

یک رویکرد فازی جدید برای تعیین بهترین روش نصب خطوط لوله در دریا

مجید نوجوان^{۱*}، بهروز بندی^۲

۱. استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

۲. کارشناس ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران جنوب

(تاریخ دریافت: ۹۵/۶/۱۵، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۵/۸/۱۶، تاریخ تصویب: ۹۵/۱۰/۲)

چکیده

انتخاب روش نصب خطوط لوله در دریا از چالش‌های مهم تصمیم‌گیران در حوزه صنایع نفت است. در این پژوهش، برای انتخاب بهترین روش نصب خطوط لوله در دریا یک مدل ترکیبی جدید فازی پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی ابتدا شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مورد استفاده در انتخاب روش نصب خطوط لوله با استفاده از نظرهای خبرگان تعیین و اوزان شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها با به‌کارگیری روش ANP-DEMATEL فازی مشخص می‌شود. سپس با توجه به این اوزان و کاربرد یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی، بهترین روش نصب با توجه به محدودیت‌های عملکردی و سیستمی انتخاب می‌شود. برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی، یک مطالعه موردی با استفاده از این رویکرد حل و نتیجه توسط خبرگان تأیید شده است. رویکرد پیشنهادی برای مدیران صنایع نفت ابزاری مفید برای افزایش دقت و سهولت در انتخاب روش نصب خطوط لوله دریایی فراهم می‌آورد.

واژه‌های کلیدی: برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی، روش نصب خط لوله در دریا، ANP-DEMATEL فازی.

مقدمه

گرفته‌اند و با استفاده از یک الگوریتم فرا ابتکاری شاخص میزان احتمال وقوع حادثه را محاسبه کرده‌اند و روشی را انتخاب کرده‌اند که کمترین احتمال وقوع حادثه را در پی دارد. دی [۵] انتخاب بهترین روش اجرای خطوط لوله نفت در دریای هند را به‌صورت یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره تعریف کرده است که در آن شاخص‌های اقتصادی، فنی و اجتماعی-زیست‌محیطی معیارهای اصلی در نظر گرفته شده و از رویکرد AHP-TOPSIS به‌منظور انتخاب بهترین پروژه استفاده شده است. کیسر [۶] دو عامل هزینه و زمان را در اجرای پروژه‌های نصب تجهیزات و خطوط لوله دریایی در نظر گرفته است. او با مدل‌سازی تأثیر عواملی همچون عمق آب، طول موج و فواصل خطوط از یکدیگر در یک مدل برنامه‌ریزی خطی، به‌دنبال حداقل کردن زمان و هزینه اجرای روش بوده و از این رویکرد برای انتخاب بهترین روش نصب خطوط لوله در دریای مکزیک استفاده کرده است.

توانا و همکاران [۷] برای مسیریابی احداث خطوط لوله نفت در دریای خزر از شاخص‌هایی چون زمان‌های تحویل، سطوح ارتباطات و قابلیت دسترسی، تحلیل مالی و

انتخاب روش مناسب نصب خطوط لوله در دریا با توجه به تأثیر عواملی چون شاخص‌های زیست‌محیطی، فعالیت‌های ماهیگیری، شرایط آب‌وهوایی و نظایر آن پیچیدگی ویژه‌ای دارد و از این‌رو محققان زیادی به‌دنبال یافتن رویکردهایی بوده‌اند تا با استفاده از آن‌ها متناسب با نیازهای مجری بهترین روش نصب خطوط لوله را تعیین کنند.

هالمان و برکس [۱] برای انتخاب روش نصب خطوط لوله، از ریسک به‌عنوان شاخص اصلی و از تابع مطلوبیت به‌عنوان روش انتخاب گزینه برتر استفاده کرده‌اند. دی [۲] با در نظر گرفتن هزینه‌های عوامل اجرایی-عملیاتی و زیست‌محیطی و با استفاده از توابع مالی، روش اجرایی نصب خط لوله با کمترین هزینه را مشخص کرده است. چن و فو [۳] با توجه به شاخص‌هایی همچون کاهش هزینه و ریسک و با استفاده از یک مدل فرا ابتکاری فازی بهترین روش نصب خطوط لوله و تجهیزات دریایی را انتخاب کرده‌اند. خان و همکاران [۴] برای انتخاب بهترین روش اجرای خطوط لوله عامل ایمنی را معیار اصلی در نظر

مرحله اول: تعیین و انتخاب خبرگان

در مرحله اول، افراد خبره در زمینه نصب تجهیزات و خطوط لوله دریایی که تحصیلات و تجربه کافی و مرتبط دارند انتخاب می‌شوند. خبرگان مسئله باید از تصمیم‌گیران در زمینه موضوع باشند تا اهدافی همچون واقعی بودن نظرها، تأیید نتایج نهایی و قابلیت اجرای روش محقق شود.

مرحله دوم: تعیین شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها

در این مرحله با استفاده از نظرهای خبرگان، شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مورد استفاده در انتخاب روش نصب تعیین می‌شود. از آنجاکه هر پروژه ویژگی‌های منحصر به فردی دارد، انتخاب باید به گونه‌ای انجام گیرد که منطبق بر شرایط و دربرگیرنده تمامی عوامل تأثیرگذار بر پروژه باشد.

مرحله سوم: تعیین روش‌های مختلف نصب

در مرحله سوم، تمام روش‌های قابل بررسی و کاربردی برای نصب خطوط لوله در دریا مشخص و فهرست می‌شوند. برای این کار از نظرهای خبرگان و تیم طراح پروژه استفاده می‌شود. نکته شایان توجه در این مرحله، در نظر گرفتن روش‌هایی است که در چارچوب سیاست‌های کلان شرکت قابل اجرا باشند تا از مطرح شدن گزینه‌های بدون قابلیت اجرایی اجتناب شود و به واقعی بودن نتایج کمک شود.

مرحله چهارم: تعیین اوزان شاخص‌ها و

زیرشاخص‌ها با استفاده از روش ANP-DEMATEL فازی

در مرحله چهارم، برای تعیین وزن شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها ابتدا با استفاده از روش DEMATEL فازی و به کمک ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی تأثیر شاخص‌ها بر هم تعیین می‌شود. سپس با استفاده از روش ANP فازی و به کارگیری ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی، اوزان نسبی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها محاسبه می‌شود. در نهایت، با استفاده از درجه ارتباط شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها که از روش DEMATEL به دست آمده است و همچنین اوزان نسبی به دست آمده از روش ANP فازی، ابرماتریس (Super Matrix) تشکیل و وزن نهایی زیرشاخص‌ها با استفاده از آن تعیین می‌شود.

هزینه‌های خطوط لوله دریایی، هزینه‌های مربوط به تجهیزات حمل‌ونقل، تناسب و سازگاری با عوامل محیطی و سطح تجهیزات انتقال فناوری استفاده کرده‌اند و با استفاده از روش ترکیبی DELPHI-SWOT بهترین مسیر خط لوله در دریا را انتخاب کرده‌اند. همچنین، در مطالعه‌ای دیگر توانا و همکاران [۸] با استفاده از معیارهای تحقیق قبل و کاربرد روش ترکیبی PROMETHEE-GDSS، بهترین مسیر خطوط لوله دریایی در دریای خزر را انتخاب کرده‌اند. کیسر [۹] در پروژه نصب خطوط لوله و تجهیزات دریایی یک پالایشگاه در آمریکا، هزینه استفاده از منابع را بررسی و در قالب یک مدل ریاضی سعی در بهینه‌سازی هزینه‌های مرتبط کرده است. همچنین، مدیلی [۱۰] برای اجرای نصب خطوط و تجهیزات دریایی از یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی استفاده کرده است که در آن هدف حداقل کردن هزینه و زمان اجراست.

در این پژوهش، برای انتخاب روش نصب خطوط لوله دریایی از یک رویکرد ترکیبی فازی جدید شامل روش‌های ANP-DEMATEL و برنامه‌ریزی چندهدفه فازی استفاده شده است. علت استفاده از روش ANP-DEMATEL فازی در نظر گرفتن تعاملات و ارتباطات داخلی میان شاخص‌های اصلی و محاسبه میزان تأثیر هر یک از شاخص‌ها بر یکدیگر است. همچنین، استفاده از روش پیشنهادی با در نظر گرفتن ارتباطات متقابل میان مجموعه وسیعی از اجزا موجب افزایش دقت در تصمیم‌گیری نصب خطوط لوله دریایی می‌شود. در پژوهش حاضر، ابتدا روش پیشنهادی و ابزارهای مورد استفاده در آن تشریح می‌شود و سپس یک مطالعه موردی با استفاده از رویکرد پیشنهادی مدل‌سازی و حل می‌شود. در پایان نیز نتیجه‌گیری بیان می‌شود.

روش پیشنهادی برای انتخاب بهترین روش

نصب خطوط دریایی

در این پژوهش، با در نظر گرفتن شرایط واقعی، رویکردی کارا به منظور انتخاب روش نصب خط لوله در دریا توسعه داده شده است. مراحل روش پیشنهادی در ادامه تشریح می‌شود.

گام ۱. تهیه ماتریس روابط مستقیم فازی

در گام اول، برای بررسی روابط درونی بین شاخص‌ها از افراد خبره خواسته می‌شود تا مقایسات زوجی بین شاخص‌ها را از نظر میزان تأثیر شاخص i (در سطر) بر شاخص j (در ستون) با استفاده از متغیرهای زبانی فازی انجام دهند. اعداد فازی مثلثی مورد استفاده متناظر با این متغیرهای زبانی در جدول ۱ نمایش داده می‌شود.

جدول ۱. متغیرهای زبانی و اعداد فازی متناظر

| مقادیر متغیر زبانی | عدد فازی متناظر |
|-----------------------|-------------------|
| تأثیر بسیار زیاد (VH) | (۰/۷۵, ۱, ۱) |
| تأثیر زیاد (H) | (۰/۵, ۰/۷۵, ۱) |
| تأثیر کم (L) | (۰/۲۵, ۰/۵, ۰/۷۵) |
| تأثیر بسیار کم (VL) | (۰, ۰/۲۵, ۰/۵) |
| بدون تأثیر (NO) | (۰, ۰, ۰/۲۵) |

در این حالت، ماتریس روابط مستقیم فازی (\tilde{Z})، شامل درایه‌های فازی مثلثی $z_{ij}^k = (l_{ij}^k, m_{ij}^k, r_{ij}^k)$ است که میزان تأثیر شاخص i (در سطر) بر شاخص j (در ستون) $(i, j = 1, \dots, n)$ توسط خبره k ($k = 1, \dots, p$) را نشان می‌دهد.

گام ۲. تعیین ماتریس روابط مستقیم قطعی

در گام دوم، برای تبدیل ماتریس روابط مستقیم فازی به قطعی از روش تبدیل داده‌های فازی به نمرات قطعی (CFCS) [۲۱] استفاده می‌شود. در این روش، ابتدا ماتریس روابط مستقیم فازی به کمک روابط زیر نرمال‌سازی می‌شود:

$$X_{ij}^k = (xl_{ij}^k, xm_{ij}^k, xr_{ij}^k) \quad xl_{ij}^k = \frac{(l_{ij}^k - \min(l_{ij}^k))}{\Delta_{min}^{max}},$$

$$xr_{ij}^k = \frac{r_{ij}^k - \min(l_{ij}^k)}{\Delta_{min}^{max}}, \quad xm_{ij}^k = \frac{m_{ij}^k - \min(l_{ij}^k)}{\Delta_{min}^{max}} \quad (1)$$

$$\Delta_{min}^{max} = \max(r_{ij}^k) - \min(l_{ij}^k)$$

پس از نرمال‌سازی ماتریس روابط مستقیم فازی، مقادیر

مرحله پنجم: انتخاب بهترین روش نصب با

استفاده از برنامه‌ریزی چندهدفه فازی

در این مرحله، با استفاده از اوزان به‌دست‌آمده از ANP-DEMATEL فازی و کاربرد یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه، مسئله انتخاب بهترین روش نصب خط لوله مدل‌سازی و با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی فازی (FLP) حل می‌شود. با استفاده از این مدل روشی انتخاب می‌شود که ضمن حداقل کردن اهداف (شاخص‌های) منفی مانند ریسک، هزینه، زمان و خطرهای زیست‌محیطی، اهداف (شاخص‌های) مثبت مانند کیفیت را حداکثر کند و محدودیت‌های واقعی مسئله را نیز نقض نکند.

مرحله ششم: تأیید صحت نتایج توسط

خبرگان

در مرحله ششم و پس از حل مدل و انتخاب روش نصب، این نتایج برای بررسی صحت انتخاب در دسترس خبرگان قرار می‌گیرد.

روش‌های مورد استفاده در رویکرد پیشنهادی در ادامه تشریح می‌شود.

روش DEMATEL فازی

روش آزمایشگاه آزمون و سنجش تصمیم‌گیری (DEMATEL) را ابتدا گابوس و فونتلا [۱۱] ارائه دادند که در آن برای اندازه‌گیری شدت رابطه بین عناصر از ماتریس‌های مقایسه زوجی استفاده می‌شود. مطابق نظر تزنگ و همکاران [۱۲] در DEMATEL روابط علی-معلولی بین شاخص‌ها در مسائل تصمیم‌گیری به یک مدل ساختاری ملموس تبدیل می‌شود. به‌عقیده‌ی [۱۳] DEMATEL روشی جامع برای تحلیل یک مدل ساختاری است که شامل روابط علی-معلولی پیچیده بین عوامل می‌شود و می‌توان از آن در تهیه گراف‌هایی استفاده کرد که قادر به نمایش روابط جهت‌دار میان زیرسیستم‌ها هستند.

برای نشان دادن ابهام در داده‌های مقایسات زوجی DEMATEL، لین و وو [۱۴] روش DEMATEL فازی را توسعه داده و در آن از مقادیر فازی در ماتریس‌های مقایسه زوجی استفاده کرده‌اند. روش DEMATEL فازی لین و وو شامل گام‌های زیر است:

است. در این روش، معمولاً مسئله به‌صورت یک سلسله‌مراتب در نظر گرفته می‌شود که در بالاترین سطح هدف و در سطوح بعدی به‌ترتیب شاخص‌ها، زیرشاخص‌ها و در نهایت گزینه‌ها قرار دارند. در روش AHP با استفاده از ماتریس‌های مقایسه زوجی، درجه اهمیت نسبی عناصر مرتبط با یک عنصر سطح بالاتر محاسبه و با ترکیب این اوزان، وزن نهایی گزینه‌ها مشخص می‌شود. از آنجاکه بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری به‌دلیل وابستگی و اثر متقابل عناصر سطح بالاتر روی عناصر سطح پایین‌تر نمی‌توانند به‌صورت سلسله‌مراتبی ساختار بندی شوند، ساعتی [۱۶] روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) را ارائه کرده است. یانگ و همکاران [۱۷] برای نشان دادن ابهام در ANP به جای مقادیر قطعی از متغیرهای زبانی فازی در تشکیل ماتریس‌های مقایسه زوجی استفاده کرده‌اند. گام‌های اجرای فرایند تحلیل شبکه‌ای فازی یانگ و همکاران به‌صورت زیر است:

نرمال چپ (ls) و نرمال راست (rs) با استفاده از روابط زیر محاسبه و به کمک آن‌ها مقادیر نرمال و نمرات قطعی محاسبه می‌شود.

$$\begin{aligned} xls_{ij}^k &= \frac{xm_{ij}^k}{1 + xm_{ij}^k - xl_{ij}^k} \\ xrs_{ij}^k &= \frac{xr_{ij}^k}{1 + xr_{ij}^k - xm_{ij}^k} \\ x_{ij}^k &= \frac{xls_{ij}^k(1 - xls_{ij}^k) + xrs_{ij}^k \cdot xrs_{ij}^k}{1 - xls_{ij}^k + xrs_{ij}^k} \\ z_{ij}^k &= \min(l_{ij}^k) + x_{ij}^k \cdot \Delta_{min}^{max} \end{aligned} \quad (2)$$

در نهایت، مقادیر قطعی نظرهای خبرگان به‌صورت رابطه ۳ با هم ترکیب می‌شوند.

$$z_{ij} = \frac{1}{p}(z_{ij}^1 + z_{ij}^2 + \dots + z_{ij}^p). \quad (3)$$

گام ۳. تشکیل ماتریس روابط مستقیم نرمال شده

در این گام، ماتریس روابط مستقیم قطعی (X) از طریق رابطه ۴ نرمال سازی می‌شود:

$$\begin{aligned} X &= s \cdot Z \\ s &= \min \left\{ \frac{1}{\max_i (\sum_{j=1}^n z_{ij})}, \frac{1}{\max_j (\sum_{i=1}^n z_{ij})} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

گام ۴. تشکیل ماتریس رابطه کلی و نرمال سازی آن

در گام چهارم، ماتریس روابط کلی (T) با استفاده از رابطه ۵ مشخص می‌شود:

$$T = X(I - X)^{-1} \quad (5)$$

که در رابطه بالا I ماتریس همانی است.

در نهایت، ماتریس نرمال شده روابط کلی، از تقسیم درایه‌های هر ستون به جمع مقادیر ستون مربوطه به‌دست می‌آید.

فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) فازی

یکی از کارآمدترین روش‌ها برای حل مسائل تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه (MADM)، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) است که ساعتی [۱۵] پیشنهاد داده

گام ۱. به‌دست آوردن اوزان نسبی

در گام اول، از ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی برای تعیین اوزان نسبی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها استفاده می‌شود. برای این کار با استفاده از متغیرهای زبانی درجه اهمیت شاخص i نسبت به شاخص j توسط خبرگان مشخص می‌شود. این متغیرهای زبانی سپس با استفاده از جدول ۲ به‌صورت اعداد فازی مثلثی $(l_{ij}^k, m_{ij}^k, u_{ij}^k)$ تبدیل می‌شوند.

جدول ۲. متغیرهای زبانی و اعداد فازی متناظر

| مقادیر متغیر زبانی | عدد فازی متناظر |
|-------------------------|---|
| یکسان | (۱, ۱, ۱) |
| اندکی مهم‌تر | (۲, ۳, ۴) |
| مهم‌تر | (۴, ۵, ۶) |
| بسیار مهم‌تر | (۶, ۷, ۸) |
| اکیداً مهم‌تر | (۸, ۹, ۹) |
| مقادیر میانی بین دو سطح | $\bar{X}_{ij} = (a - 1, a, a + 1)$ |
| اعداد مثلثی متقابل | $\bar{X}_{ji} = \left(\frac{1}{a+1}, \frac{1}{a}, \frac{1}{a-1} \right)$ |

گام ۳. محاسبه وزن نهایی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها
در این گام، ابتدا با استفاده از ماتریس روابط کلی نرمال شده، ابرماتریس ناموزون تشکیل می‌شود. سپس با تقسیم درایه‌های هر ستون به جمع ستون مربوطه، ابرماتریس نرمال شده یا همان ابرماتریس موزون به دست می‌آید. در نهایت، ابرماتریس موزون به توان $2k+1$ می‌رسد و k آن قدر افزایش می‌یابد تا اوزان همگرا و وزن نهایی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها مشخص شود.

برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی

وبر و کورنت [۱۸] یک مدل ریاضی چندهدفه را به صورت کلی در رابطه ۹ نشان داده‌اند:

$$\begin{aligned} & \text{Min } \{Z_1, \dots, Z_p\} \\ & \text{Max } \{Z_{p+1}, \dots, Z_q\} \\ & \text{St:} \\ & x \in X_d, \quad X_d = \{x \mid g_i(x) \leq b_i \quad i \\ & \quad \quad \quad = 1, \dots, m\} \end{aligned} \quad (9)$$

در رابطه ۹، Z_1, \dots, Z_p اهداف (شاخص‌های) منفی هستند که باید کمینه شوند و همچنین Z_{p+1}, \dots, Z_q اهداف (شاخص‌های) مثبت را نشان می‌دهند که باید بیشینه گردند. X_d نیز مجموعه جواب‌های شدنی را نشان می‌دهد که تمامی محدودیت‌های موجود در مسئله را برآورده می‌کنند.

در یک مسئله واقعی، همه اهداف نمی‌توانند به صورت همزمان تحت مجموعه محدودیت‌ها برآورده شوند؛ بنابراین، تصمیم‌گیرنده می‌تواند یک تیرانس یا تابع عضویت فازی به صورت $\mu_s(x)$ برای s امین تابع هدف تعریف کند. در این حالت، مسئله برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی به صورت رابطه ۱۰ نمایش داده می‌شود:

$$\begin{aligned} \text{Min } \tilde{Z}_k &= \sum_{j=1}^n c_{kj} \cdot x_j \leq Z_k^0 \quad k = 1, \dots, p \\ \text{Max } \tilde{Z}_l &= \sum_{j=1}^n c_{lj} \cdot x_j \geq Z_l^0 \quad l \\ & \quad \quad \quad = p + 1, \dots, q \\ \text{St:} \\ g_i(x) &= \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq b_i \quad i \\ & \quad \quad \quad = 1, \dots, m \\ x_j &\in [0,1] \quad j = 1, \dots, n \end{aligned} \quad (10)$$

پس از تشکیل ماتریس مقایسات زوجی، از روش بردار ویژه وزن نسبی شاخص‌ها به صورت اعداد فازی مثلثی به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$[CFCS(\tilde{X}) - \lambda_{max} \cdot I] \cdot W = 0 \quad (6)$$

که در رابطه ۶ W و λ_{max} به ترتیب بردار ویژه و مقدار ویژه ماتریس $CFCS(\tilde{X})$ هستند. ماتریس $CFCS(\tilde{X})$ شکل غیرفازی شده ماتریس مقایسه زوجی \tilde{X} است که با استفاده از روش تبدیل داده‌های فازی به امتیازات قطعی به دست می‌آید. برای این کار مقادیر حداکثر و حداقل بازه اعداد فازی تعیین و با روش میانگین هندسی امتیاز کلی محاسبه می‌شود.

در ماتریس‌های مقایسه زوجی باید ناسازگاری قضاوت‌های خبرگان نیز بررسی شود. برای این کار ابتدا نرخ سازگاری ماتریس مقایسه زوجی (CI) به صورت زیر مشخص می‌شود:

$$CI = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (7)$$

سپس نرخ ناسازگاری مقایسه زوجی (CR) از تقسیم نرخ سازگاری ماتریس مقایسه زوجی (CI) بر نرخ سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی کاملاً تصادفی (RI) محاسبه می‌شود و اگر مقدار CR کوچک‌تر یا مساوی ۰/۱ باشد، نتیجه گرفته می‌شود که ماتریس مقایسه زوجی سازگار است. نرخ سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی کاملاً تصادفی (RI) نیز با توجه به ابعاد ماتریس مشخص می‌شود. همچنین، به منظور ترکیب نظرهای خبرگان در ماتریس‌های مقایسه زوجی فازی از رابطه ۸ استفاده می‌شود:

$$\begin{aligned} \tilde{Z}_{ij} \\ = & (\sqrt[k]{l_1 \times \dots \times l_k}, \sqrt[k]{m_1 \times \dots \times m_k}, \sqrt[k]{r_1 \times \dots \times r_k}) \end{aligned} \quad (8)$$

گام ۲. تشکیل ابرماتریس اولیه

در گام دوم، پس از محاسبه وزن شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها و روابط داخلی بین آن‌ها یک ابرماتریس تشکیل می‌شود. ابرماتریس یک ماتریس بخش‌بندی شده است که هر زیر ماتریس آن نشان‌دهنده روابط بین تعدادی از شاخص‌ها یا زیرشاخص‌هاست. ابرماتریس اولیه با وارد کردن اولویت‌های تعیین شده با استفاده از DEMATEL و ANP فازی در ستون‌های مرتبط تشکیل می‌شود.

استفاده از رویکرد پیشنهادی در یک مطالعه موردی

برای نشان دادن کارایی روش پیشنهادی در مسئله انتخاب بهترین روش نصب خطوط لوله در دریا، یک مطالعه موردی در پروژه فاز ۱۹ پارس جنوبی در نظر گرفته شده و از روش پیشنهادی برای حل آن استفاده شده است. مراحل کاربرد روش پیشنهادی در این مطالعه در ادامه می‌آید.

مرحله اول: تعیین خبرگان

در مرحله اول، خبرگانی تعیین می‌شوند که باید اطلاعات از آن‌ها جمع‌آوری شود. برای این کار سه نفر از سهامداران و تصمیم‌گیران اصلی که تحصیلات مرتبط و بیش از ۲۰ سال تجربه کار اجرایی در این زمینه داشته‌اند، انتخاب شدند.

مرحله دوم: تعیین شاخص‌ها و زیرشاخص‌های

مورد استفاده در انتخاب روش

در این مرحله، ابتدا با استفاده از شاخص‌های مورد استفاده در پژوهش‌های مرتبط با موضوع روش‌های نصب خطوط لوله، فهرست اولیه شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها استخراج شده است. سپس این فهرست با استفاده از نظرهای خبرگان غربال شده و فهرست نهایی شاخص‌ها و زیرشاخص‌های روش نصب خطوط لوله در دریا مشخص شده است که در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۳. شاخص‌ها و زیرشاخص‌های انتخاب روش نصب خط لوله

| کد | زیرشاخص | کد | شاخص اصلی |
|-----------------|----------------------------------|----------------|------------|
| C ₁₁ | قابلیت اجرای عملیات | C ₁ | فنی - کیفی |
| C ₁₂ | قابلیت دسترسی به منظور تعمیرات | | |
| C ₁₃ | قابلیت توسعه | | |
| C ₁₄ | طول عمر محصول | | |
| C ₂₁ | زمان برنامه‌ریزی-طراحی مهندسی | C ₂ | زمان |
| C ₂₂ | زمان اجرای عملیات | | |
| C ₂₃ | زمان کل پروژه | | |
| C ₃₁ | هزینه عملیات اجرایی | C ₃ | هزینه |
| C ₃₂ | هزینه اجرای کل پروژه | | |
| C ₃₃ | هزینه انجام‌دادن نادرست عملیات | | |
| C ₄₁ | ریسک عملیات اجرایی | C ₄ | ریسک |
| C ₄₂ | ریسک تأیید کارفرما در انتخاب روش | | |
| C ₄₃ | ریسک ایجاد آثار مخرب زیست‌محیطی | | |

لین و همکاران [۱۹] برای حل مسئله چندهدفه فازی و برای یکسان کردن نسبت تابع عضویت و وزن اهداف، مدل حداقل-حداکثر موزون را به صورت رابطه ۱۱ ارائه کرده‌اند:

$$\begin{aligned} & \text{Max } \lambda \\ & \text{St:} \\ & w_s \cdot \lambda \leq \mu_s(x) \quad s = 1, \dots, q \\ & g_i(x) = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq b_i \quad i = 1, \dots, m \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} & \lambda \in [0,1] \\ & x_j \in [0,1] \quad j = 1, \dots, n \end{aligned}$$

که در آن توابع درجه عضویت به صورت رابطه ۱۲ مشخص می‌شوند:

$$\mu_k(x) = \begin{cases} 1/w_k & Z_k \leq Z_k^- \\ \frac{Z_k^+ - Z_k(x)}{Z_k^+ - Z_k^-} & Z_k^- \leq Z_k \leq Z_k^+ \\ 0 & Z_k^+ \leq Z_k \end{cases} \quad k = 1, \dots, p \quad (12)$$

$$\mu_l(x) = \begin{cases} 1/w_l & Z_l^+ \leq Z_l \\ \frac{Z_l(x) - Z_l^-}{Z_l^+ - Z_l^-} & Z_l^+ \leq Z_l \leq Z_l^- \\ 0 & Z_l^- \leq Z_l \end{cases} \quad l = p + 1, \dots, q$$

در رابطه ۱۲، w_s درجه اهمیت تابع هدف s ام، $\mu_k(x)$ و $\mu_l(x)$ به ترتیب توابع درجه عضویت برای اهداف کمینه‌سازی و بیشینه‌سازی و Z_s^+ و Z_s^- نیز به ترتیب مقادیر کمینه و بیشینه تابع هدف s ام به تنهایی را نشان می‌دهند.

الف) تعیین درجه تأثیر شاخص‌ها بر هم با استفاده از روش DEMATEL فازی

در این مرحله، ابتدا با استفاده از DEMATEL فازی روابط بین شاخص‌ها شناسایی می‌شوند. به این منظور، گام‌های زیر در نظر گرفته شده است:

گام ۱. تهیه ماتریس روابط مستقیم فازی

در گام اول، برای تهیه ماتریس روابط مستقیم فازی باید درجه تأثیر شاخص‌ها بر همدیگر به صورت زوجی مشخص شوند. در این راستا، از یک پرسشنامه استفاده شده است که لیونگ و کاو [۲۰] طراحی کرده‌اند. در این پرسشنامه، برای یکسان کردن شناخت و درک پاسخ‌دهندگان ابتدا شرح تک تک شاخص‌ها آورده شده و سپس از پاسخ‌دهندگان خواسته شده است تا به مقایسه زوجی شاخص‌ها بپردازند. برای نمونه جدول ۴ ماتریس روابط مستقیم فازی بین شاخص‌های اصلی را براساس نظر یک فرد خبره نشان می‌دهد. در انجام مقایسات زوجی از مقیاس ۵ مقداری نشان داده شده در جدول ۱ استفاده شده است.

جدول ۴. ماتریس روابط مستقیم فازی

| | C_4 | C_3 | C_2 | C_1 | |
|-------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------|
| C_1 | (۰/۲۵، ۰/۱۵، ۰/۷۵) | (۰/۱۵، ۰/۷۵، ۱) | (۰، ۰/۲۵، ۰/۱۵) | (۰، ۰، ۰/۲۵) | C_1 |
| C_2 | (۰، ۰/۲۵، ۰/۱۵) | (۰/۲۵، ۰/۱۵، ۰/۷۵) | (۰، ۰، ۰/۲۵) | (۰، ۰/۲۵، ۰/۱۵) | C_2 |
| C_3 | (۰/۲۵، ۰/۱۵، ۰/۷۵) | (۰، ۰، ۰/۲۵) | (۰/۲۵، ۰/۱۵، ۰/۷۵) | (۰/۱۵، ۰/۷۵، ۱) | C_3 |
| C_4 | (۰، ۰، ۰/۲۵) | (۰/۲۵، ۰/۱۵، ۰/۷۵) | (۰، ۰/۲۵، ۰/۱۵) | (۰/۲۵، ۰/۱۵، ۰/۷۵) | C_4 |

گام ۳. تشکیل ماتریس روابط مستقیم نرمال شده

در گام سوم، ماتریس‌های روابط مستقیم نرمال شده شاخص‌ها تشکیل می‌شوند که نتیجه در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. ماتریس روابط مستقیم نرمال شده

| | C_4 | C_3 | C_2 | C_1 | |
|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| C_1 | ۰/۲۶ | ۰/۳۸۱۳ | ۰/۱۷۹۱ | ۰/۰۱۷۳ | C_1 |
| C_2 | ۰/۱۳۸۷ | ۰/۳۴۰۹ | ۰/۰۱۷۳ | ۰/۱۷۹۱ | C_2 |
| C_3 | ۰/۲۶ | ۰/۰۱۷۳ | ۰/۳۴۰۹ | ۰/۳۸۱۳ | C_3 |
| C_4 | ۰/۰۱۷۳ | ۰/۲۶ | ۰/۱۳۸۷ | ۰/۲۶ | C_4 |

مرحله سوم: تعیین روش‌های مختلف نصب

در این مرحله، تمامی روش‌های قابل استفاده برای نصب خطوط لوله در پروژه مشخص می‌شوند. در پروژه‌های نصب خط لوله، سه مرحله مهم سنگین کردن خط لوله به منظور غرق کردن، آب‌اندازی و مترژ نصب وجود دارد و برای هر کدام از مراحل یادشده نیز دو روش اجرایی قابل استفاده است؛ بنابراین، در حالت کلی هشت روش مختلف برای نصب خطوط لوله در دریا وجود دارد که به عنوان گزینه‌های مطرح در پروژه در نظر گرفته شده‌اند.

مرحله چهارم: تعیین اوزان شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها با استفاده از روش ANP-DEMATEL

زیرشاخص‌ها با استفاده از روش ANP-DEMATEL

برای تعیین اوزان شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها در روش ANP-DEMATEL فازی سه مرحله زیر تعریف می‌شود:

گام ۲. تعیین ماتریس روابط مستقیم قطعی

در این گام، مقادیر فازی به قطعی تبدیل و ماتریس روابط مستقیم قطعی شاخص‌ها مطابق جدول ۵ تشکیل می‌شود.

جدول ۵. ماتریس روابط مستقیم قطعی

| | C_4 | C_3 | C_2 | C_1 | |
|-------|--------|--------|--------|--------|-------|
| C_1 | ۰/۱۵ | ۰/۷۳۳۳ | ۰/۳۴۴۵ | ۰/۰۳۳۳ | C_1 |
| C_2 | ۰/۲۶۶۷ | ۰/۶۵۵۵ | ۰/۰۳۳۳ | ۰/۳۴۴۵ | C_2 |
| C_3 | ۰/۱۵ | ۰/۰۳۳۳ | ۰/۶۵۵۵ | ۰/۷۳۳۳ | C_3 |
| C_4 | ۰/۰۳۳۳ | ۰/۱۵ | ۰/۲۶۶۷ | ۰/۱۵ | C_4 |

جدول ۹. ماتریس مقایسه زوجی و وزن نسبی شاخص‌ها

| | C ₄ | C ₃ | C ₂ | C ₁ | وزن |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------|
| C ₁ | ۰/۵۷۰ | ۴/۹۸۳ | ۳/۵۶۸۵ | ۷/۵۲۰۵ | ۱ |
| C ₂ | ۰/۰۴۷ | ۰/۳۳۵ | ۰/۱۶۰۱ | ۱ | ۰/۱۳۱۵ |
| C ₃ | ۰/۲۸۷ | ۴/۹۸۳ | ۱ | ۶/۲۱۲۱ | ۰/۲۸۱۹ |
| C ₄ | ۰/۰۹۶ | ۱ | ۰/۲۰۰۵ | ۳/۰۲۶ | ۰/۲۰۰۵ |

ماتریس مقایسه زوجی و وزن نسبی زیرشاخص‌های مربوط به شاخص فنی-کیفی نیز در جدول ۱۰ قابل مشاهده است.

جدول ۱۰. ماتریس مقایسه زوجی و وزن نسبی زیرشاخص‌ها در شاخص فنی-کیفی

| | C ₁₄ | C ₁₃ | C ₁₂ | C ₁₁ | وزن نسبی |
|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|
| C ₁₁ | ۰/۶۰۸ | ۴/۲۰۹۵ | ۶/۹۳۳۰ | ۵/۵۵۷۰ | ۱ |
| C ₁₂ | ۰/۱۰۸ | ۰/۳۳۵۴ | ۳/۰۲۴۲ | ۱ | ۰/۱۷۹۱ |
| C ₁₃ | ۰/۰۵۳ | ۰/۲۰۰۵ | ۰/۳۳۵۴ | ۰/۱۴۳۱ | ۰/۱۴۳۱ |
| C ₁₄ | ۰/۲۳۱ | ۱ | ۴/۹۷۸۶ | ۳/۰۲۴۲ | ۰/۲۳۷۵ |

این محاسبات برای تمام زیرشاخص‌ها تکرار شده است.

ج) تعیین اوزان نهایی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها

پس از محاسبه ماتریس رابطه کلی شاخص‌ها با استفاده از روش DEMATEL فازی و تعیین اوزان نسبی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها با استفاده از روش ANP فازی، این نتایج در قالب یک ابرماتریس ترکیب می‌شود و پس از همگرایی ماتریس، وزن نهایی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها تعیین می‌شود. وزن نهایی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها در جدول ۱۱ نشان داده شده است.

مرحله پنجم: انتخاب بهترین روش نصب با

استفاده از برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی

در این مرحله، برای تشکیل مدل برنامه‌ریزی ریاضی چندهدفه فازی، اطلاعات مورد نیاز و همچنین محدودیت‌های موجود روی روش‌های نصب با استفاده از نظرهای خبرگان مشخص می‌شود که این اطلاعات در جدول ۱۲ قابل مشاهده است.

گام ۴. تشکیل ماتریس رابطه کلی و نرمال‌سازی آن

در گام چهارم، با استفاده از رابطه ۵ ماتریس رابطه کلی تشکیل و این ماتریس نرمال‌سازی می‌شود. ماتریس رابطه کلی نرمال‌شده شاخص‌ها در جدول ۷ آمده است.

جدول ۷. ماتریس نرمال‌شده رابطه کلی

| | C ₄ | C ₃ | C ₂ | C ₁ | |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| C ₁ | ۰/۳۸۰۹ | ۰/۴۱۶۹ | ۰/۲۴۴۳ | ۰/۰۳۳۹ | C ₁ |
| C ₂ | ۰/۱۶۱۴ | ۰/۳۲۰۵ | ۰/۰۴۰۳ | ۰/۱۷۶۰ | C ₂ |
| C ₃ | ۰/۴۱۶۵ | ۰/۰۳۰۵ | ۰/۵۵۸۷ | ۰/۵۲۳۶ | C ₃ |
| C ₄ | ۰/۰۴۱۱ | ۰/۲۳۲۰ | ۰/۱۵۶۷ | ۰/۲۶۶۵ | C ₄ |

ب) تعیین وزن نسبی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها با استفاده از روش ANP فازی

در این مرحله، وزن نسبی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها با استفاده از روش ANP فازی تعیین می‌شود. به این منظور، باید ابتدا سازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی مورد استفاده (در حالت قطعی) بررسی شود. در جدول ۸، نرخ ناسازگاری ماتریس‌های مقایسه زوجی شاخص‌ها (نسبت به هدف) و زیرشاخص‌ها (نسبت به هر شاخص) نشان داده شده است.

جدول ۸. نرخ ناسازگاری ماتریس مقایسه زوجی شاخص‌ها

| هدف | فنی-کیفی | زمان | هزینه | ریسک |
|---------------|----------|-------|-------|--------|
| نرخ ناسازگاری | ۰/۰۷ | ۰/۰۴۸ | ۰/۰۶۳ | ۰/۰۹۹۶ |
| | ۰/۰۱۰۴ | | | |

با توجه به اینکه نرخ ناسازگاری همه ماتریس‌های مقایسه زوجی کوچک‌تر از ۰/۱ است، قضاوت خبرگان سازگار است و قابلیت تعیین اوزان با استفاده از آن‌ها وجود دارد. ماتریس مقایسه زوجی شاخص‌ها (نسبت به هدف) و وزن نسبی آن‌ها در جدول ۹ آمده است.

جدول ۱۱. وزن نهایی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها

| شاخص | وزن | زیر شاخص | وزن |
|------------|------|------------------------------------|------|
| فنی - کیفی | ۰/۰۱ | قابلیت دسترسی به منظور تعمیرات | ۰/۰۷ |
| | ۰/۰۱ | قابلیت توسعه | ۰/۰۸ |
| | ۰/۰۱ | طول عمر محصول | ۰/۰۱ |
| | ۰/۰۲ | برنامه‌ریزی - طراحی مهندسی | ۰/۰۲ |
| زمان | ۰/۰۱ | زمان اجرای عملیات | ۰/۰۲ |
| | ۰/۰۴ | زمان کل پروژه | ۰/۰۴ |
| هزینه | ۰/۰۲ | هزینه اجرای کل پروژه | ۰/۰۵ |
| | ۰/۰۲ | هزینه نادرست انجام‌دادن عملیات | ۰/۰۴ |
| | ۰/۰۲ | هزینه عملیات اجرایی | ۰/۰۵ |
| ریسک | ۰/۰۱ | ریسک تأیید کارفرما در انتخاب روش | ۰/۰۲ |
| | ۰/۰۱ | ریسک ایجاد تأثیرات مخرب زیست‌محیطی | ۰/۰۳ |
| | ۰/۰۱ | ریسک عملیات اجرایی | ۰/۰۳ |

جدول ۱۲. اطلاعات مورد نیاز روش‌های نصب خطوط لوله

| شماره | انواع حالت‌های نصب خط لوله | | | نیروی انسانی | ریسک | هزینه | زمان | فنی - کیفی |
|---------------------------------|----------------------------|---------------|------------|--------------|------|---------|------|------------|
| | روش سنگین کردن لوله | روش آب‌اندازی | متر از نصب | | | | | |
| ۱ | استفاده از وزنه‌های بتنی | حوضچه خشک | ۳۰۰ متری | ۲۳۱۶۰ | ۴۶ | ۲۱۰۵۰۰۰ | ۳۸۶ | ۸۷ |
| ۲ | استفاده از وزنه‌های بتنی | حوضچه خشک | ۹۰۰ متری | ۱۲۴۸۰ | ۷۴ | ۱۰۶۵۰۰۰ | ۲۰۸ | ۸۳ |
| ۳ | استفاده از وزنه‌های بتنی | ریل گذاری | ۳۰۰ متری | ۹۶۶۰ | ۷۲ | ۱۷۴۰۰۰۰ | ۱۶۱ | ۷۳ |
| ۴ | استفاده از وزنه‌های بتنی | ریل گذاری | ۹۰۰ متری | ۷۹۸۰ | ۱۰۰ | ۹۰۰۰۰۰۰ | ۱۳۳ | ۷۰ |
| ۵ | توزیع بتن در لوله | حوضچه خشک | ۳۰۰ متری | ۲۹۱۶۰ | ۴۴ | ۲۰۹۲۰۰۰ | ۴۸۶ | ۱۰۰ |
| ۶ | توزیع بتن در لوله | حوضچه خشک | ۹۰۰ متری | ۱۸۴۸۰ | ۷۱ | ۱۰۵۲۰۰۰ | ۳۰۸ | ۹۶ |
| ۷ | توزیع بتن در لوله | ریل گذاری | ۳۰۰ متری | ۱۵۶۶۰ | ۷۰ | ۱۷۲۷۰۰۰ | ۲۶۱ | ۸۶ |
| ۸ | توزیع بتن در لوله | ریل گذاری | ۹۰۰ متری | ۱۳۹۸۰ | ۹۷ | ۸۸۷۰۰۰ | ۲۳۳ | ۸۲ |
| محدودیت (حداکثر مقدار در دسترس) | | | | | | | | |
| | | | | ۲۷۰۰۰ | - | ۲۱۱۰۰۰۰ | ۴۵۰ | - |

$$\sum_{j=1}^n t_j \cdot x_j \leq T$$

$$\sum_{j=1}^n h_j \cdot x_j \leq H$$

$$\sum_{j=1}^n x_j = 1$$

$$\lambda \in [0,1]$$

$$x_j \in [0,1] \quad j = 1, \dots, n$$

در رابطه ۱۳، مقادیر T ، H و B به ترتیب مقدار بودجه،

با استفاده از این اطلاعات و اوزان نهایی به دست آمده از ابرماتریس همگرا و به کاربرد روابط ۱۱ و ۱۲ مسئله انتخاب بهترین روش نصب خط لوله به صورت نشان داده شده در رابطه ۱۳ فرموله می‌شود:

$$\text{Max } \lambda$$

$$\text{St:}$$

$$w_s \cdot \lambda \leq \mu_s(x) \quad s = 1, \dots, q$$

$$\sum_{j=1}^n b_j \cdot x_j \leq B$$

(۱۳)

نتیجه‌گیری

انتخاب بهترین روش نصب خط لوله در دریا یکی از تصمیمات مهم شرکت‌ها برای انتقال فرآورده‌های نفتی است. چنین انتخابی نیازمند به‌کارگیری دقت بالا در تصمیم‌گیری با استفاده از روش‌ها و ابزارهای خاص برای تحلیل عوامل مختلف است. در پژوهش حاضر، برای حل این مسئله یک روش ترکیبی جدید بر مبنای ANP-DEMATEL فازی و برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی پیشنهاد شده است. در روش پیشنهادی ابتدا شاخص‌ها و زیرشاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی روش‌های نصب خطوط لوله مشخص می‌شود. سپس با استفاده از روش DEMATEL فازی درجه ارتباط شاخص‌ها و به کمک روش ANP فازی وزن نسبی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها تعیین و با ترکیب این دو، وزن نهایی شاخص‌ها و زیرشاخص‌ها مشخص می‌شود. در نهایت، با توجه به این اوزان و کاربرد یک مدل برنامه‌ریزی خطی چندهدفه فازی، بهترین روش نصب خطوط لوله با توجه به محدودیت‌های عملکردی و سیستمی انتخاب می‌شود. به منظور نشان دادن کارایی و قابلیت اجرای رویکرد پیشنهادی، یک مسئله واقعی با استفاده از این رویکرد حل و نتایج آن تجزیه و تحلیل شده است. نتایج نشان می‌دهد استفاده از رویکرد پیشنهادی یک ساختار یکپارچه برای تصمیم‌گیری در انتخاب روش نصب خطوط لوله دریایی در اختیار مدیران می‌گذارد که تا حد زیادی فرایند تصمیم‌گیری را دقیق و قابل ارزیابی می‌کند.

زمان در دسترس برای نصب خطوط و تعداد نیروی انسانی موجود را نشان می‌دهد و Z_1 تا Z_4 نیز به ترتیب توابع هدف مربوط به شاخص‌های فنی-کیفی، زمان، هزینه و ریسک می‌باشند. همچنین، w_s اوزان نهایی به دست آمده از ابرماتریس همگرا بوده و x_j نیز یک متغیر ۰-۱ است که اگر مقدار آن یک شود باید گزینه Z_j را به عنوان بهترین گزینه انتخاب شود.

پس از حل مدل با استفاده از نرم‌افزار LINGO، جواب بهینه و مقادیر توابع هدف به صورت زیر مشخص شده است:

$$x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = x_5 = x_6 = x_8 = 0$$

$$x_7 = 1$$

$$Z_1 = 86Z_2 = 261Z_3 = 1727000Z_4 = 70$$

$$\mu_1(x) = 0.62\mu_2(x) = 0.49\mu_3(x) = 0.31\mu_4(x) = 0.56$$

همان‌طور که مشاهده می‌شود، بهترین روش نصب در این پژوهش روش ۷ یعنی تزریق بتن در لوله، ریل گذاری و متراژ نصب ۹۰۰ متر می‌باشد.

مرحله ششم: تأیید صحت نتایج توسط خبرگان

در مرحله ششم، نتایج برای خبرگان مسئله ارائه می‌شود. از آنجاکه نتیجه با استفاده از روشی یکپارچه و با در نظر گرفتن تمامی عوامل، شرایط و محدودیت‌های واقعی پروژه مشخص شده است، صحت نتایج از نظر خبرگان تأیید شده و روش ۷ به عنوان بهترین روش اجرایی پروژه انتخاب شده است.

مراجع

- Halman, J. and Braks, B. (1998). "Project alliancing in the offshore industry", International Journal of Project Management, Vol. 92, No. 1, PP. 14-32.
- Dey, P. K. (2002). "An integrated assessment model for cross-country pipelines", Environmental Impact Assessment Review, Vol. 22, No. 6, PP. 703-721.
- Chen, S. and Fu, G. (2002). "A fuzzy approach to the prototype optimization of offshore platforms", Ocean Engineering, Vol. 88, No. 2, PP. 877-891.
- Khan, F. I., Sadiq, R. and Husain, T. (2002). "Risk-based process safety assessment and control measures design for offshore process facilities", Journal of Hazardous Materials, Vol. 94, No. 1, PP. 1-36.
- Dey, P. K. (2006). "Integrated project evaluation and selection using multiple-attribute decision-making technique", International Journal of Production Economics, Vol. 103, No. 1, PP. 90-103.

6. Kaiser, M. J. (2009). "Modeling the time and cost to drill an offshore well", *Renewable Energy*, Vol. 34, No. 9, PP. 1097-1112.
 7. Tavana, M., Behzadian, M. and Pirdashti, M. (2012). "A PROMETHEE-GDSS for oil and gas pipeline planning in the Caspian Sea basin", *Energy Economics*, Vol. 22, No. 4, PP. 128-137.
 8. Tavana, M., Pirdashti, M., Kennedy, Dennis.T, Belaud, J-P. and Behzadian, M. (2012). "A hybrid Delphi-SWOT paradigm for oil and gas pipeline strategic planning in Caspian Sea basin", *Energy Policy*, No. 40, PP. 345-360.
 9. Kaiser, M. J. and Snyder, B. F. (2013). "Modeling offshore wind installation costs on the US Outer Continental Shelf", *Renewable Energy*, Vol. 50, No. 2, PP. 676-691.
 10. Madeley, Ch. (2013). "Optimization of Subsea Tie-In spools using evolutionary algorithms." ASME 2013, 32nd International Conference on Ocean, Offshore and Arctic Engineering, Vol. 4B: Pipeline and Riser Technology.
 11. Gabus A. and Fontela, E. (1972). *World problems: An invitation to further thought within the framework of DEMATEL*, Report No.1. Switzerland.
 12. Tzeng, G., Chiang, C. and Li, C. (2007). "Evaluating intertwined effects in e-learning programs: A novel hybrid MCDM model based on factor analysis and DEMATEL", *Expert Systems with Applications*, No. 32, PP. 1028-1044.
 13. Wu, W. (2008). "Choosing knowledge management strategies by using a combined ANP and DEMATEL approach", *Expert Systems with Applications*, No. 35, PP. 828-835.
 14. Lin C. and Wu, W. (2008). "A causal analytical method for group decision-making under fuzzy environment", *Expert Systems with Applications*, No. 34, PP. 205-213.
 15. Saaty, T. (1996). *Decision making with dependence and feedback: The analytic network process: the organization and prioritization of complexity*, RWS Publications, Pittsburgh PA.
 16. Saaty, L. (1980). *The analytical hierarchy process*, McGraw-Hill, New York.
 17. Yang, L., Chiu, N. and Tzeng, G. (2008). "Vendor selection by integrated fuzzy MCDM techniques with independence and interdependence", *Information Sciences*, Vol. 178, No. 21, PP. 4166-4183.
 18. Weber, C. A. and Current, J. R. (1993). "A multi-objective approach to vendor selection", *European Journal of Operations Research*, No. 68, PP. 173-184.
 19. Lin, Ch., Wu, T-F. and Weng, R. (2004). "Probability Estimates for Multi-class Classification by Pairwise Coupling", *Journal of Machine Learning Research*, No. 5, PP. 975-1005.
 20. Leung, L. C. and Cao, D. (2000). "On consistency and ranking of alternatives in fuzzy AHP", *European Journal of Operational Research*, No. 124, PP. 102-113.
 21. Opricovic, S. and Tzeng, G. (2003). "Defuzzification within a multi criteria decision model", *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, No. 11, PP. 635-652
-