نشریه ژئومکانیک و ژئوانرژی (ژئومکانیک نفت)
GEOMECHANICS and GEOENERGY JOURNAL (GGJ)

مقاله پژوهشی

مطالعه مقایسه‌ای ریسک‌های حفاری چاه‌های انحرافی و چند شاخه‌ای به‌منظور استفاده در حفاری میان چاهی

بابک جامعی فر[۱]؛ نادر دشتی[۲*]؛ شاهین کرد[۳]

۱- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشته مدیریت مخازن هیروکربوری، دانشگاه صنعت نفت

۲- استادیار، گروه اقتصاد نفت و دیپلماسی انرژی، دانشگاه صنعت نفت

۳-دانشیار، گروه مهندسی نفت، دانشگاه صنعت نفت

دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۱۱/۲۵ پذیرش مقاله: ۱۴۰۴/۰۶/۲۳

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22107/ggj.2026.506415.1249

واژگان کلیدی

ریسک، حفاری، چاه‌های انحرافی، چاه‌های چند شاخه‌ای

چکیده

با توجه به اهمیت بخش‌های مختلف صنعت نفت به‌خصوص بخش بالادستی[۱] و صنعت حفاری[۲]، ارزیابی و مدیریت ریسک[۳] و حرکت به سمت روش‌ها و تکنولوژی‌های جدید به منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری و اعتبار شرکت ملی نفت ایران امری اجتناب‌ناپذیر است. صنعت حفاری یکی از مهم‌ترین بخش‌های بالادست می‌باشد که معمولاً فرآیندهای آن دارای ریسک‌های بالاتری نسبت به سایر فعالیت‌های موجود در این صنعت می‌باشد. هدف اصلی این مقاله، مقایسه تطبیقی ریسک‌های حفاری انحرافی[۴] و چند شاخه‌ای می‌باشد. به این منظور، نخست با مطالعه منابع کتابخانه‌ای، ادبیات موضوع[۵] پژوهش به‌صورت کامل بررسی و در نهایت شکاف تحقیقاتی[۶] تعیین گردید. در ادامه با استفاده از نظر خبرگان[۷] و استفاده از اسناد حفاری مرتبط با موضوع، ریسک‌های مختلف در بخش‌های فنی و غیر فنی مشخص شد. سپس توزیع پرسشنامه زوجی[۸] در بین متخصصان و خبرگان شاغل در بخش‌های مختلف صنعت نفت صورت گرفت و در نهایت از روش تحلیل سلسله مراتبی[۹] به‌منظور رتبه‌بندی ریسک‌های فنی و غیر فنی استفاده گردید. نتایج این پژوهش نشان داد دو ریسک فنی ورود سیال سازند به چاه[۱۰] (که می تواند منجر به فوران چاه شود) و گیر لوله[۱۱] دارای اولویت بیشتری نسبت به سایر ریسک‌های فنی می‌باشند. بنابراین، علل بروز اقدامات کنترلی و پیامدهای ناشی از این ریسک‌ها در قالب نمودار پاپیونی[۱۲] پیاده‌سازی شد. در ضمن در بخش غیر فنی، ریسک کمبود متخصص، به‌عنوان مهم‌ترین ریسک شناسایی و رتبه‌بندی گردید.

۱. مقدمه

با توجه به ماهیت فعالیت‌های موجود در صنعت نفت، این صنعت از دیرباز دارای ریسک‌هایی در بخش‌های مختلف بالادست، میان‌دست و پایین‌دست بوده است. با به وجود آمدن سازوکارهای ایمنی، راه‌هایی برای شناسایی، ارزیابی و پایین

[1]. Upstream
[2]. Drilling Industry
[3]. Risk Management
[4]. Directional Drilling
[5]. Literature Review
[6]. Research Gap
[7]. Experts
[8]. Pairwise Comparison Questionnaire
[9]. Analytic Hierarchy Process (AHP)
[10]. Kick
[11]. Stuck Pipe
[12]. Bow-Tie Diagram

* رایانامه نویسنده مسئول: dashti_n@put.ac.ir

آوردن احتمال و اثر این ریسک‌ها در طول فرآیندهای صنعت نفت ایجاد شد [۱]. صنعت حفاری یکی از مهم‌ترین بخش‌های بالادست می‌باشد که معمولاً فرآیندهای آن دارای ریسک‌های بالاتری نسبت به سایر فعالیت‌های موجود در این صنعت می‌باشد. همین امر موجب می‌شود شناسایی و ارزیابی و ایجاد راه‌های مقابله با ریسک در این بخش صنعت امری اجتناب‌ناپذیر باشد. در صورت اجرای روش‌های جدید حفاری، احتمال رخداد این ریسک‌ها و بالقوه شدن آن‌ها نیز به‌موازات افزایش می‌یابد [۲]. علاوه بر این، رشد و توسعه‌ی کشورها در تمام بخش‌ها و به‌موازات آن رشد جمعیت، موجب شده نیاز به انرژی در بخش‌های مختلف در سال‌های متمادی افزایش داشته باشد که با توجه به ثابت بودن منابع هیدروکربوری، به‌منظور تولید بهینه و افزایش ضریب بازیافت[۱۳] مخازن، صنعت نفت باید به سمت روش‌ها و تکنولوژی‌های جدید حرکت کند و به منظور رسیدن به این هدف، راهکارهایی نظیر پیاده سازی روش های ازدیاد برداشت و یا توسعه مجدد مخازن در قالب حفر چاه های جدید توسط متخصصان پیشنهاد می‌گردد. نکته قابل توجه این است که شرکت‌های فعال در بخش نفت و گاز تمایلی کمی به استفاده از روش‌های ازدیاد برداشت دارند و در مقابل، بیشتر تمایل به حفاری و توسعه مجدد چاه ها در قالب حفاری میان چاهی[۱۴] دارند. دلایل این امر را می‌توان بازیابی زودتر سرمایه، هزینه‌ی کمتر، سهولت و تجربه نسبی در ارزیابی ریسک و بازده احتمالی حفاری میان چاهی دانست؛ درحالی‌که کمی کردن ریسک و بازده احتمالی روش‌های ازدیاد برداشت کار بسیار دشواری خواهد بود [۳]. یکی از روش‌هایی که در دهه های گذشته در حفاری و توسعه‌ی مجدد چاه‌ها مورد استفاده قرار گرفته، روش حفاری چند شاخه‌ای[۱۵] می‌باشد. افزایش استفاده از این روش حفاری و چاه‌های حفاری چند شاخه‌ای در جهان، نشان از اثرگذاری این روش دارد. بعد از حفاری انحرافی، حفاری افقی[۱۶] و روش کنارگذر[۱۷]، حفاری چندجانبه توسعه یافت تا جایی که در سال ۲۰۰۶ تعداد ۸۰۰۰ چاه چندجانبه در جهان حفر شد. این نوع از حفاری چاه علاوه بر کاهش هزینه‌های توسعه، موجب بهبود تولید نفت و افزایش ناحیه زهکشی چاه[۱۸] می‌شود [۴]. از این رو مطالعات ریسک‌های فنی و غیر فنی فارغ از اینکه در بخش حفاری انحرافی و یا چند شاخه‌ای صورت بگیرد، منجر به افزایش آگاهی در این زمینه و افزایش فرهنگ ایمنی در سازمان‌ها خواهد شد. انجام ارزیابی ریسک‌ها با در نظر گرفتن دو روش مختلف حفاری و مقایسه ریسک‌های آن‌ها، منجر به برآورد وزن ریسک‌های[۱۹] دو روش نسبت به هم می‌شود و انجام پژوهش‌های مرتبط با تکنولوژی‌های جدید باعث تسهیل پیاده سازی روش های نوین و آشنایی بیشتر مدیران خواهد شد.

کریکوویچ[۲۰] مدیریت ریسک‌های ژئوتکنیکی در پروژه‌های حفاری چاه‌های انحرافی افقی را ارائه نمود. در این مطالعه از تحلیل ترکیبی خطای فازی[۲۱] و تحلیل درخت رویداد[۲۲] استفاده شد. در نتیجه این مطالعه، مجموعه‌ی اقدامات مدیریتی و چهار نوع استراتژی پاسخ به ریسک[۲۳] در نظر گرفته شد تا در جهت حذف، کاهش، انتقال و حفظ ریسک استفاده شوند [۵].

گورلنکو و همکاران[۲۴] به ارزیابی ریسک‌های زیست‌محیطی[۲۵] در شرکت‌های تولیدکننده نفت و گاز با استفاده از روشی یکپارچه پرداختند. در این مطالعه با ارائه یک شاخص یکپارچه زیست‌محیطی[۲۶] که حاصل ارزیابی آسیب به هر یک از اجزای محیط‌زیست بوده و مقدار آسیب را برحسب هزینه واردشده به محیط نیز بیان می‌کند ارائه گردید [۶].

کریکوویچ مدیریت جامع ریسک در پروژه‌های حفاری جهت‌دار افقی را ارائه نمود. در این مطالعه با استفاده از تجزیه‌وتحلیل درخت خطای فازی ، شاخص وزنی فازی و یک ماتریس پاسخ ریسک به ارزیابی ریسک پرداخته شد و با شناسایی خطرات حفاری جهت‌دار افقی، پاسخ‌هایی برای ریسک‌های شناسایی‌شده به‌صورت حفظ ریسک، انتقال ریسک و...ارائه شد [۷].

13 . Recovery Factor
14 . Infill Drilling
15 . Multilateral Drilling
16 . Horizontal Drilling
17 . Sidetrack Drilling
18. Well Drainage Area
19 . Risk Weights
20 . Krechowicz
21 . Fuzzy Fault Tree Analysis
22 . Event Tree Analysis
23 . Risk Response Strategy
24 . Gorlenko et al.
25 . Environmental Risks
26 . Integrated Environmental Index

مروزووسکا[۲۷] به ارزیابی ریسک بروز رخدادهای بزرگ ناشی از حفاری دریایی و عملیات تولیدی نفت و گاز که محیط‌زیست و زندگی انسان را تحت تأثیر قرار می‌دهند پرداخته و احتمالات رخداد ریسک‌های عمده را مطابق با مفاد بخشنامه ۲۰۱۳ اتحادیه اروپا موردبررسی قرارداد. در این مطالعه، عوامل مهم در بروز خطرات و ریسک‌ها با استفاده از روش ارزیابی ایمنی رسمی و شبکه بیزی[۲۸] شناسایی شد. در کنار این روش‌ها، در این تحقیق از انواع داده‌ها، الگوریتم‌ها و محاسبات متعدد برای بررسی همه‌جانبه موضوع مورد مطالعه استفاده گردید [۸].

کاستلو[۲۹] مدیریت ریسک از طریق آلارپ را در عملیات حفاری دریایی نفت و گاز ارائه نمود و در این مطالعه با استفاده از ابزارهای کمی و کیفی به انجام فرآیند مدیریت ریسک در صنعت نفت و گاز نیوفاندلند و لابرادور پرداخته شد [۹].

کریکوویچ و همکاران ارزیابی ریسک عوامل خارجی را در تکنولوژی حفاری جهت‌دار افقی را با استفاده از آنالیز حالت شکست و تحلیل اثر خطا[۳۰] و آنالیز پورتو-لورنز[۳۱] را ارائه نمودند. در این مطالعه با کمک آنالیز پورتو-لورنز، ۱۴ عامل ریسک خارجی (هشت مورد ریسک طبیعی و محیطی و شش مورد عوامل ریسک اقتصادی) شناسایی و مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. علاوه بر آن ۴۰ ریسک حفاری انحرافی افقی توسط روش تجزیه‌وتحلیل حالت شکست و تحلیل اثر خطا، بررسی و بر طبق عدد اولویت ریسک رتبه‌بندی شدند و درنهایت پیشنهادهایی برای پاسخگویی به این ریسک‌ها ارائه گردید [۱۰].

وانجون و همکاران[۳۲] روش هوشمند شناسایی ریسک‌های ایمنی حین حفاری در فرآیند حفاری‌های منابع گازی را ارائه نمودند. در این مطالعه، استفاده از پایگاه‌های داده‌ای جمع‌آوری‌شده در حفاری‌های گذشته، منجر به طراحی شبکه عصبی کانولوشنی شد. این سیستم در مقایسه با نمونه سنتی توانست ریسک‌های حفاری و خطرات را از قبل شناسایی کرده و باعث اجتناب از بروز حوادث شود. بررسی میدانی این سیستم، ثابت کرد این روش دارای دقت در شناسایی ریسک‌های پیش روی فرآیند حفاری چاه‌های گازی بوده و با قابلیت شناسایی ۹۰ درصد ریسک‌های فرآیند، کاملاً کاربردی است [۱۱].

مرور ادبیات پیشین نشان می‌دهد که پژوهش‌های مرتبط با ریسک حفاری را می‌توان از نظر محتوای فنی در چند محور اصلی طبقه‌بندی کرد. بخشی از این پژوهش‌ها بر ریسک‌های ژئوتکنیکی و زمین‌شناسی مانند ناپایداری دیواره چاه، برخورد با سازندهای مسئله‌ساز، هرزروی گل و مشکلات ناشی از تغییرات فشار سازند متمرکز بوده‌اند. بخش دیگری نیز ریسک‌های عملیاتی و تجهیزاتی مانند گیر لوله، افزایش گشتاور و کشش، خطاهای مسیر چاه، خرابی تجهیزات ته‌چاهی، مشکلات گردش گل و کنترل چاه را بررسی کرده‌اند. در کنار این موارد، برخی مطالعات به ریسک‌های مدیریتی، اقتصادی، زیست‌محیطی و سازمانی پرداخته‌اند که می‌توانند به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم بر عملکرد پروژه‌های حفاری اثرگذار باشند.

از منظر روش‌شناسی نیز در تحقیقات گذشته از ابزارهای مختلفی مانند تحلیل درخت خطا، تحلیل درخت رویداد، تحلیل حالت شکست و اثرات آن، شبکه بیزی، ماتریس پاسخ به ریسک و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره برای شناسایی، تحلیل و اولویت‌بندی ریسک‌ها استفاده شده است. هر یک از این روش‌ها بخشی از فرآیند مدیریت ریسک را پوشش می‌دهند؛ با این حال، در بسیاری از مطالعات، تمرکز اصلی بر یک گروه خاص از ریسک‌ها یا یک نوع مشخص از عملیات حفاری بوده است.

با بررسی موارد فوق می‌توان دریافت که بخش قابل‌توجهی از تحقیقات انجام‌شده در این حوزه، ریسک‌های فنی یا غیرفنی را به‌صورت جداگانه بررسی کرده‌اند. این موضوع اگرچه موجب تمرکز بیشتر بر یک جنبه خاص از مسئله می‌شود، اما می‌تواند باعث مغفول ماندن ارتباط میان ریسک‌های فنی و غیرفنی در پروژه‌های واقعی حفاری گردد. افزون بر این، در بیشتر مطالعات فنی پیشین، تمرکز بر چاه‌های عمودی، انحرافی یا افقی بوده و مقایسه هم‌زمان ریسک‌های حفاری انحرافی تک‌شاخه و چاه‌های چندشاخه‌ای کمتر مورد توجه قرار گرفته است. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با مقایسه ریسک‌های فنی و

27. Mrozowska
28. Bayesian Network
29. Costello
30. Failure Mode and Effects Analysis (FMEA)
31. Pareto-Lorenz Analysis
32. Wanjun et al.

غیرفنی در دو روش حفاری انحرافی و چندشاخه‌ای، می‌تواند دید جامع‌تری برای تصمیم‌گیری در پروژه‌های حفاری میان‌چاهی فراهم کند.

با توجه به ماهیت پیچیده حفاری چاه‌های انحرافی و چندشاخه‌ای، ارزیابی ریسک در این نوع عملیات تنها به شناسایی خطرات عمومی حفاری محدود نمی‌شود. در این چاه‌ها عواملی مانند پیچیدگی مسیر، افزایش طول تماس رشته حفاری با دیواره چاه، دشواری پاک‌سازی ته‌چاه، حساسیت بیشتر نسبت به کنترل فشار سازند، نیاز به تجهیزات ته‌چاهی مناسب و وابستگی عملیات به تجربه نیروی انسانی، می‌توانند احتمال وقوع ریسک‌های فنی و غیرفنی را افزایش دهند. ازاین‌رو، در پژوهش حاضر تلاش شده است ضمن شناسایی ریسک‌های مؤثر در حفاری چاه‌های انحرافی و چندشاخه‌ای، این ریسک‌ها با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی اولویت‌بندی شده و سپس ریسک‌های فنی دارای اولویت بالاتر با روش پاپیونی از نظر علل، اقدامات کنترلی و پیامدها تحلیل شوند. این رویکرد می‌تواند ارتباط میان نتایج رتبه‌بندی و تصمیم‌گیری عملیاتی در پروژه‌های حفاری میان‌چاهی را روشن‌تر سازد.

۲. روش کار

در این پژوهش نیز با استفاده از ابزارها و روش‌هایی مطابق با ماهیت تحقیق، مسیری برای رسیدن به نتایج صحیح و دقیق ترسیم‌شده است. از همین رو در ادامه به بررسی نوع پژوهش، روش‌های جمع‌آوری داده، ابزارهای جمع‌آوری داده، جامعه آماری ، نمونه آماری ، روش کار و... پرداخته می‌شود.

۱.۲. نوع پژوهش

پژوهش حاضر از نوع کاربردی می‌باشد و ازآنجاکه در این پژوهش از داده‌های تاریخی و پرسشنامه‌ای برای گردآوری اطلاعات استفاده می‌شود می‌توان گفت پژوهش حاضر براساس گردآوری اطلاعات در دسته توصیفی و ازنظر ماهیت داده مورداستفاده به‌صورت ترکیبی طبقه‌بندی می‌شود. شکل زیر گام های اجرای پژوهش را نشان می‌دهد.

شکل ۱. گام‌های اجرای پژوهش[یافته های پژوهش]

۲.۲. ابزار و روش‌های جمع‌آوری داده

ابزارها و روش‌های جمع‌آوری داده شامل موارد زیر است:

- ✓ انجام مطالعات کتابخانه‌ای (مقالات معتبر، پایان‌نامه‌های دانشگاهی، اسناد مرتبط با ریسک‌های موجود در میادین مختلف و چاه‌های انحرافی و چند شاخه‌ای)
- ✓ بررسی و تجزیه‌وتحلیل اسناد مرتبط با حفاری چاه‌های انحرافی موجود در مناطق نفت‌خیز جنوب (دستورالعمل‌های ایمنی، اسناد ارائه‌شده توسط اداره کل ایمنی و گزارشات روزانه حفاری مرتبط با دامنه تحقیق)

- ✓ مصاحبه با کارشناسان و خبرگان اداره کل حفاری مناطق نفت‌خیز جنوب در جهت شناسایی ریسک‌های غیر فنی، مزایا و معایب روش‌های ذکرشده و دلایل عدم پیاده‌سازی تکنولوژی چاه‌های چند شاخه‌ای در صنعت نفت ایران و محدودیت‌های موجود در این مسیر
- ✓ تکمیل پرسشنامه در جهت ارزیابی ریسک‌های دارای اولویت

۳.۲. مشخصات خبرگان و جامعه آماری پژوهش

با توجه به اینکه تکمیل پرسشنامه‌های زوجی توسط افراد خبره و دارای صلاحیت، یکی از عوامل مهم در اعتبار نتایج حاصل از روش تحلیل سلسله‌مراتبی است، در این پژوهش تلاش شد خبرگان از میان افراد دارای تجربه مستقیم در حوزه حفاری، مهندسی حفاری، عملیات چاه، خدمات حفاری و مدیریت پروژه‌های حفاری انتخاب شوند. معیار اصلی انتخاب خبرگان، داشتن سابقه کاری مرتبط با پروژه‌های حفاری و آشنایی عملی با ریسک‌های فنی و غیرفنی موجود در عملیات حفاری چاه‌های انحرافی و چندشاخه‌ای بود.

در مجموع، ۱۳ نفر از خبرگان و متخصصان در فرآیند تکمیل پرسشنامه‌های فنی و غیرفنی مشارکت داشتند. مشخصات کلی این افراد از نظر محل خدمت، سابقه کاری، سطح تحصیلات و رشته یا حوزه تخصصی در جدول شماره (۱) ارائه شده است. به‌منظور رعایت ملاحظات سازمانی و حفظ محرمانگی اطلاعات، از ذکر نام افراد خودداری شده و اطلاعات به‌صورت کلی گزارش شده است.

جدول۱. مشخصات کلی خبرگان مشارکت کننده در پژوهش [یافته‌های پژوهش]

ردیف	شاخص	وضعیت خبرگان
۱	تعداد خبرگان مشارکت کننده	۱۳ نفر
۲	محل خدمت	مناطق نفتخیز جنوب، شرکت ملی حفاری، شرکت حفاری شمال و شرکت حفاری پتروگستر
۳	سطح تحصیلات	۱۲ نفر کارشناسی ارشد ۱ نفر کارشناسی
۴	سابقه کاری	از ۱۰ سال تا ۲۷ سال
۵	حوزه تخصصی	مهندسی نفت، مهندسی حفاری، عملیات حفاری، مدیریت و خدمات
۶	نوع مشارکت	مصاحبه تخصصی و تکمیل پرسشنامه زوجی حفاری

براساس اطلاعات جمع‌آوری‌شده، بیشترین سهم خبرگان مربوط به شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب با حدود ۵۴ درصد بوده و پس از آن شرکت ملی حفاری، شرکت حفاری شمال و شرکت حفاری پتروگوهر قرار داشته‌اند. همچنین، از نظر سطح تحصیلات، حدود ۹۲ درصد افراد دارای مدرک کارشناسی ارشد و حدود ۸ درصد دارای مدرک کارشناسی بوده‌اند. بررسی سابقه کاری نیز نشان داد که بیشتر پاسخ‌دهندگان دارای تجربه عملی قابل‌توجه در حوزه حفاری و خدمات چاه بوده‌اند. این ترکیب نشان می‌دهد که ارزیابی ریسک‌ها بر پایه دیدگاه افرادی انجام شده است که هم از نظر تحصیلات دانشگاهی و هم از نظر تجربه عملی، با موضوع پژوهش ارتباط مستقیم داشته‌اند.

در فرآیند تحلیل پرسشنامه‌های زوجی، نظر همه خبرگان مشارکت‌کننده با وزن یکسان در نظر گرفته شد. دلیل این امر آن بود که تمامی افراد انتخاب‌شده دارای سابقه کاری مرتبط، تجربه عملی در حوزه حفاری و آشنایی تخصصی با ریسک‌های فنی و غیرفنی عملیات حفاری بودند. بنابراین، پس از جمع‌آوری پرسشنامه‌ها، قضاوت‌های خبرگان بدون اعمال ضریب ترجیحی برای فرد یا سازمان خاصی وارد فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی شد و نتایج نهایی بر اساس تجمیع دیدگاه خبرگان و محاسبات نرم‌افزار اکسپرت چویس به‌دست آمد.

۴.۲. روش تحلیل سلسله مراتبی

تحلیل سلسله مراتبی یک روش بر پایه ابزار ریاضی است که به‌منظور پردازش ترجیحات شخصی و ذهنی یک فرد یا گروه در زمینه های مختلف استفاده می‌شود که در اوایل دهه ۱۹۸۰ توسط توماس ساعتی توسعه یافت [۱۲]. با استفاده از این روش می‌توان تصمیم‌گیری‌های پیچیده و چندلایه را به ساختار سلسله مراتبی ساده و قابل‌فهم تبدیل کرد. در این روش پس از توسعه مدل و مشخص شدن هدف، معیارها، شاخص‌ها و گزینه‌های موردنظر با استفاده از نظر و قضاوت خبرگان در قالب پرسشنامه‌های زوجی به‌صورت دو به دو مقایسه می‌شوند [۱۳].

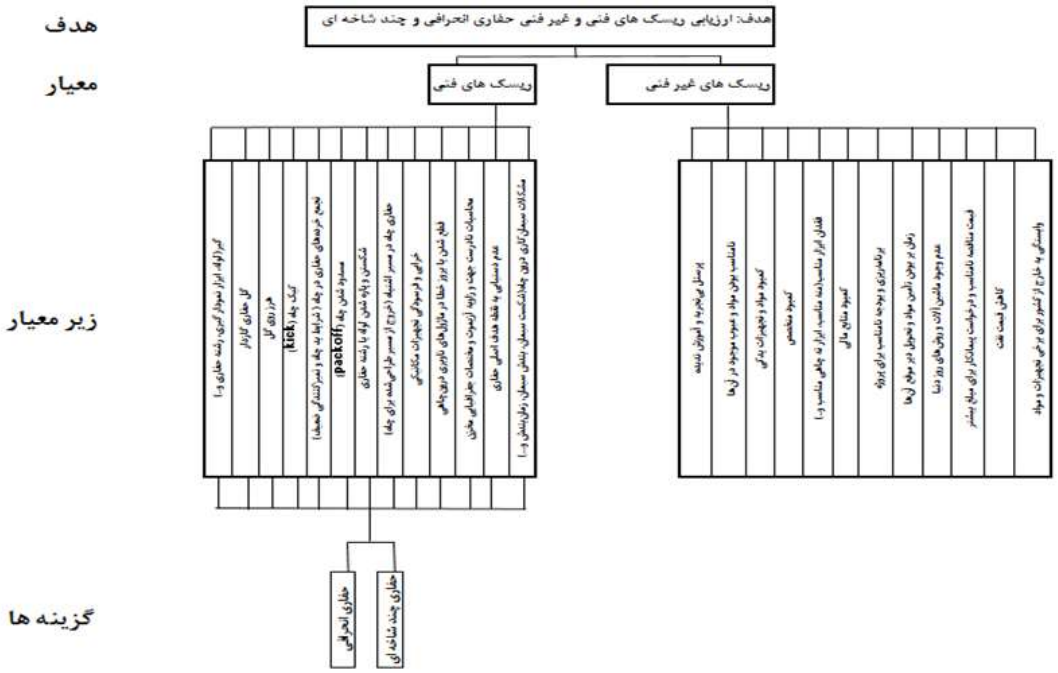
۵.۲. تعریف ۳ مرحله اصلی تحلیل سلسله مراتبی با در نظر گرفتن موضوع پژوهش

سه مرحله‌ی اصلی روش سلسله مراتبی را با در نظر گرفتن موضوع پژوهش می‌توان به‌صورت زیر تعریف کرد:

۱) هدف (ارزیابی و رتبه‌بندی ریسک‌ها)، شاخص‌ها (فنی و غیر فنی)، معیارهای فرعی (ریسک‌های فنی و غیر فنی)، گزینه‌ها (حفاری انحرافی و چند شاخه‌ای)

۲) در این پژوهش ۱۳ ریسک فنی و ۱۲ ریسک غیر فنی شناسایی شد که پس از طراحی و قرار گرفتن ریسک‌ها در پرسشنامه زوجی، تعداد ۷۸ مورد مقایسه میان ریسک‌های فنی و ۶۶ مورد مقایسه میان ریسک‌های غیر فنی به انضمام ۱۳ مورد مقایسه ریسک‌ها با گزینه‌های پژوهش ایجاد شد.

۳) به‌منظور ارزیابی، وزن دهی و رتبه‌بندی نهایی ریسک‌ها از برنامه اکسپرت‌چویس استفاده شد.



شکل ۲. هدف، معیار و زیر معیار ریسک‌های فنی و غیر فنی[یافته های پژوهش]

۶.۲. پرسشنامه زوجی مورداستفاده در تحلیل سلسله مراتبی

در پرسشنامه زوجی مورداستفاده در تحلیل سلسله مراتبی که به منظور نشان دادن ارجحیت ریسک‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد دارای دامنه متغیر یک تا نه است که عدد یک در این پرسشنامه نشان از اهمیت یکسان ریسک‌ها نسبت به یکدیگر می‌دهد و عدد نه بیشترین مقدار ارجحیت یک ریسک نسبت به ریسک دیگر را نشان می‌دهد. به‌طور خلاصه اعداد موجود در پرسشنامه زوجی و مفهوم آن‌ها به‌صورت مختصر در جدول ۲ آمده است [۱۴].

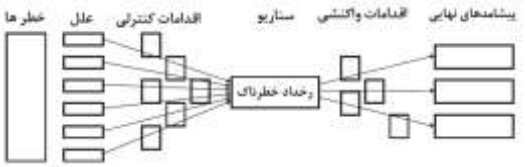
جدول ۲. طیف ۹ درجه ساعتی[۱۴]

ارزش	وضعیت مقایسه عنصر *i* نسبت به *j*	توضیح
۱	ترجیح یکسان (*Equally Preferred*)	عنصر *(i)* و *(j)* اهمیت برابر دارند.
۳	کمی ارجح (*Moderately Preferred*)	عنصر *(i)* از *(j)* کمی مهم‌تر است.
۵	خیلی ارجح (*Strongly Preferred*)	عنصر *(i)* از *(j)* مهم‌تر است.

۷	خیلی زیاد ارجح (*Very Strongly Preferred*)	عنصر *(i)* از *(j)* خیلی مهم‌تر است.
۹	کاملاً ارجح (*Extremely Preferred*)	عنصر *(i)* از *(j)* کاملاً مهم‌تر است.
۲،۴،۶،۸	بینابین	ارزش‌های بینابین را نشان می‌دهد.

۷.۲. روش پاپیونی

روش پاپیونی یکی از روش‌های آنالیز ریسک است. این روش با ترکیب آنالیز درخت خطا در سمت چپ رخداد و آنالیز درخت رخدادها در سمت راست، دید کامل و شفافی از خطرات، علل پیدایش خطرات، اقدامات کنترلی، اقدامات واکنشی و اثر هر ریسک ارائه می‌دهد [۱۵].



شکل ۳. دیاگرام روش پاپیونی

۳. نتایج و بحث

همانگونه که ذکر گردید در این پژوهش از گزارشات مربوط به مشکلات به وجود آمده حین حفاری چاه ها در ۳ میدان و نظر متخصصان به همراه منابع کتابخانه ای به منظور شناسایی ریسک ها استفاده گردیده است. مشکلات شناسایی شده با استفاده از گزارشات حفاری با توجه به اندازه حفره ها طبقه بندی شده اند که عبارتند از:

جدول ۳. ریسک‌های موجود در حفره‌های مختلف [یافته‌های تحقیق]

اندازه حفره	ریسک ها و مشکلات
	افت فشار، شوئیدگی لوله حفاری و...
	افتادن مانده در چاه
$17\frac{1}{2}$	تنگی چاه
	گیرلوله
	گشتاور بالا بر لوله
	برش گاز گل
	عدم موفقیت در اجرای کنارگذر
	شکستن یا پارگی لوله براثر چرخش
	از دست رفتن گل حفاری
$12\frac{1}{4}$	تنگی چاه
	گیرلوله
	از دست رفتن کامل گل حفاری
	گشتاور بالا بر لوله
	فوران(کیک)
	شکستن یا پارگی لوله بر اثر چرخش
	برش گاز گل
$8\frac{3}{8}$	گیرلوله
	افت فشار، شوئیدگی لوله حفاری و...
	از دست رفتن گل حفاری
	برش گاز گل
	تمیزی نامناسب ته چاه
	گشتاور بالا بر لوله
	تنگی چاه
	شکستن یا پارگی لوله بر اثر چرخش
$6\frac{1}{8}$	تنگی چاه
	گیرلوله
	از دست رفتن گل حفاری
	بسته شدن جریان گل
	فوران
$5\frac{7}{8}$	افزایش حجم گل مخازن
	برش گاز گل
	از دست رفتن گل حفاری
	از دست رفتن کامل گل حفاری
	گیرلوله
	شکستن یا پارگی لوله بر اثر چرخش
$4\frac{1}{8}$	از دست رفتن گل حفاری
	شکستن یا پارگی لوله بر اثر چرخش

با در نظر گرفتن ریسک‌های شناسایی‌شده از چاه‌های میادین گازی، ریسک‌های زیر با استفاده از نظر متخصصان در جهت تکمیل مرحله‌ی شناسایی ریسک و با هدف ارائه ریسک‌های

واقعی و عملی موجود در مجموعه مناطق نفت‌خیز جنوب (به‌عنوان بزرگترین شرکت تولیدکننده نفت) و شرکت ملی حفاری (به‌عنوان بزرگترین شرکت پیمانکار در زمینه حفاری و خدمات چاه‌ها)، صورت گرفت. ریسک‌های شناسایی‌شده در بخش فنی به‌صورت موردی در جدول ۴ آورده شده‌اند.

جدول ۴. ریسک‌های شناسایی‌شده فنی در حفره‌های مختلف با توجه به نظر متخصصان [یافته‌های تحقیق]

ردیف	اندازه حفره	ریسک
۱	۱۷.۵"	ریسک برخورد با سازندهای نرم
۲	۱۲.۲۵"	ریسک وزن بالای گل
۳	۱۲.۲۵"	پلاگ شدن وسایل حفاری جهت‌دار در چاه
۴	۸.۳۷۵"	ریسک هرزروی‌های شدید گل
۵	حفره‌های انحرافی	تمیز سازی نامناسب چاه
۶	حفره‌های انحرافی	محاسبات نادرست جهت و زاویه آزیموت و مختصات جغرافیایی مخزن
۷	تمام حفره‌ها	حفاری چاه در مسیر اشتباه

همچنین، ریسک‌های شناسایی‌شده در بخش غیرفنی به‌صورت موردی در جدول ۵ ذکر شده‌اند.

جدول ۵. ریسک‌های شناسایی‌شده غیرفنی با توجه به نظر خبرگان[یافته‌های تحقیق]

ردیف	ریسک
۱	پرسنل بی‌تجربه و آموزش ندیده
۲	نامناسب بودن مواد و عیوب موجود در آن‌ها
۳	فقدان ابزار مناسب (مته مناسب، ابزار ته چاهی مناسب و..)
۴	زمان‌بر بودن تأمین مواد و تحویل دیر موقع آن‌ها
۵	وابستگی به خارج از کشور برای برخی تجهیزات و مواد

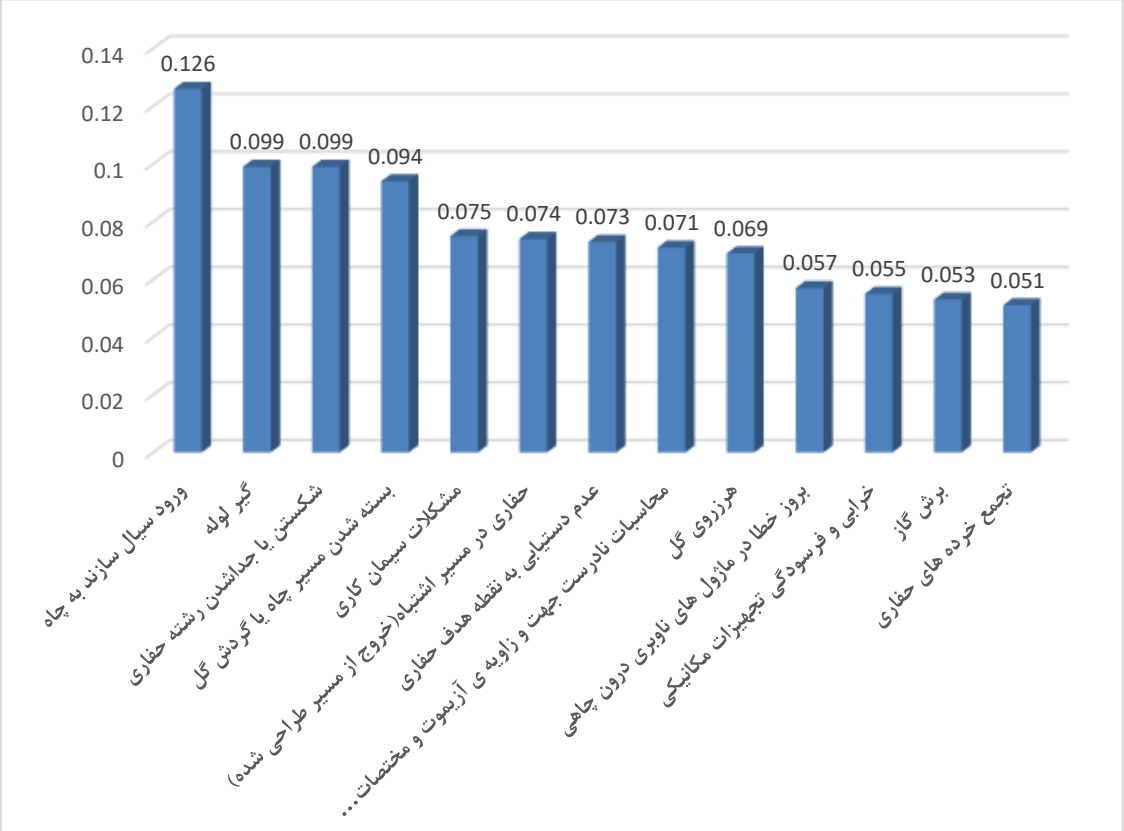
۱.۳. رتبه بندی ریسک های فنی

در این بخش پس از انجام رتبه‌بندی با استفاده از روش *AHP* و نرم‌افزار اکسپرت چویس، نتایج در قالب جدول ۶ و شکل ۴ ارائه‌شده است.

جدول ۶. نتایج رتبه‌بندی ریسک‌های فنی در نرم‌افزار اکسپرت چویس [یافته‌های تحقیق]

وزن	گزینه ها	نرخ ریسک	معیار فرعی	معیار
۰.۳۳۹	انحرافی تک شاخه	۰.۱۲۶	ورود سیال سازند به چاه (Kick)	ریسک های فنی
۰.۶۶۱	چند شاخه‌ای			
۰.۳۸۴	انحرافی تک شاخه	۰.۰۹۹	گیر لوله	
۰.۶۱۶	چند شاخه‌ای			
۰.۴۴	انحرافی تک شاخه	۰.۰۹۹	شکستن یا جداشدن رشته حفاری	
۰.۵۶	چند شاخه‌ای			
۰.۳۸۶	انحرافی تک شاخه	۰.۰۹۴	بسته شدن مسیر چاه یا گردش گل	
۰.۶۱۴	چند شاخه‌ای			
۰.۳۵	انحرافی تک شاخه	۰.۰۷۵	مشکلات سیمان کاری	
۰.۶۵	چند شاخه‌ای			
۰.۳۹۲	انحرافی تک شاخه	۰.۰۷۴	حفاری در مسیر اشتباه (خروج از مسیر طراحی شده)	
۰.۶۰۸	چند شاخه‌ای			

۰.۳۷۱	انحرافی تک شاخه	۰.۰۷۳	عدم دستیابی به نقطه هدف حفاری	
۰.۶۲۹	چند شاخه‌ای			
۰.۳۳۹	انحرافی تک شاخه	۰.۰۷۱	محاسبات نادرست جهت و زاویه‌ی آزیموت و مختصات جغرافیایی مخزن	
۰.۶۶۱	چند شاخه‌ای			
۰.۳۸۴	انحرافی تک شاخه	۰.۰۶۹	هرزروی گل	
۰.۶۱۶	چند شاخه‌ای			
۰.۴۸۶	انحرافی تک شاخه	۰.۰۵۷	بروز خطا در ماژول های	
۰.۵۱۴	چند شاخه‌ای		ناوبری درون چاهی	
۰.۴۵۷	انحرافی تک شاخه	۰.۰۵۵	خرابی و فرسودگی تجهیزات مکانیکی	
۰.۵۴۳	چند شاخه‌ای			
۰.۴۴۸	انحرافی تک شاخه	۰.۰۵۳	برش گاز	
۰.۵۵۲	چند شاخه‌ای			
۰.۴۰۶	انحرافی تک شاخه	۰.۰۵۳	تجمع خرده های حفاری	
۰.۵۹۴	چند شاخه‌ای			



شکل ۴. نمودار رتبه‌بندی ریسک‌های فنی با روش AHP [یافته‌های تحقیق]

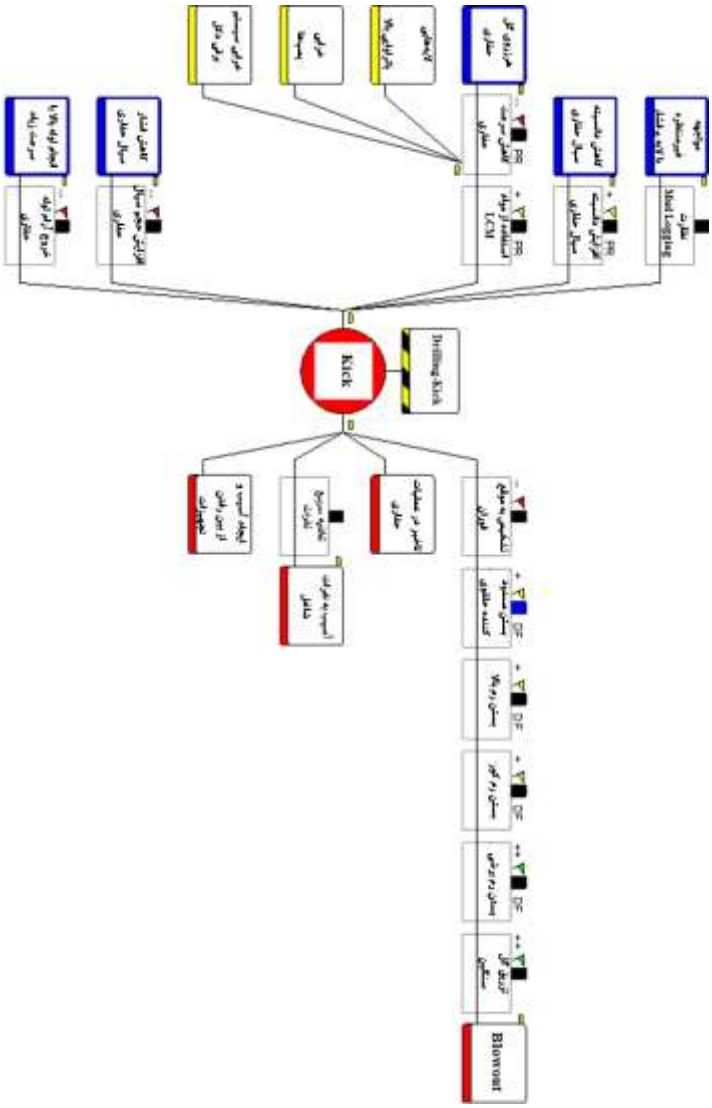
همان‌گونه که در جدول ۶ و شکل ۴ مشخص است ریسک ورود سیال سازند به چاه (*Kick*) در چاه با بیشترین اهمیت، جایگاه اول را در رتبه‌بندی ریسک‌ها به دست آورد و پس از آن گیر لوله، شکستن یا جدا شدن رشته حفاری بیشترین نرخ را در محاسبات نرم‌افزار اکسپرت چویس به دست آوردند.

۱.۱.۳. رسم نمودار پاپیونی برای دو ریسک برتر فنی

پس از رتبه‌بندی ریسک‌های فنی، جایگاه هر ریسک از نظر اهمیت آن مشخص گردید که در این پژوهش، دو ریسک فنی‌ای که از سایرین مهم‌تر بودند با استفاده از نمودار پاپیونی و در قالب نرم‌افزار *Bow-Tie pro* از نظر تهدیدها، پیامدها و اقدامات کنترلی‌ای که قبل از و بعد از بروز ریسک می‌توان انجام داد تشریح شده است.

۱.۱.۱.۳. ورود سیال سازند به چاه (Kick) و پیامد احتمالی فوران

با توجه به نتایج حاصل از پژوهش، ریسک ورود سیال سازند به چاه در فرآیند حفاری، جایگاه اول را از نظر اهمیت به دست آورده است. لذا با استفاده از نظر کارشناسان و متخصصان، اقدامات کنترلی جهت پوشش ریسک در قالب نرم‌افزار *Bow-Tie Pro* انجام و در یک نمودار پاپیونی ارائه‌شده است که در شکل ۵ می توان آن را مشاهده نمود.



شکل ۵. نمودار Bow-Tie **مربوط به ریسک ورود سال سازند به چاه** (Kick) **و پیامد احتمالی بروز فوران** [**یافته‌های تحقیق**]

در این نمودار به ترتیب از چپ به راست موارد زیر بررسی‌شده است:

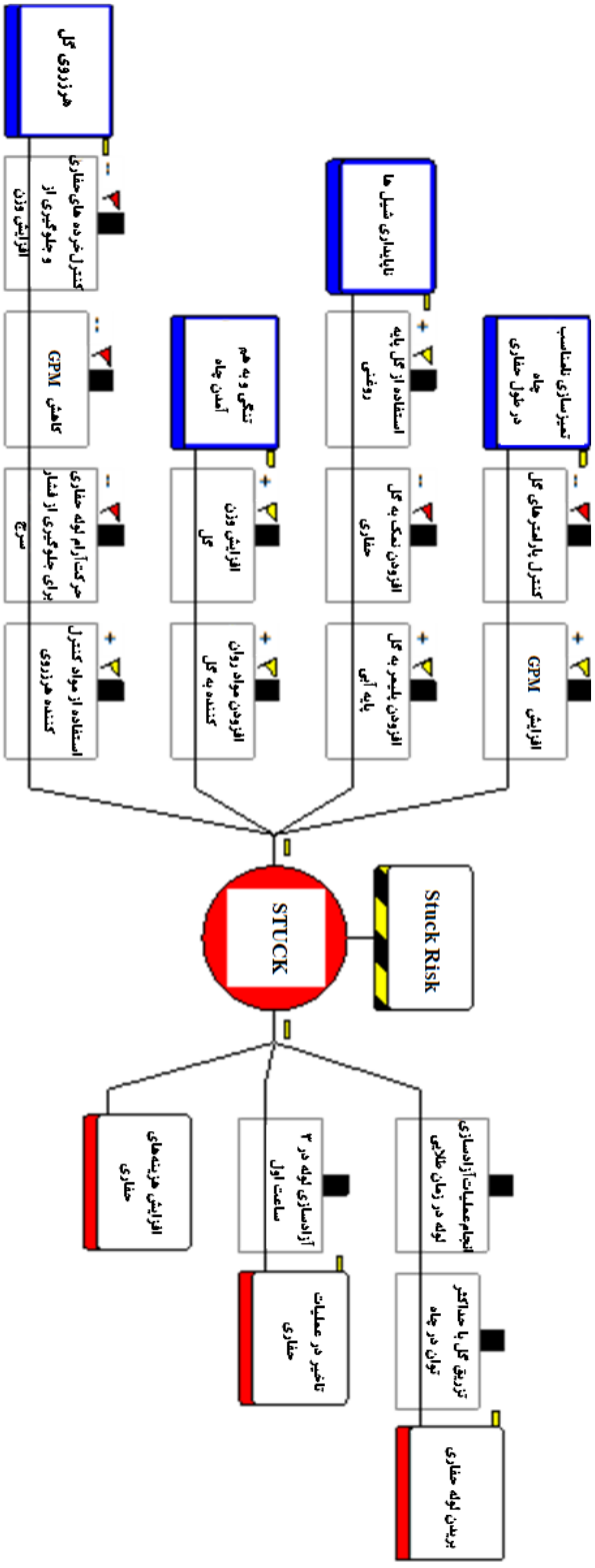
۱) دلایل ورود سیال سازند به چاه (مستطیل‌های آبی)
۲) موارد تشدیدکننده (مستطیل‌های زرد رنگ)
۳) اقدامات کنترلی که می‌توان برای جلوگیری بروز ورود سیال سازند به چاه از آن‌ها استفاده کرد (مستطیل‌های سفید رنگ)
۴) پیامدهای بروز ریسک (مستطیل‌های قرمز رنگ)

تحلیل نمودار پاپیونی ریسک ورود سیال سازندی به چاه نشان می‌دهد که این ریسک از یک‌سو با عوامل فنی مانند نامناسب

بودن وزن گل، تغییرات فشار سازند، خطا در پایش علائم ورود سیال و ضعف در کنترل چاه ارتباط دارد و از سوی دیگر، در صورت عدم کنترل به‌موقع، می‌تواند پیامدهای شدیدتری مانند فوران چاه، آسیب به تجهیزات، توقف عملیات، افزایش هزینه‌ها و ایجاد خطرات ایمنی و زیست‌محیطی را به همراه داشته باشد. بنابراین، قرار گرفتن این ریسک در رتبه نخست نتایج *AHP* قابل توجیه است؛ زیرا کنترل فشار چاه و جلوگیری از ورود ناخواسته سیال سازند به داخل چاه، یکی از حساس‌ترین بخش‌های عملیات حفاری محسوب می‌شود. بر این اساس، اقداماتی مانند طراحی مناسب وزن گل، پایش مستمر فشار و حجم گل، آموزش تیم حفاری، آمادگی تجهیزات کنترل چاه و واکنش سریع به علائم اولیه کیک، نقش مهمی در کاهش احتمال تبدیل ورود سیال سازندی به چاه (*Kick*) چاه به فوران چاه دارند.

۲.۱.۱.۳. گیر لوله

همانطور که مشاهده گردید در نتایج حاصل از رتبه‌بندی ریسک‌ها توسط نرم‌افزار اکسپرت چویس، ریسک گیر لوله در جایگاه دوم قرار گرفت. با توجه به اهمیت ریسک مذکور، بررسی علل بروز این ریسک، اقدامات کنترلی و پیامدهای ناشی از آن، در قالب نمودار پاپیونی و با استفاده از نرم‌افزار *Bow-Tie Pro* صورت پذیرفت که در شکل ۶ می‌توان نتایج حاصل از آن را مشاهده کرد.



شکل ۶. نمودار Bow-Tie مربوط به ریسک گیر لوله در فرآیند حفاری[یافته‌های تحقیق]

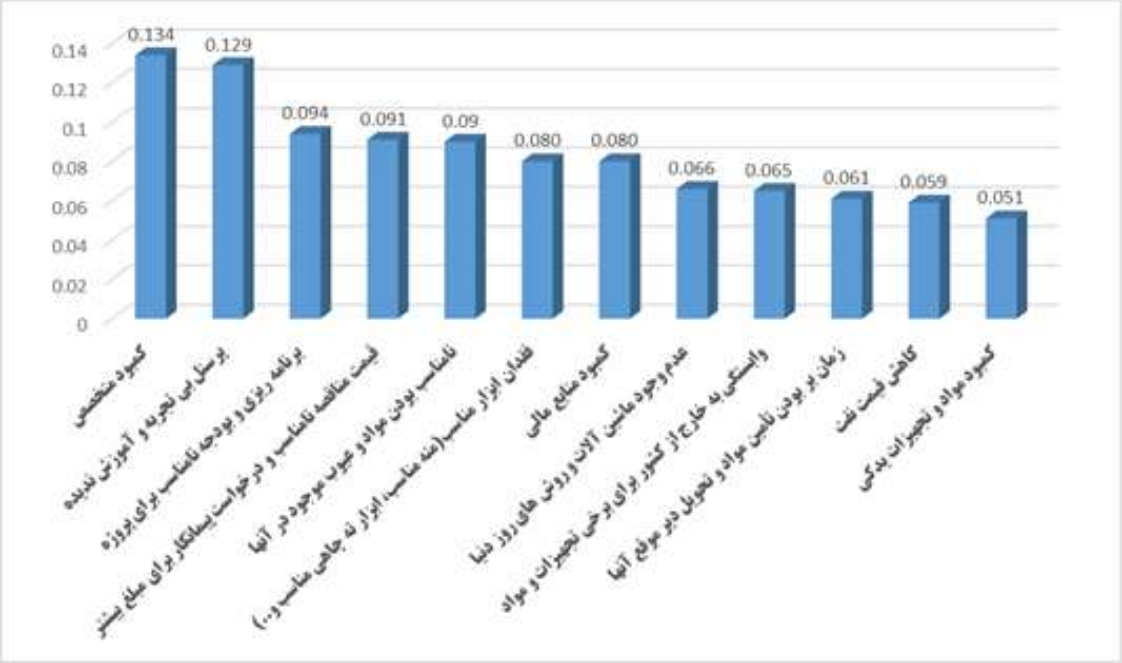
تحلیل نمودار پاپیونی ریسک گیر لوله نشان می‌دهد که این ریسک معمولاً حاصل ترکیب چند عامل عملیاتی و زمین‌شناسی از جمله ناپایداری دیواره چاه، پاک‌سازی نامناسب ته‌چاه، تجمع خرده‌های حفاری، افزایش گشتاور و کشش، انتخاب نامناسب پارامترهای حفاری و پیچیدگی مسیر چاه است. اهمیت بالای این ریسک در رتبه‌بندی *AHP* به‌ویژه در چاه‌های انحرافی و چندشاخه‌ای قابل توجه است؛ زیرا با افزایش زاویه انحراف و طول تماس رشته حفاری با دیواره چاه، احتمال بروز گیر لوله افزایش می‌یابد. پیامدهای این ریسک می‌تواند شامل توقف عملیات، افزایش زمان غیرمولد، نیاز به عملیات آزادسازی، آسیب به رشته حفاری و افزایش هزینه‌های پروژه باشد. ازاین‌رو، کنترل مسیر چاه، بهینه‌سازی برنامه گل حفاری، پاک‌سازی مناسب چاه، پایش گشتاور و کشش و انتخاب صحیح تجهیزات ته‌چاهی از اقدامات مهم برای کاهش احتمال وقوع این ریسک محسوب می‌شوند.

۲.۳. رتبه بندی ریسک های غیرفنی

نتایج حاصل از رتبه‌بندی با استفاده از روش AHP و نرم‌افزار اکسپرت چویس، در قالب جدول ۷ و شکل ۷ ارائه‌شده است.

جدول۷. نتایج رتبه‌بندی ریسک‌های غیر فنی در نرم‌افزار اکسپرت چویس[یافته‌های تحقیق]

نرخ ریسک	معیار فرعی	معیار
۰.۱۳۴	کمبود متخصص	ریسک های غیرفنی
۰.۱۲۹	پرسنل بی تجربه و آموزش ندیده	
۰.۰۹۴	برنامه ریزی و بودجه نامناسب برای پروژه	
۰.۰۹۱	قیمت مناقصه نامناسب و درخواست پیمانکار برای مبلغ بیشتر	
۰.۰۹	نامناسب بودن مواد و عیوب موجود در آن-ها	
۰.۰۸۰	فقدان ابزار مناسب (مته مناسب، ابزار ته چاهی مناسب و..)	
۰.۰۸۰	کمبود منابع مالی	
۰.۰۶۶	عدم وجود ماشین آلات و روش های روز دنیا	
۰.۰۶۵	وابستگی به خارج از کشور برای برخی تجهیزات و مواد	
۰.۰۶۱	زمان بر بودن تأمین مواد و تحویل دیر موقع آن‌ها	
۰.۰۵۹	کاهش قیمت نفت	
۰.۰۵۱	کمبود مواد و تجهیزات یدکی	



شکل ۷. نمودار رتبه‌بندی ریسک‌های غیرفنی با روش AHP [یافته‌های تحقیق]

۴. نتیجه‌گیری

۱) در این پژوهش به بررسی همه‌جانبه‌ی ریسک در فرآیند حفاری با در نظر گرفتن دو نوع حفاری انحرافی تک شاخه و چاه‌های چندجانبه‌ای پرداخته شد. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد استفاده از روش حفاری چند شاخه‌ای نسبت به حفاری انحرافی تک شاخه ، موجب افزایش نسبی نرخ ریسک در تمام ریسک‌های مذکور می‌گردد، که می‌توان با استفاده از نتایج این پژوهش و سایر تحقیقات مرتبط با این بخش، بررسی‌هایی در ابعاد مختلف ریسک‌های حفاری انحرافی و چند شاخه‌ای انجام داد و مطابق با آن برآوردهای هزینه‌ای ناشی از افزایش نرخ همه ریسک‌ها و به‌خصوص ریسک‌هایی با نرخ بالاتر مانند ورود سیال سازند به چاه و...را به نسبت سودآوری استفاده از روش حفاری چند شاخه‌ای و حفاری تک شاخه در نظر گرفت.

۲) در این پژوهش ضمن ارائه‌ی کامل ریسک‌های مهم فنی و غیر فنی، رتبه‌بندی آن‌ها با استفاده از نظر خبرگان و متخصصان در قالب روش *AHP* و با استفاده از پرسشنامه زوجی انجام‌شده است. مطالعه و تشریح ریسک‌های موجود در این پژوهش، ضمن کمک به پروژه‌های حفاری در جهت شناخت هر چه بیشتر ریسک‌های دارای اهمیت و علل بروز هر ریسک، اقدامات کنترلی و پیامدهای آن، موجب می‌شود مدیران چالش‌ها و ریسک‌های موجود در این زمینه و شاخص‌ها و زیر شاخص‌های هر ریسک را بهتر درک کنند. به‌علاوه از آنجایی‌که در این پژوهش، ریسک‌های غیر فنی موجود در سایر بخش‌های مرتبط با عملیات نیز شناسایی و رتبه‌بندی شده است، علاوه بر دید فنی و مهندسی، می‌توان ریسک‌ها را از منظر غیر فنی نیز بررسی نمود که این مورد خود باعث افزایش ادراک مدیران در بخش‌های فنی و غیر فنی و نگاه یکپارچه آنان می‌شود. ارزیابی‌های این پژوهش نشان می‌دهد که به همان نسبت که ریسک‌های فنی می‌تواند در بخش‌های مختلف فرآیندهای حفاری ایجاد مشکل کنند ریسک‌های غیر فنی نیز با اثرگذاری در زمانی نسبتاً بیشتر می‌تواند در عملیات حفاری مشکلاتی ایجاد کند؛ به عنوان مثال، کمبود متخصص علاوه بر افزایش احتمال بروز ریسک‌های شناسایی‌شده در بخش فنی مانند ورود سیال سازند به چاه *(Kick)*، باعث افزایش هزینه در بخش‌های مختلف و کاهش سودآوری می‌شود.

نتایج رتبه‌بندی ریسک‌های فنی نشان داد که ورود سیال سازند به چاه (*Kick*)، که در صورت کنترل‌نشدن می‌تواند به فوران چاه منجر شود، و گیر لوله به‌ترتیب مهم‌ترین

ریسک‌های فنی در فرآیند حفاری مورد بررسی هستند. اهمیت بالای این دو ریسک نشان می‌دهد که در حفاری چاه‌های انحرافی و چندشاخه‌ای، کنترل فشار چاه، طراحی مناسب وزن گل، پایش مستمر علائم ورود سیال، پاک‌سازی مناسب چاه، کنترل گشتاور و کشش و انتخاب صحیح تجهیزات ته‌چاهی باید در اولویت برنامه‌ریزی عملیاتی قرار گیرد. از سوی دیگر، نتایج رتبه‌بندی ریسک‌های غیرفنی نشان داد که کمبود متخصص، پرسنل بی‌تجربه و آموزش‌ندیده، و برنامه‌ریزی و بودجه نامناسب از مهم‌ترین عوامل غیرفنی اثرگذار بر افزایش ریسک پروژه‌های حفاری هستند. این نتایج نشان می‌دهد که مدیریت ریسک در حفاری انحرافی و چندشاخه‌ای نباید تنها به کنترل عوامل فنی محدود شود، بلکه لازم است عوامل انسانی، سازمانی، مالی و تأمین تجهیزات نیز به‌صورت هم‌زمان در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی لحاظ شوند.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، می‌توان بیان کرد که افزایش پیچیدگی فنی در حفاری چاه‌های انحرافی و چندشاخه‌ای موجب می‌شود ارتباط میان ریسک‌های فنی و غیرفنی اهمیت بیشتری پیدا کند. ریسک‌هایی مانند کیک چاه، گیر لوله و مشکلات مسیر چاه به‌صورت مستقیم با شرایط عملیاتی و طراحی حفاری مرتبط هستند، اما عواملی مانند کمبود متخصص، ضعف آموزش، تأخیر در تأمین تجهیزات و محدودیت‌های مالی می‌توانند احتمال وقوع یا شدت پیامدهای همین ریسک‌های فنی را افزایش دهند. ازاین‌رو، استفاده از نتایج این پژوهش می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیران کمک کند تا پیش از اجرای پروژه‌های حفاری انحرافی و چندشاخه‌ای، منابع انسانی، تجهیزات، برنامه‌ریزی عملیاتی و اقدامات کنترلی را متناسب با ریسک‌های دارای اولویت تنظیم کنند.

۵. سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله بر خود لازم می دانیم از زحمات جناب آقای مهندس سعادت زاده، جناب آقای مهندس عیدی پور، جناب آقای مهندس عالیوند، جناب آقای مهندس صالح نژاد و کارمندان بخش مهندسی حفاری شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب و کارمندان بخش مهندسی شرکت ملی حفاری که در بخش‌های مختلف این پژوهش نقش‌آفرینی کردند تشکرنماییم.

۶. مراجع

[1] Suslick, S. B., Schiozer, D., & Rodriguez, M. R. (2009). Uncertainty and risk analysis in petroleum exploration and production. Terrae, 6(1), 30-41

[2] Baker R. & University of Texas at Austin Petroleum Extension Service. (2008). a primer of oilwell drilling : a basic text of oil and gas drilling (7th Ed.). Petroleum Extension Service Continuing & Extended Education University of Texas at Austin.

[3] Alusta, G., Mackay, E., Fennema, J., & Collins, I. (2011, July). EOR vs. Infill Well Drilling: How to Make the Choice? In SPE Enhanced Oil Recovery Conference. OnePetro.

[4] Yanping, Z., Rongquan, R., Hui, W., & Jun, W. (2009). Multilateral drilling & completion technology based on Solid Expandable Tubular fixing system. Petroleum Exploration and Development, 36(6), 768-775.

[5] Krechowicz, M. (2020). Comprehensive risk management in horizontal directional drilling projects. Journal of construction engineering and management, 146(5), 04020034.

[6] Gorlenko, N., Murzin, M., & Belyaevsky, R. (2020). Assessment of environmental risks at oil and gas production companies using an integrated method. In E3S Web of Conferences (Vol. 174, p. 02033). EDP Sciences.

[7] Krechowicz, M. (2021). The hybrid Fuzzy Fault and Event Tree analysis in the geotechnical risk management in HDD projects. Georisk: Assessment and Management of Risk for Engineered Systems and Geohazards, 15(1), 12-26.

[8] Mrozowska, A. (2021). Formal Risk Assessment of the risk of major accidents affecting natural environment and human life, occurring as a result of offshore drilling and production operations based on the provisions of Directive 2013/30/EU. Safety science, 134, 105007.

[9] Costello, M. (2021). Managing risks through ALARP in offshore oil and gas operations (Doctoral dissertation, Memorial University of Newfoundland.(

[10] Krechowicz, M., Gierulski, W., Loneragan, S., & Kruse, H. (2022). External Risk Factors Evaluation in Horizontal Directional Drilling Technology Using Failure Mode and Effect Analysis. Management and Production Engineering Review, 13(1).

[11] Wanjun, H., Wenhe, X., Yongjie, L., JIANG, J., Gao, L. I., & Yijian, C. (2022). An intelligent identification method of safety risk while drilling in gas drilling. Petroleum Exploration and Development, 49(2), 428-437.

[12] Saaty, T. L. (2001). Fundamentals of the analytic hierarchy process. The analytic hierarchy

process in natural resource and environmental decision making, 15-35.
[13] Tesfamariam, S., & Sadiq, R. (2006). Risk-based environmental decision-making using fuzzy analytic hierarchy process (F-AHP). Stochastic Environmental Research and Risk Assessment, 21, 35-50.
[١٤] ایزدیار، صدیقه، حبیبی، آرش و سرافرازی، اعظم (١٣٩٣). کتاب تصمیم گیری چند معیاره.
[15] Ostrom, L. T., & Wilhelmsen, C. A. (2019). Risk assessment: tools, techniques, and their applications: John Wiley & Sons.