ۱ |
| پیمانکار ۶ | ۰/۰۵ | ۰/۱۶ | ۰/۲۵۲ | ۹ |
| پیمانکار ۷ | ۰/۰۷ | ۰/۱۵ | ۰/۳۱۰ | ۷ |
| پیمانکار ۸ | ۰/۱۰ | ۰/۱۸ | ۰/۳۵۵ | ۵ |
| پیمانکار ۹ | ۰/۰۹ | ۰/۱۶ | ۰/۳۵۴ | ۶ |
| پیمانکار ۱۰ | ۰/۰۹ | ۰/۱۵ | ۰/۳۸۶ | ۲ |

در مسأله عددی پیش رو پس از انجام گام‌های اول و دوم مبغ ۱۵۱۸ میلیون ریال از منابع مالی باید بین ده پیمانکار توزیع شود. در جدول (۸) پیمانکاران به همراه مبلغ صورت‌وضعیت

Archive of SID
www.SID.ir

دوره‌ای خود به‌ترتیب اولویت مرتب شده‌اند. در گام اول الگوریتم به میزان ۲۰ درصد از مبلغ هر صورت وضعیت به تمام پیمانکاران تخصیص یافته است و ۵۸۹ میلیون ریال از بودجه در دست کسر شد. از مجموع ۹۲۹ میلیون ریال منابع باقیمانده به میزان ۸۰ درصد از طلب هر پیمانکار به‌ترتیب اولویت به آن‌ها تخصیص یافت تا این‌که در پیمانکار اولویت چهارم (پیمانکار ۲) این مبلغ، سهم ۸۰ درصد باقیمانده (۳۷۵ میلیون ریال) از طلب پیمانکار مربوطه را پوشش نداده و تنها بخشی از آن (به میزان باقیمانده بودجه در دست) به پیمانکار اختصاص یافته است. واضح است پیمانکاران بعد از اولویت چهارم نیز سهمی از بودجه در دست به‌جز ۲۰ درصد اولیه نخواهند داشت. جدول (۸) بودجه تخصیص یافته شده به هر پیمانکار را نشان می‌دهد. همان‌طورکه از ستون آخر جدول قابل استنباط است

پیمانکاران اول تا سوم به میزان ۱۰۰ درصد، پیمانکار اولویت چهارم به میزان ۹۵ درصد و سایر پیمانکاران نیز به میزان ۲۰ درصد از مبالغ صورت وضعیت‌های خود را دریافت کرده‌اند.

**جدول ۸ـ پیاده‌سازی الگوریتم تخصیص منابع بین پیمانکاران**

| ترتیب پیمانکاران | مبلغ صورت وضعیت | ۲۰ درصد صورت وضعیت | ۸۰ درصد صورت وضعیت | تخصیص بابت ۲۰ درصد | تخصیص بابت ۸۰ درصد | تخصیص کل |
|---|---|---|---|---|---|---|
| پیمانکار ۵ | ۵۶۵ | ۱۱۳ | ۴۵۲ | ۱۱۳ | ۴۵۲ | ۵۶۵ |
| پیمانکار ۱۰ | ۱۱۰ | ۲۲ | ۸۸ | ۲۲ | ۸۸ | ۱۱۰ |
| پیمانکار ۳ | ۴۶ | ۹ | ۳۷ | ۹ | ۳۷ | ۴۶ |
| پیمانکار۲ | ۴۶۹ | ۹۴ | ۳۷۵ | ۹۴ | ۳۵۲ | ۴۴۶ |
| پیمانکار ۸ | ۹۱۱ | ۱۸۲ | ۷۲۹ | ۱۸۲ | ۰ | ۱۸۲ |
| پیمانکار ۹ | ۱۷ | ۳ | ۱۴ | ۳ | ۰ | ۳ |
| پیمانکار ۷ | ۳ | ۱ | ۲ | ۱ | ۰ | ۱ |
| پیمانکار ۴ | ۲۵۵ | ۵۱ | ۲۰۴ | ۵۱ | ۰ | ۵۱ |
| پیمانکار ۶ | ۱۶۸ | ۳۴ | ۱۳۴ | ۳۴ | ۰ | ۳۴ |
| پیمانکار ۱ | ۴۰۲ | ۸۰ | ۳۲۲ | ۸۰ | ۰ | ۸۰ |
| جمع کل | ۲,۹۴۶ | ۵۸۹ | ۲۳۵۷ | ۵۸۹ | ۹۲۹ | ۱۵۱۸ |
| بودجه در دست | ۱۵۱۸ | | | | | |

Archive of SID

www.SID.ir

## جمع‌بندی و ملاحظات

هدف این مقاله ارائه یک روش جهت تخصیص منابع محدود به پیمانکاران در پروژه‌های اجرایی است. در این تحقیق ابتدا با استفاده از نظر خبرگان معیارهای مؤثر بر تصمیم‌گیری جهت تخصیص بودجه به پیمانکاران مشخص شد. در گام بعدی با استفاده از روش FAHP تأثیر هریک از معیارها بر این فرآیند تعیین شده و سپس در گام بعد، با استفاده از روش TOPSIS پیمانکاران براساس معیارهای فوق اولویت‌بندی شدند و در انتها با استفاده از یک روش پیشنهادی منابع محدود بین پیمانکاران توزیع گردید. در این مقاله، با ارائه یک مسأله عملی واقعی، در بین ده پیمانکار فعال در یکی از پروژه‌های پالایشگاهی کشور به رتبه‌بندی آن‌ها براساس فاکتورهای مشخص شده پرداخته شده و مقدار مشخصی از منابع به بهترین شکل بین آن‌ها توزیع شد.

همان‌گونه‌که پیش‌تر تشریح گردید، ترکیب روش‌های فوق و استفاده از روش پیشنهادی برای تخصیص منابع یک متدولوژی جدید در اختیار مدیران و تصمیم‌گیران قرار خواهد داد. با این‌حال می‌توان روش ارائه‌شده در این مقاله را توسعه داده و در مسائل کاربردی جدید اعمال کرد. برخی پیشنهادهای توسعه‌ای عبارتند از استفاده از TOPSIS فازی و سایر روش‌های تصمیم‌گیری برای حالت‌هایی که امکان امتیازدهی به‌صورت دقیق مشخص نباشد، توسعه روش پیشنهادی ارائه‌شده در این مقاله و در نظر گرفتن پیچیدگی‌های عملیاتی اجرا و همچنین در نظر گرفتن بودجه در دست پروژه به‌صورت عدم قطعی که در دنیای واقعی بسیار محتمل است.

Archive of SID

www.SID.ir

## منابع


Ayhan, M.B. and H.S. Kilic (2015); "A Two Stage Approach for Supplier Selection Problem in Multi-Supplier Environment with Quantity Discounts", *Computers & Industrial Engineering*, doi: http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2015.02.026

Beikkhakhian, Y.; Javanmardi, M.; Karbasian, M. and B. Khayambashi (2015); "The Application of ISM Model in Evaluating Agile Supplier's Selection Criteria and Ranking Suppliers Using Fuzzy TOPSIS-AHP Methods", *Expert Systems with Applications*, no.42, pp. 6224-6236.

Buckley, J. J. (1985); "Fuzzy Hierarchical Analysis", *Fuzzy Sets and Systems*, no.17, pp.233–247.

Cebeci, U. (2009); "Fuzzy AHP-Based Decision Support System for Selecting ERP Systems in Textile Industry by Using Balanced Scorecard", *Expert Systems with Applications*, no.36, pp. 8900-8909.

Celik, M.; Er, I. D. and A. F. Ozok (2009); "Application of Fuzzy Extended AHP Methodology on Shipping Registry Selection: The Case of Turkish Maritime Industry", *Expert Systems with Applications*, no.36, pp.190-198.

Chang, D. Y. (1996); "Applications of the Extent Analysis Method on Fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, no.95, pp. 649–655.

Chang, N. B.; Chang, Y. H. and H. W. Chen (2009); "Fair Fund Distribution for a Municipal Incinerator Using GIS-based Fuzzy Analytic Hierarchy Process", *Journal of Environmental Management*, no.90, pp.441-454.

Deng, H.; Yeh, C. H.; and R. J. Willis (2000); "Inter-company Comparison Using Modified TOPSIS with Objective Weights", *Computers & Operations Research*, no.27, pp.963–973.

Ertuğrul, İ. and N. Karakaşoğlu (2009); "Performance Evaluation of Turkish Cement Firms with Fuzzy Analytic Hierarchy Process and TOPSIS Methods", *Expert Systems with Applications*, no.36, pp.702–715.

Feng, C. M. and R. T. Wang (2000); "Performance Evaluation for Airlines Including the Consideration of Financial Ratios", *Journal of Air Transport Management*, no.6, pp. 133-142.

Gumus, A. T. (2009); "Evaluation of Hazardous Waste Transportation Firms by Using a Two-step Fuzzy-AHP and TOPSIS Methodology", *Expert Systems with Applications*, no.36, pp.4067–4074.

Holt G. D.; Olomolaiye, P.O. and F. C. Harris (1995); "A Review of Contractor Selection Practice in the UK Construction Industry", *Building and Environment*, no.30(4), pp.553-561

Holt, G.D. (1998); "Which Contractor Selection Methodology?" *International Journal of Project Management*, no.16(3), pp.153-164


Archive of SID

www.SID.ir

Holt, G.D. (2010); "Contractor Selection Innovation: Examination of Two Decades' Published Research", *Construction Innovation: Information, Process, Management, no.*10(3), pp.304-328

Hwang, C. L. and K. Yoon (1981); Multiple Attributes Decision Making Methods and Application, *Springer*, Berlin Heidelberg.

Ibadov, N. (2015); "Contractor Selection for Construction Project, with the Use of Fuzzy Preference Relation", *Procedia Engineering*, no.111, pp.317-323

Kahraman, C.; Ruan, D. and I. Dogan (2003); "Fuzzy Group Decision-making for Facility Location Selection", *Information Sciences*, no.157, pp.135–153.

Kusumawardani, R.P. and M. Agintiara (2015); "Application of Fuzzy AHP-TOPSIS Method for Decision Making in Human Resource Manager Selection Process", *Procedia Computer Science*,no. 72, pp. 638-646

Kog, F. and H. Yaman (2014); "A Meta Classification and Analysis of Contractor Selection and Prequalification", *Procedia Engineering*, no.85, pp.302-310.

Kumaraswamy, M. M. (1996); "Contractor Evaluation and Selection: a Hong Kong Perspective", *Building and Environment*, no.31(3), pp.273-282.

Lathman, S. M. (1994) Constructing the Team: Joint Review of Procurement and Contractual Arrangement in the United Kingdom Construction Industry, London; HSMO.

Lee, A. H. I.; Chen, W. C.; Chang, C. J. (2008a); "A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan", *Expert Systems with Applications*, 34, pp. 96–107.

Lee, S. K.; Mogi, G.; Kim, J. W. and B. J. Gim (2008b); "A Fuzzy Analytic Hierarchy Process Approach for Assessing National Competitiveness in the Hydrogen Technology Sector", *International Journal of Hydrogen Energy*, no.33, pp.6840-6848.

Lin, M. C.; Wang, C. C.; Chen, M. S. and C. A. Chang (2008); "Using AHP and TOPSIS Approaches in Customer-driven Product Design Process", *Computers in Industry*, no.59, pp.17–31.

Naghadehi, M. Z.; Mikaeil, R. and M. Ataei (2009); "The Application of Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP) Approach To Selection of Optimum Underground Mining Method for Jajarm Bauxite Mine, Iran", *Expert Systems with Applications*, no.36, pp. 8218-8226.

Önüt, S. and S. Soner (2008); "Transshipment Site Selection Using the AHP and TOPSIS Approaches Under Fuzzy Environment", *Waste Management*, no.28, pp.1552–1559.

Prakash, C. and M.K. Barua (2015); "Integration of AHP-TOPSIS Method for Prioritizing the Solutions of Reverse Logistics Adoption to Overcome Its Barriers under Fuzzy Environment", *Journal of Manufacturing Systems*, no.37, pp. 599-615.

Russel, J.S. (1992); "Decision Models for Analysis and Evaluation of Construction Contractors", *Construction Management and Economics*, no.10(3), pp.185-202.

Archive of SID

www.SID.ir

Sawalhi, N. EL.; Eaton, D. and R. Rustom (2007); "Contractor Pre-qualification Model: State-of-art", *International Journal of Project Management*, no.25 (5), pp.465-474.

Serami, M.; Mousavi, S. F. and A. Sanayei (2009); "TQM Consultant Selection in SMEs with TOPSIS under Fuzzy Environment", *Expert Systems with Applications*, no.36, pp. 2742–2749.

Shyur, H. J. and H. S. Shih (2006); "A Hybrid MCDM Model for Strategic Vendor Selection", *Mathematical and Computer Modelling*, no.44, pp. 749-761.

SLUB (2013); http://www.slib-dresden.de/recherche/datenquellenLst. Acc.:29.11.2013

Taylan, O.; Kabli, M.R.; Saeedpoor, M. and A. Vafadarnikjoo (2015); "Commentary on Construction Projects Selection and Risk Assessment by Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methodologies", *Applied Soft Computing*, no.36, pp. 419-421.

Tiryaki, F. and B. Ahlatcioglu (2009); "Fuzzy Portfolio Selection Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process", *Information Sciences*, no.179, pp. 53-69.

Van Laarhoven, P. J. M. and W. Pedrycz (1983); "A Fuzzy Extension of Saaty's Priority Theory", *Fuzzy Sets and Systems*, no.11, pp. 199-227.

Wang, T. C. and T. H. Chang (2007); "Application of TOPSIS in Evaluating Initial Training Aircraft under a fuzzy Environment", *Expert Systems with Applications*, no.33, pp. 870–880.

Wang, Y. J. (2008); "Applying FMCDM To Evaluate Financial Performance of Domestic Airlines in Taiwan", *Expert Systems with Applications*, no.34, pp. 1837-1845.

Wang, Y. M. and T. M. S. Elhag (2006); "Fuzzy TOPSIS Method Based on Alpha Level Sets with an Application to Bridge Risk Assessment", *Expert Systems with Applications*, no.31, pp.309–319.

Webber, S. A.; Apostolou, B. and J. M. Hassell (1996); "The Sensitivity of the Analytic Hierarchy Process to Alternative Scale and Cue Presentations", *European Journal of Operational Research*, no.96, pp.351-362.

Wu, F. G.; Lee, Y. J. and M. C. Lin (2004); "Using the Fuzzy Analytic Hierarchy Process on Optimum Spatial Allocation", *International Journal of Industrial Ergonomics*, no.33, pp.553–569.

Wu, H. Y.; Tzeng, G. H. and Y. H. Chen (2009); "A Fuzzy MCDM Approach for Evaluating Banking Performance Based on Balanced Scorecard", *Expert Systems with Applications*, no.36(6), pp.10135-10147.

Yang, T. and C. C. Hung (2007); "Multiple-attribute Decision Making Methods for Plant Layout Design Problem", *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, no.23, pp.126–137.

Yoon, K. and C. L. Hwang (1985); "Manufacturing Plant Location Analysis by Multiple Attribute Decision Making: Part II. Multi-plant Strategy and Plant Relocation". *International Journal of Production Research*, no.23(2), pp. 361–370.

Zahedi, F. (1986); "The Analytic Hierarchy Process: A Survey of the Method and Its

Archive of SID

www.SID.ir

Applications", *Interface*, no.16, pp.96-108.

Zare, k.; Mehri, J. and S. Karimi (2015); "A SWOT Framework for Analyzing the Electricity Supply Chain Using an Integrated AHP Methodology Combined with Fuzzy-TOPSIS", *International Strategic Management Review*, no.3, pp. 66-80

Archive of SID

www.SID.ir