



بهینه‌سازی عملیات حفاری از طریق مدیریت ریسک حفاری و طراحی مسیر چاه

علی طهماسبی^۱؛ نادر دشتی^{۲*}؛ سید شهاب‌الدین آیت الهی^۳؛ ریاض خراط^۴

۱- کارشناس ارشد؛ دانشکده نفت تهران، دانشگاه صنعت نفت

۲- استادیار؛ دانشکده نفت تهران، دانشگاه صنعت نفت

۳- استاد؛ دانشکده‌ی مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف

۴- استاد؛ دانشکده نفت تهران، دانشگاه صنعت نفت

دریافت دست‌نوشته: ۱۳۹۵/۱۲/۲۸؛ پذیرش دست‌نوشته: ۱۳۹۶/۰۴/۱۷

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22107/JPG.2017.49775

واژگان کلیدی	چکیده
مدیریت ریسک، حفاری، نقشه سه بعدی، ریسک فرم جامع، ضریب چالش، مسیر چاه	تلاش در جهت مدیریت ریسک‌های حفاری می‌تواند دستاوردهای قابل توجهی در جهت به حداقل رساندن هزینه‌ها و بهبود سرعت حفاری داشته باشد. هدف این مقاله بیان نحوه صحیح اجرای مراحل مدیریت ریسک حفاری در جهت بهینه‌سازی عملیات است. شناسایی، ارزیابی و اولویت‌بندی مراحل هستند که منجر به تشکیل ریسک فرم جامع حفاری می‌شوند. در ریسک فرم جامع حفاری تمام ریسک‌ها در کنار سازند محل وقوع، احتمال وقوع و شدت تأثیر آن‌ها به ترتیب ضریب چالش مرتب شده‌اند. در مرحله برنامه‌ریزی، تمرکز این مطالعه بر روی جلوگیری از وقوع ریسک‌ها در حفاری‌های آینده است. به عنوان یک روش جدید در جهت دور ماندن از وقوع ریسک، با کمک گرفتن از روش زمین آماری کریجینگ، یک نقشه سه بعدی از سرعت حفاری در تمام میدان تشکیل شد که در آن میزان سرعت حفاری در نقاط مختلف میدان و در عمق‌های مختلف زمین نشان داده می‌شود. این نقشه با نشان دادن تفاوت سرعت در نقاط مختلف، در حالی که به صورت ضمنی نقاط پر ریسک و کم ریسک را نشان می‌دهد، می‌تواند برای تعیین مسیر بهینه چاه در حفاری‌های آینده مورد استفاده قرار گیرد.

تعیین زمان حفاری به عوامل مختلفی از جمله سرعت چرخش میز دوار (Johnston, 1995)، نوع مته، وزن روی مته (Bahari et al., 2007)، خصوصیات گل و مشخصات سنگ بستگی دارد. هر چه سرعت نفوذ مته بالاتر رود، عملیات حفاری در زمان کمتری خاتمه می‌یابد. مدت زمانی که به خاطر از دست رفتن تجهیزات و سیالات از دست می‌رود را زمان‌های غیر تولیدی می‌نامند (Aldred et al., 1999). مدیریت ریسک‌های حفاری می‌تواند در جهت کاهش این زمان‌های تلف شده بسیار مفید باشد.

هرزروی گل، ناپایداری دیواره چاه، چسبیدن لوله‌های حفاری از جمله چالش‌هایی است که در زمان حفاری به وقوع پیوسته و هزینه‌ها را افزایش می‌دهند. کاهش زمان حفاری می‌تواند تا ۲۰ میلیون دلار در بهبود هزینه‌های حفاری تأثیرگذار باشد (Kristiansen et al., 2010). قبل از اینکه

۱. پیش‌گفتار

بخش حفاری به عنوان کلید فتح مخازن نفتی را، شاید بتوان مهم‌ترین و پرچالش‌ترین بخش از مراحل توسعه مخازن نفتی دانست؛ که بخش عمده‌ای از هزینه‌های توسعه مخازن را به خود اختصاص می‌دهد. کاهش هزینه‌های حفاری و به حداقل رساندن آن‌ها گامی مهم در جهت به حداقل رساندن هزینه‌های توسعه‌ای میدان به خصوص در شرایط نامناسب قیمت نفت است. هزینه‌های حفاری در مخازن دارای عملیات حفاری پیچیده بسیار بالاست؛ به گونه‌ای که بسیاری از شرکت‌ها به منظور تقسیم ریسک‌های سرمایه‌گذاری تشکیل گروه می‌دهند (Bourgoyne et al., 1986). چالش‌های حفاری به عنوان یکی از اصلی‌ترین دلایل طولانی شدن حفاری و بالا رفتن هزینه‌ها در این تحقیق مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. سرعت نفوذ مته به عنوان یکی از پارامترهای مؤثر در

ریسک‌ها به مشکلی تبدیل شوند که تأثیر نامناسب روی پروژه بگذارند بایستی مورد شناسایی قرار گیرند. برای دستیابی به یکپارچگی چاه، شناسایی و ارزیابی ریسک‌هایی که اتفاقات غیرمنتظره‌ای را در پی دارند، لازم و ضروری است (Dethlefs *et al.*, 2012). آنالیز ریسک‌ها به معنی تبدیل داده‌های ریسک به اطلاعات قابل تصمیم‌گیری، در مرحله بعد از شناسایی آن‌ها است. به همین منظور ریسک‌ها از دو جهت احتمال و شدت مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. هدف از هر فعالیتی که در جریان عملیات حفاری صورت می‌گیرد، بایستی کاهش اتلاف و تأثیرات نامناسب آن‌ها باشد (Baumann *et al.*, 2012).

اخیراً برای کمک به بهبودسازی عملیات حفاری از مدل-سازی حفاری چاه‌ها نیز کمک گرفته می‌شود (Cayeux *et al.*, 2012). در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی، برای اجتناب از وقوع ریسک و همچنین کاهش اثر آن تلاش می‌شود. دور ماندن از ریسک‌ها به چگونگی عملکرد افراد مختلف در شرایط یکسان خطر اشاره دارد (Atkinson, 1957) و (Thomas, 2013). اجرای درست فرایند دور ماندن از وقوع چالش‌ها، هزینه‌های توسعه-ای را به شدت کاهش می‌دهد و اجازه می‌دهد که میلیون‌ها دلار به درستی مصرف شوند (Aldred *et al.*, 1999).

روش‌های بسیاری برای تخمین میزان داده‌های نامعلوم از روی داده‌های مشاهده‌ای اطراف وجود دارد (Linchtenstern, 2013). روش کریجینگ ۱۹۶۳ یکی از همین روش‌هاست که در این تحقیق به منظور تخمین سرعت حفاری در مکان‌هایی که چاه وجود ندارد از آن استفاده شده است. روش کریجینگ بر پایه روش واریوگرام (Webster *et al.*, 2007) استوار است. در این روش فرض اصلی آن است که موقعیت نقاط (داده‌های عددی) نسبت به هم عامل مؤثر در تعیین مقدار نقاط نامعلوم می‌باشد (Wackernagel, 2013). در این روش هر چه دو نقطه از نظر مکان به هم نزدیک‌تر باشند، مقدار عددی نزدیک‌تری به هم دارند (Linchtenstern, 2013).

۲. مبانی نظری مدیریت ریسک

مدیریت ریسک بخش جدا نشدنی در موفقیت یک پروژه است؛ که اگر طی فعالیت یک پروژه به موقع آغاز شود، سودمند بوده و می‌تواند ابزار قدرتمندی برای شناسایی زود هنگام ضعف‌ها باشد تا تیم مدیریت بتواند برنامه‌های عملیاتی را جهت اداره کردن ریسک‌ها سازماندهی نموده و از تبدیل شدن آن‌ها به

مسئله‌ای بزرگ در آینده جلوگیری کند؛ به عبارت دیگر، اصلی‌ترین هدف از اجرای مراحل مدیریت ریسک، ممانعت از تبدیل شدن مشکلات کوچک به اتفاقات جبران ناپذیر است (Aldred *et al.*, 1999). به این ترتیب، پاسخ پیشگیرانه نسبت به مسائل بالقوه، به جای واکنش نسبت به مسائل و مشکلات آینده، می‌تواند صرفه‌جویی در هزینه و زمان را به همراه داشته باشد. حفاری چاه‌های نفت و گاز به دلیل مواجهه با خطرها و مشکلات اجرایی، همواره خسارت‌های زیادی به دنبال داشته است. در زمان حفاری چالش‌های بسیاری به وقوع می‌پیوندد که باعث عقب افتادن برنامه حفاری از برنامه پیش‌بینی شده می‌شود. مدیریت ریسک‌های حفاری، موجب به حداقل رساندن هزینه‌های حفاری و از بین بردن زمان‌های از دست رفته حفاری می‌گردد. مدیریت ریسک شامل مراحل متعدد و فرایند سیستمی و پیوسته است (Williams, 1999).

۳. متدولوژی

همان‌طور که اشاره شد مدیریت ریسک دارای مراحل مختلفی است که این تحقیق شامل چهار مرحله شناسایی، ارزیابی، اولویت‌بندی و برنامه‌ریزی می‌باشد. در تمام مراحل تحقیق از داده‌های یکی از مخازن جنوب غرب کشور استفاده شده است که دارای حفاری پیچیده و پر ریسک می‌باشد.

۱.۳ شناسایی ریسک

در مدیریت ریسک، قبل از هر کاری باید ریسک‌ها را شناسایی کرد. برای شناخت چالش‌های به وقوع پیوسته در حفاری‌های گذشته مطالعه گزارش‌های روزانه حفاری و همچنین گزارش پایانی ضروری است. در این مرحله عنوان ریسک‌هایی که در حفاری‌های گذشته اتفاق افتاده‌اند، فارغ از تعداد دفعات تکرار آن‌ها ذکر می‌شوند.

۲.۳ ارزیابی ریسک

بعد از شناسایی اولیه ریسک‌ها، برای کمی‌سازی ریسک و تبدیل آن‌ها به اطلاعات قابل تصمیم‌گیری، همه ریسک‌ها با توجه به سازند محل وقوع آن‌ها مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. هر ریسک دارای دو بُعد کمی شدت تأثیر و احتمال به وقوع پیوستن می‌باشد. شدت تأثیر ریسک، به معنی مجموع خسارت و زیانی است که بر عملیات حفاری تحمیل می‌شود. این خسارت در درجه اول تعداد روزهای عقب افتادگی حفاری

جدول ۲. تعیین ضریب چالش

شدت / احتمال	پرتکرار	محتم ل	بعضی مواقع	بعید	غیر محتمل
فاجعه	۵	۵	۵	۴	۳
بار	۵	۵	۴	۳	۲
بحرانی	۴	۴	۳	۲	۱
جدی	۳	۳	۲	۱	۱
ضعیف	۳	۲	۱	۱	۱
قابل اغماض	۳	۲	۱	۱	۱

به هر کدام از ریسک‌ها یک ضریب چالش از ۱ تا ۵ (به ترتیب کم اهمیت‌ترین تا پر اهمیت‌ترین) تعلق می‌گیرد؛ که بر اساس آن ضریب چالش اولویت‌بندی می‌شوند.

۴.۳ برنامه‌ریزی

در این تحقیق برنامه‌ریزی برای مقابله با ریسک‌ها، با تمرکز بر اجتناب از وقوع ریسک‌ها و حفاری از مسیر دارای حفاری کم چالش در دستور کار قرار گرفته است. مفهوم اجتناب از وقوع ریسک آن است که افراد در مواجهه با مسیرهای با سودآوری یکسان، مسیری را انتخاب کنند که چالش کمتری داشته باشد. برای تهیه نقشه‌ای از میدان که بتواند مسیرهای با میزان ریسک حداقل را نشان دهد، می‌توان از پارامترهایی نظیر سرعت میانگین حفاری، میزان زمان‌های از دست رفته و یا زمان حفاری استفاده کرد. مسیرهایی با زمان‌های از دست رفته بیشتر، در واقع نشان دهنده ریسک‌های به وقوع پیوسته بیشتر در حین حفاری‌های گذشته است. این نقشه با درس گرفتن از حفاری‌های گذشته‌ی یک میدان، به نوعی میزان دشواری حفاری در نقطه‌های مختلف میدان را نشان می‌دهد.

۴. تجزیه و تحلیل داده‌ها:

همه مراحل مدیریت ریسک برای یکی از مخازن جنوب غرب کشور به کار گرفته شده است. این میدان در گذشته دارای حفاری‌های بسیار دشواری در سازند سروک بوده است. مطالعه گزارش حفاری‌های گذشته بیانگر آن است که ریسک‌های حفاری این میدان در چهار دسته کلی هرزروی گل، مشکلات سیمان‌کاری، ورود جریان به داخل چاه، مشکلات مربوط به

از برنامه زمان‌بندی پیش‌بینی شده است. هزینه دکلهای حفاری به خصوص در دریا بسیار بالاست و هر گونه عقب افتادگی، یا از دست دادن ساینز حفاری که موجب صرف زمان دوباره می‌شود زیان بسیار بالایی را به پروژه تحمیل می‌کند. علاوه بر این از دست دادن موادی مانند سیمان و گل یا تجهیزاتی مانند رشته حفاری نیز می‌تواند موجب صرف هزینه شود. احتمال رخ دادن یک ریسک در مقابل سازند حفاری را نیز می‌توان از نسبت تعداد دفعات رخ دادن یک ریسک در مقابل سازند به تعداد دفعاتی که آن سازند مورد حفاری قرار گرفته است محاسبه نمود. واضح است که هر چه تعداد دفعات رخ دادن ریسک در گذشته بیشتر باشد احتمال اینکه آن ریسک در حفاری‌های آینده نیز به وقوع بپیوندد بالاتر است. هر چالش بایستی به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گیرد. در پایان مرحله ارزیابی فارغ از اهمیت ریسک‌ها، همه ریسک‌ها بایستی بر اساس عدد و رقم قابل بیان باشند.

۳.۳ اولویت‌بندی

پس از کمی سازی ریسک‌ها، برای برجسته کردن ریسک‌های پراهمیت و غیر قابل اغماض، اولویت‌بندی ریسک‌ها در دستور کار قرار می‌گیرد. حاصل مرحله اولویت‌بندی، یک لیست از ریسک‌ها به ترتیب میزان اهمیت آنهاست که در این مقاله به آن ریسک فرم جامع حفاری گفته می‌شود. بر اساس محدوده‌های مشخص شده در جدول ۱، هر کدام از ریسک‌ها در یکی از خانه‌های جدول ۲ قرار می‌گیرند.

جدول ۱. محدوده میزان شدت تأثیر و احتمال (Tech report, 2000)

شدت تأثیر	احتمال
بیش از ۱۰ روز	بین ۴۰ تا ۱۰۰ درصد
بین ۵ تا ۱۰ روز	بین ۱۵ تا ۴۰ درصد
بین ۳ تا ۵ روز	بین ۵ تا ۱۵ درصد
بین ۱ تا ۳ روز	بین ۱ تا ۵ درصد
کمتر از ۱ روز	کمتر از ۱ درصد

لوله‌های حفاری قرار می‌گیرند.

است.

ورود جریان به داخل چاه: این ریسک بر خلاف سایر ریسک‌ها حتی می‌تواند خسارت‌های جبران ناپذیر جانی به دنبال داشته باشد که خوشبختانه در طول حفاری‌های گذشته، چنین اتفاقی نیفتاده است. معمولاً برای کنترل این چالش وزن گل حفاری را افزایش می‌دهند. در بعضی مواقع که هرزروی گل رخ می‌دهد، به دلیل کاهش فشار هیدرواستاتیک ستون چاه، احتمال رخ دادن این چالش افزایش می‌یابد. نتایج حاصل از ارزیابی‌ها در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴. احتمال و شدت ورود جریان به داخل چاه در

نام سازند	احتمال (%)	شدت تأثیر (دکل روز)
آغاچاری	۵	۰
میشان	۰	۰
گچساران	۱۵	۰
پوش سنگ	۱۵	۰
آسماری	۴۰	۰
پابده	۱۲	۰
گورپی	۲۶	۰
ایلام	۵	۰
سروک	۱۵	۴۱/۵

به جز میشان، ورود جریان به داخل چاه در همه سازندها اتفاق افتاده است. بیشترین احتمال مربوط به سازند آسماری و بعد از آن گورپی است. سازندهای گچساران، پوش سنگ، سروک، پابده نیز احتمال بالایی دارند. این ریسک در بیشتر موارد تأثیری در زمان‌بندی دکل نداشته است.

مشکلات سیمان‌کاری: اشکال در سیمان‌کاری لوله جداری و لوله آستری باعث بروز جریان از زیر پاشنه و پدیده نشت لبه می‌گردد. برای مقابله با آن، اقداماتی از قبیل، تزریق سیمان، نصب پس آویز و نصب مسدود کننده صورت می‌گیرد؛ که همگی علاوه بر هزینه‌های اضافی، بخشی از زمان دکل را به خود اختصاص می‌دهند. در بعضی موارد خالی بودن پشت جداری منجر به تزریق سیمان دوباره به پشت جداری می‌گردد. نتایج حاصل از ارزیابی این ریسک در جدول ۵ ارائه

۱.۴ ارزیابی ریسک:

در مخزن مطالعه شده چهار چالش اصلی هرزروی گل، ورود جریان به داخل چاه، مشکلات سیمان‌کاری و مشکلات مربوط به لوله‌های حفاری شناسایی شده است. این چالش‌ها برای هر مخزن متفاوت است. چالش‌های ذکر شده در مرحله شناسایی در ادامه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

هرزروی گل: در خسارات مربوط به هرزروی گل

می‌توان به هزینه بابت تهیه گل، هزینه پلاگ‌های سیمانی، هزینه افزودنی‌های مختلف مانند (میکا و مگنست)، هزینه‌های مربوط به زدن کنارگذر و در نهایت زمان صرف شده برای انجام تمام این فعالیت‌ها اشاره کرد. گاهی اوقات هرزروی گل حتی می‌تواند باعث به وقوع پیوستن ریسک‌های دیگری از جمله ورود جریان به درون چاه به دلیل خالی شدن دیواره چاه یا گیرکردن لوله‌ها به دلیل وارد شدن نیرو و چسبیدن به دیواره چاه شود. احتمال رخ دادن هرزروی‌های گل در مقابل شکاف‌ها و شکستگی‌ها و سازندهای با تخلخل بالا بیشتر می‌شود (Russell et al., 2005) احتمال و شدت تأثیر هرزروی گل در مقابل سازندهای زمین‌شناسی در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. احتمال و شدت هرزروی گل در مقابل سازندهای

نام سازند	احتمال (%)	شدت تأثیر (دکل روز)
آغاچاری	۱۰	۵/۵۴
میشان	۰	۰
گچساران	۵	۰/۰۱
پوش سنگ	۳۰	۰/۱۷
آسماری	۸۰	۶/۵
پابده	۵٫۸	۰/۱۹
گورپی	۱۵٫۷	۰/۲۶
ایلام	۰	۰
سروک	۴۰	۰/۹۷

هرزروی گل در سازند آسماری شدیدترین وضعیت را داشته است؛ به عبارتی با احتمال ۸۰ درصد وقوع هرزروی شدید گل و میانگین ۶٫۵ روز تأخیر دکل، بیشتر از بقیه مورد تهدید

شده است.

جدول ۶. احتمال و شدت مشکلات مربوط به لوله‌ها در

نام سازند	احتمال (%)	شدت تأثیر (دکل روز)
آغاجاری	۳۰	۱۷/۷۴
میشان	۰	۰
گچساران	۰	۰
پوش سنگ	۰	۰/۶۵
آسماری	۲۰	۳۳/۳۷
پابده	۰	۰
گورپی	۰	۰
ایلام	۰	۰
سروک	۱۵	۴۷/۹۹

جدول ۵. احتمال و شدت مشکلات سیمان‌کاری در مقابل

نام سازند	احتمال (%)	شدت تأثیر (دکل روز)
آغاجاری	۱۵	۰/۲۷
میشان	۰	۰
گچساران	۴۰	۰/۱۸
پوش سنگ	۵	۰/۶۵
آسماری	۱۰	۰/۱۴
پابده	۰	۰
گورپی	۰	۰
ایلام	۵	۰/۸۳
سروک	۱۰	۲/۰۷

۲.۴ ریسک فرم جامع حفاری:

در ریسک فرم جامع حفاری تمامی چالش‌ها به ترتیب اولویت و بر اساس دو پارامتر شدت تأثیر و احتمال بیان می‌گردند. ریسک فرم جامع مربوط به چالش‌های ارزیابی شده در مرحله قبل، در انتهای مقاله (جدول ۸) آورده شده است. هرزروی گل در سازند آسماری به عنوان مهم‌ترین چالش پیش روی حفاری در این میدان است. بعد از آن ورود جریان به داخل چاه از سازند سروک در درجه دوم اهمیت قرار دارد. در جدول ۷ ضریب چالش هر کدام از سازندها بیان شده است.

جدول ۷- مجموع ضرایب چالش‌ها

نام سازند	مجموع ضرایب چالش
سروک	۱۵
آسماری	۱۴
آغاجاری	۱۲
گچساران	۶
پوش سنگ	۵
گورپی	۴
پابده	۲
ایلام	۲
میشان	۰

بیشترین اشکال در سیمان‌کاری در مقابل سازند گچساران اتفاق افتاده است، اما در مقابل سروک آثار مخرب بیشتری را به دنبال دارد.

مشکلات مربوط به لوله‌ها: یکی از پرخسارت‌ترین

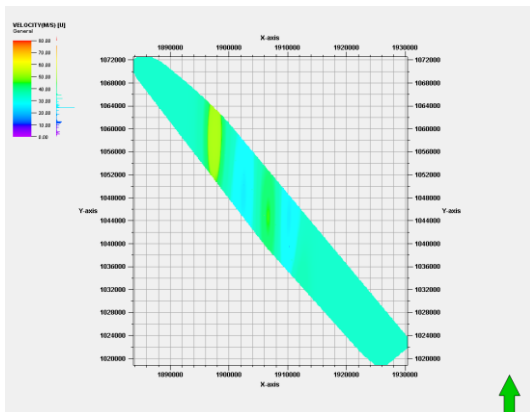
چالش‌های پیش روی حفاری، گیر کردن و باقی ماندن رشته حفاری در درون چاه است. هنگامی که لوله حفاری به دیواره چاه چسبیده می‌شود، گاهی اوقات مدیریت حفاری را به رها کردن لوله و حفره و زدن کنارگذر در اطراف آن مجبور می‌کند (Aldred et al., 1999). باقی ماندن مانده درون چاه اگر با عملیات مانده‌یابی موفق همراه نباشد، هزینه‌های بسیار بالایی را به دنبال دارد. این مشکلات منحصر به رشته حفاری نیست، بلکه در مورد سایر ابزار و وسایل همچون لوله مغزی سیار، ابزارهای نمودارگیری و حتی لوله‌های جداری نیز احتمال گیرکردن وجود دارد. نتایج ارزیابی این ریسک در جدول ۶ آورده شده است.

این ریسک تنها در مقابل سه سازند آغاجاری، آسماری و سروک رخ داده است و در هر سه مورد تأثیرات فاجعه باری را به دنبال داشته است.

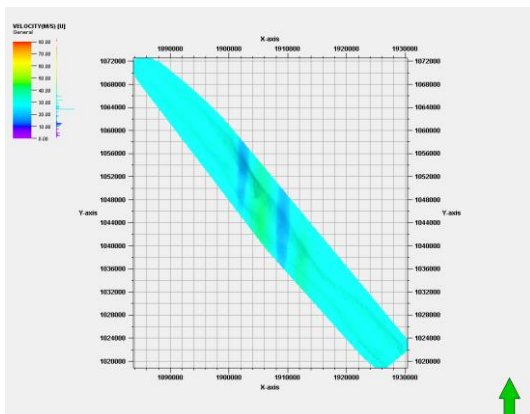
ضریب چالش سازندی، بیانگر میزان پتانسیل ریسک حفاری هر سازند است که از مجموع ضریب چالش ریسک‌ها در مقابل

بهینه‌سازی عملیات حفاری از طریق مدیریت ریسک حفاری و طراحی مسیر چاه

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، برای عملیات حفاری مسیرهای با سرعت حفاری متفاوت وجود دارد. از شکل ۳ تا شکل ۱۱ نقشه دو بعدی سرعت حفاری در هر کدام از سازندها نشان داده شده است. در مورد ارتباط ریسک‌ها با طراحی مسیر چاه اشاره می‌شود که مسیرهای با سرعت حفاری بیشتر، نشان دهنده ریسک کمتر می‌باشند و این می‌تواند در طراحی مسیر بهینه حفاری جهت به حداقل رساندن هزینه و زمان مفید واقع شود.



شکل ۳. نقشه دو بعدی سرعت میانگین حفاری سازند آغاچاری

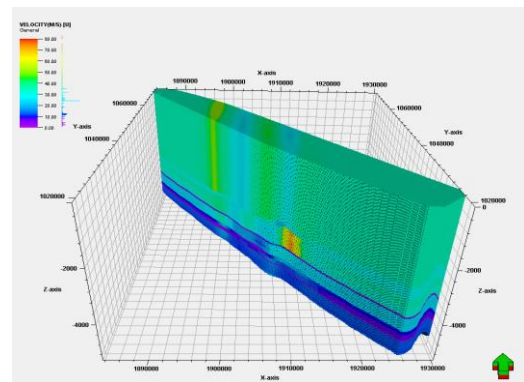


شکل ۴. نقشه دو بعدی سرعت میانگین حفاری سازند میشان

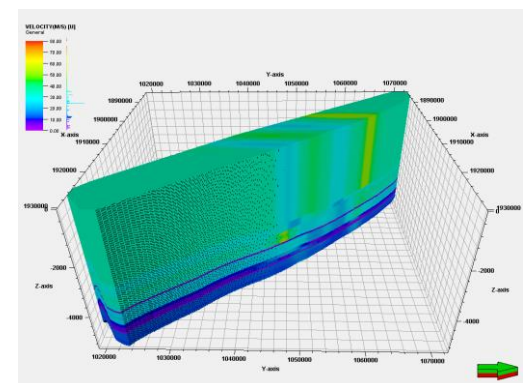
آن سازند به دست آمده است. سروک، آسماری و آغاچاری به ترتیب بالاترین پتانسیل تأخیر در عملیات را به خاطر وقوع چالش دارند.

۳.۴ طراحی مسیر چاه:

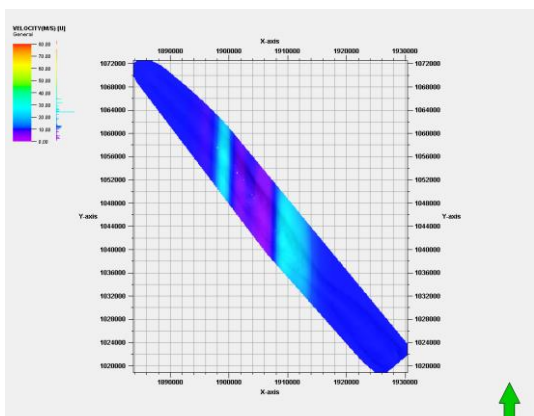
مسیر چاه بایستی به گونه‌ای طراحی شود که حفاری در حداقل زمان ممکن و با کمترین میزان ریسک حفاری صورت گیرد. یک نقشه سه بعدی از سرعت میانگین حفاری در تمام میدان مطالعه شده، طراحی شده است (شکل ۱ و شکل ۲). برای طراحی این نقشه، سرعت میانگین حفاری در چاه‌های گذشته به عنوان نقطه‌هایی با داده‌های معلوم در نظر گرفته شد و با استفاده از روش کریجینگ، نقطه‌های با داده‌های نامعلوم تخمین زده شد. هر چه تعداد چاه‌های حفاری شده در گذشته بیشتر باشد، دقت نقشه تهیه شده بالاتر می‌رود.



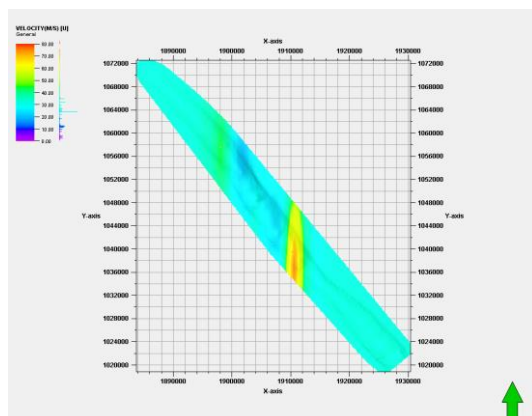
شکل ۱. نقشه سه بعدی سرعت حفاری



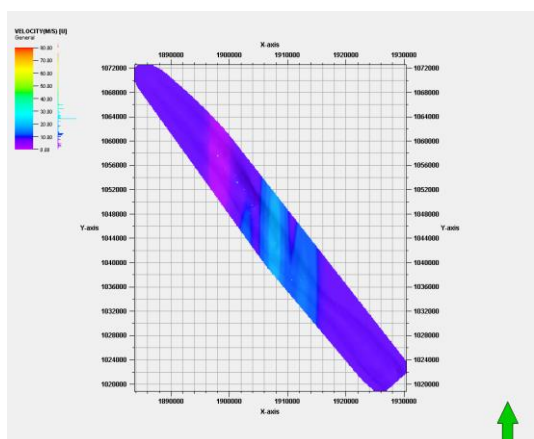
شکل ۲. نقشه سه بعدی سرعت حفاری



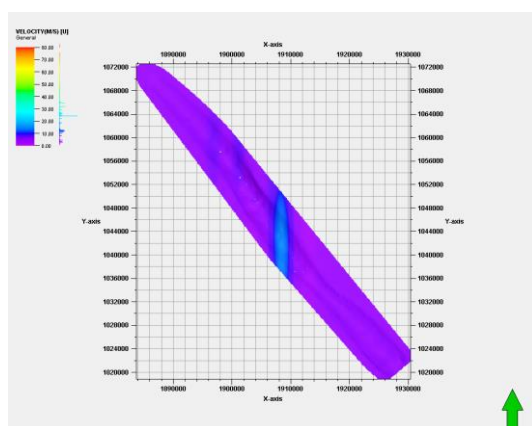
شکل ۸. نقشه دو بعدی سرعت میانگین حفاری سازند پابده



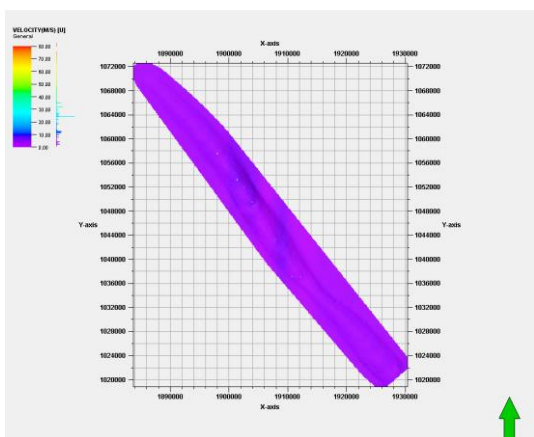
شکل ۵. نقشه دو بعدی سرعت میانگین حفاری سازند گچساران



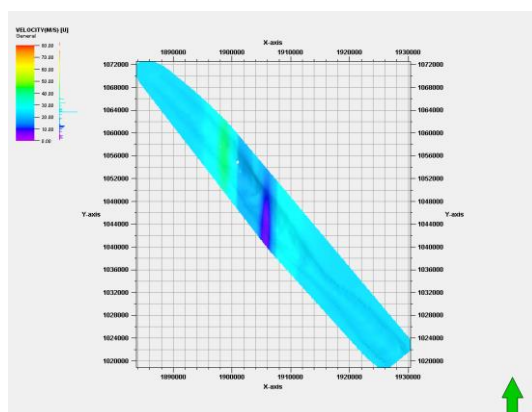
شکل ۹. نقشه دو بعدی سرعت میانگین حفاری سازند گورپی



شکل ۶. نقشه دو بعدی سرعت میانگین حفاری سازند پوش سنگ



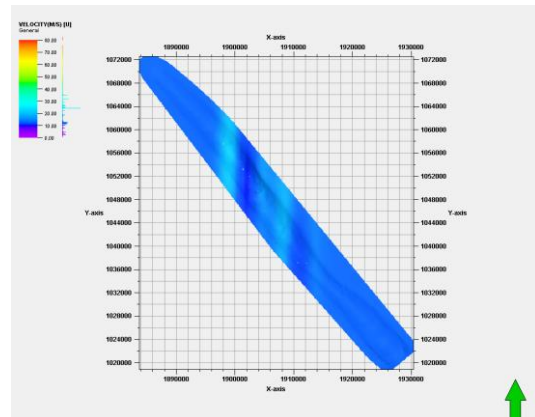
شکل ۱۰. نقشه دو بعدی سرعت میانگین حفاری سازند ایلام



شکل ۷. نقشه دو بعدی سرعت میانگین حفاری سازند آسماری

بهبودسازی عملیات حفاری از طریق مدیریت ریسک حفاری و طراحی مسیر چاه

دیگر ریسک‌هایی را که قابل چشم‌پوشی است بیان می‌کند. بدون ارزیابی ریسک و اولویت‌بندی آن‌ها، اهمیت چالش‌ها به خوبی مشخص نیست و همین باعث می‌شود که چالش‌های مهم در میان چالش‌های کم اهمیت مورد اغماض قرار گیرد و آثار فاجعه باری را بر عملیات حفاری به جای گذارد. معرفی سازندهای پر ریسک می‌تواند دقت در جریان عملیات حفاری این سازندها را بالا ببرد. نقشه سه بعدی سرعت حفاری تهیه شده در این تحقیق، می‌تواند بیانگر شاخص‌هایی از جمله زمان، هزینه و ریسک حفاری به صورت ضمنی نیز باشد. این نقشه در یک نگاه می‌تواند ابزار کارا و مفیدی برای تعیین مسیر حفاری‌های آینده باشد.



شکل ۱۱. نقشه دو بعدی سرعت میانگین حفاری سازند سروک

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در هر کدام از سازندها مسیرهای متفاوتی بعضاً با سرعت‌های حفاری بسیار متفاوت وجود دارد. در سازند آغاچاری بعضی نقاط دارای سرعت بالای ۶۰ متر بر روز و بعضی از نقاط سرعت حفاری کمتر از ۳۰ متر بر روز است.

در انتها به این نکته اشاره می‌شود که در بعضی از سازندها مانند پوش سنگ و ایلام که سرعت حفاری بسیار پایین‌تر از سایر سازندها است، می‌توان مسیر چاه را به‌گونه‌ای تعیین کرد که ضخامت این سازند در حداقل میزان مربوط به خود باشد.

۵. نتیجه‌گیری

مدیریت ریسک در کاهش زمان حفاری و متعاقباً کاهش هزینه‌ها نقش کلیدی و اساسی را ایفا می‌کند. با توجه به اینکه بسیاری از هزینه‌های حفاری به درستی مصرف نمی‌شوند؛ مدیریت ریسک می‌تواند این هزینه‌ها را به حداقل برساند. ایجاد ریسک فرم جامع حفاری که بتواند اولویت‌ها را به خوبی برای حفاری هر سازند نشان دهد در این زمینه کمک شایانی می‌نماید.

ریسک فرم جامع، ریسک‌هایی که بایستی تحت مطالعه و برنامه‌ریزی جدی قرار گیرند؛ همچون هرزروی گل در سازند آسماری، ورود جریان به داخل چاه در سازند سروک و مشکلات لوله‌های حفاری در سازند آغاچاری، برای میدان مطالعه شده در این تحقیق معرفی می‌کند. همچنین از طرف

جدول ۸. ریسک فرم جامع حفاری

سازند	ریسک	احتمال	شدت تأثیر (دکل روز)	ضریب چالش	نوع ریسک
آسماری	هرزروی گل	۸۰	۶/۵۱	۵	غیر قابل چشم‌پوشی
سروک	ورود جریان به داخل چاه	۱۵	۴۱/۵	۵	غیر قابل چشم‌پوشی
آغاجاری	مشکلات مربوط به لوله‌ها	۳۰	۱۷/۷۴	۵	غیر قابل چشم‌پوشی
سروک	مشکلات مربوط به لوله‌ها	۱۵	۴۷/۹۹	۵	غیر قابل چشم‌پوشی
آسماری	مشکلات مربوط به لوله‌ها	۲۰	۳۳/۳۷	۵	غیر قابل چشم‌پوشی
آغاجاری	هرزروی گل	۱۰	۵/۵۴	۴	شدید
سروک	هرزروی گل	۴۰	۰/۹۷	۳	متوسط
آسماری	ورود جریان به داخل چاه	۴۰	۰	۳	متوسط
گچساران	مشکلات سیمان کاری	۴۰	۰/۱۸	۳	متوسط
پوش سنگ	هرزروی گل	۳۰	۰/۱۷	۲	ضعیف
گورپی	هرزروی گل	۱۵,۷۸	۰/۲۶	۲	ضعیف
گورپی	ورود جریان به داخل چاه	۲۶	۰	۲	ضعیف
گچساران	ورود جریان به داخل چاه	۱۵	۰	۲	ضعیف
پوش سنگ	ورود جریان به داخل چاه	۱۵	۰	۲	ضعیف
سروک	مشکلات سیمان کاری	۱۰	۲/۰۷	۲	ضعیف
آغاجاری	مشکلات سیمان کاری	۱۵	۰/۲۷	۲	ضعیف
پابده	ورود جریان به داخل چاه	۱۲	۰	۱	قابل چشم‌پوشی
پابده	هرزروی گل	۵,۸	۰/۱۹	۱	قابل چشم‌پوشی
گچساران	هرزروی گل	۵	۰/۰۱	۱	قابل چشم‌پوشی
ایلام	ورود جریان به داخل چاه	۵	۰	۱	قابل چشم‌پوشی
آغاجاری	ورود جریان به داخل چاه	۵	۰	۱	قابل چشم‌پوشی
آسماری	مشکلات سیمان کاری	۱۰	۰/۱۴	۱	قابل چشم‌پوشی
پوش سنگ	مشکلات سیمان کاری	۵	۰/۶۵	۱	قابل چشم‌پوشی
ایلام	مشکلات سیمان کاری	۵	۰/۸۳	۱	قابل چشم‌پوشی

۶. مراجع

- Aldred, W., Plumb, D., Bradford, I., Cook, J., Gholkar, V., Cousins, L., Minton, R., Fuller, J., Goraya, S. and Tucker, D. (1999). Managing drilling risk. *Oilfield review*, 11(2), pp.2-19.
- Atkinson, J.W. (1957). Motivational determinants of risk-taking behavior. *Psychological review*, 64(6p1), p.359.
- Bahari, A. and Seyed, A.B. (2007), January. Drilling Cost Optimization in Iranian Khangiran Gas Field. In International Oil Conference and Exhibition in Mexico. Society of Petroleum Engineers.
- Baumann, C.E., Pesantes, E., Guerra, J., William, A. and Williams, H. (2012). Reduction of Perforating Gunshock Loads. *SPE Drilling & Completion*, 27(01), pp.65-74. SPE-143816-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/143816-PA>.
- Bourgoyne, A.T., Millheim, K.K., Chenevert, M.E. and Young, F.S. (1986). *Applied drilling engineering*.
- Cayeux, E., Daireaux, B., Dvergsnes, E., Leulseged, A., Bruun, B. and Herbert, M. (2012). Advanced drilling simulation environment for testing new drilling automation techniques and practices. *SPE Drilling & Completion*, 27(04), pp.559-573. SPE-150941-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/150941-PA>.
- Dethlefs, J. and Chastain, B. (2012). Assessing Well-Integrity Risk: A Qualitative Model. *SPE Drilling & Completion*, 27(02), pp.294-302. SPE-142854-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/142854-PA>.
- Iversen, F., Gressgård, L.J., Thorogood, J., Balov, M.K. and Hepso, V. (2013). Drilling automation: Potential for human error. *SPE Drilling & Completion*, 28(01), pp.45-59. SPE-151474-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/151474-PA>.
- Johnston, E.H. (1995). Improved drilling performance and cost reduction through straight-hole-motor drilling in the Fort Worth basin. *Journal of Petroleum Technology*, 47(11), pp.966-969. SPE-31160-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/31160-PA>.
- Kristiansen, T.G. and Flateboe, R. (2010). Sixty Days Ahead of Schedule: Reducing Drilling Risk at Valhall Using Computational Geomechanics. *SPE Drilling & Completion*, 25(04), pp.544-554. SPE-119509-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/119509-PA>.
- Linchtenstern, A. (2013). Kriging methods in spatial statistics (Doctoral dissertation, Bachelor's Thesis, Technische Universität München, Department of Mathematics, Germany).
- Russell, K.A., Cockburn, C., McLure, R., Crawford, A., Davison, M., Jolley, S.J., Kazi, M., Koster, M. and McGrath, B. (2005). Improved drilling performance in troublesome environment. *SPE Drilling & Completion*, 20(03), pp.162-167. SPE-90373-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/90373-PA>.
- Tech report, Williams, R.C., Pandelios, G.J. and Behrens, S.G. (1999). Software Risk Evaluation (SRE) Method Description. CMU/SEI-99-TR-029, version 2.0.
- Tech report, (2000). Software Risk Management A Practical Guide. Department Of Energy (DOE). SQAS21.01.00 – 1999. <http://cio.doe.gov/sqas>.
- Thomas, P.J. (2013). Methods for measuring risk-aversion: problems and solutions. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 459, No. 1, p. 012019). IOP Publishing.

Thomas, P.J. (2013). The importance of risk-aversion as a measurable psychological parameter governing risk-taking behaviour. In *Journal of Physics: Conference Series* (Vol. 459, No. 1, p. 012052). IOP Publishing.

Wackernagel, H. (2013). *Multivariate geostatistics: an introduction with applications*. Springer Science & Business Media.

Warren, T.M., Houtchens, B.D. and Madell, G. (2005). Directional drilling with casing. *SPE Drilling & Completion*, 20(01), pp.17-23. SPE-79914-PA. <http://dx.doi.org/10.2118/79914-PA>.

Webster, R. and Oliver, M.A. (2007). *Geostatistics for environmental scientists*. John Wiley & Sons.