

مقایسه مقاومت تک محوری حاصل از نمودار DSI و آزمون چکش اشمیت در سازند آسماری میدان کوپال

مهدی یار صاحبدل^{۱*}، علی ارومیه ای^۲، شهرام تقوی پور^۳

۱- دانشجوی کارشناس ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس

۳- کارشناس ارشد نفت، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب

mahiar.sahebdel@gmail.com

چکیده

در سالهای اخیر استفاده از مطالعات ژئومکانیکی برای تسهیل عملیات حفاری چاههای نفت گسترش زیادی یافته است که تعیین پارامترهای مکانیکی سنگهای مختلف اساسی ترین بخش از این مطالعات را شامل میشود. مهمترین پارامتر مکانیکی برای ارزیابی سنگ بکر مقاومت فشاری تک محوره است که اندازه گیری مستقیم آن مستلزم روشهای پرهزینه مغزه گیری و همچنین آزمونهای مخرب است. در این مقاله سعی شده با مقایسه داده های حاصل از دو روش غیرمستقیم اندازه گیری مقاومت فشاری یعنی نمودار موج کامل (DSI) و آزمون چکش اشمیت نتایج این دو باهم مورد بررسی قرار گرفته و روشی برای تصحیح نتایج این دو آزمون پیشنهاد گردد. برای این منظور داده های حاصل از آزمون چکش اشمیت بر روی نمونه های مغزه یکی از چاههای میدان کوپال در استان خوزستان با مقادیر مقاومت فشاری بدست آمده از نمودار DSI چاه مجاور آن مورد مقایسه قرار گیرند. نمودار DSI به دلیل دارا بودن قابلیت اندازه گیری هر دو نوع موج برشی و فشارشی میتواند خصوصیات مکانیکی سازند مانند مدول یانگ، مدول برشی، ضریب پواسون و در نهایت مقاومت فشاری تک محوره را با انجام محاسباتی ساده نتیجه دهد. همچنین با جاگذاری عدد اشمیت اندازه گیری شده از روی مغزه ها و قرار دادن آنها در رابطه دیر و میلر مقاومت فشاری تک محوره به این روش نیز محاسبه شد. در نهایت مشخص گردید که نتایج نمودار DSI همواره مقادیری کوچکتر از آزمون چکش اشمیت حاصل خواهد داد بنابراین رابطه ای برای تبدیل نتایج حاصل از این دو روش به یکدیگر ارائه شد.

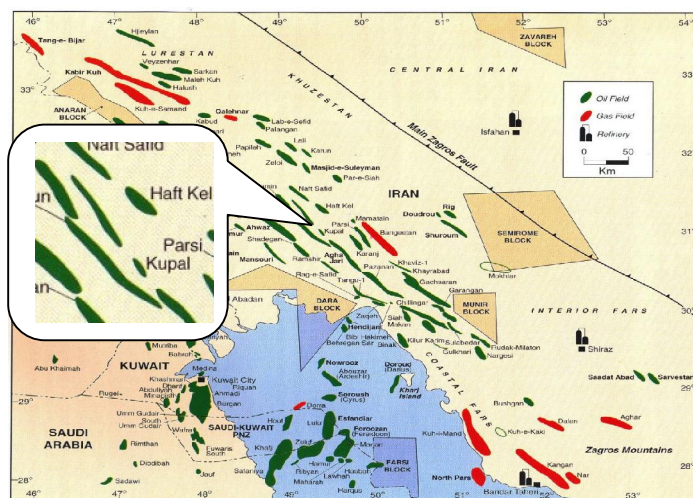
کلمات کلیدی: نمودار DSI، آزمون چکش اشمیت، مقاومت تک محوری، میدان کوپال، سازند آسماری

۱- مقدمه

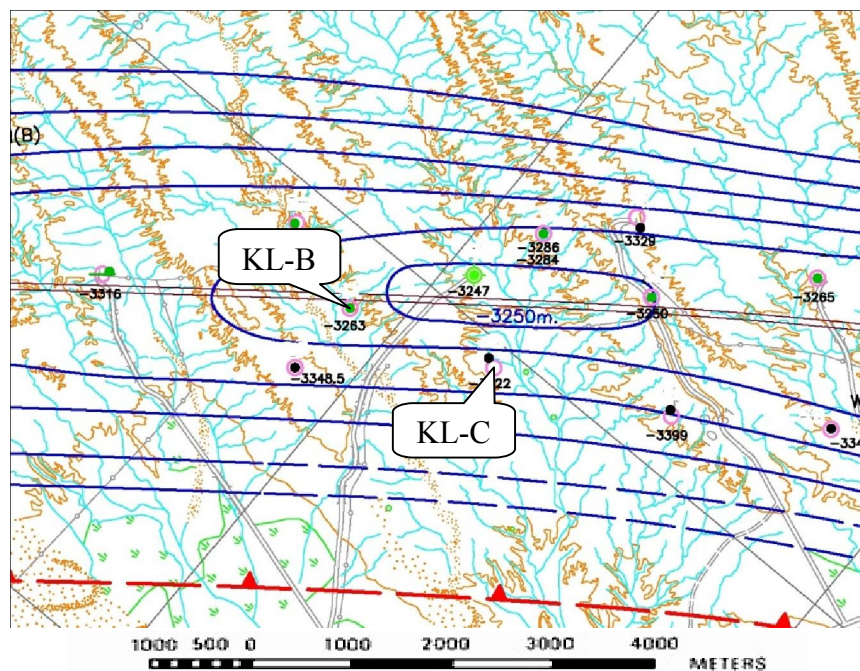
سازند آسماری بزرگترین ذخایر نفتی ایران را در خود جای داده است و مطالعات خصوصیات مکانیکی این سازند با توجه به گسترش روزافزون کاربرد علم ژئومکانیک در مطالعات نفتی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. با توجه به اینکه مقاومت تک محوره بهترین شاخص برای ارزیابی مقاومت سنگ بکر محسوب میشود در سالهای اخیر تلاشهای بسیار زیادی جهت محاسبه این پارامتر در سازندهای مختلف صورت گرفته است. تعیین مستقیم این پارامتر مستلزم عملیات مغزه گیری جهت دستیابی به نمونه های بکر سنگ است و با توجه به هزینه بر و وقت گیر بودن این روش و همچنین مشکل بودن تهیه مغزه از لایه های شیلی و ماسه سنگی ارزیابی غیر مستقیم این پارامتر میتواند به عنوان بهترین و سریعترین روش برای مطالعات مکانیکی سازند استفاده گردد. با توجه به تاثیر مستقیم تراکم سنگ بر حرکت صوت عبوری از آن استفاده از نمودارهای صوتی جهت تعیین این پارامتر اخیرا گسترش زیادی یافته است. نمودار DSI به دلیل استفاده همزمان از موج برشی و فشارشی میتواند بهترین و دقیقترین ارزیابی را از پارامترهای مقاومتی سازند نتیجه دهد. البته مقایسه نتایج حاصل از این نمودار با نتایج سایر روشها نیز میتواند کمکی برای ارزیابی بهتر خصوصیات مکانیکی سازند باشد. در این مقاله سعی شده است با استفاده از مقاومت تک محوره حاصل از نمودار و مقایسه آن با نتایج چکش اشیت بر روی نمونه های مغزه روشی برای تصحیح نتایج حاصل از این آزمونها پیشنهاد شود.

۲- موقعیت جغرافیایی و زمین شناسی منطقه

میدان کوپال در میانه فروافتادگی دزفول و شمال استان خوزستان و در ۶۰ کیلومتری شرق شهرستان اهواز واقع شده است. سازند آسماری در این میدان به طور کلی از ۷ زون تشکیل شده است که عمدتا شامل لایه های آهک، دولومیت، ماسه سنگ و عمدتا در قسمت تحتانی لایه های شیلی است. از نظر زمین شناسی توالی از سنگهای جوانتر سازند آسماری را پوشانده است که شامل سازندهای گچساران، میشان و آغاچاری میباشد. مطابق شکل ۱ از نظر ساختاری در این منطقه چین خوردگی هایی با یالهای کم شیب با روند N40W وجود دارند که هماهنگ با روند کلی رشته کوههای زاگرس می باشند (قلاوند، ه.، ۱۳۷۸). چاههای مورد بررسی در این تحقیق در قسمت غربی میدان و در نزدیکی محور طاقدیس واقع شده اند و فاصله آنها از یکدیگر حدود یک کیلومتر است (شکل ۲).



شکل ۱- موقعیت میدان کوپال در میان میدانی ناحیه زاگرس

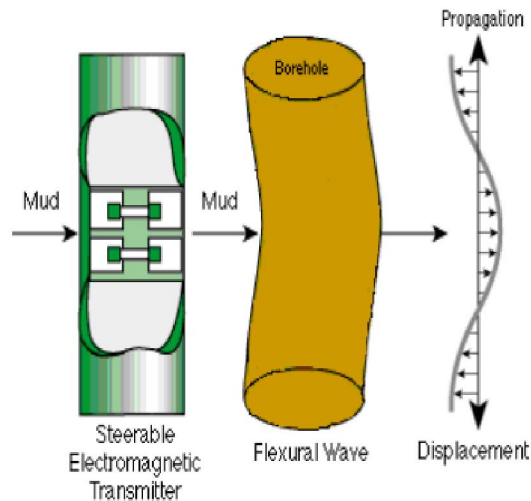


شکل ۲- موقعیت چاههای مورد بررسی در میدان کوپال از روی نقشه خطوط تراز زیرزمینی سرسازند آسماری

۳- روش گردآوری داده ها

برای این تحقیق از نمودار DSI و مغزه های دو چاه مختلف این میدان استفاده شد که دلیل این امر فقدان این دو در یک چاه واحد بوده است. کاربرد ابزار نمودارگیری صوتی از سال ۱۹۵۰ در صنایع نفتی آغاز شد. دستگاههای ابتدایی منحصراً قادر به اندازه گیری سرعت موج فشارشی بودند. با گذشت زمان و پیشرفت این ابزارها استفاده از چند گیرنده و فرستنده برای افزایش دقت اندازه گیری ها معمول شد. اما تا سالهای متمادی کلیه دستگاهها منحصراً دارای فرستنده های تک قطبی بودند که تنها قادر به تولید امواج فشارشی هستند. بعدها با گسترش استفاده از سرعت امواج برشی برای تعیین خواص مکانیکی سازند دستگاههای دارای فرستنده های دو قطبی نیز به بازار ارائه شدند. همچنین تعیین خصوصیتی از قبیل لیتولوژی، محتوای سیال، میزان سختی سازند و تراکم پذیری با استفاده از ترکیب سرعت امواج برشی و فشارشی امکان پذیر شد ابزار تصویربرداری برشی دو قطبی^۱ توسط شلامبرگر در دهه ۱۹۹۰ معرفی شد که قادر به ثبت امواج برشی، فشاری و همینطور موج استونلی است. کاربرد موج استونلی عمدتاً برای مطالعه نواحی شکسته شده است. منبع انرژی دو قطبی مانند پیستون عمل میکند به عبارت دیگر فشاری را تولید میکند که به سمت یک قسمت دیواره چاه افزایش و به سمت دیواره مقابل آن کاهش می یابد که باعث خمش دیواره چاه و در نتیجه تولید امواج برشی و فشارشی میشود (شکل ۳).

¹ Dipole Shear Imager (DSI)



شکل ۳ - دستگاه فرستنده موج برشی در ابزار DSI. ابزار یک موج خمشی در گل حفاری ایجاد میکند که پس از رسیدن به سازند باعث جابجایی سینوسی دیواره و انتشار موج برشی در آن میشود (Heidari B., 2010).

یکی از مهمترین کاربردهای ابزار DSI تعیین پارامترهای مکانیکی سازند با استفاده از نسبت سرعت امواج برشی به فشارشی است. در این تحقیق از فرمول (۱) برای بدست آوردن مقاومت تک محوره استفاده شده است (Akbar M., et al., 2004):

$$UCS = [3 + 4.1 \times E_{sta}] \times 145 \text{ (psi)} \quad (1)$$

مقدار E_{sta} (مدول یانگ استاتیک) در فرمول بالا از رابطه مورالس (۲) قابل محاسبه است (Akbar M., et al., 2004):

$$E_{sta} = [-2.21 \times PIGN + 0.963] \times E_{dyn} \quad (2)$$

که در آن PIGN تخلخل موثر بوده و E_{dyn} یا مدول یانگ دینامیک از رابطه (۳) قابل محاسبه است (Akbar M., et al., 2004):

$$E_{dyn} = 2G(1 + \nu) \quad (3)$$

که در آن G مدول برشی و ν ضریب پواسون میباشد و به ترتیب از روابط ۴ و ۵ بدست می آیند (Akbar M., et al., 2004):

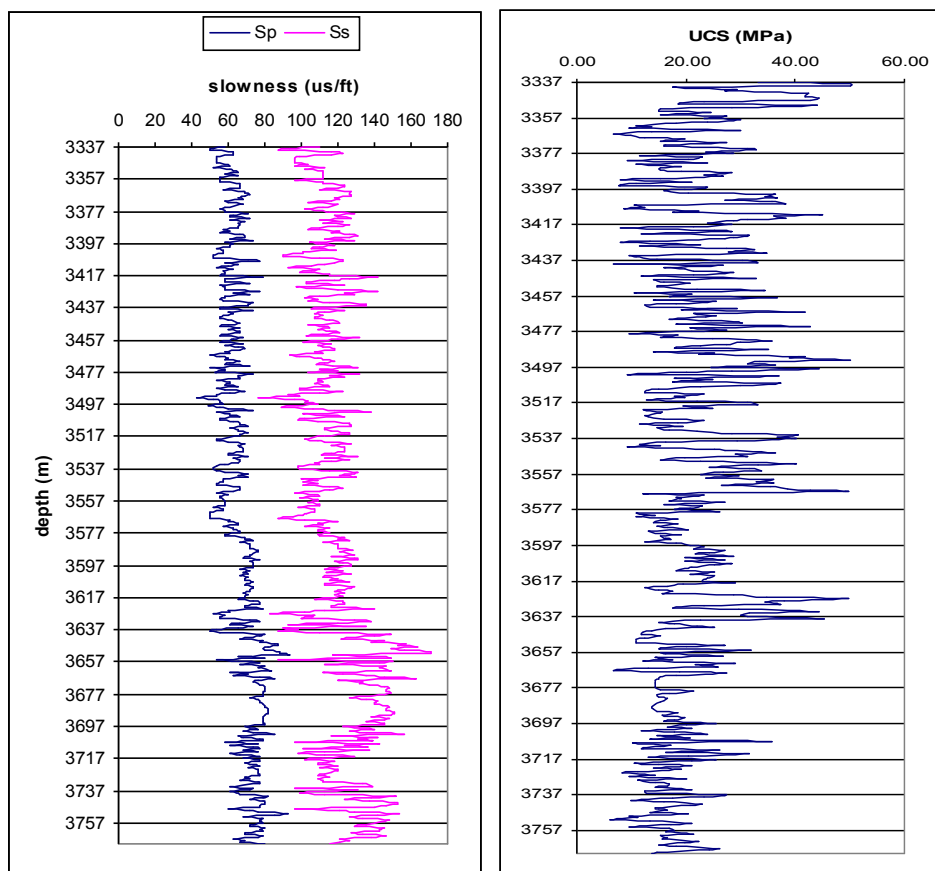
$$G_{dyn} = [\rho_b \div DTS^2] \times \alpha \quad (4)$$

$$\nu_{dyn} = [1/2(DTS/DTC)^2 - 1] \div [(DTS/DTC)^2 - 1] \quad (5)$$

در این روابط DTS و DTC به ترتیب آهستگی موج برشی و آهستگی موج فشاری هستند و α ضریب تصحیح است که چنانچه چگالی بر حسب گرم بر سانتیمتر مکعب و آهستگی بر حسب میکروثانیه بر فوت باشد مقدار آن برابر $10^1 \times 1.34$ می باشد. آهستگی موج عکس سرعت آن میباشد و عبارتست از: زمان لازم جهت عبور موج صوتی از واحد طول ماده. هرچه ماده متراکم تر باشد سرعت موج در آن بیشتر و آهستگی آن کمتر خواهد بود.

شکل ۴ مقادیر آهستگی موج برشی و فشارشی و مقاومت تک محوری حاصل از آنها با استفاده از روابط ۱ تا ۵ را نشان

میدهد.



شکل ۴- آهستگی موج برشی (قرمز) و فشارشی (آبی) در سمت چپ و مقاومت فشاری تک محوره حاصل از نمودار DSI در سمت راست

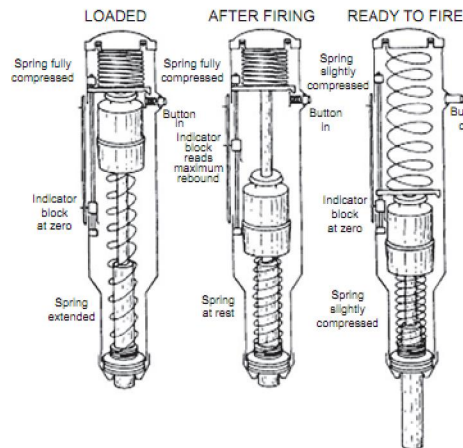
مقاومت تک محوره سنگ با استفاده از میزان واجهش چکش اشमित قابل محاسبه است. چکش اشमित از یک پیستون بارگذاری شده توسط فنر که در هنگام فشرده شدن میله در مقابل یک سطح آزاد می‌گردد. ضربه پیستون بر روی میله باعث انتقال انرژی به ماده می‌گردد (شکل ۵). میزان انرژی بازیافتی به سختی جسم بستگی دارد که توسط درصد حداکثر طول اتساع فنر قبل از آزاد شدن پیستون به طول آن بعد از بازگشت بیان می‌گردد (Aydin A, Basu A., 2005).

ویژگی‌هایی از قبیل سادگی، قابلیت حمل و مقرون به صرفه بودن از چکش اشमित یک وسیله سنجش ایده آل ساخته است که دربرگیرنده محبوبیت فزاینده و دایره کاربرد رو به گسترش آن است. عدد سختی واجهش چکش اشमित شاید پرکاربردترین شاخص در مکانیک سنگ برای تخمین مقاومت تک محوره و مدول الاستیک سنگ بکر هم در آزمایشگاه و هم در شرایط برجا باشد (Aydin A., 2008). سه دهه پس از اولین روش پیشنهادی ISRM برای اجرای این آزمون، محققان همواره در جستجوی گسترش روابطی مابین عدد واجهش اشमित (R) و مقاومت تک محوره (UCS) و مدول الاستیک (E) برای سنگهای مختلف بوده اند. در این تحقیق از رابطه ارائه شده توسط دیر و میلر که مقاومت تک محوره را با استفاده از عدد اشमित و چگالی سنگ محاسبه می نماید استفاده شد (رابطه ۶) (ترابی س.ر.، ۱۳۸۱).

$$Q_{ii} = 6.9 \times 10^{[0.16 + 0.0087(R_{np})]}$$

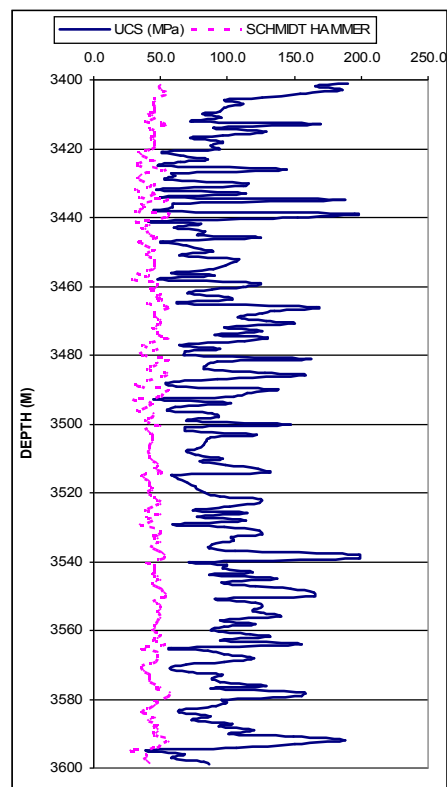
(۶)

که در آن ρ چگالی سنگ و R_n عدد اشमित است.



شکل ۵- اصول کارکرد چکش اشمیت (Aydin A.,2008)

در این مطالعه از مغزه های ۲۰۰ متر ابتدایی سازند آسماری در چاه KL-C که عمدتاً شامل سنگ آهک و دولومیت و مقداری شیل است استفاده شد. بر روی هر یک متر از این مغزه ها پنج بار قرائت انجام گرفته و میانگین این اعداد به عنوان عدد اشمیت در نظر گرفته شد. مقاومت تک محوره بدست آمده توسط رابطه دیر و میلر برای مغزه های چاه KL-C در شکل ۶ قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که از مقادیر چگالی قرائت شده توسط نمودار دانسیته، برای محاسبه مقاومت تک محوری با استفاده از این رابطه استفاده شده است.



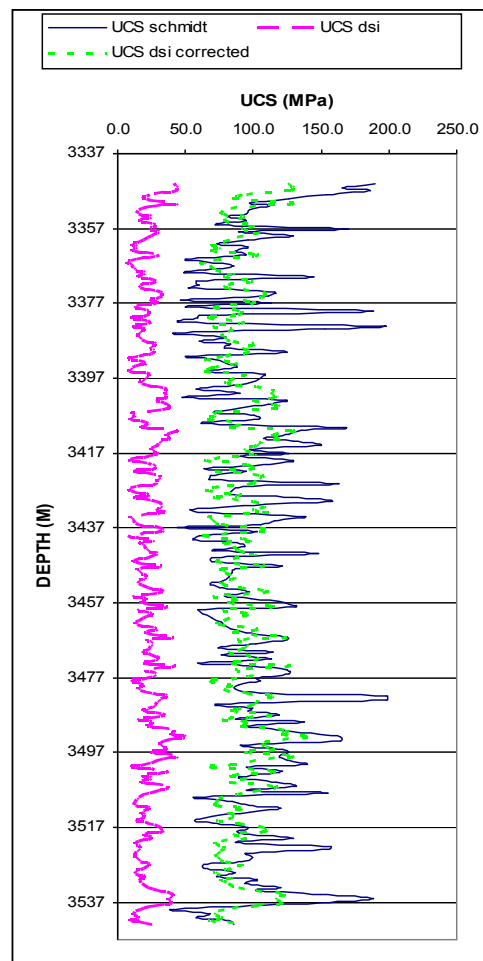
شکل ۶- مقادیر مقاومت فشاری تک محوره بدست آمده از رابطه دیر و میلر (آبی) به همراه مقادیر عدد اشمیت (قرمز)

۴- بحث و نتیجه گیری:

مقاومت فشاری تک محوره بدست آمده از آزمون چکش اشमित با نتایج حاصل از لاگ DSI مقایسه شد تا میزان انطباق این دو شیوه ارزیابی شود. با توجه به اینکه مقاومت های بدست آمده مربوط به دو چاه مختلف در میدان کوپال میباشد جهت برقراری انطباق لایه به لایه از نتایج نمودار گامای این دو چاه کمک گرفته شد. شکل ۷ مقادیر مقاومت تک محوره بدست آمده از این دو روش را نشان میدهد. همانطور که مشاهده میشود مقادیر مقاومت تک محوره بدست آمده از روی نمودار صوتی معمولاً کمتر از مقادیر آزمون چکش اشमित است اما انطباق نسبی بین نمودارهای حاصل از این دو روش برقرار است بنابراین با بکارگیری ضریب تصحیح مناسب میتوان این مقادیر را به یکدیگر تبدیل نمود. برای تصحیح مقادیر مقاومت حاصل از نمودار صوتی به مقادیر حاصل از چکش اشमित معادله ۷ پیشنهاد میشود.

$$UCS_{schmidt} = 1.8(UCS_{DSI}) + 50 \text{ (MPa)} \quad (7)$$

مقادیر تصحیح شده مقاومت حاصل از لاگ صوتی به صورت نقطه چین در شکل ۷ رسم شده است.



شکل ۷- مقادیر مقاومت تک محوره بدست آمده از آزمون چکش اشमित (آبی) و لاگ DSI (قرمز) به همراه مقادیر تصحیح شده مقاومت حاصل از لاگ DSI (سبز)

اگرچه انطباق کاملی بین مقادیر تصحیح شده و مقاومت اشمیت وجود ندارد اما با توجه به روش کاملاً متفاوت اندازه گیری، شرایط دما و فشار کاملاً متفاوت حاکم بر سنگ در اعماق زمین در مقایسه با نمونه های مغزه و این نکته که داده ها مربوط به دو چاه مجاور می باشند میزان انطباق داده ها را قابل قبول می نماید.

از نتایج این تحقیق اینگونه به نظر میرسد که مقاومت تک محوره حاصل از نمودار DSI مقادیر محافظه کارانه ای بدست میدهد ولی آزمون چکش اشمیت نتایج بسیار بالاتری را نمایش میدهد. البته بدون انجام آزمون تک محوری نمیتوان در مورد برتری هر کدام از این روشها نظر داد اما بنظر میرسد نتایج آزمون اشمیت برای نمونه های سنگ بکر مناسب تر است ولی صرفنظر کردن از تاثیر ناهمگنی در ساختار سنگ بر روی مقاومت آن، کاربرد این روش را برای تخمین مقاومت برجای توده های سنگی محدودتر میکند. محدوده مقاومت تک محوری بدست آمده از نمودار DSI بین ۱۰ تا ۵۰ مگاپاسکال متغیر است که در نتیجه آن بخش عمده ای از این سنگها باید در شرایط فشار اعماق زمین دچار شکستگی شوند که نتایج حاصل از نمودارهای تصویری عکس این نظر را نشان میدهد زیرا در ۲۰۰ متر بالایی آسماری در میدان کوپال بندرت شکستگی های دیواره گزارش شده اند. بنابراین مقادیر واقعی مقاومت تک محوره مبیایست جایی مابین این دو مقدار و نزدیکتر به نتایج چکش اشمیت باشد. بنابراین استفاده از رابطه ۷ جهت تصحیح مقادیر حاصل از نمودار DSI میتواند برای مطالعات ژئومکانیکی با استفاده از نمودارها مفید واقع شود.

منابع

قلاوند ه.، (۱۳۷۸). "خلاصه وضعیت زمین شناسی مخازن آسماری و بنگستان میدان کوپال"، گزارش داخلی شرکت نفت

ترابی س.ر. (۱۳۸۱). "مقدمه ای بر مکانیک سنگ"، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.

Akbar M., Tchambaz M., Al Adani N.(2004). "Kupal – 41 Integrated Formation Evaluation", NIOC report, 108 pp

Aydin A.,(2008), ISRM Suggested method for determination of the Schmidt hammer rebound hardness: Revised version, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences

Aydin A, Basu A.(2005) The Schmidt hammer in rock material characterization. Eng Geol;81:pp1-14

Heidari B.,(2010), Introduction to Wellbore Stability Study, Schlumberger Presentation for NIOC, 23 PP