

تعیین شکستگی با استفاده از تبدیل موجک و مدل‌سازی آن در مخازن گروه دهرم یکی از میدان‌های ایران

محمدحسین نعمتی^{۱*}، غلامحسین نوروزی^۲ و محمدعلی ریاحی^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، ایران

^۲ دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، ایران

^۳ دانشیار، گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(دریافت: ۸۶،۴،۱۶، پذیرش نهایی: ۸۷،۴،۳)

چکیده

امروزه با پیچیده‌تر شدن سازوکار تولید از مخازن نفتی و افت فشار عمده مخازن موجود در ایران، تولید به‌روش‌های ثانویه اهمیت بیشتری یافته است. از طرفی با توجه به ماهیت مخازن کربناته و اثر فرایندهای دیاژنزی و تکتونیکی بر این مخازن (از جمله شکستگی‌ها)، شاهد ناهمگونی‌های بسیاری در این مخازن هستیم که پیش‌بینی تولید و بازیافت از آنها را با مشکل روبه‌رو می‌کند. لذا اهمیت بررسی شکستگی‌ها در صیانت از مخازن و بهینه‌سازی تولید، ضروری به نظر می‌رسد.

چگونگی اعمال عوارض زمین‌شناختی در مدل‌سازی‌های مخازن (از جمله عوامل ساختمانی و لیتولوژیکی) و نحوه توزیع شکستگی‌ها از مسائل اصلی این تحقیق است. در این بررسی تعداد ۱۰ چاه از یکی از میدان‌های گازی منطقه فارس ساحلی مورد بررسی قرار گرفته است. سپس، زون‌های شکستگی در چاه‌ها براساس اطلاعات مستقیم و غیرمستقیم با استفاده از روش اعمال موجک مشخص شده‌اند. تعیین زون‌های شکستگی در چاه‌های حفاری شده با استفاده از اطلاعات محدود لاگ‌های تصویرگر که از محدود چاه‌های یک میدان گرفته می‌شود و یا مغزه‌های درون‌چاهی که در شرایط سطحی بایستی بررسی شوند کاری دشوار است و در بسیاری از موارد نتیجه‌گیری از این بررسی‌ها و تعمیم آنها به گستره مخزن غیرممکن است. از طرفی، چون اطلاعات نمودارهای پتروفیزیکی از اکثر چاه‌ها گرفته می‌شود، عمده اطلاعات موجود از خصوصیات مخزن به‌وسیله این نمودارها به‌دست می‌آیند. در نهایت با توزیع چگالی شکستگی و تهیه مدل سه‌بعدی از این پارامتر و پارامترهای وابسته به آن (از جمله تخلخل شکستگی)، مدل برای ورود به روند شبیه‌سازی جریان مخزن آماده شده است.

واژه‌های کلیدی: شکستگی، مدل‌سازی، مخازن شکاف‌دار، چگالی شکستگی، نشانگر لرزه‌ای، تخلخل شکستگی

Application of wavelet transformation in fracture detection and fracture modeling in one of the Iranian Gas fields

Nemati, M. H¹., Norouzi, G. H². and Riahi, M. A³.

¹M.Sc. student of Petroleum Exploration Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran, Iran

²Associate Professor, School of Mining Engineering, Faculty of Engineering, University of Tehran, Iran

³Associate Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

(Received: 7 Jul 2007, Accepted: 23 Jun 2008)

Abstract

Nowadays, by complication of production mechanisms from reservoirs and depletion of most of the reservoirs in Iran, secondary production has become more important.

E-mail: h.nematii@yahoo.com

دورنگار: ۰۲۱-۲۲۹۱۴۷۹۸

*نگارنده رابط: تلفن: ۰۹۱۲-۵۱۳۶۲۴۹

Regarding the nature of Iranian reservoirs and carbonate inherencies and diagenetic and tectonic effects on these reservoirs, we see heterogeneities in them which cause uncertainty in predictions and performance of these reservoirs. So, the importance of fracture study of these reservoirs would become more obvious.

The way in which we determine fractures in wells and in further steps, incorporate geological factors in modeling of reservoirs and fractures modeling, is the main objective of this study. In this study, we selected one of the Iranian fields and conducted our study on 10 wells of this field.

After selection of the wells, we found from direct and indirect information, the location of fractures through the wells. Determination of fracture location in drilled wells by using limited imagery logs or using of core data on surface conditions is a complicated and problematic work. On the other hand, because of the availability of petrophysical logs in most of the wells, we may use them as valuable information for fracture study. We chose the wavelet transformation as a helpful tool in the detection of fractures from conventional logs.

Finally, by the distribution of fracture frequency and the preparation of the model of this parameter and its dependant parameters (e.g. fracture porosity) this model would be ready for further studies and export to flow simulation processes.

Key words: Fracture, Fracture modeling, Reservoir, Well log, Seismic attribute, Fracture porosity

۱ مقدمه

استفاده از نگارهای (نمودارهای) چاه‌پیمایی در تشخیص شکستگی‌ها

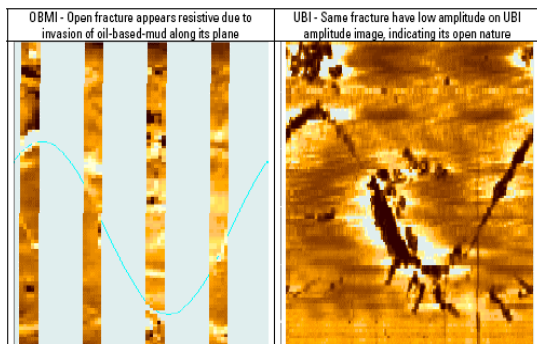
ابزارهای چاه‌پیمایی برای عکس‌العمل نشان دادن در برابر ویژگی‌های گوناگون محیط چاه و سازندهای اطراف طراحی شده‌اند. بعضی از ابزارها در درجه اول به لیتولوژی، بعضی در درجه اول به تخلخل و بعضی به درجه اشباع سیالات پاسخ می‌دهند. متأسفانه هیچ کدام از ابزارها در درجه نخست به شکستگی واکنش نمی‌دهند (رضائی و چهارزی، ۱۳۸۵). هرچند پاسخ بعضی از ابزارها تحت تأثیر شکستگی‌ها قرار می‌گیرد ولی این اثر آنقدر ناچیز است که با نگاه کردن به نگارها این اثرات به چشم نمی‌آید. بنابراین برای تشخیص شکستگی‌ها از روی نگارهای معمول پتروفیزیکی، ابتدا باید پایه و اصول فیزیکی ابزار و نیز هندسه و شکل همه اندازه‌گیری‌های مورد بحث درک و سپس با استفاده از روش‌های مناسب تأثیرهای گفته شده مشخص شود.

البته تجربه شخصی که برای تشخیص شکستگی از لاگ‌ها بهره می‌گیرد در این قضایا نقش بسزایی دارد. برای فائق آمدن به نواقص تجربی، از روش‌های ریاضی که برای تجزیه و تحلیل لاگ‌ها مرسوم است استفاده می‌کنیم. یکی از روش‌هایی که تا به حال در این زمینه به کار گرفته شده است اعمال موجک در نمودارهای تخلخل محاسبه شده (سهیمی و هاشمی، ۲۰۰۱) بوده است. در این تحقیق سعی شده که اثرات شکستگی در لاگ‌های خام مورد تأکید قرار گیرد. به طور مختصر به شرح اثرات شکستگی روی لاگ‌های قرائت شده معمول در چاه‌ها می‌پردازیم.

یک نمودار چاه، ثبت‌کننده و معرف خاصیت فیزیکی مخزن و تغییرات آن در طول چاه است (سراء، ۱۹۸۴). نمودارها به دو دسته کلی تقسیم می‌شود:

الف- نمودارهای متداول که امروزه در اکثر چاه‌ها از آنها استفاده می‌شود. از قبیل نمودار قطرسنج، پرتو گاما،

با توجه به اینکه این نمودارها تصاویری با کیفیت زیاد از دیواره چاه می دهند، استفاده از آنها برای تعیین موقعیت شکافها، انواع لایه بندی (bedding)، انواع تخلخل (porosity types) و عوارض ساختمانی لایهها بسیار کاربرد دارد.



شکل ۱. حضور شکستگی در لاگهای تصویرگر در یکی از چاهها.

از طرفی، حضور شکستگی در نمودارهای معمول چاه پیمایی اثری خواهد داشت که تغییرات ناگهانی در روند تعدادی از نمودارها آن را به خوبی نشان خواهد داد. این اثرات معمولاً به علت تغییرات خواص فیزیکی در توالی های اطراف چاه و در اثر حضور اجزای غیرمعمول که در بعضی موارد سیالات حفاری و در موارد دیگر سیالات دیاژنزی هستند، به وجود می آید. در این خصوص، از جمله نمودارهایی که می توان به آنها اشاره کرد عبارتند از:

الف- اندازه گیری قطر چاه (caliper log).

ب- نمودار پتانسیل خودزا (spontaneous potential log).

ج- نمودار اندازه گیری های پرتو گامای طبیعی (natural gamma ray log).

د- اندازه گیری های صوتی (sonic log).

ه- نمودار چگالی (density log).

و- نمودار نوترون (neutron log).

نوترون و صوتی و مانند آن.

ب- نمودارهای غیر متداول که در شرایط خاص مورد استفاده قرار می گیرند و معمولاً با هزینه زیاد نیز همراهند. مانند نمودارهای تصویرگر دیواره چاه. نمودارهای چاه پیمایی نسبت به آنالیز مغزه ها امتیازاتی دارند که عبارتند از:

- مغزه ها از یک قسمت و حجم کوچک مخزن تهیه می شوند، در حالی که نمودارها، قسمت بزرگی از مخزن را مورد بررسی قرار می دهند.
- چاه پیمایی، مشخصات مخزن را در همان شرایط مخزن اندازه گیری می کند.
- نمودارها یک نیمرخ یک بعدی از خواص مخزن در طول چاه به دست می دهند.

متأسفانه به دلیل هزینه های بسیار زیاد راندن ابزارهای تصویرگر و گرفتن مغزه های جهتی، برداشت این داده ها از همه چاه های یک میدان مقرون به صرفه نیست. در زیر به طور مختصر به نمودارهایی که می توانند در تشخیص شکستگی راهنما باشند، اشاره می شود.

۲ نمودارهای تصویرگر (Image Log)

پرکاربردترین نوع نمودارهای تصویری (FMS Formation Micro Scanner) FMI، (Formation Micro Imager) FMI، (Oil Based Mud Image Imager) OBMI و (Bottom Hole Tele Viewer) هستند.

ابزار BHTV از یک مبدل فرا صوت استفاده می کند که تب های صوتی کوتاه به داخل سازند می فرستد. از ابزارهای تصویری حفره باز در تشخیص شکستگی ها در بسیاری از میداین استفاده می شود. همچنین مغزه های جهتی نیز به خوبی می توانند مشخصات شکستگی ها را نمایان سازند (شکل ۱). به طور معمول این دو نوع داده برای تأیید نتایج یکدیگر در تفسیر شکستگی های چاه به کار می روند (نلسون، ۱۹۸۵).

ز- اندازه گیری های جذب فتوالکتریک.

ح- اندازه گیری های مقاومت (resistivity logs).

ط- نمودار اندازه گیری دما (temperature log) در چاه.

۳ استفاده از تبدیل موجک در تعیین محل شکستگی ها با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی

به دلیل آنکه در چاه پیمایی، اغلب با داده های یک بعدی روبه رو هستیم به طور مختصر توضیحاتی در مورد تبدیل موجک یک بعدی ارائه می شود (رسائی، ۱۳۸۴). تبدیل موجک برای تابعی مانند $\phi(x)$ به صورت زیر تعریف می شود:

$$\hat{\phi}(a, b) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) \psi_{ab}(x) dx$$

در رابطه بالا $\hat{\phi}(a, b)$ نشان دهنده تابع ϕ در فضای موجک است.

تبدیل موجک با مجموعه ای از توابع که همگی از یک تابع مادر ساخته می شوند حاصل می آید که با ψ نشان داده می شود. در رابطه فوق $\psi_{a,b}$ به صورت زیر تعریف می شود:

$$\psi_{ab}(x) = \psi[(x - b) / a] / \sqrt{a}$$

در این رابطه $a > 0$ و نشان دهنده پارامتر تغییر مقیاس و b نشان دهنده میزان جابه جایی در فضای موجک است.

$$C(\text{scale, position}) = \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi(\text{scale, position, } t) dt$$

حاصل اعمال تبدیل موجک روی یک موج ورودی، دو موج خروجی است که به ترتیب ضریب تقریب موجک (wavelet approximation coefficient) و ضریب جزئی موجک (wavelet detail coefficient) نامیده می شوند.

ضریب تقریبی موجک نشان دهنده مقدار مورد انتظار برای موج مورد نظر در گذر از ماتریس غالب سنگ و

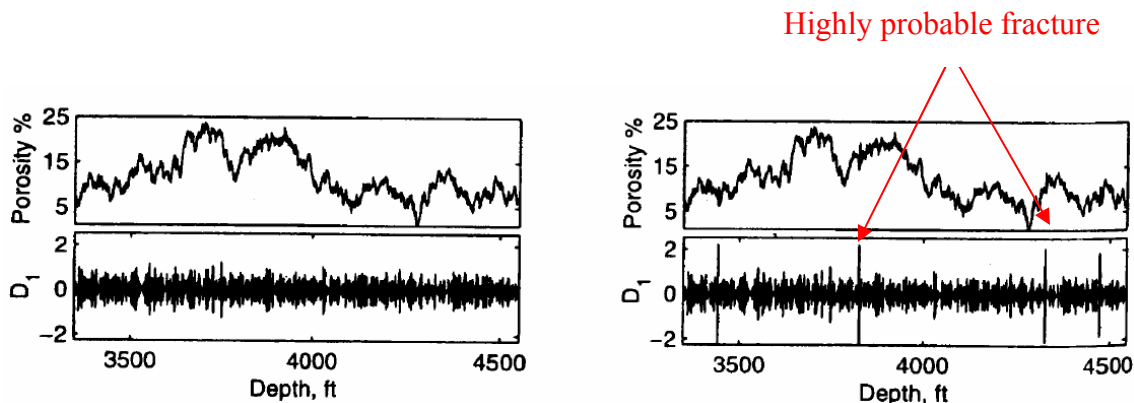
ضریب تقریبی، پارامترهای جزئی و گذرای ماتریس (از جمله شکستگی ها) را به دست می دهد. در تعیین محل شکستگی ها با استفاده از تبدیل موجک از ضریب جزئی موج برای تجزیه و تحلیل نمودارهای پتروفیزیکی استفاده می شود. تابع ضریب جزئی یک موج به صورت زیر تعریف می شود:

$$D_j(k) = 2^{-j/2} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(x) \phi(2^{-j}x - k) dx$$

در رابطه بالا k نشان دهنده تعداد داده ها و j مرتبه موجک نامیده می شود. ضریب جزئی موجک، داده ها را به مقیاس های متفاوت طولی تفکیک می کند. این تابع دارای ویژگی هایی است که با استفاده از آنها می توان محل شکستگی ها را برآورد کرد. برخی از این ویژگی ها عبارتند از:

الف- مقدار ضریب موجک برای یک نقطه مستقل از مقدار پارامتر مورد بررسی در آن نقطه است. به عبارت دیگر اگر مقدار پارامتر در آن نقطه کم باشد مقدار ضریب موجک آن می تواند مقداری بزرگ داشته باشد و بالعکس. برای مثال می دانیم که تداخل در شکستگی ها در مقایسه با ماتریس بسیار ناچیز است اما اعمال موجک و استفاده از ضریب موجک موجب می شود که بتوان این نقاط را شناسایی کرد (شکل ۲) همان طور که در این شکل نشان داده شده است، مقدار ضریب جزئی موجک در محل شکستگی یک جهش نشان می دهد.

ب- اگر مجموعه ای از داده ها دارای دو ساختمان متفاوت از نظر داده باشند، به وسیله ضریب موجک می توان این دو را از هم تفکیک کرد. با استفاده از این خاصیت و با توجه به آنکه توزیع پارامترهای گوناگون شکستگی و خمیره در سنگ (matrix) متفاوت از یکدیگر است، می توان از این روش برای تشخیص آنها بهره برد.



شکل ۲. مقایسه ضریب موجک برای مخزن معمولی (سمت چپ) و مخزن شکافدار (سمت راست) (سهیمی و هاشمی، ۲۰۰۱).

روی نمودارهای پتروفیزیکی گوناگون از جمله نمودارهای چاه‌نگاری، نمودارهای تصویرگر و هرزروی گل حفاری در چاه‌ها استفاده شده است. به منظور افزایش دقت محاسبات و حذف مقادیر خارج از ردیف روی نمودار ضریب جزئی موجک پیک‌های احتمالی که ناشی از تغییرات سایر پارامترها مثل سنگ‌شناسی و یا تغییرات دیواره چاه (ریزش و مانند آن) است، تفکیک و حذف شده‌اند (شکل ۳). در این راستا مجموعه‌ای از داده‌های متفاوت در کنار هم قرار گرفت و در واقع با این روش تلاش شد تا قطعیت وجود شکستگی از زوایای مختلف مورد بررسی قرار گیرد و پیک‌های نامطلوب و گمراه کننده از مجموعه داده‌ها خارج شوند.

یک نمونه از نتایج حاصل از اعمال موجک در نمودارهای تخلخل و مقایسه ضرایب جزئی به دست آمده از هر نمودار برای تعیین بهتر محل شکستگی آورده شده است.

امروزه جهت تشخیص شکستگی‌ها روش‌های گوناگونی وجود دارد و در هر تحقیق، با توجه به نوع داده‌های اولیه موجود از این روش‌ها استفاده می‌شود. هر چه تنوع اطلاعات در این زمینه بیشتر باشد، قطعاً نتایج حاصل از اعتبار بیشتری برخوردار خواهد بود. بر این

ج- برخلاف رسم طیف توانی داده‌ها که رویدادهای محلی در آنها چندان قابل تشخیص نیست ضریب موجک از اتفاقات و رویدادهای محلی و گذرا تأثیر می‌پذیرد. بنابراین عبور از زمینه سنگ به شکستگی که یک واقعه محلی است با استفاده از ضریب موجک قابل تشخیص و تفکیک است. به این ترتیب اگر نمودار ضریب موجک در مقابل عمق برای یک مخزن معمولی رسم شود، نمودار دارای شکلی یکنواخت خواهد بود و روندی ثابت در طول نمودار قابل مشاهده است. حال اگر همین نمودار برای یک مخزن شکافدار رسم شود در برخی نقاط اکستریم‌های محلی خواهیم داشت که نشانگر وقوع تغییرات سریع پارامتر مورد بررسی است.

این سه خاصیت مهم به‌علاوه ویژگی‌های منحصر به فرد تبدیل موجک باعث شده تا استفاده از آن در بررسی مخازن شکافدار و تعیین محل شکستگی‌ها مورد توجه قرار گیرد.

۴ تعمیم تبدیل موجک و تلفیق آن با دیگر اطلاعات موجود

در بررسی شکستگی‌ها در چاه‌ها از اعمال تبدیل موجک

بوده است.

در کنار این مقادیر، مقادیر وزن گل حفاری نیز رسم شده است تا در بخش‌هایی مثل دالان بالایی که هرزروی به دلیل کاهش شدید وزن گل بسیار کاهش یافته و یا به صفر رسیده است، تفسیر نادرست "نبود شکستگی" حاصل نشود. همچنین محل تزریق مواد کنترل کننده هرزروی نیز به منظور جلوگیری از ایجاد خطا در بررسی‌ها در نظر گرفته شده است.

۲-۴ استفاده از مقادیر اصلی نمودارهای

پتروفیزیکی: همان گونه که ذکر شد مجموعه نمودارهای پتروفیزیکی گوناگون از جمله نمودارهای صوتی، چگالی، مقاومت، پرتو گاما و قطرسنجی در کنار هم در ارزیابی بهتر سنگ‌شناسی و تفکیک پیک‌های نامطلوب حاصل از تغییر لیتولوژی مفیدند. لازم به توضیح است که استفاده از نتایج مطالعه پتروفیزیکی (ستون لیتولوژی) نیز مورد توجه قرار گرفته است که این امر نقش مؤثری در بررسی شکستگی در چاه‌های گوناگون میدان داشته است.

نتایج حاصل از بررسی نمودارهای پتروفیزیکی در نرم‌افزار مطلب (MathLab) با تبدیل موجک به همراه اطلاعات هرزروی گل، نمودارهای تصویری و اطلاعات مغزه برای شناسایی محل شکستگی‌ها در راستای چاه‌ها به کار گرفته شد.

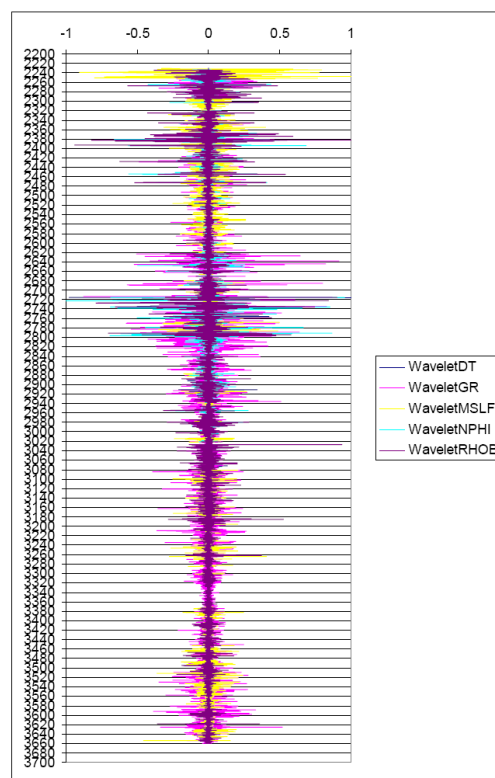
۵ مقایسه نتایج حاصل از تبدیل موجک با داده‌های

نمودارهای تصویرگر

خوشبختانه، چون دو چاه دارای لاگ‌های تصویری بودند، برقراری ارتباط بین نتایج حاصل از تفسیر این لاگ‌ها و نتایج اعمال موجک، از اعتبار لازم برخوردار خواهد بود و نتایج این ارتباط می‌تواند در نقش ضریب تصحیح نتایج اعمال موجک به کار برده شود. البته در اینجا فرض بر این است که نتایج تفسیر لاگ‌های شکستگی قابل اعتماد

اساس سعی شد تا برای تشخیص شکستگی‌ها از همپوشانی همه داده‌های موجود، از جمله هرزروی گل، نمودارهای تصویری، نمودارهای پتروفیزیکی و تبدیل موجک نمودارهای پتروفیزیکی استفاده شود.

اطلاعات تکمیلی علاوه بر نتایج اعمال موجک و نمودارهای تصویری مورد استفاده برای بررسی شکستگی‌ها در میدان مورد تحقیق عبارت‌اند از:



شکل ۳. نتایج حاصل از اعمال موجک در نمودارهای گوناگون و تلفیق آنها با یکدیگر.

۱-۴ میزان هرزروی گل در اعماق گوناگون: مقادیر

هرزروی گل در اعماق گوناگون از گزارش‌های روزانه زمین‌شناسی و حفاری چاه‌های میدان استخراج شد و به صورت یک نمودار در کنار مجموعه اطلاعات موجود قرار گرفت. وجود این داده در تأیید وجود یک شکستگی خاص و تشخیص فواصل دچار شکستگی‌های شدید (حاصل از گسل‌های احتمالی موجود) بسیار مؤثر

برای بررسی دقت اطلاعات حاصل از اعمال موجک بر روی نمودارهای پتروفیزیکی، از اطلاعات حاصل از نمودارهای تصویری چاهها استفاده شده است.

برای این منظور ابتدا عمق و تعداد شکافها در فواصل متفاوت با استفاده از نمودارهای تصویری انتخاب و سپس همبستگی بین تعداد شکاف مشاهده شده در نمودارهای تصویری و تعداد شکاف حاصل از تبدیل موجک در این بخشها مورد بررسی قرار گرفت.

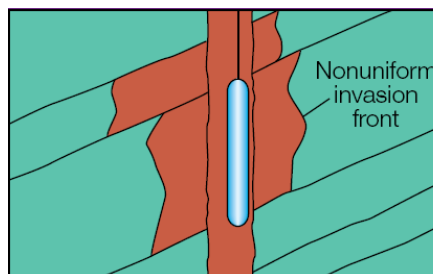
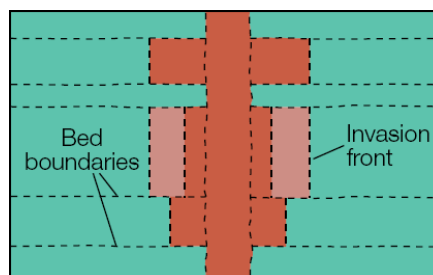
مقایسه نتایج حاصل از نمودارهای تصویری در چاههای شماره ۶ و ۹ میدان در شکل ۵ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود ارتباط بسیار مناسبی بین تعداد شکاف مشاهده شده در نمودارهای تصویری و تبدیل موجک وجود دارد و تقریباً بین همه فواصل عمقی شکستگی حاصل از تبدیل موجک با فواصل عمقی شکستگی حاصل از تفسیر نمودارهای تصویری همخوانی خوبی مشاهده می شود.

برای بررسی اعتبار نتایج به دست آمده از اعمال موجک، نتایج چگالی شکستگی در چاههایی که اطلاعات نمودارهای تصویری آنها موجود بود مورد مقایسه قرار گرفت که در شکل های زیر همبستگی بین این نتایج رسم شده است. محور افقی نشان دهنده تعداد شکستگی و محور قائم اندیس زونهای لیتولوژیکی در چاه مورد نظر است.

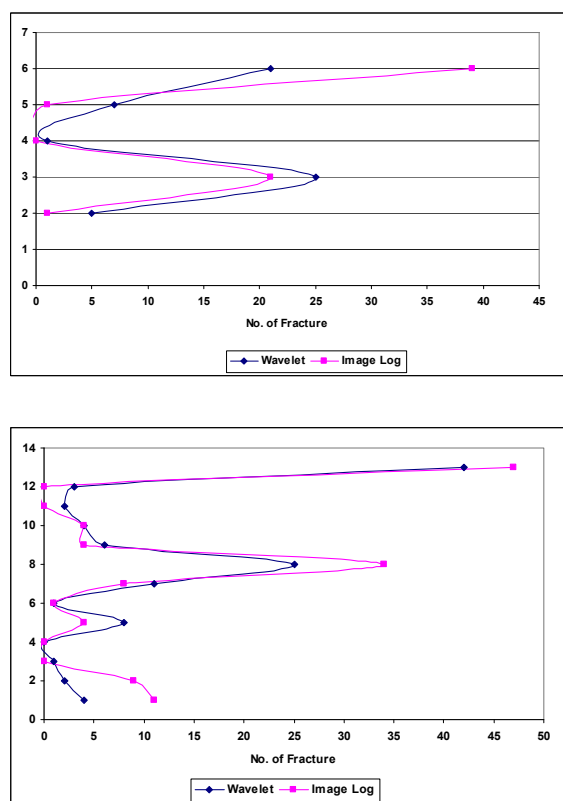
همانطور که ملاحظه می شود، ارتباط بسیار خوبی بین تعداد شکستگی های به دست آمده از تبدیل موجک و مقادیر به دست آمده از تفسیر لاگ های تصویرگر مشاهده می شود. البته ذکر این نکته ضروری است که، قدرت تفکیک و نمونه برداری و همچنین بازه دستگاه های معمول چاه پیمایی نسبت به همدیگر متفاوت است و به طور طبیعی در برخی موارد، جابه جایی عمقی در محل بی هنجاری های نمودارهای ضریب جزئی به وجود می آید.

هستند. به این منظور، بایستی که این ارتباط برای شکستگی های محاسبه شده در شرایط یکسان بررسی شود. یعنی مقادیر شمارش شده در زون های متفاوت با همدیگر ارتباط داده شوند. اگر که قدرت تفکیک نمودارهایی که محل شکستگی از روی آنها تعیین می شود با هم برابر باشد ضریب تصحیح نزدیک به یک پیش بینی می شود.

اثر هندسه لایه ها عامل تأثیرگذار دیگری اثری است. جهتی و غیرجهتی بودن دستگاه های اندازه گیری خواص پتروفیزیکی باعث می شود که اثرات شکستگی در نمودار ثبت شده بعضی دستگاه ها به خوبی قابل رؤیت نباشد. بر اثر شیب لایه ها و اثر گرانی (Gravity Effect)، رخنه گل به سمت بالای لایه ها کمتر از طرفی است که رو به سمت پایین پیش می رود. بر فرض مثال، دستگاه های اندازه گیری ریزبازه مقاومت سازند در گل پایه آبی (Water Based Mud, WBM) چون تحت تأثیر زون رخنه فیلتره گل قرار می گیرد، در حالت های متفاوت نسبت به دیواره چاه مقادیر متفاوتی را ثبت خواهد کرد (شکل ۴).



شکل ۴. رخنه فیلتره گل حفاری در لایه های بدون شیب (بالا) و لایه های شیب دار (شکل پایین)، ابزارهای چاه پیمایی بسته به یک طرفه بودن و یا چند طرفه بودن در این لایه ها، مقادیر متفاوتی را ثبت می کنند.



شکل ۵. مقایسه تعداد شکستگی تشخیص داده شده با روش موجک با تعداد شکستگی‌های مشاهده شده با نمودار تصویری در چاه شماره شش (بالا)، مقایسه تعداد شکستگی تشخیص داده شده با روش موجک با تعداد شکستگی‌های مشاهده شده با نمودار تصویری در چاه شماره نه (شکل پایین).

۶ مدل‌سازی توزیع چگالی شکستگی در مخزن

برای ساخت مدل توزیع چگالی شکستگی‌ها در مخزن، اطلاعات چگالی چاه که به نتایج آن اشاره شد، به صورت یک نمودار در نرم‌افزارهای معمول مدل‌سازی وارد شد. برای تهیه مدل زمین‌شناسی دقیق‌تر سعی شد تا اثر دیگر پارامترهایی که ممکن است بر چگالی شکستگی در نقاط گوناگون مخزن تأثیرگذار باشند، بررسی شد. عوامل متفاوتی ممکن است در ایجاد و گسترش شکستگی‌ها در مخزن تأثیرگذار باشند که از جمله مهم‌ترین این موارد می‌توان به وجود گسل‌ها در مخزن و شبکه شکستگی‌های مرتبط به گسل و نیز شکستگی‌های ناشی از چین‌خوردگی و انحنای ساختمان مخزن اشاره کرد.

۷ محاسبه انحنای ساختمان افق‌های کنگان و دالان

یکی از پارامترهای کنترل‌کننده شکستگی‌ها در مخازن پدیده چین‌خوردگی و شکستگی‌های مرتبط با آن است. استفاده از این داده‌ها می‌تواند در نقش روند در برآورد توزیع و چگالی شکاف‌ها در فاصله بین چاه‌ها مورد استفاده قرار گیرد.

برای بررسی اثر چین‌خوردگی بر چگالی شکستگی، آنالیز انحنای ساختمان برای افق‌های گوناگون میدان موردنظر صورت گرفته است.

برای محاسبه انحنای افق‌های کنگان و دالان، از نتایج تفسیر شده لرزه‌نگاری دوبعدی که به تازگی صورت گرفته است، استفاده شد. این نقشه‌ها به‌مثابه یکی از پارامترهای اساسی در ساخت مدل سه‌بعدی زمین‌شناسی مطرح هستند.

در طول چاه محاسبه شد و رابطه آن با میزان انحنای ساختمان مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور چگالی شکاف در راستای چاه برای سازند دالان به طور جداگانه محاسبه شد و ارتباط آن با انحنای ساختمان بررسی شد.

در مرحله آخر با استفاده از روابط زیر، مقدار تخلخل حاصل از شکستگی محاسبه شد (نلسون، ۱۹۸۵).

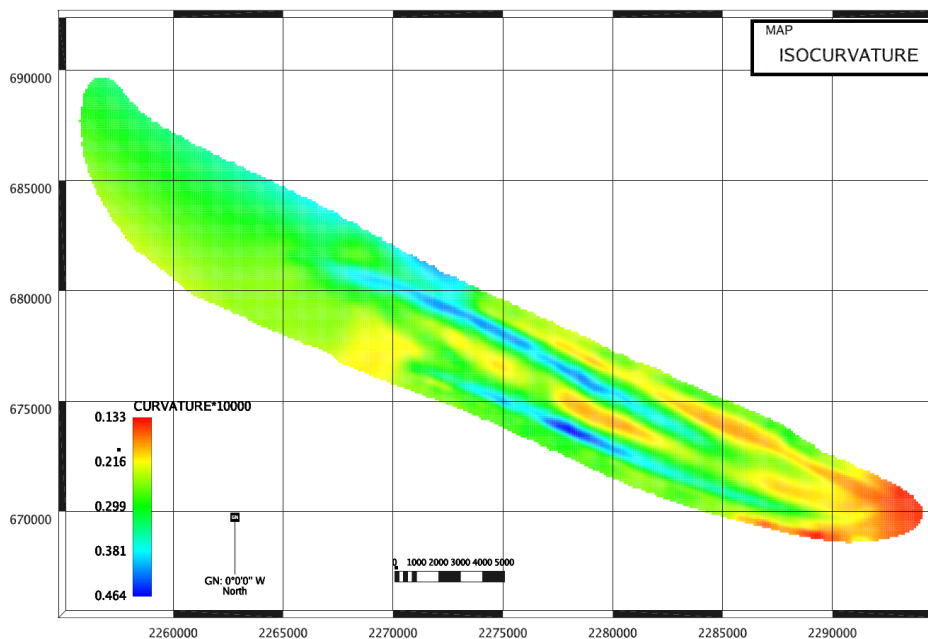
$$\varphi_f = \frac{6a^2b/2}{(a+b)^3} \approx \frac{3b}{a}$$

که در این رابطه b فاصله شکافها و a میزان دهانه شکستگی است که به طور معمول از گزارشهای نمودارهای تصویرگر استخراج می شود.

لازم به ذکر است که، مقدار بازشدگی شکاف از گزارشهای تفسیر لاگهای تصویرگر در چاههای شماره ۶ و ۹ استخراج و در محاسبات اعمال شد.

میزان اعتبار بررسی یک مدل تا حد بسیار زیادی تابع اعتبار این نقشهها است. در بررسی میدان و برای ساخت مدل سه عدی زمین شناسی، نقشه های حاصل از تفسیر ژئوفیزیک دوبعدی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت نقشه هم تراز زیرزمینی کنگان که بر پایه اطلاعات زمین شناسی سطحی و نقاط ورود پاره ای از چاه های میدان تهیه شده بود، در حکم نقشه پایه انتخاب شد. نقشه پیش گفته بر مبنای رأس سازند کنگان در چاه های حفاری شده در میدان تصحیح شد.

در مرحله بعد، تصمیم گرفته شد که از نقشه های زیرزمینی قدیمی برای محاسبه انحنای میدان استفاده شود (شکل ۶). سپس رابطه بین میزان چگالی شکستگی و مقدار انحنای برای هر چاه بررسی شده است. شکل ۷ رابطه بین میزان انحنای سطح و چگالی شکستگی در سازند دالان بالایی برای چاه های موجود در میدان را نشان می دهد. برای به دست آوردن این رابطه، میانگین چگالی شکستگی



شکل ۶. نقشه هم انحنای افق کنگان در میدان.

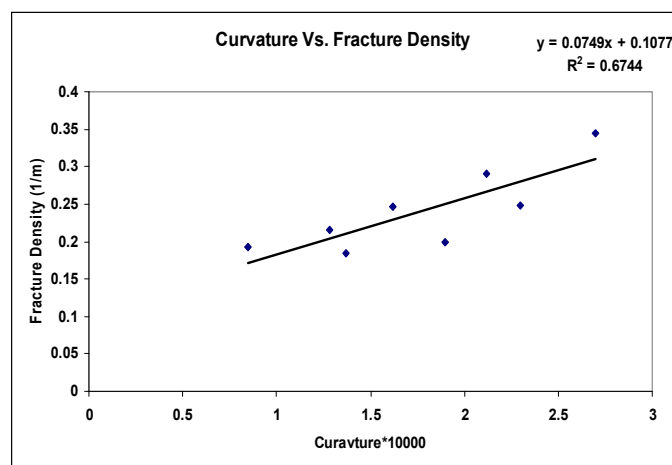
۸ تلفیق داده‌های چگالی شکستگی با مقاطع تخلخل حاصل از برگردان امیدانس

در نهایت، برای بررسی صحت نتایج دو روش، و برای بررسی تأثیر شکستگی در میزان تخلخل، لاگ چگالی شکستگی در محل چاه شماره یک با مقطع تخلخل تلفیق شد (شکل ۸).

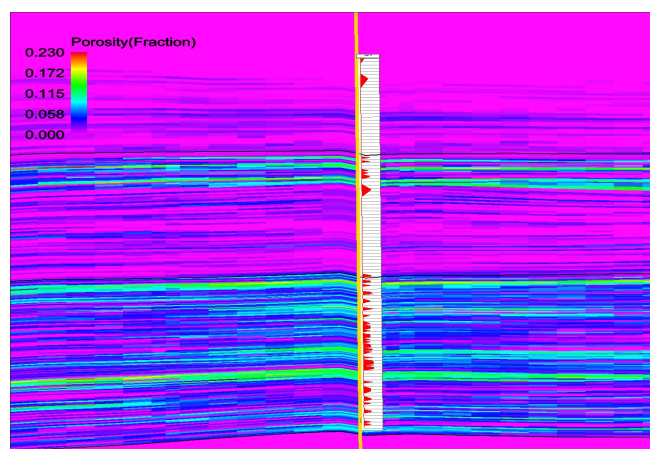
در افق دالان بالایی که بیشترین تعداد شکستگی در چاه‌ها محاسبه شد که میزان تخلخل کل محاسبه شده از دیگر افق‌ها بیشتر بود. اما بایستی توجه داشت که هر

افزایش تخلخل لزوماً به معنای حضور شکستگی در سنگ نیست و این امر بایستی با بررسی شکستگی به اثبات برسد. همان‌طور که در تلفیق نتایج حاصل از بررسی شکستگی در محل چاه‌ها با نتایج برگردان تخلخل در مقاطع لرزه‌ای دیده شد، می‌توان این روش‌ها را همزمان برای تأیید یکدیگر و توصیف کیفی پارامترهای متفاوت مخزن در مقیاس‌های متفاوت به کار گرفت.

پس از بررسی چاه‌های متفاوت، مشاهده شد که به‌طور کلی میزان چگالی شکستگی در بخش‌های گوناگون



شکل ۷. رابطه بین انحنای ساختمان در محل هر چاه و چگالی شکستگی‌ها در چاه مربوط برای یکی از زون‌ها.



شکل ۸. تلفیق داده‌های تخلخل حاصل از برگردان لرزه‌ای و نتایج اعمال موجک و شکستگی در چاه

۹ نتیجه گیری

با تلفیق نتایج حاصل از بررسی های شکستگی در محل چاه ها و نتایج برگردان لرزه ای روی مقاطع برانبارش شده، ارتباط قابل قبولی بین دو بررسی به دست آمد. این تلفیق روشن ساخت که در مقاطع لرزه ای این میدان به طور کلی، افزایش تخلخل زمینه در صورتی که به ماتریس سنگ مرتبط نباشد، نشان دهنده حضور زون های شکستگی در توالی های بررسی شده خواهد بود و شکستگی در مخزن این میدان را تأیید می کند. این موضوع در زون های دالان بالایی به خوبی مشاهده شد.

آنالیز انحنای ساختمانی افق های مخزنی و ارتباط میزان انحنای در چاه ها با چگالی شکستگی راهی برای توزیع چگالی شکستگی به روش های تعیینی در اختیار مدل ساز قرار می دهد. این اطلاعات با وزن زیاد در روند توزیع چگالی شکستگی به کار گرفته شد.

یکی دیگر از نتایجی که پس از بررسی اطلاعات لرزه ای به دست آمد، همخوانی مقادیر تخلخل کلی در این مقاطع با میزان شکستگی در چاه شماره یک است. با اینکه مقدار تخلخل حاصل از شکستگی ناچیز و بیشترین مقدار آن در حدود دو تا سه درصد است، ولی می توان گفت که افزایش مقدار شکستگی، باعث افزایش کلی در میزان تخلخل خواهد شد.

نتایج حاصل از اعمال موجک در چاه های متفاوت نشان می دهد که، میزان چگالی شکستگی در بخش های گوناگون سازند دالان به نسبت سازندهای کنگان و دشتک بیشتر است. این امر ممکن است ناشی از فرسایشی بودن این توالی باشد که در لاگ های گرفته شده از چاه های این میدان نیز مشهود است (شکل ۹).

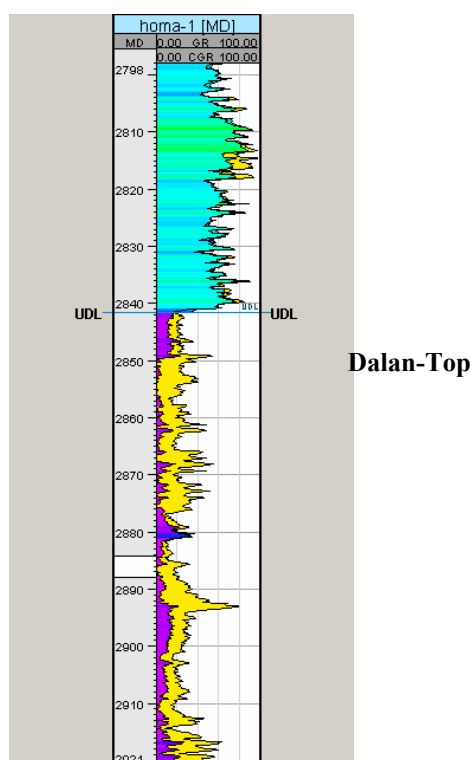
تشکر و قدردانی

لازم می دانیم که از آقای علیرضا محبی از شرکت پیشگام پتروانرژی و استادان و دوستان از شرکت ملی نفت ایران،

سازند دالان به نسبت سازندهای کنگان و دشتک بیشتر است. این امر ممکن است ناشی از حضور کمتر رس در این نواحی به نسبت سازندهای کنگان و دشتک باشد. همچنین از طرفی دیگر، در افق هایی که فرسایش صورت گرفته باشد، میزان شکستگی و میزان تغییرات دیاژنزی در سطح رابطه ای دوطرفه خواهد داشت (لوسیا، ۱۹۹۹). سطح دالان بالایی (مرز دوره های پرمین-تریاس) یک سطح فرسایشی در منطقه زاگرس و خلیج فارس است (مطیعی، ۱۳۸۲). این موضوع در لاگ های گرفته شده از چاه های این میدان نیز دیده می شود (شکل ۹).

مقدار تخلخل حاصل از شکستگی در زون دالان-۱ بیشترین مقادیر را دارد.

در بعضی از حد فواصل کنگان نیز تعدادی شکستگی مشاهده می شود.



شکل ۹. مقایسه پرتو گاما کل (SGR) و گاما بدون اورانیوم (CGR) و تفاوت زیاد آنها در زون فرسایشی دالان بالایی-۱.

- Nelson, R. A., 1985, Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoirs, Gulf Publishing Company. Book Division Houston, 320 p.
- Sahimi, M., and Hashemi, M., 2001, Wavelet Identification of the Spatial Distribution of Fractures, Geophys. Res. Lett., **28**, No. 4.

که در تهیه این مقاله نویسندگان را یاری کرده‌اند صمیمانه تشکر و قدردانی کنیم.

منابع

- رحیم‌پور بناب، ح.، ۱۳۸۴، سنگ‌شناسی کربناته- ارتباط دیاژنز و تکامل تخلخل، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۸۷ صفحه.
- رسائی، م. ر.، ۱۳۸۴، افزایش مقیاس مدل‌های زمین‌شناسی به مدل‌های شبیه‌سازی با استفاده از تبدیل موجک، رساله دکتری، ۱۹۳ صفحه.
- رضائی، م. ر.، و چهارزی، ع.، ۱۳۸۵، اصول برداشت و تفسیر نگارهای چاه‌پیمایی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۹۹ صفحه.
- سرا، ا.، ترجمه غلامحسین نوروزی، ۱۳۷۸، چاه‌پیمایی، انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان، ۴۸۴ صفحه.
- مجبی، ع. ر.، ۱۳۸۵، شناسائی و مدل‌سازی شکاف‌ها در میدان هما، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی مخازن هیدروکربوری، دانشکده مهندسی شیمی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران.
- مطیعی، ه.، ۱۳۸۲، زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۳ صفحه.
- نعمتی، م. ح.، ۱۳۸۶، تعیین شکستگی و مدل‌سازی آن در یکی از میداین ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران.
- Levorsen, A. I., 1967, Geology of Petroleum, second edition, W.H.FREEMAN AND COMPANY, 724 p.
- Lucia, F. Jerry, 1999, Carbonate Reservoir Characterization, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 226 p.
- McQuillan, H., 1973, Small scale fracture density in Asmari formation of southwest Iran and its relation to bed thickness and structural setting, AAPG Bull., **57**, 236-246