ارزیابی و انتخاب پیمانکار بر پایه روش تصمیم گیری چند معیاره VIKOR با رویکرد فازی

سیامک ریاحی پور
دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی و مدیریت ساخت ،دانشگاه آزاد اسلامی ،واحد علوم و تحقیقات خوزستان
s.riahipour@khouzestan.srbiau.ac.ir

دکتر عبدالکریم عباسی دزفولی
استادیار دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان
a.abassid@khouzestan.srbiau.ac.ir

واژه های کلیدی
انتخاب پیمانکار ، مناقصه ، تصمیم گیری چند معیاره ، ویکور فازی ، FUZZY ، VIKOR

چکیده

موفقیت پروژه های عمرانی عمدتا منوط به انتخاب پیمانکار مناسب است. از این روی گزینش پیمانکار مناسب غالبا از چالش برانگیز ترین تصمیمات کلیدی در حوزه برونسپاری پروژه ها تعریف می شود. کارفرمایان و سرمایه گذاران عرصه ساخت ، همواره با ترجیح کمترین قیمت پیشنهادی بر دیگر مزیت های پیمانکاران ، به رغم نتایج ضعیف این رویکرد ،کوشیده اند تا از ریسکهای مناقصه و نیز هزینه های پروژه بکاهند. این مقاله نخست با مرور تحقیقات گذشته پیرامون معیارهای گزینش پیمانکار ، به اهمیت معیار های کیفی در مقایسه با کمترین قیمت پیشنهادی پرداخته و در ادامه لزوم تاثیر همزمان این معیارها را در تعیین برنده مناقصه واکاوی می کند .

سپس مدل پیشنهادی ارزیابی و انتخاب پیمانکار بر پایه روش تصمیم گیری چند معیاره VIKOR با رویکرد فازی ، به عنوان یک ابزار تصمیم گیری سازشی (توافقی) با قابلیت تاثیر همزمان معیار های کمی و کیفی ارایه شده و در پایان ،کارکرد این مدل پیشنهادی به همراه یک مثال عددی تشریح می گردد.

۱-مقدمه

موفقیت پروژه های عمرانی عمدتا منوط به انتخاب پیمانکار مناسب است. از آنجا که گزینش پیمانکار از جمله تصمیمات کلیدی در چرخه حیات پروژه است ، کارفرمایان و سرمایه گذاران عرصه ساخت و ساز همواره با اتخاذ سیاستهای ویژه کوشیده اند از ریسک این تصمیم گیری استراتژیک بکاهند.

در این میان، برگزاری مناقصه و برگزیدن پیمانکار بر مبنای کمترین قیمت پیشنهادی سنتی ترین استراتژی تاریخی کارفرمایان در جهت کمینه ساختن ریسک برونسپاری پروژه ها بوده تا آنجا که این روش همچنان از جمله رویکردهای متداول و بلا رقیب در بسیاری از کشور ها و از جمله ایران است [۱].

در یک نگرش کلی ، روند انتخاب پیمانکار برگزیدن مناسب ترین گزینه برای انجام پروژه است به نحوی که بتوان با توسل به آن حصول بهترین ارزش مالی را در زمان معین تضمین کرد [۲].

چنانچه تعریف اخیر را بپذیریم ، پذیرش پیشنهاد بر مبنای کمترین قیمت ، هرچند ممکن است که در ظاهر ، کاهش هزینه های دوره ساخت را به همراه داشته باشد ، اما یافته های تجربی حاکی از آن است که جمع هزینه های ناشی از تقلیل کیفیت و کاهش عمر اقتصادی متاثر از آن ، در دراز مدت از ارزش مالی طرح کاسته و این به نوبه خود ، تاثیر کاهش هزینه های احتمالی را کمرنگ خواهد ساخت [۵-۳].

۲- روشهای انتخاب پیمانکار

۲-۱- کمترین قیمت پیشنهادی

اگرچه در طول یک و نیم قرن اخیر ایده انتخاب پیمانکار بر مبنای کمترین قیمت پیشنهادی از جمله متداولترین روشهای انتخاب پیمانکار بوده است ، اما نتایج بیشتر تحقیقات انجام شده در کشورهای مختلف عمق ناکارآمدی و لزوم بازنگری در این سازوکار و روشهای برگرفته از آن را نشان می دهد[۶].

سیاستگذاران اقتصادی ایالات متحده در قرن نوزدهم ، با انگیزه صرفه جویی در مصرف منابع مالی و پیشگیری از نهادینه شدن افراط و فساد مالی و نیز در جهت تضمین سود قطعی پروژه ، کمترین قیمت پیشنهادی را مبنای انتخاب پیمانکاران ساخت بزگراه و پل های ایالت نیویورک قراردادند[۱].

نتایج بیشتر تحقیقات منتشر شده بیانگر آن است که ناتمام ماندن پروژه های عمرانی عمدتا ناشی از ناکارآمدی انتخاب بر پایه کمترین قیمت پیشنهادی است [۷] و برگزیدن پیمانکار مناسب موثر ترین گزینه ای است که با افزودن شانس موفقیت پروژه می تواند منافع کلی کارفرما و سرمایه گذاران را در سه فاکتور هزینه ، زمان و کیفیت تضمین نماید [۸].

معیار کمترین قیمت پیشنهادی هرچند در ظاهر کمترین هزینه را برای پروژه به ارمغان می آورد ولی در حقیقت به دلیل در نظر نگرفتن فاکتورهای موثر بر هزینه نهایی پروژه از جمله زمان و کیفیت ، عملا تضمینی برای ارزش اقتصادی پروژه ها نیست و خود منشا ریسک موثری در تقلیل کیفیت و تطویل زمان اجرای پروژه برای کارفرما است [۹].

هرچند به دنبال افزایش ناکامی های کارفرمایان ، در نتیجه اعتماد به شیوهٔ کمترین قیمت پیشنهادی ،روش اعمال این معیار به مرور دستخوش تحولاتی محتاطانه نظیر متوسط گرایی ، حذف قیمت های خارج از محدوده پذیرش آماری و حذف پیشنهاد های مالی نامناسب گردیده است ، اما از آنجا که ماهیت انتخاب پیمانکار بر مبنای یک معیار، پاسخگوی پیچیدگی های امروزین صنعت ساخت نیست ، به جرات می توان گفت که کمترین قیمت پیشنهادی ناتوان از تضمین منافع پروژه در برابر تمامی ریسک های مواجه بوده است [۸].

۲-۲- پیش ارزیابی

از اواسط دهه۱۹۴۰ میلادی،با مزدحم شدن بازار رقابت ، پیمانکاران ، صرف نظر از توانایی و معیارهای کیفی به منظور فائق آمدن بر رقیبان ناگزیر از ارائه پیشنهاد قیمتهای مخاطره آمیز بودند ، به امید آنکه با جبران منابع از دست رفته بوسیله افزایش قیمت ،طرح ادعا و شکایت ، بتوانند پروژه را به اتمام برسانند [۱۱].

عدم موفقیت ناشی از این رویه رقابتی و مشکلات عدیده پروژه های واگذار شده بر اساس کمترین قیمت پیشنهادی از یک سو و پیچیدگی و گستردگی پروژه های عمرانی در نتیجه پیشرفتهای نوین تکنولوژیک از سوی دیگر ، موجب شد تا نگاه به شیوه های مبتنی بر کمترین قیمت پیشنهادی ، با رویکرد پیش ارزیابی واقع بینانه تر گردد. اگرچه روش ارزیابی کیفی مناقصه گران به عنوان مکمل روش سنتی کمترین قیمت پیشنهادی در کنفرانس ۱۹۶۵ ASCE معرفی شد اما در عمل اواخر دهه ۱۹۸۰ میلادی را باید سر آغاز تدوین روشها و معیار های نوظهور غیر مالی در انتخاب پیمانکار دانست[۱۲،۱۳].

پیش ارزیابی فرآیندی است که طی آن صلاحیت مناقصه گران توسط کارفرما و بر اساس معیارهای تضمین کننده موفقیت پروژه ، احراز و مناقصه گران واجد صلاحیت لازم برای ارایه پیشنهاد مالی (و گاه فنی بازرگانی و مالی) فراخوانده می شوند [۱۰].

پیش ارزیابی مناقصه گران قبل از ارائه اسناد مناقصه و اخذ پیشنهاد های مالی نه تنها از مشارکت مناقصه گران فاقد صلاحیت می کاهد بلکه با کم شدن تعداد پیشنهاد های مالی نیز صرفه جویی در زمان و هزینه های بر گذاری مناقصه را به همراه خواهد داشت ، و بدین ترتیب فاصله زمانی میان احراز صلاحیت ها و اعلام برنده مناقصه به حداقل ممکن می رسد[۱۴].

نخستین گام در پیش ارزیابی مناقصه گران ، تعریف معیارهای ارزیابی و تعیین اهمیت نسبی آنهاست. طی دو دهه اخیر تحقیقات چشمگیری بر پایه متدلوژی توزیع پرسشنامه میان خبر گان و به کار گیری تکنیکهای آمار استنباطی صورت پذیرفته که بر اساس آن معیارهای ارزیابی مناقصه گران تعریف و ارزشیابی شده اند. از میان این تحقیقات به طور شاخص میتوان به موارد برشمرده در جدول (۱) اشاره نمود [۱۵].

معیار ارزیابی پیمانکاران	سازمان مدیریت (1385) [22]	Watt et al. (2009) [21]	Singh D. (2006) [20]	Shen et al. (2003) [19]	Palaneeswaran & Kumaraswamy (2001) [18]	Holt D.(1994) [7]	Hatush & Skitmore (1997) [5]	Russel (1992) [16]
	ایران	Australia	Singapore	China	Australia	UK	US	US
توانایی مالی	✓	✓	✓	✓	✓		✓	
سلامت مالی								✓
ثبات مالی						✓		✓
تجارب قبلی	✓		✓		✓	✓		✓
عملکرد پیشین	✓	✓	✓		✓	✓		✓
تجربه و دانش پرسنل کلیدی		✓					✓	
شهرت و اعتبار		✓					✓	
توانایی مدیریتی	✓	✓				✓	✓	
ساختار و سازمان پیمانکار		✓		✓	✓	✓		
منابع انسانی					✓			
مدیریت منابع						✓		
توانایی اجتماعی				✓				
توانایی و تجربه تامین کالا	✓	✓		✓				
سیستم مدیریت کیفیت		✓			✓			
توانایی فنی و برنامه ریزی	✓	✓					✓	
توانایی تجهیزاتی	✓				✓			
توانایی تکنولوژیک	✓	✓		✓				
خصوصیات ویژه قراردادی			✓					
معیارهای خاص پروژه			✓		✓			
مدیریت HSE		✓			✓		✓	
ظرفیت کاری آزاد	✓	✓						

جدول(۱) :معیار های اصلی ارزیابی کیفی مطرح شده در تحقیقات منتشر شده

بررسی های انجام شده توسط (Shen,L.Y. et al. 2006) بیانگر آن است که از میان ۴۵ معیار مورد پرسش از خبرگان صنعت ساخت و ساز چین ، معیارهای قیمت پیشنهادی، مدت ساخت ، تجربه انجام پروژه های مشابه و مدیریت کارگاهی در ردیف ۴ معیار پر اهمیت پروژه ها بوده است [۲۳] . خلاصه نتایج این تحقیق در جدول (۲) ارائه گردیده است. نتایج این بررسی آماری حاکی از آن است که هرچند منابع انسانی در بین ۱۰ معیار برتر قرار دارد، اما به دلیل کثرت جمعیت فعال چین درجه اهمیت کمتری نسبت به دیگر معیارها یافته است.علاوه بر این اختصاص جایگاه نهم به معیار برنامه ساخت گویای توسعه تجارب چینی ها در عملی ساختن تئوری های برنامه ریزی و حل ناهمگونی های مرتبط با این حوزه است.

جدول (۲): رتبه بندی معیارها [23](Shen,L.Y. et al. 2006)

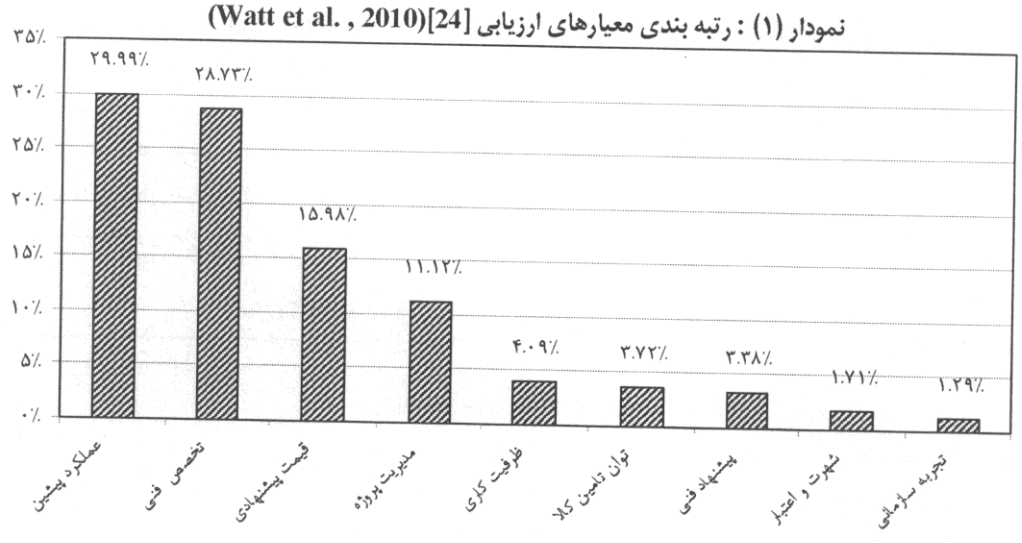
گروه ۱ پروژه های ساختمانی برق و تاسیسات		گروه ۲ راه ، راه آهن ، انتقال آب ،طرح های برق آبی و زیرساختهای شهری		گروه ۳ پروژه های نیرو ، معادن و ذوب فلزات ، پتروشیمی	
معیار	امتیاز	معیار	امتیاز	معیار	امتیاز
مدت ساخت	۸.۲۴	قیمت پیشنهادی	۸.۱۷	قیمت پیشنهادی	۸.۰۲
قیمت پیشنهادی	۸.۲۱	مدت ساخت	۸.۱۴	مدت ساخت	۷.۹۱
مدیریت کارگاهی	۷.۹۱	تجربه در پروژه مشابه	۷.۸۸	تجربه در پروژه مشابه	۷.۸۰
تجربه در پروژه مشابه	۷.۸۹	مدیریت کارگاهی	۷.۸۳	مدیریت کارگاهی	۷.۷۶
طرح کیفیت	۷.۴۹	طرح کیفیت	۷.۴۴	طرح تکنولوژیک	۷.۲۹
طرح تکنولوژیک	۷.۴۲	طرح تکنولوژیک	۷.۴۴	طرح کیفیت	۷.۲۲
ظرفیت تکنولوژیک	۷.۰۵	ظرفیت تکنولوژیک	۶.۹۹	ظرفیت تکنولوژیک	۶.۸۶
در دسترس بودن پرسنل کلیدی	۷.۰۱	در دسترس بودن پرسنل کلیدی	۶.۸۹	در دسترس بودن پرسنل کلیدی	۶.۷۲
برنامه ساخت	۶.۷۷	برنامه ساخت	۶.۷۴	برنامه ساخت	۶.۶۳
منابع انسانی موجود	۶.۶۲	منابع انسانی موجود	۶.۶۰	منابع انسانی موجود	۶.۴۹

در همین راستا بررسی های (Watt et al. , 2010) در استرالیا نشان دهنده آن است که هرچند از میان ۹ معیار اصلی پیش فرض تحقیق، سه معیار عملکرد پیشین ، تخصص فنی و قیمت پیشنهادی در نظر مدیران صنعت ساخت و ساز استرالیا بیشترین اهمیت نسبی را دارند و از این بین قیمت پیشنهادی در درجه سوم اهمیت قرار دارد. نمودار (۱) رتبه بندی معیارهای ارزیابی را در این بررسی نشان میدهد [۲۱،۲۴] .

(پاشاپور و دیگران،۱۳۸۸) ضمن انجام مطالعات آماری و گردآوری نظرات خبرگان ، با الگوبرداری از تحقیق , .Shen et al) (2006 ۱۵معیار مفروض را در سه گروه از پروژه های سه عاملی ایران (ساختمان، راه و ترابری و نیرو) ارزشیابی کرده اند [۲۵] .

نتایج این تحقیق که در جدول(۳) ارایه شده ، مبین آن است که توان مالی پیمانکار در پروژه های نیرو و راه و ترابری از بیشترین اهمیت نسبی برخوردار است .این موضوع صرف نظر از خصوصیات ویژه قراردادی و اجرایی در پروژه های حوزه راه و ترابری و نیرو می تواند متاثر از تجربه و ذهنیت رای دهندگان در سوابق جذب و تخصیص اعتبارات در این پروژه ها باشد.

نمودار (۱) : رتبه بندی معیارهای ارزیابی [24](Watt et al. , 2010)



اگرچه اتخاذ سیاست پیش ارزیابی توانسته تا حدودی از ریسک کارفرمایان در فرآیند مناقصه بکاهد ، لیکن همچنان معیار قطعی انتخاب پیمانکار از میان مناقصه گران حاضر در فهرست کوتاه ، در نهایت همان شاخص سنتی کمترین قیمت پیشنهادی است و به این ترتیب به رغم نتایج تحقیقات اخیر که مبین اهمیت هم ارز و گاه افزونتر برخی از معیارهای کیفی در مقابل در مقابل قیمت پیشنهادی است ، در عمل دامنه رقابت مناقصه گران پس از پیش ارزیابی ، به کمترین قیمت پیشنهادی محدود می شود.

برخی از کارفرمایان برای جبران خلاء ناشی از عدم تاثیر امتیازات پیش ارزیابی در تعیین برنده مناقصه ، سعی نموده اند با وزن دهی به معیار های کیفی و قیمت پیشنهادی و تراز نمودن قیمتها این نقیصه را جبران نمایند.

۲-۳- تصمیم گیری چند معیاره

علم تصمیم‌گیری یکی از زمینه‌های رو به رشد دانش بشری است وتصمیم‌گیری چند معیاره از شاخه‌های مهم این دانش به شمار می رود.

تصمیم‌گیری در مفهوم عام ، فرآیند انتخاب بهترین گزینه از میان گزینه‌های موجود در شرایطی است که صرفا یک معیار در انتخاب نقش دارد. در حالی که در تصمیم‌گیری چندمعیاره، انتخاب گزینه برتر با در نظر گرفتن اثر همزمان چندین معیار صورت می گیرد و لذا بیش از یک معیار در انتخاب گزینه برتر نقش می یابد که این معیارها می‌توانند جنبه های‌کمی یا کیفی، مثبت یا منفی داشته باشند. یافتن تکنیک های نوین برای حل مسائل تصمیم‌گیری تاکنون بسیار مورد توجه بوده و متد های بسیاری در این زمینه ارائه شده است.

ضرورت در نظر گرفتن همزمان عامل قیمت و عوامل مطلوبیت در گزینش پیمانکار ،در چهارچوب ایده فوق منجر به ورود تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره به مباحث ارزیابی و انتخاب پیمانکار گردیده است ، با این هدف که اتمام مطلوب یک پروژه در گرو انتخاب پیمانکاری است که دارای مناسب ترین ترکیب از تمام معیارها باشد.در شرایط پیچیده و همراه با عدم قطعیت در شناخت و وزن معیارها ، با تکیه بر تکنیک های تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) می توان انتخاب گزینه بهینه را بر مبنای آمیزه ای از چندین معیار کیفی و کمی مجزا و حتی متضاد فراهم آورد .

جدول(۳) : رتبه بندی معیار ها در پروژه های سه عاملی ایران (پاشاپور و دیگران ۱۳۸۹) [۲۵]

گروه ۱		گروه ۲		گروه ۳	
پروژه های ساختمانی برق و تاسیسات		راه ، راه آهن ، انتقال آب ،طرح های برق آبی و زیرساختهای شهری		پروژه های نیرو ،معادن و ذوب فلزات ،پتروشیمی	
معیار	امتیاز	معیار	امتیاز	معیار	امتیاز
قیمت پیشنهادی	۸.۸۴	توان مالی	۹.۰۶	توان مالی	۸.۴۲
توان مالی	۸.۶۳	توان تجهیزاتی	۸.۹۷	قیمت پیشنهادی	۸.۳۶
دانش و تجربه	۸.۴	قیمت پیشنهادی	۸.۷۲	توان تجهیزاتی	۸.۱۵
عملکرد پیشین	۸.۲۵	دانش و تجربه	۸.۳۶	توان فنی و تکنولوژیکی	۷.۹۱
توان تجهیزاتی	۷.۹	عملکرد پیشین	۷.۷۱	دانش و تجربه	۷.۶۳
نظام کیفیت	۷.۸۵	توان فنی و تکنولوژیکی	۷.۵۲	عملکرد پیشین	۷.۳۳
امتیاز ارزشیابی	۷.۵۵	سازمان مدیریت پروژه	۷.۲۴	نظام کیفیت	۷.۰۴
سازمان مدیریت پروژه	۷.۲۶	ظرفیت و صلاحیت های مدیریتی	۶.۸۸	ظرفیت و صلاحیت های مدیریتی	۶.۹۳
توان فنی و تکنولوژیکی	۷.۱۷	نظام کیفیت	۶.۷۵	سازمان مدیریت پروژه	۶.۷۸
ظرفیت و صلاحیت های مدیریتی	۶.۸۳	امتیاز ارزشیابی	۶.۳۲	HSE	۶.۵۹
ساختار سازمانی کارکنان	۶.۵۲	HSE	۶.۱۹	امتیاز ارزشیابی	۶.۴۷
HSE	۶.۴۸	ساختار سازمانی کارکنان	۶.۵۳	ساختار سازمانی کارکنان	۶.۲۹
شهرت و اعتبار	۶.۱۵	حجم و ظرفیت کاری	۵.۳	حجم و ظرفیت کاری	۵.۸۳
حجم و ظرفیت کاری	۵.۷۴	شهرت و اعتبار	۵.۱۷	شهرت و اعتبار	۵.۴۱
رتبه شرکت	۵.۴۰	رتبه شرکت	۴.۸۸	رتبه شرکت	۵.۳۳

جدول (۴) متضمن تعدادی از مدل های تصمیم گیری توسعه یافته برای انتخاب پیمانکار در تحقیقات بین المللی است [۲۶].در جدول(۵) نیز مدلهای تصمیم گیری انتخاب پیمانکار طرح شده در پژوهش های داخلی ارایه گردیده است.

جدول (۴): مدل های تصمیم گیری انتخاب پیمانکار در تحقیقات بین المللی[۲۶]

Preposed Model	Literature Review
Aggregated weighing	Russell and Skibniewski (1990)
Analytic Hierarchy Process (AHP)	AI-Subhi A1-Harbi (2001) ,Anagnostopoulos et al. (2004) , Fong and Choi (2000) , Topcu (2004)
Prequalification based on three groups of criteria	Palaneeswaran and Kumaraswamy(2001)
Dimensional weighting	Russell and Skibniewski (1988) , Sonmez et al. (2002)
Dimensional-wide strategy	Russell and Skibniewski (1988) , Sonmez et al. (2002)
Evidential Reasoning	Sonmez et al.. (2002)
Fuzzy sets model	Lin and Chen (2004), Nguyen (1985)
General Performance Model	Alacr6n and Mourges (2002)
Knowledge-intensive model	Russell et al. (1990)
Multi-attribute analysis	Holt et al.(1995b)
Multi-attribute utility theory	Hatush and Skitmore (1998)
Mul tiple regression method	Holt (1998)
Multivariate discriminant analysis	Holt (1998) , Skitmore and Marsden (1988)
Neural network model	Lam et al.. (2001) ; Khosrowshah (1999) ; Elazouni (2006),Palaneeswaran and Kumaraswamy (2005)
Risk analysis	Jaselskis and Russell (1992)
Simplified quality assessment	RICS (1997)

Subjective judgment	Russell and Skibniewski (1988) , Sonmez et al. (2002)
Two-step prequalification	Russell and Skibniewski (1988) , Sonmez et al. (2002)

جدول(۵): مدل های انتخاب پیمانکار در پژوهش های داخلی

مطالعات گذشته	مدل پیشنهادی
روانشاد نیا (۱۳۸۵) [۲۷]	SAW
رضوان قهفرخی(۱۳۸۵) [۲۸]	Fuzzy ELECTERE
میان آبادی(۱۳۸۵) [۲۹]	OWA
رجایی(۱۳۸۷) [۳۰]	Fuzzy SAW
درویش (۱۳۸۸) [۳۱]	Graph-Matrix theory
مروجی و محمدی پور(۱۳۸۸) [۳۲]	AHP& Topsis (Fuzzy)
صادقی (۱۳۸۸) [۳۳]	Fuzzy Approach
کرامتی و وکیلی(۱۳۸۸) [۳۴]	SIR
حیدری و عبدی (۱۳۸۹) [۳۵]	Fuzzy Delfi

۳- شرایط عدم قطعیت و رویکرد فازی

۱-۱ - مجموعه اعداد فازی

ارزیابی پیمانکار بر اساس معیارهای کیفی فرآیندی غیر دقیق است و ارزش مقایسه ای واقعی گزینه ها در عمل تا حدود زیادی نا معلوم است. از این روی یقینا اگر تصمیم گیرنده ای به جای اظهار نظر قطعی در مورد یک ویژگی پیمانکار نظر زبانی و مبتنی بر احساس شهودی اش را بیان کند (مانند خوب ، متوسط و...) از قضاوت انجام شده احساس اطمینان و رضایت مندی بیشتری خواهد داشت. [۲]

غیر قطعی بودن ارزش وزنی معیار های ارزیابی نیز از سوی دیگر ، بر عدم قطعیت فرآیند تصمیم گیری می افزاید.

مزیت رویکرد غیر قطعی فازی در امکان استفاده از متغیر های زبانی و حسی برای ارزیابی تقدم و تاخر معیار ها و نیز اوزان مرتبط با آنها است و لذا متغیر های زبانی در قالب اعداد فازی تعریف می شود.

در مقابل مجموعه های کلاسیک ریاضی با مرزهای تند و شفاف ،(Zadeh ,1965) مفاهیم مجموعه های فازی با حد و مرزهای غیر شفاف را بنا نهاد [۳۶].

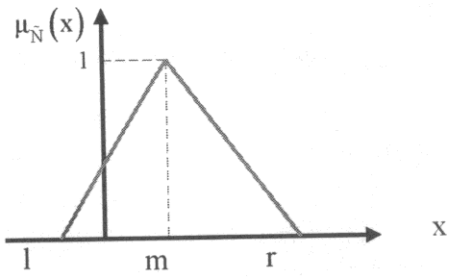
در منطق کلاسیک ریاضی، احتمال عضویت عضو a در یک مجموعه مانند A، صفر یا یک است و به بیان دیگر عضو a در مجموعه A یا عضو است و یا عضو نیست. حال آن که عضویت در مجموعه های فازی مفهومی مدرج است و به بیان دیگر در این رویکرد یک عضو می تواند کمی ، خیلی ، تا حدودی و... در یک مجموعه عضویت داشته باشد.

در این بخش مختصری از تعاریف پایه مرتبط با اعداد و عملگر های فازی مرور می شود[۳۶].

زیر مجموعه فازی $\tilde{N}$ در مجموعه X با تابع عضویت $\mu_{\tilde{N}}(x)$ و رابطه(۱)تعریف می شود :

$$\tilde{N} = \{(x, \mu_{\tilde{N}}(x) \mid x \in X)\} \quad (1)$$

در این مقاله از فرم مثلثی عدد فازی (TFN) استفاده شده است (TFN) یک عدد فازی محدب و نرمال است که به صورت یک ترکیب سه گانه مرتب (l,m,r) نمایش داده می شود.



شکل(۱): عدد فازی مثلثی $\tilde{N}$

همانگونه که شکل (۱) نشان می دهد (l,m,r) به ترتیب معرف مقادیر پایینی ، میانی(Core) و بالایی عدد فازی $\tilde{N}$ است[۳۷].

تابع عضویت $\mu_{\tilde{N}}(x)$ به صورت رابطه(۲) تعریف می شود:

$$\tilde{N}=(l,m,r)\ ,\ \mu_{\tilde{N}}(x)=\begin{cases}x-l/m-l & x\le m\\ r-x/r-m & x\ge m\\ 0 & x\notin[l,r]\end{cases} \qquad (۲)$$

عملیات جبری اعداد فازی به صورت روابط(۳) الی (۱۱) است [۳۷]:

$$\tilde{N}-K=(l-K,m-K,r-K) \qquad (۳)$$

$$\tilde{N}/K=(l/K,m/K,r/K)\ \ ,K>0 \qquad (۴)$$

$$\tilde{N}+K=(l+K,m+K,r+K) \qquad (۵)$$

$$K\times\tilde{N}=(K\times l,K\times m,K\times r)\ ,\ K\ge 0 \qquad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{n}\tilde{N}_i=\left(\sum_{i=1}^{n}l_i,\sum_{i=1}^{n}m_i,\sum_{i=1}^{n}r_i\right) \qquad (۷)$$

$$\tilde{N}_1-\tilde{N}_2=(l_1-r_2,m_1-m_2,r_1-l_2) \qquad (۸)$$

$$\tilde{N}_1\otimes\tilde{N}_2=(l_1\times l_2,m_1\times m_2,r_1\times r_2)$$

$$l_1\ge 0(positive\ \tilde{N}_1) \qquad (۹)$$

$$\underset{j}{MAX}\ \tilde{N}_i=(\max_j l_i,\max_j m_i,\max_j r_i) \qquad (۱۰)$$

$$\underset{j}{MIN}\ \tilde{N}_i=(\min_j l_i,\min_j m_i,\min_j r_i) \qquad (۱۱)$$

۲-۱ - رتبه بندی اعداد فازی

تصمیم گیری چند معیاره در یک محیط فازی مستلزم مقایسه ارزش اعداد فازی است. همانگونه که ذکر شد یک عدد فازی توسط شکل ، نحوه گسترش ، ارتفاع، و مختصات نسبی بر روی محور x مشخص می شود ، روشی که بتواند تمام مشخصه های فوق را در مقایسه استفاده نماید مطلوب خواهد بود. مقایسه ارزش حقیقی دو عدد فازی به دلیل اینکه هر عدد فازی میتواند نمایانگر اعداد حقیقی احتمالی بسیار ، با ارزش عضویت های مختلف باشد کار دشواری است . تا کنون بیش از ۲۰ روش برای رتبه بندی اعداد فازی پیشنهاد شده است، که هیچیک از آنها خالی از نقص نیست. در مدل مورد بررسی به منظور دیفازی کردن (فازی زدایی) اعداد فازی از رابطه(۱۲) استفاده شده است [۳۸].

$$Crisp\left(\tilde{N}_i\right)=(l+2m+r)/4 \qquad (۱۲)$$

۳-۱ - متغیر های زبانی و اعداد فازی

به کار گیری متغیرهای زبانی و حسی برای رتبه بندی معیارهای ارزیابی و نیز رتبه بندی گزینه ها در هر یک از معیار ها مستلزم تبدیل تعابیر زبانی به اعداد فازی است .در مدل حاضر برای مقایسه معیارها از اعداد فازی مثلثی مندرج در جداول(۶) و(۷) استفاده می شود[۳۷].

جدول (۶): اعداد فازی متناظر با عبارات زبانی اهمیت معیارها

عبارت زبانی (درجه اهمیت)		عدد فازی مثلثی معادل
VL	Very Low	(0 , 0 , 0.25)
L	Low	(0.5 , 0.25, 0)
M	Medium	(0.25,0.5,0.75)
H	High	(0.5 ,0.75 ,0.1)
V H	Very High	(0.75 , 1 , 1)

جدول (۷): اعداد فازی متناظر باعبارات زبانی امتیاز گزینه ها

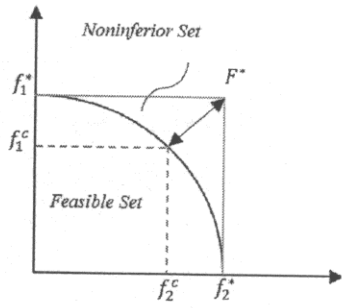
عبارت زبانی (کیفیت)		عدد فازی مثلثی معادل
W	Worst	(0 , 0 , 0.25)
P	Poor	(0, 0.25, 0.5)
F	Fair	(0.25,0.5,0.75)
G	Good	(0.5,0.75 ,0.1)
B	Best	(0.75 , 1 , 1)

۴- تصمیم گیری چند معیاره VIKOR فازی

VIKOR یک روش تصمیم گیری چند معیاره سازشی است. این روش ابزار سودمندی در بهینه سازی سیستمهای پیچیده با معیارهای چندگانه و ناسازگار است که برای یافتن بهترین راه حل توافقی ممکن و تهیه فهرستی رتبه بندی شده ازگزینه های مطرح به کار می رود.

حل بهینه ای که این روش ارائه می کند ، گزینه منتخب ممکن F^c در کمترین فاصله از راه حل ایده آل F^*است ، به نحوی که یک حداکثر مطلوبیت گروهی برای توافق و یک حداقل نامطلوبی منفرد برای تضاد ایجاد گردد.

حل سازشی F^c محصول توافق به دست آمده از امتیازات متقابل گزینه ها است که نمایه آن در شکل (۲) با $\Delta f_1 = f_1^* - f_1^c$ و $\Delta f_2 = f_2^* - f_2^c$ نشان داده شده است.



شکل(۲)- فاصله حل ممکن از ایده آل

VIKOR مخفف عبارت صربستانی (Visekriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje) به معنای حل بهینه چند معیاره و سازشی است ،که توسط (Opricovic 1998)[۳۹] و نیز (Opricovic,Tzeng 2007) [۴۰] بر مبنای توسعه تابع یکپارچه $L_p - metric$ در برنامه ریزی سازشی رابطه(۱۳) (Yu,1973;Zeleny,1982) [۴۱و۴۲] ارایه گردیده است.

$$L_j^p = \{\sum_{i=1}^{n}[w_i(|f_i^* - f_{ij}|)/(|f_i^* - f_i^-|)]^p\}^{1/p} \quad , \quad 1 \le p \le \infty \quad , \quad j = 1,2,...,m \qquad (۱۳)$$

$\tilde{f}_{ij}$در رابطه (۱۳) معرف ارزش گزینه j ام از m گزینه متفاوت $\tilde{A}_1,\tilde{A}_2,\ldots,\tilde{A}_j,\ldots\tilde{A}_m$ در برابر معیار i ام از n معیار مختلف $\tilde{C}_1,\tilde{C}_2,\ldots,\tilde{C}_i,\ldots\tilde{C}_n$ است.

VIKOR در توسعه رابطه (۱۳) ، دو رابطه (۱۴) و (۱۵) را به ترتیب در کران پایین و کران بالای p معرفی میکند ،که این روابط ابزار سنجش فاصله VIKOR در رتبه بندی گزینه ها است.

$$S_j = L_j^{p=1} = \left\{\sum_{i=1}^{n}\left(w_i\left(f_i^* - f_{ij}\right)/\left(f^* - f_i^-\right)\right)\right\} \qquad (۱۴)$$

$$R_j = L_j^{p=\infty} = \max_j\left\{w_i\left(f_i^* - f_{ij}\right)/\left(f^* - f_i^-\right)\right\} \qquad (۱۵)$$

حل به دست آمده بر اساس S_jدر رابطه(۱۴) ، نمایانگر حداکثر مطلوبیت گروهی(اکثریت) و در مقابل ، حل به دست آمده براساس R_j در رابطه(۱۵) ، بیانگر حداقل نا مطلوبی منفرد (تضاد) است.

۴-۱ - مدل سازی تصمیم به روش *VIKOR* فازی

مدل سازی مسایل تصمیم گیری بر اساس روش تصمیم گیری چند معیاره VIKOR با رویکرد فازی به شرح زیر است [۴۳]:

۴-۱-۱ - تشکیل ماتریس تصمیم گیری

ماتریس تصمیم گیری $\left[\tilde{f}_{ij}\right]$ از m گزینه $\tilde{A}_1,\tilde{A}_2,\ldots,\tilde{A}_j,\ldots\tilde{A}_m$ و n معیار $\tilde{C}_1,\tilde{C}_2,\ldots,\tilde{C}_i,\ldots\tilde{C}_n$ در قالب یک ماتریس $m\times n$ تشکیل می شود که درایه $\tilde{f}_{ij} = (l_{ij}, m_{ij}, r_{ij})$ در آن معرف ارزش گزینه $\tilde{A}_j$ ام آن در برابر معیار $\tilde{C}_i$ام است.

$$\left[\tilde{f}_{ij}\right] = \begin{array}{c} \\ \tilde{C}_1 \\ \vdots \\ \tilde{C}_i \\ \vdots \\ \tilde{C}_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccc} \tilde{A}_1 & \cdots & \tilde{A}_j & \cdots \end{array} \tilde{A}_m \\ \begin{bmatrix} \tilde{f}_{11} & \cdots & \tilde{f}_{1j} & \cdots & \tilde{f}_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{f}_{i1} & \cdots & \tilde{f}_{ij} & \cdots & \tilde{f}_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{f}_{n1} & \cdots & \tilde{f}_{nj} & \cdots & \tilde{f}_{nm} \end{bmatrix} \end{array}$$

۴-۱-۲ - محاسبه $\tilde{f}_i^*$ و $\tilde{f}_i^-$

$\tilde{f}_i^*$ شاخص حداکثر مطلوبیت فازی و $\tilde{f}_i^-$ شاخص حداقل نامطلوبی فازی معیار i ام برای گزینه های j ام است. در محاسبه مقادیر $\tilde{f}_i^* = (l_i^*, m_i^*, r_i^*)$ و $\tilde{f}_i^- = (l_i^-, m_i^-, r_i^-)$ توجه به مفهوم مطلوبیت هریک از معیارها به ترتیب در روابط (۱۶) تا (۱۹) حایز اهمیت است.

اگر عملکرد معیار سود آور باشد (Benefit)

$$\tilde{f}_i^- = \min_j \tilde{f}_{ij} \qquad (۱۶)$$

$$\tilde{f}_i^* = \max_j \tilde{f}_{ij} \qquad (۱۷)$$

اگر عملکرد معیار هزینه ساز باشد (Cost)

$$\tilde{f}_i^- = \max_j \tilde{f}_{ij} \qquad (۱۸)$$

$$\tilde{f}_i^* = \min_j \tilde{f}_{ij} \qquad (۱۹)$$

۴-۱-۳ - نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم گیری

ماتریس تصمیم گیری $\left[\tilde{f}_{ij}\right]$ با اعمال یکی از روابط (۲۰) یا (۲۱) در قالب ماتریس $\left[\tilde{d}_{ij}\right]$ نرمالیزه می شود.

اگر عملکرد معیار سود آور باشد (Benefit)

$$\tilde{d}_{ij} = \left(\tilde{f}_i^* - \tilde{f}_{ij}\right) / \left(r_i^* - l_i^-\right) \qquad (۲۰)$$

اگر عملکرد معیار هزینه ساز باشد (Cost)

$$\tilde{d}_{ij} = \left(\tilde{f}_i^* - \tilde{f}_{ij}\right) / \left(r_i^- - l_i^*\right) \qquad (۲۱)$$

$$\left[\tilde{d}_{ij}\right] = \begin{array}{c} \\ \tilde{C}_1 \\ \vdots \\ \tilde{C}_i \\ \vdots \\ \tilde{C}_n \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} \tilde{A}_1 & \cdots & \tilde{A}_j & \cdots & \tilde{A}_m \end{array} \\ \begin{bmatrix} \tilde{d}_{11} & \cdots & \tilde{d}_{1j} & \cdots & \tilde{d}_{1m} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{d}_{i1} & \cdots & \tilde{d}_{ij} & \cdots & \tilde{d}_{im} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ \tilde{d}_{n1} & \cdots & \tilde{d}_{nj} & \cdots & \tilde{d}_{nm} \end{bmatrix} \end{array}$$

۴-۱-۴ - محاسبه شاخص های $\tilde{S}_j$ و $\tilde{R}_j$

برای هریک از گزینه های $\tilde{A}_j$ ، شاخص حداکثر مطلوبیت گروهی $\tilde{S}_j = (S_j^l, S_j^m, S_j^r)$ از رابطه (۲۲) و شاخص حداقل نامطلوبی منفرد $\tilde{R}_j = (R_j^l, R_j^m, R_j^r)$ از رابطه (۲۳) محاسبه می گردد.

عدد فازی $\tilde{w}_i$ ، وزن فازی معیار i ام بوده و بیانگر اهمیت نسبی آن در استراتژی تصمیم است.

$$\tilde{S}_j = \sum_{i=1}^{n} \left(\tilde{w}_i \otimes \tilde{d}_{ij}\right) \qquad (۲۲)$$

$$\tilde{R}_j = \max_i \left(\tilde{w}_i \otimes \tilde{d}_{ij}\right) \qquad (۲۳)$$

۴-۱-۵ - محاسبه شاخص ویکور

ارزش شاخص ویکور را $\tilde{Q}_j = (Q_j^l, Q_j^m, Q_j^r)$ ارائه می کند . این شاخص که از رابطه (۲۴) و بر اساس پارامتر های برشمرده در روابط (۲۵) تا (۳۰) محاسبه می شود.

$$\tilde{Q}_j = \left(v\left(\tilde{S}_i - \tilde{S}^*\right) / \left(S^{-r} - S^{*l}\right)\right) \oplus \left((1-v)\left(\tilde{R}_j - \tilde{R}^*\right) / \left(R^{-r} - R^{*l}\right)\right) \qquad (۲۴)$$

$$S^{*l} = \min_j S_j^l \qquad (۲۵)$$

$$\tilde{S}^* = \min_j \tilde{S}_j \qquad (۲۶)$$

$$S^{-r} = \max_j S_j^r \qquad (۲۷)$$

$$R^{*l} = \min_j R_j^l \qquad (۲۸)$$

$$\tilde{R}^* = \min_j \tilde{R}_j \qquad (۲۹)$$

$$R^{-r} = \max_j R_j^r \qquad (۳۰)$$

پارامتر v ، ضریب حساسیت استراتژی VIKOR برای دستیابی به حداکثر مطلوبیت گروهی است . در شرایطی که $v > 0.5$ باشد ، حداکثر مطلوبیت گروهی ، استراتژی غالب است و در چنانچه $v < 0.5$ باشد ، حداقل نامطلوبی منفرد و متضاد حاکم خواهد بود. باید توجه داشت که $v \approx 0$ شرایطی بینابینی را در روش VIKOR رقم خواهد زد.

۴-۱-۶ - رتبه بندی مقایسه ای گزینه ها در روش *VIKOR* فازی

رتبه بندی مقایسه ای گزینه ها در روش VIKOR فازی به سه روش انجام می گیرد.

رده بندی مقایسه ای بر پایه گزینه(های) دارای کمترین $\tilde{Q}_j^m$. در این روش مقایسه بر اساس رابطه(۳۱) و با رتبه بندی ارزش بخش میانی (m) اعداد فازی به دست آمده از محاسبه شاخص Q گزینه j ام انجام می شود.

$$\min_j \left\{ \tilde{Q}_j^m \right\} \qquad (۳۱)$$

- رده بندی مقایسه ای بر اساس برتری نسبی گزینه(های) دارای کمترین مقدار دیفازی شده (Crisp) $\tilde{Q}$.

در این شیوه مقایسه بر اساس رابطه(۳۲) و با ارزش دیفازی شده اعداد فازی بدست آمده از محاسبه شاخص Q گزینه j ام انجام می شود.

$$\min_j \left\{ (\text{Crisp})\ \tilde{Q} \right\} \qquad (۳۲)$$

- رده بندی مقایسه ای بر اساس مزیت نسبی گزینه(های) دارای کمترین ارزش فازی $\tilde{Q}_j = (\tilde{Q}_j^l, \tilde{Q}_j^m, \tilde{Q}_j^r)$.

در این شیوه در صورتی که $\tilde{Q}_j = \text{Min}(\tilde{Q}_j, \tilde{Q}_k)$ و یا به عبارت دیگر $(\tilde{Q}_j^l \le \tilde{Q}_k^l \ , \ \tilde{Q}_j^l < \tilde{Q}_k^l \ , \ \tilde{Q}_j^l \le \tilde{Q}_k^l)$ باشد ، گزینه $\tilde{A}_j$ نسب به $\tilde{A}_k$ دارای مزیت است .

این روش صرفا در شرایطی می تواند ارایه دهنده یک رده بندی کامل باشد که اعداد فازی، توابع عضویتی مجزا داشته و این توابع فاقد همپوشانی و برهم نهی باشند.

۴-۱-۷ - شرایط پذیرش حل بهینه

پذیرش رتبه بندی و حل بهینه به دست آمده بر مبنای ارزیابی شاخص ویکور $\tilde{Q}_j$ منوط به برقراری همزمان دو شرط زیر است.

- **شرط برتری مطلوب**

رده بندی به دست آمده بر اساس شاخص $\tilde{Q}_j$ در صورتی قابل پذیرش است که رابطه (۳۳) در رتبه بندی J گزینه برقرار باشد.

$$\left(\tilde{Q}_{A^{(2)}} - \tilde{Q}_{A^{(1)}} \right) / \left(\tilde{Q}_{A^{(J)}} - \tilde{Q}_{A^{(1)}} \right) \ge 1/(J-1) \qquad (۳۳)$$

در رابطه فوق، $\tilde{Q}_{A^{(1)}}$ ارزش شاخص Q در گزینه دارای رتبه نخست و $\tilde{Q}_{A^{(2)}}$ مربوط به گزینه با رتبه دوم و $\tilde{Q}_{A^{(J)}}$ متعلق به آخرین گزینه در رده بندی بر مبنای Q است.

- **شرط پایش تصمیم**

گزینه حایز رتبه نخست (حل بهینه) بایستی علاوه بر کمینه بودن در شاخص ویکور Q ، حداقل در یکی از دو شاخص S یا R نیز کمینه باشد.

اگر شرط برتری مطلوب برقرار نباشد ، در میان گزینه های رده بندی شده بر اساس شاخص Q ، گزینه $A^{(M)}$ به نحوی انتخاب می شود که رابطه (۳۴) برقرار بوده و $A^{(M)}$ گزینه دارای نزدیک ترین رتبه بندی به $A^{(1)}$ باشد .

$$\left[\tilde{Q}_{A^{(M)}} - \tilde{Q}_{A^{(1)}} \right] < 1/(J-1) \qquad (۳۴)$$

در این حالت تمامی گزینه های $A^{(M)}, \ldots, A^{(2)}, A^{(1)}$ ، به صورت همزمان ، حل های بهینه ممکن خواهند بود.

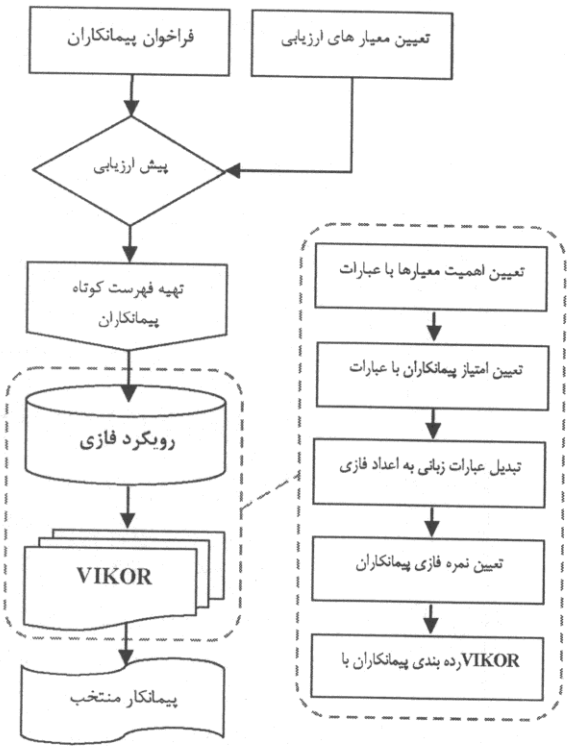
چنانچه فقط شرط پایش تصمیم برقرار نباشد ، آنگاه هر دو گزینه $A^{(1)}$ و $A^{(2)}$ بهترین حل بهینه ممکن خواهند بود.

۵- تشریح مدل پیشنهادی

تصمیم گیری چند معیاره در محیط فازی ، یک روش چند مرحله ای است . در مرحله نخست مطابق با نظر تصمیم گیرندگان(DM) ، وزن معیار های ارزیابی بر مبنای متغیر های فازی مشخص می شود و سپس برابر نظر تصمیم گیرندگان ، پیمانکاران در هریک از معیارها ارزیابی می شوند.در مرحله سوم ، از روش تصمیم گیری چند معیاره VIKOR برای انتخاب گزینه برتر استفاده می شود.

مدل پیشنهادی این مقاله برای برگزاری مناقصه و انتخاب پیمانکار بر پایه رهیافت اخیر و بر اساس تصمیم گیری چند معیاره ویکور با رویکرد فازی مطابق شکل(۳) است.

متعاقب فراخوان برگزاری مناقصه ، پیش ارزیابی اولیه به منظور اطمینان از صلاحیت حداقلی مناقصه گران انجام می پذیرد. در این مرحله می توان از روش های متداول وزنی برای محاسبه امتیازات کیفی مناقصه گران بهره برد. پس از تهیه فهرست کوتاه مناقصه گران ، پیشنهاد فنی و بازرگانی ایشان اخذ شده و به انضمام معیار های ارزیابی کیفی ، به محیط فازی وارد و مرحله تصمیم گیری بر اساس معیار های چندگانه رقم می خورد. در ادامه مراحل روش پیشنهادی با ارایه یک نمونه عددی تشریح می گردد.



شکل(۳): فلوچارت مدل پیشنهادی

۲-۴ - بررسی عددی مدل پیشنهادی

پیش ارزیابی یک مناقصه مفروض به فهرست کوتاهی شامل ۵ مناقصه گر A_1 تا A_5 انجامیده است. قیمت پیشنهای هریک از این پیمانکاران مطابق جدول (۸) است.

جدول(۸): قیمت پیشنهادی مناقصه گران حاضر در فهرست کوتاه

مناقصه گر	A1	A2	A3	A4	A5
قیمت پیشنهادی (هزار میلیون ریال)	15.0	18.0	17.5	16.5	14.0

در صورت اعمال شیوه متداول برگزاری مناقصات ، مناقصه گر A_5 با توجه به کمترین قیمت پیشنهادی برنده مناقصه و پیمانکار منتخب خواهد بود در حالی که رویکرد جامع تاثیر هم زمان امتیازات کمی و کیفی، گزینه دیگری را فراروی مناقصه گذار قرار می دهد.

۵-۱-۱ - تعیین معیارها

درستی مزیت سنجی مناقصه گران در گرو انتخاب معیارهایی است که مناقصه گزار متناسب با خصوصیات پروژه و ماهیت قرارداد ، به منظور کاهش مواجهه با مخاطرات بر می گزیند. مناقصه گران A_1 تا A_5 در مجموعه ۱۰ گانه معیارهای زیر که در بیشتر تحقیقات برشمرده بر اهمیت آنها تصریح گردیده ، ارزیابی شده اند. این معیارهای ارزیابی در جدول (۹) درج شده است.

جدول (۹): معیار های ارزیابی مناقصه گران

معیار های ارزیابی	
قیمت پیشنهادی (هزارمیلیون ریال)	C1
توان مالی	C2
عملکرد پیشین	C3
سیستم مدیریت کیفیت	C4
توان تجهیزاتی و ماشین آلات	C5
ساختار و سازمان تشکیلاتی	C6
کفایت کارکنان کلیدی	C7
مدیریت HSE	C8
برنامه ریزی	C9
رتبه بندی مرتبط	C10

۵-۱-۲ - تعیین اهمیت معیارها و بیان امتیاز پیمانکاران با عبارات زبانی

برای تعیین اهمیت معیار ها ، تصمیم گیران با قضاوت زبانی (در این مثال مشارکت ۳ تصمیم گر لحاظ شده است) اهمیت نسبی هریک از معیارهای ارزیابی را با توجه به دانش و تجربه خود در پروژه های مشابه و یا یافته های آماری هدفمند ، مشخص می نمایند. نتیجه اهمیت سنجی معیار ها در مثال عددی حاضر مطابق جدول (۱۰) است.

جدول (۱۰): توصیف اهمیت معیار های ارزیابی توسط تصمیم گیران

معیار های ارزیابی		DM1	DM2	DM3
قیمت پیشنهادی (هزا ر میلیون ریال)	C1	H	VH	H
توان مالی	C2	VH	VH	H
عملکرد پیشین	C3	H	H	M
سیستم مدیریت کیفیت	C4	VH	VH	H
توان تجهیزاتی و ماشین آلات	C5	M	M	L
ساختار و سازمان تشکیلاتی	C6	H	M	H
کفایت کارکنان کلیدی	C7	M	M	L
مدیریت HSE	C8	VH	VH	VH
برنامه ریزی	C9	VH	H	VH
رتبه بندی مرتبط	C10	M	M	M

در ادامه روند ارزشیابی ، مزیت هریک از مناقصه گران با توجه به این معیارها ارزیابی می شود. تصمیم گیران با قضاوت زبانی بر پایه شواهد ، مدارک و مستندات ، متغیر زبانی متناظر با مزیت هر پیمانکار را در هر معیار مشخص می نمایند. نتیجه ارزیابی مناقصه گران مثال حاضر در جدول (۱۱) ارائه شده است.

جدول (۱۱): نمره کیفی هریک از پیمانکاران در برابر معیار های ارزیابی توسط تصمیم گیران

Criteria	A1			A2			A3			A4			A5		
	DM1	DM2	DM3	DM1	DM2	DM3	DM1	DM2	DM3	DM1	DM2	DM3	DM1	DM2	DM3
C1		15.0			18.0			17.5			16.5			14.0	
C2	F	G	F	F	F	G	F	P	P	B	G	G	F	P	F

C3	F	G	P	G	F	G	P	F	G	G	G	G	G	F	G
C4	W	P	F	W	P	P	P	W	W	G	F	B	F	P	F
C5	P	F	F	G	G	G	F	P	P	B	B	B	F	P	F
C6	P	F	F	G	G	G	G	F	G	B	F	G	F	F	P
C7	B	B	G	F	G	G	G	G	B	B	G	G	G	B	B
C8	P	P	P	P	F	P	G	F	F	G	G	G	P	P	W
C9	G	F	G	F	G	F	G	F	F	B	F	G	P	W	P
C10	G	F	F	F	P	P	W	W	P	G	G	B	B	B	B

۵-۱-۳ -تبدیل عبارات زبانی به اعداد فازی

درجه اهمیت هریک از معیار ها و نیز امتیازات داده شده به پیمانکاران با جایگزینی اعداد فازی متناظر با هریک از متغیر های زبانی فازی سازی می شود. برای فازی سازی امتیاز پیمانکاران در هر معیار ، متوسط حسابی اعداد فازی به دست آمده از اظهار نظر تصمیم گیران اعمال می شود.

متوسط فازی به دست آمده برای اوزان اهمیت معیارها مطابق جدول (۱۲) است .عدد فازی متناظر با نمره گزینه های انتخابی در برابر معیارها نیز به همین ترتیب محاسبه می گردد.

جدول (۱۲): وزن فازی معیار های ارزیابی

Criteria	Weight Factor(w)		
C1	0.58	0.83	1.00
C2	0.67	0.92	1.00
C3	0.42	0.67	0.92
C4	0.67	0.92	1.00
C5	0.17	0.42	0.67
C6	0.42	0.67	0.92
C7	0.17	0.42	0.67
C8	0.75	1.00	1.00
C9	0.67	0.92	1.00
C10	0.25	0.50	0.75

۵-۱-۴ - تشکیل ماتریس اولیه تصمیم گیری

پس از تبدیل تمامی متغیرهای زبانی به اعداد فازی و محاسبه متوسط فازی آنها ، ماتریس اولیه تصمیم گیری $\left[\tilde{f}_{ij}\right]$ مطابق جدول (۱۳) تشکیل می شود. در این ماتریس معیار های ارزیابی ، وزن فازی معیارها و نمره فازی هریک از مناقصه گران در برابر معیار ها درج می گردد.

جدول (۱۳): ماتریس اولیه تصمیم گیری $\left[\tilde{f}_{ij}\right]$

Criteria	Ext.	A1			A2			A3			A4			A5		
C1	Min	15.0	15.0	15.0	18.0	18.0	18.0	17.5	17.5	17.0	16.5	16.5	16.5	14.0	14.0	14.0
C2	Max	0.33	0.58	0.83	0.33	0.58	0.83	0.08	0.33	0.58	0.58	0.83	1.00	0.17	0.42	0.67
C3	Max	0.25	0.50	0.75	0.42	0.67	0.92	0.25	0.50	0.75	0.50	0.75	1.00	0.42	0.67	0.92
C4	Max	0.08	0.25	0.50	0.00	0.17	0.42	0.00	0.08	0.33	0.50	0.75	0.92	0.17	0.42	0.67
C5	Max	0.17	0.42	0.67	0.50	0.75	1.00	0.08	0.33	0.58	0.75	1.00	1.00	0.17	0.42	0.67
C6	Max	0.17	0.42	0.67	0.50	0.75	1.00	0.42	0.67	0.92	0.50	0.75	0.92	0.17	0.42	0.67
C7	Max	0.67	0.92	1.00	0.42	0.67	0.92	0.58	0.83	1.00	0.58	0.83	1.00	0.67	0.92	1.00
C8	Max	0.00	0.25	0.50	0.08	0.33	0.58	0.33	0.58	0.83	0.50	0.75	1.00	0.00	0.17	0.42
C9	Max	0.42	0.67	0.92	0.33	0.58	0.83	0.33	0.58	0.83	0.50	0.75	0.92	0.00	0.17	0.42
C10	Max	0.33	0.58	0.83	0.08	0.33	0.58	0.00	0.08	0.33	0.58	0.83	1.00	0.75	1.00	1.00

۵-۱-۵ - رتبه بندی پیمانکاران با *VIKOR*

متعاقب تشکیل ماتریس تصمیم گیری، مقادیر $\tilde{f}_i^*$ و $\tilde{f}_i^-$ مانند جدول (۱۴) محاسبه می شود. سپس ماتریس تصمیم گیری نرمالیزه $[\tilde{d}_{ij}]$ در جدول(۱۵) تشکیل می گردد. در نهایت شاخصهای S ، R و Q به دو صورت فازی و Crisp (دیفازی شده) در جدول (۱۶) محاسبه می گردد. در این مثال $v \approx 0$ فرض شده و ارزش دیفازی اعداد فازی بر اساس رابطه (۱۲) محاسبه شده است.

جدول (۱۴): مقادیر $\tilde{f}_i^*$ و $\tilde{f}_i^-$

Criteria	Ext.	$\tilde{f}_i^*$			$\tilde{f}_i^-$			$(r_i^* - l_i^-)$	$(r_i^- - l_i^*)$
C1	Min	14.00	14.00	14.00	18.00	18.00	18.00	-4.00	4.00
C2	Max	0.58	0.83	1.00	0.08	0.33	0.58	0.92	0.00
C3	Max	0.50	0.75	1.00	0.25	0.50	0.75	0.75	0.25
C4	Max	0.50	0.75	0.92	0.00	0.08	0.33	0.92	-0.17
C5	Max	0.75	1.00	1.00	0.08	0.33	0.58	0.92	-0.17
C6	Max	0.50	0.75	1.00	0.17	0.42	0.67	0.83	0.17
C7	Max	0.67	0.92	1.00	0.42	0.67	0.92	0.58	0.25
C8	Max	0.50	0.75	1.00	0.00	0.17	0.42	1.00	-0.08
C9	Max	0.50	0.75	0.92	0.00	0.17	0.42	0.92	-0.08
C10	Max	0.75	1.00	1.00	0.00	0.08	0.33	1.00	-0.42

جدول (۱۵): ماتریس تصمیم گیری نرمالیزه $[\tilde{d}_{ij}]$

Criteria	Ext.	A1			A2			A3			A4			A5		
C1	Min	0.25	0.25	0.25	1.00	1.00	1.00	0.88	0.88	0.88	0.63	0.63	0.63	0.00	0.00	0.00
C2	Max	-0.27	0.27	0.73	-0.27	0.27	0.73	0.00	0.55	1.00	-0.45	0.00	0.45	-0.09	0.45	0.91
C3	Max	-0.33	0.33	1.00	-0.56	0.11	0.78	-0.33	0.33	1.00	-0.67	0.00	0.67	-0.56	0.11	0.78
C4	Max	0.00	0.55	0.91	0.09	0.64	1.00	0.18	0.73	1.00	-0.45	0.00	0.45	-0.18	0.36	0.82
C5	Max	0.09	0.64	0.91	-0.27	0.27	0.55	0.18	0.73	1.00	-0.27	0.00	0.27	0.09	0.64	0.91
C6	Max	-0.20	0.40	1.00	-0.60	0.00	0.60	-0.50	0.10	0.70	-0.50	0.00	0.60	-0.20	0.40	1.00
C7	Max	-0.57	0.00	0.57	-0.43	0.43	1.00	-0.57	0.14	0.71	-0.57	0.14	0.71	-0.57	0.00	0.57
C8	Max	0.00	0.50	1.00	-0.08	0.42	0.92	-0.33	0.17	0.67	-0.50	0.00	0.50	0.08	0.58	1.00
C9	Max	-0.45	0.09	0.55	-0.36	0.18	0.64	-0.36	0.18	0.64	-0.45	0.00	0.45	0.09	0.64	1.00
C10	Max	-0.08	0.42	0.67	0.17	0.67	0.92	0.42	0.92	1.00	-0.25	0.17	0.42	-0.25	0.00	0.25

جدول (۱۶): محاسبه شاخصهای S ، R و Q به دو صورت فازی و Crisp (دیفازی شده)

Ranking		A1			A2			A3			A4			A5		
$\tilde{S}j$ (Core)	-0.66	2.50	6.75	-0.40	2.95	7.26	-0.17	3.34	7.63	-1.61	0.66	4.62	-0.52	2.52	6.53	
$\tilde{R}j$ (Core)	0.15	0.50	1.00	0.58	0.83	1.00	0.51	0.73	1.00	0.36	0.52	0.63	0.06	0.58	1.00	
$\tilde{Q}j$ (Core)	-0.54	0.10	0.95	-0.29	0.30	0.98	-0.32	0.27	1.00	-0.48	0.01	0.64	-0.58	0.15	0.94	
S (Crisp)		11.10			12.76			14.14			4.34			11.06		
R (Crisp)		2.15			3.25			2.97			2.03			2.23		
Q (Crisp)		0.61			1.29			1.21			0.18			0.65		

۵-۱-۶ - کنترل شرایط گزینه بهینه

- **کنترل برتری مطلوب**

(Core) $[0.10-0.01]/[0.3-0.01] \geq 1/(5-1), 0.30 \geq 0.25$ OK

(Crisp) $[0.61-0.18]/[1.29-0.18] \geq 1/(5-1), 0.39 \geq 0.25$ OK

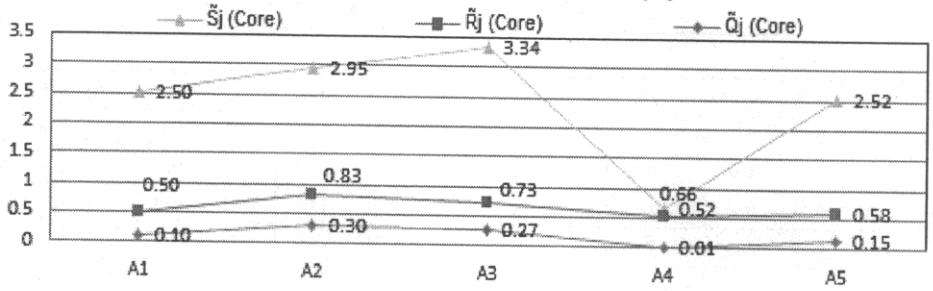
- **کنترل پایش تصمیم**

همانگونه که جدول(۱۷) و نمودارهای(۲) و (۳) به ترتیب برای رتبه بندی براساس Core و Crisp نشان می دهند ، گزینه A_4 که دارای رتبه نخست در شاخص Q است ، در شاخص S نیز دارای کمترین مقدار و رتبه نخست می باشد و لذا حل به دست آمده برآورنده شرط پایش تصمیم بوده و قابل پذیرش است.

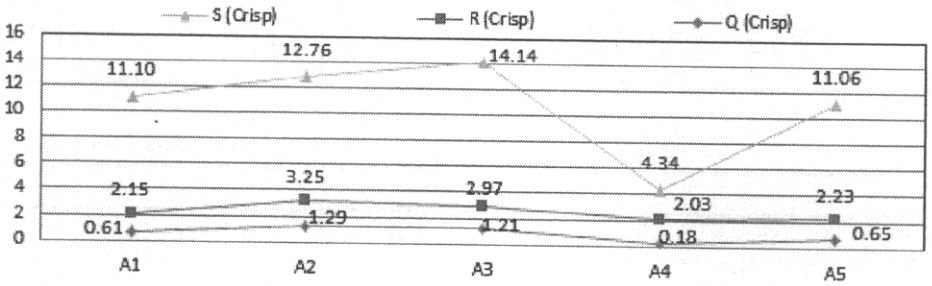
جدول(۱۷): رتبه بندی پیمانکاران بر اساس VIKOR فازی

رتبه بندی	1	2	3	4	5
Core	A4	A1	A5	A3	A2
Crisp	A4	A1	A5	A3	A2

نمودار(۲): ثبات تصمیم در رتبه بندی بر پایه Core



نمودار(۳): ثبات تصمیم در رتبه بندی بر پایه Crisp



از سوی دیگر جایگاه سوم مناقصه گر A_5 به رغم ارایه کمترین قیمت پیشنهادی نشان دهنده ضعف نسبی آن در معیار های کیفی ارزیابی است و این کم توانی دربرآوردن معیار ها ، میتواند در چرخه حیات پروژه منشا بروز و تشدید مخاطرات جبران ناپذیر برای کارفرما و سرمایه گذار باشد.

۶-نتیجه گیری

انتخاب پیمانکار بر مبنای کمترین قیمت پیشنهادی ، به گواه مطالعات انجام شده در عرصه بین المللی صنعت ساخت و ساز ، نه تنها نتوانسته است از مخاطرات فراروی کارفرمایان و سرمایه گذاران این صنعت بکاهد ، بلکه با وجود توسعه روشهای پیش ارزیابی ، همچنان از جمله عوامل اصلی در ناکامی پروژه ها و تشدید ریسکهای سرمایه گذاری در این حوزه است.

از این روی توسعه مدلهای تصمیم گیری چند معیاره مبتنی بر رویکرد فازی به عنوان ابزاری توانمند در تصمیم گیری بهینه از جمله رهیافت هایی است که با تاثیر همزمان توانمندی و قیمت پیشنهادی می تواند در شرایط پیچیده و همراه با عدم قطعیت در شناخت و اوزان معیارها و امتیازات مناقصه گران ، انتخاب بهترین گزینه ممکن را بر مبنای آمیزه ای از چندین معیار کیفی و کمی مجزا و حتی متضاد به نحوی فراهم آورد که پیمانکار منتخب دارای مناسب ترین ترکیب از تمام معیارها باشد.مدل ارایه شده در این مقاله بر پایه روش تصمیم گیری چند معیاره VIKOR با رویکرد فازی از جمله شیوه هایی است که می تواند در راستای اجتناب از مخاطرات شیوه متداول برگزاری ، مناقصه را به سوی گزینش مناسب ترین ترکیب از شاخص های بر شمرده هدایت نماید.

مثال عددی تشریح شده گویای آن است که هرچند مناقصه گر A_4 به لحاظ کمترین قیمت پیشنهادی در رده سوم قرار می گیرد ، اما به دلیل بهره مندی از بهترین ترکیب در قیمت پیشنهادی و توانمندی های کلیدی مناسب ترین گزینه و برنده مناقصه است درحالی که مناقصه گر دارای کمترین قیمت پیشنهادی A_5 به دلیل کم توانی نسبی در برآوردن معیارها در جایگاه سوم قرار می گیرد.

۷-سپاسگزاری

نگارندگان از آقای پروفسور Gwo-Hshiung Tzeng ، استاد ارجمند Kainan university of Taiwan به سبب ارایه رهنمودهای مطالعاتی و همکاری در دستیابی به برخی از مراجع صمیمانه قدردانی می نمایند.

۸- مراجع

[1] Harp , D.W. , Innovative Contracting Practices - The new way to undertake public works projects, HMAT/Hot mix Asphalt Technology , Winter , 1990 , P 6-10 .

[2] Singh , D., Tiong, R. , A fuzzy decision framework for contractor selection , ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 131 (1) ,2005, P 62-70.

[3] Huang ,X.,An Analysis of the Selection of Project Contractor in the Construction Management Process, International Journal of Business and Management ,Vol. 6, No. 3,March 2011,P 184-189.

[4] Ng,S.T.,Skitmore,M.,Contractor Selection Criteria: A Benefit-Cost Analysis, IEEE Transactions in Engineering Management, 48(1), 2001,P 96-106.

[5] Hatush ,Z., Skitmore , M.,Contractor selection using multi criteria utility theory: an additive model, Building and Environment, 33 (2-3), 1998,P 105-115.

[6] Demirci, G., Ayar, B., Kivrak, S., Arslan, G. Contractor Selection in the Housing Sector Using the Simple Multi-Attribute Rating Technique , The CRIOCM International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate, October 2009, Nanjing , China , P 29-31.

[7] Alhazmi,T., & Mc Caffer,R., Project procurement system selection model , Journal of Construction Engineering and Management, 2000, 126, P 176–184.

[8] Plebankiewicz, E., Construction Contractor Prequalification From Polish Clients' Perspective. , Journal of Civil Engineering and Management, 2010, 16(1), P 57–64

[9] Holt,G.D.,Which contractor selection methodology?, International Journal of Project Management, 1998,Vol. 16. No.3. P 153-164.

[10] Moore, M. J. , Selecting a contractor for fast-track projects: Part I, principles of contractor evaluation, Plant Engineering,1985, 39,P 74–75.

[11] Hatush,Z.,Skimore,M.,Criteria for Contractor Selection, Construction Management and Economics,1997a, 15(1),P19-38.

[12] Waara F. , J. Bröchner, Price and Nonprice Criteria for Contractor Selection, J. Constr. Engrg. and Mgmt.,2006, Volume 132, Issue 8,P 797-804.

[13] Ashley, D.,Curie,S. , Jaselskis E., Determinants of construction project success.Project management, 1987,118,P 69-79.

[14] Clough, R.H., Sears, G.A.,Construction Contracting, John Wiley & Sons Inc.,1994, New York.

[۱۵] عباسیان حسینی ،علیرضا- افشار،عباس و اشتهاردیان ،احسان اله، ارائه روش ترکیبی برای انتخاب پیمانکار با رویکرد غیر قطعی ۱۳۸۹،کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه ،تهران.

[16] Russell,J.,Hancher,D.,Skibniewski,M.,Contractor Prequalification Data for Construction Owners,Construction Management and Economics, E & F.N. Spon Publishers (Chapman&Hall), London, England, March1998 Vol. 10, No. 2, , P 117-135.

[17] Holt, G.D., Olomolaiye,P.O., and Frank,C.H.,Factors in uencing UK construction clients' choice ofcontractor. Building and Environment,1994, 29(2), P241- 8.

[18] Palaneeswaran,E., Kumaraswamy, M.,Recent Advances and Proposed Improvements in Contractor Prequalification methodologies. Building and Environment,2001,Vol. 36,P 73-87.

[19] Shen,Q., Liu,G., Critical success factor for value management studies in construction, journal of construction Engineering and management, 2003,123, P485- 491.

[20] Singh,D.,Tiong,R.L.K.,Contractor selection criteria : investigation of opinions of Singapore construction practitioners, Journal of Construction Engineering and Management ,2006,132(9),P998–1008.

[21] Watt, D.J., Kayis, B. , Willey, K., Identifying key factors in the evaluation of tenders for projects and services, International Journal of Project Management, 2009,27,P 250- 260.

[۲۲] آیین نامه اجرایی بند ج قانون برگزاری مناقصات - مصوبه هیئت وزیران ۱۳۸۵.

[23] Shen, L.Y., Lu,W. S., Yam, C. H.,Contractor Key Competitiveness Indicators (KCIs): A China Study, Journal of Construction Engineering and Management, ASCE, 2006, Vol. 132. No. 4,P 416-424.

[24] Watt, D.J. ,Kayis,B. ,Willey,K , The relative importance of tender evaluation and contractor selection criteria International Journal of Project Management, 2010,28,P 51–60.

[۲۵] پاشاپور بهزاد، پرچمی جلال مجید ، تقی زاده عزت اله ، شناسایی و ارزیابی کمی عوامل موثر در ارزیابی مناقصه گران در مناقصات پیمانهای سه عاملی با رویکرد AHP، ۱۳۸۹ ، ششمین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه.

[26] Anagnostopoulos,K.P. , Vavatsikos A.P., An AHP model for construction contractor prequalification, Operational Research, 2006, P333-346.

[۲۷] روانشاد نیا مهدی، رجائی حسین ، حضرتی ایوب ،مدلی برای انتخاب پیمانکاران بر اساس تصمیم گیری چند معیاره ساده وزین شده (SAW MADM)، ۱۳۸۵،نخستین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه.

[۲۸] رضوان قهفرخی تقی ، شهلایی افشین ، حجازی مقدم سید رضا ، یک رویکرد فازی بر اساس مفهوم الکتره I برای ارزیابی و انتخاب پیمانکاران ، ۱۳۸۵،نخستین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه.

[۲۹] میان آبادی حجت ، افشار عباس ، کاربرد روش میانگین وزنی مرتب شده (OWA) در تصمیم گیری و مدیریت ریسک ، ۱۳۸۵،کنفرانس مدیریت استراتژیک .

[۳۰] رجائی حسین ، حضرتی ایوب ، رشیدی عباس ، ارزیابی صلاحیت پیمانکاران براساس روش مجموع ساده وزین فازی (FUZZ SAW) ، اردیبهشت ۱۳۸۷،چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران،دانشگاه تهران،.

[31] Darvish, M., Yasaei, M. , Application of the graph theory and matrix methods to contractor ranking , International Journal of Project Management,2009, 27, P 610-619

[۳۲] مروجی غلامرضا ، محمدی پور هیرش ،انتخاب پیمانکار با استفاده از روشهای AHP و TOPSIS در یک محیط فازی ، مرداد ۱۳۸۸،اولین کنفرانس بین المللی اجرای پروژه به روش EPC .

[۳۳] صادقی حسن ، سامانیان حجت ، معینی فاطمه و یزدانی مهدی ، معرفی یک رویکرد یکپارچه فازی جهت رتبه بندی پیمانکاران در پروژه های EPC ، مرداد ۱۳۸۸، اولین کنفرانس ملی اجرای پروژه به روش EPC .

[۳۴] کرامتی محمد علی ، وکیلی مهدی ، استفاده از تکنیک SIR در راستای بررسی معیار ها و روشهای انتخاب پیمانکاران، ۱۳۸۹، ششمین کنفرانس بین المللی مدیریت پروژه .

[۳۵] حیدری حسینعلی ، عبدی روح ا... ، انتخاب پیمانکار برتر در مناقصه با رویکرد فازی، ۱۳۸۹،اولین کنفرانس بین المللی مدیریت نوآوری و کارآفرینی .

[36] Zadeh, L.A. , Fuzzy sets Information and Control,1965 , 8,P 338-353.

[37] Zadeh, L. A.The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. In R. R. Yager et al.. (Eds.), 1987,Fuzzy sets and applications: Selected papers by L.A. Zadeh (P 219–269) New York: John Wiley & Sons.

[38] Opricovic, S., & Tzeng, G. H. ,Defuzzification within a multicriteria decision model. International Journal of Uncertainty, Fuzziness And Knowledge-Based Systems,2003, 11(5), P 635–652.

[39] Opricovic, S., Multicriteria optimization of civil engineering systems,1998, Faculty of Civil Engineering, Belgrade.

[40] Opricovic, S., & Tzeng, G. H., Extended VIKOR method in comparison with outranking methods, European Journal of Operational Research, 2007, 178(2),P 514–529

[41] Zeleny,M., Multiple Criteria Decision Making. McGraw-Hill, 1982, New York.

[42] Yu, P.L.,A Class of Solutions for Group Decision Problems, Management Science ,1973 ,19,P936–946.

[43] Opricovic, S., Fuzzy VIKOR with an application to water resources planning Expert Systems with Applications ,2011,38,P12983–12990

[44] Chen, L.Y.,Tien-Wang Chin , Optimizing partners' choice in IS/IT outsourcing projects, The strategic decision of fuzzy VIKOR ,international journal of production economics ,2009, P233–242