

مدل سازی انتخاب پیمانکاران فرعی در صنعت ساخت با استفاده از نظریه مجموعه های فازی

مهدی فضیلتی^{۱*}، پیمان پوربهزاد^۲

- ۱- گروه مهندسی عمران ، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران، fazilati2001@iua.ac.ir
۲- مرکز تحقیقات توسعه پایدار در مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، اصفهان، ایران fazilati2001@iua.ac.ir
۳- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی نجف آباد ، اصفهان، ایران، p.pourbehzad@iau.ac.ir

چکیده

این مقاله الگوریتمی مبتنی بر نظریه مجموعه های فازی را برای انتخاب بهینه پیمانکاران فرعی در پروژه های ساخت و ساز ارائه می دهد. با توجه به ماهیت غیرقطعی و ذهنی بسیاری از معیارهای مؤثر در فرایند انتخاب، رویکرد فازی به عنوان ابزاری کارآمد برای مدل سازی این عدم قطعیت ها به کار گرفته شده است. در این پژوهش، معیارهای اصلی ارزیابی پیمانکاران فرعی شامل زمان بندی اجرای پروژه های پیشین یا تأخیرات (T) ، دانش فنی و آشنایی با روش های اجرایی (TK) و ظرفیت و تجهیزات شرکت (CS) در نظر گرفته شده است. یک پایگاه دانش فازی مبتنی بر قواعد «اگر - آنگاه» و با استفاده از توابع عضویت تعریف شده برای هر متغیر، توسعه یافته است. سپس با بهره گیری از یک سیستم استنتاج فازی، ارزیابی و رتبه بندی پیمانکاران انجام می شود. نتایج حاصل از یک مطالعه موردی نشان می دهد که این روش قادر است پیمانکاران را بر اساس ترکیب چندمعیاره و با در نظر گرفتن ابهامات ذاتی، به طور مؤثر رتبه بندی نموده و گزینه بهینه را شناسایی کند. این رویکرد می تواند به عنوان یک سیستم پشتیبان تصمیم گیری در اختیار مدیران پروژه قرار گیرد تا تصمیمات انتخاب پیمانکار فرعی را با قابلیت اطمینان بیشتری اتخاذ نمایند.

واژه های کلیدی: انتخاب پیمانکاران، نظریه مجموعه های فازی، تصمیم گیری چندمعیاره، سیستم استنتاج فازی، مدیریت پروژه ساخت و ساز

۱- مقدمه

از آغاز شکل گیری اندیشه انسانی، انسان همواره از واژه ها و عباراتی استفاده کرده است که فاقد مرزهای دقیق و مشخص هستند. مفاهیمی مانند خوب و بد، جوان و پیر، بلند و کوتاه، قوی و ضعیف، گرم و سرد، خوشحال، باهوش و زیبا، و نیز قیدهایی نظیر معمولاً، غالباً، تقریباً و به ندرت، نمونه هایی از این دست مفاهیم به شمار می روند. بدیهی است که تعیین حدود مشخص و قطعی برای چنین واژه هایی امکان پذیر نیست؛ برای مثال، در گزاره هایی مانند «علی باهوش است» یا «گل رز زیباست»، نمی توان مرزی دقیق برای مفهوم «باهوش بودن» یا «زیبا بودن» تعریف کرد [1].

در مقابل، در بسیاری از علوم نظیر ریاضیات و منطق کلاسیک، فرض بر وجود مرزها و محدوده های دقیق و از پیش تعریف شده است؛ به گونه ای که هر موضوع یا پدیده ای یا درون این مرزها قرار می گیرد یا خارج از آن هاست. در چنین نگاهی، مفاهیمی همچون همه یا هیچ، فانی یا غیرفانی، زنده یا مرده، زن یا مرد، سفید یا سیاه، صفر یا یک، و «این» یا «تقیض این» مطرح می شوند. در این علوم، هر گزاره یا درست است یا نادرست و پدیده ها صرفاً یکی از دو حالت کاملاً متمایز را می پذیرند.

برای تبیین دقیق تر و قابل فهم تر کاربردهای منطق فازی در پژوهش های اجتماعی، آشنایی با برخی مفاهیم کلیدی همچون فازی، مجموعه های فازی، اعداد فازی و خود منطق فازی ضروری است. از این رو، پیش از پرداختن به کاربردهای منطق فازی در پژوهش های اجتماعی، توضیحی نه چندان مختصر و نه چندان مفصل درباره این اصطلاحات ارائه می شود. مجموعه های فازی این امکان را فراهم می کنند که مفاهیم مبهم و غیرشفاف به صورت کمی و قابل اندازه گیری بیان شوند. از طریق بیان مجموعه ای، می توان پدیده ها و موضوعات مختلف را در قالبی ریاضی مدلسازی کرد. در منطق فازی، برخلاف منطق کلاسیک دوازدهی که تنها یکی از دو مقدار صفر یا یک را می پذیرد، با طیفی از مقادیر بین صفر تا یک سروکار داریم. مدیریت انتخاب به عنوان یکی از مهم ترین ارکان علم مدیریت، به ویژه در حوزه مدیریت پروژه، مسئول افزایش قابلیت اعتماد و کاهش عدم قطعیت ها است. در این راستا، تاکنون روش ها و رویکردهای متعددی ارائه شده است. نظریه اعداد فازی و منطق فازی به عنوان رویکردی نوین، با ترکیب شدن با علم مدیریت، می تواند نقش اساسی و مؤثری در بهبود و ارتقای فرایند مدیریت انتخاب ایفا کند.

این مقاله به مسئله انتخاب بهینه پیمانکاران در اجرای پروژه های عمرانی می پردازد. محور اصلی پژوهش، زمان بندی عملیات ساخت و ساز با بهره گیری از مدل های کارگاهی (Flow Shop) است. در چنین پروژه هایی معمولاً مجموعه ای متنوع از پیمانکاران از شرکت های مختلف حضور دارند؛ از این رو، ضرورت دارد که عملکرد آنان ارزیابی شده و شایسته ترین پیمانکاران برای همکاری انتخاب شوند.

در فرایند بهینه سازی برنامه زمان بندی، مجموعه ای از معیارهای کلیدی مورد استفاده قرار می گیرد؛ از جمله حداقل سازی مدت اجرای پروژه، کاهش زمان های بیکاری گروه های کاری، کاهش توقف های کاری و کاهش هزینه های انتقال بین فعالیت ها؛ معیارهایی که مطابق با دیدگاه های ارائه شده توسط Ibadov مطرح شده اند. [۴،۳،۲] همچنین فرض می شود که تمامی پیمانکاران الزامات مرتبط با معیار قیمت را رعایت می کنند؛ بنابراین، این معیار در تحلیل وارد نشده است. [6،5]

انتخاب این معیارها باهدف توصیف هرچه دقیق تر ویژگی های اجرایی پروژه انجام شده است. در این گونه فعالیت های عمرانی، تعهد پیمانکاران به زمان بندی مصوب اهمیت حیاتی دارد، زیرا حتی یک تأخیر اندک می تواند اعتبار و کارآمدی برنامه اولیه را از بین ببرد. از این رو، کارایی پیمانکاران فرعی یکی از عوامل تعیین کننده در موفقیت نهایی پروژه محسوب می شود. عامل مهم دیگر، دانش و تسلط پیمانکاران بر فناوری ها و روش های اجرایی است؛ موضوعی که به درستی در آثار Ibadov، نیز مورد تأکید قرار گرفته است [7] به باور نویسنده، اندازه و ظرفیت سازمانی شرکت ها—به ویژه میزان توانایی آن ها در فراهم سازی امکانات اضطراری—نیز نقش اثرگذاری در کیفیت اجرای پروژه دارد. در این چارچوب، شرکت های بزرگ تر از قابلیت بیشتری برای مدیریت اختلال ها و جبران تأخیرهای احتمالی برخوردارند.

۲- مطالعات پیشینه

۱.۲ منطق فازی در مدیریت پروژه

این باور به تقسیم بندی های صفر و یک، سیاه و سفید و نظام دوازدهی، ریشه ای کهن دارد و دست کم به یونان باستان و ارسطو بازمی گردد. البته پیش از ارسطو نیز گونه ای از اندیشه فلسفی وجود داشت که به این ایمان دودویی با شک و تردید می نگریست. بودا در هند، پنج قرن پیش از میلاد و حدود دو قرن پیش از ارسطو زندگی می کرد. گام نخست در نظام فکری او، گریز از جهان سیاه و سفید و کنارزدن این پرده دوازدهی بود: نگریستن به جهان آن گونه که هست. از نگاه بودا، جهان را باید سراسر تناقض دید، جهانی که در آن هم چیزها وجود دارند و هم ناچیزها، جهانی که در آن گل هم رز است و هم غیر رز، هم سرخ است و هم غیر سرخ. ارسطو در (A یا نقیض A) بود، اما بودا در تضاد بود. منطق ارسطو پایه ریاضیات کلاسیک را تشکیل می دهد. بر اساس اصول این منطق، همه چیز تنها تابع یک قانون ثابت بود: اینکه هر چیز یا درست است یا نادرست. دانشمندان نیز بر همین مبنا جهان خود را تحلیل می کردند. هرچند آن ها همیشه مطمئن نبودند که چه چیزی درست و چه چیزی نادرست است، و هرچند درباره درستی یا نادرستی یک پدیده خاص ممکن بود دچار تردید شوند، اما در یک مورد هیچ

تردیدی نداشتند: اینکه هر پدیده‌ای یا "درست" است یا "نادرست". هر گزاره، قانون یا قاعده‌ای یا قابل‌اعتماد است یا نیست. بیش از دو هزار سال است که قانون ارسطو تعیین می‌کند که از نگاه فلسفی چه چیزی درست و چه چیزی نادرست است. این قانون "اندیشیدن" در زبان، آموزش و افکار ما نفوذ کرده است. منطق ارسطویی دقت را فدای سادگی می‌کند. نتایج منطق ارسطویی — "دوارزشی"، "درست یا نادرست"، "سیاه یا سفید" و "صفر یا یک" — می‌تواند محاسبات ریاضی و پردازش رایانه‌ای را ساده کند؛ می‌توان با رشته‌ای از صفر و یک‌ها آسان‌تر از کسرها کار کرد. اما حالت دوارزشی نیازمند انتزاع و حذف جزئیات است. به‌عنوان مثال، وقتی می‌پرسید: "آیا شما از کار خود راضی هستید؟" نمی‌توان انتظار پاسخ "بله" یا "خیر" داشت، مگر آنکه با تقریب زیادی سؤال کنید. [1]

هرچند می‌توان مثال‌های بسیاری آورد که کاربرد منطق ارسطویی در مورد آنها سودمند است، اما باید توجه داشت که نباید آنچه تنها برای موارد خاصی مصداق دارد، به همه پدیده‌ها تعمیم داد. در دنیایی که ما زندگی می‌کنیم، بیشتر چیزهایی که به نظر ما درست می‌رسند، "نسبتاً" درست هستند و درباره صدق و کذب پدیده‌های واقعی، همواره درجانی از "عدم قطعیت" وجود دارد. به عبارت دیگر، پدیده‌های واقعی تنها سیاه یا تنها سفید نیستند، بلکه تائاندازه‌ای "خاکستری" هستند. پدیده‌های واقعی همواره پیچیده، مبهم و غیردقیق‌اند. تنها ریاضیات بود که سیاه‌وسفید بود، و این خود چیزی جز یک سامانه مصنوعی متشکل از قاعده‌ها و نمادها نبود. علم، واقعیت‌های خاکستری یا پیچیده را با ابزار سیاه‌وسفید ریاضی به نمایش می‌گذاشت و این‌گونه بود که به نظر می‌رسید واقعیت‌ها نیز تنها سیاه یا سفید هستند. بدین ترتیب، درحالی‌که در سراسر جهان حتی یک پدیده را نمی‌توان یافت که صددرصد درست یا صددرصد نادرست باشد، علم با ابزار ریاضی خود، همه پدیده‌های جهان را این‌گونه بیان می‌کرد. در اینجا بود که علم دچار اشتباه شد.

تاریخ اندیشه فازی به دو شاخه اصلی در منطق غرب و شرق تقسیم می‌شود. منطق دو-ارزشی و بخش بزرگی از جهان-بینی ما در غرب، ریشه در آموزه‌های ارسطو دارد. او به ما آموخت که از روشی به‌ظاهر استدلالی ولی درواقع نادرست بهره ببریم و همواره میان متضادها و نقیض-ها، میان چیزها، میان «A» و «غیر A» تمایز قائل شویم. هرچه این مرزها را روشن-تر ترسیم کنید، ذهن شما منطقی-تر و علم شما دقیق-تر خواهد شد. ارسطو و بودا در حوزه منطق فازی در مقابل یکدیگر قرار می‌گیرند. نماینده «A یا غیر A» در برابر نماینده «A و غیر A» در قلمرو ریاضیات، علوم و مهندسی می‌ایستند. این شاید نخستین رویارویی نظام‌های فکری شرق و غرب در عرصه فناوری باشد، اما آخرین آن نخواهد بود.

منطق فازی بیان می‌کند که حقایق علمی خاکستری هستند؛ اما منطق دو-ارزشی می‌گوید که هیچ-یک از آن‌ها خاکستری نیستند. این منطق تأکید دارد که حقایق علمی خاکستری نیستند، بلکه حالتی میانه دارند و ممکن است از وضعیت کاملاً درست به وضعیت کاملاً نادرست گذار کنند — آن هم در پرتو اطلاعات و داده‌های تازه. منطق فازی با حقایق علمی دارای ماهیت درجه‌ای و طیفی موافق است، اما همچنان بر این باور است که آنها نیز در نهایت خاکستری هستند. این همان نقطه تعارض است. نظریه-پردازان فازی نیز رویکردی مشابه در پیش گرفته‌اند. در اینجا نیز حقیقت به-صورت طیفی پیوسته از مقادیر عددی یا امتیازها در نظر گرفته می‌شود، اما به شکل یک طیف خاکستری. منطق فازی امکان وجود امتیازهای بیش-تری را فراهم می‌سازد. این منطق، طیفی نامتناهی از مقادیر خاکستری میان صفر و یک ارائه می‌دهد که جایگزین داده‌های اطلاعاتی گسسته صفر و یک می‌شوند. این تفاوت، همان تفاوت میان شب‌وروز است — یا به بیانی، حالت گرگ‌ومیش.

به‌طورکلی، ویژگی‌های علم مدیریت فازی را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

۱. محدودیت‌ها و شرایط واقعی که به‌صورت شهودی توسط برنامه‌ریزان تعیین می‌گردند، به‌آسانی و با انعطاف‌پذیری به‌وسیله توابع عضویت نمایش داده می‌شوند و پاسخ این مسائل از طریق روش‌های ریاضی قابل‌دستیابی است.
۲. دانش و مهارت موردنیاز سیستم‌های مدیریت را می‌توان به زبان طبیعی از خبرگان اخذ کرد و با استفاده از استنتاج فازی، مدل‌ها و برنامه‌های رایانه‌ای را به‌سهولت ایجاد نمود. در این موارد، زبان طبیعی عمدتاً از صفات و قیودی مانند "خیلی"، "کم"، "مقداری" و "تقریباً" استفاده می‌کند که می‌توان آن‌ها را با توابع عضویت نمایش داده و وارد رایانه کرد.

۳. به جای محدود کردن پاسخ‌های یک مسئله به یک عدد مشخص، می‌توان چندین پاسخ محتمل ارائه نمود؛ و از آنجاکه حد پایین و بالای پاسخ‌ها قابل دریافت است، با افزودن نظر خبرگان، مدیران و کارشناسان، می‌توان راه‌حل‌های کاربردی‌تری ارائه کرد. چرا که در بسیاری از موارد، گزینه‌های ارائه شده توسط روش‌های علم مدیریت کلاسیک، به دلیل محدود بودن به یک عدد، اغلب مورد استفاده قرار نمی‌گیرند و تصمیمات اتخاذ شده توسط مدیران، جدا از راه‌حل‌های ارائه شده باقی می‌ماند.

۲.۲ روش‌های انتخاب پیمانکار

پیمانکاران اصلی تقریباً ۸۰ تا ۹۰ درصد از کل کار ساخت‌وساز خود را به پیمانکاران فرعی واگذار می‌کنند. [8,9] این مقالات بر پیچیدگی انتخاب پیمانکار فرعی تأکید دارد. فرآیند انتخاب پیمانکار فرعی عمدتاً به عنوان یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره مورد بحث قرار گرفته است [12,11,10] بسیاری از این مطالعات، فرآیند انتخابی را پیشنهاد کرده‌اند که شامل شناسایی مجموعه‌ای از معیارها برای یک بسته کاری خاص، رتبه‌بندی معیارها بر اساس اهمیت برای تصمیم‌گیرنده، ارزیابی نامزدهای پیمانکار فرعی بر اساس این معیارها و انتخاب پیمانکار فرعی است که به بهترین وجه اکثر معیارهای بسته کاری خاص را برآورده می‌کند.

جدول ۱. مدل‌های بهینه‌سازی برای انتخاب پیمانکار فرعی در مقالات گذشته

نویسندگان	روش	اهداف
[13]	برنامه‌ریزی آرمانی	مدت زمان؛ هزینه؛ کیفیت
[14]	برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط	مدت زمان؛ هزینه
[15]	الگوریتم ژنتیک مبتنی بر خوشه‌بندی فازی	مدت زمان؛ هزینه؛ کیفیت
[16]	برنامه‌ریزی عدد صحیح	مدت زمان؛ هزینه
[17]	بهینه‌سازی کلونی مورچگان	هزینه؛ ریسک
[18]	الگوریتم ژنتیک	مدت زمان؛ هزینه؛ کیفیت
[10]	برنامه‌ریزی خطی دودویی مختلط	هزینه
[19]	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح-دودویی مختلط	مدت زمان؛ هزینه
[12]	الگوریتم ژنتیک	هزینه
[20]	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط	هزینه

علی‌رغم سهم قابل توجه این مطالعات، هنوز در ادبیات مربوط به موارد زیر شکاف‌هایی وجود دارد: (۱) در نظر گرفتن اهداف حیاتی پروژه به جای اهداف مختلف برای پروژه‌های مختلف بر اساس مسائل خاص، (۲) در نظر گرفتن اهداف بسته به پروژه، نیازهای مالک و اولویت‌های پیمانکار اصلی (۳) بهره‌گیری از روش‌های قدرتمند برای توسعه یک مدل هماهنگ که ارزیابی‌هایی از نامزدی پیمانکاران فرعی را بر اساس اهداف پروژه ایجاد می‌کند و در عین حال عدم قطعیت‌های موجود در ارزیابی‌های ذهنی را در نظر می‌گیرد، (۴) استفاده از یک روش بهینه‌سازی که حداقل یک، اما ترجیحاً بیش از یک طرح پیمانکاری فرعی بهینه برای یک پروژه ایجاد می‌کند، و (۵) از بین چندین طرح پیمانکاری فرعی بهینه، طرحی را که بهترین تناسب را با اهداف پیمانکار اصلی دارد، شناسایی می‌کند. این شکاف‌ها نشان می‌دهد که یک تغییر الگوی اساسی در فرآیند انتخاب پیمانکار فرعی ضروری است.

۳- روش‌شناسی

1- پایگاه داده فازی: یک پایگاه داده فازی از طریق توسعه و فازی‌سازی یک پایگاه داده رابطه‌ای سنتی ایجاد می‌شود. در این فرآیند، مدل رابطه‌ای استاندارد پایگاه داده به یک مدل رابطه‌ای فازی تبدیل می‌گردد. در این سیستم، داده‌ها به کمک مجموعه‌های فازی نمایش داده می‌شوند و این امکان فراهم می‌آید تا عدم قطعیت ذاتی در بخشی از داده‌های واقعی به شکل مؤثری مدیریت و مورد استفاده قرار گیرد. یکی از کاربردهای اصلی فیلدهای یک پایگاه داده فازی، استفاده در سیستم‌های خبره فازی است که خود جزء مهمی از سیستم‌های پشتیبانی از تصمیم‌گیری مدیریت محسوب می‌شوند.

2- پایگاه دانش فازی: برای ایجاد یک پایگاه دانش فازی، دانش، تجربیات عملی و فنون آزموده‌شده خبرگان، به زبان طبیعی جمع‌آوری و سپس به شکل قواعد شرطی "اگر... آنگاه..." تبدیل می‌شوند. تفاوت اصلی در این است که در پایگاه دانش دفازی، به جای گزاره‌های قطعی از گزاره‌ها و قواعد فازی استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، با به کارگیری توابع عضویت، کمیت‌های کیفی و زبانی مانند "خیلی زیاد"، "کم"، "متوسط" یا "تقریباً" توسط کامپیوتر به صورت فازی پردازش و تفسیر می‌شوند. برای نمونه، یک قاعده فازی ممکن است به این شکل باشد: "اگر درآمد مشتری بالا باشد و سابقه اعتباری او تقریباً خوب باشد، آنگاه ریسک اعطای وام متوسط است." در اینجا مفاهیم "بالا"، "تقریباً خوب" و "متوسط" هرکدام با یک تابع عضویت خاص در بازه [0,1] تعریف می‌شوند.

در مجموع، پایگاه دانش فازی، پایگاه داده فازی و مدل‌های گوناگون فازی در علم مدیریت، برای طراحی و پیاده‌سازی سیستم‌های پشتیبانی از تصمیم‌گیری به کار گرفته می‌شوند و به مدیران این امکان را می‌دهند تا در محیط‌های پیچیده و همراه با عدم قطعیت، تصمیمات بهینه‌تری اتخاذ کنند.

۴- مجموعه‌های فازی در تحلیل چند معیاره

۴-۱ ایجاد یک مدل

۱. مدل ساختاری فازی: مدل‌های ساختاری کلاسیک با استفاده از نمودار، نمایشی اجمالی از سیستم‌های متنوع، بزرگ و پیچیده مدیریت ارائه می‌دهند. اما در مدل‌های ساختاری فازی، برای بیان روابط میان بخش‌های مختلف نمودار، به جای منطق دوارزشی صفر و یک، از توابع عضویت استفاده می‌شود.

۲. رگرسیون فازی: در مدل‌های رگرسیونی کلاسیک، با استفاده از داده‌های اخذشده از نظرات خبرگان، مدل‌هایی ایجاد می‌شوند که در مسائل برنامه‌ریزی مانند پیش‌بینی به کار می‌روند. در ایجاد این مدل‌های رگرسیونی فازی، از اعداد فازی استفاده می‌شود. بدین ترتیب می‌توان به حل مسائل و مشکلات واقعی که دارای ابهام در داده‌ها هستند پرداخت.

۳. روش پردازش گروه داده‌ها به صورت فازی: روش پردازش گروه داده‌ها، روشی برای مدل‌سازی سیستم‌های غیرخطی، پیچیده و بزرگ است و در برنامه‌ریزی و پیش‌بینی مسائل مدیریت به کار می‌رود. حتی بدون دانش قبلی درباره ساختار سیستم، مدل‌سازی فازی با استفاده از داده‌های ورودی و خروجی، بر اساس اصل خودسازماندهی و ابتکاری انجام می‌شود. در این روش، برای مدل‌سازی سیستم‌ها یا پدیده‌های فازی، اعداد فازی جایگزین پارامترهای مدل می‌شوند.

صرف‌نظر از الگوی تصمیم‌گیری اتخاذشده، در نخستین مرحله از تدوین مدل، لازم است یک ارزیابی چندمعیاره انجام شود تا ویژگی‌هایی که در ارزیابی عملکرد پیمانکاران فرعی نقش مؤثر دارند، شناسایی گردند. معیارهای مورد انتخاب می‌توانند حاصل تحلیل بازار باشند یا همان‌گونه که در این مطالعه انجام شده است، بر مبنای نظر خبرگان تعیین شوند؛ چنان‌که Krzeminski اشاره می‌کند [6].

همان‌گونه که پیش‌تر بیان شد، معیارهای مورد استفاده برای ارزیابی پیمانکاران فرعی در این پژوهش عبارتند از: عدم تأخیر در اجرای فعالیت‌های پیشین (T)، دانش فنی و آشنایی با روش‌های اجرایی (TK)، و تجهیزات شرکت به عنوان شاخص ظرفیت امکانات اضطراری (CS).

۴-۲ کوانتش فضای متغیرهای سیستم

با بهره‌گیری از نظریه مجموعه‌های فازی، امکان توصیف فرآیند تصمیم‌گیری از طریق زبان طبیعی فراهم می‌شود [21]. اطلاعات به‌دست‌آمده از این روش را می‌توان به یک مدل ریاضی تبدیل کرد [22]. این نوع استدلال، زمینه‌ساز ایجاد یک سیستم رایانه‌ای پشتیبان تصمیم می‌گردد.

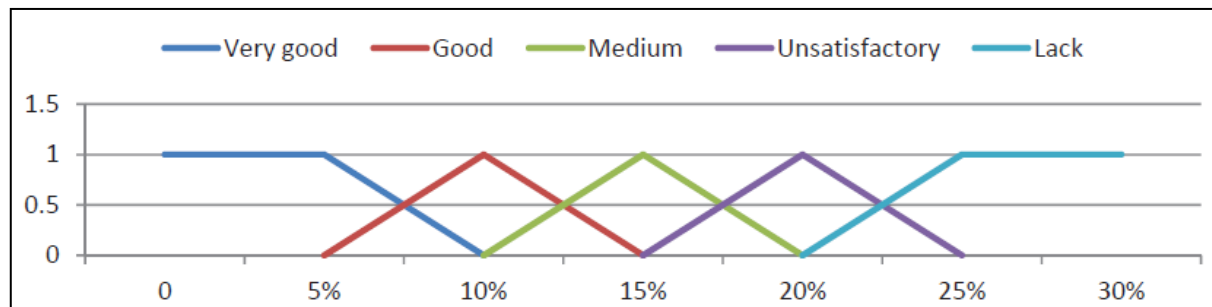
در این رویکرد، فرض بر آن است که یک پیمانکار فرعی در صورتی «قابل‌اعتماد» محسوب می‌شود که از عملکرد خوب، دانش مناسب فنی و شرکت با اندازه متوسط برخوردار باشد. تحقق این توصیف نیازمند تدوین واژه‌نامه مقادیر زبانی است تا مشخص کند منظور از «وقت‌شناسی خوب»، «شرکت متوسط» و سایر اصطلاحات چیست؛ همان‌گونه که Bilgiç و Türksen اشاره کرده‌اند. [24,23]

گام نخست، تعریف مجموعه‌های اصطلاحات اولیه برای هر یک از معیارهای ارزیابی در مسئله انتخاب پیمانکاران فرعی بود. در این مرحله از رویکردی متداول مبتنی بر تقسیم فضا به نوارهای هم‌عرض استفاده شد. این روش ساده، شهودی و در بسیاری از موارد کارآمد است.

نخستین معیار مورد بررسی، زمان‌بندی اجرای کارهای پیشین است. برای این متغیر، تصمیم بر آن شد که ماهیت آن عددی در نظر گرفته شود. بدین ترتیب، بازه‌ای تعیین گردید که در آن، کوچک‌ترین و کم‌اهمیت‌ترین تأخیرها، تأخیرهایی کمتر از ۵ درصد کل مدت اجرای کار (با ملاک تاریخ پایان تعیین‌شده) محسوب می‌شوند. در مقابل، تأخیرهای بیش از ۲۵ درصد کل دوره اجرای کار، به‌عنوان بیشترین میزان تأخیر در نظر گرفته شدند.

شکل ارائه‌شده در ادامه، تقسیم‌بندی ناحیه متغیر مربوط به زمان‌بندی اجرای پیشرفت کار را نشان می‌دهد؛ فضایی که در آن پنج اصطلاح پایه‌ای تعریف شده است.

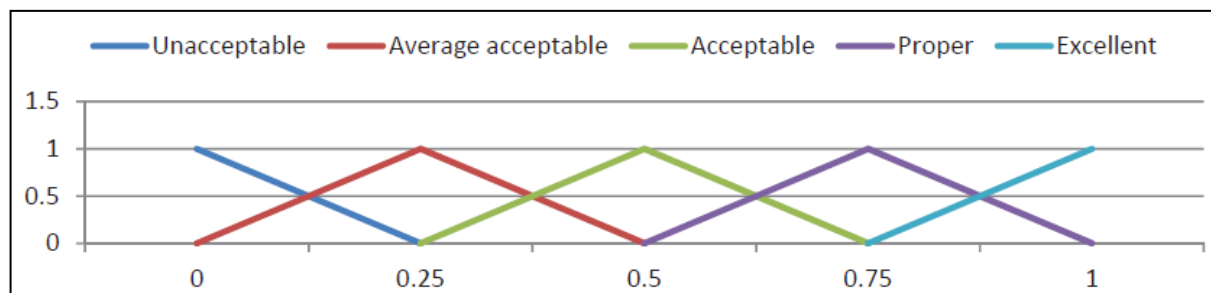
شکل ۱. مقدار متغیر T



پس از این معیار، معیاری برای توصیف دانش فنی قرار دارد. مقدار این متغیر اهمیت نمادین زیادی خواهد داشت و به عنوانی دانش فنی متوسط خوب و بد شناخته می‌شود. متغیر TK مقادیر خاصی را نمی‌پذیرد، بنابراین استفاده از دامنه تغییرات فضای انتزاعی را ضروری می‌سازد، در اینجا فرض می‌شود [۰، ۱] و به سه بخش تقسیم می‌شود: کم، متوسط و خوب. متغیر تعریف شده بعدی، اندازه شرکت است که اندازه امکانات و تجهیزات CS را نشان می‌دهد. ویژگی‌های متغیر مشابه متغیری است که قبلاً تعریف شده است. در مورد این متغیر، تصمیم گرفته شد که مقادیر متغیر دامنه را به پنج بخش مساوی تقسیم کنیم: کوچک، نسبتاً کوچک، متوسط، بزرگ و بسیار بزرگ.

آخرین متغیری که تعریف می‌کنید، یک سیستم موتور استنتاج خروجی است. این متغیر روی پیمانکار (C) تنظیم خواهد شد. مانند دو مورد قبلی فرض کنید که متغیر در محدوده ۰ تا ۱ خواهد بود. متغیر دامنه نیز به پنج مجموعه فازی تقسیم می‌شود: مقدار متغیر در شکل زیر نشان داده شده است.

شکل ۲. مقدار متغیر C



۳-۴ ایجاد پایگاه دانش

در مورد ارزیابی چندمعیاره در رویکرد سنتی، ما باید فرض تخصیص ثابت وزن‌ها را در نظر بگیریم. با این حال، در واقع، قضیه متفاوت است. برای مثال، اگر در ابتدا بیشترین فشار بر امکانات شرکت وارد می‌شد و دانش فنی و زمان‌بندی در صورت کمبود امکانات ممکن بود برای ما مهم باشد، اکنون یک معیار اولویت‌دار است. بر اساس این موارد، همان‌طور که Marchant می‌گوید [۲۵]، دستیابی به آن در سیستم سنتی دشوار است. تنها بخشی از پایگاه دانش ارائه شده در مقاله به دلیل محدودیت‌های فضا انتخاب است. این پایگاه بر اساس دانش تخصصی ساخته شده است.

جدول ۲. بخشی از پایگاه دانش

NO	T	TK	CS	C
1	Lack	Medium L	Small	Unacceptable
2	Lack	Good	Rather small R	Av Acceptable R
3	Unsatisfactory L	Good	Medium R	Acceptable L
4	Good L	Medium R	Rather small R	Acceptable L
5	Good R	Medium R	Medium R	Acceptable R
6	Good R	Medium R	Big L	Proper L
7	Very good	Medium L	Big R	Proper R
8	Very good	Good	Very big	Excellent

۴-۴ مثال ارائه شده جهت انتخاب بین چند پیمانکار فرعی

برای انجام این کار، به سه شرکت اطلاع داده شد که هر کدام از آنها بر اساس تأخیرات (T)، دانش فنی (TK) و اندازه شرکت (CS) رتبه‌بندی شدند. ارزیابی شرکت‌های پیمانکار هر کدام را می‌توان در جدول شماره 3 زیر دید. جدول شماره 4 مقادیر تابع عضویت را نشان می‌دهد.

جدول 3. نتایج ارزیابی شرکت‌ها

CS	TK	T	پیمانکار فرعی
0.63	0.66	12%	A
0.57	0.83	18%	B
0.39	0.54	9%	C

جدول 4. بخشی از مقادیر تابع عضویت

متغیر	پیمانکار فرعی	ارزش	تابع عضویت	برجسب
T	A	12%	$\mu_T(A) \frac{15\% - 12\%}{15\% - 10\%} = 0.60$	Good R
T	B	18%	$\mu_T(B) \frac{18\% - 15\%}{20\% - 15\%} = 0.60$	Unsatisfactory L
T	C	9%	$\mu_T(C) \frac{9\% - 5\%}{10\% - 5\%} = 0.80$	Good L

مقدار ارزیابی y_i بر اساس پایگاه دانش نشان داده شده در یکی از فصل های قبل و فرمول زیر محاسبه شد.

y_i	{	Unacceptable	$0.25 - \mu(0.25 - 0)$
		Av. Acceptable L	$\mu(0.25 - 0) + 0$
		Av. Acceptable R	$0.50 - \mu(0.50 - 0.25)$
		Acceptable L	$\mu(0.50 - 0.25) + 0.50$
		Acceptable R	$0.75 - \mu(0.75 - 0.50)$
		Proper L	$\mu(0.75 - 0.50) + 0.50$
		Proper R	$1.00 - \mu(1.00 - 0.75)$
		Excellent	$\mu(1.00 - 0.75) + 0.75$

مقادیر محاسبه شده ارزیابی های y_i برای خروجی متغیر: پیمانکار (C) در جدول شماره 5 زیر ارائه شده است.

جدول 5. مقادیر ارزیابی ها

y_i	CS	TK	T	پیمانکار فرعی
1.95	0.63	0.67	0.65	A
1.25	0.43	0.42	0.40	B
1.32	0.39	0.48	0.45	C

باتوجه به ارزش گذاری برای ارزیابی ها نشان می دهد. [۲۶]. در مورد حاضر، تاکنون بهترین پیمانکار فرعی، پیمانکار فرعی A بوده است. با این حال، پیمانکاران فرعی B و C بسیار نزدیک به یکدیگر بودند.

۵- نتیجه گیری

انتخاب پیمانکاران فرعی مناسب یکی از تصمیمات حیاتی در موفقیت پروژه های عمرانی است. باتوجه به پیچیدگی و ذهنی بودن معیارهای مؤثر در این فرایند، روش های سنتی که مبتنی بر منطق دوارزشی و داده های قطعی هستند، اغلب قادر به مدل سازی کامل عدم قطعیت ها و ابهامات موجود نیستند. در این مقاله، یک چارچوب تصمیم گیری مبتنی بر نظریه مجموعه های فازی ارائه شد که با تعریف توابع عضویت برای معیارهای کیفی و کمی، و ایجاد یک پایگاه دانش فازی از قواعد خبرگی، امکان پردازش و ارزیابی اطلاعات نادقیق را فراهم می سازد.

مدل پیشنهادی سه معیار کلیدی «زمان‌بندی پروژه‌های پیشین»، «دانش فنی» و «ظرفیت و تجهیزات شرکت» را به‌عنوان ورودی در نظر گرفته و با استفاده از یک موتور استنتاج فازی، خروجی نهایی را به‌صورت درجه‌ای از قابلیت قبول پیمانکار تولید می‌کند. کاربرد عملی این مدل بر روی سه پیمانکار فرعی فرضی نشان داد که روش مذکور به تمایز و رتبه‌بندی گزینه‌ها می‌پردازد، بلکه حساسیت لازم برای تشخیص تفاوت‌های ظریف بین پیمانکاران با پروفایل‌های نزدیک به هم را نیز دارا است.

مزیت اصلی این رویکرد، انعطاف‌پذیری، شبیه‌سازی استدلال انسانی در شرایط عدم قطعیت و قابلیت یکپارچه‌سازی معیارهای کیفی و کمی در یک چارچوب ریاضی منسجم است. این مدل می‌تواند به‌عنوان بخشی از یک سیستم هوشمند پشتیبان تصمیم‌گیری در شرکت‌های پیمانکاری اصلی مورد استفاده قرار گیرد و به بهبود عینی‌سازی، شفافیت و قابلیت اطمینان فرایند انتخاب کمک شایانی نماید. برای پژوهش‌های آتی، توسعه مدل با در نظر گرفتن معیارهای بیشتر (مانند ریسک‌پذیری، انعطاف‌پذیری قراردادی)، استفاده از اعداد فازی پیشرفته‌تر (مانند فازی نوع-۲) و نیز یکپارچه‌سازی با تکنیک‌های بهینه‌سازی مانند الگوریتم‌های فراابتکاری برای تخصیص چند پروژه‌ای، پیشنهاد می‌گردد.

REFERENCES

- [۱]- اهمیت منطق فازی در مدیریت روح اله شریفی - دومین کنفرانس بین‌المللی مدیریت و کارآفرینی - ۱۳۹۵
- [2]- N. Ibadov, Wielokryterialna ocena procesów budowlanych z uwzględnieniem rozmytego modelowania niepewności aspektów technologicznych Autobusy: technika, eksploatacja, systemy transportowe, vol. 14 (Instytut Naukowo-Wydawniczy "SPATIUM". sp. z o.o., Radom, Poland, 2013), pp.1183-1191.
- [3]- N. Ibadov, *Modelowanie czasów wykonania robót budowlanych z wykorzystaniem wnioskowania rozmytego* Logistyka (Instytut Logistyki i Magazynowania, Poznań, Poland, 2010) pp.1121-1128
- [4]- N. Ibadov, J. Kulejewski, M. Krzemilski *Fuzzy ordering of the factors affecting the implementation of construction projects in Poland* AIP Conference Proceedings 1558, edited by T. Simos et al. (American Institute of Physics, Melville, NY, 2002), pp. 1298-1301.
- [5]- M. Juszczak, *The Use Of Artificial Neural Networks For Residential Buildings Conceptual Cost Estimation* AIP Conference Proceedings 1558, edited by T. Simos et al. (American Institute of Physics, Melville, NY, 2002), pp. 1302-1306.
- [6]- M. Krzeminski, M. Ksiazek, *Quality assessment of the chosen building objects applying the theory of fuzzy sets* Technologia i zarządzanie w budownictwie, (Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, Poland, 2008) pp. 345-352
- [7]- N. Ibadov, *Technical aspects of selecting construction fixings and suggested conditions of correct assembly* Technologia i zarządzanie w budownictwie, (Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, Poland, 2008) pp. 911-198
- [8]- Lew, Y. L., S. Hassim, R. Muniandy, and L. T. Hua. 2018. "Structural equation modelling for subcontracting practice: Malaysia chapter." Eng.Constr. Archit. Manage. 25 (7): 835-860. <https://doi.org/10.1108/ECAM-04-2017-0073>.
- [9]- Karaman, A. E., and K. Sandal. 2022. "Effect of sub-contractor selection on construction project success in Turkey." Teknik Dergi 33 (4):12105-12118. <https://doi.org/10.18400/tekderg.731728>.
- [10]- Biruk, S., P. Jaśkowski, and A. Czarnigowska. 2017. "Minimizing project cost by integrating subcontractor selection decisions with scheduling." IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 245 (7): 072007. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/245/7/072007>.
- [11]- Abbasianjahromi, H., M. Sepehri, and O. Abbasi. 2018. "A decision-making framework for subcontractor selection in construction projects." Eng. Manage. J. 30 (2): 141-152. <https://doi.org/10.1080/10429247.2018.1448967>.

- [12]- Afshar, M. R., V. Shahhosseini, and M. H. Sebt. 2021. "A genetic algorithm for subcontractors selection and allocation in multiple building projects." *Soft Comput.* 25 (17): 11637–11652. <https://doi.org/10.1007/s00500-021-06008-5>.
- [13]- Pollack-Johnson, B., and M. J. Liberatore. 2006. "Incorporating quality considerations into project time/cost tradeoff analysis and decision making." *IEEE Trans. Eng. Manage.* 53 (4): 534–542. <https://doi.org/10.1109/TEM.2006.883705>.
- [14]- Mokhtari, H., I. N. K. Abadi, and M. R. Amin-Naseri. 2012. "Production scheduling with outsourcing scenarios: A mixed integer programming and efficient solution procedure." *Int. J. Prod. Res.* 50 (19): 5372–5395. <https://doi.org/10.1080/00207543.2011.627687>.
- [15]- Mungle, S., L. Benyoucef, Y. J. Son, and M. K. Tiwari. 2013. "A fuzzy clustering-based genetic algorithm approach for time–cost–quality trade-off problems: A case study of highway construction project." *Eng. Appl. Artif. Intell.* 26 (8): 1953–1966. <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2013.05.006>.
- [16]- Mokhtari, H., and I. N. K. Abadi. 2013. "Scheduling with an outsourcing option on both manufacturer and subcontractors." *Comput. Oper. Res.* 40 (5): 1234–1242. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2012.12.003>.
- [17]- Abbasianjahromi, H., H. Rajaie, E. Shakeri, and F. Chokan. 2014. "A new decision-making model for subcontractor selection and its order allocation." *Project Manage. J.* 45 (1): 55–66. <https://doi.org/10.1002/pmj.21394>.
- [18]- Polat, G., B. Kaplan, and B. N. Bingol. 2015. "Subcontractor selection using genetic algorithm." *Procedia Eng.* 123 (Jan): 432–440. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.10.081>.
- [19]- Biruk, S., P. Jaskowski, and A. Czarnigowska. 2019. "Fuzzy AHP for selecting suppliers of construction materials." *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 603 (3): 032093. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/603/3/032093>.
- [20]- Afshar, M. R., V. Shahhosseini, and M. H. Sebt. 2022. "Optimal sub-contractor selection and allocation in a multiple construction project: Project portfolio planning in practice." *J. Oper. Res. Soc.* 73 (2): 351–364. <https://doi.org/10.1080/01605682.2020.1835450>.
- [21]- L.A. Zadeh, *Fuzzy Sets*, Information and Control, vol. 8. (Elsevier, Atlanta, 1965), pp. 338-353
- [22]- E. Plebankiewicz, *Contractor prequalification model using fuzzy sets* (Journal of Civil Engineering and Management, Taylor & Francis Group, 2010), pp. 377-385.
- [23]- T. Bilgiç, I.B. Türksen *Measurement of membership functions: Theoretical and empirical work*. Fundamental of Fuzzy Sets, The Handbook of Fuzzy Sets, edited by D. Dubois, H. Prade (Kluwer, Dordrecht, 2000) .vol.7.
- [24]- I.B. Türksen, *Measurement of membership functions and their assessment*, Fuzzy Sets and Systems, vol. 51 (Elsevier, Atlanta, 1991), pp. 295–3076.
- [25]- T. Marchant, *The measurement of membership by comparisons*, Fuzzy Sets and Systems, vol. 148, (Elsevier, Atlanta, 2004), pp. 157–177.
- [26]- K. Zima *The Concept Of Investment Decision Support Model Using Fuzzy Set Theory* AIP Conference Proceedings 1558, edited by T. Simos *et al.* (American Institute of Physics, Melville, NY, 2002), pp. 1307-1311.