

بررسی نقطه شکست سنگ مخزن سازند سروک در یکی از چاه‌های واقع در میدان نفتی جفیر

سولماز زین‌العابدینی^۱، سید هاشم طباطبایی (رئیس)^۲، لیلا فضل^۳ و مسن باقری^{*}

(۱) کارشناس ارشد زمین‌شناسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند، تهران s.zeinolabedini@yahoo.com, hbagheri1364@yahoo.com

(۲) دانشیار، اداره ژئوفیزیک، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران dr_tabatabaee@yahoo.com

(۳) استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند fazli52@yahoo.com

* عهده‌دار مکاتبات

دریافت: ۱۳۹۲/۲/۱۵؛ دریافت اصلاح شده: ۱۳۹۲/۴/۳؛ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۲۱؛ قابل دسترس در تارنما: ۱۳۹۲/۹/۳۰

هکیده

سازند سروک متعلق به گروه بنگستان است که پس از سازند آسماری، دومین مخزن نفتی مهم در حوضه زاگرس می باشد. لیتولوژی این سازند آهک و مقدار کمی شیل و مارن است. در این مطالعه، مقاومت فشاری سنگ های سازند سروک با انجام آزمایش مقاومت فشاری سه محوری بر روی سه نمونه مغزه (Core) در تنش های جانبی ۵، ۱۰ و ۱۵ (Mpa) تعیین گردید. پارامترهای مقاومت برشی (C و Φ) این نمونه ها نیز محاسبه و نقطه شکست سنگ در سه سطح تنش یاد شده بدست آمد. با استفاده از عمق حفاری و اندازه گیری فشار لایه های بالایی (روباره) در آن عمق، میزان فشار افقی یا جانبی (63) در عمق حفاری سازند سروک محاسبه شد. پس از مدل کردن این مقدار فشار جانبی با نتایج آزمایشگاهی بدست آمده، فشار عمودی (61) لازم جهت شکستن سنگ های سازند (که همان آستانه شکست سنگ های این سازند تحت فشار جانبی موجود در عمق می باشد)، برای ابتدا و انتهای آن محاسبه شد. فشار عمودی (61) در ابتدای سازند سروک در عمق ۳۲۸ متری با میزان فشار جانبی ۲۷/۷ (Mpa) و ۲۱۷/۵۸ (Mpa) و در انتهای این سازند در عمق ۳۷۲۰ متری با فشار جانبی ۳۱/۳ (Mpa)، ۲۳۸/۷۹ (Mpa) محاسبه گردید. نتایج حاصل از این پژوهش، در حفاری های آینده در میدان نفتی جفیر مفید می باشد.

واژه‌های کلیدی: سازند سروک، مقاومت فشاری سه محوری، مقاومت برشی، تنش جانبی، تنش عمودی.

۱- مقدمه

مکانیسم ابتدایی حفاری به خوبی درک نشده است. علت آن است که قاعده اصلی شکست سنگ، به خوبی درک نشده، درحالی‌که شکست سنگ فرایند اولیه در حفاری است. (حسن پور و چوپانی ۱۳۸۶). آنالیز فرآیند شکست سنگ (RFPA) بعنوان ابزاری از سال ۱۹۹۵ ارائه شده است (Tang & Tang 2011). بررسی شکست سنگ در بسیاری

یکی از پارامترهای حفاری که اخیراً مورد توجه قرار گرفته، سرعت حفاری است. این پارامتر یکی از عوامل اصلی در حفاری چاه های نفت و گاز است که بسیاری از هزینه ها به بهبود و کنترل آن بستگی دارد. هر چند سالانه میلیون ها فوت سنگ حفر می‌شود، اما هنوز

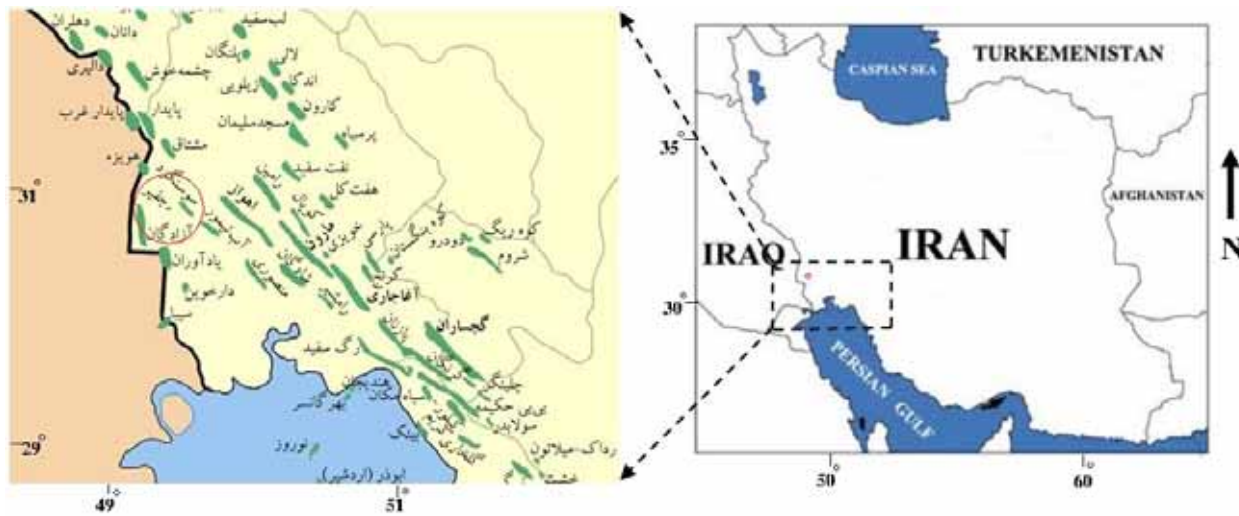
مطالعه‌ای درخصوص بررسی مکانیسم شکست سنگ در حفاری سازند سروک صورت نگرفته است. بیش از نیمی از هزینه‌های استحصال هیدروکربن، صرف عملیات حفاری چاه‌ها می‌شود، لذا پایین آمدن تعداد روزهای کارکرد دکل حفاری و سریع‌تر رسیدن به لایه هدف با حفظ شرایط ایمنی دکل، تا حد زیادی هزینه‌های این بخش را کاهش خواهد داد (باقری و همکاران ۱۳۹۱). این مطالعه با هدف بررسی مقاومت فشاری سنگ‌های سازند سروک و ارتباط آن با شرایط حفاری در جهت بهبود و افزایش سرعت حفاری و نرخ نفوذ انجام گرفت. با توجه به نتایج آزمایش مقاومت فشاری سه محوری بر روی مغزه‌های تهیه شده از سازند سروک در تنش‌های جانبی ۵، ۱۰ و ۱۵ (Mpa)، مقاومت فشاری نمونه‌ها تعیین و پارامترهای مقاومت برشی سنگ (C و Φ) آنها با رسم پوش گسیختگی مماس بر دواير موهر بدست آمد. در نهایت، نتایج بدست آمده با شرایط حفاری سازند سروک در چاه مورد مطالعه مدل شد و نقطه شکست سنگ در عمق حفاری این سازند محاسبه گردید.

۲_ موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

میدان نفتی جفیر، در ۵۵ کیلومتری باختر اهواز، در شمال باختری میدان آب تیمور و جنوب باختری میدان سوسنگرد قرار دارد. میدان مورد مطالعه، تاقدیسی ژئوفیزیکی و تقریباً از آخرین تاقدیس‌های محدوده زاگرس با امتداد شمال باختری - جنوب خاوری است. این میدان توسط شرکت آلمانی دمنیکس (Deminex) از سال ۱۳۵۴ تا ۱۳۵۸ کشف و تجدید گردید. در کل ۴ حلقه چاه توسط این شرکت در میدان جفیر حفاری شده است. مخزن اصلی این میدان سازندهای گروه بنگستان (ایلام و سروک) می‌باشند که نفت در جای آن ۶۵/۳ بیلیون بشکه با درجه API ۲۲ تا ۲۳ و با نسبت گاز به نفت ۸۰ به ۱۴۵ فوت مکعب در بشکه است. این میدان از روند تاقدیس زاگرس پیروی نمی‌کند. ساختمان جفیر در یک برآمدگی ناحیه ای با روند شمالی - جنوبی قرار دارد، این برآمدگی ناحیه ای که خود از تغییرات ضخامت منطقه ای سازندهای کرتاسه حاصل می‌شود، ممکن است تحت کنترل سیلان نمک گوتنیا باشد. ساختمان جفیر که حداقل در طی کرتاسه پیشین شروع به تشکیل نموده، سرانجام بدون هیچ کاهش بستگی قائم در زمان‌های بعدی، توسط کوهزایی جوانتر زاگرس دگرشکل شده است. از این رو ساختمان جفیر بوسیله رونهش (superposition) چین خوردگی ترشیری پایانی بر روی یک چارچوب بلوکی گسل خورده به وجود آمده است. بر اساس مطالعات لرزه‌ای، ساختمان جفیر با روند WNW-ESE دارای شکل مسطح و گنبدی کشیده بوده و دامنه ای با شیب ملایم دارد. اولین چاه جفیر در

از موارد از قبیل سدها، تونل‌ها، حفاری‌ها و ... پارامتر مهمی محسوب می‌شود (Tang & Hudson 2010). از مهم‌ترین پارامترهای مؤثر بر سرعت حفاری می‌توان به زایش و منشأ تشکیل سنگ‌ها، سختی و بافت سنگ (شکل و اندازه دانه‌های سنگ)، تخلخل، چگالی، ساینده‌گی، الاستیسیته و پلاستیسیته، مقاومت فشاری، مقاومت کششی، سختی سنگ، RQD و ویژگی‌های توده سنگ (درزه، شکاف و لایه‌بندی) اشاره کرد (Hoseinie et al. 2008). در بین پارامترهای مؤثر بر سرعت حفاری، مقاومت فشاری، ساینده‌گی و سختی در مقایسه با سایر پارامترهای توده سنگ از اهمیت بیشتری برخوردار می‌باشند (عطایی و حسینی ۱۳۸۸). بطور کلی، متغیرها در عملیات حفاری به خصوصیات سازند وابسته هستند. متغیرهای حفاری پارامترهایی از قبیل وزن روی مته (WOB)، سرعت دوران مته (RPM)، وزن گل (Mud Weight) و ... می‌باشند. هرچند که خصوصیات سنگ و شرایط زمین‌شناسی، پارامترهای غیرقابل کنترل هستند (McGregor 1967, Beste et al. 2007)، اما نرخ نفوذ (ROP) مطلوب، انتخاب دستگاه حفاری مناسب، ساختار پتروگرافی سنگ، سختی، سایش و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ در مرحله اول توسط مطالعات آزمایشگاهی تعیین می‌گردد (Bilim 2011). سازند سروک در حوضه زاگرس، یکی از سازندهای مخزنی است که در اکثر عملیات حفاری در میادین مختلف، یکی از اهداف، جهت استحصال هیدروکربن می‌باشد. تا کنون مطالعات گسترده‌ای بر روی خصوصیات این سازند در میادین مختلف صورت گرفته است. هنرمند و مداحی (۱۳۹۰)، ارتباط رخساره‌های رسوبی را با گسترش فرآیندهای دیاژنزی و کیفیت مخزنی سازند سروک را در یکی از میادین جنوب غربی ایران مطالعه نمودند. محمودی رنایی و طاهری (۱۳۹۰)، ریز رخساره‌ها و چینه نگاری سکانسی سازند سروک را در شمال شرق گچساران بررسی نمودند. حاجی کاظمی و همکاران (Hajikazemi et al. 2012) چینه شناسی شیمیایی رسوبات کربناته سنومانین-تورونین سازند سروک در جنوب ایران بررسی نمودند. احمدی و همکاران (۱۳۸۹) میکروبیواستراتیگرافی (Microbiostratigraphy) سازند کژدمی و سروک را در شمال و شمال خاوری شیراز مطالعه نمودند. کاسلینگ و تورو (Kasling & Thuro 2010)، میزان ساینده‌گی سنگ در عملیات حفاری را با انجام آزمایش سرشار (CAI) بررسی کردند. بخت بیدار و قربانخانی (۱۳۸۹) مطالعه ای درخصوص تکنولوژی لیزر به جهت بهبود سرعت حفاری انجام دادند. نظیری و همکاران (۱۳۹۱)، ابزار آلات حفاری متفاوتی را به جهت کاهش سرعت حفاری و کاهش هزینه‌ها، مطالعه کردند. عطایی و حسینی (۱۳۸۸) تأثیر ساینده‌گی را بر قابلیت حفاری سنگ‌ها بررسی نمودند. لازم به ذکر است که تاکنون

سال ۱۹۷۵ و به منظور ارزیابی مخازن بنگستان و خامی در این میدان حفر شد. در مجموع ۵ حلقه چاه در میدان جفیر حفر شده است. تصویر ۱، موقعیت جغرافیایی میدان مورد مطالعه را در ایران و در بین میداین دیگر و همچنین بستگی ساختمانی تاقدیس جفیر را نشان می‌دهد.



تصویر ۱- موقعیت جغرافیایی و ساختمان تاقدیس میدان نفتی جفیر

محل می‌باشد (فهیمی‌فر و سروش ۱۳۸۰). از آنجایی که سنگ‌های پوسته زمین را معمولاً سنگ‌های اطراف محاصره کرده‌اند، بر هر بخش کوچک آنها یک فشار جانبی اعمال می‌شود. بنابراین هر بخش (المان) در موقعیت فشاری سه محوره (سه جانبه) قرار دارد، بنابراین برای پی بردن به رفتار واقعی سنگ در مقابل بارهای وارده در محل، اندازه‌گیری مقاومت فشاری سه محوره آنها اهمیت بسزایی دارد (Vutukuri & Katsuyama 1994). مقاومت فشاری و قابلیت حفاری بطور تجربی و از طریق انجام آزمایش، در اوایل دهه ۱۹۶۰ به یکدیگر ارتباط داده شدند. هرچند که مقاومت فشاری باید به عنوان یک تابع از میزان تنش جانبی توصیف شود، اما این مفهوم که مقاومت فشاری با افزایش تنش جانبی افزایش می‌یابد به خوبی شناخته شده و به سادگی با معیار شکست موهر-کلمب قابل توصیف می‌باشد (Spar et al. 1995). بر اساس استاندارد آی‌اس‌آرام (International Society for Rock Mechanics, ISRM)، آزمون ۳ محوری بر روی سه نمونه سنگ با نسبت طول به قطر (L/D) بین ۲ تا ۳، در شرایط تنش‌های جانبی ۵، ۱۰ و ۱۵ (Mpa) انجام و پارامترهای مقاومت برشی نمونه سنگ محاسبه شد. در ابتدا از نمونه‌های مغزه (Core) سازند سروک بدلیل بزرگ بودن طول و قطر، مغزه‌گیری مجدد یا پلاگ (Plug) انجام شد و نمونه‌هایی با اندازه استاندارد سلول دستگاه سه محوره تهیه گردید (نمونه‌ها به قطر ۵۴ میلی‌متر و طول ۱۰۸ میلی‌متر). سپس نمونه‌ها به ترتیب در سه سطح تنش جانبی مختلف مورد آزمایش قرار گرفتند. هر نمونه به وسیله غشاء لاستیکی

۳- بحث و بررسی

۳-۱- روش مطالعه

در مطالعه حاضر که بر مبنای کارهای آزمایشگاهی صورت گرفته است، از مغزه‌های تهیه شده سازند سروک (در عملیات مغزه‌گیری یکی از چاه‌های میدان نفتی جفیر، که از طرف اداره مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران در دسترس قرار گرفته بود)، استفاده گردید. ابتدا از مغزه‌های موجود مغزه‌گیری مجدد (Plug) انجام شد تا استوانه‌هایی قائم به قطر ۵۴ میلی‌متر و با نسبت طول به قطر بین ۲ تا ۳ طبق استاندارد آی‌اس‌آرام (International Society for Rock Mechanics, ISRM) حاصل شد. سپس آزمایش مقاومت فشاری سه محوری که شبیه سازی شرایط نمونه سنگ در محل می‌باشد، در سه سطح تنش جانبی ۵، ۱۰ و ۱۵ (Mpa) انجام شد. برای هر سطح تنش جانبی (۵، ۱۰، ۱۵)، مقدار تنش عمودی (σ_۱) بدست آمد که حد آستانه شکست در تنش جانبی مورد نظر تعریف و پارامترهای مقاومت برشی سنگ (C و Φ) این نمونه‌ها نیز تعیین شدند. در نهایت با توجه به عمق حفاری سازند سروک و محاسبه تنش‌های قائم و افقی در اعماق مورد نظر، نتایج آزمایشگاهی بدست آمده را با شرایط حفاری سازند سروک مدل کرده و آستانه شکست سنگ‌های این سازند بدست آمد.

۳-۲- آزمایش مقاومت فشاری سه محوری (TCS)

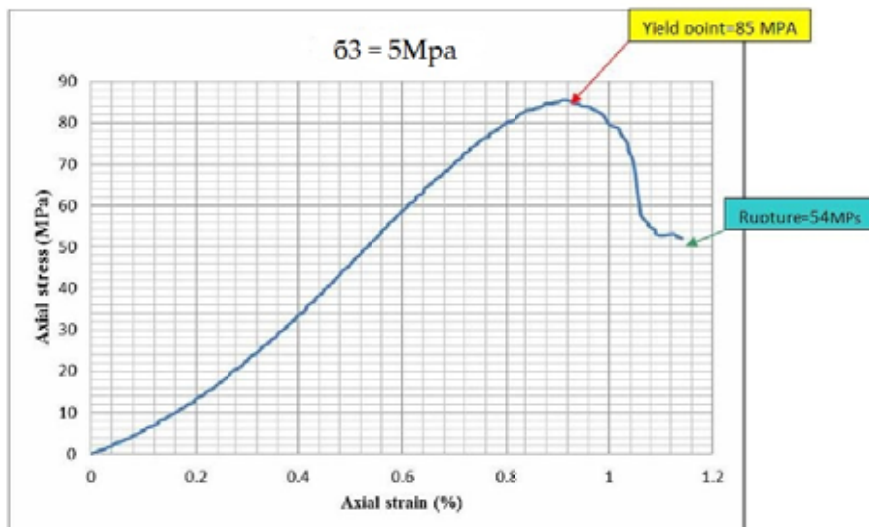
این آزمایش برای تعیین مقاومت نمونه‌های استوانه‌ای سنگ تحت فشار سه محوری به کار می‌رود که شبیه‌سازی شرایط واقعی سنگ در

محصور و در سلول مخصوص آزمایش سه محوره قرار داده شد. (σ_1) نشان می دهد. تصویر ۲ نمونه را درون سلول هوک در هنگام اعمال فشار عمودی

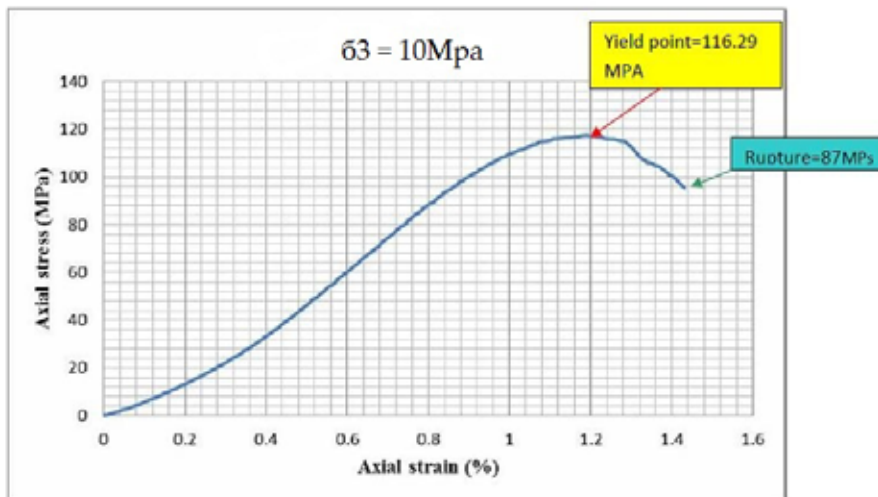


تصویر ۲- نمونه در سلول هوک تحت آزمایش سه محوره

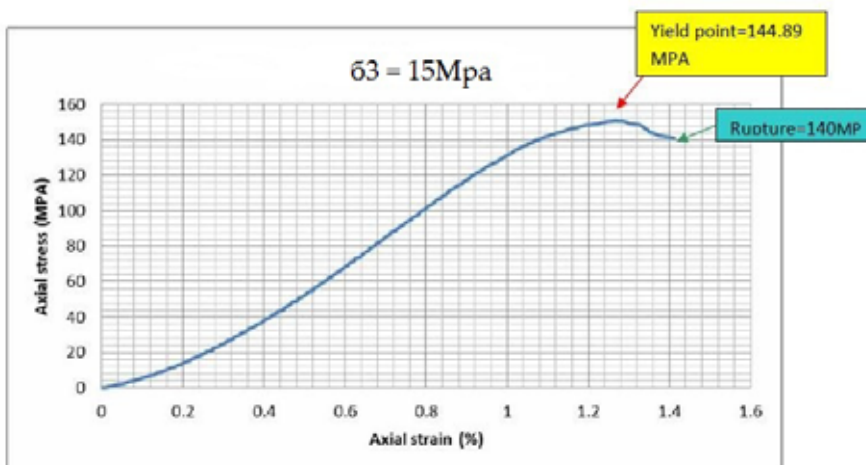
پس از اعمال فشار جانبی (σ_3) مورد نظر برای نمونه اول در اطراف غشاء لاستیکی، فشار عمودی (σ_1) به نمونه وارد شده و رفته رفته افزایش می یابد. پس از تغییر شکل، نمونه دچار شکست می شود. دو نمونه دیگر نیز پس از اعمال فشار جانبی (σ_3) و فشار عمودی (σ_1) شکسته شدند. نمودارهای تنش- کرنش برای هر یک از نمونه ها در سه سطح تنش یاد شده که معرف تغییرات شکل نمونه (کرنش) بر حسب افزایش نیرو (تنش) تا لحظه شکست نمونه می باشد، در تصاویر ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده اند.



تصویر ۳- نمودار تنش- کرنش آزمون سه محوری در تنش جانبی ۵ (Mpa)



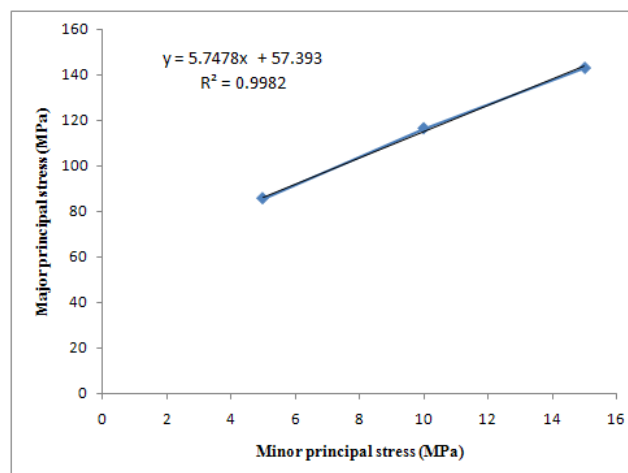
تصویر ۴- نمودار تنش- کرنش آزمون سه محوری در تنش جانبی ۱۰ (Mpa)



تصویر ۵- نمودار تنش- کرنش آزمون سه محوری در تنش جانبی ۱۵ (Mpa)

نتایج بدست آمده از آزمایش سه محوری نشان‌دهنده‌ی افزایش فشار عمودی برحسب افزایش فشار جانبی می باشد که پس از تغییر شکل معین ، شکست در نمونه ها حاصل گردیده است. نمودار ($\sigma_1 - \sigma_3$)

براساس نتایج بدست آمده از آزمایش سه محوری تنش در سه سطح رسم شد (تصویر ۶). تصویر ۷، شکست برشی را در نمونه پس از بارگذاری در آزمایش سه محوری نشان می‌دهد.



تصویر ۶- نمودار $\sigma_1 - \sigma_3$ رسم شده بر اساس نتایج حاصل از آزمایش سه محوری



تصویر ۷ - شکست برشی در نمونه پس از بارگذاری

مشخصات سه نمونه مورد آزمایش و نتایج حاصل از اعمال فشارهای جانبی و عمودی در لحظه شکست سنگ در جدول ۱، ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات نمونه‌های کلسیت- دولومیت سازند سروک در آزمایش سه محوری

نمونه	قطر نمونه (mm)	طول نمونه (mm)	فشار جانبی σ_3 (Mpa)	فشار عمودی σ_1 (Mpa)
A	۵۴	۱۰۸	۵	۸۵/۴۲۲
B	۵۴	۱۰۸	۱۰	۱۱۶/۲۹۲
C	۵۴	۱۰۸	۱۵	۱۴۴/۸۹

تنش، توسط نرم‌افزار RocData رسم شدند (تصویر ۸). بر این اساس مقدار چسبندگی نمونه‌ها حدود ۱۱/۹ (Mpa) و مقدار اصطکاک داخلی معادل ۴۴/۷ درجه محاسبه شد.

در اکثر موارد، شکست سنگ در محل، معلول برش است، بنابراین مقاومت برشی سنگ را باید معیار مهمی در طراحی به حساب آورد. این مقاومت به دو روش مستقیم و آزمایش سه محوری قابل اندازه گیری می باشد. در این مطالعه، پوش مقاومت برشی حاصل که مماس بر دواپر مور رسم شده، بصورت خطی می باشد (تصویر ۸). در حالتی که پوش گسیختگی مستقیم یا خطی است (که پوش مقاومت یا شکست کولن هم نامیده می شود)، به علت ثابت بودن پارامترهای مقاومت برشی یعنی چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) متناظر با مقادیر مختلف تنش عمودی (σ_n)، ارزیابی نتایج حاصل از آزمایش ساده بوده و در این حالت مقاومت برشی از رابطه ۱ محاسبه می شود.

$$\tau = c + \sigma_n \tan \Phi$$

رابطه (۱)

معیارهای شکست شکل های مختلفی دارند و پارامترهای آنها نسبت به یکدیگر متفاوت می باشد (Franklin 1970, Ohnaka 1973, Murrell 1965 Johnston 1985 Bieniawski 1974, Hoek et al. 1992, Hoek & Brown 1980).

محققان مکانیک سنگ در تحقیقات خود جهت اندازه گیری مقاومت سنگ، از چندین معیار شکست متفاوت استفاده کرده‌اند (Maurice 2006, Han et al. 2005, Gerbaud et al. 2005). یکی از معیارهای شکست که غالباً مورد استفاده قرار می گیرد، معیار شکست موهر- کلمب می باشد. بر این اساس، نقطه تسلیم یا شکست سنگ زمانی رخ می دهد که تنش اعمال شده از مجموع مقاومت های چسبندگی مواد (C) و مقاومت اصطکاکی صفحات لغزشی (Φ) یا صفحه شکست تجاوز کند (Bourgoyne et al. 1986). برآورد مقدار مقاومت چسبندگی (C) و زاویه اصطکاک داخلی (Φ) جهت تعیین پایداری، از موضوعات مهم در مکانیک سنگ است. با مشخص شدن مقاومت چسبندگی و زاویه اصطکاک داخلی، معیار شکست تحت تنش های اصلی سه محوری مشخص می شود (مومینوند و همکاران ۱۳۸۶). به منظور محاسبه پارامترهای مقاومت برشی نمونه های مورد مطالعه، از معیار شکست موهر- کلمب استفاده شد. دواپر موهر در سه سطح

در این رابطه، τ مقاومت برشی، c چسبندگی نمونه، Φ زاویه اصطکاک داخلی نمونه و σ_n تنش قائم می‌باشد. در این تحقیق، برای پی بردن به مقاومت توده سنگ تحت شرایط مختلف و محیط‌های تنش متفاوت، از معیار شکست موهر-کلمب براساس تنش‌های (σ_3 - σ_1) استفاده شد. بر اساس منحنی $\sigma_3 - \sigma_1$ بهترین منحنی برازش شده خطی می‌باشد که محور (σ_1) را در فاصله‌ای نسبت به عرض از مبدا این محور قطع می‌کند.

معادله این خط به صورت رابطه ۲ می‌باشد.

رابطه (۲)

$$y = \tan \psi (\sigma_3) + \bar{\sigma}_c$$

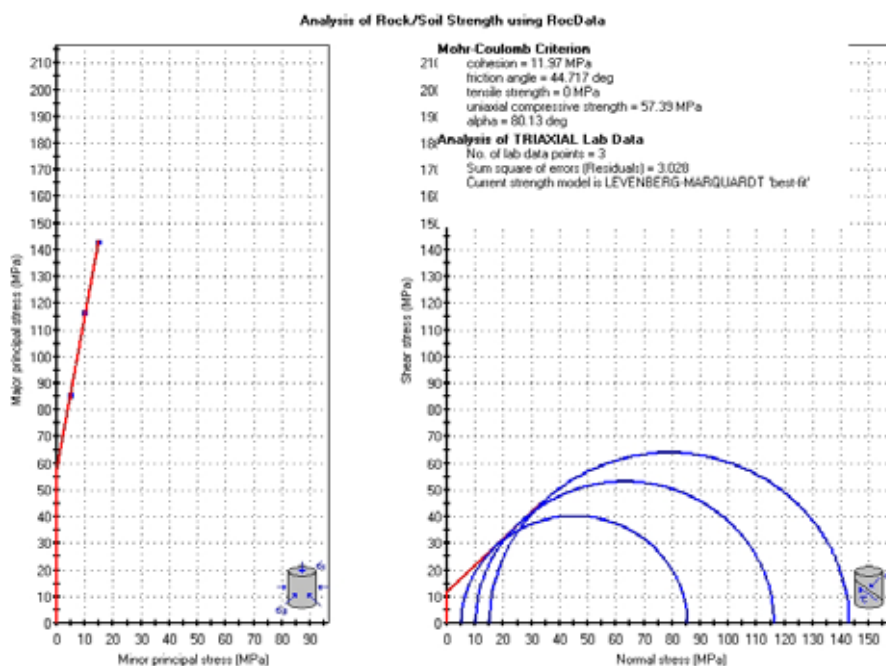
$$y = 0.7478(\sigma_3) + 57.393$$

رابطه ۳ بیان می‌گردد.

رابطه (۳)

$$\tan \psi = \frac{1 + \sin \Phi}{1 - \sin \Phi}$$

$\bar{\sigma}_c$ در رابطه ۲ معادل مقاومت تراکمی تک محوری نمونه سنگ می‌باشد. بنابراین، مقاومت فشاری تک محوری نمونه سنگ در شرایط محیط و تحت تنش همه جانبه با توجه به نمودار $\sigma_3 - \sigma_1$ (تصویر ۶) و رابطه ۲، برابر با 57.393 (Mpa) محاسبه شد. همچنین پارامترهای مقاومت برشی نمونه سنگ نیز با توجه به نتایج به دست آمده و پوش گسیختگی مماس بر دایره موهر رسم شده در تصویر ۸، در جدول ۲ ارائه شده‌اند.



تصویر ۸- دایره موهر رسم شده در سه سطح تنش مورد آزمایش توسط نرم افزار RocData

جدول ۲- پارامترهای مقاومت برشی سنگ

C (MPa) چسبندگی نمونه	Φ ($^\circ$) اصطکاک داخلی نمونه
۱۱/۹	۴۴/۷

(σ_1) متفاوتی در هر کدام از سه سطح تنش جانبی (σ_3) حاصل گردید.

با افزایش تنش‌های جانبی بالاتر، نیروی بیشتری برای شکستن سنگ که همان تنش عمودی (σ_1) است باید اعمال گردد. ضخامت سازند سروک ۴۳۲ متر می‌باشد. مته حفاری پس از حفر سازند مخزنی ایلام،

۳-۳- مدل کردن نتایج آزمایش با شرایط چاه

با افزایش عمق، فشار طبقات بالا و بدنبال آن تنش موثر افزایش می‌یابد. بر اساس نتایج آزمایش سه محوری سه نمونه مغزه (Core) تهیه شده از سازند سروک، (با توجه به محدودیت اعمال فشار جانبی و دستگاه‌های موجود در آزمایشگاه بدست آمد)، تنش‌های عمودی

بر اساس رابطه ۵، بین فشار افقی (جانبی) و فشار قائم سنگ‌ها، ارتباط وجود دارد (عادل زاده ۱۳۸۹).

$$K = \frac{P_h}{P_v}$$

رابطه (۵)

$$K = \frac{\gamma}{1-\gamma}$$

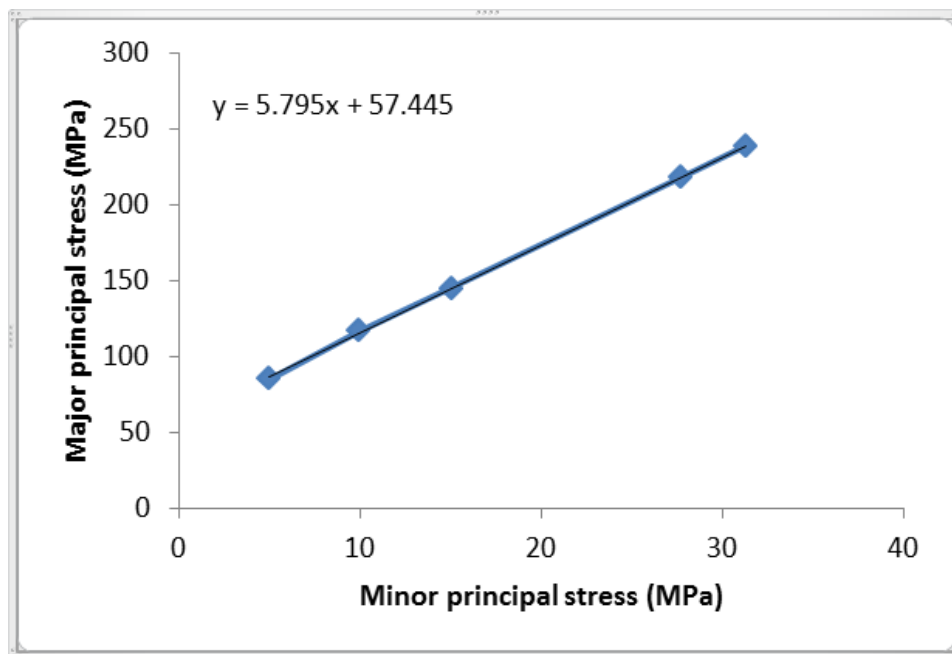
در این رابطه، γ ضریب پواسون می‌باشد که مقدار آن بین ۰ تا ۰/۵ متغیر است، اما بطور متوسط مقدار ۰/۲۵ را برای سنگ‌ها منظور می‌کنند. در نتیجه فشار افقی (جانبی) برای سنگ‌ها برابر با ۳۳ درصد فشار قائم است که برابر با ۰/۳۷۳ (psi) به ازای هر فوت می‌باشد. با توجه به روابط ۴ و ۵، تنش جانبی (σ_3) در ابتدا و انتهای سازند سروک به ترتیب ۲۷/۷ و ۳۱/۳ (Mpa) محاسبه گردید.

در عمق ۳۲۸۸ متری وارد سازند مخزنی سروک شده و در عمق ۳۷۲۰ متری حفاری این سازند به پایان می‌رسد. برای محاسبه تنش‌های عمودی و افقی موجود در عمق ابتدا و انتهای سازند سروک، فشار قائم که همان فشار لیتواستاتیک (Lithostatic) یا فشار روباره ناشی از وزن طبقات بالایی است، با توجه به رابطه ۴ محاسبه شد (رضایی و چهارزی ۱۳۸۹).

$$PV = \frac{H \times RHO_{mat}}{10}$$

رابطه (۴)

در رابطه ۴، H ارتفاع ستون سنگی بر حسب متر، RHO_{mat} چگالی زمینه (در اینجا چگالی ۲/۷ در نظر گرفته شد) و واحد فشار نیز بر حسب Kg/cm^2 می‌باشد. در نتیجه فشار لیتواستاتیک با تبدیل واحد Kg/cm^2 به (Mpa) در ابتدای سازند سروک حدود ۸۷ (Mpa) و در انتهای آن ۹۸/۵ (Mpa) بدست آمد.



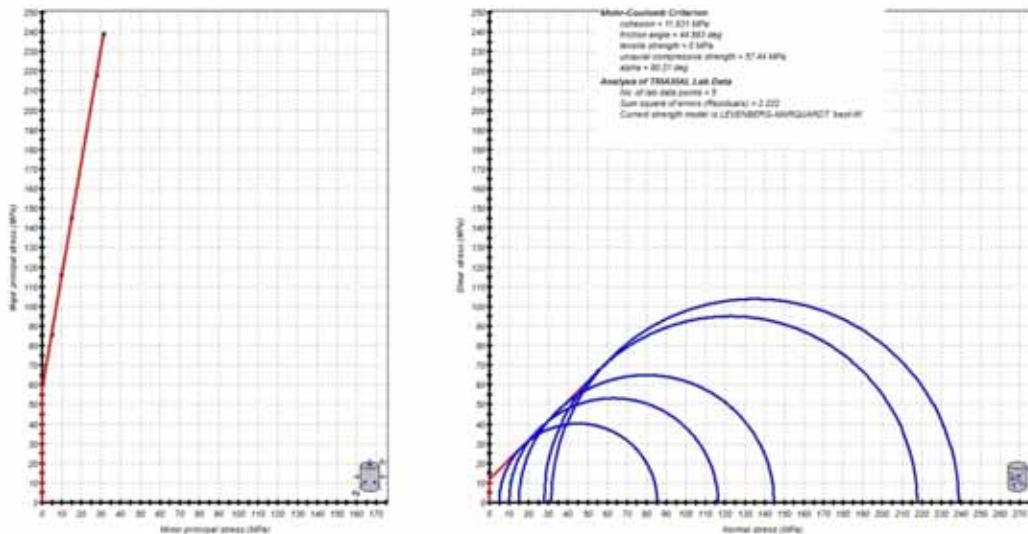
تصویر ۹- نمودار $\sigma_3 - \sigma_1$ حاصل از نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل شده در چاه مورد مطالعه

با قرار دادن تنش‌های جانبی (σ_3) محاسبه شده در نمودار $\sigma_3 - \sigma_1$ و تلاقی این نقاط با پوش گسیختگی حاصل از نتایج آزمایشگاهی، میزان تنش قائم (σ_1) که حد آستانه شکست در تنش‌های جانبی مورد نظر است، بدست آمد. این مقدار برای ابتدای سازند سروک در عمق ۳۲۸۸ متری با میزان فشار جانبی ۲۷/۷ (Mpa)، مقدار ۲۱۷/۵۸ (Mpa) و برای انتهای سازند در عمق ۳۷۲۰ متری با میزان فشار جانبی ۳۱/۳ (Mpa)، مقدار ۲۳۸/۷۹ (Mpa) بدست آمد (جدول ۳).

جدول ۳- میزان فشار جانبی (σ_3) و فشار عمودی (σ_1) محاسبه شده در عمق ابتدا و انتهای سازند سروک

عمق	فشار جانبی (σ_3) (Mpa)	فشار عمودی (σ_1) (Mpa)
۳۲۸۸	۲۷/۷	۲۱۷/۵۸
۳۷۲۰	۳۱/۳	۲۳۸/۷۹

دوایر موهر حاصل از نتایج آزمایشگاهی آزمون سه محوری بر روی سه نمونه در تنش‌های جانبی ۵، ۱۰ و ۱۵ (Mpa) به همراه نتایج مطالعه، توسط نرم افزار RocData رسم شده است (تصویر ۱۰).



تصویر ۱۰- دوایر موهر رسم شده حاصل از نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل شده در چاه مورد مطالعه

رسیدن به آستانه شکست بر روی بخشهای مختلف این سازند قرار داده شود تا در نهایت بهترین نرخ نفوذ (Penetration Rate) و سرعت بهینه (Optimum speed) را در این سازند داشته باشیم. بنابراین، برای حفاری‌های آینده در این میدان، با توجه به عمق سازند سروک می‌توان از نتایج حاصل از این پژوهش، جهت برنامه ریزی بهتر در حفاری این سازند استفاده نمود.

۴- نتیجه‌گیری

با توجه به آزمون سه محوره بر روی سه نمونه مغزه (Core) کربناته سازند سروک و رسم پوش گسیختگی حاصل از نتایج آزمایش، پارامترهای مقاومت برشی (C و Φ) محاسبه شد. بر این اساس، مقدار چسبندگی (C) نمونه‌ها برابر با ۱۱/۹ (Mpa) و میزان اصطکاک داخلی (Φ) برابر با ۴۴/۷ درجه بدست آمد.

میزان تنش جانبی (σ_3) موجود در عمق ابتدا و انتهای سازند سروک در چاه مورد مطالعه با استفاده از محاسبه فشار طبقات بالایی و ارتباط بین فشار طبقات بالایی با فشار جانبی ($\frac{P_h}{P_v}$) محاسبه گردید. فشار لیتواستاتیک یا قائم در ابتدای سازند سروک برابر ۸۷ (Mpa)، ۲۷/۷ (Mpa) و در انتهای آن ۹۸/۵ (Mpa) و ۳۱/۳ (Mpa) بدست آمد.

میزان تنش عمودی (σ_1) لازم جهت شکستن سنگ‌های سازند سروک در عمق ابتدا و انتهای آن با توجه به فشارهای جانبی بدست آمده و قرار دادن این مقادیر در نمودار $\sigma_1 - \sigma_3$ حاصل از نتایج آزمون سه محوره در آزمایشگاه، بدست آمد. این مقدار برای ابتدای سازند سروک ۲۱۷/۵۸ (Mpa) و برای انتهای آن ۲۳۸/۷۹ (Mpa) محاسبه گردید.

تشکر و قدردانی

از اداره مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران بخاطر در اختیار گذاشتن اطلاعات و نمونه‌ها جهت انجام این پژوهش و از مسئولین آزمایشگاه مکانیک سنگ دانشکده فنی و مهندسی (گروه معدن) دانشگاه تهران به جهت انجام آزمایشات مکانیک سنگ تشکر و قدردانی می‌نمایم. همچنین از جناب آقای دکتر علی حق نژاد، آقای مهندس سعید محمودی و سرکار خانم مهندس حدیث پیری عالم سپاسگزاری می‌نمایم.

مراجع

احمدی، و.، خسروتهرانی، خ. و افقه، م.، ۱۳۸۹، "مطالعه میکروبیواستراتیگرافی سازند کژدمی و سروک در شمال و شمال خاوری شیراز"، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۳ (۴): ۲۹۵-۳۰۴.

باقری، ح.، طباطبایی رئیسی، س. ه.، فضل‌ی، ل. و دولتی ارده جانی، ف.، ۱۳۹۱، "بررسی خصوصیات فیزیکی و مکانیکی سنگ مخزنی

باتوجه به ضخامت سازند سروک که در چاه مورد مطالعه ۴۳۲ متر می‌باشد و مقادیر تنش عمودی (σ_1) بدست آمده برای رأس و قائدهی آن، میزان تنش عمودی (σ_1) در طی حفاری (از ابتدا تا انتهای سازند) می‌بایست به مقدار ۲۱/۲۱ (Mpa) افزایش یابد، تا با توجه به افزایش تنش جانبی (σ_3) حاصل از افزایش عمق، وزن مناسب جهت

- Franklin, J. A., 1970, "Triaxial Strength of Rock Materials", *Xerox University Microfilms, Ann Arbor, Michigan*, 30 pp.
- Gerbaud, L., Menand, S. & Sellami, H., 2006, "All comes from the cutter rock interaction", *SPE paper N°98988. IADC/SPE Drilling Conference, Miami, Florida*.
- Hajikazemi, E., Al-Aasm, I. S. & Coniglio, M., 2012, Chemostratigraphy of Cenomanian– Turonian Carbonates of the Sarvak Formation, Southern Iran, *Journal of Petroleum Geology, Vol. 35(2): 187-206*.
- Han, G., Bruno, M., & Lao, K., 2005, "Percussion Drilling in Oil Industry: Review and Rock Failure Modelling", *Terralog Technologies USA, Inc, AADE-05-NTCE-59*.
- Hoek, E. & Brown, E. T., 1980, "Underground Excavations in Rock", *London, Institute of Mining and Metallurgy*, 527 pp.
- Hoek E., Wood, D. & Shah, S., 1992, "A modified Heok-Brown Failure Criterion for Jointed Rock Masses", *Eurock, London, Thomas Telford: 209-214*.
- Hoseinie, S. H., Aghababaei, H. & Pourrahimian, Y., 2008, "Development of a new classification system for assessing of Rock mass Drillability index (RDi)", *International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol. 45: 1-10*.
- Johnston, J., 1985, "Strength of Intact Geomechanical Materials", *Journal of Geotechnical Engineering, Div., ASCE, Vol. 111: 730 – 749*.
- Kasling, H. & Thuro, K., 2010, "Determining abrasivity of rock and soil in the laboratory", *Francis Group, London, ISBN 978-0-415-60034-7*.
- Maurice, B., 2005, "More Rock Mechanics Issues in Drilling", *Argentina SPE, Course on Earth Stresses and Drilling Rock Mechanics, University of vaterloo and Geomec a.s., Vol. 65*.
- McGregor, K., 1967, "The drilling of rock", *London: C.R. Books Ltd. 306 pp*.
- Murrel, S. A. F., 1965, "The Effect of Triaxial Stress Systems on the Strength of Rock at Atmospheric Temperatures", *Geophysics Journal, Vol. 10: 231-281*.
- Ohnaka, M., 1973, "The Quantitative Effect of Hydrostatic Confining Pressure on the Compressive Strength of Crystalline Rocks", *Journal of Physics of the Earth, Vol. 21: 125-140*.
- Spar, J. R., Ledgerwood, L. W., Goodman, H., Graff, R. L. & Moo, T. J., 1995, "Formation Compressive Strength Estimates for Predicting Drillability and PDC Bit Selection", *SPE 29397*.
- Tang, C. & Hudson, J., 2010, "book of Rock Failure Mechanisms, Illustrated and Explained", *London, CRC Press , 364 pp*.
- Tang, C. & Tang, S., 2011, "Applications of rock failure process analysis (RFPA) method", *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 3 (4): 352–372*.
- Vutukuri, V.S. & Katsuyama, K., 1994, "book of Introduction to Rock Mechanics", *industrial publishing & Consulting, Inc, Tokyo, 275 pp*.
- سازند شوربچه در یکی از چاه‌های واقع در حوضه کپه داغ (شمال خاور ایران)، فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، سال ۸ (۴): ۴-۴.
- بخت بیدار، م. و قربانخانی، م.، ۱۳۸۹، "بهبود سرعت حفاری با استفاده از تکنولوژی لیزر"، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۷۱: ۷۱-۷۶-۵۱.
- حسن پور، ر. و چوپانی، ن.، ۱۳۸۶، "اندازه‌گیری چقرمگی شکست سنگ و بررسی خصوصیات شکست آن تحت شرایط بارگذاری مرکب با استفاده از روشهای عددی و آزمایشگاهی" سومین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۲۴ - ۲۶ مهر، تهران، ایران.
- رضایی، م. ر. و چهارزی، ع.، ۱۳۸۹، "اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه پیمایی"، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۹۹ ص.
- عادل زاده، م. ر.، ۱۳۸۹، "اصول مهندسی حفاری"، موسسه انتشارات ستایش، ۱۳۴ ص.
- عطایی، م. و حسینی، س. ه.، ۱۳۸۸، "بررسی تأثیر سایندگی بر قابلیت حفاری سنگ‌ها"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۴، ۱۳۷-۱۴۲.
- فهمی فر، ا. و سروش، ح.، ۱۳۸۰، "آزمایشهای مکانیک سنگ، مبانی نظری و استانداردها" جلد اول، آزمونهای آزمایشگاهی، شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، ۷۲۰ ص.
- محمودی رنانی، الف. و طاهری، ع.، ۱۳۹۰، "ریزرخساره‌ها و چینه نگاری سکانسی سازند سروک در شمال شرق گچساران (تنگ گرگدار)"، نشریه علمی- پژوهشی رخساره‌های رسوبی: ۱۸۸-۱۹۸.
- موموند، ح.، بهرامی، ع.، موسوی زاده، س. و حقیرچهره فانی، س.، ۱۳۸۶، "ارزیابی روش‌های مختلف برآورد زاویه شکست، زاویه اصطکاک داخلی و مقاومت چسبندگی سنگ تحت تنش‌های سه محوری"، سومین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۲۴ الی ۲۶ مهر، تهران، ایران.
- نظیری، م.، مقدسی، ج. و محمدی، م. ع.، ۱۳۹۱، "بررسی نحوه برخورد با کاهش سرعت حفاری با هدف کاهش زمان و هزینه‌های حفاری"، نخستین همایش ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری-علوم و صنایع وابسته، تهران، ایران.
- هنرمند، ج. و مداحی، الف.، ۱۳۹۰، "ارتباط رخساره‌های رسوبی با گسترش فرایندهای دیاژنزی و کیفیت مخزنی بخش بالایی سازند سروک در یکی از میداین بزرگ نفتی، جنوب غرب ایران"، پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، سال ۲۰ (۴۲): ۹۷-۱۱۴.
- Beste, U., Jacobson, S. & Hogmark, S., 2007, "Rock penetration into cemented carbide drill buttons during rock drilling", *Wear, Vol. 264: 1142- 1151*.
- Bieniawski, Z. T., 1974, "Estimating the Strength of Rock Materials", *Journal of the South African Institute of Mining and Metallurgy, Vol. 74: 312 – 320*.
- Bilim, N., 2011, "Determination of drillability of some natural stones and their association with rock properties", *Scientific Research and Essays, Vol. 6 (2): 382-387*.
- Bourgoyne, A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E. & Young, F. S., 1986, "book of Applied Drilling Engineering", *Society of Petroleum Engineers, SPE, Richardson TX, 502 pp*.