تخمین فشار منفذی با استفاده از نگاره‌های چاه و داده‌های لرزه‌ای

ابوالفضل پورحسن هریس[۱]، رضا فلاحت[۲]،
[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، abolfazl.pourhassan1996@gmail.com
[۲] دانشیار، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، rezafalahat2001@gmail.com

چکیده

برای جلوگیری از مخاطرات ناشی از حفاری در مناطق با فشارمنفذی بالا و برنامه‌ریزی چاه‌ها، تخمین فشارمنفذی امری ضروری می‌باشد. هدف این مطالعه، تخمین فشار منفذی با استفاده از اطلاعات چاه‌نگاری و داده‌های لرزه‌ای و مقایسه کارایی آن‌ها می‌باشد. در روش چاه‌نگاری، فشارمنفذی طبق روابط ارائه شده توسط ایتون (۱۹۷۵) از با به کارگیری نگاره‌های مقاومت ویژه، سونیک و سرعت تخمین زده شد. در ادامه، با به کارگیری روش باورز (۱۹۹۵)، فشار روباره با استفاده از اطلاعات نگاره چگالی محاسبه شد و سپس با استفاده از رابطه بین سرعت و تنش مؤثر، تنش مؤثر تخمین و درنهایت فشارمنفذی با استفاده از رابطه ترزاقی تخمین زده شد. در مرحله بعد، با استفاده از داده‌های لرزه‌نگاری سه بعدی و با به کارگیری دو روش ایتون و باورز، فشار منفذی به صورت مکعب سه بعدی تخمین زده شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد روش سرعت ایتون با خطای ۹.۷ درصد بیشترین انطباق را با داده‌های فشار اندازه‌گیری شده در محل چاه دارد و مناسب‌ترین گستردگی فضایی فشار را در تمامی اعماق به دست می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: فشار منفذی، فشار بالا، چاه‌نگاری، داده‌های لرزه‌ای، روش ایتون، روش باورز

Pore pressure estimation using well log and seismic data

Abolfazl Pourhassan Heris[1]
Reza Falahat[2]
[1]*Master Student, Sahand university of technology*
[2] *Associate Professor, Sahand university of technology*

Abstract

To avoid the risks of drilling in areas with high pore pressure and planning wells, it is necessary to estimate the pore pressure. The purpose of this study is to estimate the pore pressure using well log and seismic data and compare their performance. In the well logging method, the pore pressure is estimated from the values measured by the resistivity, sonic and velocity logs according to the relationships presented by Eaton (1975). Then, using Bowers method (1995), the overburden pressure was calculated using density log, and then using the relationship between velocity and effective stress, the effective stress was estimated. Subsequently, using the Terzaghi relationship, the pore pressure was estimated. In the next step, using 3D seismic data and employing Eton and Bowers methods, the pore pressure was estimated as a 3D cube. The results of this study show that the Eaton velocity method with an error of 9.7% is most consistent with the measured data at the well site and provides the most appropriate spatial pressure distribution at all depths.

Keywords: Pore pressure, High pressure, Well logging, Seismic data, Eaton, Bowers

مقدمه

فشار منفذی به فشار ناشی از سیال درون فضای متخلخل سنگ اطلاق می‌شود. هنگامی که میزان فشار منفذی از فشار هیدرواستاتیک بسیار زیاد باشد فشارهای زیاد در سازند به وجود می‌آید [۱]. میزان فشار منفذی تحت‌تأثیر عوامل مختلفی قرار دارد که می‌توان به تخلخل سازند، نوع سیال داخل شبکه متخلخل سازند، تراوایی سازند و تراکم لایه‌های رسوبی سازند اشاره نمود. با محاسبه دقیق و پیش‌بینی درست از فشار منفذی قبل از انجام عملیات حفاری می‌توان از بروز حوادث و مخاطرات جانی و مالی از جمله فوران چاه، گیرکردن لوله حفاری، بلایای طبیعی و زیست‌محیطی و از دست‌دادن چاه جلوگیری کرد [۲]. اولین مطالعات در زمینه پیش‌بینی فشار منفذی توسط هاتمن و جانسون در سال

۱۹۶۵ انجام شد که این مطالعات بر اساس خصوصیات اندازه‌گیری شده شیل در نمودار چاه‌پیمایی سرعت سونیک صورت گرفت و فشار منفذی بر اساس انحراف مقادیر اندازه‌گیری شده از خط روند نرمال سرعت سونیک محاسبه شد. در سال ۱۹۷۲، ایتون از نسبت بین پارامتر چاه‌پیمایی اندازه‌گیری شده و مقدار نرمال آن پارامتر، تنش مؤثر را تعیین کرد و بر اساس اصل ترزاقی، از اختلاف بین فشار روباره و تنش مؤثر، فشار منفذی را تخمین زد. بررسی‌های باورز در سال ۱۹۹۵ علاوه بر عدم تحکیم کافی، انبساط سیال را نیز به‌عنوان عامل ایجاد فشار بالا در نظر گرفت [۳]. این تحقیق شامل پیش‌بینی و مدل‌سازی فشار منفذی در یکی از میدان‌های گازی جنوب ایران می‌باشد. در این مطالعه با استفاده از اطلاعات حاصل از چاه‌نگاری، لرزه‌نگاری و فشارهای اندازه‌گیری شده، فشار منفذی توسط روابط ارائه شده توسط ایتون و باورز، تخمین و با یکدیگر مقایسه شده و بهترین روش برای این میدان گازی پیشنهاد شده است.

۲ روش تحقیق

۱-۲- روش‌های مبتنی بر چاه‌نگاری

ایتون در سال ۱۹۷۵ مجموعه روابطی را برای محاسبه فشار منفذی توسط مقادیر اندازه‌گیری شده توسط نگاره‌ها نسبت به مقادیر نرمال آن‌ها ارائه داد.

تخمین فشار منفذی به روش ایتون با استفاده از اطلاعات نگاره مقاومت ویژه به صورت رابطه زیر است:

$$P_p = P_{ob} - (P_{ob} - P_{hyd})(\frac{R_i}{R_n})^n \qquad (۱)$$

که در این رابطه P_p فشار منفذی تخمین زده شده، P_{ob} فشار روباره، P_{hyd} فشار هیدرو استاتیک، R_i مقاومت الکتریکی مشاهده شده، R_n مقاومت الکتریکی حالت نرمال و n ضریب ایتون می‌باشد.

تخمین فشار منفذی به روش ایتون با استفاده از اطلاعات نگاره سونیک و با به کارگیری رابطه زیر صورت می‌گیرد:

$$P_p = P_{ob} - (P_{ob} - P_{hyd})(\frac{\Delta t_n}{\Delta t_i})^n \qquad (۲)$$

که دراین‌رابطه P_p فشار منفذی تخمین زده شده، P_{ob} فشار روباره، P_{hyd} فشار هیدرو استاتیک، Δt_i زمان عبور مشاهده شده ، Δt_n زمان عبور حالت نرمال و n ضریب ایتون می‌باشد.

تخمین فشار منفذی به روش ایتون با استفاده از اطلاعات نگاره سرعت به صورت زیر است:

$$P_p = P_{ob} - (P_{ob} - P_{hyd})(\frac{V_i}{V_n})^n \qquad (۳)$$

که دراین‌رابطه P_p فشار منفذی تخمین زده شده، P_{ob} فشار روباره، P_{hyd} فشار هیدرو استاتیک، V_i سرعت مشاهده شده، V_n سرعت حالت نرمال و n ضریب ایتون می‌باشد [۴ و ۵].

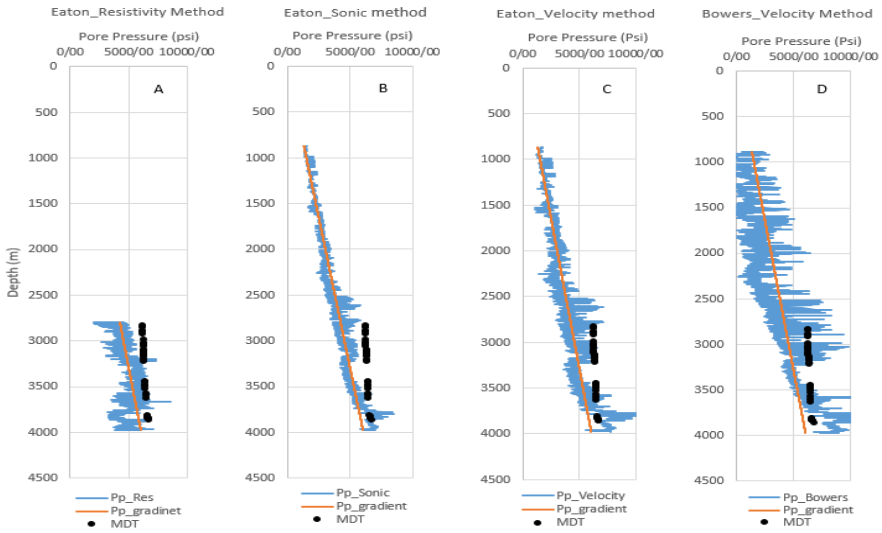
در این مطالعه فشار روباره با استفاده از نگاره چگالی محاسبه گردید و گرادیان فشار روباره .۱.۰۷ Psi/ft به دست آمد. همچنین گرادیان فشار هیدرواستاتیک .۰.۴۶۴ Psi/ft (آزاد پور و همکاران ۲۰۱۵) در نظر گرفته شد و فشار هیدرواستاتیک محاسبه گردید. درنهایت ضریب ایتون حدود ۱- به دست آمد. فشارهای منفذی محاسبه شده توسط روابط ایتون در شکل۱ قابل‌مشاهده می‌باشد.

در ادامه از روش باورز برای تخمین فشار منفذی استفاده شد. باورز در سال۱۹۹۴رابطه‌ای بین فشار مؤثر و سرعت ارائه داد که به این روش، روش فشار مؤثر نیز گفته می‌شود. با محاسبه تنش مؤثر و در نهایت با استفاده از رابطه ترزاقی فشار منفذی محاسبه می‌شود [۶].

$$V = V_0 + AP_{efc}^B \qquad (۴)$$

که دراین‌رابطه V سرعت ، V_0 سرعت در رسوبات نا متراکم، P_{efc} تنش موثر و A و B ضرایب کنترل‌کننده تغییرات

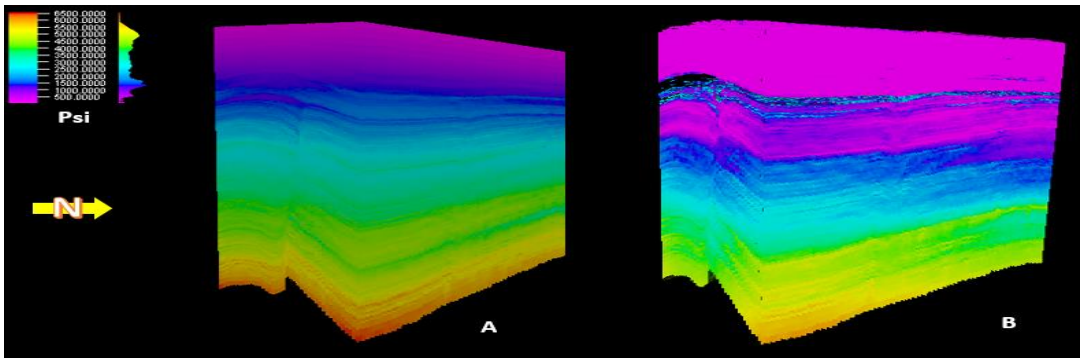
سرعت با افزایش فشار موثر می‌باشند که بر اساس اطلاعات موجود V_0، A و B به ترتیب ۳۷۹۴، ۰.۰۰۰۰۰۰۰۲۹۳۸ و ۲.۸۵ محاسبه گردیدند سپس با محاسبه تنش موثر و با استفاده از رابطه ترزاقی فشار منفذی محاسبه گردید. فشار منفذی محاسبه شده حاصل از رابطه باورز در شکل ۱ قابل مشاهده می‌باشد.



شکل۱. اشکال a، b، c و d به ترتیب فشارمنفذی تخمین زده شده توسط رابطه مقاومت ویژه ایتون، سونیک ایتون، سرعت ایتون و سرعت باورز را نمایش می‌دهند. در شکل فوق خط آبی‌رنگ فشار منفذی تخمین زده شده، خط نارنجی‌رنگ، گرادیان فشار طبیعی یا شیب Psi/ft ۰.۴۶۴ و نقاط مشکی رنگ، فشارهای اندازه‌گیری شده MDT را نشان می‌دهند.

۲-۲- تخمین فشار منفذی مبتنی بر داده‌های لرزه‌ای

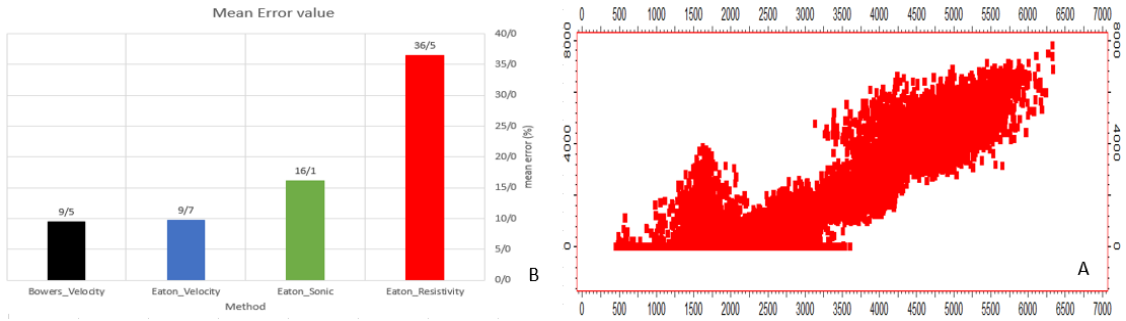
در روش باورز، از مکعب سرعت حاصل واروت سازی لرزه‌ای استفاده شده است و طبق ضرایب به‌دست‌آمده در مرحله چاه‌نگاری و با به کارگیری مکعب سرعت، مکعب فشار مؤثر تخمین زده شد. سپس با استفاده از نگاره چگالی مکعب فشار روباره محاسبه شد و در نهایت طبق رابطه ترزاقی، مکعب فشار منفذی از اختلاف مکعب فشار روباره و مکعب فشار مؤثر محاسبه گردید. در روش ایتون، با داشتن ضرایب چاه‌نگاری و با جای‌گذاری مکعب سرعت، مکعب فشار منفذی محاسبه شد [۴ و ۵ و۶]. نتایج حاصل از دو روش در شکل شماره ۲ آورده شده است.



شکل۲. در شکل فوق، مکعب A فشار منفذی تخمین زده شده توسط رابطه ایتون و مکعب B فشار منفذی تخمین زده شده توسط رابطه باورز را نشان می‌دهند.

مقایسه نتایج فشار منفذی تخمین زده شده با فشار منفذی اندازه گیری شده در محل چاه (شکل شماره ۳) نشان می‌دهد که روش سرعت ایتون با خطای میانگین ۹.۷ درصد بیشترین انطباق را با داده‌های اندازه‌گیری شده در محل چاه دارد و مناسب‌ترین گستردگی فضایی فشار را در تمامی اعماق به دست می‌دهد. خطای بقیه روش‌ها نیز در شکل ۳ با هدف

مقایسه روش‌های مختلف آورده شده است. روش باورز، مشکلاتی در اعماق کم نمایش می‌دهد که نشانگر حساسیت زیاد این روش به داده‌های اندازه‌گیری فشار در محل چاه دارد. به عبارت دیگر، در عمق‌های بدون اندازه‌گیری فشار، فشار منفذی تخمین زده شده توسط این روش، حاوی خطای قابل توجهی است.



شکل ۳. در شکل A محور عمودی فشار منفذی تخمین زده شده با سرعت لرزه‌ای رابطه باورز بر حسب psi و محور افقی فشار منفذی تخمین زده شده با سرعت لرزه‌ای رابطه ایتون بر حسب psi را نشان می‌دهند. شکل B میزان خطای میانگین هر کدام از روش‌های چاه‌نگاری را نمایش می‌دهد.

۳ نتیجه‌گیری

در این مطالعه، فشار منفذی با استفاده از نگاره‌های چاه و داده‌های لرزه‌ای تخمین زده شد. برای این کار، دو روش باورز و ایتون که مبتنی بر استفاده از مقاومت ویژه، سونیک و سرعت هستند استفاده گردید. طبق نتایج حاصل روش سرعت باورز دارای کمترین و روش مقاومت ایتون دارای بیشترین مقدار خطای میانگین در بین روش‌های چاه‌نگاری نسبت به فشارهای اندازه‌گیری شده MDT دارا می‌باشند. همچنین مشاهده گردید که روش سرعت ایتون حاصل از داده‌های لرزه‌نگاری برای تمامی عمق‌ها جواب مناسبی را ارئه می‌دهد اما روش باورز به دلیل کم بودن اطلاعات مورد نیاز در عمق‌های مختلف، فقط برای نواحی مخزنی که اطلاعات اندازه‌گیری شده وجود دارد، جواب مناسبی را ارائه داده است. از بین روش‌های مطالعه شده در این تحقیق، روش سرعت ایتون حاصل از داده‌های لرزه‌نگاری بهترین تخمین را از فشار منفذی این میدان گازی ارائه می‌دهد.

منابع

[۱] آزاد پور، م.، و شادمنامن، ن.، ۱۳۹۵، بررسی مکانیزم‌های ایجاد فشار منفذی بالا در یکی از میادین هیدروکربنی جنوب ایران: مجله پژوهش نفت، شماره ۸۸، صفحات ۱۴۷-۱۶۰.

[۲] سلیمانی، ح، ر.، سکوتی، م.ر.، و ریاحی، م.ع.، ۱۳۹۱، پیشبینی فشار منفذی با استفاده از وارونسازی و تحلیل سرعت لرزه‌ای: مجله فیزیک زمین و فضا، دوره ۳۸، شماره ۴، صفحه ۵۷-۷۰.

[۳] آدیم، ع.، ریاحی، م.ع.، باقری، م.، ۱۳۹۷، تخمین فشار منفذی به روش‌های ایتون و باورز با استفاده از داده‌های لرزه ای و چاه پیمایی: شریه پژوهش‌های کاربردی ژئوفیزیک، دوره۴ ,شماره ۲, صفحات ۲۶۷-۲۷۵.

[۴] Eaton, B. A., 1972, The effect of overburden stress on geopressures prediction from well logs: Paper SPE 3719. Journal OF Petroleum Technology, P. 929-934.

[۵] Eaton, B. A., 1975, The equation for geopressure prediction from well logs: Paper SPE 5544 Presented AT The Fall Meeting of The Society Of Petroleum Engineers, Dallas TX, 28 Sept. – 1 Oct.

[۶] Bowers, G. L., 1995, Pore pressure estimation from velocity data: accounting for over pressure mechanisms besides under compaction. IADC/SPE Drilling Conference Proceedings, 515-530.