نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

دوره ششم، شماره ٤، زمستان ١٤٠٠، صفحه ٤٣ تا ٥٤
Vol. 6, No. 4, Winter 2021, pp. 43-54

DOI: 10.30479/JMRE.2019.9722.1202

یادداشت فنی

انتخاب بهینه مته حفاری در سازندهای سروک و آسماری با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره

آرش ابراهیم آبادی[1*]، سیاوش مرادی[2]

۱- دانشیار، گروه مهندسی نفت، معدن و مواد و متالورژی، واحد تهران مرکزی، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران
۲- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نفت، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران

(دریافت ۱۳۹۷/۰۹/۱۳، پذیرش ۱۳۹۸/۰۳/۰۵)

چکیده

تصمیم‌گیری صحیح در انتخاب مته‌های حفاری ممکن است به افزایش سرعت و راندمان حفاری منجر شود و در میزان هزینه‌ها کاهش قابل توجهی را به دنبال داشته باشد. عوامل مختلفی در انتخاب بهینه مته نقش دارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به معیارهایی مانند انرژی ویژه، قابلیت حفاری، هزینه به ازای هر فوت و آهنگ نفوذ اشاره کرد. یکی از بهترین روش‌ها برای دستیابی به این هدف، بهره‌گیری از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) است که در این تحقیق از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS) به دلیل دقت بالا و صحت نتایج حاصل برای انتخاب مته در سازندهای سروک و آسماری در یکی از میادین نفتی ایران (میدان نفتی مارون) استفاده شده است. در این راستا سه مدل مته ۵۱۷، ۵۲۷ و ۵۳۷ که در سازندهای آسماری و سروک استفاده می‌شوند، بررسی و با استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS) اولویت‌بندی و انتخاب شده‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی، شاخص شباهت امتیازها برای مته‌های سازند آسماری با کدهای ۵۱۷، ۵۲۷ و ۵۳۷ به ترتیب ۰٫۴۷۹، ۰٫۴۳۸ و ۰٫۳۸۲ است، بنابراین مته ۵۱۷ با بیشترین امتیاز به عنوان مته بهینه انتخاب می‌شود. همچنین در مورد سازند سروک نیز با روش فازی تاپسیس شاخص شباهت برای مته‌های کد ۵۱۷، ۵۲۷ و ۵۳۷ به ترتیب ۰٫۵۴۰۵، ۰٫۵۰۱۹ و ۰٫۵۶۲۲ محاسبه شد، بنابراین مته ۵۳۷ گزینه مناسب‌تری نسبت به دو گزینه دیگر در نظر گرفته می‌شود.

کلمات کلیدی

انتخاب مته، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، FTOPSIS، سازند آسماری، سازند سروک.

*نویسنده مسئول و عهده دار مکاتبات Email: a.ebrahimabadi@iauctb.ac.ir

۱- مقدمه

استفاده از نفت و مشتقات نفتی در زندگی بشر امروزی امری اجتناب‌ناپذیر است. امروزه استفاده از نفت در صنایع پایین‌دستی، نیازمند شناخت روش‌ها و عملیات، به حداقل رساندن هزینه و به حداکثر رساندن بازدهی در صنایع بالادستی است. در کلیه صنایع بالادستی که شامل اکتشاف، حفاری و استخراج نفت است، شناخت و شناسایی روش‌هایی که به بهینه کردن هزینه‌های عملیاتی و زمان عملیات منجر شود و در عین حال بتواند بیشترین بهره‌برداری را داشته باشد برای مهندسین نفت اهمیت بسیاری دارد. یکی از بخش‌های مهم در مدیریت هزینه‌های حفاری و استخراج، مته‌های حفاری است. در صورت انتخاب اشتباه مته حفاری پیمایش چاه بیشتر می‌شود و چون زمان تعویض مته‌های حفاری بسیار بالاست ممکن است به ایجاد مشکلات و هزینه‌های عملیاتی و گاه خطرات انسانی منجر شود، بنابراین انتخاب بهینه مته اهمیت بی‌شماری دارد. در عملیات حفاری چاه‌های نفت و گاز و برای به کارگیری مته‌های حفاری باید به عواملی مانند نوع سازند، طراحی هیدرولیک مته، سیال حفاری، اعمال صحیح پارامترهای مکانیکی مانند وزن مته، چرخش و موارد دیگر توجه کرد. علاوه بر این، دانش و مهارت و تجربه مهندس ناظر نیز در به کارگیری فاکتورهای یاد شده اهمیت بسیاری دارد. اولین چاه نفت در سال ۱۸۵۹ حفاری شد. بعد از آن برای سرعت بخشیدن به کار در سال ۱۹۳۰ تکنولوژی حفاری دورانی جانشین حفاری ضربه‌ای شد که در مقایسه با روش حفاری ضربه‌ای تا اعماق بیشتری نفوذ می‌کرد. بعدها در سال ۱۹۰۲ اولین مته‌های کاجی روانه بازار شد که تا سال ۱۹۱۷ از آنها استفاده شد [۱].

به طور مشخص مته‌ها به دو دسته مته‌های حفاری و مغزه‌گیری تقسیم می‌شوند که در هر دسته از انواع مختلف ابزارهای برنده و طرح‌های مختلف یاتاقان، بدنه، دندانه و نظایر آنها استفاده می‌شود [۲].

در سال ۱۹۰۱ اولین مته‌های الماسی ساخته شد که به صورت دو یا سه تیغه بود و در عمق کم استفاده می‌شد [۳]. مته‌ها در حد فاصل سال‌های ۱۹۴۰ تا ۱۹۹۰ توسط مهندسین طوری طراحی شدند که بتوانند سریع‌تر حفاری کنند و در نتیجه بر روی پارامترهایی مانند هیدرولیک مته، سیال حفاری، وزن روی مته و چرخش آن مطالعه انجام شد. نتایج تجربی نشان داد که هنگام حفاری با افزایش سرعت گل راندمان مته بیشتر می‌شود و با کوچک کردن سوراخ‌های عبور سیال از مته، فشار و سرعت افزایش پیدا می‌کند. با گذشت زمان، مساله دوام‌پذیری مته و استفاده از مته‌های تنگستن کاربید باعث افزایش عمر مته شد و حداکثر استفاده به عمل آمد. در نهایت هدف از ساختن مته‌ها این است که در ساعات کمتر بیشترین متراژ حفاری را داشته باشند و این روند همچنان ادامه دارد [۴].

یکی از چالش‌های اصلی در حفاری، بهینه کردن عملکرد مته است. هرچند هزینه مته تنها بخش کوچکی از هزینه‌های چاه را در برمی‌گیرد اما عملکرد مته ممکن است بر روی تمام عملکرد چاه تاثیرگذار باشد. روش‌های مختلفی برای بهینه کردن عملکرد مته وجود دارد. کلاسیک‌ترین روش موجود انتخاب مته بر اساس داده‌های موجود مرتبط به هزینه به ازای هر فوت (CPF)، انرژی مخصوص (SE)، کندی مته، ثبت انحراف مته چاه و اطلاعات زمین‌شناسی است [۵]. یکی از کاربردی‌ترین معیارهای مقایسه عملکرد مته‌های مختلف، هزینه به ازای هر فوت است (CPF) که تابعی از هزینه مته، ناحیه‌ای که مته فرستاده می‌شود، شرایطی که هزینه‌های عملیاتی اختصاص داده می‌شود، شرایط محیط زیستی و پارامترهای حفاری است که طبق رابطه ۱ تعریف می‌شود [۶]:

$$CPF = \frac{B + R(T + t)}{F} \qquad (۱)$$

که در آن:

B : هزینه مته (دلار)

R : هزینه دکل حفاری (ساعت)

T : مدت زمان داخل و خارج کردن مته (ساعت)

t : زمان چرخش (ساعت)

F : طول بخشی است که حفاری شده است.

انرژی مخصوص (SE) ارتباطی بین عملکرد مته و انرژی مورد نیاز مته برقرار می‌کند و انرژی مورد نیاز برای حفاری حجم واحدی از سنگ و طبق رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$SE = \frac{WOB \times RPM}{D \times \mathrm{ROP}} \qquad (۲)$$

که در آن:

WOB : وزن وارد بر مته (پوند)

RPM : دوران رشته حفاری (دقیقه)

D : قطر مته (فوت)

ROP : آهنگ نفوذ (فوت بر ساعت) است.

سه پارامتری که ربیعا برای جهت محاسبه انرژی مخصوص استفاده کرد عبارتند از وزن روی مته، سرعت دوران و گشتاور مته [۷]. یک مدل حفاری شامل معادلاتی برای آهنگ نفوذ و فرسایش مته می‌شود که فصل مشترک آن پارامترهای RPM و WOB جهت ارزیابی و پیش‌بینی مته است [۸]. شاخص مته با استفاده از چهار پارامتر بدون بعد رفتار، عملکرد و میزان هدایت‌پذیری مته و میزان پاسخ‌گویی به شرایط انحرافی توسط پیرین تعریف شد. همچنین او در جای دیگر شاخص‌های انتخاب مته در چاه‌های جهت‌دار را نیز تعریف کرد که در این مدل‌ها از پارامترهای سازند صرفنظر شده است [۹]. یکی از جدیدترین مدل‌های انتخاب مته استفاده از شبکه عصبی مصنوعی است. بیلگو در سال 2000 از شبکه‌های عصبی برای انتخاب مته استفاده کرد که در این مدل از پارامترهای حفاری استفاده و از پارامترهای سازند که نقش مهمی در انتخاب مته ایفا می‌کنند صرفنظر شد [۱۰]. بعدها ویلموت، مدل پیرین را با در نظر گرفتن اثر پارامترهای سازند توسعه داد [۱۱]. یلماز با استفاده از متوسط استحکام (مقاومت) فشاری سازند، این مدل را توسعه داد اما فقط بر روی انتخاب مته کار کرد و بر روی ارزیابی مقادیر بهینه پارامترهای حفاری که در انتخاب مته بسیار موثر است کاری انجام نشد [۱۲].

قبل از انجام هر انتخابی باید پیامدها و نتایج آن پیش‌بینی و در نهایت یک یا چند روش تصمیم‌گیری انتخاب و بر اساس آن تصمیم‌گیری شود. یکی از روش‌های تصمیم‌گیری استفاده از روش تصمیم‌گیری چند معیاره است که امکان ارزیابی پارامترهای موثر و گزینه‌ها را فراهم می‌کند. این روش بازتاب بیشتری از نظرات محققین و متخصصین در ارزیابی، بررسی و درجه‌بندی گزینه‌ها در صنایع مختلف و به ویژه پارامترهای کیفی و متکی به دانش کارشناس دارد. در نتیجه تنوع مختلفی از روش‌های MCDM بسته به مشکلات موجود در تصمیم‌گیری‌ها معرفی شده است [۱۳،۱۴]. روش تصمیم‌گیری چند معیاره (MCDM) در واقع مجموعه‌ای از روش‌هاست که طیفی از معیارها و استانداردهای یک مبحث را وزن‌دهی و امتیازبندی و به شخص در استفاده از اهداف متضاد و چندگانه‌ای مانند کمینه کردن هزینه‌ها و بیشینه کردن بازدهی و بهره‌برداری کمک می‌کند. این اهداف چندگانه به ویژه در صنایع نفت و گاز جایگاه ویژه‌ای دارد. معیارها، استانداردها و قوانینی‌اند که برای قضاوت استفاده شده و میزان اثربخشی را در تصمیم‌گیری بیان می‌کنند. معیار در تصمیم‌گیری ممکن است به دو صورت شاخص و یا هدف ارایه شود که به دو دسته چندشاخصه (MADM) و چندهدفه (MODM) تقسیم می‌شود. در حالت چندشاخصه مسایلی مطرح است که تصمیم‌گیرنده قصد دارد از بین چند گزینه یکی را انتخاب کند ولی در حالت چندهدفه با توجه به اهداف چندگانه میزان هر فعالیت را مشخص می‌کنند [۱۵]. در این سال‌ها در صنعت نفت مقالاتی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به بررسی موضوعاتی مختلف از شناختن پارامترها و روش‌های مختلف برای انتخاب مناطق نفتی توسعه‌ای [۱۶]، یک تخمین ریاضی برای انتخاب سیستم‌های فرازآوری مصنوعی [۱۷]، انتخاب چاهی برای عملیات شکافت هیدرولیکی [۱۸]، آنالیز خطر سیستم BOP در زیر دریا [۱۹]، انتخاب بهترین روش تکمیل برای چاه‌های گازی و مواردی از این دست پرداخته شده است [۲۰]. دو نمونه از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی و تسلط تقریبی است. منطق فازی به جای دو ارزشی بودن، طیفی از ارزش‌ها را در یک بازه بسته بین صفر و یک بررسی می‌کند. با این طیف می‌توان عدم قطعیت را به خوبی نشان داد [۲۱]. روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS) تکیه بر آن دارد که هرچه یک گزینه به گزینه ایده‌آل نزدیک و فاصله بیشتری از گزینه غیر ایده‌آل داشته باشد رتبه بیشتری دارد و گزینه بهتری است [۲۲].

در ادامه این مقاله ابتدا روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره معرفی شده و از آنجا که تاکنون از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS) در انتخاب مته استفاده نشده است، از آن برای انتخاب بهنیه مته در سازندهای سروک و آسماری در میدان نفتی مارون واقع در جنوب غرب ایران بهره گرفته شده است که در بخش‌های بعدی مراحل کار ارایه می‌شود.

۲- فرآیندهای تصمیم‌گیری

پیچیدگی، هزینه بالای عملیات و وسعت تشکیلات سازمانی، لزوم به کارگیری شیوه‌های تصمیم‌گیری مناسب و انجام تصمیم‌های مستدل را برای مدیران روشن می‌کند. تصمیم‌گیری مانند فردی است که در یک تقاطع باید به یکی از مسیرها وارد شود. مجموعه گزینه‌های تصمیم، فضای تصمیم را به وجود می‌آورد. هربرت سایمون محقق و صاحب نظری است که درباره مفهوم تصمیم‌گیری، مدیریت و تصمیم‌گیری را دو واژه مترادف می‌داند. تصمیم‌گیری جوهر اصلی مدیریت است و در واقع دشوارترین و گاهی خطرناک‌ترین کار هر مدیر تلقی می‌شود.

شش گام اصلی در فرآیند تصمیم‌گیری وجود دارد که شامل شناسایی و تعریف مساله، تعیین معیارهای ارزیابی، تعیین و بسط گزینه‌ها، انتخاب مدل تصمیم‌گیری، بررسی گزینه‌ها و اولویت‌بندی آن‌ها، ارزیابی نتایج حاصل از اجرای تصمیم است که در پایان مرحله ششم اگر نتایج مفید و مثبت بود مساله پایان پذیرفته و اگر موانع و مشکلاتی بود، معیارها و گزینه‌ها مجدد بررسی می‌شوند تا تصمیم بهتری اتخاذ شود. در برخی مسایل معیارها ممکن است با یکدیگر متضاد باشند و افزایش یک عامل موجب کاهش عامل دیگر شود. با در نظر گرفتن تمام این مسایل و معیارهای مختلف، تصمیم‌گیرنده می‌تواند به یک تصمیم نهایی و عقلانی برسد. در این مقاله از یک روش موثر از مجموعه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، استفاده شده است. فرآیند تحلیل سیستم شباهت به گزینه ایده‌آل فازی (FTOPSIS) برای تعیین وزن معیارها و رتبه‌بندی گزینه‌ها از مقادیر دقیق استفاده می‌کند. در بسیاری از موارد تفکرات انسان با عدم قطعیت همراه است و این عدم قطعیت در تصمیم‌گیری تاثیر دارد. در این‌گونه موارد بهتر است از روش‌های تصمیم‌گیری فازی استفاده شود که روش شباهت به گزینه ایده‌آل یکی از این روش‌هاست که در آن ماتریس تصمیم‌گیری و یا وزن معیارها با اعداد فازی، ارزیابی می‌شود. با این روش به مشکلات روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک غلبه شده است.

۲-۱- روش گزینه ایده‌آل فازی

این روش در واقع بر اساس مفهوم انتخاب و رتبه‌بندی گزینه است که هرچه گزینه به ایده‌آل مثبت نزدیک‌تر و از ایده‌آل منفی دور شود بهترین گزینه است. گزینه‌ای که هزینه عملیات را به حداقل و بازدهی را به حداکثر برساند. چن و هوانگ مراحل استفاده از روش شباهت به گزینه ایده‌آل فازی را در یک مساله با در نظر گرفتن n معیار و m گزینه در چند مرحله ارایه کردند. در ادامه مساله به ترتیب مراحل زیر، بررسی می‌شود [۲۴،۲۳]:

الف- تشکیل ماتریس تصمیم که با توجه به تعداد معیارها و گزینه‌ها به دست می‌آید:

$$X=\begin{bmatrix} r11 & \cdots & r1n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ rm1 & \cdots & rmn \end{bmatrix} \quad (۳)$$

در صورتی که از اعداد فازی مثلثی استفاده شود $\widetilde{x_{ij}}=(a_{ij},b_{ij},c_{ij})$ عملکرد گزینه i (i=1,2,…,m) در رابطه با معیار j (j=1,2,…,n) و در صورتی که از اعداد فازی ذوزنقه‌ای استفاده شود $\widetilde{x_{ij}}=(a_{ij},b_{ij},c_{ij},d_{ij})$ عملکرد گزینه (i=1,2,…,m) در رابطه با معیار j (j=1,2,…,n) است.

ب- تعیین ماتریس وزن معیارها که در این مرحله ضریب اهمیت معیارهای مختلف با $W=w_1.w_2.\ldots.w_n$ تعریف می‌شود. عموما وزن معیارها بر روی یک مساله تصمیم‌گیری توسط تصمیم‌گیرنده به صورت فردی یا گروهی از کارشناسان و به واسطه پرسشنامه مشخص می‌شود.

ج- برای بی‌مقیاس کردن به جای محاسبات پیچیده در روش شباهت به گزینه ایده‌آل کلاسیک، از تغییر مقیاس خطی برای تبدیل مقیاس معیارهای مختلف به معیار قابل مقایسه استفاده می‌شود. اگر معیارهای مساله مثبت باشد از رابطه ۴ ماتریس بی‌مقیاس تشکیل می‌شود:

$$\widetilde{r_{ij}}=\left(\frac{a_{ij}}{c_j^*}.\frac{b_{ij}}{c_j^*}.\frac{c_{ij}}{c_j^*}\right) \quad (۴)$$

$$c^*_j=\max c_{ij}$$

و اگر معیارها منفی باشد از رابطه ۵ بی‌مقیاس می‌شود:

$$\widetilde{r_{ij}}=\left(\frac{a_j}{c_{ij}}.\frac{a_j}{b_{ij}}.\frac{a_j}{c_{ij}}\right) \quad (۵)$$

$$a_j=\min a_j$$

د- در مرحله بعد با توجه به وزن معیارهای مختلف در مرحله دوم، ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار طبق رابطه ۶ از ضرب کردن ضریب اهمیت مربوط به هر معیار در ماتریس بی‌مقیاس شده فازی به دست می‌آید:

$$v_{ij}=w_{ij}.r_j \quad (۶)$$

بنابراین ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار نیز تشکیل خواهد شد.

ه- برای یافتن حل ایده‌آل فازی و ضد ایده‌آل فازی دو مجموعه تعریف شده که A^* بهترین مقدار معیار i و A^- بدترین مقدار معیار i از بین تمام گزینه‌ها است که طبق رابطه‌های ۷ و ۸ تعریف می‌شود:

$$A^*=\widetilde{v}_1^*.\widetilde{v}_2^*.\ldots.\widetilde{v}_n^* \quad (۷)$$

$$A^-=\widetilde{v}_1^-.\widetilde{v}_2^-.\ldots.\widetilde{v}_n^- \quad (۸)$$

گزینه‌هایی که در A^* و A^- قرار می‌گیرند به ترتیب گزینه‌های کاملا بهتر و کاملا بدتر را نشان می‌دهند.

و- محاسبه فاصله از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل فازی که از روابط زیر به دست می‌آید.

فاصله بین دو عدد فازی با d نشان داده می‌شود که اگر (a_1,b_1,c_1) و (a_2,b_2,c_2) دو عدد فازی مثلثی باشند فاصله از حد ایده‌آل و ضد ایده‌آل از رابطه‌های ۹ و ۱۰ حاصل می‌شود:

$$S_i^*=\sum_{j=1}^{n} d(v_{ij}.v_{j*}), i=1,2\ldots,m \quad (۹)$$

$$S_i=\sum_{j=1}^{n} d(v_{ij}.v_{j_}), i=1,2,\ldots,n \quad (۱۰)$$

فاصله بین دو عدد فازی با d نشان داده می‌شود که اگر (a_1,b_1,c_1) و (a_2,b_2,c_2) دو عدد فازی مثلثی باشند فاصله این دو از رابطه ۱۱ حاصل می‌شود:

$$d(M_1,M_2)=\sqrt{\frac{1}{3}[(a_1-a_2)^2+(b_1-b_2)^2+(c_1-c_2)^2]} \quad (۱۱)$$

ز- در مرحله نهایی شاخص شباهت به دست می‌آید:

$$cci=\frac{si-}{si*+si-} \quad (۱۲)$$

برای تشکیل ماتریس تصمیم فازی از جدول ۱ استفاده شده است.

برای تشکیل ماتریس بردار وزن فازی نیز از جدول ۲ استفاده شده است.

جدول ۱: متغیر زبانی برای رتبه‌بندی گزینه‌ها

متغیر زبانی	عدد فازی متناظر
بسیار کم	(۱و۰و۰)
کم	(۳و۱و۰)
تا حدودی کم	(۵و۳و۱)
مناسب	(۷و۵و۳)
تا حدودی زیاد	(۹و۷و۵)
زیاد	(۱۰و۹و۷)
بسیار زیاد	(۱۰و۱۰و۹)

جدول ۲: متغیرهای زبانی برای ارزیابی اهمیت معیارها

متغیر زبانی	عدد فازی متناظر
بسیار کم اهمیت	(۰٫۱و۰و۰)
کم اهمیت	(۰٫۳و۰٫۱و۰)
تا حدودی کم اهمیت	(۰٫۵و۰٫۳و۰٫۱)
بی تفاوت	(۰٫۷و۰٫۵و۰٫۳)
تا حدودی با اهمیت	(۰٫۹و۰٫۷و۰٫۵)
با اهمیت	(۱و۰٫۹و۰٫۷)
بسیار با اهمیت	(۱و۱و۰٫۹)

۳- فرآیند بهینه‌سازی انتخاب مته در میدان مارون در سازندهای سروک و آسماری

میدان نفتی مارون سومین میدان نفتی بزرگ ایران است که در استان خوزستان در شمال غربی شهرستان امیدیه و در فاصله ۴۰ کیلومتری از جنوب شرقی اهواز قرار دارد. حجم ذخیره در جای نفت خام این میدان معادل ۲۲ میلیارد بشکه برآورد می‌شود و حجم گاز در جای میدان مارون معادل ۴۶۲٫۱ تریلیون فوت مکعب است. این میدان نفتی از دو مخزن نفتی به نام‌های آسماری و بنگستان و یک مخزن گاز طبیعی به نام خامی تشکیل شده است. رخنمون این میدان سازند آغاجاری و سازند آسماری مهم‌ترین سنگ مخزن این میدان است که شش لایه مخزنی دارد و در فاصله ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان اهواز واقع شده است. ظرفیت تولید این مخزن به طور متوسط ۲۵۰۰۰ بشکه در روز است. دومین مخزن نفتی این میدان، مخزن بنگستان است که این مخزن نیز در فاصله ۴۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان اهواز قرار گرفته است و ظرفیت تولید نفت خام این مخزن به طور متوسط معادل ۱۸۵۰۰ بشکه در روز برآورد می‌شود. سازند سروک یکی از سازندهای زمین‌شناسی گروه بنگستان و از مخازن مهم هیدروکربنی در حوضه زاگرس محسوب می‌شود. این سازند به طور هم‌شیب بر روی سازند کژدمی قرار گرفته و مرز بالایی آن با سازند ایلام مشترک است. در شکل ۱ میادین نفتی ایران و میدان نفتی مارون نشان داده شده است [۲۵].

۳-۱- بهینه‌سازی انتخاب مته و فرآیند آن

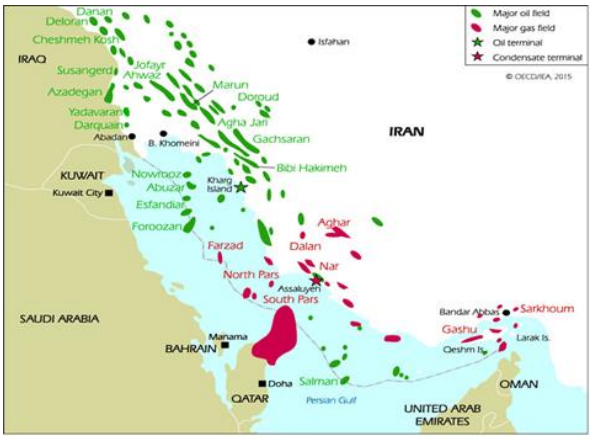
برای انتخاب مته حفاری در میدان مارون در سازندهای سروک و آسماری سه مته با کدهای ۵۱۷، ۵۲۷ و ۵۳۷ پیشنهاد شده و تصمیم‌گیرنده می‌خواهد با در نظر گرفتن چهار معیار انرژی ویژه (SE)، قابلیت حفاری (FD)، هزینه به ازای هر فوت (CF) و آهنگ نفوذ مته (ROP) یکی از ۳ مته را انتخاب کند. بدین منظور از روش فازی تاپسیس بهره گرفته شد. دلیل استفاده

از این روش، جامع بودن و قابلیت اعتماد بالای نتایج حاصل از این روش است که نتایج مطالعات پیشین این امر را تایید می‌کند [۲۸-۲۶]. در این روش، گزینه‌ها بر اساس فاصله آن‌ها از حل ایده‌آل انتخاب می‌شوند که این امر می‌تواند به انتخاب دقیق و قابل اعتماد گزینه‌ها و فرآیند تصمیم‌گیری منجر شود. در این روش گزینه ارجح باید کوتاه‌ترین فاصله را از حل ایده‌آل مثبت (گزینه‌ای که کمترین هزینه معیارها و بیشترین سود معیارها را دارد) و دورترین فاصله را از حل ایده‌آل منفی داشته باشد [۲۸]. با استفاده از پرسشنامه‌هایی که در اختیار کارشناسان باتجربه حفاری قرار داده شد، گزینه‌ها نسبت به معیارها مقایسه و اهمیت معیارها مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصل از این ارزیابی‌ها با محاسبات آماری تحلیل و نتایج به صورت ماتریس تصمیم و بردار وزن معیارها در جدول‌های ۱ تا ۸ به ترتیب زیر آورده شده است. در شکل ۲ شماتیکی از گزینه‌ها و معیارهای مساله مورد نظر در روش تصمیم‌گیری و ساختار سلسله مراتبی برای انتخاب مته در سازندهای سروک و آسماری با در نظر گرفتن معیارها و گزینه‌ها آورده شده است.

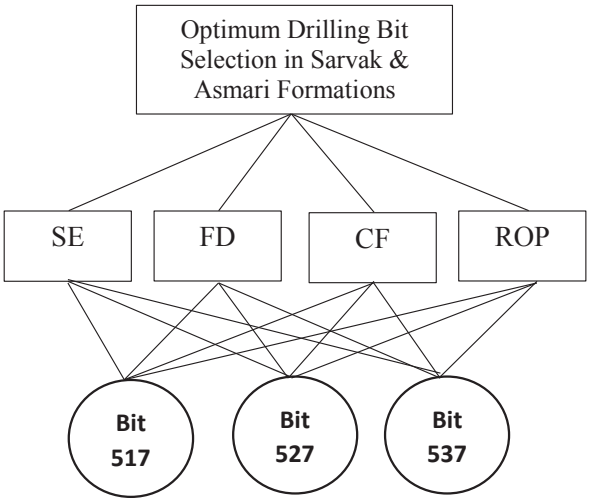
طبق مرحله الف در روش فازی تاپسیس ابتدا ماتریس تصمیم با استفاده از نظر کارشناسان و جدول ۱ و با تبدیل شاخص‌های کیفی به کمی تشکیل شده است (جدول ۳).

در مرحله ب و با استفاده از نظر کارشناسان و جدول ۲، جدول وزن معیار تشکیل می‌شود (جدول ۴).

همانگونه که اشاره شد مطابق با مراحل روش فازی تاپسیس و با توجه به کمی‌سازی متغیرهای زبانی برای گزینه‌ها و معیارها بر اساس جدول‌های ۱ و ۲، ارتباط و اهمیت هر معیار با در نظر گرفتن همه مته‌ها (تشکیل ماتریس تصمیم و مقایسه زوجی همه معیارها با تک تک مته‌ها) به دست آمد که نتایج آن در جدول‌های ۳ و ۴ ارایه شده است. این ارتباط بر اساس نظر کارشناسان و خبرگان (۸ کارشناس) به دست آمده است بدین صورت که پرسشنامه‌هایی به خبرگان داده شد (توزیع شد) تا ارتباط و مقایسات زوجی بین معیارها و گزینه‌ها را انجام دهند. این مقایسات بر اساس روابط موجود (برای موارد کمی) و دانش و تجربه خود (برای موارد کیفی) انجام و پرسشنامه‌های تکمیل شده جمع‌آوری شد.



شکل ۱: میدان نفتی مارون [۲۵]



شکل ۲: ساختار سلسله مراتبی

جدول ۳: ماتریس تصمیم

	SE	FD	ROP	CF
۵۱۷	(۹و۱۰و۱۰)	(۳و۵و۷)	(۷و۹و۱۰)	(۵و۷و۹)
۵۲۷	(۳و۵و۷)	(۰و۱و۳)	(۹و۱۰و۱۰)	(۱و۳و۵)
۵۳۷	(۱و۳و۵)	(۷و۹و۱۰)	(۵و۷و۹)	(۳و۵و۷)

جدول ۴: جدول وزن معیارها

معیار	CF	ROP	FD	SE
وزن معیار	(۰/۹و۱و۱)	(۱و۱و۱)	(۰/۵و۰/۷و۰/۹)	(۰/۷و۰/۹و۱)

در مرحله ج برای تشکیل ماتریس بی‌مقیاس از روش بی‌مقیاس کردن خطی استفاده شده است. سه معیار انرژی ویژه، قابلیت حفاری سازند و آهنگ نفوذ مته به دلیل اینکه معیارهای مثبتی هستند، از رابطه ۴ بی‌مقیاس می‌شوند. همچنین از آنجا که معیار هزینه حفاری معیاری منفی است از رابطه ۵ بی‌مقیاس می‌شود (جدول ۵).

ماتریس تصمیم فازی وزن‌دار طبق رابطه ۶ از حاصلضرب ضریب اهمیت مربوط به هر معیار در ماتریس بی‌مقیاس شده فازی به دست می‌آید (جدول ۶).

برای حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل به ترتیب از روابط ۹ و ۱۰ استفاده و مقادیر زیر حاصل می‌شود:

$V^*=[(1و1و1)،(1و1و1)،(0/9و0/9و0/9)،(1و1و1)]$

$V^-=[(1و1و1)،(1و1و1)،(0/9و0/9و0/9)،(1و1و1)]$

فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل و شاخص شباهت نیز به ترتیب از رابطه‌های ۹، ۱۰ و ۱۲ محاسبه می‌شوند (جدول‌های ۷، ۸ و ۹).

در نتیجه رتبه‌بندی گزینه‌ها با توجه به محاسبات یاد شده برای سازند آسماری به شرح زیر است:

۵۱۷>۵۲۷>۵۳۷

به روشی مشابه برای سازند سروک، شاخص شباهت طبق جدول ۱۰ حاصل می‌شود:

با توجه به محاسبات یاد شده رتبه‌بندی گزینه‌ها برای سازند سروک به شرح زیر است:

۵۳۷>۵۱۷>۵۲۷

جدول ۵: ماتریس بی‌مقیاس شده تصمیم

	SE	FD	ROP	CF
۵۱۷	(۰/۹و۱و۱)	(۰/۳و۰/۵و۰/۷)	(۰/۷و۰/۹و۱)	(۰/۱۱۱و۰/۱۴۳و۰/۲)
۵۲۷	(۰/۳و۰/۵و۰/۷)	(۰و۰/۱و۰/۳)	(۰/۹و۱و۱)	(۰/۲و۰/۳۳۳و۱)
۵۳۷	(۰/۱و۰/۳و۰/۵)	(۰/۷و۰/۹و۱)	(۰/۵و۰/۷و۰/۹)	(۰/۱۴۳و۰/۲و۰/۳۳۳)

جدول ۶: ماتریس تصمیم بی‌مقیاس وزن‌دار

	SE	FD	ROP	CF
۵۱۷	(۰/۶۳و۹/۰و۱)	(۰/۱۵و۰/۳۵و۰/۶۳)	(۰/۶۳و۰/۹و۱)	(۰/۰۹۹۰و۰/۱۴۳و۰/۲)
۵۲۷	(۰/۲۱و۰/۴۵و۰/۷)	(۰و۰/۰۷و۰/۲۷)	(۰/۸۱و۱و۱)	(۰/۱۸و۰/۳۳۳و۱)
۵۳۷	(۰/۰۷و۰/۲۷و۰/۵)	(۰/۳۵و۰/۶۳و۰/۹)	(۰/۴۵و۰/۷و۰/۹)	(۰/۲و۰/۳۳۳و۰/۱۲۹)

جدول ۷: فاصله هر گزینه از حل ایده‌آل

	SE	FD	ROP	CF	فاصله هر گزینه از حل ایده آل
$d(_1A و A^*)$	۰/۲۲۱	۰/۵۵۹	۰/۲۲۱	۰/۸۵۶	۱/۸۵۷
$d(_2A و A^*)$	۰/۵۸۲	۰/۷۹۴	۰/۱۰۹	۰/۶۱۰	۲/۰۹۵
$d(_3A و A^*)$	۰/۷۴۱	۰/۳۵۳	۰/۳۶۶	۰/۷۸۳	۲/۲۴۳

جدول ۸: فاصله هر گزینه از حل ضد ایده‌آل

	SE	FD	ROP	CF	فاصله هر گزینه از حل ضد ایده‌آل
$d(_1A و A_)$	۰/۷۸۸	۰/۴۲۵	۰/۴۲۳	۰/۷	۱/۷۰۶
$d(_2A و A_)$	۰/۴۳۲	۰/۶۱	۰/۴۹۵	۰/۵۴۷	۱/۶۳۴
$d(_3A و A_)$	۰/۲۷۴	۰/۶۶۵	۰/۲۹۷	۰/۱۵۵	۱/۳۹۱

جدول ۹: شاخص شباهت

	مته ۵۱۷	مته ۵۲۷	مته ۵۳۷
فاصله از حل ایده‌آل	۱٫۸۵۷	۲٫۰۹۵	۲٫۲۴۳
فاصله از حل ضد ایده‌آل	۱٫۷۰۶	۱٫۶۳۴	۱٫۳۹۱
شاخص شباهت	۰٫۴۷۹	۰٫۴۳۸	۰٫۳۸۲

جدول ۱۰: شاخص شباهت

	مته ۵۱۷	مته ۵۲۷	مته ۵۳۷
فاصله از حل ایده‌آل	۱٫۳۸۷۹	۱٫۶۳۴۹	۱٫۶۲۹
فاصله از حل ضد ایده‌آل	۱٫۶۳۳	۱٫۶۴۸	۲٫۰۹۲
شاخص شباهت	۰٫۵۴۰۵	۰٫۵۰۱۹	۰٫۵۶۲۲

۴- نتیجه‌گیری

روش تصمیم‌گیری چند معیاره نتایج بهتری نسبت به سایر روش‌های تصیم‌گیری دیگر می‌دهد. این برتری را می‌توان ناشی از عواملی چون دخالت دادن مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی، معیارهای تصمیم و متغیرهای مجهول در تحلیل‌ها، تصمیم‌گیری بر اساس نظر گروهی از خبرگان و کارشناسان، در نظر گرفتن همه عوامل (منفی و مثبت به طور هم‌زمان) در فرآیند تصمیم‌سازی و فراهم آوردن روندی منطقی برای در نظر گرفتن متغیرهای کمی و کیفی دانست. در این تحقیق برای انتخاب بهینه مته حفاری در میدان نفتی مارون، ابتدا مته‌های اصلی مورد استفاده در میدان مورد مطالعه (مته‌های ۵۱۷، ۵۲۷ و ۵۳۷) کاندید شدند، سپس پرسشنامه‌هایی برای ارزیابی ارتباط و اهمیت مته‌ها تهیه و در بین کارشناسان توزیع و پس از تکمیل جمع‌آوری شد. نتایج حاصل از نظر خبرگان با استفاده از روش FTOPSIS مورد تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از تحقیق نشان داد که برای سازند آسماری، در روش فازی ایده‌آل، شاخص شباهت برای سه مته ۵۱۷، ۵۲۷ و ۵۳۷ به ترتیب عبارتند از ۰٫۴۷۹، ۰٫۴۳۸ و ۰٫۳۸۲ که در نتیجه مته ۵۱۷ در رتبه اول، مته ۵۲۷ در رتبه دوم و مته ۵۳۷ در رتبه سوم قرار گرفتند. برای سازند سروک، در روش فازی ایده‌آل شاخص شباهت برای سه مته ۵۱۷، ۵۲۷ و ۵۳۷ به ترتیب عبارت است از ۰٫۵۴۰۴، ۰٫۵۰۱۹ و ۰٫۵۶۲۲ که نشان می‌دهد مته ۵۳۷ در رتبه اول، مته ۵۱۷ در رتبه دوم و مته ۵۲۷ در رتبه سوم قرار می‌گیرد.

در خصوص بحث بر نتایج حاصل شایان ذکر است که خصوصیاتی از سازند مانند مقاومت فشاری، ساینده‌گی، تخلخل، نسبت پوکی، درصد اشباع و آب محتوا که همگی بر آهنگ نفوذ حفاری و مصرف مته‌ها تاثیر دارند، به دلیل مشابه بودن شرایط سازندها (سروک و آسماری) در تمام تحلیل‌ها ثابت فرض شده و همگی در قالب معیار قابلیت حفاری سازند (طبق نظر خبرگان) در فرآیند تصمیم‌گیری دخالت داده شده‌اند. در این راستا می‌توان مقاومت فشاری سازند را به عنوان یک معیار جداگانه در نظر گرفت که در اینصورت تخمین و ارزیابی دقیق این معیار مشکل‌تر است و هزینه و زمان بیشتری را می‌طلبد. همچنین پیشنهاد می‌شود در ادامه تحقیق حاضر از دیگر روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مانند پرامیته یا الکتر برای صحت‌سنجی نتایج حاصل در میدان مزبور بهره گرفته شود.

۵- سپاس‌گزاری

این طرح با تصویب و حمایت مالی حوزه معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه آزاد اسلامی واحد قائم‌شهر اجرا شده است که بدین‌وسیله از حمایت‌های آن معاونت محترم قدردانی می‌شود.

۶- مراجع

[1] Hightower, W. J. (1964). *"Proper Selection of Drill Bits and Their Use"*. In SPE Mechanical Engineering Aspects of Drilling and Production Symposium, Society of Petroleum Engineers, Dallas, Texas, USA, pp. 12.

[2] Fear, M. J., Meany, N. C., and Evans, J. M. (1994). *"An expert system for drill bit selection"*. In SPE/IADC Drilling Conference, Society of Petroleum Engineers, Dallas, Texas, USA, pp. 10.

[3] Xu, H., Tochikawa, T., and Hatakeyama, T. (1997). *"A Method for Bit Selection by Modelling ROP and Bit-Life"*. In Annual Technical Meeting, Petroleum Society of Canada, Calgary, Alberta, Canada, pp. 11.

[4] Clegg, J. M., and Steven, P. B. (2006). *"Improved Optimisation of Bit Selection Using Mathematically Modelled Bit Performance Indices"*. In IADC/SPE Asia Pacific Drilling Technology Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, Bangkok, Thailand, pp. 10.

[5] Rabia, H. (1985). *"Oilwell drilling engineering: principles and practice"*. Graham & Trotman, Limited,

London, UK, pp. 322.

[6] Yılmaz, S., Cem, D., and Serhat, A. (2002). *"Application of artificial neural networks to optimum bit selection"*. Computers & Geosciences, 28(2): 261-269.

[7] Rabia, H., Farrelly, M., and Barr, M. V. (1986). *"A new approach to drill bit selection"*. In European Petroleum Conference, Society of Petroleum Engineers, London, Uk, pp. 8.

[8] Winters, W. J., Warren, T. M., and Onyia, E. C. (1987). *"Roller bit model with rock ductility and cone offset"*. In SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, Dallas, Texas, USA, pp. 12.

[9] Perrin, V. P., Graham, M.-W., and Alexander, W. L. (1997). *"Drilling index-a new approach to bit performance evaluation"*. In SPE/IADC drilling conference, Society of Petroleum Engineers, Amsterdam, Netherlands, pp. 7.

[10] Bilgesu, H. I., Tetrick, L. T., Altmis, U., Mohaghegh, Sh., and Ameri, S. (1997). *"A new approach for the prediction of rate of penetration (ROP) values"*. In SPE Eastern Regional Meeting, Society of Petroleum Engineers , Lexington, Kentucky, pp. 5.

[11] Mensa-Wilmot, G., Calhoun, B., and Perrin, V. P. (1999). *"Formation drillability-definition, quantification and contributions to bit performance"*. Middle East Drilling Technology, Abu Dhabi, UAE, Paper SPE/IADC 57558, pp. 8.

[12] Akin, S., and Celal, K. (2008). *"Estimating drilling parameters for diamond bit drilling operations using artificial neural networks"*. International Journal of Geomechanics, 8(1): 68-73.

[13] Behzadian, M., Baradaran Kazemzadeh, R., Albadvi, A., and Aghdasi, M. (2010). *"PROMETHEE: A comprehensive literature review on methodologies and applications"*. European journal of Operational Research, 200(1): 165-179.

[14] Behzadian, M., Khanmohammadi Otaghsara, S., Yazdani, M., and Ignatius, J. (2012). *"A state-of-the-art survey of TOPSIS applications"*. Expert Systems with Applications, 39(17): 13051-13069.

[15] Zavadskas, E. K., Turskis, Z., and Kildienė, S. (2014). *"State of art surveys of overviews on MCDM/MADM methods"*. Technological and Economic Development of Economy, 20(1): .

[16] Amiri, M. P. (2010). *"Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods"*. Expert Systems with Applications, 37(9): 6218-6224.

[17] Alemi, M., Jalalifar, H., Kamali, Gh. R., and Kalbasi, M. (2011). *"A mathematical estimation for artificial lift systems selection based on ELECTRE model"*. Journal of Petroleum Science and Engineering, 78(1): 193-200.

[18] Barak, S., Mehrgini, B., Maghsoudlou, H., and Branch, Q. (2014) *"Multi-Criteria Decision Making Approach To Candidate Well Selection For Hydraulic Fracturing Treatment"*. CIE44 & IMSS, 14: 2092-2106.

[19] Okonji, S. C. (2015). *"Multi criteria risk analysis of a subsea BOP system"*. Ph.D Thesis, Cranfield University, UK, Available at: https://dspace.lib.cranfield.ac.uk/handle/1826/11869.

[20] Khosravanian, R., and David, A. W. (2016). *"Selection of high-rate gas well completion designs applying multi-criteria decision making and hierarchy methods"*. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 34: 1004-1016.

[21] Bilbao-Terol, A., Arenas-Parra, M., Cañal-Fernández, V., and Antomil-Ibias, J. (2014). *"Using TOPSIS for assessing the sustainability of government bond funds"*. Omega, 49: 1-17.

[22] Nădăban, S., Dzitac, S., and Dzitac, I. (2016). *"Fuzzy topsis: A general view"*. Procedia Computer Science, 91: 823-831.

[23] Hwang, Ch.-L., and Kwangsun, Y. (1981). *"Multiple attributes decision making methods and applications"*. Springer, Berlin, Germany, pp. 230.

[24] Chen, Ch.-T. (2000). *"Extensions of the TOPSIS for group decision-making under fuzzy environment"*. Fuzzy Sets and Systems, 114: 1-9.

[25] Iranian Oil Fields. (2018). http://www.parsoomashoil.com.

[26] Mardani, A., Jusoh, A., MD Nor, Kh., Khalifah, Z., Zakwan, N., and Valipour, A. (2015). *"Multiple criteria decision-making techniques and their applications – a review of the literature from 2000 to 2014"*. Economic Research-Ekonomska Istraživanja, 28(1): 516-571. DOI: 10.1080/1331677X.2015.1075139.

[27] Sitorus, F., Cilliers, J. J., and Brito-Parada, P. R. (2018). *"Multi-Criteria Decision Making for the Choice Problem in Mining and Mineral Processing: Applications and Trends"*. Expert Systems with Applications, 2018: 1-56.

[28] N˘ad˘aban, S., Dzitac, S., and Dzitac, I. (2016). *"Fuzzy TOPSIS: A General View"*. Procedia Computer Science, 91: 823-831.

Imam Khomeini International University
Vol. 6, No. 4, Winter 2021, pp. 9-11

نشریه مهندسی منابع معدنی
Journal of Mineral Resources Engineering
(JMRE)

DOI: 10.30479/JMRE.2019.9722.1202

Technical Note

Optimum Drilling Bit Selection in Sarvak and Asmari Formations Using Multiple Criteria Decision-Making Approaches

Ebrahimabadi A.[1*], Moradi S.[2]

1- Associate Professor, Dept. of Petroleum, Mining and Material Engineering, Central Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
a.ebrahimabadi@iauctb.ac.ir

2- M.Sc, Dept. of Petroleum Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran
siavash.moradi@srbiau.ac.ir

(Received: 04 Dec. 2018, Accepted: 26 May 2019)

Abstract: Appropriate drill bit selection can lead to enhance remarkable drilling operation efficiency and cost-saving. There are several factors affecting the bit selection process. Among these parameters, some factors such as specific energy (SE), cost per foot (CPF), formation drillability (FD), and rate of penetration (ROP) are considered the most important ones. One of the best approaches to select the optimum drill bit is to apply Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) techniques. In this research work, Fuzzy Technique for Order-Preference by similarity to Ideal Solution (FTOPSIS) is used to choose the optimum bit for drilling operations in Sarvak and Asmari formations due to higher accuracy and validity of findings achieved from the FTOPSIS. With this respect, three types of bits (i.e. 517, 527, and 537) were considered as available candidates and were then ranked through the FTOPSIS, resulting in the best option (bit). In Asmari formation, similarity factors for bit types of 517, 527, and 537 bits were obtained as 0.479, 0.438, and 0.382, respectively indicating bit type 517 can be chosen as a proper option compared to other ones. Similarly, in Sarvak formation, results showed 0.5405, 0.5019, and 0.5622 values for 517, 527, and 537 bit types respectively, demonstrating the bit-type 537 is the most appropriate alternative in such formation.

Keywords: Bit selection, Multiple Criteria Decision-Making (MCDM), Fuzzy Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (FTOPSIS), Asmari formation, Sarvak formation.

INTRODUCTION

It is highly crucial to evaluate all issues that affect each project's operational time, costs, and performance. In the petroleum industry, special attention should be paid due to its role in the country's economy. Drilling operation is viewed as one of the most important upstream industries in petroleum engineering in which bit selection plays a major role in project's cost management. There are some factors such as formation type, bit hydraulic design, drilling fluid/mud, and proper application of mechanical parameters (e.g. bit weight & rotation) as well as so many other aspects that need to be taken into consideration in proper bit selection during drilling operation of oil and gas wells.

Since several factors affect the bit selection process, it can be considered an MCDM (Multi-Criteria Decision Making) problem. The MCDM is a combined set of techniques and methods that weights and prioritize/order a variety of criteria and assist the user in utilizing multi contradictory objectives such as cost minimization and performance maximization at the same time. There are lots of studies conducted recently concerning the application of MCDM in the oil industry such as; identification of various parameters and methods for selection of field development areas [1], a mathematical estimation for selection of artificial lift systems [2], subsea hazop/hazard study of BOP system [3], selection of the best completion method for gas wells [4]. Among MCDM techniques, TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) has been used in this research due to its higher accuracy and reliability of the results. Through the analysis, the fuzzy set theory has been applied to an ill-defined multiple criteria decision-making problem in order to efficiently resolve the ambiguity frequently arising in available data and provide more justice to the essential fuzziness in human preference and judgment.

The goal of this research is to apply the FTOPSIS technique for optimum selection of drill bits in Sarvak and Asmari formations of an Iranian oilfield. No investigation has been carried out for drilling operations in these formations using MCDM approaches and that is why such studies need to be conducted This paper first presents the decision-making process, FTOPSIS approach, and then application of this method to optimum drill bit selection in drilling operations for Sarvak and Asmari formations.

METHODS

There are 6 main steps in the decision-making process as problem definition, criteria identification, developing options, selecting a decision-making model, evaluating and prioritizing/ordering options as well as assessment of decision results. As mentioned earlier, among MCDM methods, FTOPSIS has been utilized in the present paper. The method is explained as follows [5]:

A- Development of the decision matrix in terms of criteria and options.
B- Development of criterion weight factor matrix.
C- Descaling instead of complex calculations.
D- There are two sets defined to identify ideal & anti-ideal fuzzy solutions in which Vi* is the best value of criterion i among all options while Vi- is the worst one.
E- Distance between ideal & anti-ideal solutions could be calculated through the following relations.
F- The similarity index could be concluded in the final step.

FINDINGS AND ARGUMENT

The method was applied in one of the southern Iranian oilfields for drilling operations in the Asmari and Sarvak formations. There are three bits coded as 517, 527, and 537 suggested for drilling in Sarvak and Asmari formations. The decision-maker tends to choose a bit among the abovementioned bits using 4 criteria as Specific Energy (SE), Formation Drillability (FD), Cost per Foot (CF), and Rate of Penetration (ROP). Appraised in terms of the criteria and criteria weight factors, options performance is evaluated using results of the questionnaires filled by drilling experienced experts. Evaluation outcomes were statistically analyzed and resulted in decision matrix and weight factors.

A schematic of the problem options and criteria in the decision-making process is shown in the following figure (Figure 1).

Considering calculations made by FTOPSIS steps, option ordering concerning Asmari formation is as 517 > 527 > 537.

In the same way, the order preference concerning Sarvak formation is as 517~ 537 > 527 which indicates a close preference of bits 517 and 537.

CONCLUSIONS

Multiple Criteria Decision-Making (MCDM) methods result in proper and more realistic outcomes compared to other decision-making approaches. Using fuzzy set theory, it is possible to overcome uncertainty and vagueness from subjective perceptions and experiences through the decision-making process. With this respect, using the Fuzzy TOPSIS (FTOPSIS) approach, the uncertainty and vagueness from subjective

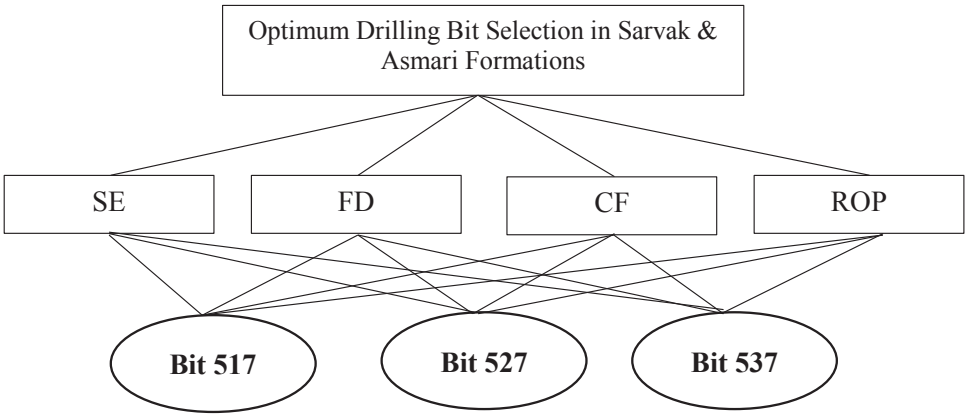


Figure 1. Hierarchy structure of bit selection problem

perceptions can be effectively incorporated in the analyses leading to a more efficient decision. Since optimum bit selection in the petroleum drilling operation is an MCDM problem, the FTOPSIS approach is utilized to choose the most suitable bit for drilling operation in Asmari and Sarvak formations in one of the Iranian oilfields. Primarily, three types of drill bits, 517, 527, and 537, are considered as applicable candidates for drilling of cited formations. Then they prioritized and ranked by effective criteria such as Specific Energy (SE), Formation Drill-ability (FD), Cost per Foot (CF), and Rate of Penetration (ROP). Results demonstrated that in Asmara formation, similarity index of three 517, 527, and 537 bits (alternatives) calculated as 0.479, 0.438, and 0.382 respectively using FTOPSIS method. The bits are ranked and prioritized as 517 (1st), 527 (2nd), and 537 (3rd), indicating the bit-type 517 can be considered as a proper option compared with other ones. In the Sarvak formation, similarity indexes of three 517, 527 and 537 bits were found to be 0.5404, 0.5019, and 0.5622, respectively using the FTOPSIS method. The bits are ranked and prioritized as 537 (1st), 517 (2nd), and 527 (3rd), demonstrating the bit-type 537 is the most appropriate alternative in Sarvak formation. It is suggested that other multi-criteria methods such as fuzzy PROMETHEE and ELECTRE can be used to handle bit selection problems in future investigations.

ACKNOWLEDGEMENT

This research project has been financially supported by the office of vice chancellor for research and technology of Islamic Azad University – Qaemshahr branch.

REFERENCES

[1] Amiri, M. P. (2010). *"Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods"*. Expert Systems with Applications, 37(9): 6218-6224.

[2] Alemi, M., Jalalifar, H., Kamali, G.R. and Kalbasi, M. (2011). *"A mathematical estimation for artificial lift systems selection based on ELECTRE model"*. Journal of Petroleum Science and Engineering, 78(1): 193-200.

[3] Okonji, S. C. (2015). *"Multi criteria risk analysis of a subsea BOP system"*. Ph.D. Thesis.

[4] Khosravanian, R. and Wood, D. A. (2016). *"Selection of high-rate gas well completion designs applying multi-criteria decision making and hierarchy methods"*. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 34: 1004-1016.

[5] Hwang, C. L., and Chen, S. J. (1992). *"Fuzzy Multiple Attribute Decision Making: Methods and Applications"*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg.