



مدل کاربردی برای محاسبه سگ دست^۱ چاه‌های جهت‌دار به کمک آنالیز اطلاعات حین حفاری

احسان کریمی^۱ دانشگاه تهرانحمید محمودان^۲ شرکت نفت و گاز پارسمصطفی صداقت‌زاده^{۳*} شرکت ملی حفاری

چکیده

مقاومت فشاری محصورنشده سنگ^۲، یکی از عوامل تعیین کننده عملیات حفاری است که تأثیر بسیاری بر سرعت حفاری دارد. روش‌های مختلفی از جمله روش‌های آزمایشگاهی، استفاده از نگاره‌های صوتی^۳ و انجام آزمایش روی کنده‌های حفاری برای محاسبه مقاومت فشاری محصورنشده سنگ وجود دارد. این روش‌ها با توجه به هزینه فراوان و زمان‌بر بودن، قابل استفاده جهت آنالیز اطلاعات حین حفاری نیستند. در این مقاله مدلی جدید بر اساس انرژی ویژه حفاری^۴ مورد استفاده قرار می‌گیرد. انرژی ویژه حفاری بیانگر میزان انرژی مورد نیاز برای خرد کردن و از میان برداشتن سنگ در زیر مته است. این عامل امکان پیش‌بینی انحراف چاه حین عملیات حفاری را فراهم می‌کند. به کمک روش ارائه شده رابطه بین انرژی ویژه حفاری و سگ دست چاه برای هر میدان نفتی به صورت مجزا قابل محاسبه است. از این رابطه می‌توان در بهینه‌سازی میزان سگ دست چاه‌های جهت‌دار با هدف دست‌یابی به سرعت حفاری بیشتر استفاده کرد.

به منظور ارزیابی این روش، اطلاعات حفاری ۳ حلقه چاه در میدان نفتی اهواز بررسی شد و مقادیر انرژی ویژه حفاری و سگ دست هر کدام محاسبه گردید. مقایسه مقادیر سگ دست محاسبه شده از طریق این روش با سگ دست اندازه‌گیری شده توسط ابزار MWD^۵ در یک نمونه چاه دیگر در همین میدان مؤید دقت قابل توجه این روش است. به علاوه تأثیر عواملی مثل: وزن روی مته، سرعت گردش رشته حفاری و نرخ نفوذ در سازند بر نرخ زاویه‌سازی حین حفاری مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت برای دست‌یابی به آثار عوامل تعیین کننده میزان انحراف چاه حین حفاری نتایج مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

واژگان کلیدی چاه‌های جهت‌دار، انرژی ویژه حفاری، سگ دست، نرخ نفوذ در سازند

مقدمه

به اندازه‌گیری زاویه و آزمون ته چاه و تعیین مسیر چاه می‌باشد. حفاری بر اساس سگ دست طراحی شده منجر به افزایش دقت در دست‌یابی به مسیر تعیین شده برای حفاری شده و ریسک برخورد مسیر چاه با چاه‌های مجاور را به ویژه در حفاری‌های دریایی کاهش می‌دهد.

در این مقاله سعی شده با استفاده از آنالیز اطلاعات حین حفاری، روشی برای تخمین دقیق سگ دست چاه ارائه شود. این روش امکان نمایش میزان سگ دست چاه را به عنوان یکی از عوامل نشان‌دهنده در پنل Mud-logging در کنار اطلاعات خروجی از ابزار MWD جهت افزایش کیفیت حفاری جهت‌دار میسر می‌کند. در نهایت نیز با مقایسه سگ دست محاسبه شده توسط این روش با سگ دست حاصل از MWD برای یک نمونه چاه واقعی در میدان نفتی اهواز، دقت این روش بررسی خواهد شد.

۱- عوامل مکانیک سنگی

یکی از مهم‌ترین عوامل مکانیک سنگی هنگام آنالیز اطلاعات حفاری، مقاومت فشاری محصور نشده سنگ است. روش‌های مختلفی برای محاسبه این عامل در طول مسیر حفاری وجود دارد. در بیشتر موارد در دسترس بودن اطلاعات تعیین کننده روش محاسبه است. نرخ نفوذ در سازند را می‌توان به

به‌طور کلی حفاری جهت‌دار به‌عنوان دانش هدایت مسیر چاه در طول یک مسیر از پیش تعیین شده تا رسیدن به یک هدف زیر سطحی شناخته می‌شود. در مواردی مثل حفاری گنبد‌های نمکی، گسل‌ها و در نواحی نزدیک به ساحل اهمیت استفاده از روش حفاری جهت‌دار مشخص خواهد شد. بنابراین نیاز به طراحی یک رشته حفاری ویژه برای حفاری چاه در مسیر طراحی شده با سگ دست مشخص ضروری می‌نماید. سگ دست، معادل تغییرات زاویه کلی چاه در یک متر از حفاری مشخص (به‌طور متوسط ۱۰۰ فوت) است.

آنالیز اطلاعات حین حفاری باعث کاهش خطا و بهبود کیفیت حفاری می‌شود. با به‌روز شدن اطلاعات حفاری حین عملیات، استفاده از روش آنالیز هم‌زمان^۶ کمک شایانی به تصمیم‌گیری دقیق‌تر و کاهش ریسک انحراف چاه از مسیر تعیین شده^۷ در چاه‌های جهت‌دار خواهد کرد. امروزه برای مسیر یابی در چاه‌های جهت‌دار از ابزار MWD استفاده می‌شود. این فن‌آوری با جمع‌آوری اطلاعات حفاری و ارسال آن به سطح امکان کنترل مسیر چاه را برای مهندس حفاری فراهم می‌کند.

به‌منظور طراحی دقیق مسیر مته جهت دست‌یابی به هدف مورد نظر، نیاز

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات

DSE: انرژی ویژه حفاری (psi)
HPB: توان هیدرولیکی مته (hrp)

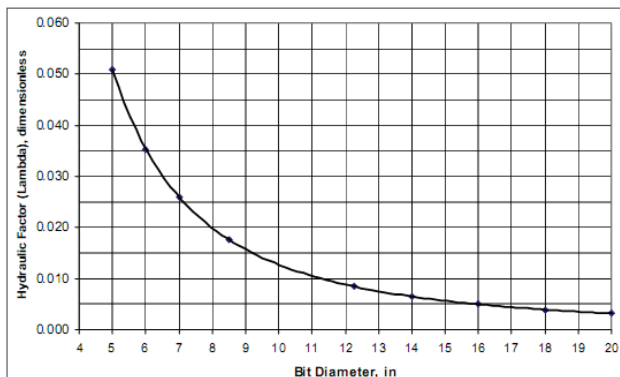
در سمت راست رابطه-۴ دو بخش اول مشابه رابطه تیل است. بخش سوم این رابطه مربوط به هیدرولیک مته است. ۸ عددی بی بعد مربوط به عامل هیدرولیک مته است که بر اساس شکل ۱- نسبت به قطر مته محاسبه می شود. از آنجایی که انرژی ویژه حفاری سنگ با مقاومت آن ارتباط مستقیم دارد و مقاومت سنگ نیز مستقیماً با نرخ زاویه سازی در سازند متناسب است، این عامل می تواند برای پیش بینی تغییرات سگ دست در چاه های جهت دار بسیار سودمند باشد.

با به دست آوردن رابطه بین انرژی ویژه حفاری سنگ و سگ دست، می توان بیشترین نرخ زاویه سازی متناسب با جنس سنگ مورد نظر را محاسبه کرد. این رابطه هم چنین می تواند برای اصلاح عوامل حفاری در حین عملیات با استفاده از مکانیک سنگ مورد استفاده قرار گیرد.

۲- روش اجرای تحقیق و توسعه مدل

برای اجرای این مطالعه، اطلاعات ۳ حلقه چاه (چاه های c+b+a) در میدان نفتی اهواز که به صورت جهت دار حفاری شده اند جمع آوری گردید. قطر هر ۳ حلقه چاه ۸ ۱/۴ اینچ و مته مورد استفاده نیز از نوع دکمه ای است. به عنوان گام نخست، در بازه های حفاری ۱۰ متر از نقطه پنجره^{۱۳} تا ته چاه مقادیر انرژی ویژه حفاری از رابطه-۴ محاسبه شد.

شکل ۲- نمودار تغییرات سگ دست را بر حسب مقادیر انرژی ویژه حفاری سنگ برای این ۳ حلقه چاه نشان می دهد. با توجه به شکل بیشترین نرخ زاویه سازی مربوط به انرژی ویژه حفاری سنگ در بازه ۶۵۰-۵۵۰ Kpsi است. بنابراین در میدان نفتی اهواز سنگ هایی با این بازه از انرژی ویژه حفاری سنگ برای حفاری با سگ دست های زیاد مناسب تر خواهند بود. ضمن اینکه با کاهش میزان انرژی ویژه حفاری سنگ، نمی سازند بیشتر شده و در این حالت به دلیل شسته شدن مداوم زاویه سازی زیر مته با نرخ کمتری صورت می گیرد. با توجه به این نمودار در هر میدان نفتی همواره بازه بهینه ای از مقاومت سنگ یا انرژی ویژه حفاری سنگ برای بهبود زاویه سازی و افزایش کیفیت حفاری جهت دار وجود دارد. به علاوه از این نمودار نیز می توان بیشترین سگ دست قابل حصول



عامل هیدرولیک مته (λ)

کمک مدل انرژی مورد نیاز برای خرد کردن سنگ در زیر مته پیش بینی کرد. به علت تأثیر مستقیم نیروی مورد نیاز برای خرد کردن و انتقال سنگ از مقابل مته، این مدل به عنوان یکی از مؤثرترین روش های تخمین سرعت نفوذ در سازند شناخته می شود.

در سال ۱۹۶۵ تیل^۸ مقدار انرژی مکانیکی ویژه^۹ را از رابطه-۱ محاسبه کرد:

$$MSE = \frac{WOB}{A_B} + \frac{120 * \pi * RPM * T}{A_B * ROP} \quad (1)$$

MSE: انرژی ویژه مکانیکی (psi)

AB: مساحت مته (in²)

ROP: نرخ نفوذ در سازند (ft/hr)

T: گشتاور مته (lbf-ft)

WOB: وزن روی مته (lb)

در سال ۱۹۹۲ پسیر^{۱۰} و فیر^{۱۱} به منظور ارتباط گشتاور عاملی به نام ضریب اصطکاک ویژه مته^{۱۲} را به عنوان تابعی از وزن روی مته معرفی کردند. این عامل از رابطه-۲ به دست می آید:

$$T = \frac{1}{36} \mu * D_B * WOB \implies \mu = 36 \frac{T}{D_B * WOB} \quad (2)$$

DB: قطر مته (in)

با جاگذاری رابطه-۲ در رابطه-۱ خواهیم داشت:

$$MSE = \frac{WOB}{A_B} + \frac{13.33 * \mu * RPM * WOB}{D_B * ROP} \quad (3)$$

در محاسبات، مقدار ضریب اصطکاک ویژه مته برای مته های دکمه ای و مته های سه کاجه برابر ۰/۲۵ و برای مته های PDC معادل ۰/۵ در نظر گرفته می شود.

بهبود مته از لحاظ هیدرولیکی باعث افزایش نرخ نفوذ مته در سازند می شود. اگرچه مفهوم انرژی مکانیکی ویژه دربرگیرنده هیچ جمله ای از هیدرولیک مته نیست، اما مشاهده شده که با کاهش انرژی ویژه مکانیکی و بهبود هیدرولیک مته کیفیت حفاری افزایش می یابد. بنابراین تصحیح معادله تیل و اصلاح آن از طریق افزودن جمله هیدرولیک مته، هم زمان عوامل مکانیکی و هیدرولیکی را در عملکرد مته دخیل خواهد کرد. سنگ توسط انرژی مکانیکی خرد شده و خرده های حفاری توسط عوامل هیدرولیکی از مقابل مته کنار زده می شوند. هر چه انتقال خرده ها سریع تر انجام گیرد، انرژی کمتری برای حفاری مجدد آنها هدر خواهد رفت.

انرژی ویژه حفاری سنگ به عنوان مقدار کار انجام شده برای حفاری و انتقال یک واحد حجم سنگ از مقابل مته در نظر گرفته شده و از رابطه-۴ محاسبه می شود:

$$DSE = \frac{WOB}{A_B} + \frac{120 * \pi * RPM * T}{A_B * ROP} - \frac{1,980,000 * \lambda * HP_B}{ROP * A_B} \quad (4)$$

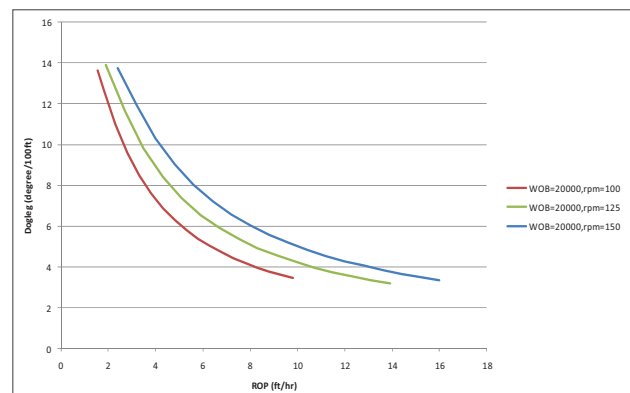


$$\text{Bit area} = 56/745 \text{ in}^2$$

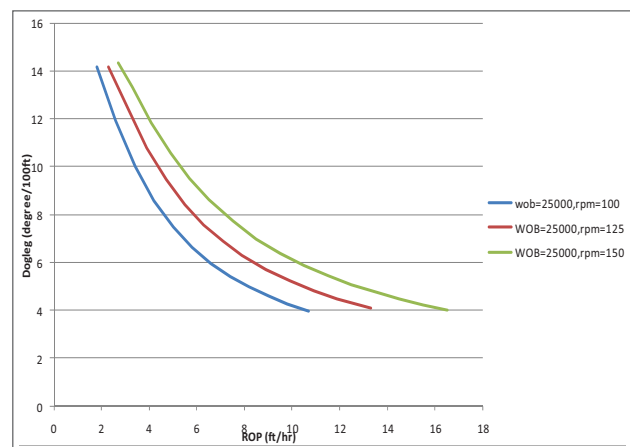
HSI: (hrp/in²) (ضریب هیدرولیکی مته)

به کمک روابط ۶ و ۵ تغییرات سگ دست نسبت به نرخ نفوذ در سازند در دورها و وزنهای مختلف اعمال شده روی متههای متفاوت (۱۵، ۲۰، ۲۵) رسم شد (شکل های ۳-۵ و ۴-۵). کاربرد این نمودارها در تخمین سرعت حفاری در چاههای جهت دار با سگ دستهای مختلف قبل از آغاز عملیات حفاری و بهینه سازی عوامل حفاری در حین عملیات است.

در بخش بعدی این مطالعه، با هدف سنجش میزان دقت این روش، در نمودار شکل ۶- مقادیر سگ دست حاصل از ابزار MWD با مقادیر محاسبه شده توسط این روش برای یک نمونه چاه واقعی (چاه-d) مقایسه شده است. همان طور که نشان داده شده، هم پوشانی مناسبی بین اطلاعات استخراج شده در سرچاه نسبت به مقادیر محاسبه شده توسط این مدل دیده می شود. بنابراین می توان از این مدل در تجهیزات آنالیز سرچاهی با هدف تخمین میزان سگ دست چاههای جهت دار قبل از اقدام برای گرفتن اطلاعات توسط ابزار MWD در بازه های حفاری دلخواه استفاده کرد. این موضوع باعث افزایش کیفیت حفاری و انجام



شکل ۴ | تغییرات سگ دست بر حسب نرخ نفوذ در سازند در وزن ۲۰ klb (روی مته)



شکل ۵ | تغییرات سگ دست بر حسب نرخ نفوذ در سازند در وزن ۲۵ klb (روی مته)

در حفاری را در آن میدان خاص به دست آورد.

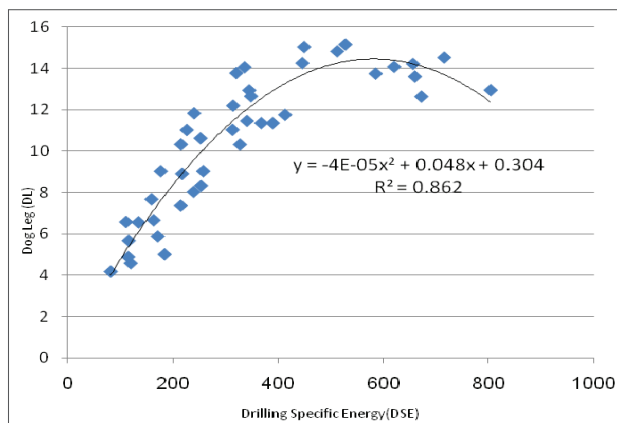
علاوه بر این با توجه به نمودار شکل ۲- مشخص است که سنگ هایی با انرژی ویژه حفاری سنگ بیشتر از ۶۵۰ Kpsi برای طراحی چاههای جهت دار با سگ دست زیاد مناسب نیستند. این مطلب می تواند در فاز طراحی چاههای جهت دار در مطالعه جامع مخزن کمک شایانی باشد. رابطه ۵- معادله سگ دست بر حسب انرژی ویژه حفاری سنگ را که از نمودار شکل ۲- استخراج شده نشان می دهد:

$$DL = -4 \times 10^{-5} (DSE)^2 + 0.048(DSE) + 0.304 \quad (5)$$

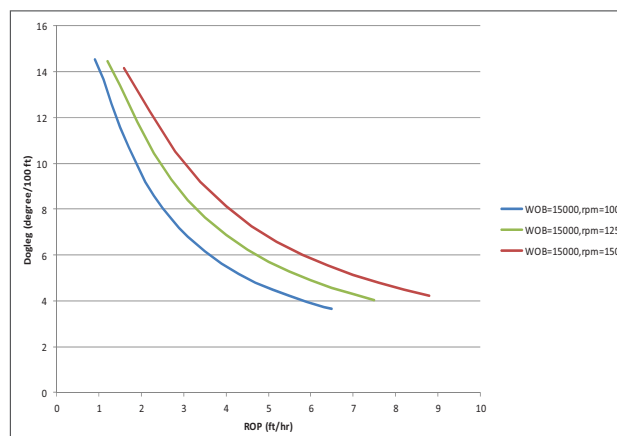
DL: سگ دست (degree/100 ft)

با استفاده از روابط ۴-۵ و تغییرات سگ دست در نرخ نفوذهای مختلف قابل محاسبه خواهد بود. به منظور آنالیز تأثیر عوامل اصلی حفاری بر سگ دست چاه، مقادیر زیر به صورت میانگین برای ۳ حلقه چاه در نظر گرفته شده است: Bit HSI= ۳/۱ hp/in²

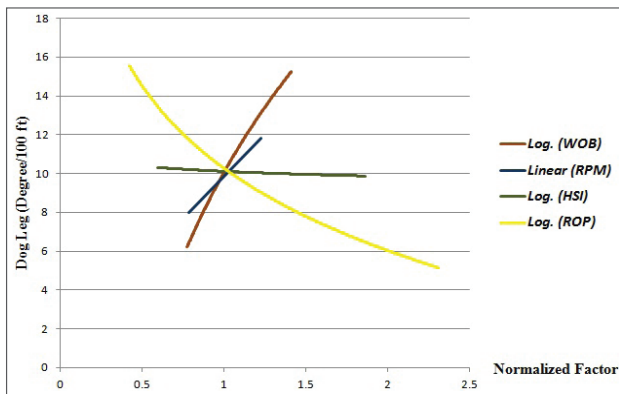
Torque of bit= ۱۱۸۰ lbf-ft



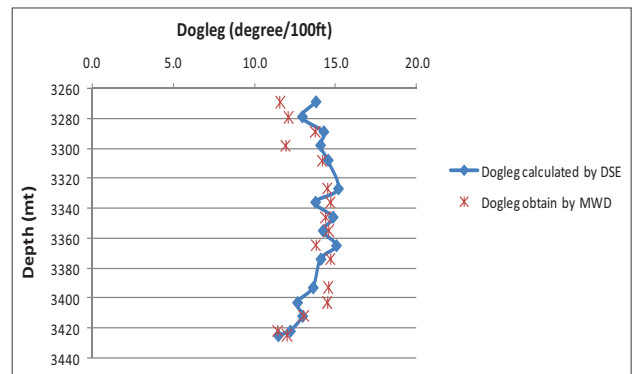
شکل ۲ | نمودار سگ دست بر حسب انرژی ویژه حفاری



شکل ۳ | تغییرات سگ دست بر حسب نرخ نفوذ در سازند در وزن ۱۵ klb (روی مته)



شکل ۷ | آنالیز حساسیت



شکل ۶ | مقایسه سگدست محاسبه شده توسط مدل DSE با ابزار MWD در چاه-d

توجه شرکت‌های پیمانکار حفاری باشد. در این روش امکان تخمین تغییرات سگ‌دست چاه در هر بازه حفاری به کمک اطلاعات در حین عملیات حفاری با دقت قابل قبولی میسر خواهد شد.

■ با توجه به ۳ حلقه چاه مورد مطالعه، بیشترین نرخ زاویه‌سازی در میدان نفتی اهواز در سازندهایی با انرژی ویژه حفاری سنگ Kpsi (۶۵۰-۵۵۰) مشاهده شد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در این میدان چاه‌هایی با سگ‌دست زیاد در این بازه از انرژی ویژه حفاری سنگ طراحی شود. هم‌چنین سازندهایی با انرژی ویژه حفاری سنگ کمتر از ۱۰۰ Kpsi برای حفاری جهت‌دار در این میدان مناسب نیستند.

■ با استفاده از مدل ارائه شده امکان مطالعه تأثیر هر یک از عوامل اصلی حفاری شامل ROP، WOB، RPM، HSI بر تغییرات و میزان سگ‌دست چاه‌های جهت‌دار قبل از آغاز عملیات حفاری فراهم می‌گردد.

■ تأثیر RPM بر نرخ زاویه‌سازی در شرایط سگ‌دست زیاد، بیشتر از حفاری چاهی در شرایط سگ‌دست کم است.

عملیات حفاری در جهت طراحی شده خواهد بود. در بخش پایانی این تحقیق به آنالیز تأثیر هر یک از عوامل حفاری شامل ROP، WOB، RPM روی نرخ زاویه‌سازی چاه به کمک مدل ارائه شده به صورت جزء به جزء خواهیم پرداخت. همان‌طور که در شکل ۷- نشان داده شده، عامل HSI تأثیر اندکی بر تغییرات سگ‌دست چاه دارد اما با افزایش نرخ پمپ گل، نرخ زاویه‌سازی تا حدودی کاهش می‌یابد.

تغییرات سگ‌دست نسبت به RPM به صورت خطی است. بنابراین با افزایش سرعت چرخش رشته حفاری نرخ زاویه‌سازی افزایش می‌یابد. توجه این افزایش را می‌توان افزایش لرزش و نوسانات رشته حفاری و تغییرات ناگهانی زاویه و آزیموت بیان کرد. در خصوص تأثیر عامل وزن روی مته همان‌طور که مشاهده می‌شود نرخ زاویه‌سازی با افزایش وزن روی مته نیز افزایش می‌یابد که این مطلب به شدت به نوع رشته حفاری استفاده شده بستگی دارد.

نتیجه‌گیری

■ این نوشتار ارائه‌کننده روشی کاربردی است که می‌تواند مورد

پانویس‌ها

- | | | |
|--|--------------------------------|--------------------------|
| 1. Dog Leg (DL) | 5. Measurement While Drilling | 10. pessier |
| 2. Unconfined Compressive Strength (UCS) | 6. real time drilling analysis | 11. fear |
| 3. sonic logs | 7. side tracking | 12. μ |
| 4. Drilling Specific Energy (DSE) | 8. teal | 13. Kick-off Point (KOP) |
| | 9. mechanical special energy | |

منابع

- [1]Teale,R. 1965. The Concept of Specific Energy in Rock Drilling.Int.J.Rock Mech. And Mining Sci.,Vol. 2, 57.73.
- [2]Pessier,R,C. Fear,M,J. 1992. Quantifying Common Drilling Problems with Mechanical Specific Energy and Bit-Specific Coefficient of Sliding Friction. Paper SPE 24584 Presented at the 67th Annual Technical Conference and Exhibition, Washington, DC, October 4-7.
- [3] Miguel Armenta.2008. Identifying Inefficient Drilling Conditions Using Drilling-Specific Energy. Paper SPE 116667 Presented at Annual Technical Conference and Exhibition, Denver, September 2008.
- [4]Nygaard, R.Hareland, G.2008.Prediction of Directional Changes in Well Drilling Based on Formation Rock Strength. Paper ARMA 08-230 Presented at the 42th US Rock Mechanics Symposium held in San Francisco, June 29-July 2, 2008.
- [5]G.A.James, J.G.Wynd, Stratigraphic Nomenclature of Iranian Oil Consortium Agreement Area, Dec 1965, AAPG Bulletin, V.49, No.12, 2182-2255.