

تحلیل شکافها با روش منطق فازی

محمدکمال قاسم‌العسکری^{۱*}، ملیحه سادات کاظمی^۲، میکائیل پیران^۳ و جواد برات امامقلی^۳

^۱ عضو هیأت علمی، دانشگاه صنعت نفت - دانشکده مهندسی نفت اهواز، اهواز، ایران

^۲ عضو هیأت علمی، دانشکده دکتر شریعتی، تهران، ایران

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعت نفت - دانشکده مهندسی نفت اهواز، اهواز، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۶/۹، تاریخ پذیرش: ۱۳۸۹/۱۰/۷، دسترسی برخط: ۱۳۸۹/۱۲/۲۵)

چکیده

در این تحقیق روش آشکارسازی غیرمستقیمی به نام منطق فازی برای تعیین شکافها با استفاده از نمودارهای چاه عرضه شده است. روش منطق فازی را می‌توان برای تعیین شکافها به صورت کلی با دقت بالایی به کار برد. روش ذکر شده با استفاده از نمودارها در حالت‌هایی که تغییرات در شکل نمودارها مربوط به تاثیر شکافها باشد، به کار می‌رود. بنابراین برای این منظور باید الگوریتم منطق فازی به درستی اعمال شود.

تعیین عضویت نمودارها در الگوریتم منطق فازی به منزله آشکارسازی دقیق برای رده بندی شکافها نیز به کار می‌رود، زیرا این روش می‌تواند اطلاعات قابل قبولی برای تعیین شکافها ارائه دهد. لذا با این روش از طریق نمودارهای تهیه شده در چاه‌های باز، برای تعیین شکافها در سنگ‌های مخازن شکافدار پارس جنوبی استفاده شد که موفقیت آمیز بوده است. در تأیید این موضوع نمودارهای یکی از چاه‌های مخزن پارس جنوبی با روش فوق بررسی گردید و با مغزه‌های موجود و تصویرگرهای همان چاه در همان فواصل عمقی مقایسه شد. کارایی این روش توسط تصویرگرها برای محدوده‌ای از چاه که مغزه‌ها وجود داشت مورد تأیید قرار گرفت.

واژه‌های کلیدی: منطق فازی، تعیین شکافها، نمودارهای چاه، شاخص شکستگی، تصویرگرها، مغزه‌ها

Analysis of fractures using fuzzy logic method

Mohammad Kamal Ghassem Alaskari^{1*}, Malihe Sadat Kazemi², Michael Piran¹, and Javad Barat Imamgholi¹

¹Department of Petroleum Engineering, Petroleum University of Technology, Ahwaz, Iran

²Dr. Shariaty Colleges, Tehran, Iran

(Received: 30 August 2008, accepted: 28 December 2010, available online: 16 March 2011)

Summary

Many of the problems faced in engineering and science can be effectively modeled mathematically. However, in constructing these models many assumptions have to be made which are often not true in the real world. For some applications, the sets that will have to be defined are easily identifiable. For other applications, they will have to be determined by knowledge acquired from an expert or group of experts. Once the names of fuzzy sets have been established, one must consider their associated membership functions. Development of this idea has led to many successful implementations of fuzzy

*Corresponding author:

ghassemal@gmail.com

*نگارنده رابط:

logic systems, also called Fuzzy Inference Systems (FIS). A Fuzzy Inference System is a system that uses fuzzy sets to make decisions or draw conclusions.

The approach adopted for acquiring the shape of any particular membership function is often depend on the application. In some applications, membership functions must be selected directly by a 'statistical' approach or by an automatic generation of shapes. The determination of membership functions can be categorized as being either manual or automatic. The manual approaches rely only on the experience of an expert. All of the 'manual' approaches suffer from the fact that they rely on subjective interpretation of words.

A new indirect fracture detection technique called Fuzzy Logic Integrated System (FLIS) from well logs is presented in this paper. The FLIS can be widely used for fracture detection with high precision in comparison with image logs in zones of interest. This method is very suitable for multiple well logs, where changes in the log- shapes are affected by the fractures. Therefore, the above method should be used correctly. Fuzzy membership of the log data serves also as an indicator for the classification of results and provides valuable information concerning the reliability of the fracture zones.

The procedures of executing the fuzzy logic are as follows: First, based on the RockLog program (Ghassem Alaskari, 2005), the well log data on each zone of interest are analyzed and plotted in the log format. Second, anisotropic parameters necessary for the evaluation of highly fractured zones from image logs are determined and compared with the full data set. Third, using FLIS algorithm written for this purpose, fractures can be identified in each zone of interest. Fourth, the comparison between the results given in the third step with the core samples at the same intervals (the fracture density and fracture types) in each zone can be identified.

The above procedure has been used successfully for determining fractured reservoir zones in the South-Pars field from an open-hole well log data. A comparison between core samples and image logs was done for the same intervals detected by this technique. As described earlier, a fuzzy set is fully defined by its membership function. How best to determine the membership function is the main question that needs to be addressed. The degree of applicability of this technique is checked by image logs and core samples for the same region, where a full well data was available.

Keywords: Fuzzy logic, fracture detection, well logs, fracture index, image logs, core samples

ابزارهای تصویرگر با استفاده از گیرنده‌های مقاومت ویژه الکتریکی میکرو نصب شده روی بالشتک‌ها (Pads) و در تماس با دیواره چاه اندازه‌گیری را عملی می‌سازند (گایلوت و همکاران، ۲۰۰۷). هر بالشتک فقط موجب پوشش محدودی از دیواره چاه می‌شود. در بعضی از ابزارهای تصویرگر مانند (Formation Micro Imager) FMI بالشتک‌های یدکی (Flaps) نیز برای افزایش پوشش تصویر از دیواره چاه، اضافه شده است. بالشتک‌ها با بازوهای به دیواره چاه می‌چسبند تا تماس بین الکترودها و دیواره چاه بهتر صورت گیرد (شکل ۱).

۱ مقدمه

پیشرفت و توسعه ابزارهای تصویرگر مقاومت ویژه الکتریکی به اواسط سال ۱۹۸۰ میلادی برمی‌گردد، زمانی که از ترکیب یک پاندول و یک جهت‌یاب مغناطیسی در ابزارهای شیب‌سنج استفاده شد. به همین دلیل ابزارهای شیب‌سنج را پایه و اساس ابزارهای تصویرگر الکتریکی معرفی می‌کنند (باسیونی، ۱۹۹۴). ابزار تصویرگر الکتریکی (FMI) با قدرت تفکیک بالا ابزاری با ارزش برای تفسیر شکستگی‌های مخزن به حساب می‌آید (استروبل و همکاران، ۲۰۰۹).

بهترین روش غیرمستقیم است.

۵. ارزیابی شکستگی‌ها با استفاده از منطق فازی و کاربرد آن روی نمودارهای چاه، کمک بزرگی به تحلیل مخازن شکاف دار می‌کند.

البته این نکته را باید در نظر داشت که استفاده از ابزارهای نمودارگیری، نیازمند به تجربه و تخصص بالایی است و گاهی در مراحل تحلیل و تفسیر امکان خطا وجود دارد که البته با تلفیق نمودارهای تصویرگر و تکمیل اطلاعات با روش‌های دیگر از جمله داده‌های هرزروی سیال حفاری می‌توان میزان خطاها را کاهش داد.

۲ الگوریتم منطق فازی برای تشخیص شکستگی‌ها از نمودارها

الگوریتم منطق فازی مرحله‌به‌مرحله برای هر ناحیه عمقی به صورت زیر انجام می‌گیرد (اونس، ۲۰۰۰):

۱. بعد از اینکه نمودارها پردازش و مقیاس‌بندی شدند، توابع عضویت تعریف می‌شوند (شکل ۲).

۲. دو تابع عضویت برای هر نمودار در نظر گرفته می‌شود که وجود آنها در الگوریتم منطق فازی تعیین کننده است. به‌دیگر سخن آشکارسازی شکستگی‌ها را با احتمال صفر یا یک مشخص می‌کنند (صفر برای حالتی است که شکستگی تشخیص داده نمی‌شود و یک برای حالتی است که شکستگی وجود دارد).

۳. در این مرحله توابع عضویت برای هر یک از پارامترهای ورودی و خروجی تعریف می‌شوند که در مرحله بعدی در سامانه تداخل فازی (FIS) مورد استفاده قرار می‌گیرند.

۴. سپس، قوانین سامانه تداخل فازی (FIS) برای تشخیص چگالی شکستگی‌ها از نمودارهای چاه مشخص می‌شوند (شکل ۲).

دستگاه FMI ابزار توسعه یافته‌ای است که نسبت به ابزار FMS (Formation Micro Scanner) پوشش دیواره‌ای بیشتری دارد (۸۰ درصد). پوشش بیشتر دیواره در اثر اضافه کردن زیر بالشتک‌ها و انحراف آنها از هر بالشتک به صورت منظم صورت می‌گیرد (شکل ۱). در ابزار FMI تعداد کل گیرنده‌ها به ۱۹۲ عدد افزایش یافته که نمونه‌برداری از سازند با پوششی حدود دو برابر نسبت به FMS انجام می‌گیرد. مزیت دیگر FMI بر FMS این است که قابل ترکیب با دیگر ابزارهای نمودارگیری است (دیماکو و کلیر، ۲۰۰۳). از ابزار FMI در حالت بحرانی (در شرایطی که نیاز به افزایش پوشش بیشتری از دیواره چاه داریم) استفاده می‌شود.

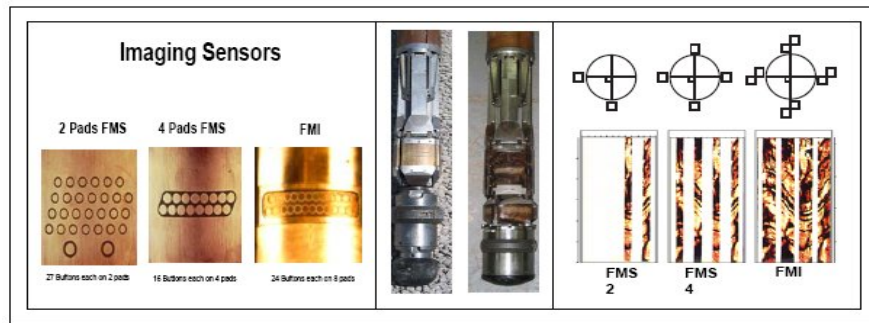
وجود شکستگی‌ها (شکاف‌ها) ممکن است باعث نابهنجاری‌های کوچک یا بزرگ در نمودارها باشد. این گونه نابهنجاری‌ها ممکن است روی نمودارهای گوناگون تاثیر بگذارند ولی تاثیر آنها روی نمودارها، متفاوت است (سرا و همکاران، ۱۹۸۰؛ مارتینز تورز، ۲۰۰۲). در تحلیل نمودارها برای تعیین شکستگی‌ها باید به چند نکته مهم توجه کرد:

۱. هیچ‌کدام از ابزارها منحصراً نمی‌توانند وجود شکستگی‌ها را به‌طور واقعی مشخص کنند (مگر تصویرگرها).

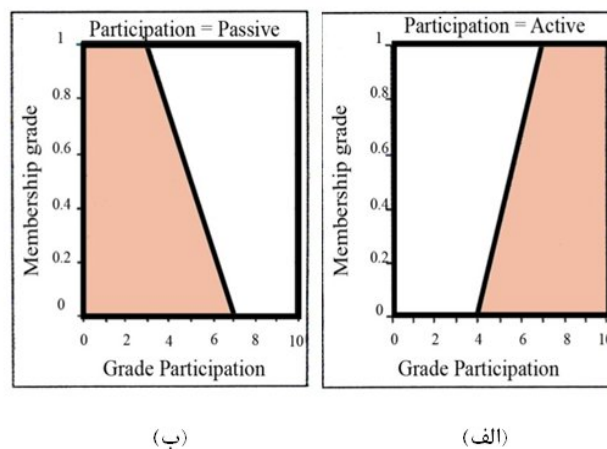
۲. نمودارهای متداول فقط به صورت غیرمستقیم تاثیر شکستگی‌ها را نشان می‌دهند و این تاثیر را می‌توان با روش منطق فازی آشکارسازی نمود.

۳. واکنش‌های غیر طبیعی نمودارها ممکن است نتیجه عواملی غیر از شکستگی‌ها باشد که در این صورت باید برحسب مورد بررسی شوند.

۴. در صورتی که تصویرگرها در یک ناحیه از چاه تهیه نشده باشند، روش منطق فازی برای تعیین شکاف‌ها



شکل ۱. مقایسه کلی بین ابزارهای FMS و FMI.



شکل ۲. توابع عضویت برای نمره دادن به ارزش متغیرها در هر آزمایش، (الف) نمره بالا و (ب) نمره پائین.

الف: هرگاه احتمال شکستگی در ناحیه مورد آزمایش از نمودارهای گاما و SP بالا باشد، ضریب آشکارساز شکستگی برابر با یک فرض می‌شود (شکل ۳-الف).

ب: هرگاه احتمال شکستگی در ناحیه مورد آزمایش از نمودارهای مقاومت ویژه الکتریکی (LLD, LLM) پائین و میکرو کروی قطبی شده (MSFL) نیز بالا باشد، ضریب آشکارساز شکستگی برابر با یک فرض می‌شود (شکل ۳-ب).

ج: هرگاه احتمال شکستگی در ناحیه مورد آزمایش از نمودار قطریاب (HDM) پائین و نمودار صوتی (BHCS) بالا باشد، ضریب آشکارساز شکستگی برابر با یک فرض می‌شود (شکل ۳-ج).

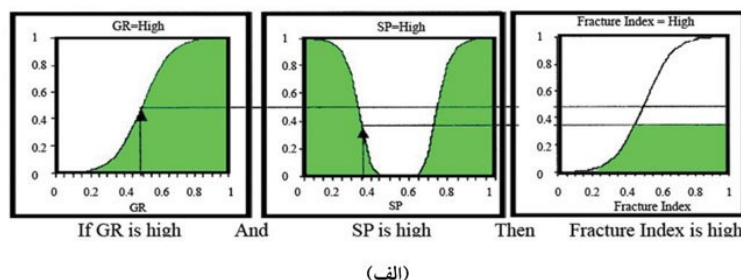
۵. در این مرحله تعداد روابط مورد نیاز برای تعیین متغیرهای خروجی از همه متغیرهای ورودی مشخص می‌شوند.

۶. در مرحله بعدی ماتریس $S_{(m \times n)}$ برای این منظور طراحی می‌شود که در آن m تعداد ریزگروه‌های منطق فازی برای متغیرهای ورودی و n تعداد متغیرهای ورودی است.

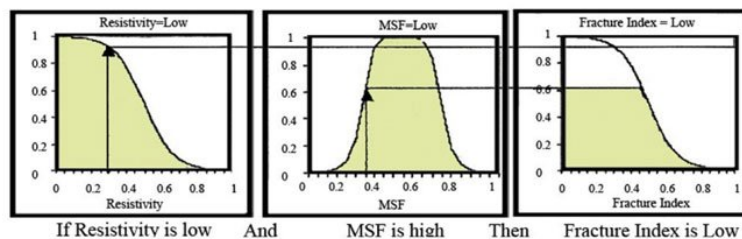
در کاربرد الگوریتم‌های فوق این روش فقط در تعیین قوانین مربوط به تاثیر نمودارها در نواحی شکاف‌دار به کار گرفته می‌شود (شکل ۳). در الگوریتم منطق فازی برای تعیین شکستگی‌ها از نمودارهای چاه قوانین زیر به کار گرفته شد (پیران، ۲۰۰۷).

سامانه‌ی پیوسته‌ی منطق فازی (FLIS) مورد پردازش قرار گرفت (پیران، ۲۰۰۷). بعد از پردازش نمودارها، تابع عضویت آنها تعریف شد تا شاخص شکستگی‌ها مشخص گردد (باسیونی، ۱۹۹۴). سپس شاخص شکستگی‌ها با نمودارهای چاه و تصویرگرها همبسته گردید و مورد مقایسه قرار گرفت.

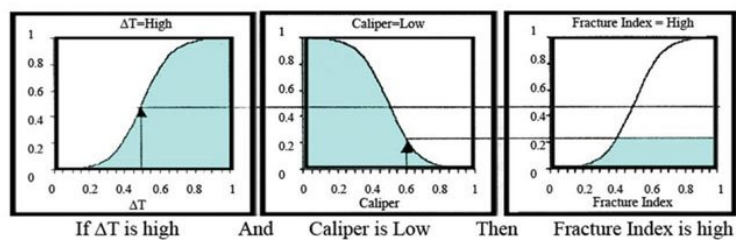
د: در صورتی که منطق فوق در گروه‌های سه گانه از نمودارها تأیید نشود، ضریب احتمال شکستگی در ناحیه صفر در نظر گرفته می‌شود. در این بررسی از مجموعه‌ی کاملی از نمودارهای متداول (fullset) برای تعیین شاخص شکستگی‌ها استفاده گردید. برای رسیدن به این هدف چندین نمودار در



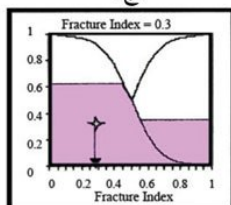
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۳. تحلیل نمودارها در سامانه تداخل فازی (FIS). (الف) GR و SP بالا یعنی احتمال شکستگی بالا، (ب) مقاومت ویژه الکتریکی پائین (Rt) و میکرو (MSF) پائین یعنی احتمال شکستگی پائین، (ج) کندی بالا و قطر یاب پائین یعنی احتمال شکستگی بالا و (د) تعیین ضریب شکستگی.

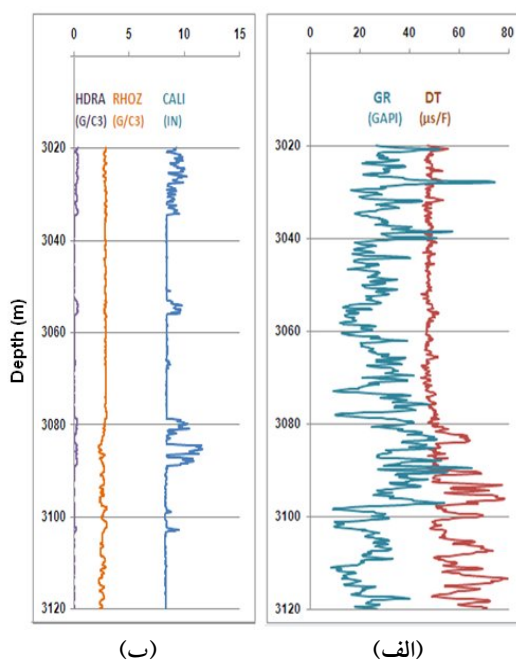
حذف چرخه (Cycle Skipping) واضح نیست. همچنین نمودار گاما در شکل ۴-الف آورده شده که این نمودار به‌تنهایی آشکارساز مناسبی برای تعیین شکستگی‌ها نیست. دامنه‌های مشخص شده در این نمودار در فواصل ۳۰۸۰ - ۳۰۹۵ متر ممکن است به‌علت وجود لایه‌های نازک شیلی باشد. نمودار قطریاب در شکل ۴-ب نشان می‌دهد که این چاه در این ناحیه دارای قطر زیادی است. تلفیق نمودارها نشان می‌دهند که چاه هیچ‌گونه تغییر قطری در فواصل بین ۳۰۳۵ - ۳۰۵۰ متر و بین ۳۰۶۰ - ۳۰۷۵ متر وجود ندارد. همچنین شکل ۴-ب نمودارهای چگالی و تصحیح چگالی را نشان می‌دهد. نمودار چگالی تقریباً مقدار ثابتی در فاصله بین ۳۰۲۰ - ۳۰۸۰ متری را نشان می‌دهد. اما نمودار تصحیح چگالی نابهنجاری بیشتری را در فاصله ۳۰۲۰ - ۳۰۸۰ متری و بین ۳۰۵۰ - ۳۰۵۵ متری را نشان می‌دهد.

۳ کاربرد الگوریتم منطق فازی برای تحلیل شکستگی‌ها به‌منظور استفاده از الگوریتم منطق فازی، باید چندین نمودار برای تعیین شکستگی‌ها موجود باشد. معمولاً این‌گونه نمودارها برای بررسی موردی کمیاب هستند. به همین منظور با بررسی‌های به‌عمل آمده مشخص گردید که نمودارهای یکی از چاه‌های موجود برای این منظور مناسب‌تر است که در جدول ۱ آورده شده است.

مجموعه کامل نمودارها با استفاده از نرم‌افزار RockLog مورد پردازش و آماده‌سازی قرار گرفت (قاسم‌العسکری، ۲۰۰۵). ابتدا منطقه مورد مطالعه در مقایسه با تصویرگرها انتخاب و سپس برای آشکارسازی، فاصله عمقی بین ۳۰۲۰ - ۳۱۲۰ متری تعیین شد. نمودارها در این فاصله در شکل‌های ۴ و ۵ آورده شده‌اند. شکل ۴-الف نمودار صوتی را نشان می‌دهد که در این نمودار

جدول ۱. نمودارهای موجود برای چاه X-9.

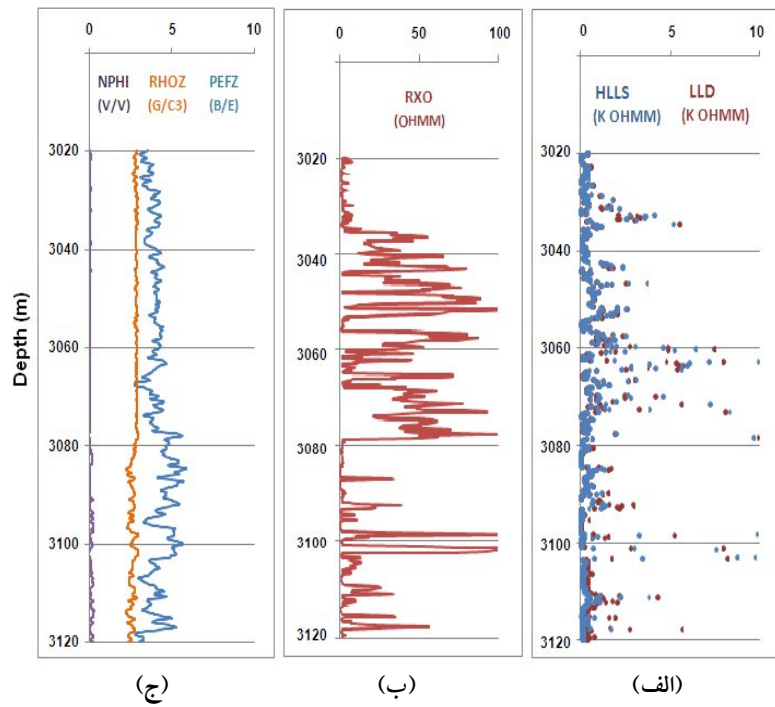
ردیف	علائم شاخص شکستگی‌ها	نمودار
۱	افزایش قطر چاه ممکن است به‌علت حضور شکستگی‌ها باشد	کالیپر
۲	پرتو گاما به‌تنهایی آشکارساز مناسبی برای تعیین شکستگی‌ها نیست	پرتو گاما
۳	شکاف‌های باز حاوی سیالات حفاری ممکن است باعث کاهش چگالی شوند	چگالی
۴	یکی از بهترین آشکارسازهای شکستگی در میان سایر نمودارها است	تصحیح چگالی
۵	آشکارساز مفیدی برای تعیین شکستگی‌ها است	شاخص فتوالکتریک
۶	سیکل جهشی نمودارها ممکن است دلیل وجود شکستگی‌ها باشد	نمودار صوتی
۷	آشکارسازی شکستگی‌ها زمانی میسر خواهد بود که مقاومت ویژه الکتریکی کمی وجود داشته باشد	نمودارهای مقاومت ویژه الکتریکی
۸	در حضور شکستگی‌ها این نمودار اغلب رفتار غیرعادی از خود نشان می‌دهد	Rxo



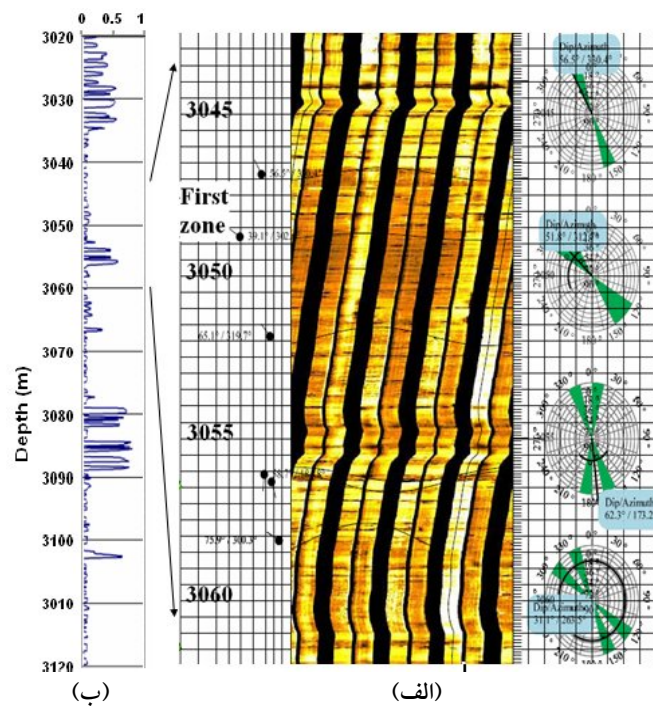
شکل ۴. نمودارهای موجود برای تعیین محل شکستگی‌ها در فواصل بین ۳۰۲۰ تا ۳۱۲۰ متر، (الف) صوتی و گاما و (ب) قطریاب، چگالی و چگالی تصحیح شده.

نمودارها، شاخص شکستگی را در فاصله بین ۳۰۵۰ - ۳۰۶۰ متری نشان می‌دهند که تحلیل مغزه‌ها در این فاصله‌ها بیانگر شکستگی‌های افقی و شکستگی‌های پر شده با بلورهای ریز دولومیتی و اشباع شده است (شکل ۶). همچنین در فاصله بین ۳۰۸۰ - ۳۰۹۰ متری شکستگی‌هایی وجود دارد که مربوط به دولومیت‌ها است. ضمناً شاخص شکستگی بالا وجود شکستگی‌های باز را نشان می‌دهد (شکل ۷). در شکل‌های ۶ و ۷ شکستگی‌های مشاهده شده در نمودارهای تصویرگر، تطابق نسبتاً خوبی را با داده‌های مغزه دارند. البته در قسمت انتهایی این محدوده در مغزه‌ها شکستگی‌ها مشخص نیست، در صورتی که در نمودار تصویری (شکل ۸) شکستگی‌هایی مشاهده شده‌است. این نبود تطابق به دلیل ماکروسکوپی بودن شکستگی‌هایی است که احتمالاً در درون مغزه‌ها وجود دارند و فقط با تصویرگرها قابل مشاهده اند (شکل ۸).

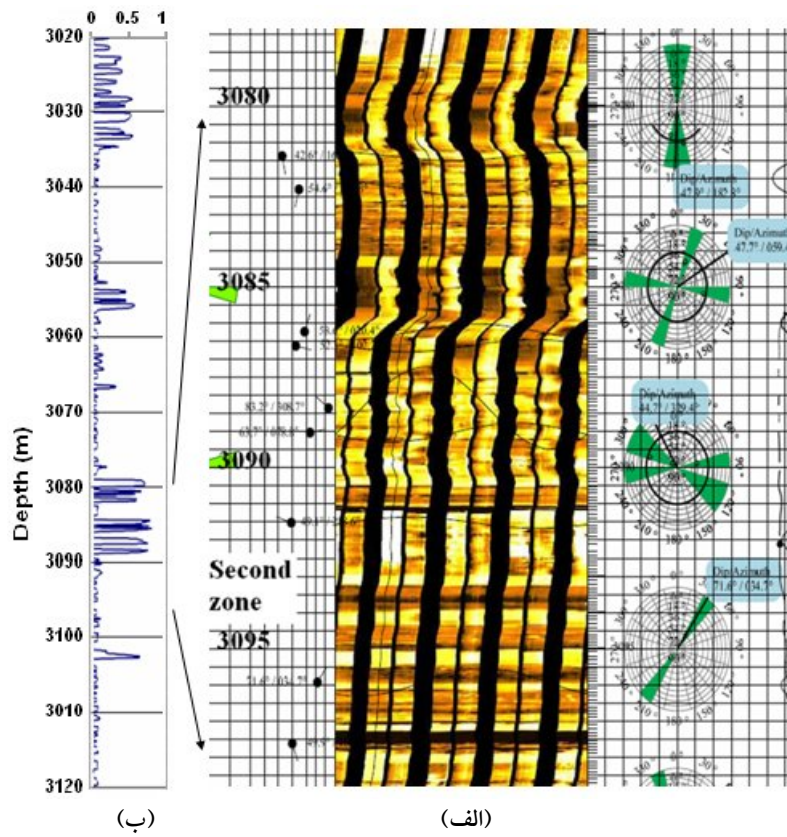
نمودارهای LLS و LLD در شکل ۵-الف مشخص شده‌اند. این نمودارها بی‌هنجاری زیادی را در فاصله بین ۳۰۲۰ - ۳۰۸۰ متری و بین ۳۰۹۰ - ۳۱۰۵ متری را نشان می‌دهند که ممکن است به علت وجود زون‌های گازی یا زون‌های دارای شکستگی باشد. شکل ۵-ب نمودار مقاومت ویژه الکتریکی ناحیه اشغال شده (RxO) در فاصله ۳۰۷۵ - ۳۱۲۰ متری را نشان می‌دهد که دارای کاهش ناگهانی است. نمودارهای ثابت فتوالکتریک و تخلخل نوترونی در شکل ۵-ج آورده شده است. درصد تخلخل نوترونی در فاصله بین ۳۰۲۰ - ۳۰۸۰ متری بسیار کم است. برای هفت نمودار ذکر شده در سامانه‌ی پیوسته‌ی منطق فازی، تحلیل شکستگی‌ها صورت گرفت که رابطه‌ی بسیار خوبی بین الگوی شکستگی‌ها و گزارشات مغزه‌ها به دست آمد (شکل ۶ و جدول ۲). در فاصله‌های ۳۰۳۵ - ۳۰۵۰ متری تحلیل مغزه‌ها انیدریت توده‌ای بدون تخلخل را نشان می‌دهد. بین فاصله ۳۰۵۰ - ۳۰۸۰ متری تحلیل مغزه‌ها بیانگر سامانه‌ی غیر تخلخلی و نبود سیال است. همه



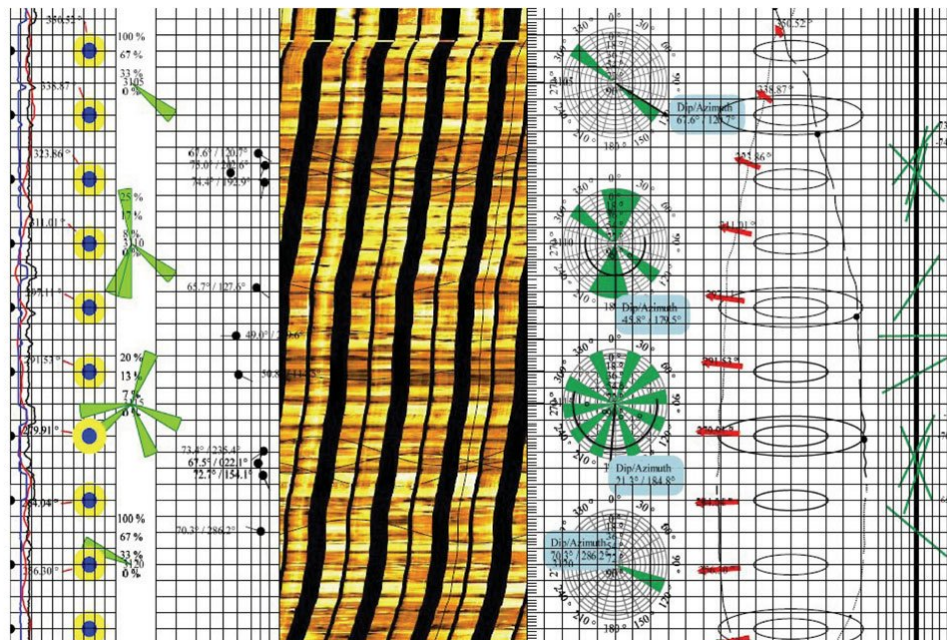
شکل ۵. نمودار موجود برای تعیین محل شکستگی‌ها در فواصل بین ۳۰۲۰ - ۳۱۲۰ متر، (الف) مقاومت ویژه الکتریکی کم عمق و مقاومت ویژه عمیق، (ب) مقاومت ویژه الکتریکی ناحیه اشغال شده و (ج) شاخص فتوالکتریک، چگالی و تخلخل نوترونی.



شکل ۶. نمودار شاخص شکستگی: زون اول در فواصل بین ۳۰۴۴ - ۳۰۶۰ متر، (الف) تصویرگر FMI و تحلیل‌های مربوط به آن و (ب) اندیکس شکاف‌ها.



شکل ۷. نمودار شاخص شکستگی: زون دوم در فواصل بین ۳۰۸۰ - ۳۰۹۷ متر، (الف) تصویرگر FMI و تحلیل‌های مربوط به آن و (ب) اندیکس شکاف‌ها.



شکل ۸. در فاصله انتهایی تصویرگر چاه X-9 شکستگی‌هایی مشاهده شد که تحلیل مغزه‌ها آنها را نشان نمی‌دهد.

جدول ۲. تحلیل مغزه‌های چاه مورد بررسی (X-9).

شماره مغزه‌ها	عمق مغزه‌گیری (متر)	سنگ‌شناسی مغزه	بافت سنگ	تحلیل شکاف‌ها و شکستگی‌ها
۱	۳۰۱۶/۹۶	دانه‌سنگ دولومیتی همراه با انیدریت	نودولی و متبلور شده	چند شکستگی مورب، زون-۱
۲	۳۰۲۶/۱	دولومیتی-آهکی همراه با رس و سنگ رس دولومیتی شده	بین‌لایه‌ای، لایه‌ای و نودولی	شکستگی مشاهده نشده
۳	۳۰۳۵/۲۴	انیدریت فشرده همراه با دولومیت بین‌دانه‌ای	جور شده و لایه‌ای	شکستگی مشاهده نشده
۴	۳۰۴۴/۳۸	انیدریت فشرده و نودولی همراه با دولومیت بین‌دانه‌ای	فشرده و نودولی	شکاف‌های باز، زون-۲
۵	۳۰۵۴	دولومیت همراه با کمی انیدریت	نودولی و متبلور شده	شکستگی‌های پر شده، زون-۳
۶	۳۰۶۱/۹۴	دولومیت فشرده و متبلور همراه با کمی انیدریت	نودولی و لایه‌ای	شکستگی مشاهده نشده
۷	۳۰۷۱/۰۸	دولومیت فشرده و متبلور همراه با کمی انیدریت	نودولی	شکستگی مشاهده نشده
۸	۳۰۸۰/۲۲	دولومیت متبلور-ماسه‌سنگ رسی همراه با کمی انیدریت	نودولی و متبلور شده	شکستگی‌های میکروسکوپی، زون-۴
۹	۳۰۹۸/۳۵	سنگ آهک-رس سنگ	بین‌لایه‌ای، متبلور شده و نودولی	شکستگی رویت نشده
۱۰	۳۱۰۷/۶۴	دانه سنگ دولومیتی	متبلور شده و ارژیلی (رسی)	شکستگی مشاهده نشده
۱۱	۳۱۱۶/۷۸	رس سنگ دولومیتی متبلور شده	نودولی، میکروسکوپی متبلور	شکستگی مشاهده نشده
۱۲	۳۱۲۶/۵	دانه‌سنگ آهکی متبلور شده	نودولی، میکروسکوپی متبلور و لایه‌ای میکروسکوپی	شکستگی مشاهده نشده

۴ نتیجه‌گیری

که گاهی می‌توان نمودارها را برای تشخیص شکستگی‌ها به کار برد. به‌طور کلی در این بررسی با تحلیل نمودارها از طریق الگوریتم منطق فازی در مقایسه با مغزه‌ها و تصویرگرها، نتایج قابل قبولی به‌دست آمد. در نتیجه روش منطق فازی می‌تواند اطلاعات نمودارها را یکپارچه کند و به‌صورت یک نمودار به‌نام نمودار شاخص شکستگی‌ها

نمودارها به‌تنهایی نمی‌توانند ابزارهای قابل اعتمادی برای تعیین شکستگی‌ها در نزدیکی دیواره چاه باشند. اما تحلیل نمودارها با روش منطق فازی و مقایسه با تصویرگرها در محدوده‌ی نمونه‌گیری مغزه‌ها در این تحقیق حضور شکستگی‌ها را مشخص نمود. این تحقیق مشخص نمود

- 2007, Contribution of borehole digital imagery in Core-Log-Seismic integration: Scientific Drilling, **5**, 50-53.
- Ghassem Alaskari, M. K., 2005, NIDC: RockLog Package Petroleum University of Technology, PUT, Ahwaz, Iran.
- Martinez Torres, L. P., 2002, Characterization of naturally fractured reservoirs from conventional well logs: Master's Thesis, University of Oklahoma.
- Ouenes, A., 2000, Practical application of fuzzy logic and neural networks to fractured reservoir characterization: Computers & Geosciences, **26**, (8), 953-962
- Piran, M. D., 2007, Fractured reservoir analysis using well logs, seismic parameters and core samples: M.S. Thesis, Petroleum University of Technology (PUT), Ahwaz, Iran.
- Serra, O., Baldwin, J. L., and Quirein, J. A., 1980, Theory, interpretation and practical application of natural gamma ray spectroscopy: presented at the 21st Society of Professional Well Log Analysts Logging Symposium, 1-130.
- Strobl, R., Ray, S., Shang, R. Y., and Shields, D., 2009, The value of dipmeters and borehole images in oil sands deposits - A Canadian Study: Frontiers + Innovation, CSPG CSEG CWLS Convention. Calgary. Alberta, Canada, 198-204.

معرفی نماید. بدین ترتیب ضریب همبستگی خوبی بین مشخصه‌های موجود (جدول ۱)، اطلاعات مغزه‌ها (جدول ۲) و نمودارها (شکل‌های ۳ و ۴) به دست آمد. ضمناً در مقایسه با تصویرگرها (شکل‌های ۵ تا ۸) نشان داده شد که روش منطق فازی برای تعیین شکاف‌ها، روش غیر مستقیم مناسبی است. ضمناً اگر شرایط برای استفاده از همه‌ی نمودارها موجود باشد، نمودارها را می‌توان مکمل خوبی برای اطلاعات مغزه به حساب آورد و این موجب کامل شدن اطلاعات دیواره چاه و در عین حال کاهش هزینه‌های مغزه‌گیری خواهد شد.

منابع

- Bassiouni, Z., 1994, Theory measurement and interpretation of well logs: Society of Petroleum Engineers, SPE Textbook, **4**, 384 pp.
- Demicco, R., and Klir, G., 2003, Fuzzy logic in geology, Geological sciences and environmental studies: State University of New York, Binghamton, New York.
- Gaillot, Ph., Brewer, T., Pezard, Ph., and Yeh, E.,