

توسعه مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره بهترین- بدترین- ویکور برای ارزیابی پیمانکاران پروژه‌های عمرانی؛ مطالعه پروژه‌های عمرانی استان خراسان جنوبی

رضا جاویدی صباغیان^{۱*}، غلام‌محمد شمسی^۲، حسن ساقی^۳

^۱ استادیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری

^۲ کارشناس ارشد مهندسی عمران- مدیریت ساخت، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری

^۳ دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه حکیم سبزواری

(دریافت: ۹۹/۴/۲۶، پذیرش: ۹۹/۹/۲۹، نشر آنلاین: ۹۹/۹/۲۹)

چکیده

در سال‌های اخیر، تعیین اهمیت معیارهای ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران به عنوان چالش‌های اساسی پروژه‌های عمرانی می‌باشد. بنابراین، استفاده از الگوریتمی سازمان‌یافته و روشی با قابلیت اطمینان بالا که بتواند در ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران به کارفرمایان پروژه‌های عمرانی باری رساند، ضروری است. بدین منظور، در این پژوهش رویکردی مبتنی بر تلفیق روش بهترین- بدترین و روش ویکور (VIKOR) فازی به منظور رتبه‌بندی پیمانکاران در پروژه‌های عمرانی گازرسانی استان خراسان جنوبی ارائه شده است. پیمانکاران رقابتی مورد مطالعه در این پژوهش دارای سابقه اجرایی در پروژه‌های گازرسانی استان می‌باشند، که در انجام سه پروژه قبلی خود موفق بوده‌اند و گواهی حُسن انجام کار را از شرکت گاز استان دریافت نموده‌اند. بر این اساس، ابتدا توسط روش بهترین- بدترین، وزن معیارها و زیرمعیارها توسط عوامل کارفرما تعیین گردیده است. سپس به منظور رتبه‌بندی پیمانکاران، از روش ویکور فازی استفاده شده است. مطابق نتایج محاسباتی، معیار اقتصادی و مالی دارای بیش‌ترین وزن (۰/۳۴۸) و معیار داشتن ماشین‌آلات و تجهیزات دارای کم‌ترین وزن (۰/۰۸۰) در بین معیارها است. در مورد زیرمعیارهای معیار اقتصادی و مالی، زیرمعیار توان مالی دارای بیش‌ترین وزن و زیرمعیار پرداخت دستمزد دارای کم‌ترین وزن است. برای معیار ماشین‌آلات و تجهیزات زیرمعیار ماشین‌آلات مرتبط با پروژه دارای بیش‌ترین وزن و زیرمعیار ماشین‌آلات ویژه و انحصاری دارای کم‌ترین وزن است. در رتبه‌بندی نهایی پیمانکاران نیز "پیمانکار ۱" دارای بیش‌ترین و "پیمانکار ۵" دارای کم‌ترین میزان اولویت است. انتظار می‌رود این پژوهش بتواند به‌عنوان رویکردی مناسب جهت اتخاذ تصمیمات برای حصول موفقیت در اجرای پروژه‌های مجموعه مورد مطالعه و نیز سایر کارفرمایان دولتی و خصوصی مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: معیارهای ارزیابی پیمانکاران، رتبه‌بندی پیمانکاران، روش بهترین- بدترین، روش ویکور فازی، پروژه‌های عمرانی گازرسانی.

۱- مقدمه

اطمینان بالا برای امتیازدهی و رتبه‌بندی پیمانکاران جهت مقایسه مناقصه‌ها و شناسایی مناقصه با بهترین پیشینه از لحاظ زمان، هزینه و ارزش پول استفاده شود (Hasnain و همکاران، ۲۰۱۸). بسیاری از پژوهشگران، این موضوع را با استفاده از رویکردها و روش‌های مختلف در شرایط گوناگون مورد بررسی قرار داده‌اند. در مرور ادبیات پژوهش، در سال‌های اخیر برخی مطالعات به منظور انتخاب پیمانکاران در پروژه‌های مختلف ارائه گردیده است. Taylan و همکاران (۲۰۱۸)، در پژوهشی با ادغام رویکردهای انتخاب پیمانکار براساس داده‌های فازی، با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)^۱ فازی وزن‌های معیارها را تعیین

به منظور افزایش سطح عملکرد پیمانکاران، شناسایی معیارهای مناسب برای ارزیابی پیمانکاران ضروری است، که باید در روند برگزاری مناقصه دخیل شود و باعث حذف پیمانکاران ضعیف یا ناکارآمد گردد (De Araújo و همکاران، ۲۰۱۸). در دیدگاه سنتی، نگرش یک‌بعدی در ارزیابی پیمانکاران مبتنی بر کم‌ترین قیمت پیشنهادی مانع دستیابی به سطوح مطلوب عملکرد می‌شود. بنابراین شایسته است در پروژه‌های عمرانی، به‌خصوص پروژه‌های بزرگ نظیر پروژه‌های گازرسانی، از روش وزن‌دهی مناسب برای معیارهای ارزیابی پیمانکاران و نیز روش با قابلیت

1. Analytic Hierarchy Process

* نویسنده مسئول؛ شماره تماس: ۰۹۱۵-۳۰۳۷۵۲۳

می‌باشند. اما روش‌های تصمیم‌گیری جدید مانند روش بهترین-بدترین^۶ که تاکنون کم‌تر مورد توجه پژوهشگران این حوزه بوده است، بخش قابل‌ملاحظه‌ای از این محدودیت‌ها را برطرف نموده است. روش BWM^۷، دارای رویکردی بسیار قدرتمند در تعیین وزن معیارها نسبت به سایر روش‌های تصمیم‌گیری است (Rezaei, ۲۰۱۶). این روش به دلیل استفاده از یک مدل بهینه‌سازی خطی می‌تواند به‌طور بسیار دقیقی وزن معیارها را تعیین کند. در واقع، در تعیین وزن معیارها، به‌جز پرسشنامه‌های تکمیل‌شده توسط تصمیم‌گیران، هیچ دخالتی از طرف تحلیل‌گر انجام نمی‌شود و همچنین نیاز به تشکیل ماتریس ارزیابی پیش از وزن‌دهی معیارها نمی‌باشد (Rezaei, ۲۰۱۵). به همین دلیل می‌توان به وزن‌های به‌دست آمده تا حد قابل‌قبولی اطمینان نمود. همچنین روش ویکور فازی (Fuzzy VIKOR)^۸ دارای استواری بسیار بالایی در رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها با توجه به معیارها می‌باشد که وضعیت و شرایط ایده‌آل را با انجام محاسباتی ساده و کوتاه و با قابلیت اطمینان بالا در حصول نتایج، در نظر می‌گیرد (Gupta, ۲۰۱۸). بنابراین در این پژوهش، ضمن ارائه الگوریتمی نظام‌مند و کاربردوست برای طیف گسترده‌ای از مسائل انتخاب پیمانکاران، رویکردی ترکیبی مبتنی بر تلفیق روش BWM و روش FVIKOR^۹، به منظور گسترش سطح کاربرد این روش‌ها در فرآیند رتبه‌بندی و انتخاب پیمانکاران پیشنهاد و استفاده گردیده است.

در این راستا، در این مطالعه، فرآیند تعیین درجه اهمیت معیارها و زیرمعیارها و نیز ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران پروژه‌های عمرانی شرکت گاز استان خراسان جنوبی مورد نظر قرار گرفته است. شرکت گاز استان خراسان جنوبی، به عنوان یکی از کارفرمایان مهم کشور، در سال‌های اخیر با چالش ارزیابی و انتخاب پیمانکاران شایسته برای انجام پروژه‌های عمرانی گازرسانی مواجه گردیده است. این استان با محدودیت‌های بودجه‌ای مواجه می‌باشد و انتخاب پیمانکار نامناسب در هر یک از پروژه‌ها که منجر به توقف آن پروژه شود، می‌تواند مشکلات بسیار جدی را در پی داشته باشد. مطابق با اطلاعات ارائه‌شده از سوی کارشناسان شرکت گاز استان، برخی از پروژه‌های اجراشده در سال‌های اخیر، به‌دلیل این‌که به پیمانکاران نامناسب تخصیص داده شده است، دچار مشکلاتی مانند تأخیرات بسیار زیاد در فاز اجرایی، تحمیل هزینه‌های بالا و نیز نامناسب بودن کیفیت اجرای پروژه‌ها شده است. این موضوع سبب شده است تا کمیته فنی-تخصصی انتخاب پیمانکاران شرکت گاز درصد برآید تا ضمن

نمودند و توسط روش تاپسیس (TOPSIS)^۲ فازی به ارزیابی عملکرد پیمانکاران و انتخاب پیمانکار اصلح پرداختند.

De Jesus و همکاران (۲۰۱۹)، نحوه انتخاب استراتژی‌های مناسب برای قراردادهای پروژه‌های عمرانی نفت و گاز را با استفاده از فرآیند تحلیل شبکه (ANP)^۳ مطالعه نمودند. Borbath و همکاران (۲۰۱۹)، بیان نمودند که بین نتایج گذشته و امتیاز پیمانکاران از نظر هزینه، برنامه و عملکرد فنی ارتباطی مستقیم وجود دارد.

Ruparathna و Singh (۲۰۱۹)، بررسی نمودند که ماتریس ارزیابی پیشنهادات، یک روش متداول در صنعت ساخت‌وساز برای ارزیابی پیشنهادات در هر پروژه است و هدف این مقاله، ایجاد یک چارچوب ارزیابی مبتنی بر منطق فازی برای ارزیابی پیشنهادات هر پروژه است. Cao و همکاران (۲۰۱۹)، یک روش ترکیبی جدید، که ترکیبی از وزن‌دهی مرحله‌ای ارزیابی نسبت آنالیز وزن و وزن کامل می‌باشد، ارائه دادند که به عنوان اعداد خاکستری مورد استفاده قرار گرفت و نتایج رتبه‌بندی پیمانکاران با هر دو روش یکسان است که نتایج در این پژوهش را تأیید می‌کند.

Morkunaite و همکاران (۲۰۱۹)، ضوابط کمی و کیفی تعیین‌شده برای انتخاب پیمانکار مناسب برای احیای ساختمان‌های میراث فرهنگی را با استفاده از روش AHP بررسی نمودند. در ادامه، از روش پرمته (PROMETHEE)^۴ به انتخاب کارآمدترین گزینه جایگزین پیمانکار میراث فرهنگی پرداختند. Hale و همکاران (۲۰۱۹)، به ارائه توصیه‌ها و برجسته کردن زمینه‌هایی برای پیشرفت در طی مراحل درخواست، ارزیابی و انتخاب پیمانکاران اصلی توسط مهندسين ارتش آمریکا پرداختند. El-Khalek و همکاران (۲۰۱۹)، بیان نمودند که ارزیابی پیمانکاران یکی از اصلی‌ترین فرآیندهای اساسی در انجام پروژه است و اتکا به "معیار کم‌ترین قیمت" معمولاً منجر به رخداد ریسک‌های مختلف در اهداف اصلی پروژه (زمان، هزینه و کیفیت) می‌شود. در جدول (۱)، به مروری بر جدیدترین مطالعات انجام‌شده در حوزه پژوهش حاضر پرداخته شده است. این مطالعات، به صورت مسوط در این پژوهش مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

همان‌طور که در جدول (۱) مشاهده می‌شود، عمده پژوهش‌های انجام‌شده بر روش AHP مبتنی بر منطق فازی و نیز روش‌هایی تمرکز داشته‌اند که دارای محدودیت‌هایی نظیر قابلیت استفاده برای تعداد محدود معیارها و گزینه‌ها، طولانی بودن و دشواری در فرآیند محاسبات و عدم قطعیت نسبتاً بالا در نتایج

6. Best Worst Method

7. ViseKriterijumska Optimizacija IKompromisno Resenje, means: Multicriteria Optimization and Compromise Solution

8. Fuzzy VIKOR

2. Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution

3. Analytic Network Process

4. Preference Ranking Organization Method for Enrichment Evaluation

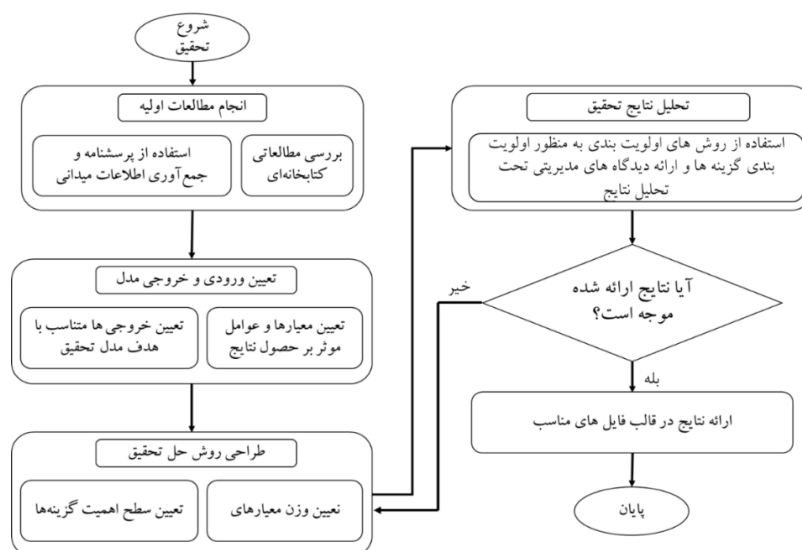
5. Best-Worst Method

نمونه می‌پردازد. بدین منظور، ابتدا با مطالعه منابع و مراجع مرتبط، معیارها و شاخص‌های مرتبط با رتبه‌بندی پیمانکاران شناسایی می‌گردد و با استفاده از نظرات تصمیم‌گیران شرکت گاز استان خراسان جنوبی، که اعضای کمیته فنی- تخصصی انتخاب پیمانکاران هستند، و تهیه و تدوین پرسشنامه‌های علمی، معیارها و شاخص‌های موردنظر با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره BWM وزن‌دهی می‌شوند. سپس، امتیازدهی و رتبه‌بندی نهایی گزینه‌ها یا همان پیمانکاران با استفاده از روش FVIKOR انجام می‌شود تا در نهایت بهترین شیوه انتخاب پیمانکار معرفی گردد.

تعیین مجموعه‌ای از معیارها و زیرمعیارهای متناسب با شرایط استان به منظور ارزیابی پیمانکاران، به انجام فرآیند رتبه‌بندی و انتخاب پیمانکاران اصلاح در پروژه‌های گازرسانی اقدام نماید. از این رو، به درخواست کارشناسان کمیته فنی-تخصصی کارفرما، در این مطالعه، یکی از مهم‌ترین پروژه‌های عمرانی گازرسانی استان خراسان جنوبی مورد بررسی قرار گرفته است. بر این اساس، پژوهش حاضر ضمن بررسی معیارها و زیرمعیارهای (شاخص‌های) ارزیابی پیمانکاران در پروژه‌های عمرانی گازرسانی استان، به توسعه فرآیند پیشنهادی ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران و در نهایت انتخاب پیمانکار اصلاح در پروژه

جدول ۱- مروری بر جدیدترین مطالعات انجام‌شده در حوزه پژوهش حاضر

انواع روش‌های متداول حل مسئله در حوزه پژوهش								منبع
VIKOR	BWM	ARAS	TOPSIS	AHP	ANP	CBA	Fuzzy Logic	
				✓			✓	Lashgari, ۲۰۱۷
				✓				Prascevic و Prascevic, ۲۰۱۷
							✓	Gitinavard و Borujeni, ۲۰۱۷
				✓				Chiang و همکاران, ۲۰۱۷
							✓	Abbasianjahromi و همکاران, ۲۰۱۸
		✓						Koçak و همکاران, ۲۰۱۸
					✓			Hasnain و همکاران, ۲۰۱۸
							✓	Rao و همکاران, ۲۰۱۸
			✓	✓				Jabbarzadeh و همکاران, ۲۰۱۸
							✓	Cheaitou و همکاران, ۲۰۱۹
			✓	✓				Taylan و همکاران, ۲۰۱۸
				✓				Hasnain و همکاران, ۲۰۱۸
							✓	Bayhan و Demirkesen, ۲۰۱۹
							✓	Beljkas و همکاران, ۲۰۱۹
✓	✓						✓	پژوهش حاضر

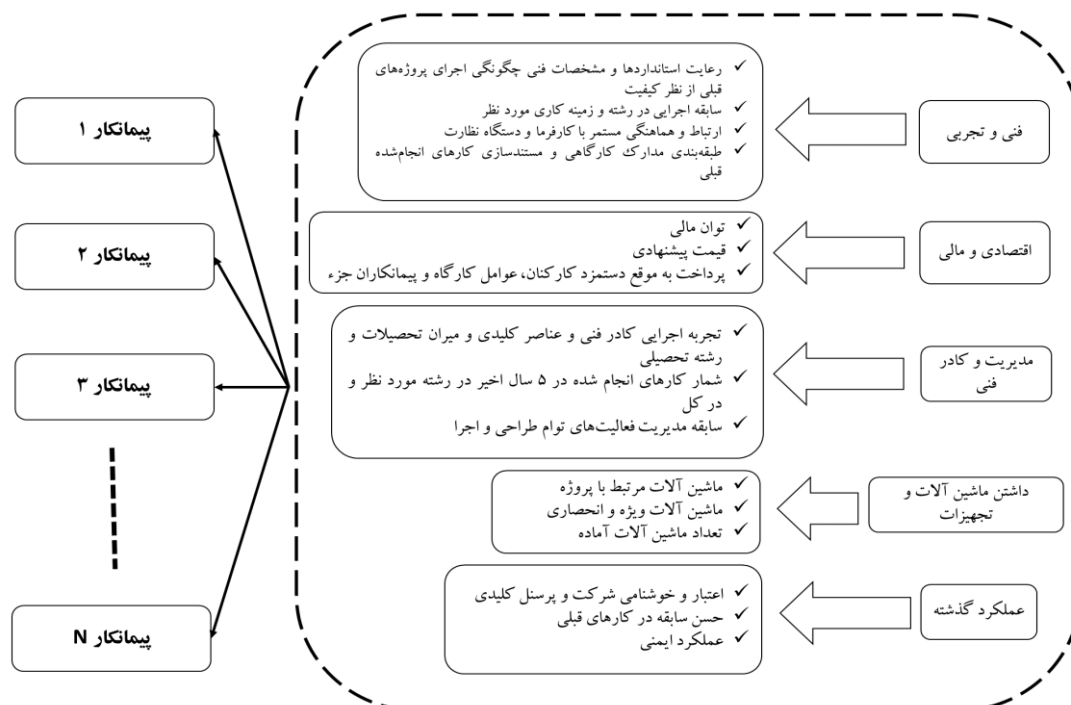


شکل ۱- نمودار گردش کلی فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره برای ارزیابی پیمانکاران در پروژه‌های عمرانی

۲- مواد و روش‌ها

در این پژوهش، یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیبی شامل روش BWM برای وزن‌دهی معیارها و شاخص‌ها و روش FVIKOR به منظور رتبه‌بندی نهایی پیمانکاران استفاده شده است. شکل (۱)، ساختار کلی استفاده از فرآیند تصمیم‌گیری چندمعیاره در حل مسئله پژوهش را نشان می‌دهد: باید توجه داشت که تمامی معیارها و شاخص‌ها در مورد مطالعاتی این پژوهش دارای اهمیت نمی‌باشد و لازم است که مهم‌ترین آن‌ها تعیین شود. در این مطالعه، به‌منظور غربال‌گری معیارهای انتخاب پیمانکاران از روش اعتباریابی لاوشه^{۱۱} ارائه شده

توسط Lawshe و Harris (۱۹۵۸) استفاده شده است. پس از انجام محاسبات اعتباریابی و غربال‌گری، مهم‌ترین معیارها و شاخص‌های منتخب برای ارزیابی پیمانکاران پروژه‌های عمرانی گازرسانی استان و همچنین مدل مفهومی پیشنهادی پژوهش بر مبنای روش ترکیبی BWM-FVIKOR به‌منظور ارزیابی معیارها و رتبه‌بندی پیمانکاران پروژه‌ها به‌صورت شکل (۲) ارائه شده است. در این پژوهش، از روش BWM ارائه‌شده توسط Rezaei (۲۰۱۶) جهت وزن‌دهی به معیارها و شاخص‌ها و از روش FVIKOR، که توسط Zhang و همکاران (۲۰۱۱) ارائه شده است، به منظور امتیازدهی و رتبه‌بندی نهایی پیمانکاران استفاده شده است. در ادامه، به تشریح هر یک از روش‌ها پرداخته خواهد شد.



شکل ۲- معیارها و شاخص‌های منتخب و مدل مفهومی پیشنهادی ارزیابی معیارها و رتبه‌بندی پیمانکاران بر مبنای روش BWM-FVIKOR

$\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ در نظر گرفته می‌شود. مقادیر معیارهای تصمیم می‌تواند بازتاب‌دهنده عملکرد گزینه‌های مختلف باشد.

گام ۲) تعیین بهترین و بدترین معیارها از بین معیارهای اصلی: بر اساس سامانه معیارهای تصمیم، بهترین و بدترین معیار بایستی توسط تصمیم‌گیران شناسایی شوند. بهترین معیار با نماد c_B و بدترین معیار نیز با نماد c_W نشان داده می‌شوند.

گام ۳) انجام مقایسات مرجعی برای بهترین معیار: در این گام، اولویت بهترین معیار نسبت به سایر معیارها با به‌کارگیری اعداد بین ۱ تا ۹ بر اساس مقیاس زبانی مشخص می‌شود. نتایج این بردار به صورت رابطه (۱) نشان داده می‌شود:

۲-۱- روش بهترین- بدترین (BWM)

روش BWM، ضعف‌های روش‌های مبتنی بر مقایسات زوجی از قبیل عدم سازگاری را جبران می‌کند. علاوه بر این، تعداد مقایسات زوجی را به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای فقط با انجام مقایسات مرجعی کاهش می‌دهد. به‌طورکلی، ساختار روش BWM شامل مراحل زیر است (Rezaei, ۲۰۱۶):

گام ۱) ایجاد سامانه معیارهای تصمیم: سامانه معیارهای تصمیم شامل مجموعه معیارهای شناسایی‌شده از طریق مرور ادبیات پژوهش و نظرات تصمیم‌گیران است و به صورت مجموعه

است. از این رو، با حل این مدل، وزن‌های بهینه $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ و مقدار بهینه ξ^{L*} حاصل می‌شوند. برای این مدل، مقادیر نزدیک به صفر ξ^{L*} نشان‌دهنده سطح بالای سازگاری است (Rezaei, ۲۰۱۶).

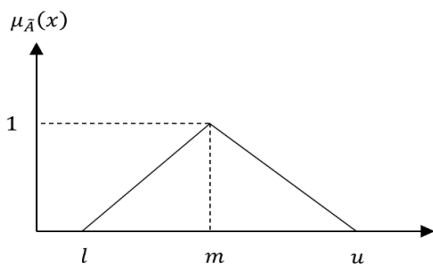
۲-۲- روش ویکور فازی (FVIKOR)

نظریه منطق فازی توسط پروفیسور لطفی‌زاده در سال ۱۹۶۵ جهت نگاشت عبارات زبانی به مقادیر عددی در تصمیمات انسانی پیشنهاد گردید. مجموعه‌های فازی اغلب برای حل عدم قطعیت‌ها و نامعینی در تخصیص وزن‌های معیارها و رتبه‌های گزینه‌ها در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره تعریف می‌شوند. یک مجموعه فازی که توسط یک تابع عضویت فازی تعریف می‌گردد، هر امتیاز عضویت مربوط به هر معیار را در بازه $[0,1]$ تعیین می‌کند، که منعکس‌کننده درجات معیارهای مجموعه است. علاوه بر این، عبارات زبانی نظیر "خوب"، "عادلانه" و "بد" برای تعریف فواصل عددی مطرح می‌شوند.

عدد فازی \tilde{A} از مجموعه فازی و با تابع عضویت $\mu_{\tilde{A}}(x)$ به صورت $R \rightarrow [0,1]$ ($0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x) \leq 1, x \in X$) تعریف می‌شود، به طوری که x نشان‌دهنده معیار و به صورت مشخصه‌های ذیل شرح داده می‌شود: ۱- $\mu_{\tilde{A}}(x)$ به عنوان یک نگاشت پیوسته از R (خط حقیقی) برای یک بازه بسته $[0,1]$ است؛ ۲- $\mu_{\tilde{A}}(x)$ یک زیرمجموعه فازی محدب است؛ ۳- $\mu_{\tilde{A}}(x)$ یک زیرمجموعه فازی نرمال شده است به معنای آنکه مقدار x_0 وجود داشته باشد به طوری که $\mu_{\tilde{A}}(x_0) = 1$ بنابراین عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (l, m, u)$ می‌تواند به صورت رابطه (۵) تعریف شود:

$$\mu_{\tilde{A}}(x) = \begin{cases} (x-l)/(m-l), & \text{if } l \leq x \leq m \\ (u-x)/(u-m), & \text{if } m \leq x \leq u \\ 0, & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

در این رابطه، کران بالا با u نشان داده می‌شود و بیشینه مقادیری است که عدد فازی \tilde{A} می‌تواند اختیار کند. کران پایین با l نشان داده می‌شود و کمینه مقادیری است که عدد فازی \tilde{A} می‌تواند اختیار کند. مقدار m نیز محتمل‌ترین مقدار یک عدد فازی است. عدد فازی مثلثی $\tilde{A} = (l, m, u)$ در فضای هندسی به صورت شکل (۳) نمایش داده می‌شود:



شکل ۳- تابع عضویت عدد فازی مثلثی

$$A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})^T \quad (1)$$

به طوری که a_{Bj} اولویت بهترین معیار انتخاب شده B را نسبت به هر معیار j نشان می‌دهد. واضح است که $a_{BB} = 1$ است. در قالب یک مثال عددی در صورتی که پنج معیار وجود داشته باشد، و معیار شماره ۱ به عنوان بهترین معیار در نظر گرفته شود، چنانچه فرض شود امتیاز معیار ۱ در مقایسه با معیار ۴ برابر با ۹ باشد، بدین معناست که معیار ۱ به اندازه ۹ برابر معیار ۴ دارای اهمیت است.

گام ۴) انجام مقایسات مرجعی برای بدترین معیار: به طور مشابه با به کارگیری اعداد بین ۱ تا ۹، اولویت تمام معیارها نسبت به بدترین معیار انتخاب شده محاسبه می‌شود. نتایج این بردار به صورت رابطه (۲) نشان داده می‌شود:

$$A_W = (a_{1W}, a_{2W}, \dots, a_{nW})^T \quad (2)$$

به طوری که a_{jW} اولویت هر معیار j را نسبت به بدترین معیار انتخاب شده W نشان می‌دهد. واضح است که $a_{WW} = 1$ است. در این گام نیز چنانچه فرض شود امتیاز یک معیار فرضی در مقایسه با بدترین معیار برابر با ۵ باشد، بدین معناست که معیار فرضی موردنظر به اندازه ۵ برابر بدترین معیار دارای اهمیت است.

گام ۵) تعیین بردار وزن‌های بهینه $(W_1^*, W_2^*, \dots, W_n^*)$: در این گام، برای دستیابی به وزن‌های بهینه معیارها بایستی بیشترین اختلاف مطلق $\{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jW}w_W|\}$ برای تمامی j ها کمینه شود، که به صورت مدل بهینه‌سازی رابطه (۳) مشخص شده است:

$$\begin{aligned} & \min \max_j \{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jW}w_W|\} \\ & \text{S. t.} \\ & \sum_j w_j = 1 \\ & w_j \geq 0, \text{ for all } j \end{aligned} \quad (3)$$

به طوری که w_B وزن بهترین معیار، w_W وزن بدترین معیار و w_j وزن معیار j ام می‌باشد که از دیدگاه هر تصمیم‌گیر قابل تعیین است. رابطه (۳) به منظور ساده‌سازی فرآیند تحلیل مسئله بهینه‌سازی، رابطه مدل بهینه‌سازی (۳) قابلیت تبدیل شدن به مدل بهینه‌سازی رابطه (۴) را داراست:

$$\begin{aligned} & \min \xi^L \\ & \text{S. t.} \\ & |w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi^L, \text{ for all } j \\ & |w_j - a_{jW}w_W| \leq \xi^L, \text{ for all } j \\ & \sum_j w_j = 1 \\ & w_j \geq 0, \text{ for all } j \end{aligned} \quad (4)$$

مدل رابطه (۴)، مدل بهینه خطی و دارای جواب منحصر به فرد

مقدار رأس عدد فازی m_{ij} می باشد. بنابراین می توان ماتریس تصمیم را به صورت رابطه (۱۱) تعیین نمود:

$$\tilde{D} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{11} & \tilde{x}_{12} & \cdots & \tilde{x}_{1n} \\ \tilde{x}_{21} & \tilde{x}_{22} & \cdots & \tilde{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{m1} & \tilde{x}_{m2} & \cdots & \tilde{x}_{mn} \end{bmatrix} = [\tilde{x}_{ij}]_{m \times n} \quad (11)$$

می توان ماتریس تصمیم نرمال سازی شده را به صورت رابطه (۱۲) در نظر گرفت:

$$\begin{aligned} \tilde{R} &= [\tilde{r}_{ij}]_{m \times n} \\ \tilde{r}_{ij} &= \left(\frac{l_{ij}}{u_j^+}, \frac{m_{ij}}{u_j^+}, \frac{u_{ij}}{u_j^+} \right), \quad j \in B \\ \tilde{r}_{ij} &= \left(\frac{l_j^-}{l_{ij}}, \frac{l_j^-}{m_{ij}}, \frac{l_j^-}{u_{ij}} \right), \quad j \in C \\ u_j^+ &= \max_i u_{ij} \quad \text{if } j \in B \\ l_j^- &= \min_i l_{ij} \quad \text{if } j \in C \end{aligned} \quad (12)$$

به طوری که \tilde{r}_{ij} مقدار فازی نرمال سازی شده امتیاز فازی \tilde{x}_{ij} B مجموعه معیارهای مثبت و C مجموعه معیارهای منفی است. گام ۲) تعیین مقادیر ایده آل: برای معیارهای مثبت مقدار \tilde{f}_j^* برابر است با بزرگ ترین درایه های عدد فازی و \tilde{f}_j^- برابر است با کوچک ترین درایه های عدد فازی و برای معیارهای منفی به صورت بالعکس می باشد، که در روابط (۱۳) و (۱۴) نشان داده شده است:

$$\begin{aligned} \tilde{f}_j^* &= [\tilde{r}_{0j}^+] = \left[\max_{1 \leq i \leq m} \left(\{\tilde{r}_{ij}\}_{i=1}^m \right) \mid j \right. \\ &\quad \left. \in B, \min_{1 \leq i \leq m} \left(\{\tilde{r}_{ij}\}_{i=1}^m \right) \mid j \right. \\ &\quad \left. \in C \right], \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \tilde{f}_j^- &= [\tilde{r}_{0j}^-] = \left[\min_{1 \leq i \leq m} \left(\{\tilde{r}_{ij}\}_{i=1}^m \right) \mid j \right. \\ &\quad \left. \in B, \max_{1 \leq i \leq m} \left(\{\tilde{r}_{ij}\}_{i=1}^m \right) \mid j \right. \\ &\quad \left. \in C \right], \quad j = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (14)$$

گام ۳) نرمال سازی ماتریس تصمیم: در این گام نرمال سازی برای معیارهای مثبت و منفی براساس رابطه (۱۵) صورت می گیرد:

$$d_{ij} = \frac{d(\tilde{f}_j^*, \tilde{r}_{ij})}{d(\tilde{f}_j^*, \tilde{f}_j^-)} \quad (15)$$

گام ۴) تعیین مقادیر S و R : در این گام ابتدا باید ماتریس نرمال وزن دار گردد، سپس با استفاده از روابط (۱۶) و (۱۷) این مقادیر تعیین می گردد:

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j d_{ij} \quad (16)$$

$$R_i = \max_j w_j d_{ij} \quad (17)$$

با توجه به تابع عضویت اعداد مثلثی مشخص است چنانچه x بین l و m باشد آنگاه هر چه بزرگ تر باشد، درجه عضویت آن نیز بزرگ تر خواهد شد تا جایی که به ازای مقادیر $x = m$ درجه عضویت برابر یک می شود. چنانچه x بین m و u باشد، آنگاه هر چه بزرگ تر باشد، درجه عضویت آن نیز کوچک تر خواهد شد و به ازای $x = u$ درجه عضویت صفر خواهد شد.

چنانچه $\tilde{A}_1 = (l_1, m_1, u_1)$ و $\tilde{A}_2 = (l_2, m_2, u_2)$ دو عدد فازی مثلثی باشند، در این صورت عملیات جبری بر روی اعداد فازی مثلثی \tilde{A}_1 و \tilde{A}_2 را می توان به صورت روابط (۶)، (۷)، (۸) و (۹) نشان داد:

$$\tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \oplus (l_2, m_2, u_2) = (l_1 + l_2, m_1 + m_2, u_1 + u_2) \quad (6)$$

$$\tilde{A}_1 \otimes \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) \otimes (l_2, m_2, u_2) = (l_1 l_2, m_1 m_2, u_1 u_2) \quad (7)$$

$$\tilde{A}_1 \oslash \tilde{A}_2 = (l_1, m_1, u_1) / (l_2, m_2, u_2) = (l_1 / l_2, m_1 / m_2, u_1 / u_2) \quad (8)$$

$$\lambda \tilde{A}_1 = (\lambda l_1, \lambda m_1, \lambda u_1), \lambda > 0 \quad (9)$$

در بیشتر فرآیندهای تصمیم گیری چندمعیاره، تصمیم گیرندگان اغلب پاسخ های نامعین کیفی و زبانی را به جای مقادیر دقیق عددی ارائه می دهند. از این رو، عبارات زبانی و نظریه مجموعه های فازی به منظور ارزیابی اولویت های تصمیم گیران به جای روش سنتی عددی توصیه می شوند.

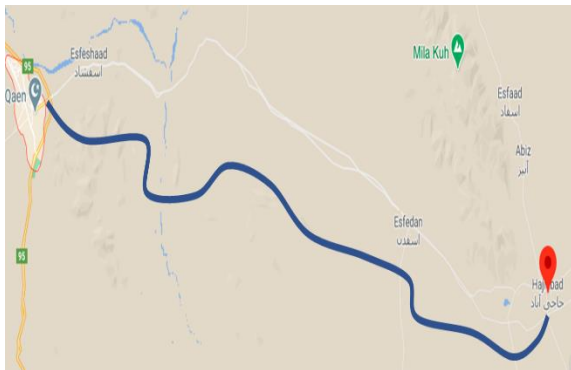
در این راستا، روش FVIKOR به عنوان یک روش رتبه بندی سازشی اغلب در شرایط دارا بودن معیارهای مختلف متعارض مورد استفاده قرار می گیرد (Opricovic, ۱۹۹۸). این روش، یک راه حل سازشی مبتنی بر "نزدیکی به راه حل ایده آل و توافق دوجانبه از طریق امتیازات" ایجاد می کند. این روش به طور گسترده توسط پژوهشگران بسیاری جهت رتبه بندی گزینه ها، که در این پژوهش همان پیمانکاران می باشند، مورد استفاده قرار گرفته است. گام های روش FVIKOR در ادامه ارائه شده است (Gupta, ۲۰۱۸):

گام ۱) تشکیل ماتریس زوجی فازی برای هر گزینه: ماتریس زوجی فازی برای هر گزینه بر این اساس تشکیل می گردد که در این ماتریس هر یک از گزینه ها نسبت به معیارها با استفاده از مقیاس زبانی مطابق رابطه (۱۰) ارزیابی می شوند:

$$\tilde{x}_{ij} = \frac{1}{k} [\tilde{x}_{ij}^1 + \tilde{x}_{ij}^2 + \cdots + \tilde{x}_{ij}^k] = \frac{1}{k} \sum_{k=1}^K \tilde{x}_{ij}^k \quad (10)$$

به طوری که \tilde{x}_{ij}^k امتیاز فازی گزینه i ام نسبت به معیار j ام از دیدگاه تصمیم گیر k ام و \tilde{x}_{ij} امتیاز فازی از دیدگاه گروه تصمیم گیران است. \tilde{x}_{ij} دارای کران پایین l_{ij} ، کران بالای u_{ij} و

خط انتقال گاز ۱۰ اینچی، احداث ۲ ایستگاه حفاظت کاتدیک، احداث و نصب ۵ ایستگاه شیر انشعاب و شیر بین‌راهی، فرستنده و گیرنده توپک از مشخصات برآوردی این پروژه است که اعتبار مالی آن ۴۱۰ میلیارد ریال از محل اعتبارات داخلی شرکت ملی گاز برآورد گردیده است. شکل (۴) شماتیک پروژه عمرانی خط انتقال گاز شهرستان قائن به شهرستان حاجی‌آباد را نشان می‌دهد: با توجه به حجم پروژه‌های اجرایی این شرکت، مشخص است که در صورت عدم انتخاب پیمانکار مناسب، تنزل کیفیت اجرای پروژه، ایجاد تأخیرات زمانی محتمل و نیز احتمال تحمیل هزینه‌های هنگفت از طریق اجرای نامناسب پروژه وجود دارد. بنابراین استفاده از روش‌های علمی مبتنی بر نظرات خبرگان جهت ایجاد سطح اطمینان مناسب در ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران و انتخاب پیمانکاران نهایی امری ضروری و اجتناب‌ناپذیر است.



شکل ۴- شماتیک پروژه عمرانی مطالعاتی خط انتقال گاز ۱۰ اینچی شهرستان قائن به شهرستان حاجی‌آباد

۳-۲- محاسبه وزن‌های معیارهای ارزیابی پیمانکاران با استفاده از روش BWM

پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌های مربوط به روش BWM، وزن‌های مربوط به معیارها و شاخص‌ها از حل مدل بهینه ارائه شده در رابطه (۴) با استفاده از نسخه ۲۴/۳ نرم‌افزار بهینه‌سازی GAMS و با به‌کارگیری حل‌کننده BARON نتیجه شده است.

همان‌طور که از محاسبات وزن‌های معیارها و شاخص‌ها نتیجه می‌شود، معیار اقتصادی و مالی دارای بیشترین وزن محلی (۰/۳۴۸) و معیار داشتن ماشین‌آلات و تجهیزات نیز دارای کمترین وزن محلی (۰/۰۸۰) در بین تمامی معیارهای اصلی است. با توجه به این‌که معیار سازگاری $\xi^{L*} = 0/057$ می‌باشد، نتایج از سازگاری بسیار بالایی برخوردار است. به طریق مشابه، برای هر یک از معیارهای اصلی نیز اولویت بهترین شاخص نسبت به سایر شاخص‌ها، اولویت سایر شاخص‌ها نسبت به بدترین شاخص و همچنین متوسط وزن‌های محلی مشخص گردیده است. در نهایت، مطابق جدول (۲)، وزن‌های بهینه محلی و سراسری برای تمامی

گام (۵) محاسبه شاخص ویکور: این شاخص با استفاده از رابطه (۱۸) محاسبه می‌گردد. در این رابطه متغیر v حداکثر مطلوبیت گروهی می‌باشد و عددی بین ۰ تا ۱ است.

$$Q_i = v \left(\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right) + (1 - v) \left(\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right) \quad (18)$$

به طوری که $S^* = \min S_i$ ، $S^- = \max S_i$ ، $R^* = \min R_i$ و $R^- = \max R_i$ است.

گام (۶) رتبه‌بندی گزینه‌ها (پیمانکاران) بر اساس کمترین به بیشترین مقادیر Q_i .

۳- نتایج و بحث

در این پژوهش، به منظور دستیابی به نتایج معتبر، از نظرات اجماعی کمیته‌ای فنی- تخصصی از تصمیم‌گیران و کارشناسان شرکت گاز استان خراسان جنوبی برای جمع‌آوری اطلاعات استفاده شده است تا عملکرد گزینه‌ها را نسبت به معیارهای ارائه شده در شکل (۲) مورد ارزیابی قرار دهند. اعضای کمیته فنی- تخصصی انتخاب پیمانکاران شامل مدیران و کارشناسان ارشد بخش فنی شرکت می‌باشد که دارای سابقه کار بیش از ۱۰ سال هستند. همچنین حداقل مدرک تحصیلی تمام اعضای کمیته فنی کارشناسی ارشد می‌باشد. بنابراین نظر این افراد، به عنوان خبرگان، از دیدگاه کارفرما مورد تأیید است.

۳-۱- معرفی مورد مطالعاتی

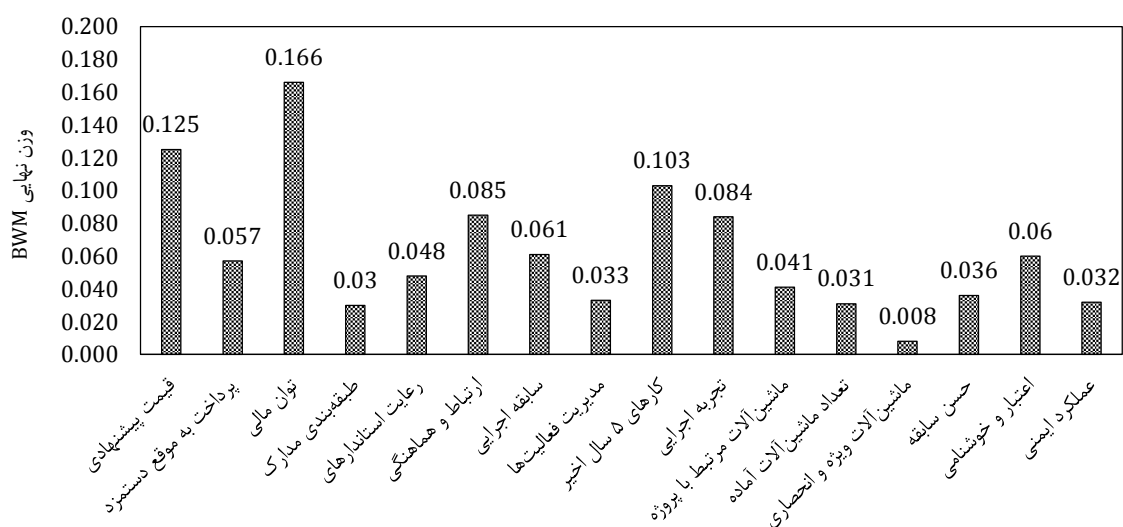
شرکت گاز استان خراسان جنوبی در اواخر تیر ماه سال ۱۳۸۵ با معرفی مدیرعامل و اعضاء هیئت‌مدیره به عنوان بیست‌وهفتمین شرکت گاز استانی فعالیت خود را آغاز نمود. اما فعالیت رسمی و مستقل شرکت پس از ثبت شرکت و اخذ ردیف دستگاه از ابتدای سال ۱۳۸۶ آغاز گردید. اولین شهرستان استان خراسان جنوبی در سال ۱۳۸۶ به شبکه گاز طبیعی کشور متصل گردید و هم‌اکنون ۸۸/۵ درصد جمعیت شهری و ۲۶ درصد مشترکین روستایی از نعمت گاز طبیعی برخوردار می‌باشند.

در این پژوهش پروژه احداث خط انتقال گاز ۱۰ اینچی از شهرستان قائن به شهرستان حاجی‌آباد، به عنوان یکی از پروژه‌های مهم عمرانی گازرسانی شرکت و بر اساس نیاز و پیشنهاد کمیته فنی شرکت، مورد مطالعه و تحلیل قرار گرفته است. در این پروژه خط انتقال، پنج شرکت پیمانکاری معتبر و رقابتی استان جهت ارزیابی و رتبه‌بندی و در نهایت انتخاب پیمانکار اصلح، شرکت کرده‌اند. با بهره‌برداری از عملیات اجرایی این پروژه انتقال گاز، ضمن ایجاد ظرفیت توسعه گازرسانی در شهرستان زیرکوه، شهر اسفدن از توابع شهرستان قاینات و شهرستان حاجی‌آباد نیز از نعمت گاز طبیعی بهره‌مند می‌گردند. همچنین اجرای ۹۱ کیلومتر

معیارهای اصلی و شاخص‌های مربوطه ارائه گردیده است و میزان اهمیت هر یک از معیارها جهت انتخاب پیمانکاران در پروژه‌های عمرانی گازرسانی شرکت گاز استان خراسان جنوبی نشان داده شده است:

جدول ۲- وزن‌ها و رتبه‌های معیارها و شاخص‌های ارزیابی پیمانکاران پروژه‌های عمرانی گازرسانی خراسان جنوبی از نظر تصمیم‌گیران

رتبه	وزن سراسری شاخص	وزن محلی شاخص	شاخص	وزن محلی معیار اصلی	معیار اصلی
۲	۰/۱۲۵	۰/۳۵۸	قیمت پیشنهادی		اقتصادی و مالی
۸	۰/۰۵۷	۰/۱۶۵	پرداخت به موقع دستمزد	۰/۳۴۸	
۱	۰/۱۶۶	۰/۴۷۷	توان مالی		
۱۵	۰/۰۳۰	۰/۱۳۶	طبقه‌بندی مدارک		فنی و تجربی
۹	۰/۰۴۸	۰/۲۱۳	رعایت استانداردها	۰/۲۲۴	
۴	۰/۰۸۵	۰/۳۸۰	ارتباط و هماهنگی		
۶	۰/۰۶۱	۰/۲۷۱	سابقه اجرایی		
۱۲	۰/۰۲۳	۰/۱۴۹	مدیریت فعالیت‌ها		مدیریت و کادر فنی
۳	۰/۱۰۳	۰/۴۷۰	کارهای ۵ سال اخیر	۰/۲۲۱	
۵	۰/۰۸۴	۰/۳۸۲	تجربه اجرایی		
۱۰	۰/۰۴۱	۰/۵۱۷	ماشین‌آلات مرتبط با پروژه		ماشین‌آلات و تجهیزات
۱۴	۰/۰۳۱	۰/۳۸۷	تعداد ماشین‌آلات آماده	۰/۰۸۰	
۱۶	۰/۰۰۸	۰/۰۹۶	ماشین‌آلات ویژه و انحصاری		
۱۱	۰/۰۳۶	۰/۲۸۰	حسن سابقه		
۷	۰/۰۶۰	۰/۴۶۹	اعتبار و خوش‌نامی	۰/۱۲۷	عملکرد گذشته
۱۳	۰/۰۳۲	۰/۲۵۱	عملکرد ایمنی		



شکل ۵- وزن نهایی BWM شاخص‌های ارزیابی پیمانکاران پروژه‌های عمرانی گازرسانی خراسان جنوبی از دیدگاه تصمیم‌گیران

تعداد ماشین‌آلات آماده (وزن ۰/۰۳۱). شکل (۵) وزن نهایی شاخص‌ها را نشان داده است.

۳-۳- امتیازدهی و رتبه‌بندی پیمانکاران با استفاده از روش FVIKOR

به طریق مشابه، ماتریس تصمیم میانگین و نیز ماتریس تصمیم نرمال‌سازی شده برای روش FVIKOR مطابق با روابط (۱۱) و (۱۲) محاسبه گردیده است. در گام بعد، بیشینه و کمینه مقادیر معیارها با استفاده از روابط (۱۳) و (۱۴) محاسبه شده است. علاوه

مطابق با اطلاعات جدول (۲)، می‌توان مشاهده نمود که سه معیار مهم در ارزیابی پیمانکاران عبارت‌اند از توان مالی (وزن ۰/۱۶۶)، قیمت پیشنهادی (وزن ۰/۱۲۵) و کارهای انجام شده در ۵ سال اخیر (وزن ۰/۱۰۳). به طریق مشابه، سه معیاری که کم‌ترین میزان اهمیت را به دست آورده‌اند نیز عبارت‌اند از ماشین‌آلات ویژه و انحصاری (وزن ۰/۰۰۸)، طبقه‌بندی مدارک (وزن ۰/۰۳۰) و

در جدول (۳) مشخص گردیده است. بر این اساس، پیمانکاران با توجه به مقادیر Q رتبه‌بندی می‌گردند و پیمانکاری که کم‌ترین مقدار Q را دارا باشد به عنوان بهترین پیمانکار انتخاب می‌شود.

بر این، با به‌کارگیری روابط (۱۶)، (۱۷) و (۱۸) مربوط به روش FVIKOR، مقادیر R و Q (به‌ازای پارامتر $v = 0.5$) محاسبه شده‌اند و نتایج امتیازدهی و رتبه‌بندی برای هر گزینه (پیمانکار)

جدول ۳- امتیازات و رتبه‌بندی پیمانکاران پروژه عمرانی گازرسانی خراسان جنوبی از نظر تصمیم‌گیران براساس روش FVIKOR

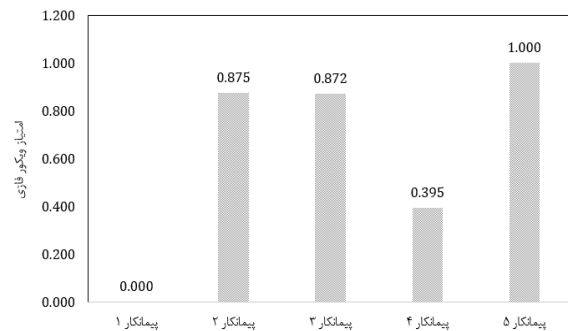
رتبه	Q	رتبه	R	رتبه	S	پیمانکار
۱	۰/۰۰۰	۱	۰/۰۱۵	۱	۰/۰۱۹	پیمانکار ۱
۴	۰/۸۷۵	۴	۰/۱۵۰	۴	۰/۸۴۱	پیمانکار ۲
۳	۰/۸۷۲	۳	۰/۱۵۰	۳	۰/۸۳۷	پیمانکار ۳
۲	۰/۳۹۵	۲	۰/۰۷۰	۲	۰/۴۳۰	پیمانکار ۴
۵	۱/۰۰۰	۵	۰/۱۶۹	۵	۰/۹۶۷	پیمانکار ۵

منظور در نظر گرفتن اثرات تمامی معیارها در ارزیابی و رتبه‌بندی پیمانکاران، استفاده از روش پیشنهادی در این مطالعه سبب ارائه پیشنهادات مدیریتی مناسب به شرکت گاز استان خراسان جنوبی می‌گردد و تصمیم‌گیرندگان را در انتخاب پیمانکار مناسب بر اساس برآیند نظر خبرگان یاری می‌نماید.

همان‌طور که از نتایج مشاهده می‌شود، بهترین گزینه، پیمانکار ۱ است که دارای مقدار Q برابر با صفر است. دومین گزینه، پیمانکار ۴ و رتبه سوم مربوط به پیمانکار ۳ است. رتبه چهارم برای پیمانکار ۲ و درنهایت پایین‌ترین رتبه به پیمانکار ۵ اختصاص دارد. شکل (۶)، امتیاز نهایی پیمانکاران را بر مبنای پارامتر $v = 0.5$ نشان می‌دهد:

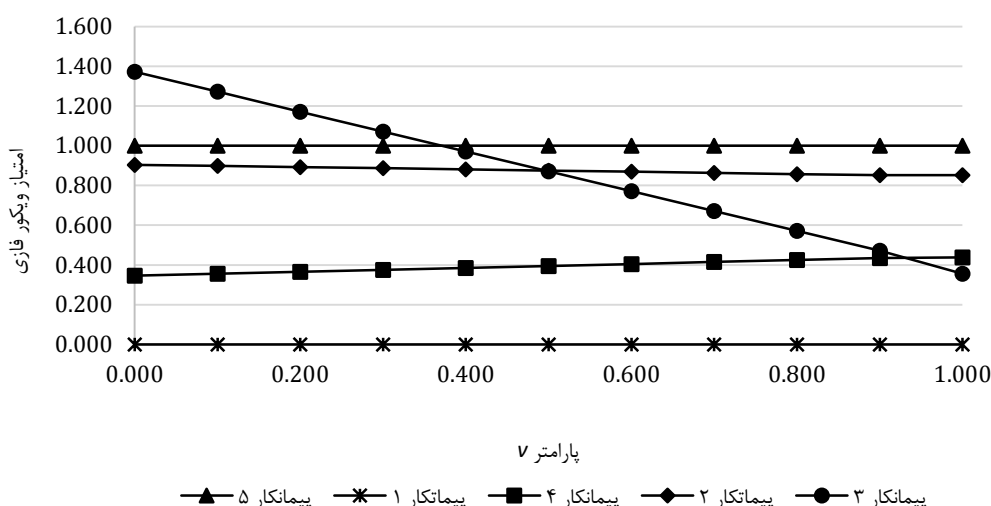
۳-۴- تحلیل حساسیت روش FVIKOR

در این بخش به منظور بررسی حساسیت نتایج خروجی امتیازدهی و رتبه‌بندی پیمانکاران حاصل از تحلیل روش FVIKOR، نسبت به تغییرات مقادیر مختلف پارامتر حداکثر مطلوبیت گروهی v ، مقدار این پارامتر در بازه ۰ تا ۱ با گام ۰/۱ تغییر کرده است و نتایج حاصل از رتبه‌بندی پیمانکاران به ازای این تغییرات ارائه می‌شود. این تحلیل حساسیت نشان خواهد داد که تصمیمات مختلف ارائه‌شده توسط روش FVIKOR از منظر میزان حداکثر مطلوبیت گروهی موردنظر (از دیدگاه مطلوبیت فردی و یا مطلوبیت جمعی) چه تأثیری بر رتبه‌بندی پیمانکاران پروژه‌های عمرانی دارد. بر این اساس، مقادیر امتیازات مختلف پیمانکاران پروژه عمرانی گازرسانی خراسان جنوبی بر مبنای روش FVIKOR به‌ازای مقادیر مختلف پارامتر v مطابق با شکل (۷) تشریح می‌شود. همچنین در جدول (۴) رتبه‌بندی پیمانکاران به‌ازای مقادیر مختلف پارامتر v ارائه شده است. مطابق با جدول (۴) می‌توان گفت که تأثیر تغییرات مقادیر مختلف پارامتر v بر نتایج امتیازات نهایی و نیز رتبه‌بندی نهایی پیمانکاران در دو حالت، $v = 0.4$ ، $v = 0.5$ و $v = 0.9$ اتفاق افتاده است. در حالات اول و دوم، امتیازات و رتبه‌بندی پیمانکاران ۳ و ۵ تحت تأثیر قرار گرفته است. همچنین در حالت سوم، امتیازات و رتبه‌بندی پیمانکاران ۳ و ۴ تحت تأثیر قرار گرفته است. نکته حائز اهمیت این است که پیمانکار ۱ همیشه در رتبه اول قرار دارد. به ازای مقادیر v بین ۰ تا ۰/۳ پیمانکار ۱ در رتبه اول قرار دارد و پیمانکار ۴ رتبه دوم را به خود اختصاص داده است. اما به ازای مقدار $v = 0.4$ ، پیمانکار ۳ در رتبه چهارم و پیمانکار ۵ در رتبه پنجم قرار گرفته است.



شکل ۶- امتیاز نهایی FVIKOR پیمانکاران پروژه عمرانی گازرسانی خراسان جنوبی از دیدگاه تصمیم‌گیران

همان‌طور که از نتایج تحلیلی و عددی حاصل از رتبه‌بندی پیمانکاران مبتنی بر روش پیشنهادی FVIKOR توسعه‌یافته در این پژوهش ملاحظه می‌گردد، می‌توان مشاهده نمود پیمانکار ۱ به‌عنوان بهترین گزینه و پیمانکار ۴ به‌عنوان گزینه بعدی انتخاب می‌گردد. از سویی دیگر مطابق با مصاحبه اولیه انجام‌شده با مدیران و کارشناسان شرکت گاز استان خراسان جنوبی، پیمانکار ۴ جهت اجرای پروژه مدنظر پیشنهاد گردیده است که امتیاز این پیمانکار در شرایط رقابتی تا حد بسیار زیادی به امتیاز پیمانکار ۱ شباهت دارد. مبنای انتخاب اولیه پیمانکار ۴ در جلسات اولیه تشکیل‌شده در شرکت گاز استان، صرفاً قیمت پیشنهادی کمتر از طرف پیمانکار ۴ نسبت به پیمانکار ۱ می‌باشد که سبب گردیده است تا این پیمانکار ابتدا از دیدگاه صرفاً اقتصادی در اولویت قرار گیرد. به همین جهت، بر مبنای نظر کارفرما و کمیته فنی- تخصصی، به



شکل ۷- تحلیل حساسیت نتایج امتیازات نهایی FVIKOR پیمانکاران پروژه عمرانی گازرسانی خراسان جنوبی نسبت به پارامتر v

جدول ۴- تحلیل حساسیت نتایج رتبه‌بندی نهایی پیمانکاران پروژه عمرانی گازرسانی خراسان جنوبی به ازای مقادیر پارامتر v

پیمانکار	$v=0$	$v=0/1$	$v=0/2$	$v=0/3$	$v=0/4$	$v=0/5$
پیمانکار ۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱
پیمانکار ۲	۳	۳	۳	۳	۳	۴
پیمانکار ۳	۵	۵	۵	۵	۴	۳
پیمانکار ۴	۲	۲	۲	۲	۲	۲
پیمانکار ۵	۴	۴	۴	۴	۵	۵
پیمانکار	$v=0/6$	$v=0/7$	$v=0/8$	$v=0/9$	$v=1$	
پیمانکار ۱	۱	۱	۱	۱	۱	
پیمانکار ۲	۴	۴	۴	۴	۴	
پیمانکار ۳	۳	۳	۳	۳	۲	
پیمانکار ۴	۲	۲	۲	۲	۳	
پیمانکار ۵	۵	۵	۵	۵	۵	

FVIKOR، در صورتی که v بین صفر تا نیم مقداردهی شود، بدین معناست که نظرات فردی خبرگان دارای اهمیت است. در واقع در این حالت تأکید بر افزایش فاصله با نقطه ایده‌آل منفی (ضدایده‌آل) و بدترین شرایط است. اما چنانچه این پارامتر بین نیم تا یک مقداردهی شود، نظرات جمعی حائز اهمیت می‌باشد و از لحاظ محاسباتی تأکید بر کاهش فاصله از نقطه ایده‌آل مثبت و بهترین شرایط است. در حقیقت در این حالت تصمیم‌گیرنده تمایل دارد تا حد امکان از شرایط ایده‌آل مثبت فاصله نگیرد. مقدار $0/5$ نیز حالت تعادل و خنثی بین این دو حالت را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج جدول (۴) مناسب به نظر می‌رسد که مدیران شرکت گاز استان خراسان جنوبی در انتخاب پیمانکاران برای اجرای پروژه‌های عمرانی گازرسانی به نظرات جمعی توجه کرده و حساسیت بیشتری نسبت به نتایج در این شرایط داشته باشند.

همچنین باید توجه داشت که به ازای مقادیر بین 0 تا $0/4$ برای پارامتر v ، اولویت در رتبه‌بندی پیمانکاران بر اساس نظرات فردی است و مطلوبیت نظرات فردی مطرح می‌باشد. اما به ازای مقادیر v بین $0/6$ تا 1 توجه بیشتر به نظرات جمعی تصمیم‌گیران است و مطلوبیت نظرات گروهی مورد نظر می‌باشد. مقدار $v=0/5$ نیز حالت تعادلی بین نظرات فردی و گروهی را نشان می‌دهد. طبق اطلاعات ارائه‌شده در شکل (۷) و جدول (۴)، مشاهده می‌شود که تغییر در رتبه‌بندی گزینه‌های برتر (رتبه دوم) در حالت تصمیمات جمعی (بین مقادیر $0/7$ تا 1) روی داده است. در حالی که تغییر گزینه‌های چهارم و پنجم (پیمانکاران ۲ و ۳) در مقادیر v بین 0 تا $0/5$ اتفاق افتاده است. بنابراین می‌توان گفت که تأثیر نظرات جمعی دارای اهمیت بیشتری است، چراکه سبب ایجاد تغییر در رتبه‌بندی رتبه‌های اول و دوم می‌شود. به‌طور کلی، پارامتر v در روش FVIKOR بیانگر سطح توجه به نظرات جمع و فردی است. مطابق با تئوری ارائه‌شده برای روش

۴- نتیجه‌گیری

در نظر گرفته شود. نیز می‌توان از تحلیل حساسیت نتایج نسبت به سایر روش‌های امتیازدهی و رتبه‌بندی نظیر روش تحلیل روابط خاکستری (GRA) در مطالعات آتی بهره‌مند گردید.

۵- تشکر و قدردانی

این مقاله، مستخرج از مطالعات پژوهشی رساله کارشناسی ارشد تحت قرارداد حمایتی شرکت گاز خراسان جنوبی با شماره گ/۴۳/۷۰/۹۸۶۷ می‌باشد. از این‌رو، نویسندگان این مقاله، از شرکت گاز خراسان جنوبی به جهت حمایت مالی طرح و نیز از کارشناسان و اعضای کمیته برگزاری مناقصات این شرکت جهت همکاری در تکمیل پرسشنامه‌ها و ارائه اطلاعات لازم کمال سپاس‌گزاری را دارند. همچنین، نویسندگان مقاله، از گروه مهندسی عمران و دانشکده مهندسی دانشگاه حکیم سبزواری به جهت تصویب این پژوهش و انجام همکاری‌های علمی و پژوهشی ارزشمند جهت به ثمر رسیدن این مطالعات کمال قدردانی را دارند.

۶- مراجع

- Abbasi Jahromi H, Sepel M, Abbasi O, "A decision-making framework for subcontractor selection in construction projects", *Engineering Management Journal*, 2018, 30 (2), 141-152.
- Beljkas Z, Prascevic Z, Ivanisevic N, Knezevic M, Cvetkovska M, "Application of fuzzy logic on selection of contractors for construction of high rise buildings", *The IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, International Scientific Conference "People Buildings and Environment (PBE 2019)", Brno, Czech Republic, 17-19 October, 2019.
- Borbath M, Blessner P, Olson B, "An empirical approach to the evaluation of defence contractor performance", *International Journal of Logistics Research and Applications*, 2019, 22 (2), 138-153.
- Borujeni MP, Gitinavard H, "Evaluating the sustainable mining contractor selection problems: An imprecise last aggregation preference selection index method", *Journal of Sustainable Mining*, 2017, 16 (4), 207-218.
- Cao Q, Esangbedo MO, Bai S, Esangbedo CO, "Grey SWARA-FUCOM weighting method for contractor selection MCDM problem: A case study of floating solar panel energy system installation", *Energies*, 2019, 12 (13), 2481.
- Cheaitou A, Larbi R, Al Housani B, "Decision making framework for tender evaluation and contractor selection in public organizations with risk considerations", *Socio-Economic Planning Sciences*, 2019, 68, 100620.
- Chiang FY, Vincent FY, Luarn P, "Construction contractor selection in Taiwan using AHP", *International Journal of Engineering and Technology*, 2017, 9 (3), 211-215.
- De Araújo M, Alencar LH, De Miranda Mota CM, "Decision criteria for contractor selection in

در این پژوهش، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره BWM جهت تعیین میزان اهمیت معیارهای مرتبط با انتخاب پیمانکار و از روش FVIKOR جهت امتیازدهی و رتبه‌بندی پیمانکاران در پروژه‌های عمرانی گازرسانی استان خراسان جنوبی استفاده شده است. در ساختار اجرایی پژوهش، ابتدا معیارها و شاخص‌های مهم از ادبیات تحقیق استخراج شده است و سپس به کمک روش اعتباریابی لاوشه، معیارهایی که دارای سطح اهمیت بیشتری می‌باشند توسط جامعه تصمیم‌گیران امتیازدهی شده‌اند. در ادامه، از طریق تهیه پرسشنامه‌ای مبتنی بر روش BWM، وزن‌های نهایی معیارها و شاخص‌ها توسط پنج کارشناس تصمیم‌گیر که دارای سابقه کاری و پست اجرایی بالاتر و تأثیرگذارتری نسبت به سایرین هستند، تعیین شده است. سپس توسط روش VIKOR، مطابق با وزن‌های حاصل از اجرای روش BWM، رتبه‌بندی نهایی پیمانکاران انجام شده است.

مطابق با نتایج محاسباتی می‌توان مشاهده نمود که معیار اقتصادی و مالی دارای بیشترین وزن محلی (۰/۳۴۸) نسبت به سایر معیارها و معیار داشتن ماشین‌آلات و تجهیزات نیز دارای کمترین وزن محلی (۰/۰۸۰) در بین تمامی معیارها است. همان‌طور که از نتایج عددی حاصل از امتیازدهی و رتبه‌بندی پیمانکاران در شرایط تعادل نظرات فردی و گروهی ($v = 0/5$) برآمده است، می‌توان مشاهده نمود که در صورت استفاده از روش پیشنهادی این پژوهش (روش‌های BWM و FVIKOR)، پیمانکار ۱ به عنوان بهترین گزینه و پیمانکار ۴ به عنوان گزینه دوم انتخاب می‌شود که با فاصله بسیار اندکی از گزینه اول امتیازدهی شده است.

با وجود شباهت انتخاب نهایی گزینه‌ها در روش پیشنهادی و حل مسئله واقعی، می‌توان مشاهده نمود که در استفاده از این روش تأثیرات روانی غیرقابل نفوذ خواهد بود و انتخاب‌ها بر اساس معیارهای انتخابی خواهد بود. در یک جمع‌بندی، می‌توان گفت که استفاده از الگوریتم سازمان‌یافته و کدنویسی شده مبتنی بر روش پیشنهادی این پژوهش می‌تواند در قالب یک فرآیند علمی، توسعه‌ای و کاربردی برای انتخاب و ارزیابی عملکرد پیمانکاران و همچنین مشاورین در تمامی شرکت‌های دولتی و خصوصی از جمله شرکت گاز استان خراسان جنوبی استفاده نمود و در ارائه پیشنهادات مدیریتی جامع‌نگرانه و مناسب به این کارفرمایان و تصمیم‌گیران بر اساس برآیند نظرات آنان یاری رساند و مشکلات و تبعات اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی ناشی از انتخاب پیمانکار یا مشاور نامناسب را به حداقل رساند.

به‌منظور توسعه تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود که فرآیند تصمیم‌گیری گروهی ناهمگن مبتنی بر اجماع گروهی با در نظر گرفتن وزن‌های مختلف برای تصمیم‌گیران در پژوهش‌های آینده

- 19 (4), 1056-1071.
- Opricovic S, "Multicriteria optimization of civil engineering systems", PhD Thesis, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia, 1998.
- Prascevic N, Prascevic Z, "Application of fuzzy AHP for ranking and selection of alternatives in construction project management", *Journal of civil engineering and management*, 2017, 23 (8), 1123-1135.
- Rao MVK, Kumar VSS, Kumar PR, "Optimal contractor selection in construction industry: the fuzzy way", *Journal of The Institution of Engineers (India): Series A*, 2018, 99 (1), 67-78.
- Rezaei J, "Best-worst multi-criteria decision-making method", *Omega*, 2015, 53, 49-57.
- Rezaei J, "Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model", *Omega*, 2016, 64, 126-130.
- Singh P, Ruparathna R, "Construction project proposal evaluation under uncertainty: A fuzzy based approach", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 2019, 1, 1-10.
- Taylan O, Kabli MR, Porcel C, Herrera-Viedma E, "Contractor selection for construction projects using consensus tools and big data", *International Journal of Fuzzy Systems*, 2018, 20 (4), 1267-1281.
- Zhang SF, Liu SY, Zhai RH, "An extended GRA method for MCDM with interval-valued triangular fuzzy assessments and unknown weights", *Computers & Industrial Engineering*, 2011, 61 (4), 1336-1341.
- construction industry: A literature review", *The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2018)*, Bangkok, Thailand, 16-19 December, 2018.
- De Jesus VM, Gomes LFAM, Filardi F, "The selection of oil & gas projects contract strategies with the ANP: A case study", *Independent Journal of Management & Production*, 2019, 10 (2), 355-379.
- Demirkesen S, Bayhan HG, "Subcontractor selection with choosing-by-advantages (CBA) method", *The IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 3rd World Multidisciplinary Civil Engineering, Architecture, Urban Planning Symposium (WMCAUS 2018), Prague, Czech Republic, 2019.
- El-khalek HA, Aziz RF, Morgan ES, "Identification of construction subcontractor prequalification evaluation criteria and their impact on project success", *Alexandria Engineering Journal*, 2019, 58 (1), 217-223.
- Gupta H, "Evaluating service quality of airline industry using hybrid best worst method and VIKOR", *Journal of Air Transport Management*, 2018, 68, 35-47.
- Hale B, Azhar S, Noor MA, Khalfan MM, "The solicitation, evaluation, and selection of construction contractors: A case study of US Army Corps of Engineers", *International Journal of Sustainable Real Estate and Construction Economics*, 2019, 1 (3), 215-231.
- Hasnain M, Thaheem MJ, Ullah F, "Best value contractor selection in road construction projects: ANP-based decision support system", *International Journal of Civil Engineering*, 2018a, 16 (6), 695-714.
- Hasnain M, Ullah F, Thaheem MJ, Sepasgozar SME, "Prioritizing best value contributing factors for contractor selection: An AHP approach", *The 23rd International Symposium on Advancement of Construction Management and Real Estate (CRIOCM 2018)*, 24-27 August, Guiyang, China, 2018b.
- Jabbarzadeh A, "Application of the AHP and TOPSIS in project management", *Journal of Project Management*, 2018, 3 (2), 125-130.
- Koçak S, Kazaz A, Ulubeyli S, "Subcontractor selection with additive ratio assessment method", *Journal of Construction Engineering, Management and Innovation*, 2018, 1 (1), 18-32.
- Lashgari Y, "Proposing a hierarchical approach based on fuzzy logic to choose a contractor in the bank", *International Academic Journal of Science and Engineering*, 2017, 4 (2), 28-38.
- Lawshe CH, Harris DH, "The method of reciprocal averages in weighting personnel data", *Educational and Psychological Measurement*, 1958, 18 (2), 331-336.
- Morkunaite Z, Podvezko V, Zavadskas EK, Bausys R, "Contractor selection for renovation of cultural heritage buildings by PROMETHEE method", *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, 2019,

EXTENDED ABSTRACT

Developing Multiple Criteria Decision-Making Model based on the Best-Worst-VIKOR Method for Evaluation of Civil Projects Contractors; Case Study of Civil Projects in Southern Khorasan Province

Reza Javidi Sabbaghian^{*}, Gholam Mohammad Shamsi, Hassan Saghi

Faculty of Engineering, Hakim Sabzevari University, Sabzevar 9617976487, Iran

Received: 16 July 2020; Accepted: 19 December 2020

Keywords:

Contractors' evaluation criteria, Contractors' ranking, Best-worst method, FVIKOR method, Gas-supply projects.

1. Introduction

In large-scale civil projects such as urban gas-supply projects, one of the most important concerns is a selection of appropriate contractor for performing projects. In order to evaluate contractors' performance and select a more qualified contractor, the appropriate criteria for assessing contractors should be identified (De Araujo et al., 2018). Accordingly, a reliable methodology should be used for assigning weights to criteria, as well as a comprehensive method should be analyzed for ranking contractors (Hasnain et al., 2018a).

In this research, the Best-Worst Method (BWM) is utilized for assigning weights to contractors' evaluation criteria based on using a linear optimization model, which improves the previous weighting methods (Rezaei, 2016). In addition, the Fuzzy VlseKriterijumska Optimizacija I Kompromisno Resenje (FVIKOR) method is analyzed in order to score for contractors based on proximity to ideal solution and bilateral agreement through concessions, which uses simple and short calculations for evaluating contractors with respect to criteria, and causes a high degree of consistency in final ranking results (Gupta, 2018).

Therefore, in this study, a novel approach based on a combination of the BWM and the FVIKOR methods is developed, in which a systematic and applicable algorithm is used for choosing the final evaluation criteria, the selected criteria are weighted, and the contractors of gas-supply civil projects are ranked. In application, regarding that the gas company of Southern Khorasan province is faced challenges and concerns in the process of selecting qualified contractors for gas-supply civil projects, the choose of the more qualified contractor in one of the most important urban gas-supply projects of this company is investigated.

2. Methodology

2.1. Best-Worst Method for weighting criteria

In this study, based on the BWM methodology, the following steps are implemented using linear optimization (Eq. 1) (Rezaei, 2016):

Step 1. Creating a decision criteria system $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$;

Step 2. Determining the best criterion (c_B) and the worst criterion (w_B) from the set of criteria in DMs' opinion;

Step 3. Implementing comparisons for the best criterion $\{A_B = (a_{B1}, a_{B2}, \dots, a_{Bn})^T\}$ in DMs' viewpoint;

Step 4. Implementing comparisons for the worst criterion $\{A_w = (a_{1w}, a_{2w}, \dots, a_{nw})^T\}$ in DMs' viewpoint;

Step 5. Calculating the optimal weights vector of $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$.

^{*} Corresponding Author

E-mail addresses: r.javidi.s@hsu.ac.ir (Reza Javidi Sabbaghian), m95shams@gmail.com (Gholam Mohammad Shamsi), h.saghi@hsu.ac.ir (Hassan Saghi).

$$\begin{aligned}
 & \min \xi^L \\
 & S. t. \\
 & |w_B - a_{Bj}w_j| \leq \xi^L, \text{ for all } j ; |w_j - a_{jW}w_W| \leq \xi^L, \text{ for all } j ; \sum_j w_j = 1, w_j \geq 0, \text{ for all } j
 \end{aligned} \tag{1}$$

where, w_B is the weight of the best criterion, w_W is the weight of the worst criterion, w_j is the weight of the j^{th} criterion, a_{Bj} is the priority of the best-selected criterion into the j^{th} criterion, and a_{jW} is the priority of the j^{th} criterion into the worst selected criterion in each DM's viewpoint. Also, ξ^L is $\{|w_B - a_{Bj}w_j|, |w_j - a_{jW}w_W|\}$ that its maximum value should be minimized for all criteria. The optimal weights vector of $(w_1^*, w_2^*, \dots, w_n^*)$ is the solution of the linear optimization model of (Eq. 1).

2.2. FVIKOR method for scoring alternatives

The FVIKOR method is a compromise ranking method that is used when there are several conflicting criteria (Opricovic, 1998). Accordingly, this method includes the following steps and uses (Eq. 2) (Gupta, 2018):

- Step 1. Forming a pair-wise comparison matrix for each alternative;
- Step 2. Calculating the average decision matrix;
- Step 3. Calculating the evaluation values of the best and worst alternatives;
- Step 4. Calculating the alternatives' distances from ideal and anti-ideal solutions;
- Step 5. Calculating the amount of Q_i ;
- Step 6. Ranking the alternatives based on descending Q_i values;

$$Q_i = v \left[\frac{S_i - S^*}{S^- - S^*} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - R^*}{R^- - R^*} \right] \tag{2}$$

Where, S_i indicates the distance between the i^{th} alternative and the ideal solution, R_i is the distance between the i^{th} alternative and the anti-ideal solution, and $S^- = \max_i S_i$, $S^* = \min_i S_i$, and $R^- = \max_i R_i$, $R^* = \min_i R_i$. Also, $v \in [0,1]$, as the FVIKOR parameter, is used to indicate the maximum group desirability strategy. The alternatives are ranked based on the descending order of the Q_i values.

3. Results and discussion

3.1. BWM weighing results for the evaluation criteria

In this study, in order to achieve real results for evaluating the contractors, a group decision-making process is analyzed based on the opinions of the DMs' committee members, including the experts of Southern Khorasan Province Gas Company, also some of the faculty members.

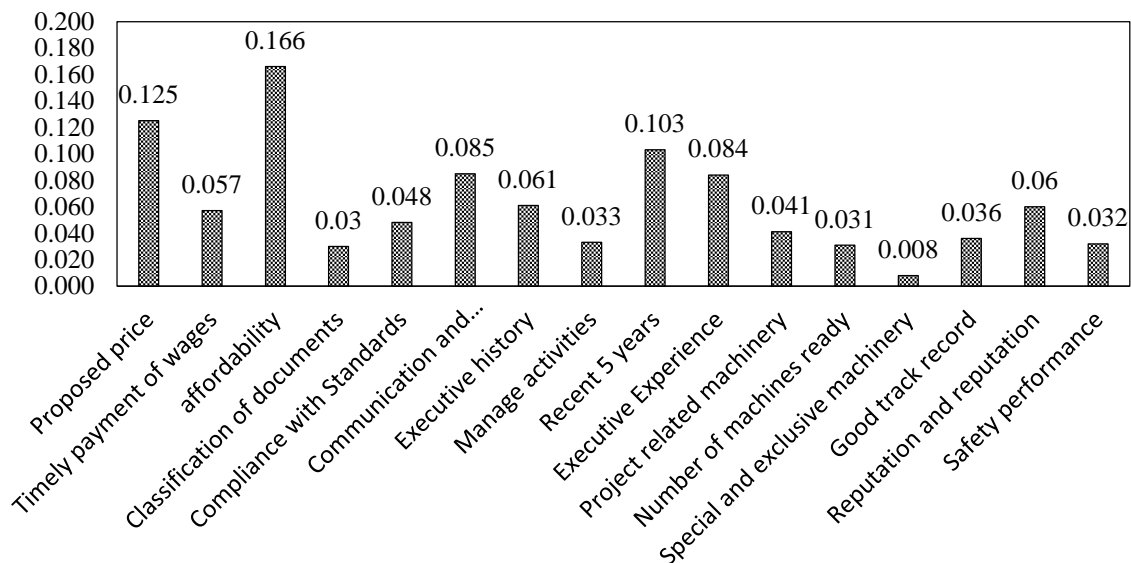


Fig. 1. The BWM weights of criteria for evaluating contractors in the Southern Khorasan gas-supply civil projects

This process leads to selecting the final effective criteria and evaluating the competency of contractors with respect to that selected criteria. Accordingly, first, based on the BWM analysis results presented in Fig. 1, the three criteria have the highest importance degrees for evaluation of the contractors, which include affordability, the proposed price and the implemented projects in the recent 5 years. Through the same, the three criteria that have the lowest importance include special and exclusive machinery, the classification of documents, and the number of ready-made machineries.

3.2. FVIKOR scoring results for contractors' ranking

After that, based on the FVIKOR analysis results presented in Table 1, the scores of Q and ranking of the contractors are varied with changes in the FVIKOR parameters of v . Accordingly, for parameters of $v \in [0,0.4]$, the highest rank is assigned to the first contractor with the minimum value of Q . Also, the lowest score is assigned to contractor 3 with the maximum value of Q . For parameters of $v \in [0.5,0.7]$, the highest rank is assigned to contractor 1, while the lowest score is assigned to the contractor 2. For parameters of $v \in [0.6,1.0]$, the highest rank is assigned to the contractor 4, and the lowest score is assigned to the contractor 2.

Table 1. The FVIKOR scores and ranking of the contractors in the Southern Khorasan gas-supply civil projects

Contractor	$v=0$		$v=0.1$		$v=0.2$		$v=0.3$		$v=0.4$		$v=0.5$	
	Q	Rank	Q	Rank	Q	Rank	Q	Rank	Q	Rank	Q	Rank
Contractor 1	0.000	1	0.000	1	0.000	1	0.000	1	0.000	1	0.000	1
Contractor 2	0.904	3	0.899	3	0.893	3	0.887	3	0.881	3	0.875	4
Contractor 3	1.372	5	1.272	5	1.172	5	1.072	5	0.972	4	0.872	3
Contractor 4	0.346	2	0.356	2	0.365	2	0.375	2	0.385	2	0.395	2
Contractor 5	1.000	4	1.000	4	1.000	4	1.000	4	1.000	5	1.000	5
Contractor	$v=0.6$		$v=0.7$		$v=0.8$		$v=0.9$		$v=1.0$			
	Q	Rank	Q	Rank	Q	Rank	Q	Rank	Q	Rank		
Contractor 1	0.000	1	0.000	1	0.000	1	0.000	1	0.000	1		
Contractor 2	0.869	4	0.863	4	0.858	4	0.852	4	0.852	4		
Contractor 3	0.772	3	0.672	3	0.572	3	0.472	3	0.355	2		
Contractor 4	0.405	2	0.415	2	0.425	2	0.434	2	0.439	3		
Contractor 5	1.000	5	1.000	5	1.000	5	1.000	5	1.000	5		

4. Conclusions

In this study, a combined Multi-Criteria Decision-Making (MCDM) process has been used for prioritizing the contractors of the Southern Khorasan gas-supply civil projects. This process includes the BWM method for determining the criteria importance and the FVIKOR method for scoring the contractors. According to the BWM results, the economic and financial criterion has the highest weight (0.348), while having machinery and equipment has the lowest weight (0.080). Based on the FVIKOR results, the contractor 1 has been selected as the first contractor and the contractor 4 has been ranked as the second contractor for the parameters of $v \in [0,0.7]$. Also, for the parameters of $v \in [0.8,1.0]$, the contractor 1 has been chosen as the first contractor and the contractor 4 has been ranked as the second contractor. In the real case, according to an interview with the manager and experts of the company, the contractor 4 has been chosen for implementing the gas-supply civil projects and the contractor 1 has obtained the second rank. Therefore, the proposed MCDM result and the real case result are almost the same and the contractors 1 and 4 are competitive. In the real case, the reason for choosing the contractor 4 is just related to its lowest proposed price in comparison with the contractor 1, while by using the proposed methodology, all of evaluation criteria have been considered and the related results are more logical and reliable. In classification, it can be said that using the proposed method of this research can provide comprehensive management proposals for oriented and appropriate to the Southern Khorasan gas company as well as other public and private organizations for the process of selecting the qualified contractor or consultant. In order to develop future research, it is suggested that fuzzy uncertainty conditions are considered for the proposed MCDM input values. Also, a heterogeneous consensus-based group decision-making process can be considered through the process.

5. References

De Araújo M, Alencar LH, De Miranda Mota CM, "Decision criteria for contractor selection in construction industry: A literature review", The IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM 2018), Bangkok, Thailand, 16-19 December, 2018.

Gupta H, "Evaluating service quality of airline industry using hybrid best worst method and VIKOR", Journal of Air Transport Management, 2018, 68, 35-47.

- Hasnain M, Thaheem MJ, Ullah F, "Best value contractor selection in road construction projects: ANP-based decision support system", *International Journal of Civil Engineering*, 2018a, 16 (6), 695-714.
- Opricovic S, "Multicriteria optimization of civil engineering systems", PhD Thesis, Faculty of Civil Engineering, Belgrade, Serbia, 1998.
- Rezaei J, "Best-worst multi-criteria decision-making method: Some properties and a linear model", *Omega*, 2016, 64, 126-130.