

مطالعه مخزن خامی بالائی با استفاده از مقاطع نازک میکروسکوپی، مغزه، هرزروی گل حفاری و مدل سازی، میدان بی بی حکیمه

بهمن سلیمانی، دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه شهید چمران اهواز*
فاطمه سلیمانی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران اهواز
خسرو حیدری، کارشناس ارشد مناطق نفت خیز جنوب

چکیده

مطالعه کنونی، ویژگی های دیاژنزی و کیفیت مخزن خامی بالایی میدان نفتی بی بی حکیمه را در چاه های اکتشافی مورد بررسی قرار می دهد. گروه خامی به دو بخش پایینی (سورمه، هیث) و بالایی (فهلپان، گدوان و داریان) تقسیم می شود. از نظر سنگ شناسی، سازندهای فهلپان و داریان و عضو خلیج سازند گدوان به صورت کربناته و سازند گدوان شیلی است. فرآیندهای دیاژنتیکی مشاهده شده در این مخزن به صورت جانشینی و دولومیتی شدن، انیدریتی شدن، تبلور مجدد، گلاکونیتی شدن، پیریتی شدن، استیلولیتی شدن و چرتی شدن می باشند. مدل زمین شناسی این مخزن جهت توصیف ساختار و نشان دادن عملکرد گسل ها و نقشه های هم ارزش هرزروی گل حفاری و نیز نقشه های هم شکستگی با استفاده از نرم افزار تهیه گردید. نتایج مطالعه آشکار نمود که گسترش خوب شکستگی در این مخزن همراه با تأثیر فرآیندهای دیاژنتیکی دولومیتی شدن و انحلال، کیفیت مخزن را بهبود بخشیده است. شکستگی ها در نیمه شرقی و در یال جنوبی میدان گسترش بیشتری دارند.

واژه های کلیدی: میدان بی بی حکیمه، گروه خامی، فرآیندهای دیاژنتیکی، دولومیتی شدن، کیفیت مخزنی.

مقدمه

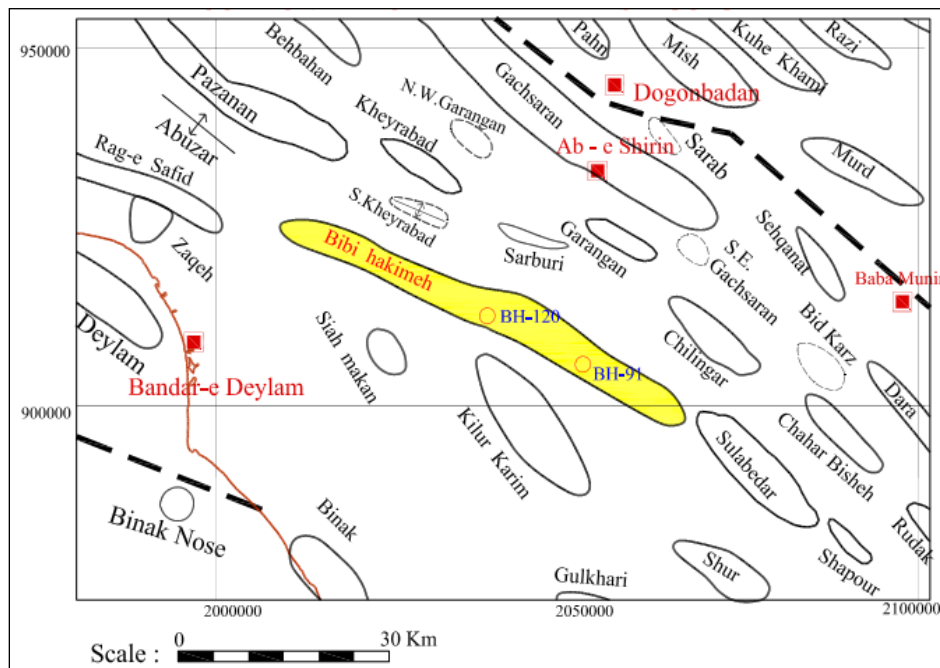
حدود ۸۵ درصد ذخایر نفتی و ۹۰ درصد ذخایر گازی ایران، ۴۹ درصد ذخایر نفت و ۵۵ درصد گاز جهان در سنگ‌های کربناته تجمع یافته اند (رضایی ۱۳۸۰). مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی مغزه‌ها و خرده‌های حفاری سنگ مخزن با گذشت زمان اهمیت خود را در اکتشاف و توسعه میادین هیدروکربوری به خوبی حفظ کرده است. کربنات‌ها به خاطر ماهیت واکنش‌پذیر خود، رسوب-گذاری و دیاژنز پیچیده‌تری نسبت به ماسه‌سنگ‌ها دارند. مطالعات جامع رسوب‌شناسی و دیاژنزی، به درک تکامل سیستم کربناته کمک نموده و چگونگی توزیع ویژگی‌های پتروفیزیکی در زیر زمین را ممکن می‌سازد. این مطالعات برای توصیف و پیش‌بینی بهتر کیفیت مخزن سودمند هستند (Ronchi et al. 2009). از آنجا که اکثر مخازن هیدروکربنی ایران از نوع کربناته هستند و این سنگ‌ها به شدت تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنزی قرار می‌گیرند، مطالعه این فرآیندها و بررسی تأثیر آن‌ها بر کیفیت مخزنی سازندها ضروری به نظر می‌رسد.

امروزه مدل‌سازی سه‌بعدی در ابعاد وسیعی به منظور اکتشاف و تولید هیدروکربن مورد استفاده قرار می‌گیرد. یک مدل سه‌بعدی، بهترین روش برای تلفیق همه داده‌های موجود است (Valcarce et al. 2006). در این مطالعه تأثیر این فرآیندها بر کیفیت مخزنی سازندهای داریان، گدوان و فهلیان بررسی شده است و جهت توصیف مخزن مذکور، مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار مدیریت سیستم مخزن RMS انجام شده است.

موقعیت زمین‌شناسی میدان نفتی بی بی حکیمه

میدان بی‌بی حکیمه در استان کهگیلویه و بویر احمد، در حدود ۲۰۰ کیلومتری جنوب شرقی شهر اهواز و در حاشیه شرقی فروافتادگی دزفول واقع شده و از آخرین تاقدیس‌های کشیده کمربند چین‌خورده زاگرس محسوب می‌شود. این میدان بین میادین رگ سفید (شمال غرب) سولابدر (جنوب شرق)، گرنگان (شمال) و کیلورکریم (جنوب) محصور شده است (شکل ۱).

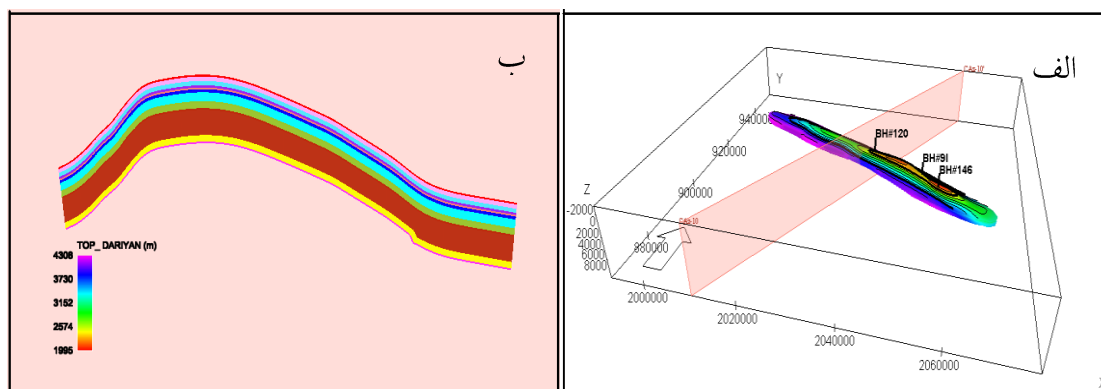
طول و عرض تاقدیس بی بی حکیمه در افق خامی در محدوده آخرین کنتور بسته و با فرض بر ناتراوا بودن گسل‌ها ۶۱×۴۱ کیلومتر با بستگی قائم بیش از ۱۴۰۰ متر می‌باشد. این ساختمان توسط تفسیرهای لرزه‌نگاری مشخص گردیده است (فکوری ۱۳۸۳) و تا کنون سه حلقه چاه در مخزن خامی آن حفاری شده که به علت عمق زیاد گروه خامی در فروافتادگی دزفول و مشکلات ناشی از آن می‌باشد. لذا مطالعه کنونی بر اساس داده‌های این سه چاه بنا شده است. با ورود داده‌های سنگ-چینه‌ای و ترسیم مدل چینه‌ای توسط نرم افزار RMS این تاقدیس در افق خامی حالت نامتقارنی را نشان می‌دهد به طوری که شیب یال جنوبی بیشتر از یال شمالی می‌باشد (شکل ۲). شیب دامنه شمالی ۲۸°-۲۵° و یال جنوبی ۴۵° می‌باشد. تاقدیس مذکور در افق خامی دارای دو کوهانک در نیمه جنوب شرقی میدان است.



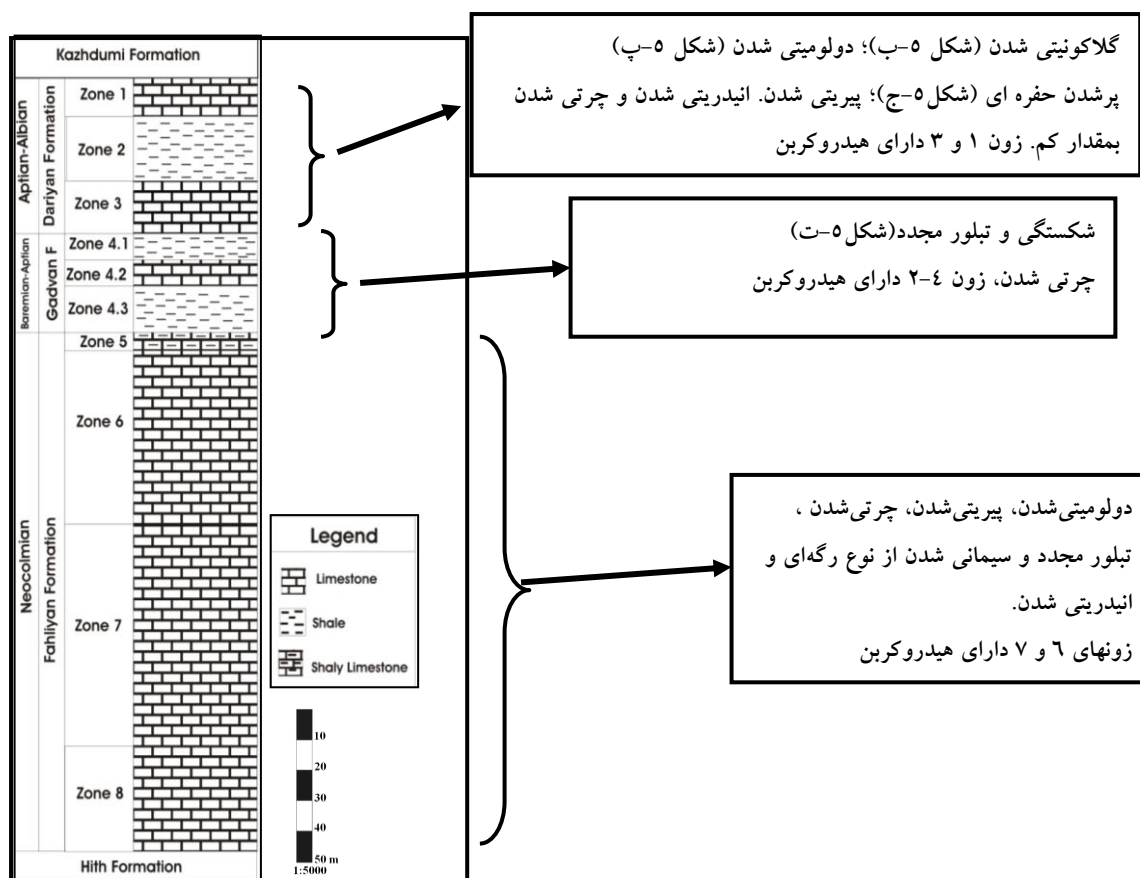
شکل ۱- موقعیت میدان نفتی بی‌بی حکیمه و میادین مجاور آن در فروافتادگی دزفول (فکوری ۱۳۸۳).

سنگ‌شناسی و پتروفیزیکی به ۸ زون تقسیم شده است (شکل ۳). زون‌های ۱، ۲ و ۳ متعلق به سازند داریان می‌باشد. زون ۴ که معادل سازند گدوان است خود به سه زیر زون تقسیم گردیده است. بخش خلیج به عنوان زیر زون ۲-۴ تعریف شده است. زون‌های ۵، ۶، ۷ و ۸ در سازند فهلیان قرار گرفته است (جدول ۱). در این مطالعه زون‌بندی قدیمی و اولیه (ملاجعفری سهی ۱۳۷۶؛ فکوری ۱۳۸۳)، با بررسی داده‌های نمودار الکتریکی، اطلاعات آزمایشات سازند و هرزروی چاه، نمودار تطابقی و اطلاعات مهندسی نفت، بمنظور استفاده در نرم افزار مدل ساز RMS مورد بازنگری قرار گرفت.

گروه خامی به دو بخش تقسیم می‌شود: خامی بالایی (شکل ۳) شامل سازندهای فهلیان (نئوکومین)، گدوان (بارمین-آپتین) و داریان (آپتین - آلبین) است و خامی پایینی که در بر دارنده سازندهای سورمه و هیث است. گروه خامی عمدتاً از سنگ‌های آهکی مربوط به محیط دریایی کم عمق، همراه با سنگ‌های تبخیری (سازند هیث) و شیل‌های سازند گدوان تشکیل شده است. گروه خامی در محدوده فارس، قسمتهائی از فروافتادگی دزفول و شمال لرستان گسترش دارد. در لرستان و بخش مرکزی فروافتادگی دزفول، خامی بطور جانبی به رسوبات شیلی سازند گرو تغییر رخساره داده است (مطیعی ۱۳۷۲). مخزن خامی بالایی میدان بی‌بی حکیمه بر اساس خواص



شکل ۲- نمایش سه بعدی مخزن خامی میدان بی بی حکیمه (الف) بر روی افق داریان، (ب) مقطع عرضی آن (ترسیم شده با استفاده از نرم افزار RMS).



شکل ۳ - ستون چینه شناسی واحدهای سنگی مورد مطالعه در چاه شماره ۱۴۶ میدان بی بی حکیمه ترسیم شده توسط نرم افزار و فرایندهای دیاژنزی مؤثر.

روش مطالعه

به منظور توصیف سنگ شناسی و بررسی تغییرات دیاژنی در سازندهای خامی بالایی، ۹۷ مقطع نازک نمونه های چاه ۱۴۶ میدان بی بی حکیمه از عمق ۲۶۶۸/۵ تا ۳۷۶۶/۵ متری به وسیله میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت. در ارزیابی کیفیت مخزنی از داده های مغزه، و هرزروی گل حفاری، استفاده گردید. جهت بررسی سنگ شناسی سازندهای مورد مطالعه نیز از نمودارهای چاه پیمایی گاما، CNL و چگالی استفاده شد. آزمایشات ساقه مته نیز در توصیف ترکیب سیالات مخزن مورد استفاده قرار گرفت. مدل ساختمانی مخزن نیز با

استفاده از نرم افزار RMS و داده های تحت الارضی به منظور توصیف و تجسم مخزن و تهیه نقشه های هم هرزروی گل حفاری و نقشه های هم شکستگی ایجاد گردید. ایجاد مدل ساختمانی مخزن خامی میدان بی بی - حکیمه بر اساس سطح سر سازند داریان و اطلاعات عمق ورود چاه های موجود (۹۱، ۱۴۶ و ۱۲۰) به مخزن صورت گرفت. بدین منظور ابتدا نقشه تراز زیرزمینی سرسازند داریان، رقومی و به عنوان داده ورودی، وارد نرم افزار گردید و همراه با داده های ورودی چاه در ایجاد مدل ساختمانی به کار گرفته شد.

جدول ۱- زون بندی مخزن خامی بالایی در میدان بی بی حکیمه (بر اساس گزارشات مناطق نفت خیز جنوب: فکوری

۱۹۸۳؛ خدادوستان و دزفولیان ۱۳۷۸)

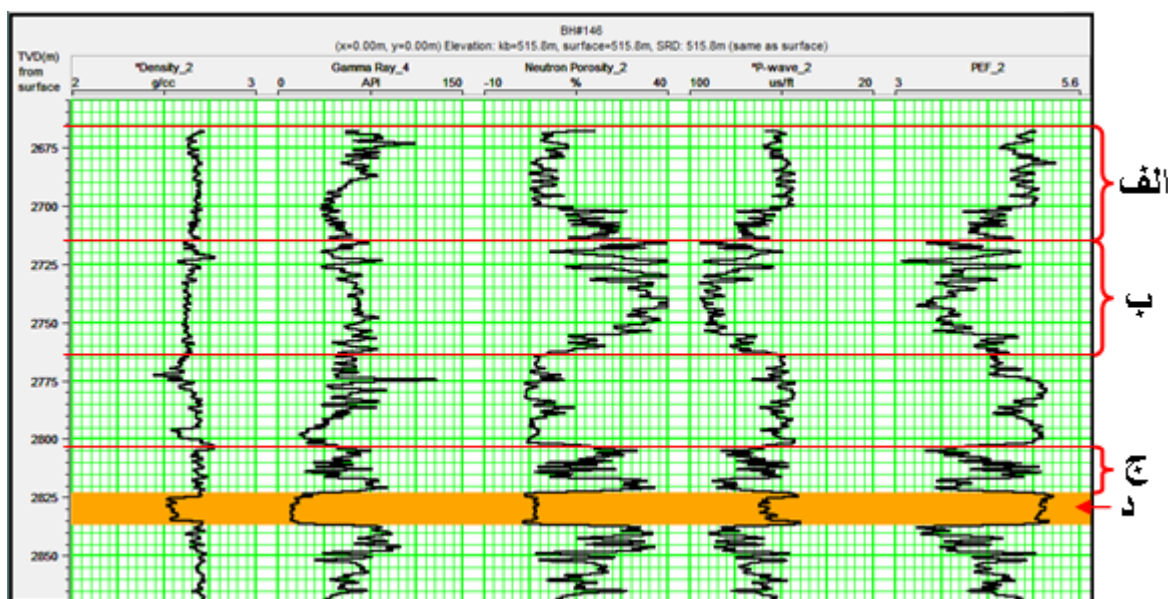
| نام زون | زون ۱ | زون ۲ | زون ۳ | زبرزون | زبرزون | زبرزون | زون ۵ | زون ۶ | زون ۷ | زون ۸ |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| نام سازند | داریان | داریان | داریان | گدوان | گدوان | گدوان | فهلپان | فهلپان | فهلپان | فهلپان |
| عمق در چاه ۱۴۶ | ۲۶۶۸/۵ | ۲۷۱۱ | ۲۷۶۸ | ۲۸۰۲/۵ | ۲۸۲۳/۵ | ۲۸۳۷/۵ | ۲۸۷۵/۵ | ۲۹۷۶ | ۳۱۷۹/۵ | - |
| عمق در چاه ۱۲۰ | ۳۰۸۷ | ۳۱۱۲ | ۳۱۷۰ | ۳۲۲۹ | ۳۲۶۱ | ۳۲۷۶ | ۳۳۲۷ | ۳۴۵۰ | ۳۵۵۲ | - |
| عمق در چاه ۹۱ | ۳۰۴۲ | ۳۰۶۷/۵ | ۳۱۲۵ | ۳۱۶۶/۵ | ۳۱۸۷ | ۳۱۹۸ | ۳۲۳۶/۵ | ۳۲۳۶/۵ | ۳۴۷۲ | ۳۶۵ |
| ضخامت متوسط (متر) | ۲۲ | ۵۶ | ۴۳ | ۲۴ | ۲۱ | ۴۲ | ۱۷ | ۱۴۷ | ۱۸۷ | ۹۳ |

توصیف سنگ شناسی مخزن خامی

سازند فهلپان عمدتاً از سنگ آهک های میکرایتی تشکیل شده است. بخش بالایی سازند گدوان دارای سنگ شناسی شیل، آهک رسی و آهک است و بخش خلیج از سازند گدوان دارای سنگ شناسی آهکی و بخش پایینی آن شیلی، مارنی و آهکی (ریز بلور) است. بخش بالایی سازند داریان، آهکی است. زبانه کژدمی شامل شیل، آهک رسی و بخش پایینی داریان متشکل از سنگ آهک

با بافت گل پشتیان (وکستون-پکستون) است (شکل ۴).

فرایندهای متداول دیاژنز آهکها شامل تراکم، زیست آشفستگی، میکریتی شدن، تغییر در کانی شناسی، سیمانی شدن، تبلور دوباره، دولومیتی شدن و انحلال می باشد (Jones and Xiao 2005). برخی از فرایندهای دیاژنی، کیفیت مخزن را افزایش و برخی آن را کاهش می دهند. تراکم باعث کاهش تخلخل مخزن شده، حال آنکه دولومیتی شدن با افزایش فضای خالی بین بلوری، کیفیت



شکل ۴- نمودارهای چاه‌پیمایی چاه ۱۴۶ میدان بی‌بی‌حکیمه الف) $PEF=5$ ، تخلخل نوترون ۰-۵ و چگالی ۲/۷۵-۲/۶ نشان دهنده آهک سخت دولومیتی است (زون یک سازند داریان - اعماق ۲۷۰۵-۲۶۶۸/۵ متری). ب) گاماری بالا، چگالی ۲/۷۵-۲/۷ شیل را مشخص می‌سازد (زبانه کزدمی، زون دو سازند داریان - اعماق ۲۷۶۵-۲۷۱۵ متری). ج) گاماری بالا، CNL پایین و چگالی ۲/۷-۲/۶ شیل را مشخص می‌سازد (زون ۴-اسازند گدوان - اعماق ۲۸۲۵-۲۸۰۳ متری). د) $PEF=5$ ، چگالی ۲/۵-۲/۶، گاماری پایین ۰-۱۵ و تخلخل نوترون ۰-۵ نشان دهنده آهک سخت است (عضوآهکی خلیج از سازند گدوان).

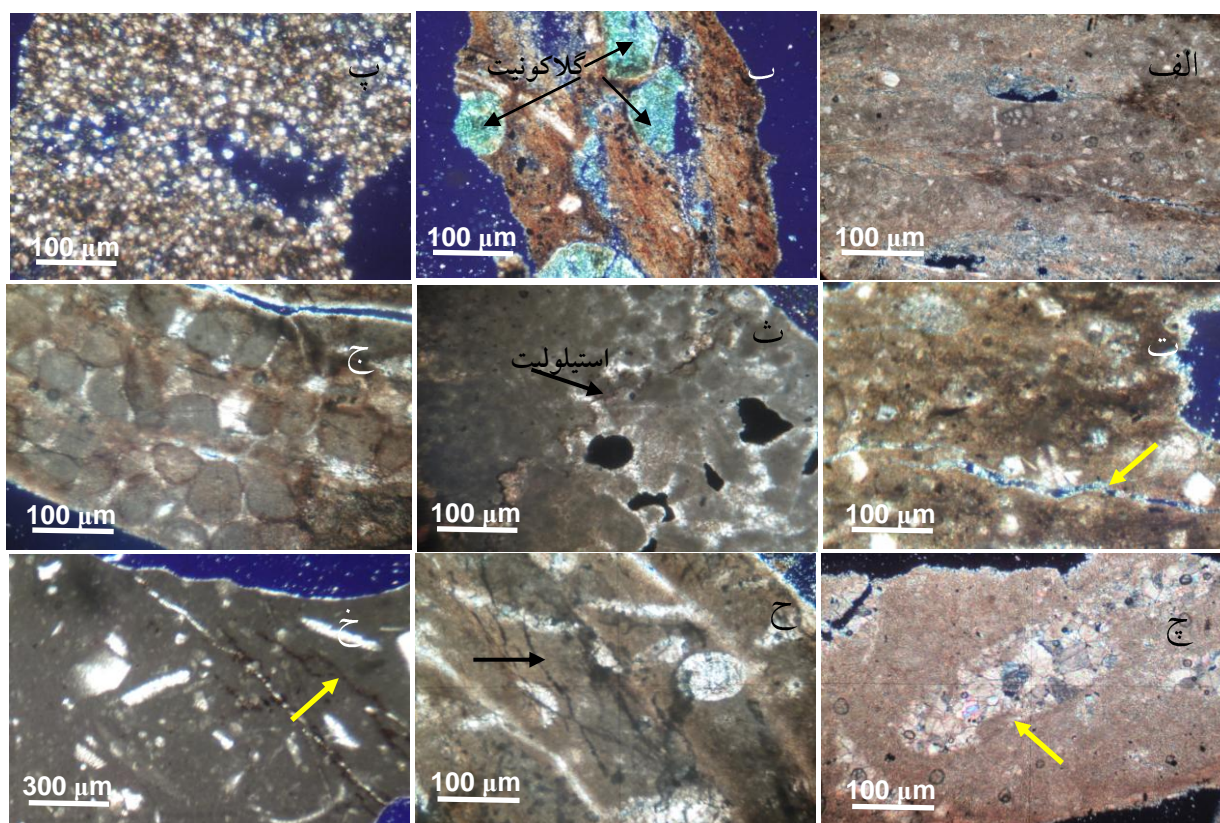
انید (شکل ۶-ت)، یا پلوئید (شکل ۶-ث) وجود دارد که گاه انید متحمل شکستگی دفنی شده است. آثار ماده آلی پرکننده حفرات (شکل ۶-ج) در آهک‌های پلوئیدی همراه با فرایند انحلال (شکل ۶-ح) در زون هفت فهلیان قابل ذکر است.

اجزاء غیر اسکلتی سازند فهلیان همانطور که ذکر شد بیشتر به صورت پلوئید (شکل ۶-ث) و در مواردی انید (شکل ۶-ت) می‌باشند که برخی از آن‌ها توسط فرایندهای دولومیتی شدن و تبلور مجدد در حال از بین رفتن بوده و حالت شبیح مانند به خود گرفته‌اند. پلت‌های مشاهده شده دارای رنگ تیره (به علت داشتن مواد آلی) و جور شدگی خوب بوده و احتمالاً انیدهای میکریتی شده هستند. عمل میکرایتی شدن که به وسیله جلبک‌های

شکستگی و تبلور مجدد در نمونه‌های زیر زون ۳-۴ سازند گدوان دیده می‌شود (شکل ۵-ت). پر شدگی حفرات توسط کلسیت در زون پنج (شکل ۶-ج)، شکستگی و خردشدگی در زون شش (شکل ۵-خ) و پر شدگی حفرات انحلالی در مادستون در زون شش (شکل ۶-خ) مشاهده می‌گردد. استیلولیت و آثار ماده آلی، در زون هفت فهلیان (شکل ۵-ث و ۶-پ) همراه با شکستگی (شکل ۵-ح) و نیز پلوئیدها در این زون (شکل ۵-ج) قابل ذکر است. تبلور مجدد آلومک‌ها در زون هفت (سازند فهلیان) مشاهده می‌شود (شکل ۶-الف). در این زون انیدریت بصورت پرکننده آلومک‌های آهکی (شکل ۶-ب) وجود دارد. علاوه بر آن در زون هفت، میان لایه‌هایی از آهک گرین استون متشکل از

نوع رگه‌ای همراه با کاهش تخلخل دیده می‌شود. تخلخل غالب به صورت حفره‌ای و در بعضی نقاط به صورت شکستگی است که در مواردی به وسیله کلسیت پر شده‌اند.

سبز- آبی صورت می‌گیرد، در نهایت موجب تبدیل آن‌ها به اجسام میکرایتی همگن و فاقد ساختمان داخلی می‌شود (Margolis and Rex 1971). در قسمت میانی سازند فهلیان، پدیده‌های دیاژنتیکی مانند دولومیتی شدن، پیریتی شدن، چرتی شدن، تبلور مجدد و سیمانی شدن از

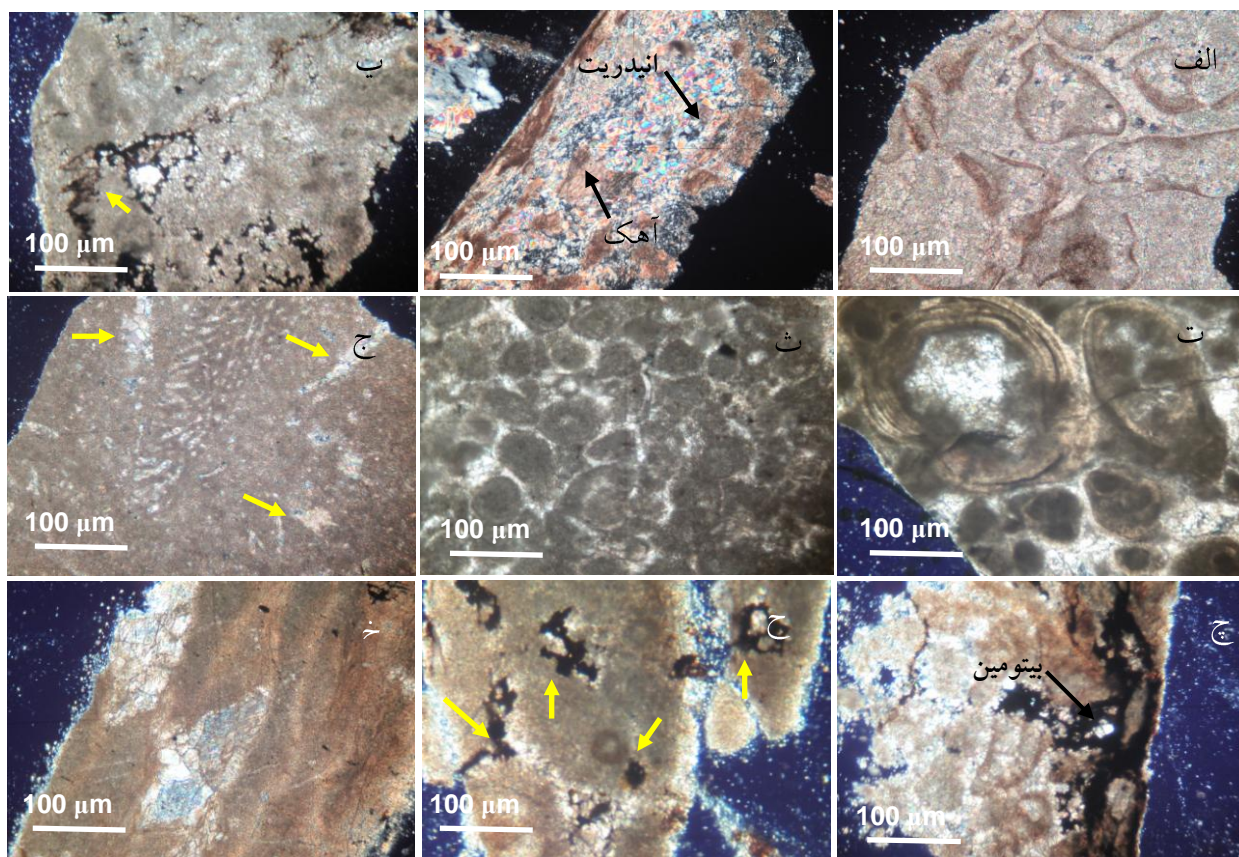


شکل ۵- پتروگرافی بعضی از نمونه‌های سازند داریان، گدوان و فهلیان در چاه ۱۴۶:

(الف) وکستون، زون یک داریان، عمق ۲۶۸۶ متری، (ب) گلاکونیت، زون یک داریان، عمق ۲۶۷۲ متری، (پ) بلورهای لوزی شکل دولومیت که تخلخل بین بلورین ایجاد کرده و حضور ماده آلی، زون دو داریان، عمق ۲۷۳۶ متری، (ت) شکستگی و تبلور مجدد در سطح آن، زیر زون ۴/۳ گدوان عمق ۲۸۴۴ متری، (ث) استیلولیت و ماده آلی، زون هفت فهلیان عمق ۳۷۰۰ متری، (ج) شکستگی و حضور پلوئیدها، زون هفت فهلیان عمق ۳۴۶۴ متری، (چ) پرشدگی، زون یک داریان، عمق ۲۷۰۵ متری، (ح) شکستگی، زون هفت فهلیان، عمق ۳۳۲۰ متری، (خ) شکستگی عمق ۲۹۹۰ متری، زون شش فهلیان.

دولومیتی شدن، تبلور مجدد، گلاکونیتی شدن، انیدریتی- شدن، چرتی شدن و استیلولیتی شدن دیده می‌شوند. انیدریت نیز در نمونه‌ها به چشم می‌خورد که به صورت پرکننده‌ی حفرات، پرکننده‌ی فضای بین بلورهای دولومیت می‌باشد. حضور استیلولیت نیز در برخی از نمونه‌ها به چشم می‌خورد (شکل ۶-پ) که ناشی از فرآیندهای دیاژنتیکی تدفینی می‌باشد. آهک فلهیان در این بخش بیشتر به صورت مادستون (شکل ۶-خ) و پکستون می‌باشد.

پیریت نیز در قسمت بالای سازند فلهیان حضور دارد. پدیده‌های دیاژنتیکی در قسمت بالای سازند فلهیان شامل جانشینی و دولومیتی شدن می‌باشد. پدیده دولومیتی شدن نیز به صورت بلورهای لوزوجهی دولومیت در سنگ آهک‌ها وجود دارد. انیدریت به شکل پرکننده وجود دارد و عمل دولومیتی شدن در قاعده این زون افزایش می‌یابد که در بعضی موارد تخلخل بین بلوری ایجاد گردیده است. کوارتز به مقدار قابل ملاحظه در نمونه‌ها وجود دارد. در قسمت قاعده سازند فلهیان پدیده‌های دیاژنتیکی



شکل ۶- ویژگی‌های پتروگرافی بعضی از نمونه‌های سازند فلهیان در چاه ۱۴۶:

(الف) تبلور مجدد آلوم‌ها، زون هشت، عمق ۳۷۱۶ متری؛ (ب) انیدریت، زون هفت، عمق ۳۷۶۴ متری؛ (پ) استیلولیت، زون هفت، عمق ۳۶۹۶ متری؛ (ت) گرین استون و شکستگی تدفینی در ائید، زون هفت، عمق ۳۷۲۶ متری؛ (ث) پلوئید، زون هفت، عمق ۳۵۲۰ متری؛ (ج) پرشدگی حفرات توسط کلسیت، زون پنج، عمق ۲۸۷۹ متری؛ (چ) تجمع آثار نفت و حضور پلوئید همراه با فرایند انحلال، زون هفت، عمق ۳۳۹۰ متری؛ (ح) آثار ماده آلی پرکننده حفرات، زون هفت، عمق ۳۶۸۲ متری؛ (خ) پرشدگی حفرات انحلالی در مادستون، زون شش، عمق ۳۰۹۰ متری.

دولومیت‌ها این آستانه پایین‌تر است (یک میلی‌متر)، بنابراین شکستگی‌ها در دولومیت‌ها اغلب باز می‌مانند و موجب نفوذپذیری بالای آن‌ها می‌شوند (Halley and Schmoker 1983). در مخازن دولومیتی، افق‌های دارای دولومیت‌های شکل‌دار از نظر تخلخل و تراوایی افزایش بیشتری نسبت به افق‌های دولومیتی دارای بلورهای نیمه شکل‌دار نشان می‌دهند. همچنین بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار نسبت به بلورهای بی‌شکل دارای تراوایی بیشتری با افزایش تخلخل می‌باشند (Woody et al. 1996). وجود سازند شیلی کژدمی در بالای مخزن خامی میدان بی‌بی حکیمه می‌تواند منبعی مهم برای سیالات غنی از منیزیم به منظور دولومیتی شدن این مخزن باشد و این موضوع، مدل تدفینی و تراکم را جهت دولومیتی شدن قوت می‌بخشد (Morrow 1982). به طور کلی زمانی که رخساره‌های آهکی گل پشٹیبان، دولومیتی شوند تراوایی آن‌ها افزایش می‌یابد. اما در رخساره‌های آهکی دانه پشٹیبان، رشد بلورهای دولومیت تأثیر چندانی در تغییر اندازه منافذ ندارد (Lucia 1999; Sibley & Gregg 1987) از طرفی دیگر چون گسترش دولومیتی شدن بویژه، بلورهای شکل‌دار دولومیت باعث افزایش تخلخل و تراوایی می‌شود (Woody et al. 1996) و در مخزن مورد مطالعه نیز بلورهای شکل‌دار دولومیت حضور دارند در کل می‌توان چنین استدلال کرد که دولومیتی شدن در این مخزن موجب افزایش کیفیت مخزنی گردیده است.

تراکم شیمیایی یا انحلال فشاری

استیلولیت‌ها از مهم‌ترین عوارض تراکم شیمیایی هستند که موجب کاهش زیاد ضخامت رسوبات کربناته می‌شوند و منشا دپازنر تأخیری را نشان می‌دهند (Al-Dabbas et al. 2009). سطوح انحلالی در استیلولیت‌ها می‌توانند محلی برای مهاجرت سیالات باشند. البته در

فرایند انحلال در برخی مقاطع مشاهده می‌شود که فضای حفرات حاصل از انحلال، توسط ماده آلی پر شده و به این ترتیب از پدیده سیمانی شدن محفوظ مانده‌اند. پدیده انحلال نه تنها ماتریکس بلکه آلوکوم‌ها را نیز متأثر نموده است (شکل ۶-ج).

دولومیتی شدن کربنات‌ها (به‌خصوص مادستون‌ها) در صورتی موجب گسترش تخلخل بین بلوری و افزایش تخلخل و تراوایی مخزن می‌شود که فضای خالی بین بلوری حاصل از دولومیتی شدن توسط سیمان اشغال نشده باشد، کیفی مخزن بهبود می‌یابد. مطالعات نشان داده است که برخی مخازن دولومیتی دارای تخلخل بیش از ۳۰٪ هستند (Schmoker and Halley 1982). بنا بر این فرایند دولومیتی شدن نه تنها اندازه بلورها را تغییر می‌دهد و موجب افزایش تخلخل می‌گردد بلکه ارتباط فضای خالی نیز بیشتر شده و همچنین سطوح خلل و فرج و گلوگاه‌های آن‌ها نیز هموارتر می‌شود که در نهایت سبب افزایش تراوایی خواهد شد. این مورد به فابریک اولیه رسوب، ماهیت و حجم سیالات دولومیتی کننده و فرایندهای پس از دولومیتی شدن بستگی دارد. این ویژگی را می‌توان ناشی از رفتار متفاوت دولومیت و کلسیت در جریان تدفین دانست.

در فرایند تدفین، دولومیت در مقایسه با کلسیت، تخلخل خود را کمتر از دست می‌دهد زیرا مقاومت بیش‌تری در مقابل تراکم مکانیکی و شیمیایی داشته و سیمانی شدن در آن‌ها کمتر صورت می‌گیرد. در عین حال دولومیت‌ها شکل‌پذیری کمتری نسبت به سنگ آهک دارند و گسترش شکستگی در آن‌ها با سهولت بیشتری صورت می‌گیرد (Schmoker and Halley 1982). در سنگ‌های آهکی اگر عرض کانال شکستگی کمتر از یک سانتی‌متر باشد، این شکستگی‌ها به وسیله سیمان‌های هم‌زمان با شکستگی پر می‌شوند یعنی احتمال باز ماندن شکستگی‌ها در سنگ‌های آهکی بسیار کمتر است ولی در

مشاهده شده ولی برخی زون‌ها از ماده آلی غنی‌تر هستند. این موضوع نشانه ناهمگنی مخزن و پتانسیل نفتی متفاوت بخش‌های مخزن است. از آنجا که هیدروکربورهای گازی می‌توانند راحت‌تر از نفت حرکت کنند (به دلیل قطر مولکولی بسیار کوچکتر) برخی از شکستگی‌ها تنها برای مهاجرت گاز موثر هستند اما نفت نمی‌تواند از آن‌ها عبور کند (Zhao et al., 2009). لذا، علیرغم متراکم بودن سنگ مخزن و در نتیجه کیفیت پایین مخزن از نظر میزان تولید نفت، شواهد تولید گاز در آزمایشات جریانی در زمان حفر چاه اکتشافی قابل توجه است.

مطالعه مقاطع نازک نشان می‌دهد در این مخزن، فرایند انیدریتی‌شدن، فضاهای خالی ایجاد شده بین بلورین و همچنین حفرات موجود را پر کرده و سبب کاهش کیفیت مخزن شده است و پدیده تراکم نیز به صورت مکانیکی و شیمیایی، سازندهای گروه خامی (خامی بالایی) را از لحاظ کیفیت مخزنی نامطلوب ساخته است (شکل ۶ب).

مطالعات مغزه

با استفاده از مغزه‌ها می‌توان خصوصیات پتروگرافی و پتروفیزیکی مخزن را مطالعه کرد. مشاهده مستقیم آغشتگی به نفت یا نشن سیال اطراف سطوح شکستگی در مغزه می‌تواند حاکی از نقش کنترلی شکستگی در هدایت سیال باشد (Nelson 2001). در مخزن مورد مطالعه، تنها در چاه ۹۱ و از سازند فهلیان مغزه‌گیری صورت گرفته است. مغزه‌گیری در دو مرحله انجام شده است به این ترتیب که مغزه شماره ۱ از حد فاصل ۳۳۵۵ تا ۳۳۶۴/۵ متری با بازیافت ۸/۶۰ متر به دست آمده است و شامل آهک‌های قهوه‌ای سخت فسیل‌دار، پیریتی و حاوی استیلولیت فراوان بوده که با مواد تیره، کلسیت و بیتومین پر شده‌اند. مغزه شماره ۲ از حد فاصل ۳۷۳۰ تا

بسیاری از موارد به علت تجمع مواد غیر کربناته نامحلول در امتداد استیلولیت‌ها، این عوارض به صورت سدهای غیر قابل نفوذ عمل می‌کنند. سازندهای مخزن مورد مطالعه، به دلیل پوشش رسوبی ضخیم، متحمل تراکم و انحلال فشاری شده لذا استیلولیت در آنها تشکیل شده است (شکل ۶پ و شکل ۷). در نمونه‌های مطالعه شده استیلولیت‌ها در اثر تجمع مواد نامحلول مانند سدی در برابر حرکت سیالات عمل کرده‌اند.

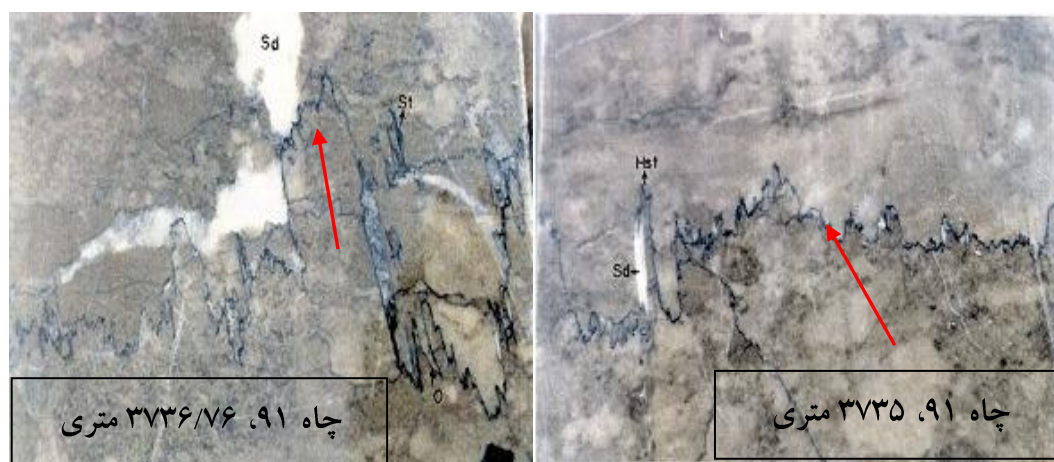
تخلخل شکستگی

این نوع تخلخل فابریک سنگ را قطع می‌کند (شکل ۶-ت) و عموماً حاصل نیروهای جهت دار (تکتونیک)، فروریزش (Collapse) و یا انحلال در آهک‌ها و تبخیری‌ها هستند. این تخلخل با منشأ تکتونیک، بویژه در دولومیت‌ها گسترش بیشتری دارد، زیرا دولومیت شکننده‌تر است. تخلخل شکستگی در سنگ‌های کربناته نیز بسیار معمول بوده و پدیده‌ای است که بعد از تدفین رسوبات روی می‌دهد. این نوع تخلخل همراه با چین-خوردگی، گسل خوردگی، دیاپیری‌شدن نمک‌ها، انحلال نمک‌ها یا افزایش بیش از حد فشار سیالات درون سازندی رخ می‌دهد. شکستگی‌هایی که دارای منشأ تکتونیک هستند اغلب افزایش نفوذپذیری را موجب می‌شوند. از طرفی شکستگی‌های میکروسکوپی نیز چنین تأثیری دارند. شکست حرارتی مواد آلی پرکننده خلل و فرج نیز ممکن است موجب شکل‌گیری شکستگی گردد (Zhao et al. 2009).

بدون شک وجود شکستگی موجب افزایش نفوذپذیری و تولید نفت در مخازن کربناته می‌گردد. شکستگی‌ها علاوه بر افزایش تخلخل، اتصال تخلخل‌های مجزا و افزایش نفوذپذیری، موجب افزایش مساحت سطوح زهکشی نفت از سنگ (مخزن) می‌گردند. ماده آلی در زون‌های ۱ (بویژه اعماق ۲۶۸۶-۲۶۷۲ متری)، ۳، ۲-۴، ۵، ۶ و ۷

ها مشاهده شده (شکل ۷) که در بیشتر آن‌ها، آثار هیدروکربور مشاهده گردیده است. در مجموع مطالعات مغزه‌ها، گویای تخلخل کم و متراکم بودن سنگ مخزن است در حالی که تولید گاز در آزمایش جریانیه همانگونه که در بالا اشاره گردید بیان‌گر وجود ریز شکستگی‌ها در این سازند است.

۳۷۳۹ متری با بازیافت ۹ متر به دست آمده و شامل؛ آهکهای کرم، سفید، قهوه‌ای روشن سخت، متبلور، استیلولیتی و متخلخل بوده که به وسیله بیتومین پر شده‌اند. مغزه‌های مورد مطالعه عمدتاً دارای شکستگی-های موئی هستند که در بیشتر بخش‌ها توسط سیمان کلسیتی ثانویه پر شده‌اند. علاوه بر آن، شکستگی‌های ظریف با قطر کمتر از ۰/۱ میلی‌متر در اطراف استیلولیت-



شکل ۷- نمونه ای از مغزه دارای آثار استیلولیت و شکستگیهای ظریف

سبک با گرانیروی متفاوت یکی در چاه ۱۲۰ با API ۳۵° و دیگری را در چاه ۹۱ (ملاجعفری سهی ۱۳۷۶) با ۰° API ۴۸/۵ در بخش شرقی و غربی میدان بدلیل گسله شدن نشان داد.

مدلسازی

اطلاع از وضعیت ساختمان مخزن و درک شکل سه بعدی آن با استفاده از فرایند مدلسازی صورت می‌گیرد. به همین منظور مدل سه بعدی مخزن خامی میدان بی‌بی-حکیمه ساخته شد تا چهارچوب کلی آن، وضعیت لایه‌ها (در مقاطع طولی و عرضی) و موقعیت دقیق گسل‌های آن به تصویر کشیده شود. امروزه مدلسازی سه بعدی در ابعاد وسیعی جهت اکتشاف و تولید هیدروکربن مورد استفاده قرار می‌گیرد. نرم افزارهای تخصصی کنونی

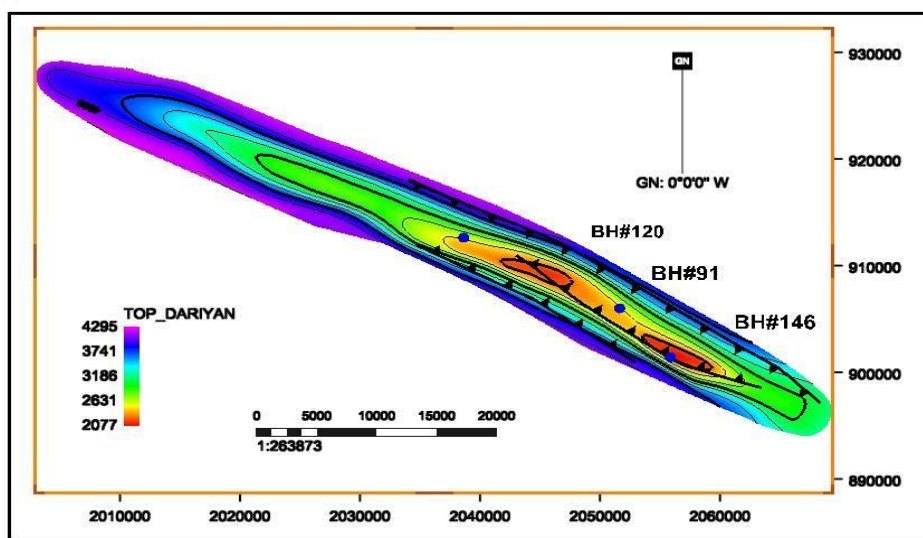
آزمایشات ساقه مته (DST)

آزمایش DST یا ساقه مته روش متداول آزمایش ارزیابی سازند نفت دار است (Hughes 1999). ابزار DST دارای بخشهای مختلفی است که همراه با مته به درون چاه فرستاده شده و بخش مورد نظر را از سایر قسمتها جدا می‌سازد. اطلاعاتی که به کمک آزمایش ساقه مته DST به دست می‌آیند عبارتند از: ۱- تعیین فشار لایه در حین حفاری چاه های اکتشافی، ۲- برداشت نمونه سیال به منظور مطالعات خواص سیال مخزن، ۳- تعیین تراوایی مخزن و ۴- محاسبه ضریب پوسته اطراف چاه. نتایج حاصل از این آزمایش در چاه ۱۲۰ (فکوری ۱۳۸۳) حاکی از وجود نفت سنگین (API ۲۴°) در بخش تحتانی و نیز وجود نفت سبک و میعانات گازی در بخش فوقانی سازند فهلیان است. بخش آهکی خلیج دارای دو نفت

نرم افزار مجموعه‌ای گسترده از توابع ریاضی و زمین-آماری می‌باشد که مقادیر، سطوح و حجم‌های مجهول را با کمک مقادیر معلوم و بر اساس روش‌های زمین‌آماری مختلف گنجانده شده در این نرم افزار محاسبه می‌کند (نظری و همکاران، ۱۳۸۷). در مطالعه حاضر، افق‌های پایین‌تر از داریان و سرزون‌های مخزنی از روش درون‌یابی و به کمک نقاط ورودی مربوط به آن‌ها تهیه شده است. اطلاعات موجود برای ساخت مدل ساختمانی سه بعدی از داده‌های نمودارهای چاه‌پیمایی نظیر گاما، نوترون، دانسیته، شیب‌سنجی و نقشه‌های ساختمانی به دست می‌آید.

در تصویری از مدل ساخته شده دو گسل عمقی دیده می‌شوند که به موازات محور تاقدیس در دو یال شمالی و جنوبی تاقدیس بی‌بی‌حکیمه عبور می‌کنند. گسل تراستی دیگری نیز از میانه میدان عبور می‌کند (شکل ۸). گسل پی سنگی خارگ-میش-سی سخت نیز تقریباً از میانه نیمه شرقی میدان عبور کرده است.

مدل‌سازی ساختارهای پیچیده و نامنظم زمین‌شناسی را در سه بعد ممکن می‌سازند که این عمل با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی و اطلاعات ساختمانی جهت ساخت یک مدل صحیح صورت می‌پذیرد (Kaufmann and Martin 2008). مدل‌سازی سه بعدی به طور اولیه جهت اصلاح ساختمانی، تایید شکل هندسی و تجسم نفت‌گیرهای پیچیده مورد استفاده قرار گرفت (Hennings et al. 2000). بهترین مدل‌های سه بعدی مدل‌هایی می‌باشند که از تلفیق تفاسیر لرزه‌ای، داده‌های چاه‌ها و مقاطع عرضی ساختمانی ایجاد می‌شوند (Mitra et al. 2006). جنبه‌های مختلف ژئوفیزیکی مخزن شامل توزیع رخساره، تخلخل‌ها و تراوایی‌ها توسط مدل‌های مجزا نمایش داده می‌شوند (Schlumberger 2006). یک مدل سه بعدی، بهترین مکانیزم برای تلفیق کردن همه داده‌های موجود را فراهم می‌کند (Valcarce et al. 2006). نرم افزار مدیریت سیستم مخزن RMS توانائی درک میداین دارای پیچیدگی‌های زمین‌شناسی را آسان‌تر می‌سازد. این

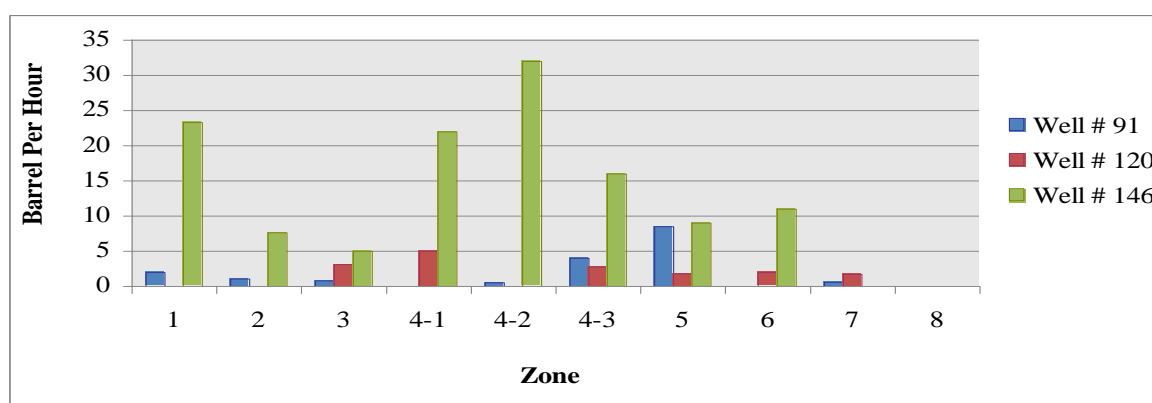


شکل ۸ - موقعیت چاه‌ها و گسل‌های تراستی افق داریان در میدان بی‌بی‌حکیمه.

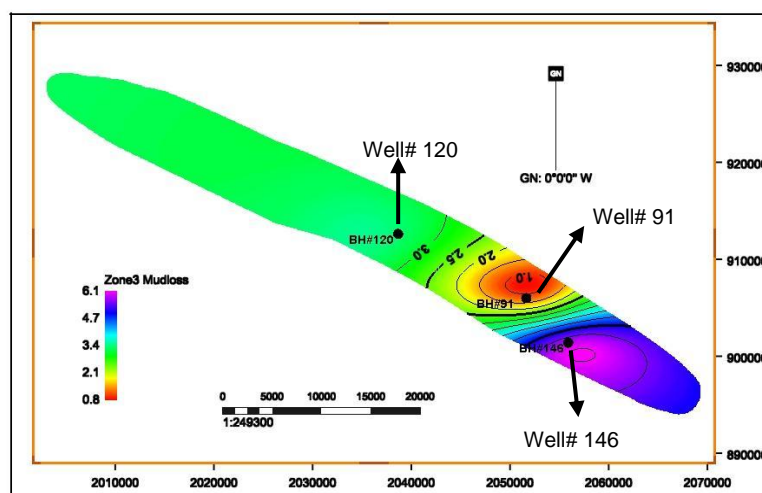
بررسی شکستگی‌ها

به طور غیر مستقیم از طریق داده‌های حفاری نظیر میزان هرزروی گل حفاری می‌توان به وجود شکستگی‌ها پی برد. داده‌های هرزروی گل حفاری می‌تواند در کنار سایر روش‌ها در مطالعه شکستگی‌ها بسیار سودمند باشد (Boerner et al. 2003). برای استفاده از این روش باید شرایط یکسانی در حین حفاری مخزن حاکم باشد، به طوری که وزن گل در طول مدت حفاری یک چاه به ویژه درون مخزن تقریباً ثابت بوده و تغییرات زیادی نداشته و در این حالت حداکثر هرزروی مجاز سیالات حفاری، یک بشکه در ساعت (1bbl/hr) است. از این رو میزان هرزروی گل برای هر یک از زون‌های مخزن خامی (شکل ۹) در چاه‌های موجود، محاسبه و نتایج آن به صورت نقشه‌های هم ارزش گل حفاری ارائه شده است.

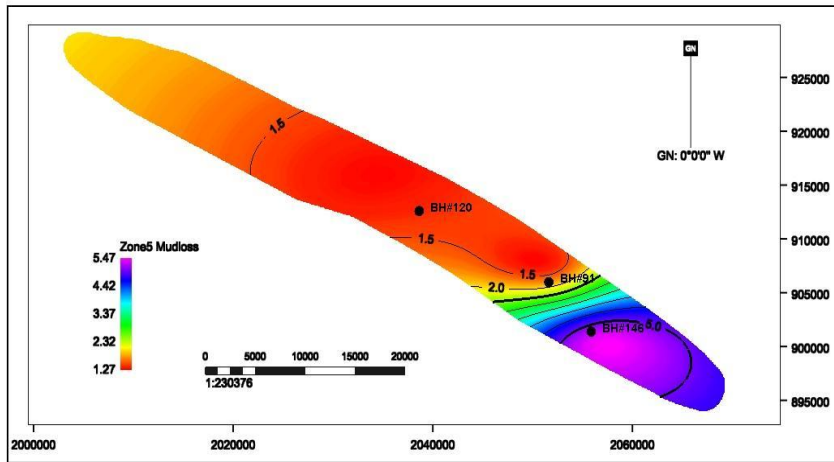
دو نمونه از آن‌ها در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. بر اساس داده‌ها زون ۴-۲ در چاه ۱۴۶ بالاترین میزان هرزروی را نشان می‌دهد که ناشی از خردشدگی شدید آن است. بنابراین همان طور که در نقشه‌های هم ارزش هرزروی گل حفاری مشخص است در نیمه شرقی میدان هرزروی شدیدتر است که این نتیجه با وجود گسل‌ها در این منطقه مطابقت دارد. معمولاً در نزدیکی گسل‌ها تراکم شکستگی‌ها بیشتر و از این رو طبیعی است که میزان هرزروی بیشتر باشد. در فرآیند مدل‌سازی مخزن نیز می‌توان به منظور مطالعه شکستگی‌ها اقدام به تهیه نقشه‌های هم‌شکستگی نمود. بدین منظور نقشه‌های هم‌شکستگی سرزون‌های مختلف مخزن خامی توسط نرم‌افزار تهیه شد که دو نمونه از آن‌ها در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده‌اند



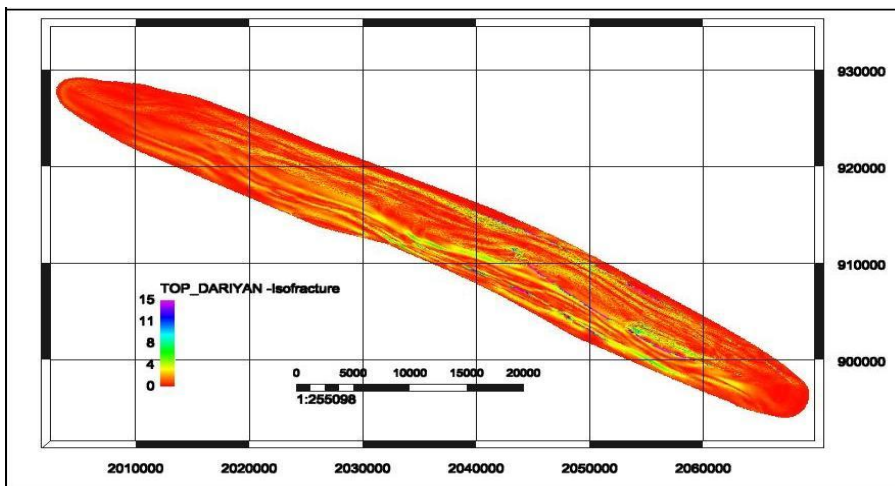
شکل ۹- میزان هرزروی محاسبه شده برای زون‌های مختلف مخزن خامی میدان بی بی حکیمه



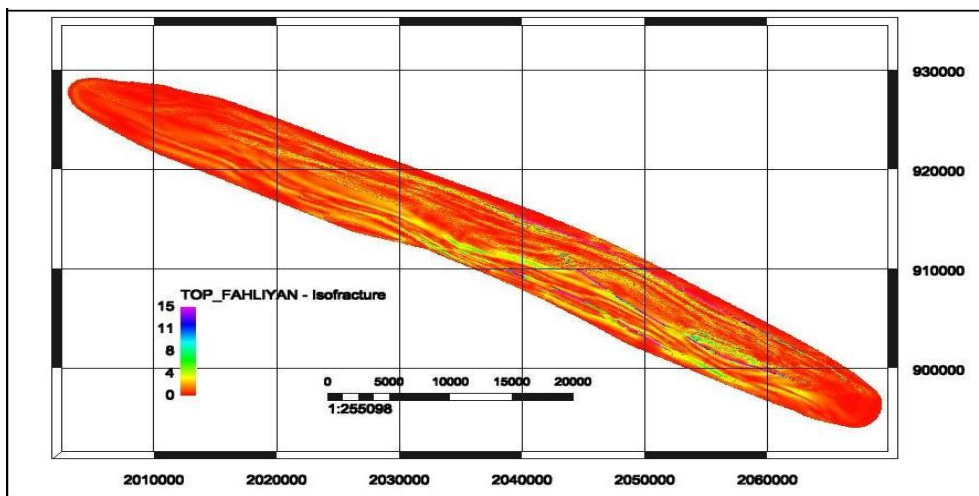
شکل ۱۰- نقشه هم هرزروی گل حفاری سرزون ۳ از سازند داریان.



شکل ۱۱- نقشه هم هرزروی گل حفاری سرزون ۵ از سازند فهلیان.



شکل ۱۲- نقشه هم شکستگی سر سازند داریان.



شکل ۱۳- نقشه هم شکستگی سر سازند فهلیان .

رسوبات، چین خوردگی، گسل خوردگی یا افزایش بیش از حد فشار سیالات درون سازند و یا حتی شکست حرارتی مواد آلی در اثر دیاژنز می باشد.

- به نظر می رسد که شکستگی های موجود با افزایش میزان تخلخل و تراوایی منجر به افزایش کیفیت مخزن شده است. گسل ها و شکستگی های موجود در این مخزن در نتیجه دگرشکلی های تکتونیک ایجاد شده اند. گسل- های تراستی نیز خود تولید شکستگی می کنند.

- کیفیت مخزنی سازندهای مورد مطالعه می تواند برای مخزن گازی خامی مناسب باشد زیرا هیدروکربورهای گازی می توانند با توجه به شرایط تخلخل و تراوایی موجود با سهولت بیشتری نسبت به نفت حرکت کنند.

تشکر و قدر دانی

بدینوسیله از همکاری و حمایت های دانشگاه شهید چمران و شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب به ویژه آقای دکتر امیری بختیار و آقایان مهندس حیدری، مهندس شیخزاده، مهندس شفیع و خانم مهندس نظری کمال تشکر و قدردانی را دارم.

منابع

- ۱ - خدادوستان، ب.، و ح. دزفولیان، ۱۳۷۸، گزارش تکمیلی زمین شناسی چاه بی بی حکیمه-۹۱، مدیریت اکتشاف.
- ۲ - فکوری، ق.ع.، ۱۳۸۳، گزارش تکمیلی زمین شناسی چاه بی بی حکیمه ۱۲۰ (ناحیه دزفول جنوبی). مدیریت اکتشاف. CR-1047.
- ۳ - ملاجعفری سهی، ع.، ۱۳۷۶، آزمایش های ساق مته و بهره برداری چاه بی بی حکیمه-۹۱ (مدیریت اکتشاف)
- ۴ - رضایی، م.، ۱۳۸۰، زمین شناسی نفت، انتشارات علوی، ۴۷۲ص.

همان گونه که در این شکل ها مشخص است بیشترین شکستگی ها در مجاورت گسل ها وجود دارند و تراکم شکستگی ها در یال جنوبی و در نیمه شرقی میدان بیشتر است.

علاوه بر تأثیر فرایندهای دیاژنتیک ذکر شده که برخی موجب بهبود کیفیت مخزنی سازندهای مورد مطالعه شده اند، حضور گسل های تراستی و گسل پی سنگی خارگ-میش نیز موجب گسترش درزه و شکستگی می- شود. مطالعات سنگ شناسی و فرآیندهای دیاژنتی آشکار نمود زون هایی که دارای تخلخل شکستگی و فرآیند دولومیتی شدن هستند، پتانسیل تولیدی دارند

نتیجه گیری

- بررسی پتروگرافی مخزن خامی بالایی میدان بی بی- حکیمه حاکی از تأثیر زیاد فرایندهای دیاژنتی از جمله تبلور مجدد، دولومیتی شدن، انحلال فشاری، تراکم، گلاکونیتی شدن، انیدریتی شدن و پیریتی شدن است.

- تراکم، سیمانی شدن، تبلور مجدد و انیدریتی شدن بیشترین اثر را بر کاهش تخلخل و تراوایی مخزن داشته اند.

- بیتومن در منافذ سنگ های مخزنی زون های ۱ (خصوصاً اعماق ۲۶۸۶-۲۶۷۲ متری)، ۳، ۴-۲، ۵، ۶ و ۷ مشاهده می شود که برخی زون ها نسبت به سایرین غنی تر هستند.

- تخلخل های بین بلوری، بین دانه ای و حفره ای، مهم ترین تخلخل های تشخیص داده شده در مخزن خامی میدان بی بی حکیمه هستند. دولومیتی شدن با تشکیل منافذ کوچک بین بلوری ثانویه در میکروفاسیس های گل آهکی کیفیت مخزنی برخی رخساره ها را اندکی بهبود بخشیده است.

- تخلخل ناشی از شکستگی دارای منسای متعددی از جمله تکتونیک، بویژه در بخش دولومیتی، تدفین

former natural gas storages in coal mines: *J. Comp. & Geosci.*, v. 34, p. 278–290.

16- Lucia, F.J., 1999, Carbonate reservoir characterization: Bureau of Economic Geology, University Station Box X, Austin, Texas 78713, USA, 226p.

17- Margolis, S., and R.W., Rex, 1971, Endolithic algae and micrite envelope formation in Bahamian oolites as revealed by Scanning Electron Microscopy, *GSA Bulletin*; v. 82; no. 4, p. 843-852

18- Mitra, S., D.A. J., Gonzalez, J.G., Hernandez, S.H., Garcia, and S., Banerjee, 2006, Structural geometry and evolution of the Ku, Zaap, and Maloob structure: *AAPG Bulletin*, v. 90, no.10, p. 1565-1584.

19- Morrow, D.W., 1982, Diagenesis 2; Dolomite: part 2. Dolomitization models and ancient dolostones: *Geosci. Can.*, v. 9, no.2, p.95-107.

20- Nelson, R.A., 2001, Geologic analysis of naturally fractured reservoirs: Gulf publishing, Houston, Texas, Contr. In petrol. Geology & Eng., 2nd ed., 332p.

21- Odin, G.S., and A., Matter, 1981, Deglaucoumarum origin: *J. Sediment*, v. 28, p. 611-641.

22- Ronchi, P., A., Ortenzi, O., Borromeo, M., Claps, and W.G., Zempolich, 2009, Diagenetic Processes and Their Impact from the Petrophysical Properties in Kashagan Carbonate Platform Reservoir (Carboniferous, Kazakhstan): AAPG Annual Convention and Exhibition, Denver, Colorado, June 7-10.

23- Schlumberger educational services, 2006, from 3d modeling to reservoir simulation: Houston, Texas, 123p.

24- Sibley, D.F., and J.M., Gregg, 1987, Classification of dolomite rock textures: *J. Sediment. Petrol.*, v. 57, p. 967-975.

25- Schmoker, J.W., and R.B., Halley, 1982, Carbonate Porosity Versus Depth: A Predictable Relation for South Florida: *AAPG Bull.*, v. 66, no. 12, p. 2561-2570.

26- Tucker, M., and V.P., Wright, 1991, Carbonate Sedimentology: Black-Well scientific Publications, Oxford, 482p.

27- Valcarce, G.Z., T., Zapata, A., Ansa, and G., Selva, 2006, Three-dimensional structural modeling and its application for development of

۵ - مطیعی، ه.، ۱۳۷۲، چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین‌شناسی کشور.

۶ - نظری، ک.، سلیمانی، ب.، و حق‌پرست، ق.، ۱۳۸۷، مدل 3D ساختاری مخزن آسماری میدان رامین با استفاده از نرم‌افزار RMS. دومین همایش تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور- تبریز.

7- Al-Dabbas, M., J., Al-Jassim. and S., Al-Jumaily, 2009, Depositional environments and porosity distribution. In: regressive limestone reservoirs of the Mishrif Formation Southern Iraq: *Arab J. Geosci.* v.3, p.67–78.

8- Boerner, S., D., Gray, D., Todorovic-Marinic, A.M., Zellou, and G., Schnerk, 2003, Employing neural networks to integrate seismic and other data for the prediction of fracture intensity, SPE Paper 84453: Presented at the SPE Annual Technical Conference and Exhibition.

9- El-Tabakh, M., A., Mory, C. B., Schreiber, and R., Yasin, 2003, Anhydrite cements after dolomitization of shallow marine Silurian carbonates of the Gascoyne Platform, Southern Carnarvon Basin: *Sedimentary Geology*, Western Australia, 164p.

10- Hally, R.B., and J.W., Schmoker, 1983, High porosity Cenozoic rocks of south Florida: progressive loss of porosity with depth: *AAPG Bull.*, v. 67, p.191-200.

11- Hennings, P.H., J.E., Olson, and L.B., Thompson, 2000, Combining outcrop data and three-dimensional structural models to characterize fractured reservoirs: An example from Wyoming: *AAPG Bulletin*, v. 84, no.6, p. 830–849.

12- Hower, J., 1961, Some factors concerning the nature and the origin of glauconite: *Am. Miner*, v. 46, p. 313-334.

13- Hughes, B., 1999, Petroleum geology, INTEQ, Training and development, USA, 251p.

14- Jones, G. D., and Y., Xiao, 2005, Dolomitization, anhydrite cementation, and porosity evolution in a reflux system: Insights from reactive transport models: *AAPG Bulletin*, v. 89, no. 5, p. 577–601.

15- Kaufmann, O., and T., Martin, 2008, 3D geological modeling from boreholes, cross-sections and geological maps, application over

the El Porto'n field, Argentina: AAPG Bulletin., v. 90, no.3, p. 307–319.

28- Zhao, W.Z., G.Y., Zhu, S.C., Zhang, X.F., Zhao, Y.S., Sun, H.J., Wang, H.J., Yang, and J.F., Han, 2009, Relationship between the later strong gas-charging and the improvement of the reservoir capacity in deep Ordovician carbonate reservoir in Tazhong area, Tarim Basin: Chinese Science Bull., v.54, no.17, p.3076-3089

29- Woody, R.E., J.M., Gregg, and L.F., Koederitz, 1996, Effect of texture on the petrophysical properties of dolomite-evidence from the Cambrian-Ordovician of southeastern Missouri: AAPG Bull., v. 80, no. 1, p.119-132.