



مقاله پژوهشی

تاثیر پارامترهای حفاری بر نرخ نفوذ در حفاری مغزه‌گیری چاه‌های انحرافی

سعید نوراللهی^۱؛ حسین جلالی فر^{۲*}؛ رضا ذبیحی^۳

۱- کارشناسی ارشد، بخش مهندسی نفت و گاز، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۲- استاد، بخش مهندسی نفت و گاز، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

۳- استادیار، بخش مهندسی نفت و گاز، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۰/۲۰ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۱/۱۸

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22107/JPG.2024.434940.1223

واژگان کلیدی	چکیده
حفاری انحرافی نرخ نفوذ پارامترهای حفاری وزن روی مته مغزه‌گیری	امروزه برای نمونه برداری از لایه‌های زمین در حین حفاری انحرافی از چاه راهنما استفاده می‌شود. به منظور کاهش هزینه‌ها و سهولت انجام عملیات در شرایطی که نمی‌توان از چاه راهنما جهت مغزه‌گیری استفاده کرد، مطالعات مغزه‌گیری به صورت انحرافی به میان می‌آید. بررسی تاثیر پارامترهای حفاری بر نرخ نفوذ در حفاری مغزه‌گیری چاه‌های انحرافی جهت بهینه نمودن عملیات حائز اهمیت می‌باشد. در این راستا نرخ نفوذ با تهیه نمونه‌های بتنی جهت مغزه‌گیری بصورت انحرافی با دستگاه‌های آزمایشگاهی مورد مطالعه و شبیه سازی قرار می‌گیرد تا با صرف کمترین زمان در کنار ایمنی لازم به بهینه‌ترین حالت برسد. در این پژوهش از نمونه‌های بتنی مکعبی با مقاومت فشاری تک محوره ۳۰ مگاپاسکال و تخلخل ۳۱ درصد استفاده شده است و با اعمال وزن روی مته ۵۰ تا ۱۱۰ کیلوگرم و زاویه انحراف‌های صفر تا ۶۰ درجه، تاثیر این پارامترها بر نرخ نفوذ بررسی شده است. باتوجه به آزمایش‌های صورت گرفته، تاثیر مستقیم وزن روی مته بر نرخ نفوذ تا رسیدن به مقدار بهینه مشاهده شد. همچنین با افزایش وزن اضافی روی مته باعث تغییر در مکانیزم عملکرد مته در حفاری شده و حالت مماسی خود را از دست داده و باعث کنده شدن ریز ذرات نمونه می‌شود که این امر باعث کاهش عمر مته می‌گردد. همچنین نتایج نشان داد که در حفاری نمونه‌های بتنی با میزان دوران مته ۱۴۰۰ دور بر دقیقه، میزان وزن بهینه روی مته ۸۰ کیلوگرم است.

۱. پیش‌گفتار

زمانی که حفر یک چاه عمودی غیرممکن باشد، حفاری انحرافی یک اصل برای سازند نفتی محسوب می‌شود. بنظر می‌رسد که تا سال ۱۹۲۰، زمانی که روش‌های نقشه برداری شروع به معرفی کرده‌اند، انحرافات در چاه‌های عمودی شناسایی شدند. انحرافات که مته از حالت عمودی دور شده و بسته به وزن روی مته، ویژگی‌های رشته حفاری و عوامل دیگر در درجات مختلف ادامه می‌یافت. این انحرافات می‌توانستند به‌طور طبیعی ناشی از شیب سازند، گسل‌ها، صفحات لایه‌بندی و سایر ناهنجاری‌ها باشند که در همه جای

زیر سطح زمین هستند [۱]. امروزه برای اینکه یک چاه انحرافی حفر شود نیازمند این است که از ویژگی‌های سازندهای زیر سطح زمین اطلاعات کافی وجود داشته باشد. این اطلاعات می‌تواند از لاگ‌ها و مغزه‌گیری بدست آید؛ بطوریکه مغزه‌گیری از سازندها این مزیت را دارد که داده‌های دقیقی از لایه‌های زیر زمین بدست می‌دهد.

یکی از پارامترهایی که در حفر یک چاه انحرافی مطرح است، نرخ نفوذ می‌باشد. نرخ نفوذ به میزان عمق حفر شده در واحد زمان می‌گویند که خود به پارامترهای متعددی بستگی دارد. برای حفاری بهینه باید این پارامتر را به دقت مورد

تکاملی دیفرانسیلی خودسازگار را جهت پیش بینی نرخ نفوذ توسعه داد. ایشان وزن روی مته، سرعت دوران مته، مقاومت فشاری، گشتاور، نرخ جریان، چگالی و ویسکوزیته پلاستیکی سیال حفاری را به عنوان پارامترهای ورودی در نظر گرفت [۹]. در ادامه عبدالجبار و همکاران (۲۰۱۸) با داده‌های بیشتر مدل شبکه عصبی مصنوعی دیگری برای پیش بینی نرخ نفوذ ارائه کردند [۱۰]. ریاضی و همکاران (۲۰۲۲) با در نظر گرفتن ۵۰۴۰ داده واقعی از میدانی در جنوب ایران و با استفاده از مدل‌های هوشمند مختلف مانند درخت تصمیم-گیری، حداقل مربعات بردار ماشین پشتیبان، پرسپترون چندلایه و تابع پایه شعاعی مقدار نرخ نفوذ مته را مدل‌سازی کردند. آنها دریافتند که متغیرهای عمق حفاری، فشار پمپ و وزن روی مته به ترتیب بیشترین تأثیر را بر نرخ نفوذ مته دارند [۱۱]. محمد یاسین و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر وزن روی مته و سرعت دوران مته بر روی نرخ نفوذ مته مغزه‌گیری الماسی در چهار نوع سنگ پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تأثیر پارامترهای وزن روی مته و سرعت چرخش مته در حفاری مغزه‌گیری عمودی ابتدا روندی افزایشی بر نرخ نفوذ و سپس بعد از مقدار بهینه آنها، روند کاهشی را خواهد داشت [۱۲].

با توجه به اینکه پژوهش‌های گذشته غالباً بر روی مدل‌سازی نرخ نفوذ حفاری مغزه‌گیری چاه‌های انحرافی انجام شده است اما تأثیر زاویه انحراف و وزن روی مته بر نرخ نفوذ در عملیات حفاری مغزه‌گیری چاه‌های انحرافی بررسی نشده است، لذا در این پژوهش اثر این پارامترها بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت.

۲. آماده سازی نمونه‌ها

جهت ساخت نمونه‌های سیمانی با مقاومت فشاری تک محوره ۳۰ مگاپاسکال، از طرح اختلاط موجود در جدول ۱ تعداد ۵ نمونه استوانه‌ای سیمانی با قطر ۵ و ارتفاع ۱۲ سانتی‌متر و ۱۵ نمونه مکعبی سیمانی در ابعاد ۱۵×۱۵×۱۵ سانتی‌متر ساخته شد. لازم به ذکر است که مقادیر ارائه شده در جدول ۱ جهت تهیه نمونه استوانه‌ای با حجم ۲۳۶ سانتی‌متر مکعب می‌باشد. نمونه‌های آماده شده پس از گذشت ۲۸ روز، آماده بیرون آوردن از آب می‌باشند که می‌توان خواص فیزیکی آنها را از جمله تخلخل، چگالی و مقاومت فشاری تک محوره

بررسی قرار داد تا زمان حفاری و هزینه‌های حفاری به کمترین میزان خود برسند. از پارامترهایی که بر نرخ نفوذ تأثیرگذار هستند می‌توان به وزن روی مته و سرعت چرخش مته حفاری اشاره کرد. در حفر یک چاه عمودی، با افزایش وزن روی مته تا یک مقدار بهینه، میزان نرخ نفوذ افزایش می‌یابد اما پس از آن با افزایش بیشتر وزن روی مته میزان نرخ نفوذ روند کاهشی خواهد داشت [۱].

فیر و مارچ (۱۹۹۶) با استفاده از همبستگی عددی روشی را ارائه داد که در عملیات حفاری به بیشترین مقدار نرخ نفوذ بتوان دست یافت [۲]. ارن و همکاران (۲۰۱۰) از روش رگرسیون خطی چندگانه جهت بهینه‌سازی وزن مته و سرعت دوران مته در حین عملیات حفاری استفاده کردند. آنها از داده‌های لاگ گل و پارامترهایی مانند فشار حفره، درجه انحراف چاه، خصوصیات رئولوژیکی گل استفاده کردند [۳]. کاتب صابر و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و معادله بورگوئین و یانگ به بهینه‌سازی پارامترهای حفاری در چاه‌های جهت‌دار میدان نفتی اهواز بر نرخ نفوذ در سنگ پرداختند [۴]. فالود و اگباراکو (۲۰۱۶) با استفاده از الگوریتم ژنتیک و رگرسیون چندگانه به بهینه‌سازی نرخ نفوذ با خطای ۱۰٪ پرداختند [۵]. چن و همکاران (۲۰۱۶) پارامترهای حفاری را بهینه‌سازی نمودند تا بتوانند وزن روی مته در سرعت‌های مختلف دوران مته را تخمین بزنند [۶]. ویکتورسکی و همکاران (۲۰۱۷) از روش موتورهای گل قابل هدایت جهت کنترل مسیر چاه انحرافی و مدل‌سازی نرخ نفوذ استفاده نمودند و رابطه ای را برای تعیین نرخ نفوذ براساس پارامترهای حفاری و ویژگی‌های سیال حفاری ارائه کردند [۷]. امین احمدی و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از رابطه بورگوئین و یانگ تأثیر پارامترهای حفاری بر نرخ نفوذ مته در چاه‌های عمودی و زاویه‌دار در سازندهای مختلف میدان گازی پارس جنوبی پرداختند. آنها دریافتند که با افزایش گرانیوی پلاستیکی، وزن گل و نقطه واروی گل، نرخ نفوذ کاهش پیدا می‌کند. از طرفی آنالیز حساسیت با استفاده از سرعت چرخش مته و وزن روی مته نشان داد که به ترتیب با افزایش و کاهش ۳۰ درصدی مقادیر این پارامترها باعث افزایش و کاهش نرخ نفوذ می‌شود. همچنین آنالیز حساسیت نشان داد که اثر وزن روی مته بر نرخ نفوذ، کمتر از اثر چرخش مته می‌باشد [۸]. الکتاننتی (۲۰۱۸) شبکه عصبی مصنوعی



شکل ۱. نحوه شکست نمونه بعد از آزمایش تک محوره

بدست آورد. در جدول ۲ خواص فیزیکی محاسبه شده برای نمونه‌ها آورده شده است.

پس از آماده سازی نمونه‌های استوانه‌ای باید با دستگاه یا بصورت دستی دوطرف بالا و پایین نمونه را کاملاً سوهان کشیده تا صاف شوند. سپس نمونه را داخل دستگاه جک بتن شکن قرار داده تا بتوان مقاومت فشاری تک محوره آن را با این دستگاه اندازه‌گیری کرد. همان طور که در شکل ۱ قابل مشاهده است، نمونه شکستگی‌های عمودی و موازی دارد که این نحوه شکست نمونه و صفحات شکست موازی آن نشان دهنده این است که نمونه شکننده و دارای مقاومت بالا می‌باشد. باتوجه به اندازه‌گیری دیجیتال دستگاه جک بتن شکن، مقاومت فشاری تک محوره نمونه‌ها مقدار ۳۰ مگاپاسکال ثبت شد.

جدول ۱. طرح اختلاط ساخت بتن C20

مقدار در بتن C20	مشخصات	مصالح مورد استفاده
۲۰۲ گرم	بُعد بین ۲ تا ۳ میلی‌متر	شن
۱۹۸ گرم	با حداکثر بُعد ۲ میلی‌متر	ماسه
۲۶۲ گرم	سیمان تیپ ۲ کرمان	سیمان
۱۳۰ گرم	آب معمول	آب
۰/۴۹۶	-	نسبت آب به سیمان

جدول ۲. خواص فیزیکی نمونه‌ها

نوع نمونه	مقاومت فشاری تک محوره (مگاپاسکال)	چگالی (کیلوگرم بر مترمکعب)	تخلخل (%)
نمونه مکعبی سیمانی	۳۰	۲۳۴۹/۴	۳۱

۳. طرح آزمایش

شکل ۲ نشان دهنده نمایی از دستگاه حفاری مغزه‌گیری مورد استفاده می‌باشد. این دستگاه به منظور حفاری نمونه‌های مختلف سنگی و بتنی جهت بدست آوردن مغزه از آن‌ها استفاده می‌شود. باتوجه به نوع مته‌ای که درون آن قرار داده می‌شود، می‌تواند نوع مغزه متفاوت باشد. مته‌ای که در این آزمایش در دستگاه استفاده می‌شود از نوع مته مغزه‌گیری با قطر خارجی ۴/۶ و قطر داخلی ۳/۸ سانتی متر می‌باشد.

یکی از قابلیت‌های دستگاه حفاری مغزه‌گیری، چرخش دستگاه و زاویه‌پذیری آن به اندازه ۹۰ درجه می‌باشد که

می‌توان به صورت انحرافی و زاویه‌دار عملیات حفاری را با آن انجام داد.

با باز و بسته کردن پیچ‌هایی که روی بدنه دستگاه تعبیه شده، می‌توان عمل بالا و پایین بردن ارتفاع مته و همچنین عمل زاویه دادن به مته را انجام داد. عمقی که مته مغزه‌گیری در این دستگاه قادر به حفاری می‌باشد، به مقدار ۱۰ سانتی‌متر است. باتوجه به اینکه برای مهار نمونه از گیره استفاده می‌شود و در دستگاه فقط گیره‌ها برای حفاری عمودی تعبیه شده‌اند و برای حفاری بصورت انحرافی گیره تعریف نشده است، در این آزمایش از طرحی خلاقانه و خودساخته استفاده شده است که در زیر به آن پرداخته شده است.

داده شده است و به منظور حفاظت از ترازو در مقابل شکستگی ناشی از وزن و بار اعمالی از مته و نمونه بتنی و همچنین ارتعاشات موجود در حین عملیات حفاری مغزه‌گیری از فوم با ضخامت یک سانتی‌متر استفاده شده است. این فوم ضد آب و عایق گرما و حرارت نیز می‌باشد.



شکل ۴. قرارگیری ترازوی دیجیتال

ترازوی به کار رفته در این آزمایش قادر به اندازه‌گیری وزن اعمالی تا ۱۸۰ کیلوگرم و با دقت ۰/۰۰۱ می‌باشد. پیچ‌هایی که در اطراف گیره بکار رفته است، جهت نگهداری نمونه و ثابت‌سازی آن در حین عملیات حفاری هستند. از آنجایی حفاری زاویه‌دار می‌باشد و با اعمال وزن روی مته باعث وارد شدن فشار به گیره می‌شود و آن را رو به جلو حرکت می‌دهد، می‌توان از دو گیره نجاری برای محکم نگهداشتن و متصل کردن آن به سینی دستگاه حفاری استفاده کرد.

در این پژوهش به بررسی تأثیر پارامترهای حفاری مانند وزن روی مته از ۵۰ تا ۱۱۰ کیلوگرم و زاویه انحراف از صفر تا ۶۰ درجه بر نرخ نفوذ پرداخته شد. آزمایش‌ها با نمونه‌های بتنی ساخته شده در آزمایشگاه انجام گرفته است. هدف اصلی این آزمایش بررسی تأثیر پارامترهای حفاری بر نرخ نفوذ است که در شرایط محیطی ثابت مانند مقاومت فشاری تک محوره و تخلخل و ویژگی‌های دیگر نمونه که در آزمایش باید ثابت و مقادیر یکسان داشته باشند.

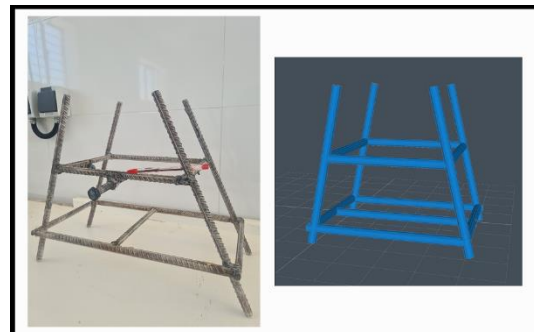
۴. نتایج آزمایشات و بحث

نتایج بدست آمده از آزمایش نمونه‌های بتنی مکعبی با مقاومت فشاری تک محوره ثابت ۳۰ مگاپاسکال در دستگاه حفاری مغزه‌گیری در جدول ۳ آورده شده است. در این جدول



شکل ۲. دستگاه حفاری مغزه‌گیری

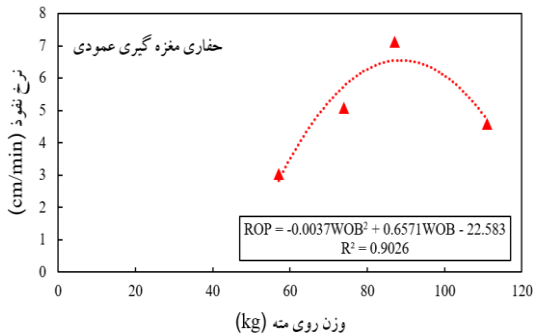
پس از بررسی دستگاه و اندازه‌گیری‌هایی که انجام شده است، نوعی گیره طراحی و ساخته شد که در شکل ۳ می‌توان نمایی از این سازه را مشاهده کرد. این سازه به طول ۳۹، عرض ۲۱ و ارتفاع ۳۳/۵ سانتی‌متر می‌باشد. در این سازه از میلگرد و پیچ و مهره استفاده شده است که جهت مهار نمونه در حین عملیات حفاری از آن استفاده می‌شود.



شکل ۳. گیره مهارکننده نمونه

از آنجایی که برای انجام آزمایش حفاری مغزه‌گیری انحرافی نیاز به اندازه‌گیری وزن روی مته در حین آزمایش است، باید بگونه‌ای این مقدار مشخص باشد. به همین منظور، از ترازوی وزن‌سنج دیجیتالی در این آزمایش استفاده شده است و سازه گیره مانند دستگاه طوری طراحی شده که ترازوی دیجیتال بتواند داخل آن قرار گرفته و وزن روی مته در حین آزمایش اندازه‌گیری شود. همانطور که در شکل ۴ مشخص است در کف گیره تخته چوبی قرار گرفته و ترازو روی آن قرار

شده است. در آزمایش با زاویه انحراف ۳۰ درجه، ضریب همبستگی ۰/۹۶۲۴ بدست آمده و حفاری بصورت انحرافی انجام شده است. در این آزمایش با اعمال وزن روی مته ۸۰ کیلوگرم، نرخ نفوذ شروع به کاهش یافتن کرده است که نشان دهنده نقطه بهینه برای نرخ نفوذ در عملکرد مماسی مته می باشد. از طرفی با افزایش وزن روی مته تا ۱۵۰ کیلوگرم، نرخ نفوذ افزایش ناگهانی یافته و عملکرد مته در حفاری از مماسی و عمل برشی به ریز ریز کردن و کندن سنگها تغییر کرده است. این تغییر در مکانیزم حفاری مته باعث کاهش طول عمر مته شده که حالتی نامطلوب در عملیات حفاری محسوب می شود. تغییر مکانیزم عملکرد مته را می توان در شکل ۷ مشاهده نمود.



شکل ۵. رابطه بین وزن روی مته و نرخ نفوذ در زاویه انحراف صفر درجه و سرعت چرخش مته ۱۴۰۰ rpm

روابطی که برای وزن روی مته و نرخ نفوذ در زاویه انحرافهای متفاوت آورده شده است از رابطه (۲) که کالدر و بایر در سال ۱۹۶۷ ارائه کردند، استفاده شده است:

$$ROP = (61 - 28 \log_{10} UCS) \frac{WOB}{D} \cdot \frac{RPM}{300} \quad (2)$$

در شکل ۷ همانطور که مشاهده می شود، هنگامی که مته بصورت مماسی حفاری کرده است دیواره نمونه صاف بوده و فاقد هرگونه حفره ایجاد شده می باشد. در صورتی که وقتی عملکرد مته تغییر پیدا کرده است، باعث کندن شدن ریزدانه های موجود در نمونه شده و آن ها را ریز ریز کرده است و در نمونه حفارتی ایجاد شده که ناشی از کندن شدن ریزدانه ها می باشد و دیواره نمونه بصورت حفره دار مشاهده می شود.

مقادیر مختلف وزن روی مته و زاویه انحراف اعمال شده در آزمایش آورده شده است.

باتوجه به جدول ۳، مقادیر مختلف وزن روی مته در زاویه انحراف متفاوت اعمال شده که باتوجه به مدت زمان حفاری و عمق حفر شده مقادیر نرخ نفوذ بدست آمده و ثبت شده است. پس از ثبت نتایج با استفاده از رابطه (۱) که به نام رابطه Maurur شناخته می شود، با داشتن مقادیر نرخ نفوذ، مقاومت فشاری تک محوره، قطر خارجی مته، سرعت چرخش مته و وزن روی مته به محاسبه مقدار ثابت k در این رابطه پرداخته شد. سپس با بدست آمدن مقدار ثابت k برابر ۰/۰۱۱، به محاسبه مقادیر وزن روی مته با نرخ نفوذ بدست آمده از رابطه و مقایسه آن با مقادیر وزن روی مته استفاده شده در آزمایش پرداخته شد.

$$ROP = k \cdot \frac{RPM \cdot WOB^2}{D^2 \cdot UCS^2} \quad (1)$$

در رابطه بالا پارامترهای موجود به شرح زیر می باشند:

- ROP: نرخ نفوذ مته بر حسب سانتی متر بر دقیقه
- RPM: سرعت چرخش مته بر حسب دور بر دقیقه
- WOB: وزن روی مته بر حسب کیلوگرم
- D: قطر خارجی مته بر حسب سانتی متر
- UCS: مقاومت فشاری تک محوره بر حسب مگاپاسکال

با توجه به نتایجی که از آزمایش بدست آمده است و در شکل ۵ مشاهده می شود، نمودار آزمایش های حفاری عمودی آورده شده است. با توجه به نمودار با اعمال وزن روی مته حداقل ۵۰ کیلوگرم و افزایش مقدار آن تا ۹۰ کیلوگرم، مقادیر نرخ نفوذ افزایش یافته و پس از رسیدن به یک مقدار بهینه شروع به کاهش یافتن کرده است. در این آزمایش حفاری عمودی بوده و مته بصورت یکنواخت حفر کرده است که ضریب همبستگی ۰/۹۰۲۶ برای نتایج حاصل بدست آمده است.

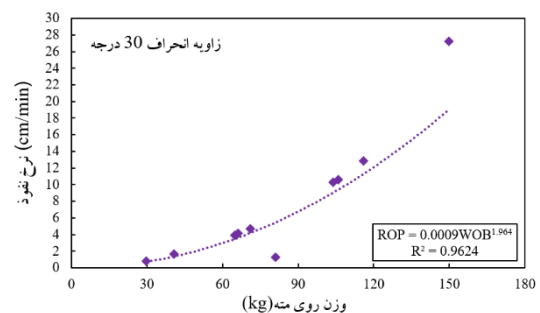
در انجام آزمایش با زاویه انحراف ۳۰ درجه، مقادیر وزن روی مته از مقدار حداقل ۵۰ تا ۱۵۰ کیلوگرم اعمال شده است. در این آزمایش سرعت چرخش مته ۱۴۰۰ دور بر دقیقه و مقاومت فشاری تک محوره ۳۰ مگاپاسکال و قطر داخلی و خارجی مته به ترتیب ۳/۸ و ۴/۶ سانتی متر در نظر گرفته شده است. نتایج بدست آمده از این آزمایش در شکل ۶ نشان داده

جدول ۳. نتایج حفاری مغزه‌گیری برای پارامترهای حفاری در سرعت چرخش متنه ۱۴۰۰ rpm

شماره آزمایش	زاویه انحراف (درجه)	وزن روی متنه (kg)	نرخ نفوذ (cm/min)	وزن روی متنه طبق رابطه Maurur (kg)	وزن روی متنه طبق رابطه Calder (kg)
۱	۰	۵۰	۳/۰۳۲	۵۷	۲۴
۲	۰	۷۰	۵/۰۸۹	۷۴	۴۰
۳	۰	۹۰	۷/۱۲۵	۸۷	۵۶
۴	۰	۱۱۰	۴/۵۹۷	۱۱۱	۶۶
۵	۳۰	۵۰	۰/۸۲۵	۳۰	۶/۵
۶	۳۰	۵۰	۱/۶۵۱	۴۱	۱۳
۷	۳۰	۵۰	۴/۱۳۸	۶۶	۳۳
۸	۳۰	۷۰	۳/۹۱۳	۶۵	۳۱
۹	۳۰	۷۰	۴/۷۳۶	۷۱	۳۷
۱۰	۳۰	۸۰	۱/۲۹۰	۸۱	۴۰
۱۱	۳۰	۹۰	۱۰/۲۸۶	۱۰۴	۱۰۱
۱۲	۳۰	۹۰	۱۰/۵۸۸	۱۰۶	۸۳
۱۳	۳۰	۹۰	۱۲/۸۵۷	۱۱۶	۸۱
۱۴	۳۰	۱۵۰	۲۷/۲۷۳	۱۷۰	۲۱۵
۱۵	۴۵	۵۰	۲/۵۹۶	۵۲	۲۰
۱۶	۴۵	۵۰	۳/۶۴۹	۶۲	۲۹
۱۷	۴۵	۷۰	۵/۴	۷۶	۴۳
۱۸	۴۵	۷۰	۵/۵۱۰	۷۷	۴۴
۱۹	۴۵	۹۰	۷/۵	۸۹	۵۹
۲۰	۶۰	۵۰	۱/۰۲۹	۳۳	۸
۲۱	۶۰	۵۰	۱/۸۶	۴۴	۱۵
۲۲	۶۰	۷۰	۳/۸۶۴	۶۴	۳۰
۲۳	۶۰	۷۰	۴/۰۷۱	۶۶	۳۲

وزن روی متنه بین ۵۰ تا ۹۰ کیلوگرم قرار گرفتند. در شکل ۸ می‌توان رابطه بین وزن روی متنه و نرخ نفوذ را مشاهده نمود. در این آزمایش زمانی که به متنه وزن ۹۰ کیلوگرم وارد شد، عملکرد متنه شروع به تغییر یافتن و کندن ریزدانه‌ها کرد که نشان می‌دهد مقدار بهینه نرخ نفوذ در این زاویه ۷/۵ سانتی‌متر بر دقیقه و ضریب همبستگی بین داده‌ها ۰/۹۹۹۱ می‌باشد.

آزمایش نمونه‌های بتنی مکعبی با مقاومت فشاری تک محوره ۳۰ مگاپاسکال در زاویه انحراف ۶۰ درجه در وزن روی متنه ۵۰ و ۷۰ کیلوگرم انجام شد که در شکل ۹ می‌توان نتایج این آزمایش را مشاهده نمود. در این نمودار ضریب همبستگی بین داده‌ها ۰/۹۴۵۵ محاسبه شده است.



شکل ۶. رابطه بین وزن روی متنه و نرخ نفوذ در زاویه انحراف ۳۰ درجه و سرعت چرخش متنه ۱۴۰۰ rpm

در آزمایش با زاویه انحراف ۴۵ درجه، نمونه‌های بتنی مکعبی با مقاومت فشاری تک محوره ۳۰ مگاپاسکال تحت

بسیار زیاد باشد اما در حقیقت مته با کندن سنگ و سازند پیشروی می‌کند که برای مدت کوتاهی موثر است و پس از آن مته دفن شده و یا با خرابی دندانها عمر مته کاهش پیدا می‌کند. از طرفی از آنجایی که وزن روی مته به واسطه وزن لوله‌های حفاری و مته می‌باشد و در آزمایشگاه وزن اعمال شده در آزمایش به واسطه اپراتور بوده، اثر این امر در زاویه‌های مختلف مته در انجام آزمایش بخوبی نشان داده نشده است و در عمل می‌بایست با افزایش زاویه انحراف، وزن اعمال شده روی مته کاهش یابد و عمل حفر نمونه بیشتر بواسطه سایش نمونه و عملکرد مماسی مته انجام گیرد.

با مقایسه نتایج بدست آمده از آزمایش و نتایج مرتبط با پژوهش محمدیاسین و همکاران [۱۲]، مشخص است که داده‌های بدست آمده از آزمایش در حفاری عمودی با یکدیگر مطابقت دارند و می‌توان در نمودارهای رسم شده، نقطه بهینه وزن روی مته و نرخ نفوذ را مشاهده نمود. در این حالت طبیعی است وقتی بار از یک حد مشخص بگذرد مته در داخل کنده های خود فرور رفته و اجازه خروج کنده ها را نمی‌دهد در نتیجه نرخ نفوذ کاهش می‌یابد که این نقطه بعنوان نقطه بهینه انتخاب می‌شود.

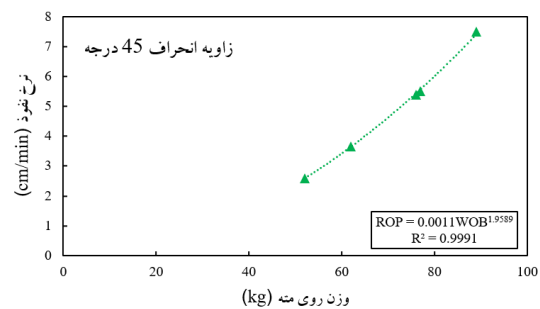
در حفاری انحرافی و زاویه انحرافی که در آزمایش اعمال شده، از آنجایی که نمونه معرف یک سازند نرم با مقاومت فشاری تک محوره ۳۰ مگاپاسکال می‌باشد با افزایش بیش از اندازه وزن روی مته، بار بطور کامل در راستای مته اعمال نمی‌شود و در واقع تجزیه می‌شود و از طرفی مکانیزم حفاری از حالت مماسی خارج شده و حالت (chipping) قطعه قطعه کنده شدن) بخود می‌گیرد و در این حالت ابعاد ذرات کمی درشت تر از حالت عمودی می‌شوند که این حالت باعث افزایش نرخ نفوذ گشته است. لازم به ذکر است که در این حالت هم در عمل در صورتیکه وزن روی مته خیلی افزایش پیدا کند مشکلات متعدد دیگر و با عدم امکان پذیری اعمال بار مواجه هستیم. لذا با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان وزن روی مته بهینه را که در آن مته بصورت مماسی عمل حفاری را انجام می‌دهد مقدار ۸۰ کیلوگرم بیان کرد.

۵. نتیجه گیری

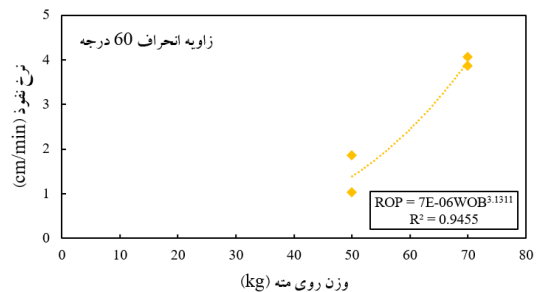
با بررسی نتایج آزمایش‌های این پژوهش، بطور واضح مشخص شد که تأثیر وزن روی مته بر نرخ نفوذ ابتدا رابطه مستقیم



شکل ۷. عملکرد مته در حفاری نمونه‌ها بصورت الف) مماسی و برشی ب) تراشیدگی و ریز ریز کردن



شکل ۸. رابطه بین وزن روی مته و نرخ نفوذ در زاویه انحراف ۴۵ درجه و سرعت چرخش مته ۱۴۰۰ rpm



شکل ۹. رابطه بین وزن روی مته و نرخ نفوذ در زاویه انحراف ۶۰ درجه و سرعت چرخش مته ۱۴۰۰ rpm

همانطور که از نتایج بدست آمده از آزمایش‌های انجام گرفته و پژوهش‌های گذشته توسط محققان مختلف مانند پژوهش محمدیاسین و همکاران در سال ۲۰۲۰ [۱۲] مشخص است، با افزایش وزن روی مته مقدار نرخ نفوذ افزایش یافته و هنگامی که به نقطه عطف و بهینه خود برسد، نرخ نفوذ شروع به کاهش یافتن می‌کند. در صورتی که سازند مورد نظر نرم باشد و وزن روی مته از مقدار بهینه خود افزایش یابد، امکان تغییر مکانیزم عملکرد مته وجود دارد. این بدین معنی است که ممکن است در نتایج بدست آمده از حفاری نرخ نفوذ

optimization of drilling parameters based on mechanical specific energy for rotating drilling with positive displacement motor in the hard formation. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, 35, pp.686-694, 2016.

[7] Wiktorski, E., Kuznetsov, A. and Sui, D., April. ROP optimization and modeling in directional drilling process. In SPE Bergen One Day Seminar. OnePetro, 2017.

[۸] امین احمدی، ابوالفضل مسعودی، مجتبی آبدیده. بررسی تاثیر پارامترهای حفاری بر نرخ نفوذ مته در چاه‌های عمودی و زاویه‌دار با در نظر گرفتن سازندهای مختلف در میدان گازی پارس جنوبی، ۱۳۹۷.

[9] Elkhatny, S., April. Rate of penetration prediction using self-adaptive differential evolution-artificial neural network. In SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition. OnePetro, 2018.

[10] Al-AbdulJabbar, A., Elkhatny, S., Mahmoud, M. and Abdurraheem, A., April. Predicting rate of penetration using artificial intelligence techniques. In SPE Kingdom of Saudi Arabia Annual Technical Symposium and Exhibition. OnePetro, 2018.

[11] Riazi, M., Mehrjoo, H., Nakhaei, R., Jalalifar, H., Shateri, M., Riazi, M., Ostadhassan, M., Hemmati-Sarapardeh, A. Modelling rate of penetration in drilling operations using RBF, MLP, LSSVM, and DT models. *Scientific Reports*, 12(1), 11650, 2022.

[12] Yassien, M.A., Sayed, M.A., Boghdady, G.Y., Ali, M.A.M., Mohamed, A.S. Experimental research into the effect of some operation factors and rock properties on the rate of penetration, *Mining of Mineral Deposits*, 14(1), pp.36-43, 2020.

داشته و با افزایش وزن روی مته مقدار نرخ نفوذ افزایش پیدا می‌کند و پس از رسیدن به نقطه عطف رابطه عکس خواهند داشت. در رابطه با اثر زاویه انحراف بر نرخ نفوذ می‌توان گفت که با افزایش زاویه انحراف برای حفظ نرخ نفوذ باید وزن روی مته را افزایش داد.

نتایج نشان می‌دهند که برای نمونه بتنی با مقاومت فشاری تک محوره ۳۰ مگاپاسکال، که نشان دهنده یک سازند نرم می‌باشد، مقدار بهینه وزن روی مته در عملیات حفاری مقدار ۸۰ کیلوگرم می‌باشد و از این مقدار بیشتر باعث تغییر عملکرد مته در نوع حفاری سازند خواهد شد. با تغییر مکانیزم عملکرد مته در طولانی مدت باعث کاهش طول عمر مته شده و هزینه تعویض مته را در پی خواهد داشت.

۶. سپاسگزاری

از مسئولان آزمایشگاه‌های بخش مهندسی معدن و مهندسی نفت و گاز دانشگاه شهید باهنر کرمان جهت دسترسی به تجهیزات مورد نیاز و کمک‌های ارزشمند برای تکمیل این پژوهش صمیمانه قدردانی می‌نمائیم.

۷. مراجع

[1] M. Rafiqul Islam, M. Enamul Hossain, *Drilling engineering, Towards Achieving Total Sustainability*. Gulf Professional Publishing, 2021.

[2] Fear, M.J., March. How to improve rate of penetration in field operations. In IADC/SPE Drilling Conference. OnePetro, 1996.

[3] Eren, T. and Ozbayoglu, M.E., January. Real time optimization of drilling parameters during drilling operations. In SPE Oil and Gas India conference and exhibition. OnePetro, 2010. Eren, T. and Ozbayoglu, M.E., January. Real time optimization of drilling parameters during drilling operations. In SPE Oil and Gas India conference and exhibition. OnePetro, 2010.

[۴] کیان کاتب صابر، خلیل شهبازی، ناصر اخلاقی اولقی. تخمین نرخ نفوذ در سنگ با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و بهینه سازی پارامترهای حفاری در چاه‌های جهت‌دار میدان نفتی اهواز، ۱۳۹۱.

[5] Falode, O.A. and Agbarakwe, C.J., *Optimization of Drilling Parameters for Directional and Horizontal Wells Using Genetic Algorithm*. *Journal of scientific Research and Reports*, 2016.

[6] Chen, X., Gao, D., Guo, B. and Feng, Y., *Real time*