

روشی نوین برای انتخاب مته سه کاجه بر اساس پارامترهای ژئومکانیکی با استفاده از لاگ صوتی

سعید پرویزی قلعه*، شرکت نفت فلات قاره ■ میثم حسن نژاد، صیاد قادری، دانشگاه صنعتی سهند تبریز ■ محمد صادق عظیمی فر، شرکت مهندسی و توسعه نفت

چکیده

انتخاب مته یکی از چالش‌های اساسی در عملیات حفاری چاه عمیق است. بیشتر هزینه‌ها در هر چاه مربوط به مرحله حفاری است. از طرفی، توسعه یک عملیات حفاری بهینه‌سازی شده، ممکن است در استفاده موثر از مته خلاصه شود. انتخاب یک مته مناسب برای شرایط حفاری خاص، نیاز به ارزیابی چندین پارامتر دارد. در این کار، ما ویژگی‌های اساسی قابلیت حفر سازند یعنی مقاومت فشاری تک‌محوره و سختی موهر را بر اساس لاگ‌های پتروفیزیکی، گزارش‌های روزانه حفاری و گزارش‌های مته‌چاه‌های offset فراهم کردیم. بر این اساس، یک طرح بهینه‌سازی شده انتخاب مته را بر اساس خصوصیات سازند و معیارهای طبقه‌بندی برای مته‌های حفاری ایجاد شده توسط انجمن بین‌المللی پیمانکاران حفاری (IADC) ارائه کردیم. در مرحله بعد می‌توانیم انتخاب مته بهینه را توجیه کنیم. این رویکرد منجر به یک عملیات حفاری مقرون به صرفه و برنامه مته در زمینه‌های مورد مطالعه خواهد شد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۸/۰۴/۱۸
تاریخ ارسال به داور: ۹۸/۰۵/۰۵
تاریخ پذیرش داور: ۹۸/۰۶/۲۳

واژگان کلیدی:

لاگ صوتی، مقاومت فشاری تک‌محوره، سختی اشیمیت، قابلیت حفاری، انتخاب مته

مقدمه

با سختی سنگ، قابلیت حفر و مقاومت، رابطه دارد. آقایان Gstalder و Raynal سختی سنگ را مستقیماً از نمونه‌های مغزه و سپس از سرعت‌های موج فشاری، به‌عنوان روش جایگزین، اندازه‌گیری کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که اگر سرعت‌های موج فشاری افزایش یابد، سختی سنگ افزایش پیدا می‌کند [۱].

همچنین Hadidi به‌صورت آزمایشگاهی مقاومت حفاری و سرعت‌های موج فشاری را اندازه‌گیری کردند و به این نتیجه رسیدند که اگر سرعت‌های فشاری افزایش یابد، مقاومت حفاری افزایش خواهد یافت [۲]. ما از مقالات متوجه می‌شویم که یک رابطه مناسب بین سرعت‌های موج فشاری و سختی سنگ و همچنین مقاومت فشاری تک‌محوره وجود دارد [۳]. سنگ‌ها از طیف گسترده‌ای از خواص فیزیکی - مکانیکی و زمین‌شناسی برخوردار هستند که تأثیر مستقیم و غیرمستقیم بر عملیات حفاری دارند. برخی از خواص فیزیکی عبارتند از: تخلخل، دانسیته، بافت، ساختار و پیوستگی. خواص مکانیکی سنگ نشان‌دهنده مقاومت و سختی سنگ در مقابل نیروی ورودی است. برخی از این پارامترها عبارتند از: مقاومت فشاری تک‌محوره (UCS)، انسجام (c)، زاویه اصطکاک داخلی (φ)، سختی،

از لحاظ تاریخی، مته‌های حفاری با توجه به سوابق عملکرد در میدان و بر اساس کمترین هزینه در حال اجرا انتخاب می‌شوند. اغلب به علت عدم‌آشنایی با خصوصیات ژئومکانیکی سازندهای حفاری یا نبود اطلاعات برای عملکرد مته، بهترین رکوردهای حفاری در دسترس نیستند. در نتیجه انتخاب بهینه مته از طریق آزمون سعی و خطا در یک هزینه اضافی قابل توجه برای تعداد زیادی از چاه‌ها فراهم گردید. به‌علاوه در بسیاری از موارد، سعی در فرایند انتخاب بهینه مته نشده، در صورتی که اگر رکوردهای offset اطلاعات سنگ‌شناسی و یا مقاومت را شامل نشود، مشکل عملی ظاهر خواهد شد. از این رو عملکرد مته در فواصل حفاری و شرایط عملیاتی مته می‌تواند از رکوردهای مته استنباط گردد، در حالی که اطلاعات در مورد چیزی که مته سوراخ کرده ممکن است از لاگ‌ها حاصل شود، نه از طریق رکوردهای مته. بر این اساس استفاده از داده‌های لاگ می‌تواند طرح انتخاب اقتصادی مته را تسهیل کند.

۱- مقاومت فشاری تک‌محوره و سختی بر اساس سرعت‌های موج صوتی

مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهند که سرعت‌های صوتی

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (saeed.parvizi68@gmail.com)

مکانیک سنگ مشخص می‌کند. با توجه به این جداول، مقاومت تراکمی تک‌محوره و سختی از جمله پارامترهای مهم برای انتخاب مته هستند.

۲-۱- سختی سنگ

سختی معدنی توسط ناخن، سوزن، فولاد یا کوارتز در مقیاس موهر اندازه‌گیری می‌شود [۷]. مقیاس سختی مواد معدنی موهر مقاومت در برابر خراش مواد معدنی مختلف را از طریق مواد معدنی سخت‌تر برای خرد کردن مواد نرم‌تر نشان می‌دهد. با این حال، در عملیات حفاری باید سختی سنگ سازند را به طور مداوم در حین حفاری بدانیم. از سوی دیگر، تخمین سختی بسیار پیچیده است که این به این دلیل است که سختی مواد سنگ به سختی سنگ‌های تشکیل دهنده مواد معدنی و ارتباط این مواد معدنی و سنگ‌های منبع بستگی دارد. به عنوان مثال، کوارتز به‌عنوان سنگ دگرگونی حاوی دانه‌های کوارتز مستقل از هم، بسیار سخت بوده و با توجه به مقیاس موهر، سختی آن برابر با ۷ است. با این وجود، ماسه‌سنگ آهکی به عنوان سنگ رسوبی حاوی درصد بالایی از مواد معدنی کوارتز، با چاقو خراشیده شده و بنابراین سختی آن کمتر از ۷ است [۸]. همانطور که مشخص است سختی مستقیماً از نمونه‌های مغزه سازند تعیین می‌شود. هرچند عدد اشمیت یک روش جایگزین برای تعیین سختی سازند است، با توجه به مقالات، پیدا کردن یک کد مناسب برای مته نیاز به برآورد خوبی از سختی سنگ دارد. تاکنون، چندین رابطه برای پیش‌بینی خواص سنگ بر اساس مدول

مدول یانگ (E)، نسبت پواسون (ν)، در ضمن، پارامترهای ژئومکانیکی سنگ سازند برای مطالعه حفارپذیری و انتخاب مته لازم است [۴]. در میان این پارامترها، مدول یانگ بسیار ضروری است. امواج الاستیک در سنگ با سرعتی که تابع سختی الاستیک و چگالی سنگ است، حرکت می‌کند. معادله (۱) به‌طور دقیق انتشار موج الاستیک در یک ماده جامد ایزوتروپیک را تعریف می‌کند. تمامی این پارامترها به پارامترهای دیگر از قبیل تخلخل و تنش به هنگام استفاده در میدان بستگی دارد. در این تحقیق برای تخمین مدول الاستیک از سرعت‌های موج از معادله (۱) استفاده گردید [۵].

$$E = \frac{\rho V_s^2 (3V_p^2 - 4V_s^2)}{(V_p^2 - V_s^2)} \quad (1)$$

سرعت برشی صوت Vs (Km/s)

سرعت تراکمی صوت Vp (Km/s)

چگالی ρ (gr/cm³)

مدول الاستیک E (GPa)

بنابراین، در صورت وجود اطلاعات سرعت موج تراکمی و برشی و لاگ چگالی، خواص مکانیک سنگ می‌تواند با استفاده از لاگ صوتی دوقطبی (dipol) به دست آید.

با این حال، اغلب سرعت موج S در میدان ثبت نشده است. بنابراین، پیش‌بینی سرعت موج S یک هدف جالب برای محققان است. اگر لاگ‌های صوتی دوقطبی (dipol) در دسترس نباشد، ممکن است از یک معادله پیش‌بینی برای تخمین سرعت موج برشی از سرعت موج فشاری به دست آمده از لاگ صوتی استفاده کنیم. در این مطالعه، از معادله (۲) برای تخمین سرعت موج برشی استفاده شد [۶].

$$V_s = 1.68 + \frac{1.56}{1 + \text{EXP}\left(-\frac{V_p - 4.46}{0.63}\right)} \quad (2)$$

۲- معیارهای موثر برای انتخاب مته

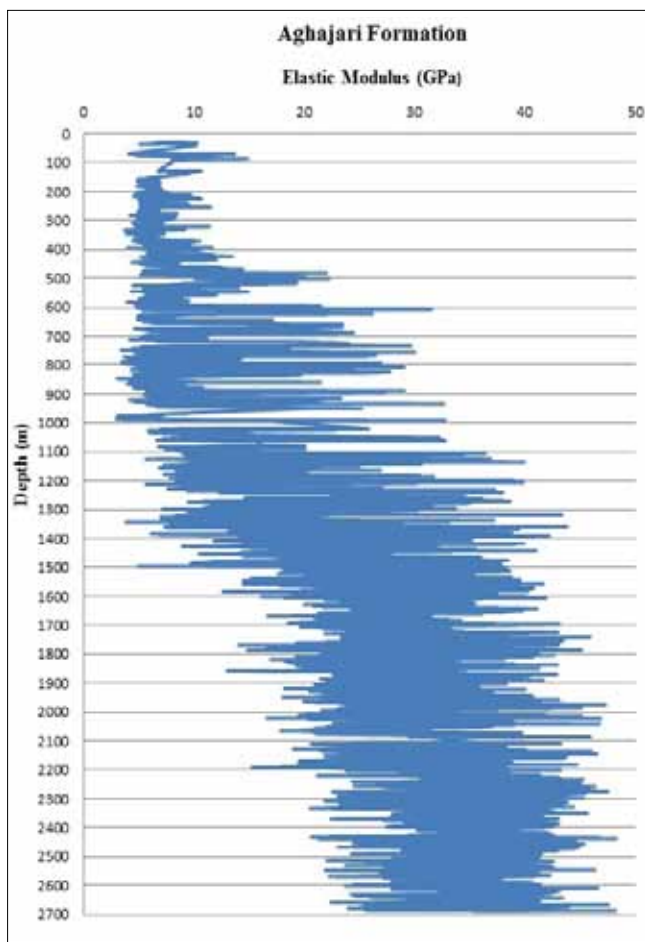
ماموریت IADC (انجمن بین‌المللی پیمانکاران حفاری)، بهبود تکنیک حفاری و تکمیل برای کمک به شرکت‌های نفتی در مشاغل خود از طریق نمودارهای طبقه‌بندی شده و جداول منتشر شده است. در این تحقیق از جدول IADC استفاده می‌کنیم که کدهای مته را بر اساس پارامترهای

طبقه‌بندی قابلیت حفاری بر اساس سختی موهر و مقاومت تراکمی تک‌محوره.

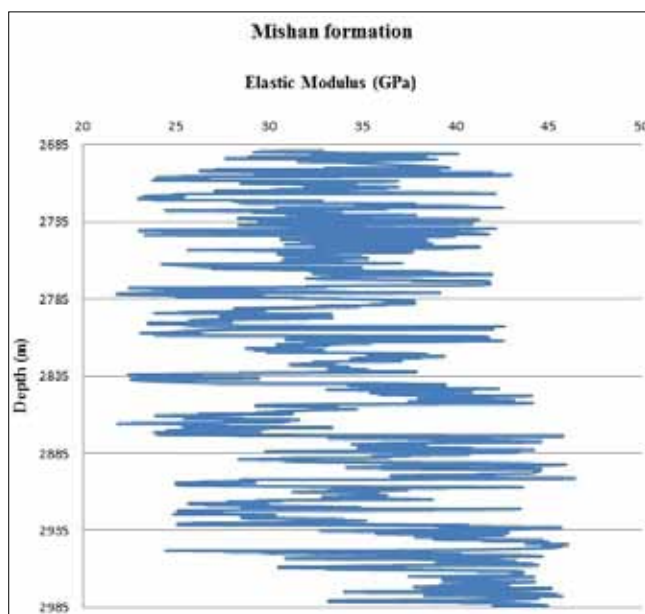
موهر	مقاومت تراکمی تک‌محوره (MPa)	قابلیت حفاری
>7	200<	Very high
7-6	200-120	High
6-4.5	120-60	Moderate
4.5-3	60-30	Tendentious to weak
3-2	30-10	Weak
2-1	10>	Very weak



IADC			BIT Description	Hardness	UCS (MPa)	Ground Description
3	1	1	Steel Tooth Standard Open Bearing Roller Bit	15 ≥	65 - 40	Hard abrasive rocks such as: sandstone with quartz binder, Hard sandstones, hard quartz shales, magma and metamorphic rocks
3	1	2	Steel Tooth Standard Open Air Cooled Bearing Roller Bit			
3	1	3	Steel Tooth Standard Open Bearing Roller Bit with Gauge Protection			
3	1	4	Steel Tooth Sealed Roller Bearing Bit			
3	1	5	Steel Tooth Sealed Roller Bearing Bit with Gauge Protection			
3	1	6	Steel Tooth Journal Sealed Bearing Bit			
3	1	7	Steel Tooth Journal Sealed Bearing Bit with Gauge Protection			
3	2	1	Steel Tooth Standard Open Bearing Roller Bit	30 - 15		
3	2	2	Steel Tooth Standard Open Air Cooled Bearing Roller Bit			
3	2	3	Steel Tooth Standard Open Bearing Roller Bit with Gauge Protection			
3	2	4	Steel Tooth Sealed Roller Bearing Bit			
3	2	5	Steel Tooth Sealed Roller Bearing Bit with Gauge Protection			
3	2	6	Steel Tooth Journal Sealed Bearing Bit			
3	2	7	Steel Tooth Journal Sealed Bearing Bit with Gauge Protection			
3	3	1	Steel Tooth Standard Open Bearing Roller Bit	45 - 30		
3	3	2	Steel Tooth Standard Open Air Cooled Bearing Roller Bit			
3	3	3	Steel Tooth Standard Open Bearing Roller Bit with Gauge Protection			
3	3	4	Steel Tooth Sealed Roller Bearing Bit			
3	3	5	Steel Tooth Sealed Roller Bearing Bit with Gauge Protection			
3	3	6	Steel Tooth Journal Sealed Bearing Bit			
3	3	7	Steel Tooth Journal Sealed Bearing Bit with Gauge Protection			
3	4	1	Steel Tooth Standard Open Bearing Roller Bit	≥ 45		
3	4	2	Steel Tooth Standard Open Air Cooled Bearing Roller Bit			
3	4	3	Steel Tooth Standard Open Bearing Roller Bit with Gauge Protection			
3	4	4	Steel Tooth Sealed Roller Bearing Bit			
3	4	5	Steel Tooth Sealed Roller Bearing Bit with Gauge Protection			
3	4	6	Steel Tooth Journal Sealed Bearing Bit			
3	4	7	Steel Tooth Journal Sealed Bearing Bit with Gauge Protection			



شکل ۱ | مدول یانگ برای سازند آغاجاری



شکل ۲ | مدول یانگ برای سازند میشان

یانگ پیشنهاد شده است. معادله (۳) یکی از روابط مناسب برای تخمین (N) در میدان است [۹].

$$N=0.5155E+17.488 \quad (3)$$

مدول الاستیک E (GPa)

عدد چکش اشمیت N=

۲-۲- مقاومت فشاری تک‌محوره (UCS)

یکی از پارامترهای مهم در مکانیزم ریزش و شکست سنگ، مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ است. شکست سنگ می‌تواند به روش‌های مختلفی اتفاق بیفتد؛ بسته به نوع مته، ماسون نشان داد که سختی و مقاومت فشاری تک‌محوره سنگ سازند بستگی به سرعت موج برشی دارد [۳]. آگاهی از مقاومت این سنگ‌ها برای انتخاب مته، طراحی وزن گل و برنامه‌ریزی چاه اهمیت دارد. هدف از فاکتور مقاومت، تأیید حداکثر استرس فشاری است که سنگ می‌تواند تحت بارگذاری تک‌محوره بدون شکست تحمل کند [۱۰]. برای اندازه‌گیری مستقیم مقاومت تراکمی تک‌محوره نیاز به نمونه مغزه‌های دست نخورده و محافظت شده داریم. با این وجود، تهیه نمونه مغزه از سازندهای میدان نفتی بسیار گران و زمان‌بر است. بنابراین، ترجیح می‌دهیم از روش غیرمستقیم برای تخمین مقاومت تراکمی تک‌محوره استفاده کنیم. روابط متعددی وجود دارد که N را به خواص سنگ مربوط می‌کند. در این تحقیق از معادله (۴) برای ارزیابی مقاومت تراکمی تک‌محوره از عدد چکش اشمیت (N) استفاده شده است و به نظر می‌رسد دقیق‌تر از سایر روابط مشابه باشند [۱۱].

$$UCS=13.02 \exp(0.0414N) \quad (4)$$

۲-۳- قابلیت حفرشوندگی

قابلیت حفرشوندگی یکی از خواص مهم برای هر گونه تلاش برای طبقه‌بندی سازند، انتخاب مته و حفاری است. قابلیت حفاری (حفرشوندگی) سازند تحت تاثیر سنگ‌شناسی و سختی، یک روش تجربی برجسته برای پیش‌بینی حفرشوندگی مقیاس موهر است [۱]. در این روش، قابلیت حفرپذیری سازند بر اساس سختی و مقاومت تراکمی تک‌محوره سنگ طبق جدول ۱- مشخص می‌گردد.

۳- زمین شناسی میدان نفتی مورد مطالعه

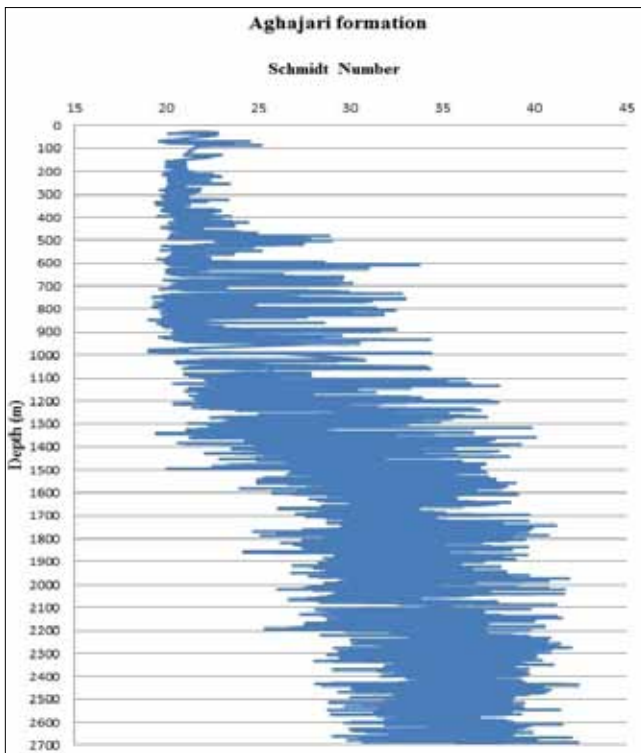
مارون یکی از بزرگترین میدانهای نفتی در جنوب غربی ایران، واقع در شمال غربی اهواز است. این میدان در مجاورت میدانهای کوپال، آغاچاری، شادگان و رامشیر قرار دارد. طول آن ۶۵ کیلومتر و عرض متوسط آن ۷ کیلومتر است. از لحاظ حوزههای زمین شناسی، در قسمت شرقی افتادگی شمال دزفول واقع شده است. میدان نفتی مارون دارای سنگ شناسی مختلفی است و در گذشته، با عملیات حفاری چالش برانگیزی مواجه بوده است. برخی از سازندها تحت فشار و برخی نرمال و طبیعی هستند. سازندهای مورد مطالعه شامل سازند آغاچاری (میوسن - پالئوسن) عمدتاً تشکیل شده از مارل قرمز و لایه های جزئی مارل خاکستری، سیلتستون، و ماسه سنگ آهکی و همچنین سازند میشان (سن میوسن) عمدتاً متشکل از مارل خاکستری و سنگ آهک است.

۴- جدول IADC

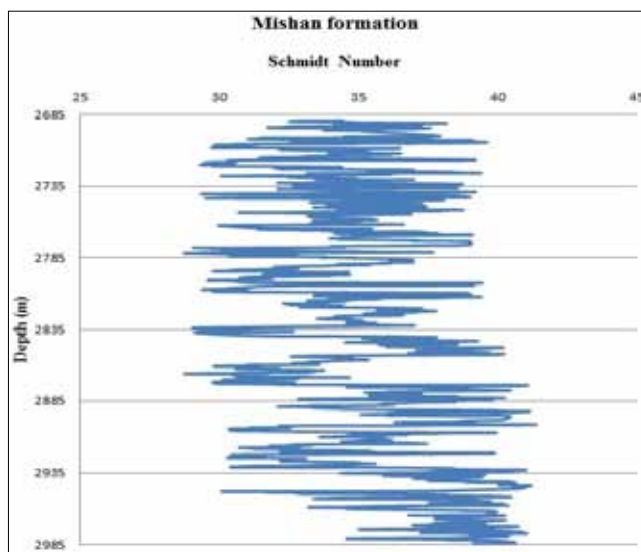
شماره دو رقمی کد IADC نشان دهنده ساختار دندانهای مته سه کاجه است که برای تولید تولید مته اقتصادی بسیار مهم می باشد. این شماره دو رقمی بر اساس پارامترهای ژئومکانیکی سازند شناسایی شده است. سومین رقم کد IADC نوع بلبرینگ Beang/ guage مته را مشخص می کند. Beang/ guage نقش مهمی در حفظ قابلیت اطمینان عملیاتی و کارایی مته ایفا می کند. مهندسین حفار از offset مته چاه و گزارش های روزانه حفاری، برای انتخاب حفاظت guage مناسب و یا bearing برای جلوگیری از شکست استفاده می کنند [۱۲]. در جدول ۲- IADC برای انتخاب مته نشان داده شده است.

۵- انتخاب مته سه کاجه

برای انتخاب یک مته مناسب براساس جدول IADC توالی سازند چاه از گزارش های روزانه حفاری با لاگ صوتی (جدول ۳-)، چگالی از نمودار دانسیته و سرعت صوت از نمودار صوتی به دست آمد.



شکل ۳ | مقدار عدد چکش اشمیت برای سازند آغاچاری



شکل ۴ | مقدار عدد چکش اشمیت برای سازند میشان

اطلاعات سازندی | ۳

سازند	عمق (متر)	قابلیت حفاری	مقدار میانگین سختی اشمیت	مقدار میانگین مقاومت تراکمی تک محوره (MPa)	کد مته انتخاب شده
آغاچاری	۰-۲۶۸۹	Tendentious to weak	۲۸.۰۸	۴۲.۹۵	۳۲۷
میشان	۲۶۸۹-۲۹۸۴	Tendentious to weak	۳۴.۸۶	۵۵.۵۱	۳۳۷

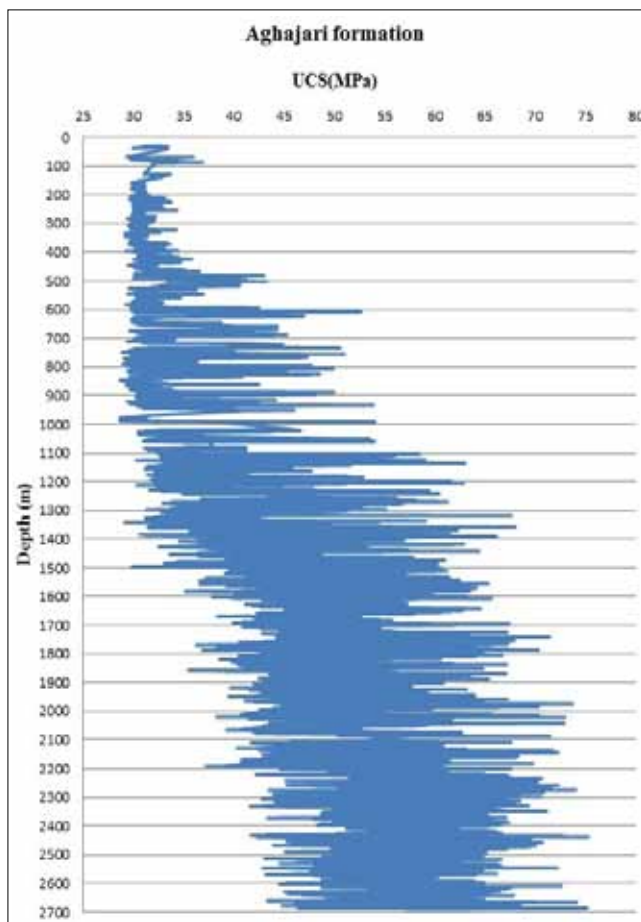
۵-۱- میزان مدول الاستیک برای سازندهای مذکور در شکل‌های ۱ و ۲ این محاسبات نشان داده شده است.

۵-۲- محاسبه عدد چکش اشمیت برای سازندهای مذکور در شکل‌های ۳ و ۴ این محاسبات نشان داده شده است.

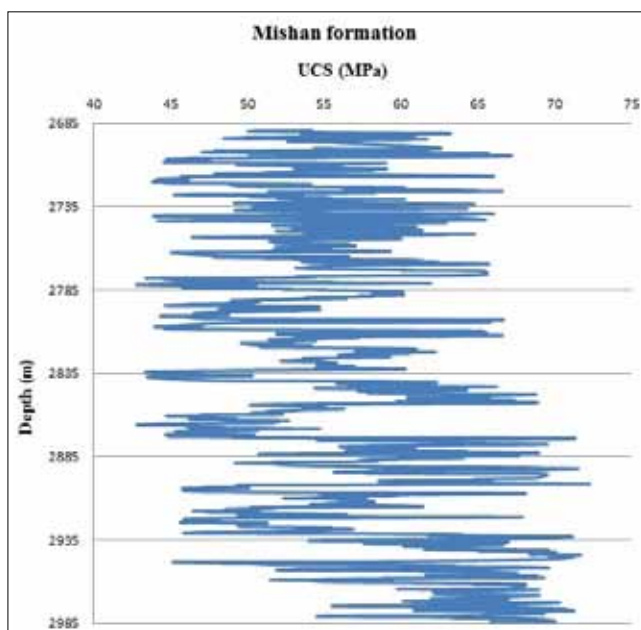
۵-۳- تخمین مقادیر مقاومت تراکمی تک‌محوره برای سازندهای مذکور

در شکل‌های ۵ و ۶ این محاسبات نشان داده شده است.

در مرحله بعد، مقادیر متوسط N و مقاومت تراکمی تک‌محوره و کلاس قابلیت حفرشوندگی برای این سازندها مطابق با جدول ۳ بدست آمد. بنابراین از جدول IADC می‌توانیم یک کد دو رقمی که نشان‌دهنده ساختار برش است، شناسایی کنیم. هرچند، سومین رقم کد IADC (کد ویژگی) مجاز بود تا مهندسان بتوانند نوع حفاظت GUAGE و یا عمر Bearing را از داده‌های (ثوابت) offset تعیین کنند. گاهی اوقات bit records نشان می‌دهد که مته تحت فشار شکست bearing و تحت کشش guage است، در حالی که ساختار برشی هنوز قابل قبول می‌باشد و داده‌های لاگ، پروفایل سنگ‌شناسی ساده و خوبی را نشان می‌دهد. در این شرایط مهندسان می‌توانند تصمیم بگیرند که یک مته با افزایش حفاظت bearing و guage اضافی، ساعت‌های مورد نیاز را برآورده می‌کند [۳]. در نهایت، ما ویژگی‌های مورد نیاز bearing و guage (کد سوم جدول IADC) را بر اساس داده‌های offset مته برای مطالعه سازندها به‌علاوه اطلاعات تکمیلی در مورد عملکرد bearing در میدان مارون در شرکت ملی نفت ایران بدست آوردیم. سومین شماره، طراحی bearing، حفاظت و guage را



شکل ۵ | مقدار مقاومت تک‌محوره برای سازند آغاجاری



شکل ۶ | مقدار مقاومت تک‌محوره برای سازند میشان

شکل ۷ | نرم افزار انتخاب مته بر اساس پارامترهای ژئومکانیکی

مته کمک کند. اتصال یک کاربر گرافیکی (GUI) برای انجام وظایف تعاملی نشان داده شده در شکل ۷ شناخته شد.

نتیجه گیری

در این مقاله ویژگی‌های اساسی حفری پذیری سازند، به‌عنوان مثال مقاومت فشاری تک‌محوره و سختی را بر اساس لاگ‌های پتروفیزیکی، گزارش‌های روزانه حفاری و گزارش‌های مته چاه‌های اطراف معین کردیم و نشان دادیم که دقیقاً چگونه طرح انتخاب مته می‌تواند برای بهینه‌سازی نرخ حفاری و بهبود طول عمر مته و تعداد عملیات تریپینگ فراهم شود.

این امر می‌تواند موجب کاهش زمان کلی حفاری و هزینه عملیات شود، زیرا مته‌های جدید سازگاری خوبی با سازندها دارند. با روش‌های شرح داده شده، یک برنامه مته بسیار بهبود یافته در میدان می‌تواند به‌دست آید. این امر به کاهش هزینه‌ها به همراه فرایند آزمون و خطای کنونی و به مدیریت برنامه مته بهینه در اوایل توسعه میدان کمک خواهد کرد. از طرفی، هزینه روش پیشنهادی کم است، زیرا می‌توان با مغزه‌گیری گران قیمت و زمان‌بر و تست‌های آزمایشگاهی با گزینه‌های جایگزین، جایگزین کنیم، همانطور که به جای آزمایش مغزه مخرب، از سرعت‌های صوتی برشی و فشاری برای تعیین پارامترهای مکانیک سنگ استفاده کردیم. ■

نشان می‌دهد و شامل هفت دسته‌بندی زیر است [۱۳].

1. Non-Sealed (Open) Roller Bearing
2. Roller Bearing Air Cooled
3. Non-Sealed (Open) Roller Bearing Gage Protected
4. Sealed Roller Bearing
5. Sealed Roller Bearing Gage Protected
6. Sealed Friction Bearing
7. Sealed Friction Bearing Gage Protected

سپس نام تولیدکننده مته مناسب می‌تواند از جداول مته (IADC) انتخاب شود. در نهایت، مته‌های ذکر شده در جدول ۳ برای هر سازند انتخاب شدند.

۶- برنامه انتخاب مته

با استفاده از کدهای متلب، نرم‌افزار کامپیوتر را برای انتخاب مته بر اساس روش توصیف شده توسعه دادیم. در این نرم‌افزار زمان گذار لاگ دانسیته و موج صوتی و نوع bearing به عنوان ورودی وارد شدند. سپس سختی و مدول یانگ محاسبه گردیدند، در نهایت نرم‌افزار، مته مناسب را بر اساس کد IADC پیشنهاد می‌کند.

این برنامه می‌تواند به مهندسان حفار به‌منظور شناسایی خواص ژئومکانیکی، طبقه‌بندی لایه‌ها و پیشنهاد برای برنامه‌ریزی

منابع

[1] Gstalder, S., and Raynal, 1966. Measurement of Some Mechanical Properties of Rock and Their Relationship to Rock Drillability. JPT, 991996-.

[2] Summerton, W.H., and Hadidi, S. El., 1970. Well logs predict drillability, aid computers. Oil and Gas Journal, November, 23.

[3] Mason, K., 1984. Tricone bit selection using sonic logs. SPE Paper, No.13256, presented at 59th Annual SPE Technical Conference, Houston, September, 16-19.

[4] Goodman, R. E., 1967. Introduction to rock mechanics (2nd edition). New York, USA: John Wiley & Son, 1989.

[5] Fjaer, E., Holt, R. M., Horsrud, P., Raaen, A. M., and Risnes, R., 2008. Petroleum related rock mechanics. 2nd ed., Elsevier Scientific.

[6] Parvizi, S., Kharrat, R., Asef, M.R., Jahangiri, and Hashemi, A. B., 2014. Prediction of the Shear Wave Velocity from Compressional Wave Velocity for Gachsaran Formation, Acta Geophysica.

[7] Assanloo, M., 2007. Drilling method. Tehran, IRAN: Sound Publication Center, 1st edition, 56-62.

[8] Maurer, W. C. The state of rock mechanics knowledge in drilling. Proceedings 8th Symposium on Rock Mechanics, AIME, New York, 355.

[9] Sachpazis, C., 1990. Correlating Schmidt hardness with compressive strength and Young's modulus of carbonate rocks. Bull Int Assoc Eng Geol, 42:75-84.

[10] Umesh, P., Curry, D., 2009. Baker Hughes, Inc. and Mohanty, B., Nasser, M.H.B. Improved method for estimating the strength of carbonate rocks. IPTC14043, Doha, Qatar, December, 7-9.

[11] Ghazvinian, A., 2005. Application of the inductive methods in determining the Zagros marl physical and mechanical properties. Conference Mining Engineering, Tarbiat modarres university, Tehran, Iran, 49-.

[12] Saadati, F., 2011. Classification of formations & layers in bangestan wellbores of Ahwaz field in 12 14/" borehole according to IADC Table. M.Sc thesis, Sahand University of Technology, Iran.

[13] Burgoyne A.T., Millheim, K.K., Chenevert, M.E., and Young, F. S., 2003. Applied drilling engineering. SPE Richardson, 9nd edition, 1:197-202.