

بررسی پایداری دیواره چاه با داده‌های ژئومکانیکی به روش تبدیل موجک پیوسته

رضا فرضی، کارشناس ارشد زمین‌شناسی نفت، دانشگاه تهران ■ شاهین پرچه‌خواری، کارشناس ارشد زمین‌شناسی نفت، دانشگاه تهران ■ وحید بلندی، دانشجوی دکتری مهندسی نفت، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب ■ حبیب پورفرج، کارشناس ارشد زمین‌شناسی نفت، دانشگاه شهید چمران اهواز

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۶/۰۹/۱۲
تاریخ ارسال به بازبین: ۹۶/۰۹/۲۲
تاریخ پذیرش بازبین: ۹۶/۱۲/۰۴

واژگان کلیدی:

پایداری دیواره چاه، پارامترهای ژئومکانیکی، تبدیل موجک پیوسته، نمودار قطر سنج، نمودار صوتی، نمودار چگالی.

چکیده

تخریب سازند در نتیجه عوامل متعددی است که بر میزان تراوایی ناحیه اطراف چاه و در نتیجه میزان نفت و گاز تولیدی تاثیرگذار است، به همین دلیل اطلاع از میزان پایداری دیواره چاه نکته مهمی در علوم زمین و مهندسی نفت است. داده‌های ژئومکانیکی یکی از مهم‌ترین پارامترهای بررسی پایداری دیواره چاه است که به طور معمول از طریق روش‌های تجربی و با استفاده از داده‌های سرعت امواج صوتی فشارشی، برشی و نمودار چگالی به دست می‌آید. این پژوهش با هدف بررسی پایداری دیواره چاه به تجزیه و تحلیل تغییرات داده‌های ژئومکانیکی در فضای سیگنال می‌پردازد.

انتقال داده‌ها به این فضا موجب آشکار شدن ناپیوستگی‌ها و تغییرات ناگهانی و موضعی می‌شود. بنابراین از تبدیل موجک پیوسته به عنوان یکی از بهترین ابزارهای پردازش سیگنال، جهت تبدیل این داده‌ها به فضای سیگنال استفاده شد. تطابق نتایج حاصل با نمودارهای پتروفیزیکی بخصوص نمودار قطر سنج، نشان‌دهنده لیتولوژی شیلی با وضعیت ناپایدار و وقوع ریختگی در این زون‌ها است. در نهایت بررسی نتایج موجک عملکرد بسیار خوب این روش در شناسایی زون‌های ناپایدار را نشان می‌دهد.

مقدمه

بررسی‌های پایداری الاستیک دیواره چاه است که از نمودار^۱ DSI به دست می‌آید. تاکنون روش‌های متنوعی برای تخمین پارامترهای ژئومکانیکی معرفی شده که دامنه‌ای از روش‌های تجربی و هوشمند را شامل می‌شود. در این مطالعه از فرمول‌های تجربی برای برآورد پارامترهای ژئومکانیکی استفاده شده است. با توجه به اینکه سنگ‌ها در راستای قائم از لایه‌هایی با پارامترهای ژئومکانیکی مختلف تشکیل شده‌اند، بنابراین دیواره چاه در راستای قائم پایداری متفاوتی دارد و تحلیل داده‌های ژئومکانیکی در راستای حفاری روشی بسیار مفید در مطالعات دیواره چاه است. برخی از محققان از تلفیق روش‌های پردازش تصویر و شبکه‌های عصبی مصنوعی برای تشخیص شکستگی‌ها در نمودارهای تصویری استفاده کرده‌اند. اما این نوع نمودارها به علت هزینه بالا، عمدتاً برای بررسی شکستگی در مخازن تهیه شده و به ندرت در فواصل غیر مخزنی رانده می‌شوند [۲]؛ همچنین روش‌های خوشه‌بندی^۲ از کاربردی‌ترین روش‌ها در تحلیل پایداری دیواره چاه است. اما این روش‌ها نواقصی مانند لزوم انتخاب صحیح تعداد خوشه و یا مشکلاتی ناشی از

انجام مطالعات کاربردی بنیادی و پایه در فرآیند پیاده کردن طرح‌های کلان اقتصادی، به منظور کاهش و جلوگیری از ایجاد هزینه‌های ناخواسته امری ضروری است. آگاهی از تمامی جنبه‌های طرح موجب سهولت در پیشرفت مراحل مختلف کار و دستیابی به اهداف طرح می‌شود. بررسی ناپایداری دیواره چاه از مهم‌ترین جنبه‌های مطالعه میدانی هیدروکربنی است که نادیده گرفتن آن موجب بروز مشکلاتی نظیر هرزروی گل، تنگی حفره چاه، گیر کردن لوله‌ها و جریان سیالات ناخواسته به دهانه چاه می‌شود که موجب هدر رفت زیاد زمان در حین حفاری خواهد شد.

ابتدایی‌ترین شرایط حین حفاری برای پایداری یک چاه، وجود تعادل و توازن بین تمرکز تنش در محدوده دیواره و استحکام سنگ است. ناپایداری چاه به دلیل شکست دیواره در حالتی است که مقدار تنش موثر بر دیواره از استحکام سنگ تجاوز کند [۱]. به عبارت دیگر پایداری دیواره چاه به نحوه پاسخگویی سنگ دیواره به تمرکز تنش القایی عملیات حفاری بستگی دارد. داده‌های ژئومکانیک یکی از مهم‌ترین اطلاعات در

* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (rezafarzi@alumni.ut.ac.ir)

تعیین کرد. در شماتیک اتساع چاه^۵ (شکل-۱) می‌توان دید که عمکرد تنش‌های افقی باعث بیضوی شدن قطر چاه می‌شود و با اندازه‌گیری قطر بیضی‌ها، راستای تنش‌های افقی کمینه (σ_H) و بیشینه (σ_h) مشخص می‌شود [۷]. براساس شکل ریختگی‌ها در راستای تنش افقی کمینه (σ_H) رخ می‌دهد و گاهی در راستای تنش افقی بیشینه (σ_h) گسیختگی‌های کششی دیده می‌شود. برای تعیین راستای تنش‌های افقی در طول چاه از اطلاعات هرزروی گل^۶ حفاری استفاده می‌شود. بنابراین اگر وزن گل باعث ایجاد شکست در سازند یا باز شدن شکستگی‌های پیشین شود، می‌توان وزن گل موجود را برابر با مقدار تنش افقی کمینه در نظر گرفت [۱۶ و ۱۷] و جهت مدلسازی تنش‌های افقی در کل چاه می‌توان از نرم‌افزارهایی مانند Drillwork[®] و Flac[®] استفاده کرد. تعیین دقیق راستای تنش‌های افقی کمینه و بیشینه، اطلاعات بسیار ارزشمندی در روند حفاری است که علاوه بر پیش‌بینی ریختگی و فواصل ناپایدار، با استفاده از آن می‌توان از پدیده‌های مچالگی لوله‌های جداری در سازندهای تبخیری جلوگیری کرد.

این مطالعه بنیادی- کاربردی به مدلسازی پارامترهای ژئومکانیکی و بررسی پایداری چاه پرداخته و با فرض اینکه فرکانس داده‌های ژئومکانیکی بر مبنای تغییرات پایداری دیواره چاه متغیر است، از روش تبدیل موجک پیوسته^۷ برای تجزیه و تحلیل فرکانس داده‌ها استفاده می‌کند.

۲- داده‌های ژئومکانیکی

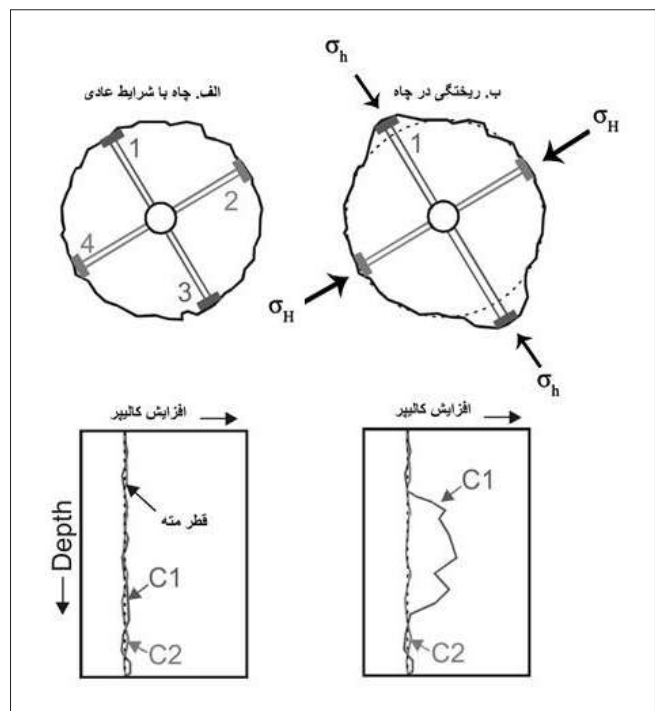
خواص ژئومکانیکی سنگ برای بیان مقاومت سنگ در برابر تنش تعریف می‌شود که حاصل آزمایشات ژئومکانیکی غیرمخرب است. این خواص شامل مدول یانگ، ضریب پواسون، مدول برشی، مدول حجمی و ضریب تراکم‌پذیری است [۸].

مدول یانگ	روابط ژئومکانیکی دینامیک [۹].
مدول یانگ	$E_d = \rho V_p^2 \frac{3V_p^2 - 4V_s^2}{V_p^2 - V_s^2}$
ضریب پواسون	$\nu_d = \frac{V_p^2 - 2V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$
مدول حجمی	$K_d = \rho V_p^2 - \frac{4}{3}\rho V_s^2$
مدول برشی	$G_d = \rho V_s^2$
تراکم‌پذیری	$C = \frac{1}{K_d}$
ρ is bulk density $V_p(P)$ is compressional wave velocity V_s is shear wave velocity	

خوشه‌های محلی حاصل از نوفه^۳ داده‌ها را دارند [۳ و ۴]. در صنعت نفت، از آنالیز موجک به عنوان یک روش نوین برای بررسی ناپایداری و یا تحلیل سیستم شکستگی به ندرت استفاده شده است [۵ و ۶]. در این مطالعه از آنالیز موجک به عنوان یک روش نوین جهت تحلیل فرکانس پارامترهای ژئومکانیکی در یکی از میداین جنوب غربی ایران استفاده شد. لیتولوژی چاه مورد مطالعه شامل یک توالی سیلیسی-کربناته متشکل از ماسه‌سنگ، شیل و سنگ آهک بود و مطالعات پایداری چاه در چنین توالی‌هایی با بازه گسترده لیتولوژی بسیار با اهمیت است.

۱- روش مطالعه

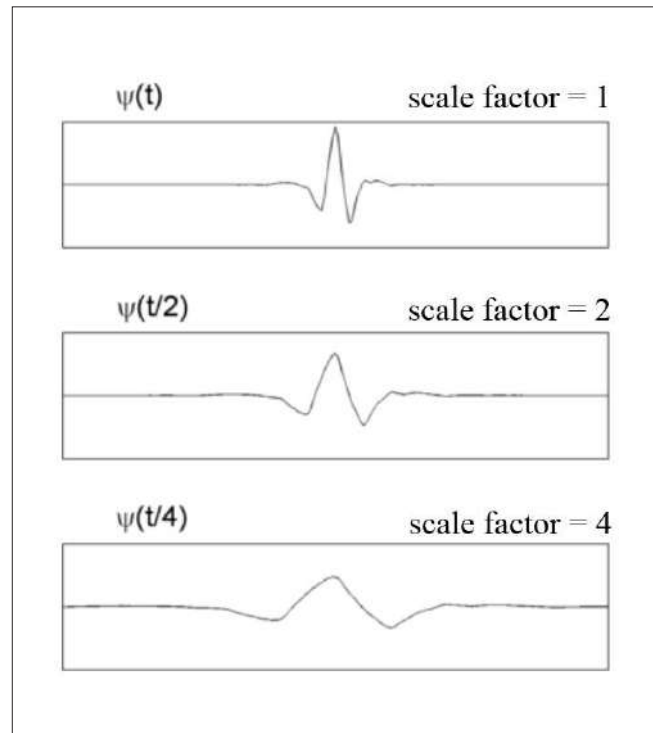
متداول‌ترین ابزار بررسی ناپایداری چاه، نمودار قطر سنج^۴ است. این ابزار از چندین بازو تشکیل شده که قطر چاه را در جهات متفاوت اندازه‌گیری کرده و با مقایسه آن با قطر مته حفاری، نواحی مستعد ریختگی را مشخص می‌کند (شکل-۱). از نوع چهار بازویی این ابزار می‌توان برای تعیین راستای تنش افقی استفاده کرد و با اندازه‌گیری دو قطر از مقطع عرضی چاه، راستای تنش‌های افقی از روی راستای اتساع چاه را



شکل ۱ | واکنش نمودار قطر سنج چهار بازویی به ریختگی و افزایش مقدار عددی آن در مقابل قطر مته حفاری [۷]

این پارامترها را می‌توان از طریق تست فشاری تک محوره و سه محوره بر نمونه مغزه (روش استاتیک) و یا از نمودارهای الکتریکی به ویژه داده‌های صوتی (روش دینامیک) بدست آورد [۹]. اما بین مقادیر اندازه‌گیری شده به روش استاتیک و دینامیک اختلاف وجود دارد و با وجود دقت پایین تر روش دینامیک نسبت به روش استاتیک، استفاده از روش دینامیک به دلیل صرفه‌جویی در زمان و هزینه در میدین نفتی مرسوم تر است.

نمودار صوتی یکی از مهم‌ترین روش‌های تخمین پارامترهای ژئومکانیکی است. انتشار صوت در یک چاه پدیده پیچیده‌ای است که تحت تاثیر خواص مکانیکی چندین حوزه صوتی مجزا شامل ستون گل، سازند و خود ابزار قرار دارد. صوتی منتشر شده از فرستنده به دیواره چاه برخورد و امواج طولی و عرضی تولید می‌کند که به داخل سازند نفوذ می‌کنند. ابزار نمودارگیری صوتی، سرعت موج صوتی را اندازه‌گیری و اطلاعاتی مرتبط با چگالی به دست می‌آورد [۱۰]. معادلات پارامترهای دینامیک ژئومکانیکی و نحوه محاسبه آنها با استفاده از چگالی، سرعت موج فشارشی و سرعت موج برشی در جدول ۱- خلاصه شده است [۹].

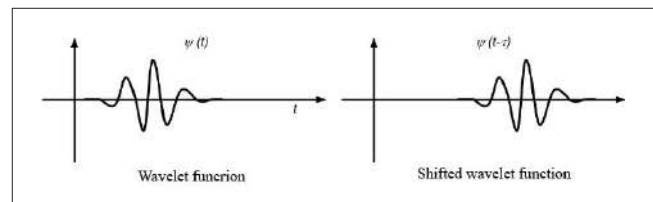


شکل ۲ | اثر فاکتور مقیاس بر روی یک موجک [۱۵].

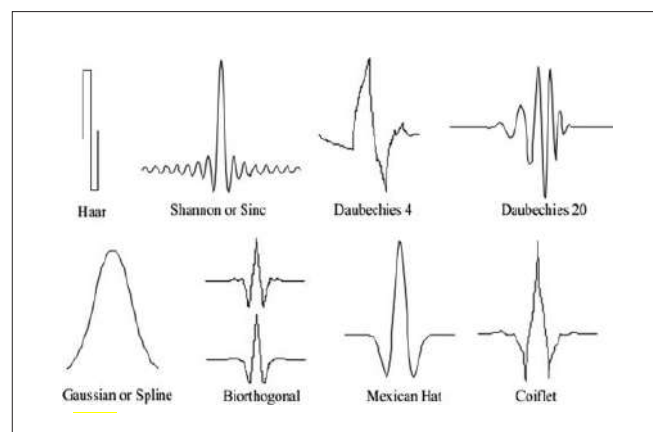
۳- آنالیز موجک^۸

امروزه ابزارهای شناخته شده زیادی در زمینه پردازش سیگنال وجود دارد. یکی از این ابزارهای بسیار قدرتمند، تبدیل موجک است. تبدیل موجک کاربردهای زیادی در زمینه پردازش ویژگی‌هایی از سیگنال‌ها نظیر ناپیوستگی‌ها، تغییرات ناگهانی و موضعی دارد. نخستین بار عبارت موجک را آلفرد هار^۹ در سال ۱۹۰۹ در پایان‌نامه خود بیان کرد. ولی مفهوم نظریه موجک به بیان امروزی توسط جین مورلت^{۱۰} ژئوفیزیکدان فرانسوی پیشنهاد شد [۱۱].

موجک مفهومی ریاضی است که برای تجزیه سیگنال پیوسته به مولفه‌های فرکانسی کاربرد دارد. تبدیل موجک، تجزیه یک تابع بر مبنای توابع موجک است. به عبارت دیگر، تبدیل موجک پیوسته را می‌توان ضرب داخلی سیگنال اصلی در موجک مادر دانست که تغییرات و ناپیوستگی‌های سیگنال (داده‌های اولیه) را مشخص می‌کند. تمامی توابع پایه از انتقال و مقیاس یک تابع (موجک مادر) بدست می‌آیند. توابع موجک با افزودن دو پارامتر انتقال و مقیاس بصورت زیر از روی موجک مادر بدست



شکل ۳ | انتقال موجک به اندازه τ [۱۵].



شکل ۴ | انواع موجک مادر که براساس ویژگی‌های فرکانسی موج اصلی انتخاب می‌شوند [۱۴].

می‌آیند [۱۳ و ۱۲]:

$$\Psi_{a,b}(x) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \Psi\left[\frac{x-a}{b}\right]; a, b \in R \quad (1)$$

(شکل ۵-الف).

۳- موجک را به سمت راست حرکت داده و مراحل ۱ و ۲ را تکرار می‌کنیم تا کل سیگنال پوشش داده شود (شکل ۵-ب).
۴- مقیاس موجک را تغییر داده و مراحل ۱ تا ۳ را تکرار می‌کنیم (شکل ۵-ج).

۵- مراحل ۱ تا ۴ را برای تمام مقیاس‌ها تکرار می‌کنیم. در پایان با تبدیل موجک پیوسته، ضرایبی را خواهیم داشت که در مقیاس‌های مختلف، با بخش‌های مختلف سیگنال تولید می‌شوند. با استفاده از این ضرایب نموداری رسم می‌شود که محور افقی بیانگر موقعیت در طول سیگنال و محور قائم نشانگر مقیاس است که رنگ هر نقطه $X-Y$ بزرگی ضریب را نشان می‌دهد.

۴- کاربرد روش پیشنهادی

در چاه مورد مطالعه، برای بررسی پایداری دیواره چاه، داده‌های ژئومکانیکی مطابق جدول ۱-۱ از نمودارهای صوتی و چگالی استخراج شد و از بین پارامترهای ژئومکانیکی، ضریب پوآسون، مدول یانگ و نسبت سرعت موج فشارشی بر موج برشی برای آنالیز موجک استخراج و برای انجام تبدیل موجک پیوسته از برنامه‌نویسی در محیط نرم‌افزار Matlab® استفاده شد. بنابراین ابتدا موجک BiorSplines به عنوان موجک مادر از بین موجک‌های موجود در نرم‌افزار انتخاب شد (شکل ۶-۱۵) و سپس جهت انتخاب مقیاس مناسب، الگوریتم مورد نظر از مقیاس ۱ تا ۲۰ اجرا و بوسیله مقایسه نتایج با نمودار قطر سنج، مقیاس ۲ بعنوان بهترین مقیاس انتخاب شد (شکل ۷-۷). در شکل ۷ و ۸ قسمت‌هایی از موج (داده‌های ژئومکانیکی) که با موجک مادر شباهت بیشتری دارد، به رنگ روشن‌تر دیده می‌شود. نتیجه در نواحی تیره‌تر درجه پایداری بیشتری است که با نمودار قطر سنج نیز همخوانی دارد.

۵- بحث و بررسی

در این مطالعه پس از محاسبه پارامترهای ژئومکانیکی از داده‌های صوتی در چاه مورد نظر، آنالیز سیگنال به روش تبدیل موجک پیوسته بر روی داده‌های فوق اعمال شد و با بررسی و تطابق نتایج با داده‌های ژئومکانیکی، تغییرات رخ داده در پارامترهای ژئومکانیکی در عمق‌های ۱۸۴۶ تا ۱۸۵۲، ۱۸۶۷ تا

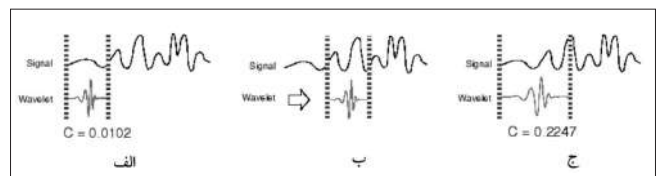
در این رابطه Ψ موجک مادر، a پارامتر مقیاس و b پارامتر انتقال است و ضریب $a-1/2$ به منظور نرمالایز کردن مقیاس‌های مختلف افزوده می‌شود.

مقیاس‌گذاری یا مقیاس بطور ساده به مفهوم کشیدن یا فشردن است. شکل ۲- اثر فاکتور مقیاس را بر روی یک موجک نشان می‌دهد. با توجه به شکل، هرچه فاکتور مقیاس کوچکتر باشد، موجک فشرده‌تر می‌شود. یکی از فاکتورهای مهم دیگر در موضوع موجک، انتقال است. انتقال به مفهوم به تاخیر انداختن یا تسریع نقطه شروع موجک است. تاخیر تابع $f(t)$ به اندازه τ با $f(t-\tau)$ نمایش داده می‌شود. مفهوم انتقال در شکل ۳- نشان داده شده است. شکل ۴- انواع موجک مادر را نمایش می‌دهد.

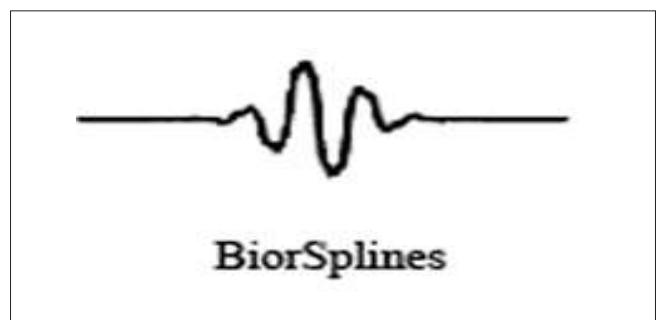
تبدیل موجک پیوسته در پنج مرحله خلاصه می‌شود [۱۵]:

۱- موجک مورد نظر را انتخاب و با یک بخش در شروع سیگنال مقایسه می‌کنیم.

۲- میزان شباهت موجک $(C=w\Psi)$ با بخش سیگنال را محاسبه می‌کنیم. هر چقدر عدد بزرگتر، تشابه بیشتر است

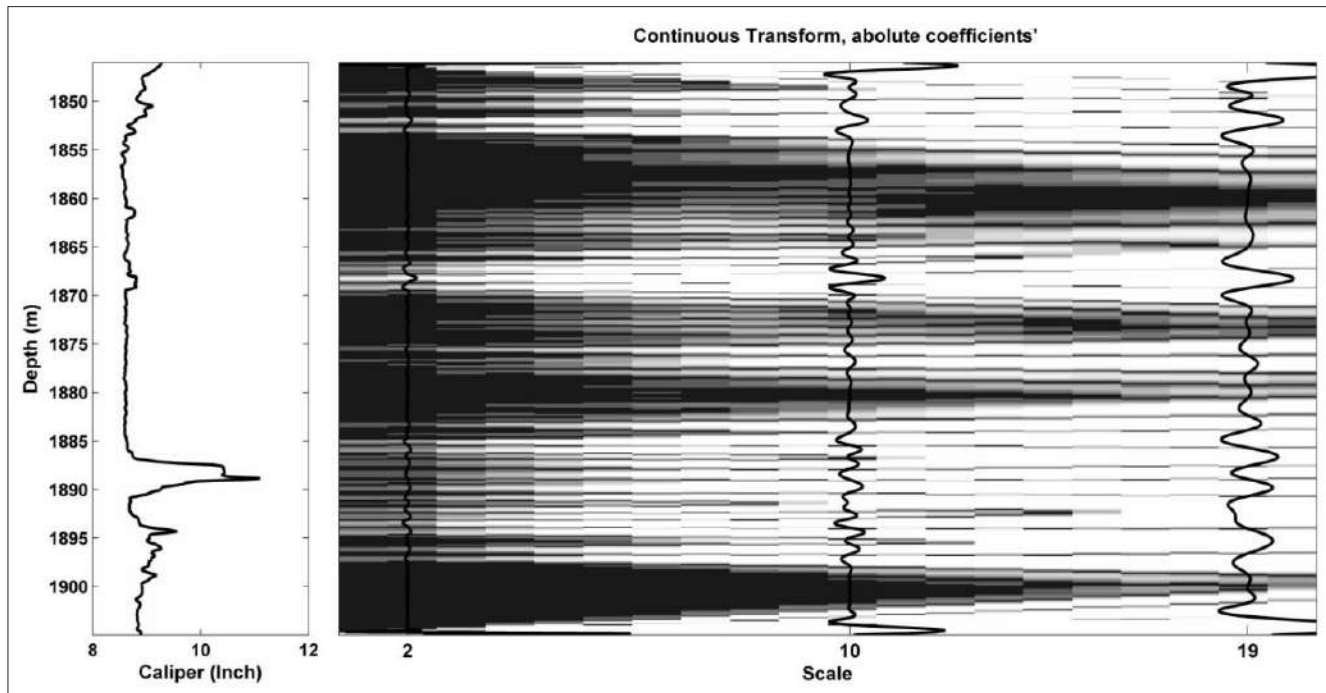


شکل ۵ | الف- مرحله دوم، ب- مرحله سوم، ج- مرحله چهارم تبدیل موجک پیوسته [۱۵].

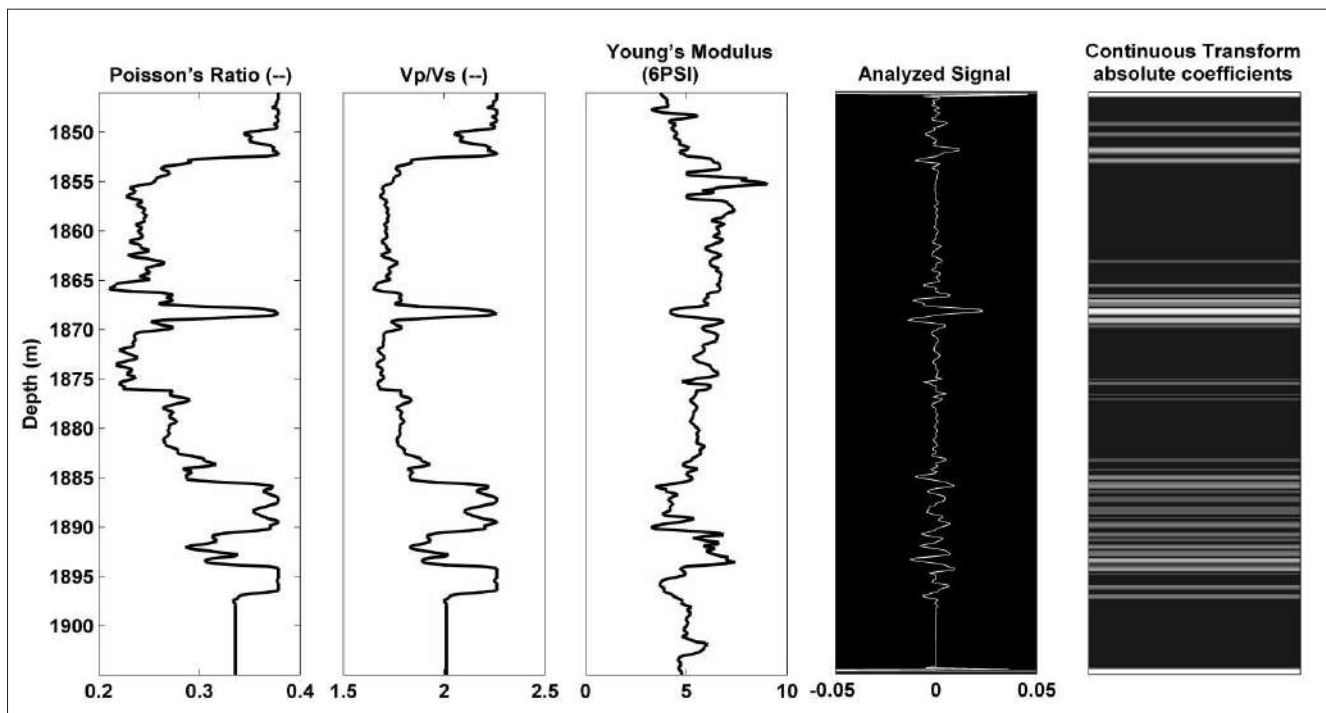


شکل ۶ | موجک مادر BiorSplines.

۱۸۷۲ و ۱۸۸۶ تا ۱۸۹۶ به وضوح قابل مشاهده است. این تغییرات در سیگنال آنالیز شده و همچنین نمایش خروجی گرافیکی بوضوح در شکل ۸- دیده می‌شود. در فواصل به رنگ روشن‌تر، ضریب پواسون روندی افزایشی و مدول یانگ روندی کاهشی را نشان می‌دهد که این تغییرات بیانگر پایداری کم دیواره چاه هستند.

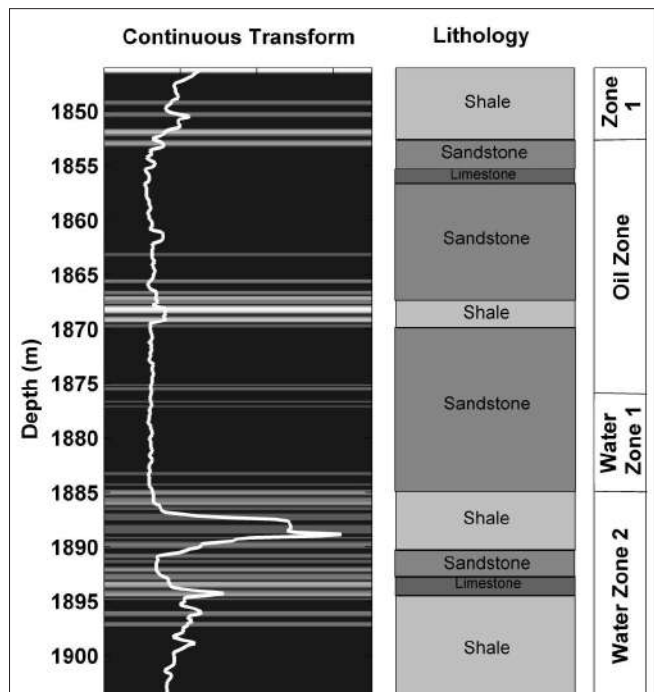


شکل ۷ | آنالیز سیگنال تبدیل موجک پیوسته بر روی داده‌های ژئومکانیکی در سه مقیاس ۲، ۱۰ و ۱۹

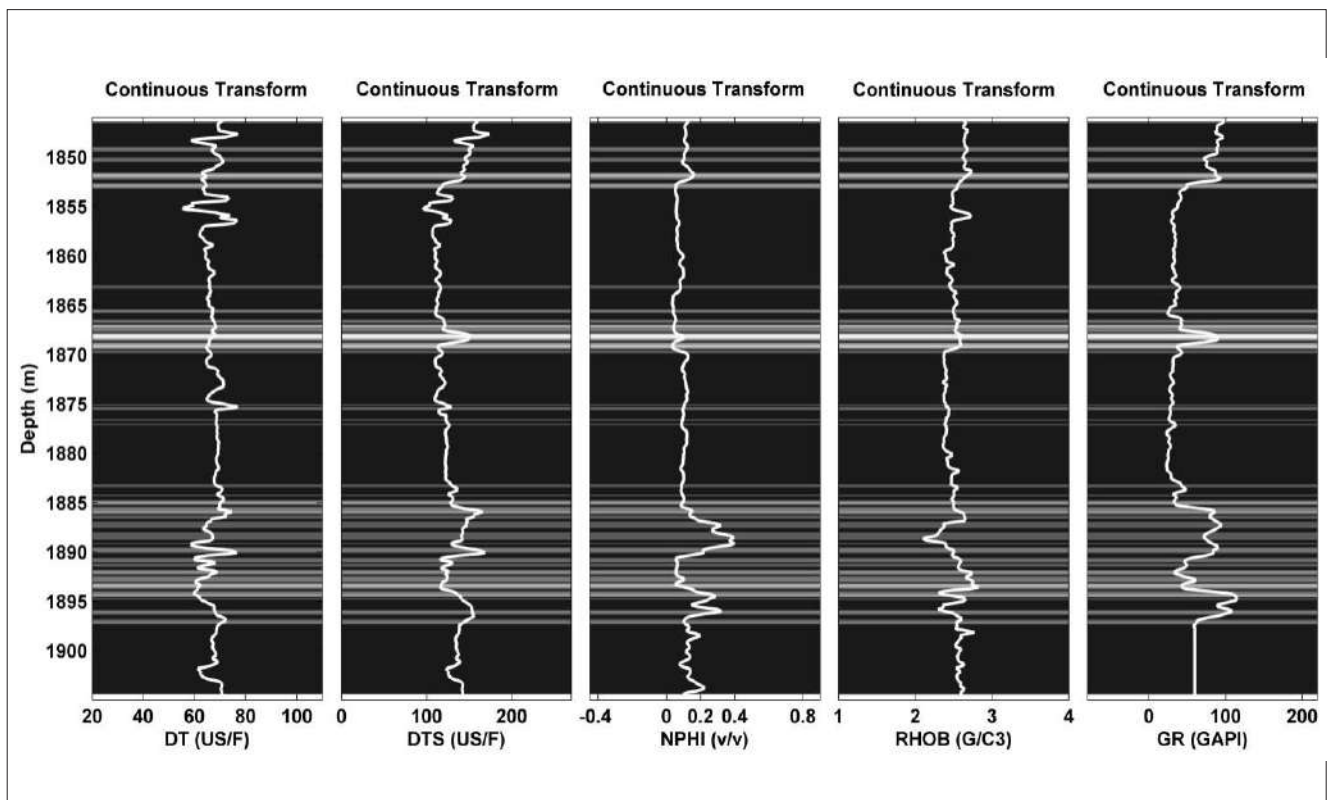


شکل ۸ | تطابق پارامترهای ژئومکانیکی با خروجی تبدیل موجک پیوسته.

در شکل ۹- تطابق نتایج آنالیز موجک با نمودار قطر سنج، ریختگی دیواره چاه را در این فواصل تایید می‌کند. با بررسی لیتولوژی چاه نتیجه‌گیری می‌شود که فواصلی که در خروجی موجک به رنگ روشن تر دیده می‌شوند، عمدتاً از شیل تشکیل شده است. تطابق مرز سیالات چاه با نتایج آنالیز موجک نشان می‌دهد که زون واقع در عمق ۱۸۴۶ تا ۱۸۵۲ به عنوان پوش سنگ در قسمت بالایی زون نفتی قرار دارد و وضعیت ناپایداری دارد. زون ناپایدار دیگر در عمق ۱۸۸۶ تا ۱۸۹۶ مشاهده می‌شود که در زیر مخزن ماسه سنگی و در ناحیه آبی قرار دارد. در عمق ۱۸۶۶ تا ۱۸۶۹، در میانه ناحیه نفتی و بین مخزن ماسه سنگی، لایه شیلی دیده می‌شود که مانند یک مانع، مخزن را به دو قسمت تقسیم کرده است و با شواهد موجود، حالتی ناپایدار دارد. در عمق حدود ۱۸۷۶، نتایج موجک نشانگر زونی با پایداری کم است که با توجه به لیتولوژی ماسه سنگی و عدم واکنش نمودار قطر سنج در این عمق، قرارگیری مرز آب و نفت و اختلاف چگالی و اختلاف سرعت موج صوتی در آب و نفت دلیل وجود این نتایج است.



شکل ۹ | تطابق نتایج موجک با نمودار قطر سنج و ستون لیتولوژی و مرز سیالات مخزن.



شکل ۱۰ | تطابق نتایج موجک با نمودارهای پتروفیزیکی

استفاده از تجزیه و تحلیل فرکانس داده‌های ژئومکانیکی بود و پارامترهای ضریب پوآسون و مدول یانگ توسط تبدیل موجک پیوسته آنالیز شدند.

مقایسه نتایج حاصل با نمودار قطر سنج نشان می‌دهد که تبدیل موجک پیوسته، روش بسیار مناسبی برای بررسی پایداری دیواره چاه است. همچنین تطابق نتایج موجک با نمودارهای پتروفیزیکی بیانگر آن است که فواصل مشخص شده توسط آنالیز موجک، مشخصات پتروفیزیکی سست و ناپایدار را دارد. نتایج نشان می‌دهد که تبدیل موجک پیوسته، توانایی بالایی در تجزیه و تحلیل داده‌های ژئومکانیکی داشته و موجب کاهش خطاهای انسانی می‌شود. همچنین به دلیل عدم نیاز به فیلتر یا هم‌سنگ کردن داده‌ها، استفاده از آن بسیار سهل و ساده است.

با مقایسه نمودارهای پتروفیزیکی و نتایج آنالیز سیگنال در شکل-۱۰، فواصلی که توسط تبدیل موجک پیوسته به عنوان زون‌هایی با ناپایداری پایین معرفی شدند، دارای میزان گامای بالاتری هستند. علت بالا بودن میزان گاما در این بخش، لیتولوژی شیلی آنها است. در این زون‌ها، مقادیر نمودارهای صوتی (فشاری و برشی) روندی افزایشی دارند که نشان از زون‌هایی سست و متخلخل است که زمان عبور صوت در آنها زیاد است. نمودار نوترون نیز در این محدوده‌ها با نشان تخلخل بالا، نتایج نمودارهای دیگر را تایید می‌کند.

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این پژوهش، بررسی پایداری دیواره چاه با

پانویس‌ها

- | | | |
|------------------------------|--------------------------------|-----------------|
| 1- Dipole Shear Sonic Imager | 5- Borehole Breakout | 9- Alfred Haar |
| 2- Clustering | 6- Formation Mud Loses | 10- Jean Morlet |
| 3- Noise | 7- ContinuousWavelet Transform | 11- Normalize |
| 4- Caliper | 8- Wavelet Analysis | |

منابع

- [1]. Birchwood R., 2002. Options for Enhanced Wellbore Stability. Schlumberger Oilfield, Services Caracas.
- [۲] سیف الهی، م.، تخم‌چی، ب.، سلیمانی، ع.، احمدی‌فرد، ع.، ۱۳۹۲. شناسایی هوشمند شکستگی‌ها در چاه‌های کربناته با استفاده از چاه نمودارهای تصویری، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی.
- [۳] سهرابی، س.، کدخدایی، ع.، ۱۳۹۰. تخمین پایداری دیواره چاه براساس ضرایب الاستیک بدست آمده از لاگ‌ها، سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی.
- [۴] ادب‌باغ، ا.، کدخدایی، ع.، نبی بیدهندی، م.، زینالی، م.، ۱۳۹۳. تخمین پایداری دیواره چاه به کمک پارامترهای مکانیک سنگی براساس الگوریتم خوشه بندی تفکیک‌پذیری چندتایی MRGC، نخستین کنفرانس بین‌المللی نفت، گاز و پتروشیمی با رویکرد توسعه پایدار.
- [5]. Zhang, X., Pan, B., Wang, F., Han, X., 2011. A study of wavelet transforms applied for fracture identification and fracture density evaluation. Applied Geophysics, Vol. 8, Iss. 2, pp. 164169-.
- [6]. Tarnq, Y.S., Lee, B.Y., 2000. Drill fracture detection by the discrete wavelet transform. Journal of Materials Processing Technology, Vol. 99, Iss. 13-, pp. 250254-.
- [7]. Plump, R.A., Hickman, S.H., 1985. Stress-induced borehole enlargement: a comparison between the four-arm dipmeter and borehole televiewer in the Auburn geothermal well. Journal of Geophysical Research, Vol. 90, pp. 55135521-.
- [8]. Fairhurst, C., 1963. Rock Mechanics. Pergamon Press, London U.K.
- [9]. Ranjbar-Karami, R., Kadkhodaie-Ilkhchi, A., Shiri, M., 2014. A modified fuzzy inference system for estimation of the static rockelastic properties: A case study from the Kangan and Dalan gas reservoirs, South Pars gas field, the Persian Gulf, Journal of Natural Gas Science and Engineering, 21, pp.962976-.
- [۱۰] آشتیانی عبدی، ه.، ۱۳۸۹. دانش نوپای ژئومکانیک مخازن هیدروکربنی، مجله اکتشاف و تولید، شماره-۶۷، صفحات ۲۰-۲۱.
- [11]. Heil, C. E., Walnut, D. F., 1989. Continuous and discrete wavelet transforms. Society of industrial and applied mathematics review, 31(4), pp. 628666-.
- [12]. Kaiser, G., 1994. A friendly guide to wavelet. Birkhäuser Basel.
- [13]. Torrence, C., Compo, G. P., 1998. A practical guide to wavelet analysis. Bulletin of the American meteorological society, 79(1), pp. 6178-.
- [14]. Al-geelani, N. A., Piah, M. A. M., Bashir, B., 2015. A review on hybrid wavelet regrouping particle swarm optimization neural networks for characterization of partial discharge acoustic signals. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 45, pp.20-35.
- [15]. Matlab 8.1.0.604 Help. 19842013- TheMathWorks. Inc.
- [16]. Zobak, M. D., 2007. Reservoir geomechanics, Cambridge University Press.
- [17]. Ward, C. D., Andreassen, E., 1997. Pressure while drilling data improves reservoir drilling performance. SPE 37588. SPE/IADC Drilling Conference, Amsterdam.