



تخمین فشار منفذی به روش های ایتون و باورز با استفاده از داده های لرزه نگاری و چاه پیمایی

علی آدیم^۱، محمد علی ریاحی^۲ و مجید باقری^{۳*}

۱- کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

۲- استاد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

۳- استادیار، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۰۵؛ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۲۳

* نویسنده مسئول مکاتبات: majidbagheri@ut.ac.ir

چکیده

برای بهینه سازی تصمیمات حفاری و برنامه ریزی محل چاه ها در مناطق فشار بالا، تخمین فشار منفذی ضروری است همچنین تعیین این پارامتر قبل از حفاری و حین انجام آن برای انتخاب مناسب لوله جداری و وزن گل حفاری بسیار مهم است. هدف اصلی این مطالعه تخمین فشار منفذی به روش های ایتون و باورز و مقایسه دقت و کارایی آنهاست. در روش باورز، محققین برای ارتباط مستقیم بین سرعت و تنش مؤثر تلاش کردند. یکی از این مدل ها توسط باورز گسترش داده شد. داده های سرعت و چگالی موجود در محل چاه ها با استفاده از روش ترکیبی شبیه سازی گوسی پی در پی و کوکریجینگ هم مختصات، در فواصل بین چاه ها پراکنده شد. سپس با استفاده از رابطه بین سرعت و تنش مؤثر، مکعب تنش مؤثر و رابطه بین چگالی و فشار روباره، مکعب فشار روباره تولید می شود. در نتیجه فشار منفذی سازند با توجه به رابطه ترزاقی تخمین زده می شود. در روش ایتون فشار منفذی با استفاده از اطلاعات چاه نگاری و با اصلاحات مورد نظر در محل چاه ها تخمین زده می شود. در این روش، خط روند زمان گذر صوتی با استفاده از روش ژانگ و با توجه به لیتولوژی تقسیم بندی می شود. نتایج این مطالعه، نشان می دهد که فشار منفذی تخمین زده شده به وسیله روش اصلاح شده ایتون با ضریب نمایی ۰/۴ بیشترین شباهت را با داده های فشار اندازه گیری شده دارند.

واژگان کلیدی

فشار منفذی
روش ایتون
روش باورز
مقاومت صوتی
شبیه سازی گوسی پی در پی
کوکریجینگ هم مختصات

۱- مقدمه

هدف از بررسی تشکیل زون‌های با فشار غیرعادی، پیش‌بینی و تشخیص این زون‌ها قبل از حفاری آن‌ها است. نیاز به این دانش پس از زیان‌های مالی احساس شد که اغلب با حفاری سریع در نواحی با فشار غیرعادی ناشناخته، تجربه شده بود. توجه باید بر روی سیال منفذی و تنش‌های سنگ در توالی‌های رسوبی معطوف گردد (دوتا و همکاران، ۲۰۰۶)؛ زیرا آگاهی از الگوهای تنش جانبی و عمودی در یک حوضه رسوبی، در تخمین تاریخچه و تکامل آن حوضه سودمند است. در صنعت حفاری نفت داده‌های فشار برای برنامه‌ریزی حفاری و توسعه میادین در مناطقی که به لحاظ فشارهای غیرعادی زمین دارای خطر بالایی هستند، اهمیت فراوانی دارد (باورز، ۲۰۰۲؛ اسکال، ۲۰۰۹). اثر این برنامه‌ریزی‌ها نیز به نوبه خود در کاهش هزینه‌های حفاری، افزایش ایمنی چاه و حفظ محیط‌زیست حائز اهمیت است؛ بنابراین اطلاع از فشار منفذی برای طراحی، کنترل و ایمنی چاه‌ها، کاهش و حذف مشکلات عملیات حفاری و کاهش ریسک فنی و اقتصادی برنامه توسعه میدان‌ها ضروری است (بینگهام، ۱۹۶۵؛ بابو و سیرکار، ۲۰۰۵). با تخمین صحیح فشار منفذی سازند و انتخاب بهینه‌ی فشار گل حفاری، می‌توان از بروز مشکلات ریزش و شکستگی سازند در حین حفاری جلوگیری کرد (فووشی، ۲۰۱۱). در مناطقی که قبلاً حفاری صورت گرفته است، مجموعه اطلاعات موجود می‌تواند برای تعیین فشار در چاه‌های آتی مورد استفاده قرار گیرند. اطلاعات فشار منفذی می‌تواند برای زمین‌شناسان در ارزیابی صحیح روند شکستگی‌ها، گسل‌ها و دینامیک مهاجرت هیدروکربن و برای مهندسان در برنامه‌ریزی چاه، طراحی لوله‌گذاری و انتخاب بهینه‌ی وزن گل حفاری بسیار مفید باشند (تینگای و همکاران، ۲۰۰۹). با تعیین صحیح گرادیان فشار می‌توان حفاری چاه‌ها را طراحی و کنترل کرد و از بروز زیان‌های جانی و مالی فراوان مانند فوران چاه، تخریب چاه و لوله‌های جداری و مسائل زیست‌محیطی جلوگیری کرد. در نظر گرفتن وزن گل و گرادیان شکستگی، پارامترهای ضروری برای داشتن پایداری دیواره‌ی چاه، جلوگیری از هرز روی گل، تولید شن و ماسه و خسارات وارده به مخزن بشمار می‌رود (دن و همکاران، ۲۰۰۶). وجود اطلاعات فشاری در منطقه به برآورد کارایی یک تله‌ی نفتی و یافتن مسیرهای مهاجرت هیدروکربن در سازند، شناسایی تله‌های چینه‌ای و وضعیت پوش سنگ کمک شایانی می‌کند (چیلینگر و همکاران، ۲۰۰۲). این اطلاعات شامل اطلاعات لرزه‌ای، اطلاعات نگاره‌های چاه پیمایی و اندازه‌گیری‌های مستقیم فشار هستند. داده‌هایی مانند پرتوگاما، مقاومت ویژه، تخلخل نوترون و چگالی سازند می‌توانند برای ارزیابی فشار استفاده شوند. ویژگی‌های گل حفاری مانند چگالی، قابلیت هدایت حرارتی گل، چگالی مهر و موم و فاکتور شیل برای تخمین و ارزیابی فشار سازند بسیار ارزشمند است (زوباک، ۲۰۰۷). فشار منفذی غیر نرمال توسط مکانیسم‌های مختلفی ایجاد می‌شوند؛ که از آن جمله می‌توان به

فرآیندهای رسوب‌گذاری و تراکم، فرآیندهای بیوشیمیایی و فعالیت‌های تکتونیکی اشاره کرد. روش‌های تخمین فشار منفذی هر یک به نوبه‌ی خود دارای مزایا و معایبی هستند. روش‌های اندازه‌گیری مستقیم فشار منفذی و استفاده از نگاره‌های چاه مستلزم حفر چاه بوده و فقط در ناحیه‌ی اطراف چاه دقت بالایی دارند. استفاده از داده‌های لرزه‌ای تنها روشی است که می‌تواند فشار منفذی را در مرحله‌ی قبل از حفاری پیش‌بینی کند (اسمرسوی و همکاران، ۲۰۱۱). در واقع استفاده از روش‌های لرزه‌ای برای تخمین فشار منفذی بر مبنای تأثیرپذیری سرعت امواج از تغییرات فشار است. در شرایط نرمال با افزایش عمق، تخلخل رسوبات کاهش یافته و در نتیجه سرعت امواج لرزه‌ای افزایش می‌یابد؛ ولی در شرایط فشار غیرعادی، به دلیل افزایش فشار سیالات منفذی، روند کاهش تخلخل با عمق کم شده یا متوقف می‌شود و در نتیجه سرعت امواج لرزه‌ای کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر افزایش سرعت امواج لرزه‌ای به معنای افزایش تنش مؤثر سنگ است. هر چند در زون‌های با فشار منفذی بالا، تحت فشار بودن سیال، باعث افزایش فشار ناشی از سیال بر دیواره‌های سنگ شده و لذا تنش مذکور از تنش ذاتی اسکلت سنگ کسر شده و در نتیجه تنش مؤثر کاهش مؤثر کاهش می‌یابد و این عامل منجر به کاهش سرعت امواج لرزه‌ای می‌شود. از آنجا که علاوه بر فشار، عوامل دیگری مانند لیتولوژی نیز بر سرعت امواج لرزه‌ای تأثیر می‌گذارند؛ لذا استفاده از اطلاعات زمین‌شناسی و نگاره‌های چاه پیمایی موجود، می‌تواند تا حد زیادی از بروز خطا جلوگیری کند (ترزاقی، ۱۹۴۳). در این تحقیق سعی خواهد شد با اصلاح روابط ایتون و باورز مقادیر فشار منفذی در سازندهای کربناته تخمین زده شوند.

۲- مفاهیم بنیادی

فشار منفذی به فشاری اطلاق می‌شود که روی شاره‌های موجود در فضای خالی سازند اعمال می‌شود. فشار ناشی از وزن مؤثر ستون شاره در هر عمق را فشار هیدرواستاتیک یا فشار عادی می‌گویند. فشار عمودی در هر نقطه در زمین با عنوان فشار روباره بیان می‌شود. فشار روباره در هر عمقی تابعی از وزن سنگ و مایعات موجود در فضاهای خالی بالای آن نقطه است. فشار مؤثر آن بخش از فشار روباره است که روی ماتریس سنگ اعمال می‌شود؛ به عبارت دیگر فشار مؤثر، فشاری است که باعث تراکم می‌شود و بنابر اصل ترزاقی از تفاضل فشار روباره و فشار منفذی به دست می‌آید (ترزاقی، ۱۹۴۳).

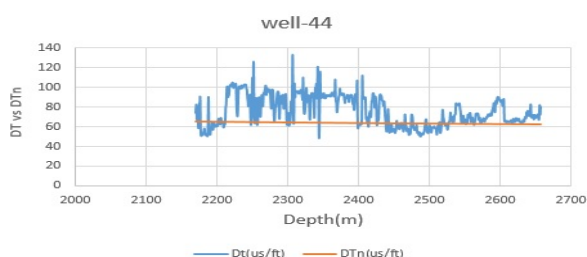
۳- مراحل مطالعه

مراحل اصلی این مطالعه به ترتیب شامل تخمین فشار منفذی به روش ایتون در محل چاه‌ها، تولید مکعب سرعت و چگالی با استفاده از نگاره‌های صوتی و چگالی با روش ترکیبی شبیه‌سازی گوسی

فشار هیدرواستاتیک و با توجه به آنچه برای Δt_n محاسبه شد، فشار منفذی را در محل چاه‌ها به دست می‌آید.

جدول ۱: مقادیر پارامترهای C در چاه‌های مختلف.

شماره چاه	C
۶	۰/۰۰۵
۸	۰/۰۰۶
۱۴	۰/۰۰۹
۴۴	۰/۰۰۹
۵۵	۰/۰۰۴
۶	۱/۵



شکل ۱: نمودار صوتی بر روی خط روند طبیعی (قرمز) و نمودار صوتی (آبی) در محل چاه شماره ۴۴.

۳-۲- تولید مکعب سرعت و چگالی با استفاده از نگارهای صوتی و چگالی

برای مدل‌سازی سرعت صوتی و چگالی در مخزن به کمک روش کوکریجینگ، باید پارامتر دیگری علاوه بر مقدار سرعت صوتی و چگالی انتخاب شده و در محاسبات وارد شود. این پارامتر باید به صورت جانبی پیوستگی خوبی داشته باشد. پارامتر ثانویه استفاده شده در این روش، امپدانس صوتی حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای است (شکل ۲). نحوه انتخاب پارامتر ثانویه بدین صورت است که میزان همبستگی بین نگار صوتی و امپدانس صوتی حاصل از وارون‌سازی و همچنین بین نگار چگالی و امپدانس صوتی محاسبه شود. هر چه میزان همبستگی بین دو متغیر بیشتر باشد، تأثیر پارامتر ثانویه (امپدانس صوتی حاصل از وارون‌سازی لرزه‌ای) در مدل‌سازی بیشتر می‌شود و مدل حاصل از کوکریجینگ صحیح‌تر و خطای تخمین کمتر خواهد بود. شکل ۳ نمودار متقابل بین داده‌های نگار صوتی و امپدانس صوتی را نشان می‌دهد. شکل ۳ نمودار متقابل بین داده‌های چگالی و امپدانس صوتی را نشان می‌دهد. حال به کمک روش شبیه‌سازی و با استفاده از کوکریجینگ هم مختصات، نگار صوتی و چگالی در کل مخزن مدل‌سازی می‌شوند. مدل به دست آمده با استفاده از نگار صوتی، عکس سرعت را نشان می‌دهد. لذا با استفاده از روابط موجود مدل سرعت بر حسب m/s به دست می‌آید. شکل‌های ۵ و ۶ مدل سرعت و چگالی مخزن را نشان می‌دهند.

پی‌درپی و کوکریجینگ هم مکان، تولید مکعب فشار روباره و تنش مؤثر و تولید مکعب فشار منفذی با استفاده از رابطه ترزاقی است.

۳-۱- تخمین فشار منفذی به روش ایتون در محل چاه‌ها

محاسبه مقدار کمی فشار منفذی به روش ایتون (۱۹۷۲) پرکاربردترین رابطه در محاسبه فشار منفذی است.

$$P_p = OB - (OB - P_n) \left(\frac{\Delta t_n}{\Delta t} \right)^x \quad (1)$$

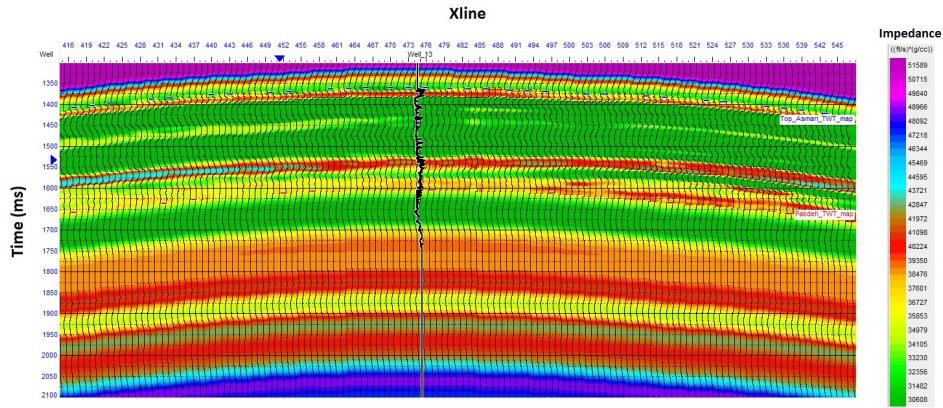
که در این رابطه OB فشار روباره، P_n فشار منفذی بر روی خط روند طبیعی، Δt_n نمودار صوتی بر روی خط روند طبیعی، Δt نگار صوتی و x ضریب نمایی رابطه ایتون است. برای تعیین مقدار فشار منفذی به فشار روباره، فشار هیدرواستاتیک و سرعت به دست آمده از نگار چاه و سرعت بر خط روند طبیعی نمودار نیاز است. فشار روباره در محل چاه‌ها با توجه به نگار چگالی به دست می‌آید. آنگاه برای محاسبه فشار هیدرواستاتیک از گرادیان فشار هیدرواستاتیک معرفی شده برای منطقه خاورمیانه و خصوصاً ایران استفاده شد (آزادپور و همکاران، ۲۰۱۵). بر این اساس گرادیان فشار هیدرواستاتیک برابر 0.464 (psi/ft) فرض می‌شود. مقدار Δt را می‌توان از نگار صوتی موجود در چاه‌ها به دست آورد. برای به دست آوردن Δt_n که نمودار صوتی بر روی خط روند طبیعی است؛ از رابطه ژانگ (۲) استفاده می‌شود:

$$\Delta t_n = \Delta t_m + (\Delta t_{ml} - \Delta t_m) e^{-cz} \quad (2)$$

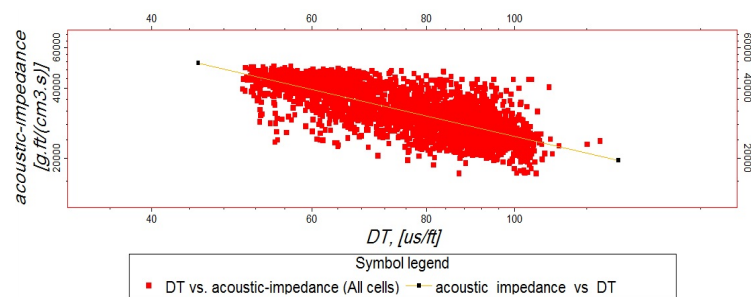
که در این رابطه Δt_m کندی در سازند، Δt_{ml} کندی در خط گلی، c ضریب نمایی رابطه ژانگ و z عمق است. مقدار Δt_m با توجه به لیتولوژی ناحیه و روابط تجربی موجود به طور میانگین برابر $56 \mu s/ft$ فرض می‌شود. سپس مقدار Δt_{ml} با توجه به داده‌های سرعت برانبارش و لیتولوژی منطقه معادل $169.38 \mu s/ft$ در نظر گرفته می‌شود. برای محاسبه مقدار c ، مقدار Δt_n را در عمقی که فشار نرمال باشد (در عمقی که نگار CGR کمتر از ۲۰ و عدم افزایش در نگار صوتی باشد؛ در غیر این صورت نشانگر مناطق آلوده شیلی و فشار بالا است)، از روی نگار صوتی چاه (Δt) قرائت می‌شود. آنگاه با استفاده از رابطه (۲) در عمق مورد نظر مقدار پارامتر c به دست می‌آید. جدول ۱ مقدار پارامتر c را در چاه‌های مختلف نمایش می‌دهد. در نتیجه روند طبیعی مقدار نگار صوتی در اعماق مختلف چاه‌ها به دست می‌آید. هرگونه انحراف فاحش از خط روند نمودار طبیعی، نشانگر نقاطی است که در آن‌ها فشاری بیشتر از فشار عادی وجود دارد (شکل ۱).

با توجه به داده‌های آزمایش چاه در نقاطی از برخی چاه‌ها، ضریب نمایی رابطه ایتون در چاه‌ها را به دست می‌آید. این ضریب برای چاه‌های موجود در منطقه تقریباً 0.4 به دست آمد. حال به کمک رابطه (۱) با توجه به مقادیر به دست آمده برای فشار روباره و

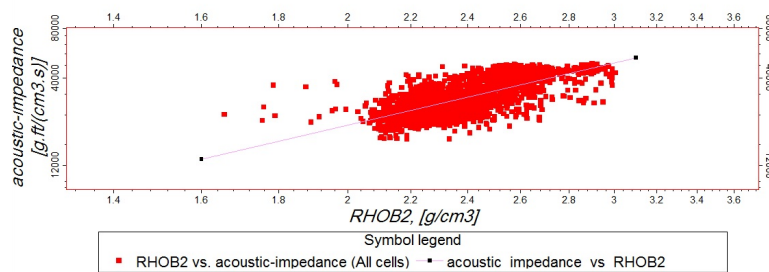
آدیم و همکاران، تخمین فشار منفذی به روش‌های ایتون و باورز با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری و چاه پیمایی، صفحات ۲۶۷-۲۷۵.



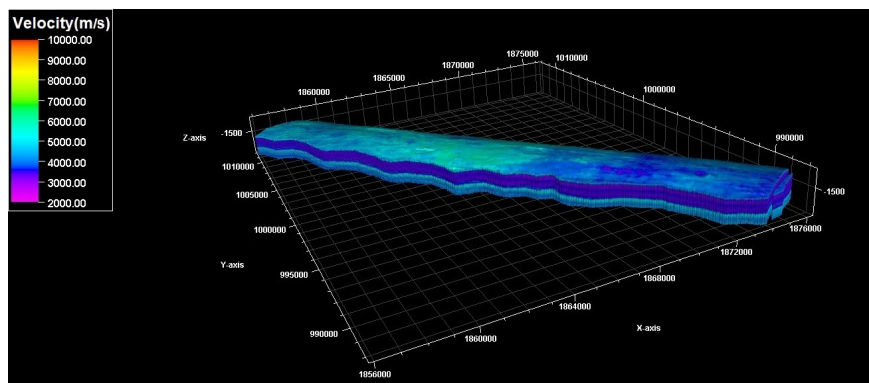
شکل ۲: نمایش مقطع حاصل از وارون سازی لرزه‌ای. در این مقیاس نقشه رنگ امپدانس صوتی $(\frac{g}{cm^3}) * (\frac{ft}{s})$ است.



شکل ۳: نمودار تقاطعی داده‌های امپدانس صوتی حاصل از وارون سازی و داده‌های نگار صوتی افزایش مقیاس داده شده در همه زون‌های مخزنی. در این حالت ضریب همبستگی ۷۵ درصد به دست آمد.

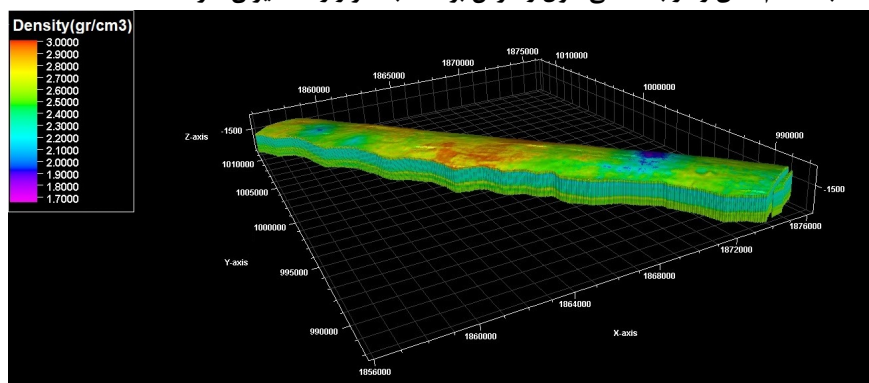


شکل ۴: نمودار تقاطعی داده‌های امپدانس صوتی حاصل از وارون سازی و داده‌های نگار چگالی افزایش مقیاس داده شده در همه زون‌های مخزنی. در این حالت ضریب همبستگی ۷۱ درصد به دست آمد.



شکل ۵: نمایش سه بعدی از مدل سرعت برای کل مخزن با استفاده از روش شبیه سازی به کمک کوکریجینگ هم مختصات. در این شکل سه بعدی،

بعد قائم عمق و دو بعد افقی طول و عرض بر حسب متر و رنگ میزان سرعت (m/s) است.



شکل ۶: نمایی سه‌بعدی از مدل چگالی برای کل مخزن با استفاده از روش شبیه‌سازی به کمک کوکریجینگ هم مختصات. در این شکل سه‌بعدی، بعد قائم عمق و دو بعد افقی طول و عرض بر حسب متر و رنگ میزان چگالی (gr/cm³) است.

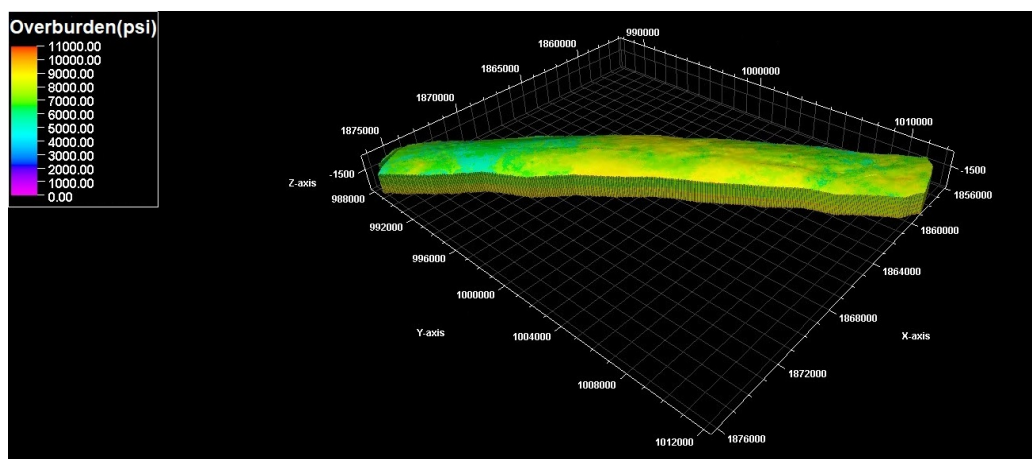
استفاده از نگار صوتی موجود به دست آورد. برای برازش رابطه باورز، مقدار V_0 در منطقه مورد مطالعه با توجه به داده‌های سرعت برانبارش ۱۸۰۰ متر بر ثانیه در نظر گرفته شد. لذا با رسم متقابل سرعت بر اساس تنش مؤثر، رابطه توانی باورز به این نقاط برازش داده شد و ضرایب رابطه باورز در محدوده مورد مطالعه به استنتاج شد. رابطه باورز به صورت زیر در محل مورد مطالعه به صورت زیر است:

$$V = 1800 + 3.7448 \sigma_e^{0.8162} \quad (3)$$

لذا با توجه به رابطه باورز و با اعمال آن به مکعب سرعت ایجاد شده در بخش قبل، مکعب تنش مؤثر به دست خواهد آمد (شکل ۸).

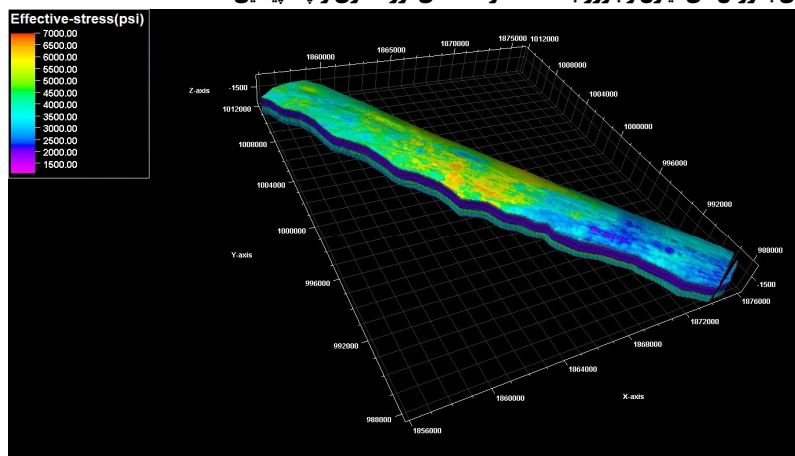
۳-۳- تولید مکعب تنش مؤثر و فشار روباره

پس از حصول اطمینان از صحت مدل ساخته شده برای سرعت و چگالی، با توجه به روابط موجود باید اقدام به ایجاد مکعب فشار روباره و تنش مؤثر در محدوده مخزنی نمود. لذا از مکعب چگالی جهت ایجاد مکعب فشار روباره استفاده می‌شود. مکعب فشار روباره با توجه به مکعب چگالی و ارتفاع سلول‌ها به دست می‌آید (شکل ۷). در این بخش به منظور محاسبه فشار مؤثر در محدوده مخزن با استفاده از رابطه باورز (۱۹۹۲)، ابتدا باید ضرایب رابطه را به دست آورد. بدین ترتیب با توجه به اطلاعات فشار منفذی (RFT) در نقاطی از تعداد محدودی چاه‌ها و همچنین مکعب فشار روباره ایجاد شده در بخش قبل می‌توان تنش مؤثر را در نقاطی از این چاه‌ها محاسبه نمود. همچنین مقادیر سرعت صوتی در محل چاه‌ها را با



شکل ۷: مکعب فشار روباره به دست آمده از مکعب چگالی تولید شده محدوده مخزنی در مرحله قبلی. در این شکل سه‌بعدی، بعد قائم عمق و دو بعد افقی طول و عرض بر حسب متر و رنگ میزان فشار روباره (psi) است.

آدیم و همکاران، تخمین فشار منفذی به روش‌های ایتون و باورز با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری و چاه پیمایی، صفحات ۲۶۷-۲۷۵.

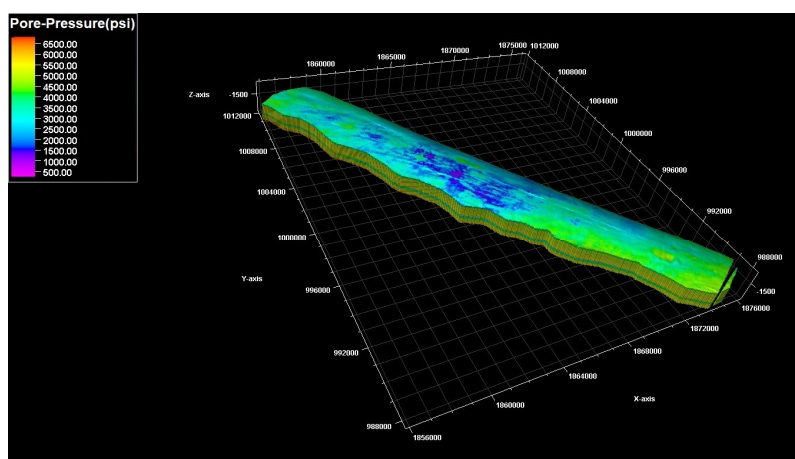


شکل ۸: مکعب تنش مؤثر حاصل از اعمال رابطه باورز بر روی مکعب سرعت تولید شده در بخش قبلی. در این شکل سه‌بعدی، بعد قائم عمق و دو بعد افقی طول و عرض بر حسب متر و رنگ میزان تنش مؤثر (psi) است.

۳-۴- تولید مکعب فشار منفذی

فشار منفذی، در بخش مرکزی این مکعب مقدار فشار منفذی کاهش پیدا کرده، این قضیه می‌تواند ناشی از تغییرات سنگ‌شناسی و افزایش سرعت سنگ باشد.

پس از تولید مکعب فشار روباره و تنش مؤثر مخزن، در تمام نقاط مخزن می‌توان با استفاده از رابطه ترزاقی (تفاضل فشار روباره و تنش مؤثر) مقدار فشار منفذی را تخمین زد (شکل ۹). با توجه به مکعب

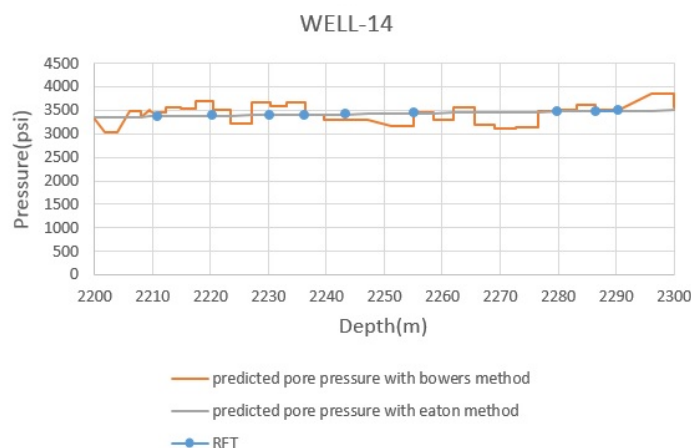


شکل ۹: مکعب فشار منفذی تولید شده. در این شکل سه‌بعدی، بعد قائم عمق و دو بعد افقی طول و عرض بر حسب متر و رنگ میزان فشار منفذی (psi) است.

۴- بحث

می‌شود. شکل ۱۰، نتایج حاصل از مقایسه روش‌ها با داده‌های آزمایش چاه را نشان می‌دهد؛ که بیانگر قابل اعتماد بودن نتایج دو روش است. همان‌طور که مشاهده می‌شود؛ نتایج حاصل از روش ایتون دارای همبستگی بالاتری در تخمین فشار منفذی است.

برای اطمینان از نتایج به دست آمده، باید مقادیر فشار منفذی تخمین زده شده به روش ایتون در چاه و مکعب فشار منفذی تولید شده به روش باورز، از نظر صحت ارزیابی شوند. برای این منظور از داده‌های آزمایش فشار چاه (RFT) در محل چاه شماره ۱۴ استفاده



شکل ۱۰: مقایسه مقادیر فشار منفذی تخمین زده شده به روش باورز (خط قرمز)، فشار منفذی تخمین زده شده به روش ایتون (خط طوسی) و مقادیر داده‌های اندازه‌گیری شده درون چاه (نقاط آبی).

Prediction and Modeling Using Well-Logging Data in One of Gas Fields in South of Iran, Journal of Petroleum Science and Engineering, 128, 15-23.

Babu, S. and Sircar, A., 2005, A comparative study of predicted and actual pore pressure Tripura, India, Journal of Petroleum Technology and Alternative Fuels, 2 (9), 150-160.

Bingham, M.G., 1965, A new approach to interpreting rock drillability, The petroleum publishing Co.

Bowers, G.L., 1995, Pore pressure estimation from velocity data: Accounting for over pressure mechanisms besides under compaction. IADC/SPE Drilling conference proceedings, pp. 515-530.

Bowers, G.L., 2002, Detecting high overpressure. The leading edge, pp. 174-177.

Chilingar, G.V., Serebryakov, V.A. and Robertson J.O.J.R., 2002, Origin and prediction of abnormal formation pressure, Elsevier Science, 391 P.

Den, B., Lennert, L.L., Troyer, B. and Moore, J., 2006, From Pore Pressure Prediction to Reservoir Characterization: A Combined Geomechanics-Seismic Inversion Workflow Using Trend-Kriging Techniques in a Deepwater Basin, Schlumberger, Houston. USA.

Dutta, N.C. and Khazanehdari, J., 2006, Estimation of formation fluid pressure using high-resolution velocity from inversion of seismic data and a rock physics model based on compaction and burial diagenesis of shales, The Leading Edge, pp. 102-112.

Eaton, B.A., 1972, Graphical method predicts geo pressure world, World Oil, 182, 51-56.

Esmersoy, C., Kania, A., Ramirez, A., Hannan, A. and Lu, L., 2011, Integrating of seismic data and while-drilling logs to reduce drilling uncertainty, Twelfth International Congress of the Brazilian

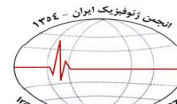
۵- نتیجه‌گیری

نتایج اولیه نشان داد که امکان استفاده از روش ژانگ در تخمین خط روند نمودار سرعت وجود دارد و جواب نهایی فشار منفذی تخمین زده شده با داده‌های آزمایش فشار چاه شباهت بالایی دارد. با توجه به ضریب همبستگی بالا بین داده‌های مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی و داده‌های نگار چگالی و صوتی در زون‌های مخزنی و با توجه به پیوستگی آن‌ها در فضا، از این داده‌ها می‌توان به عنوان پارامتر دوم در روش‌های زمین‌آماري و شبیه‌سازی استفاده نمود. تخمین فشار منفذی به روش ایتون با استفاده از داده‌های چاه و مدل‌سازی فشار منفذی به روش باورز با استفاده از اطلاعات چاه‌نگاری و لرزه‌ای در مخازن کربناته، نتایج قابل‌قبولی را نشان می‌دهند؛ بنابراین با ایجاد اصلاحاتی در روابط تجربی، می‌توان فشار منفذی را در مخازن کربناته به صورت قابل‌قبول تخمین زد. همچنین بررسی و تحلیل نتایج دو روش مختلف استفاده شده در این مطالعه نشان می‌دهد که روش ایتون دارای همبستگی بیشتری با داده‌های آزمایش فشار چاه دارد. پس هنگامی که داده‌های آزمایش فشار چاه کم باشد و یا وجود نداشته باشند؛ می‌توان با روش ایتون فشار منفذی در محل چاه‌ها را تخمین زد و از آن برای رابطه باورز استفاده نمود. با توجه به این که روش باورز از روابط بین سرعت لرزه‌ای و تنش مؤثر استفاده می‌کند، می‌توان از آن برای تخمین فشار منفذی بزرگ مقیاس و برای پیش‌بینی محل حفر چاه‌های آینده و اطلاعات فشاری در فواصل بین چاه‌ها استفاده نمود؛ که بزرگ مقیاس بودن تخمین در آن باعث کمتر شدن دقت آن نسبت به روش ایتون می‌شود. در این تحقیق فشار منفذی در فواصل بین چاه‌ها با روش باورز تخمین زده شد؛ که دقت کمتری به نسبت روش ایتون دارد.

۶- منابع

Azadpour, M., Shadmanan, N., Kadkhodaie-Ilkhchi, A. and Sedghpour, M.R., 2015, Pore Pressure

- Terzaghi, K., 1943, Theoretical soil mechanics, John Wiley and Sons, Inc, 510 P.
- Tingay, M.R.P., Hillis, R.R., Swarbrick, R.E., Morley, C.K. and Damit, A.R., 2009, Origin of overpressure and pore-pressure prediction in the Baram province, Brunei. AAPG Bulletin, 93 (1), 51-74.
- Zoback, M.D, 2007, Reservoir Geomechanics, Cambridge University Press, 504 P.
- Geophysical Society, pp, 1-4 French, L. S., G. E. Richardson, E. G. Kazanis, T. M. Montgomery, C.
- Fooshee, S.J, 2011, The development of pore pressure and fracture gradient prediction model for the Ewing Banks 910 area in the Gulf of Mexico, Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College, Department of Petroleum Engineering.
- Skalle, P., 2009, Pressure Control During Oil Well Drilling, Book Boon.



Pore Pressure Prediction using Seismic and Well Log Data by Employing Eaton's and Bowers' Methods

Ali Adim¹, Mohammad Ali Riahi² and Majid Bagheri^{3*}

1- M.Sc., Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

2- Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 27 October 2017; Accepted: 13 January 2018

* Corresponding author: majidbagheri@ut.ac.ir

Keywords

Pore Pressure
Eaton's Method
Bowers' Method
Acoustic Impedance
Sequential Gaussian Simulation
Collocated Cokriging

Extended Abstract

Summary

Pore pressure is defined as the pressure of the fluid inside the pore space of the formation that is also known as the formation pressure. When the pore pressure is higher than hydrostatic pressure, it is referred to as overpressure. Knowledge of this pressure is essential for cost-effective drilling, safe well planning, and efficient reservoir modeling. To optimize drilling decisions and well planning in overpressure areas, it is essential to predict pore pressure in the first step. Before drilling, reliable prediction of pore pressure is critically

important at different stages of petroleum engineering investigations. Pore pressure prediction has an important application in proper selection of casing and reliable mud weight. Currently pore pressure prediction in carbonate reservoir is still far from satisfaction, and there is no specific method widely accepted. The existing methods and theories in the pore pressure prediction community are almost all based on the shale properties. Although these methods are not the proper way to predict pore pressure in carbonates and may probably lead to dangerous errors, they are still used in the field practice of carbonate reservoirs.

Introduction

The generation of abnormal pore pressure in carbonate formation is different from a reservoir to another reservoir because of different depositional and geological conditions. Although most studies currently point out that under-compaction mechanism is the dominant mechanism of abnormal pore pressure generation, the role of this mechanism in carbonate formations needs further study and discussion. Over-pressure can be identified by direct and indirect methods. Direct methods such as measured pressure data obtained from drill stem test (DST), repeat formation tester (RFT), modular dynamic test (MDT) and mud weight, and they are reliable evidences that reflect the over-pressure phenomenon in permeable reservoirs.

Methodology and Approaches

Pressure coefficient, which is the ratio of the actual fluid pressure versus corresponding normal hydrostatic pressure at the same depth, has also been proposed and applied to investigate over-pressure. On the contrary, indirect methods, such as well logging, seismic and rock mechanic data, can identify abnormal pressure zones based on various response anomalies compared with the normal pressure system. The main objective of this study is to determine pore pressure using Eaton's and Bowers' methods and to compare their accuracy and usage. To obtain this goal in Bowers' method, researchers try to directly link the formation velocity to the effective stress. One of these models was developed by Bowers (1995).

Results and Conclusions

Sonic and density data in the distance between wells have been predicted using a combination of sequential Gaussian simulation and collocated cokriging techniques. Then, effective stress cube and overburden pressure cube have been predicted using velocity to effective stress transform and density to overburden pressure relation. Eventually, formation pore pressure has been predicted using Terzaghi's method. Another way to estimate pore pressure is used from well logging data by applying Eaton's method (1975) with some modifications. In this way, sonic transient time trend line is separated by lithology changes determined from Zhang's method. Our results show that the best correlation with the measured pressure data is obtained by the modified Eaton's method with the Eaton's exponent of about 0.4.