



ارائه استراتژی شناسایی و مدلسازی توأمان شکستگی‌ها به کمک نمودار FMI و داده‌های لرزه‌ای در فرایند زون‌بندی مخزن در یکی از میادین جنوب ایران

ایمان صمدی^{۱*}، مهرداد سلیمانی‌منفرد^۲، معصومه کردی^۳، امیر احمدی^۴

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد، مهندسی اکتشاف نفت، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۲. عضو هیات علمی دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود

۳. عضو هیات علمی دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

۴. کارشناس شرکت نفت فلات قاره ایران

دریافت دست‌نوشته: ۱۳۹۷/۰۶/۰۵ پذیرش دست‌نوشته: ۱۳۹۸/۰۶/۲۴

(DOI):10.22107/jpg.2019.145482.1068

چکیده

واژگان کلیدی

تعیین زون‌های شکستگی در ارزیابی ذخایر هیدروکربوری بسیار مهم است. شکستگی یکی از مهم‌ترین پدیده‌های زمین‌شناسی مخصوصاً در مخازن کربناته است که تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد. ابزارهای تصویرگر از قبیل *FMI (Formation Micro Imager)* با قدرت تفکیک مناسب در آشکارسازی شکستگی‌ها، می‌توانند در فهم بهتر شکستگی‌های مخزن مؤثر واقع شوند. یکی از کاربردهای اصلی لاگ *FMI* آشکارسازی شکستگی -

مدلسازی توأمان، زون‌بندی مخزن، الگوریتم مورچگان، پارامترهای ژئومکانیکی،

نمودار FMI

های طبیعی باز و بسته است. وجود شکستگی‌های باز در یک مخزن می‌تواند با ایجاد یک محیط با تراوایی بالا به‌عنوان یک محیط هادی جریان سیال عمل نماید و بالعکس وجود شکستگی‌های بسته می‌تواند مانع حرکت سیال گردد. در این تحقیق با استفاده از نمودارهای تصویری *FMI* شکستگی‌های موجود در سازند سورمه در دو چاه، شناسایی و مورد بررسی قرار گرفت. سپس با استفاده از داده‌های مربوط به شکستگی‌ها، لاگ تجمعی و لاگ شدت شکستگی تولید شد. با توجه به میزان شدت شکستگی‌ها در یک فاصله از عمق و تغییرات شیب نمودار تجمعی زون‌بندی انجام شد و با بزرگ‌نمایی لاگ شدت شکستگی در چاه موردنظر و با بررسی آن‌ها چهار زون مختلف شکستگی، شناسایی و تعیین شد. در این بین زون شکستگی ۲ دارای بیشترین شدت شکستگی است که می‌تواند به‌عنوان زون هدف برای تولید و بهره‌برداری مورد مطالعه بیشتری قرار گیرد.

۱. پیش‌گفتار

هیدروکربور داشته باشند. هندسه شکستگی در میزان نفوذپذیری توده‌های سنگی شکافدار تأثیر زیادی دارد (Rezaee & Chehrizi, 2005). این شکستگی‌ها ممکن است باز بوده یا به وسیله سیمان بسته شده باشند؛ به همین دلیل ممکن است به صورت محیطی برای جریان سیال یا به صورت مانعی در جهت عبور سیال عمل نمایند. شکستگی‌های باز به دلیل ایجاد شبکه‌ای از کانال‌های جریان، مجاری اصلی عبور سیال محسوب می‌شوند و نقش عمده‌ای در میزان تولید مخازن بر عهده دارند. برای مثال چنانچه نفوذپذیری و تخلخل سنگ زمینه در مقایسه با نفوذپذیری و تخلخل شکستگی‌ها ناچیز باشد، عملاً شکستگی‌ها نقش اول را در تولید هیدروکربور از مخزن دارند و مشخصات هندسی این

شکستگی‌های طبیعی نقش قابل توجهی در جریان سیال در مخازن شکافدار طبیعی ایفا می‌کنند. از دیدگاه زمین‌شناسی نفت شکستگی‌ها، بریدگی‌های طبیعی صفحه‌ای هستند که در اثر تغییر شکل سنگ‌ها توسط نیروهای تکتونیکی و یا طی فرایندهای دیاژنزی در سنگ‌ها به وجود می‌آیند (Nelson, 2001). از آنجایی که اکثر مخازن، دارای تراوایی زمینه پایین بوده لذا شکستگی‌ها اصلی‌ترین محیط انتقال سیال به حساب می‌آیند. به‌طور کلی، هیدروکربورها عمدتاً در تخلخل زمینه تجمع یافته‌اند و از طریق گذرگاه‌های تراوا از شکستگی‌ها به سمت چاه‌های تولیدی انتقال می‌یابند. سیستم‌های شکستگی همچنین می‌توانند نقش مهمی در تخلخل سنگ و ذخیره

تراکم بالای شکستگی‌های باز بود را توسط لاگ تصویری شناسایی و اندازه‌گیری کردند. خوشبخت و همکاران (2012, *Khoshbakht et al.*) به بررسی توانایی نگارهای تصویری در شناسایی شکستگی‌ها و سایر مشخصات زمین-شناسی در مخازن کربناته پرداخته و تطبیق بین نگارهای تصویری و مغزه را تشریح نمودند. بایتوک و پرانتر (2013, *Pranter &*) با استفاده از لاگ *FMI* لاگ شدت شکستگی را تولید و با کمک لاگ تجمعی زون‌های شکسته یک مخزن ماسه‌سنگی را شناسایی کردند. عقلی و همکاران (2014, *Aghli et al.*) با استفاده از لاگ‌های تصویری به تحلیل ساختمانی و شکستگی‌های مخزن آسماری پرداختند. زحمتکش و همکاران (2015, *Zahmatkesh et al.*) موفق به تجزیه و تحلیل شکستگی‌ها در سازند آسماری میدان مارون شدند. آن‌ها با استفاده از لاگ *FMI* به تشخیص و تفسیر شکستگی‌ها پرداختند و با کمک روش‌های مکمل ملند لاگ‌های پتروفیزیکی صحت نتایج به دست آمده را بررسی کردند. عقلی و همکاران (۱۳۹۵) با کمک لاگ‌های پتروفیزیکی از جمله لاگ چگالی، صوتی و تخلخل توانستند زون‌های شکسته را شناسایی کنند.

هدف اصلی این پژوهش تعیین دقیق شکستگی‌ها، جهت شیب و امتداد شکستگی‌ها در زون مخزنی است. برای این منظور نمودارهای تصویری برداشت شده از چاه‌های میدان مورد مطالعه تفسیر و شکستگی‌های موجود در آن‌ها شناسایی می‌شود. سپس شکستگی‌های موجود از نظر نوع، شیب، جهت شیب، امتداد و فراوانی آنالیز شده و تحلیل آماری بر روی آن‌ها صورت می‌گیرد. در ادامه نمودار شدت شکستگی تولید و سپس در بلوک‌های دیواره چاه بزرگ مقیاس می‌شوند. در آخر با توجه به شدت شکستگی‌ها و نمودار تجمعی، زون مخزنی به زون‌های شکستگی تقسیم‌بندی می‌شود که با این کار می‌توان زون هدف را برای بهره‌برداری، توسعه و مدیریت مخزن شناسایی کرد.

۲. میدان مورد مطالعه

میدان نفتی مورد مطالعه در خلیج فارس قرار گرفته است. ساختمان میدان مورد مطالعه یک ساختمان حاصل از فعالیت دیابایرسم است و به صورت گنبدی شکل متمایل به بیضی است و محور آن تقریباً شمال شرقی - جنوب غربی است، که

شکستگی‌ها مبین کیفیت و کمیت تولید است و بر این اساس باید با دقت زیاد نسبت به آشکارسازی و شناسایی ویژگی‌های ذاتی شکستگی‌های مؤثر پرداخت (2001, *Nelson*). در مخازن با شکستگی‌های زیاد، ویژگی‌هایی مثل شدت شکستگی و جهت‌گیری آن‌ها از جنبه‌های اقتصادی توسعه‌ی مخزن حائز اهمیت هستند، که این موضوع اغلب به خاطر اثری است که بر تراوایی سنگ مخزن می‌گذارد. برای این منظور با تعیین زون‌های شکستگی بر مبنای فراوانی شکستگی‌ها می‌توان ویژگی‌های شکستگی‌ها را در هر زون مورد بررسی قرار داد. از آنجایی که هدف نهایی از مطالعه شکستگی‌ها در مطالعه یک مخزن، بررسی نقش و میزان اثرگذاری آن‌ها در تولید است، در این پژوهش سعی شده بیشتر شکستگی‌های باز مورد بررسی قرار گیرند. برای شناسایی شکستگی‌ها در مخازن، از توصیف مغزه‌ها، چاه-آزمایی، جریان سنج، پیمایش حرارتی، نگارهای تولید، هرزروی گل، نگارهای چاه‌پیمایی و نگارهای تصویری استفاده می‌شود. معمول‌ترین روش شناسایی شکستگی‌ها در اطراف دیواره چاه، مغزه‌ها هستند ولی با توجه به محدودیت‌های اساسی مغزه-های حفاری از جمله هزینه بالای تهیه مغزه، جهت‌دار نبودن و بازیابی پایین آن در زون‌های شکسته، نگارهای تصویری ابزار مفیدتری برای مطالعه شکستگی‌ها هستند (2009, *et al.*). از آنجا که قدرت تفکیک‌پذیری لاگ *FMI* در حد یک دهم اینچ است، می‌توان درصد بسیار زیادی از شکستگی‌ها را بررسی نمود و شیب و جهت شیب شکستگی‌ها را محاسبه کرد.

در سالیان گذشته مطالعاتی بر روی شناسایی و تحلیل شکستگی‌های مخزن انجام شده است. رضایی و همکاران (2004, *Rezaee et al.*) رابطه بین انحنا سازند آسماری و سیستم شکستگی را با استفاده از نگارهای تصویرگر مورد بررسی قرار دادند. تخم‌چی و همکاران (2010, *Tokhmchi et al.*) در یک روش جدید با استفاده از لاگ‌های پتروفیزیکی به تخمین تراکم شکستگی در نواحی شکست خورده سازند آسماری پرداختند. ینوگو و همکاران (2011, *Yenugu et al.*) مطالعات خود را بر روی سنگ آهک می‌سی‌سی‌پی و مخازن چرت سه‌گانه آغاز کردند. از آنجایی که تعداد و جهت‌گیری شکستگی‌های باز می‌تواند در موفقیت چاه‌های افقی برای تولید بیشتر بسیار مؤثر باشد؛ آن‌ها زون‌هایی که دارای

ارائه استراتژی شناسایی و مدلسازی توأمان شکستگی‌ها به کمک نمودار *FMI* و داده‌های لرزه‌ای در فرایند زون‌بندی مخزن ...

پرداخته شده است.

۱.۳ تعیین شکستگی‌های مخزن در چاه 2S-50

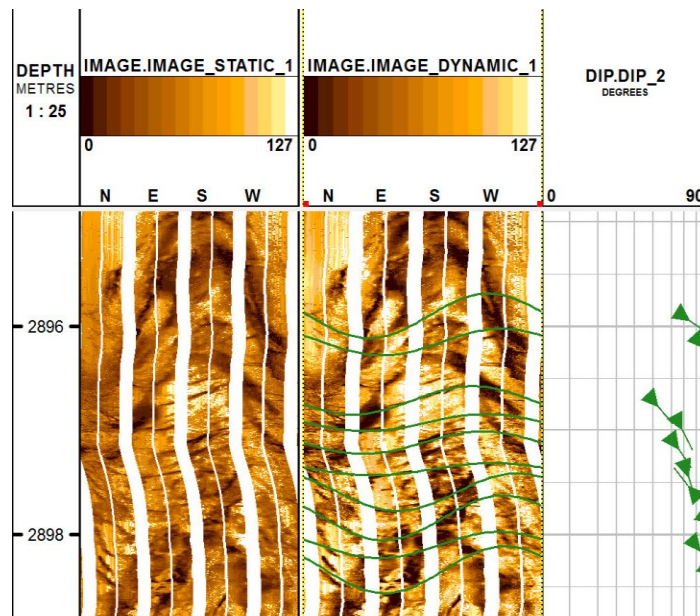
این چاه با حداکثر انحراف ۷۶ درجه به سمت شمال‌غربی در میدان مورد مطالعه حفر گردیده است. لاگ تصویرگر *FMI* در سال ۲۰۱۰ میلادی در این چاه رانده شد. با توجه به عمق نمودارگیری، محدوده مورد مطالعه در این تحقیق از عمق ۲۷۵۴ تا ۳۱۷۵ متری در نظر گرفته شده است. یکی از مهم‌ترین اهداف لاگ مذکور، پردازش و تفسیر مشخصات شکستگی‌های موجود در سنگ‌های کربناته است که می‌توان به مهم‌ترین آن‌ها به شرح ذیل اشاره نمود:

با توجه به لیتولوژی غالب (دولومیت) در زون مخزنی این چاه، شکستگی‌های باز و رسانا در اکثر فواصل نمودارگیری توسعه یافته‌اند. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، شکستگی‌های مشاهده شده در تصویر سمت چپ (خطوط سینوسی نازک تیره)، در تصویر سمت راست با انتخاب دستی آن‌ها به‌عنوان شکستگی باز به‌صورت منحنی سینوسی سبز رنگ، به همراه شیب و جهت شیب آن‌ها مشخص گردیده است.

احتمالاً مربوط به حرکت گسل‌های عمیق پی‌سنگی و نفوذ و فشار نمک به بالا است. طول تقریبی قطر بزرگ حدود ۱۴ کیلومتر و قطر کوچک آن حدود ۱۲ کیلومتر است. فعالیت کوهزایی هرسنین پسین علاوه بر حرکات ناحیه‌ای، حرکات بالارو محلی در هر دو قسمت شرقی و غربی حوضه نمکی (سری هرمز) حاصل نموده است که باعث تولید ساختمان‌هایی مانند ساختمان میدان مورد مطالعه شده‌اند. این میدان در افق‌های شعیبا (داریان)، بوئیب (گدوان)، عرب (سورمه)، خوف (کنگان و دالان) دارای پتانسیل نفت و گاز می‌باشد. در این پژوهش سازند عرب به عنوان افق مخزنی هدف، مورد مطالعه قرار گرفته است. این سازند بیشتر از دولومیت و میان لایه‌های آهک همراه با لایه‌های نازک انیدریت تشکیل شده است.

۳. تحلیل شکستگی‌ها

تجزیه و تحلیل شکستگی‌ها با کمک نمودار تصویرگر *FMI* یکی از اهداف اصلی این پژوهش است. با توجه به قدرت تفکیک‌پذیری بالای تصویرگر *FMI*، درصد بالایی از شکستگی‌ها بر روی آن قابل تشخیص است که می‌توان شیب و آزیموت آن‌ها را به دست آورد. در این بخش به تحلیل داده‌های شکستگی‌های ثبت شده توسط نمودارهای تصویری

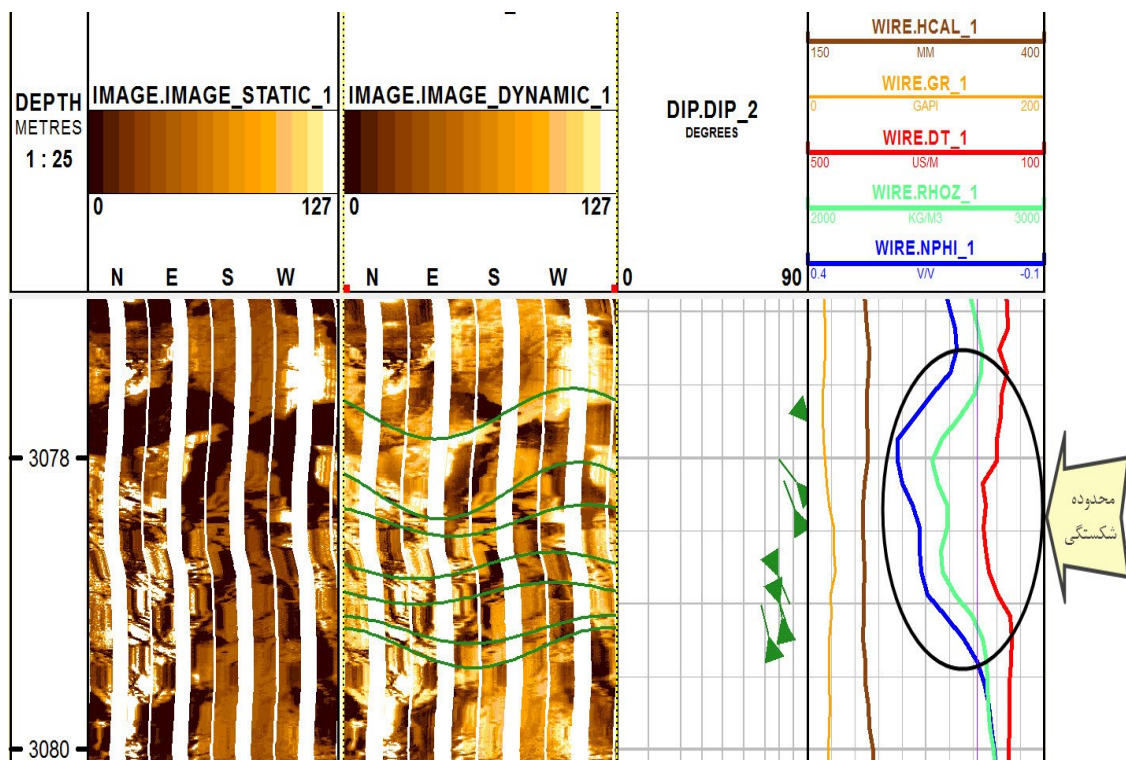


شکل ۱. نمایش نمونه‌ای از شکستگی‌های باز در تصویر *FMI* در چاه 2S-50 به همراه شیب و جهت شیب آن‌ها

مخصوصاً اگر شکستگی‌ها از نوع باز باشند. روشن است که در موقعیت زون‌های شکسته می‌بایست انتظار افزایش زمان رسیدن موج را داشت (Darling, 2005). در اینجا نمودار صوتی (DT) در مقابل محدوده شکستگی‌ها روند افزایشی از خود نشان می‌دهد (شکل ۲).

چگالی لایه‌ها که در حال حفاری هستند به صورت پیوسته با استفاده از ابزار چگالی ثبت می‌شود. انتشار اشعه گاما از طریق یک منبع (که متصل به ابزار است) صورت می‌گیرد و هرگونه تغییر در ارتعاشات مربوط را ثبت می‌کند، که تغییرات آن بستگی به چگالی سنگ دارد. منحنی چگالی با تغییرات زیاد می‌تواند گواه وجود شکستگی باشد و به عنوان یکی از ابزارهای مفید در تشخیص شدت شکستگی‌ها به کار رود. در اینجا نمودار چگالی (RHOZ) در محدوده شکستگی‌ها روند کاهشی از خود نشان می‌دهد که این نشان‌دهنده کاهش چگالی و در نتیجه افزایش وجود شکستگی در محدوده‌ی مشخص شده است (شکل ۲).

در نهایت پس از مطالعه و بررسی دقیق لاگ تصویری موردنظر مجموعاً ۱۳۱ شکستگی باز در چاه مورد مطالعه تشخیص داده شد، که بیشترین تعداد شکستگی در اعماق ۲۸۸۲، ۲۸۹۷، ۲۹۴۶، ۲۹۶۲، ۳۰۷۸ و ۳۰۸۸ متری دیده می‌شود. از آنجایی که ابزارهای نمودارگیری تخلخل (چگالی، نوترون و صوتی) ابزارهای توانمندی برای شناسایی شکستگی‌ها و همچنین ارزیابی تخلخل ثانویه هستند، می‌توان با کمک آن‌ها به صحت شکستگی‌های تشخیص داده شده روی لاگ FMI پی برد (شکل ۲). با توجه به اینکه شکستگی‌های تشخیص داده شده از نوع باز هستند، انتظار افزایش میزان سیال درون سازندی و افزایش سیال حفاری می‌رود؛ باید انتظار افزایش در مقدار نمودار نوترون را داشت (عقلی و همکاران، ۱۳۹۵). در اینجا نمودار نوترون (NPHI) در محدوده شکستگی‌ها افزایش یافته است. سرعت عبور ارتعاشات صوتی در زون‌های شکسته به دلیل کاهش چگالی و کاهش فشردگی سازند، کاهش پیدا می‌کند؛



شکل ۲. صحت تشخیص شکستگی‌های گرفته شده روی نمودار FMI، با کمک نمودارهای پتروفیزیکی (نوترون، صوتی و چگالی) در چاه 2S-50

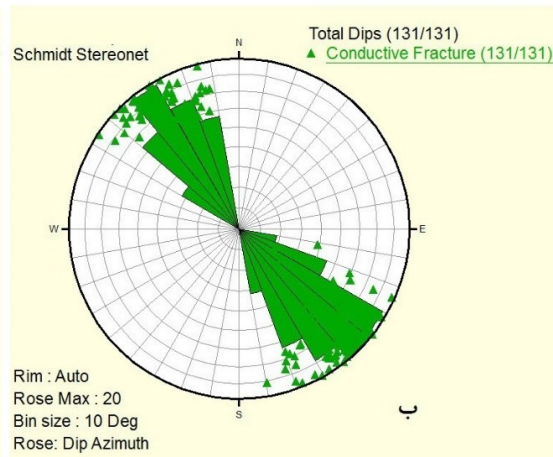
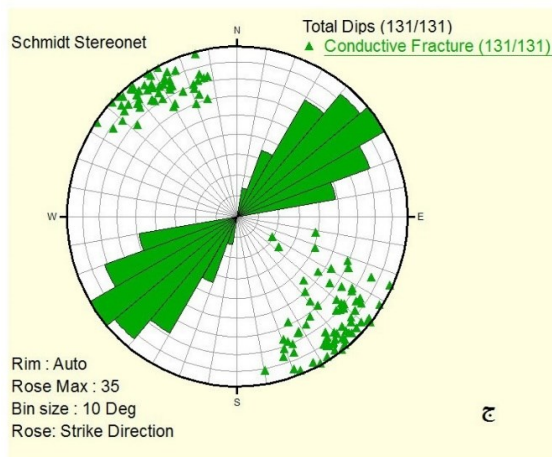
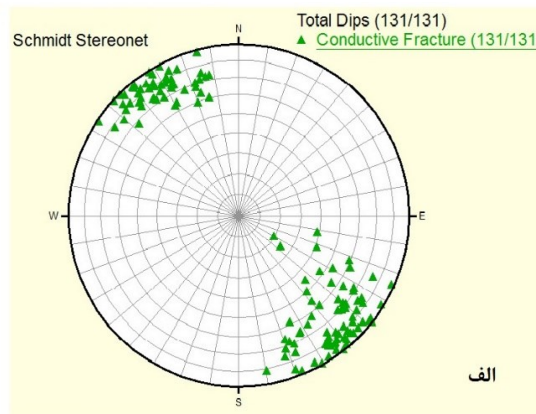
ارائه استراتژی شناسایی و مدلسازی توأمان شکستگی‌ها به کمک نمودار FMI و داده‌های لرزه‌ای در فرایند زون‌بندی مخزن ...

(شکل ۳ ج)، از طرفی عمده جهت شیب به دست آمده در محدوده آزیموت ۱۱۰-۱۶۰ درجه و ۳۱۰-۳۵۰ درجه است (شکل ۳ ب).

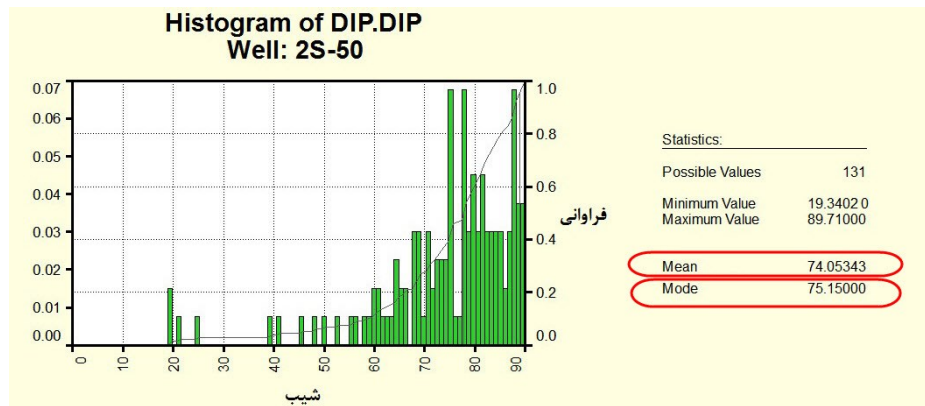
با توجه به نمودار هیستوگرام ترسیم شده میلگین شیب شکستگی‌های به دست آمده در چاه 2S-50، ۷۴ درجه است و همچنین شیب ۷۵ درجه در این چاه بیشترین فراوانی را دارد. کمترین شیب به دست آمده ۱۹ درجه و بیشترین شیب ۸۹ درجه است (شکل ۴).

پس از تشخیص شکستگی‌ها، با توجه به اینکه تعداد شکستگی‌ها در هر ناحیه زیاد و دارای وضعیت‌های مختلف است و مطالعه انفرادی آن‌ها نتیجه‌ای نخواهد داشت؛ برای به دست آوردن بیشینه‌های آماری آن‌ها، این شکستگی‌ها در شبکه استریونت ترسیم شد (شکل ۳).

با توجه به نمایش شکستگی‌ها بر روی شبکه استریونت می‌توان شیب، جهت شیب و امتداد مربوط به شکستگی‌ها را مطالعه و بررسی کرد (شکل ۳ الف). بر اساس ۱۳۱ عدد شکستگی به دست آمده از نمودار FMI، در زون مورد مطالعه و با توجه به نمودارهای حاصل از این شکستگی - ها عمده امتداد شکستگی‌ها شمال شرق - جنوب غرب است



شکل ۳. خصوصیات شکستگی‌های باز در چاه 2S-50. الف: تجمع غالب شکستگی‌ها با توجه به شیب و امتداد آن‌ها
ب: جهت شیب شکستگی‌ها ج: امتداد شکستگی‌ها

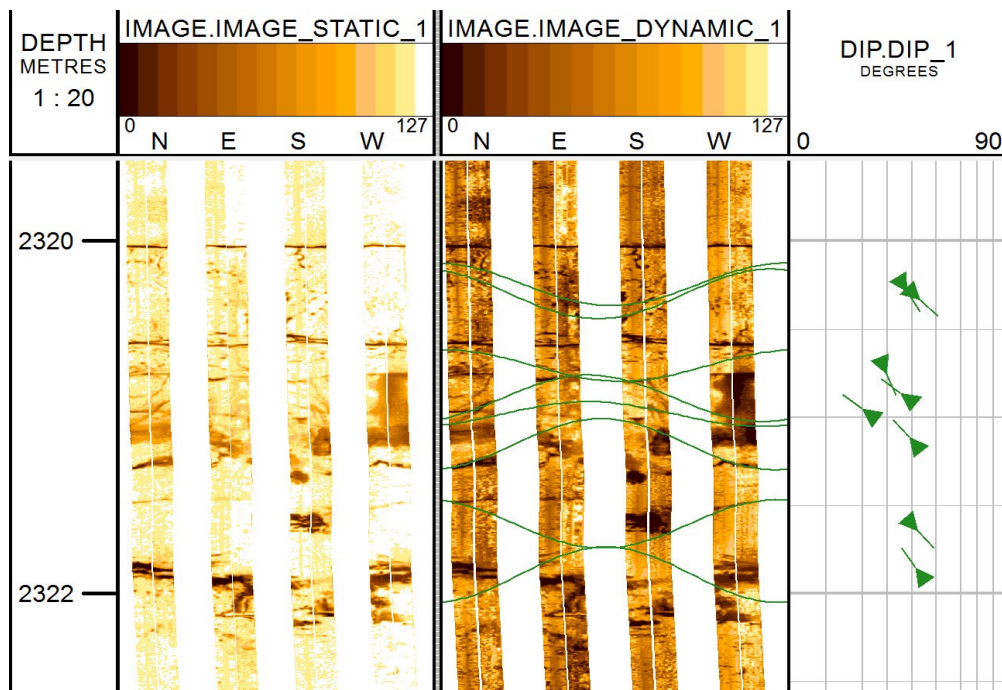


شکل ۴. نمودار هیستوگرام مربوط به کمینه و بیشینه، میانگین و بیشترین فراوانی مقدار شیب به دست آمده در چاه 2S-50

لاپه‌های انیدریت نسبت به دولومیت دارد. از این جهت پس از مطالعه و بررسی دقیق لاگ تصویری موردنظر مجموعاً ۲۶ شکستگی باز در چاه مورد مطالعه تشخیص داده شد، که بیشترین تعداد شکستگی در اعماق ۲۲۸۴، ۲۳۰۴، ۲۳۲۱ و ۲۳۴۶ متری دیده می‌شود. شکستگی‌های باز در چاه موردنظر در عمق ۲۳۲۱ متری با خطوط سینوسی سبز رنگ بر روی نمودار *FMI* در سازند مورد مطالعه شناسایی شدند (شکل ۵).

۲.۳ تعیین شستگی‌های مخزن در چاه 2skd-1

این چاه به صورت عمودی در میدان مورد مطالعه حفر گردیده است. لاگ *FMI* در سال ۲۰۰۲ میلادی در عمق ۲۲۵۰ تا ۲۵۵۰ متری یعنی در سراسر سازند عرب رانده شده است. یکی از اهداف این ابزار تعیین شکستگی‌های مؤثر در جابجایی مایعات مخزنی است. لیتولوژی به دست آمده از زون مخزنی این چاه حکایت از افزایش سنگ آهک با میان

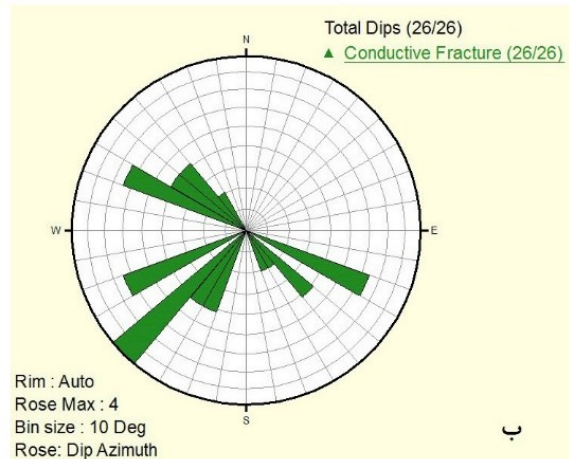
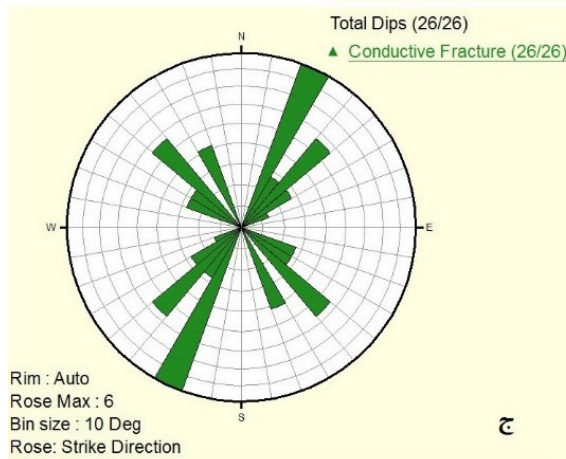
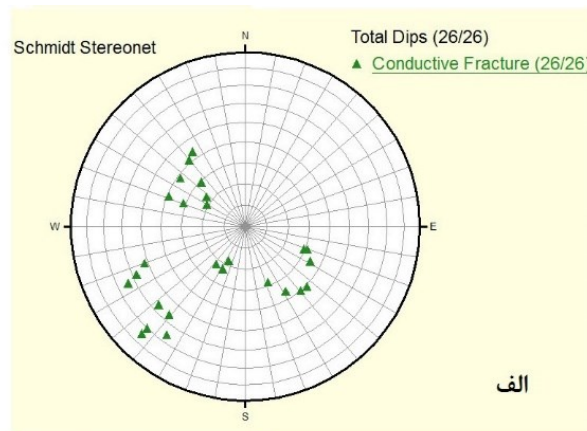


شکل ۵. نمونه‌ای از شکستگی‌های باز شناسایی شده در چاه 2skd-1.

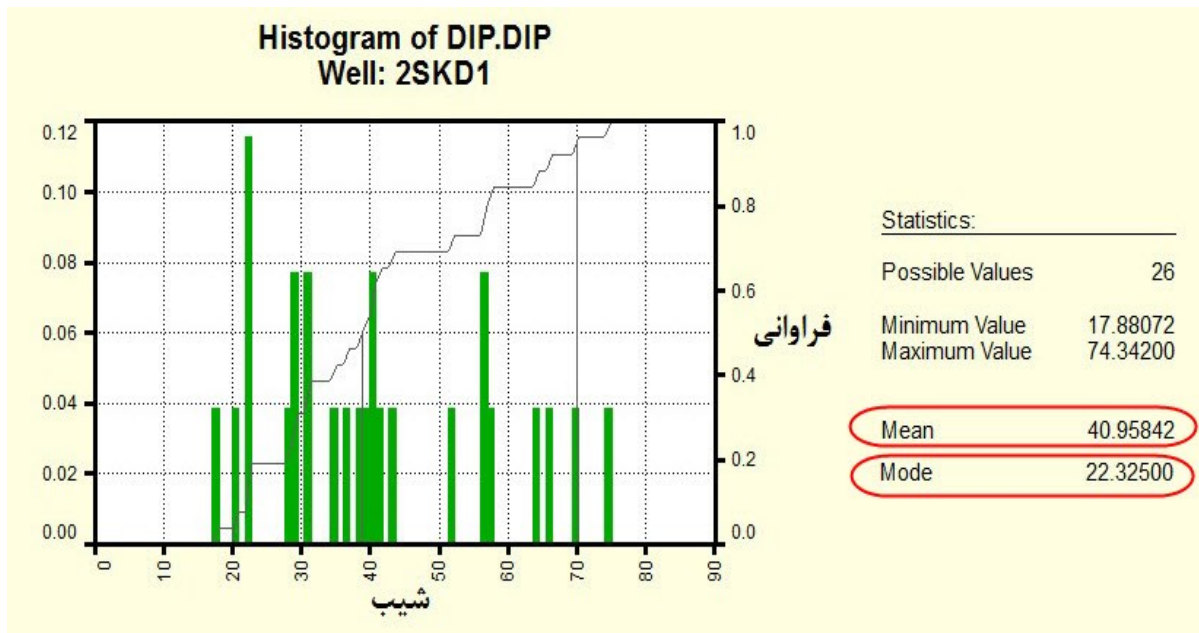
ارائه استراتژی شناسایی و مدلسازی توأمان شکستگی‌ها به کمک نمودار FMI و داده‌های لرزه‌ای در فرایند زون‌بندی مخزن ...

همچنین شکستگی‌های به دست آمده از این نمودار دارای امتداد شمال شرق - جنوب غرب و شمال غرب - جنوب شرق می‌باشند (شکل ۶ ج). با توجه به نمودار هیستوگرام در چاه 2skd-1، میانگین شیب شکستگی‌های به دست آمده ۴۰ درجه است، و شیب ۲۲ درجه در این چاه بیشترین فراوانی را دارد (شکل ۷).

با نمایش شکستگی‌ها بر روی شبکه استریونت این امکان فراهم می‌شود که مشخصات هر شکستگی را در کنار دیگر شکستگی‌ها به صورت دسته‌ای مورد مطالعه قرار داد. بر اساس ۲۶ شکستگی به دست آمده از نمودار FMI، با توجه به نمودارهای شیب، جهت شیب و امتداد به دست آمده از این شکستگی‌ها، عمده جهت شیب شکستگی‌ها شامل آزیموت ۱۱۰-۱۴۰ درجه، ۲۰۰-۲۵۰ درجه و ۳۰۰-۳۳۰ درجه است (شکل ۶ ب).



شکل ۶. خصوصیات شکستگی‌های باز در چاه 2skd-1. الف: تجمع شکستگی‌ها با توجه به شیب و امتداد آن‌ها ب: جهت شیب شکستگی‌ها ج: امتداد شکستگی‌ها



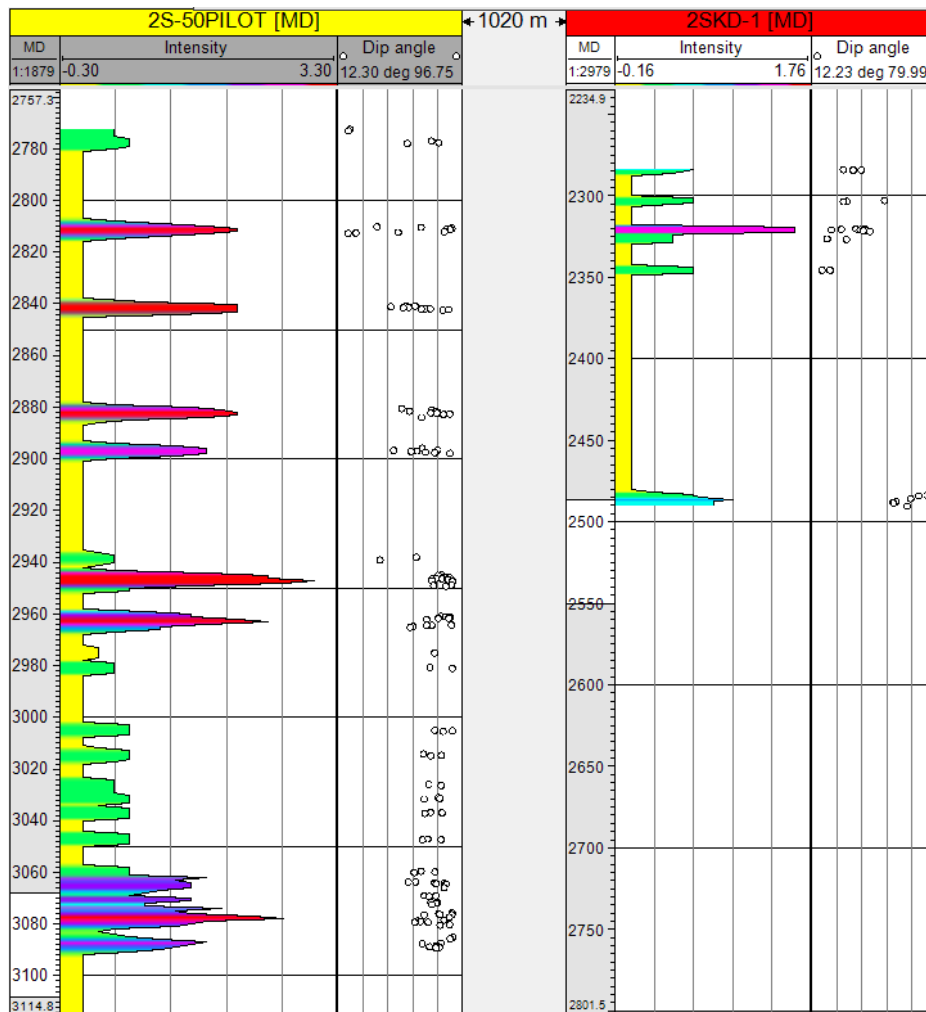
شکل ۷. نمودار هیستوگرام مربوط به میزان فراوانی شکستگی‌های چاه 2skd-1.

۴. نمودار شدت شکستگی

شدت شکستگی یا تراکم شکستگی به عنوان تعداد شکستگی‌ها در واحد طول در یک فاصله از عمق مشخص شده، تعریف می‌شود. افزایش غیرعادی شکستگی‌ها در مخزن نتیجه عوامل مختلفی مانند تغییرات سنگ‌شناسی، گسلش، فرایندهای دیاژنزی و غیره است. تراکم شکستگی در لایه‌های نازک بیشتر از لایه‌های ضخیم است و در سنگ‌های شکننده بیشتر از سنگ‌های انعطاف‌پذیر است، البته شکنندگی خود تحت تأثیر دما و فشار نیز قرار می‌گیرد. بنابراین یک لایه نازک دولومیت تراکم شکستگی بیشتری نسبت به یک لایه ضخیم سنگ آهک دارد. با توجه به اینکه شکستگی‌های حاصل از نمودارهای تصویری به صورت داده-های نقطه‌ای (داده‌های گسسته شکستگی) هستند که نیاز

است به داده‌های پیوسته تبدیل شوند. این کار با تبدیل داده‌های گسسته شکستگی به نمودار شدت شکستگی انجام می‌شود. این نمودار شامل داده‌های پیوسته‌ای است که نمایش دهنده تغییرات شدت شکستگی در اعماق مختلف است. بنابراین برای تفسیر و درک صحیح‌تری از شکستگی‌ها در اعماق مورد بررسی، آن‌ها را توسط این نمودار به صورت پیوسته مطالعه می‌کنیم. شکل ۸، نمودار شدت شکستگی را در چاه‌های 2S-50 و 2skd-1 نشان می‌دهد که پیک نمودار نشان‌دهنده حداکثر میزان شدت شکستگی در آن عمق است.

ارائه استراتیژی شناسایی و مدلسازی توأمان شکستگی‌ها به کمک نمودار FMI و داده‌های لرزه‌ای در فرایند زون‌بندی مخزن ...



شکل ۸. نمایش نمودارهای شدت شکستگی حاصل از داده‌های نقطه‌ای شکستگی در چاه‌های 2S-50 و 2skd-1

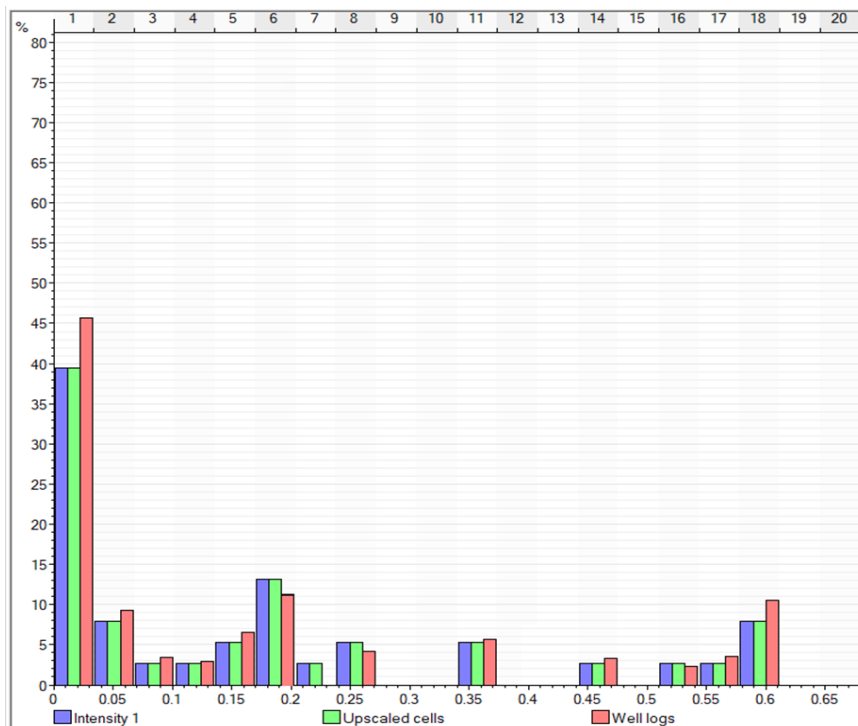
است. در روش‌های چند مقیاسی، ابعاد سلول‌ها یکسان نبوده و در اعماق و مناطقی که تغییرپذیری شدت شکستگی بیشتر است، ابعاد سلول‌ها کوچک‌تر می‌شود. معمولاً نمودارها به ازای هر چند سانتی‌متر، یک مقدار عددی دارند ولی ضخامت سلول‌های شبکه چندین متر است، لذا ابتدا باید در محل چاه، مقیاس نمودارها را بزرگ کرد؛ یعنی میانگین مقادیر نمودارها در محدود ضخامت سلولی که با آن در تماس است را به دست آورده و یک مقدار به آن پارامتر در آن سلول اختصاص داد. این عدد میانگین را به چندین روش می‌توان محاسبه کرد. میانگین ریاضی، میانگین هندسی، میانگین هارمونیک و میانگین *RMS* و البته می‌توان مقادیر حداقل،

۵. بزرگ‌مقیاس کردن نمودار شدت شکستگی

معمولاً نمودارها به ازای هر چند سانتی‌متر یک مقدار عددی دارند ولی ضخامت بلوک چاه که با آن در تماس هستند چندین متر است؛ لذا ابتدا باید در محل چاه مقیاس لاگ‌ها را بزرگ کرد. یعنی متوسط مقادیر لاگ در محدوده ضخامت بلوکی که با آن در تماس است را به دست آورده و یک مقدار به آن پارامتر در آن بلوک اختصاص داد. در این مرحله به بزرگ‌مقیاس کردن نمودار شدت شکستگی ساخته شده در مرحله قبل پرداخته می‌شود. روش‌های متنوعی برای بزرگ‌مقیاس کردن مقادیر شدت شکستگی وجود دارد. برخی از این روش‌ها تک مقیاسی و برخی دیگر چند مقیاسی

آن‌ها را قطع کرده است، مقادیر شدت شکستگی نسبت داده می‌شود. در این مطالعه با توجه به جهت‌دار بودن چاه-2S 50 روش سلول همسایه استفاده شد تا مقادیر دقیق‌تری به سلول‌های شبکه نسبت داده شود. در شکل ۹ نمودارهای شدت شکستگی به همراه نمودار بزرگ‌نمایی شده آن‌ها قبل مشاهده است. برای اعتبارسنجی روش بزرگ‌مقیاس‌سازی از نمودارهای ستونی استفاده شد. در این نمودار شدت شکستگی قبل و بعد از بزرگ‌مقیاس نمودن، نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، اختلاف کم در میزان فراوانی بیان‌کننده اعتبار کافی روش بزرگ‌مقیاس مورد استفاده است.

حداکثر، میانه و یا یک عدد تصادفی را نیز قرار داد. هدف از این کار، نسبت دادن مقادیر مشخص شدت شکستگی به سلول‌هایی از شبکه بوده که در مسیر چاه قرار دارند. برای انتخاب سلول‌های شبکه موردنظر از سه روش سلول همسایه، درون سلولی و روش ساده می‌توان استفاده کرد. در روش سلول همسایه، شدت شکستگی در تمام سلول‌های شبکه‌ای که چاه از آن‌ها عبور کرده و متعلق به یک لایه هستند، میانگین‌گیری شده و مقدار میانگین به تمام سلول‌های آن لایه، نسبت داده می‌شود. در روش درون سلولی، شدت شکستگی برای سلول‌هایی قابل محاسبه است که چاه از دو ضلع مخالف سلول، به‌عنوان مثال بالا و پایین آن، عبور کرده باشد. در روش ساده، به همه سلول‌های شبکه مسیر چاه که



شکل ۹. مقایسه نمودارهای ستونی شدت شکستگی، قبل و بعد از بزرگ‌مقیاس کردن. این اختلاف کم در میزان فراوانی، نشان‌دهنده صحت بزرگ‌مقیاس‌سازی است.

حاصل می‌شود. با توجه به تغییرات در سطح شیب نمودار تجمعی می‌توان زون‌بندی را انجام داد، به این صورت که بالا و پایین حداکثر تغییرات سطح شیب را مشخص نموده و آن را به‌عنوان یک زون تعیین می‌کنیم. درواقع با تغییر سطح

۶. تعیین زون‌های شکستگی

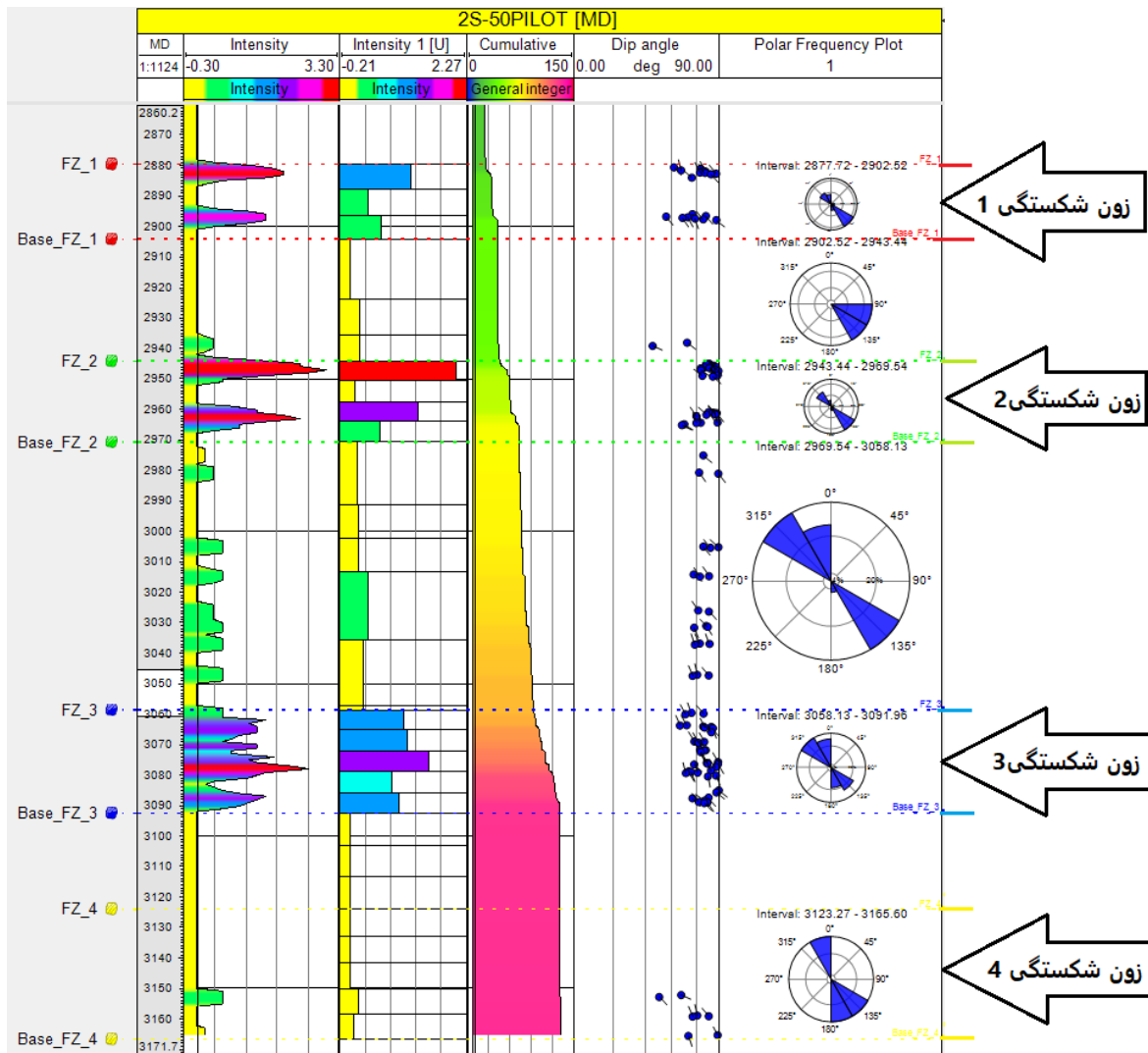
از روی داده‌های شکستگی‌های موجود، نمودار شدت شکستگی ساخته شد. سپس نمودار تجمعی تولید شد، درواقع این نمودار از انباشته‌شدگی نمودار شدت شکستگی

استریونت شکل ۱۰ به خوبی قابل ملاحظه است. زون شکستگی ۲، دارای ضخامت ۲۵ متر است که در بالای این زون بیشترین مقدار شدت شکستگی دیده می‌شود. جهت شیب شکستگی‌های این زون نیز شمال غربی - جنوب شرقی است. زون شکستگی ۳، با ضخامت ۳۵ متر در وسط آن بیشترین شدت شکستگی دیده می‌شود، که این شکستگی‌ها دارای جهت شیب شکستگی شمال غربی جنوب شرقی هستند.

با توجه به شکل ۱۱، فقط زون شکستگی ۳ و ۴ در چاه *2skd-1* قابل مشاهده است. زون شکستگی ۳ دارای ضخامت ۸ متری می‌باشد که بیشترین شدت شکستگی در پایین این زون قرار دارد. زون شکستگی ۴ با ضخامت ۲۸ متری، در چاه *2skd-1* دارای شکستگی‌های با جهت شیب متفاوت نسبت به دیگر زون‌ها است، که علت این امر می‌تواند در متفاوت بودن عامل شکل‌گیری شکستگی‌ها و یا حتی زمان ایجاد شکستگی‌ها باشد. در این زون علاوه بر جهت شیب شکستگی شمال غربی - جنوب شرقی، جهت شیب شکستگی جنوب غربی نیز به فراوانی دیده می‌شود.

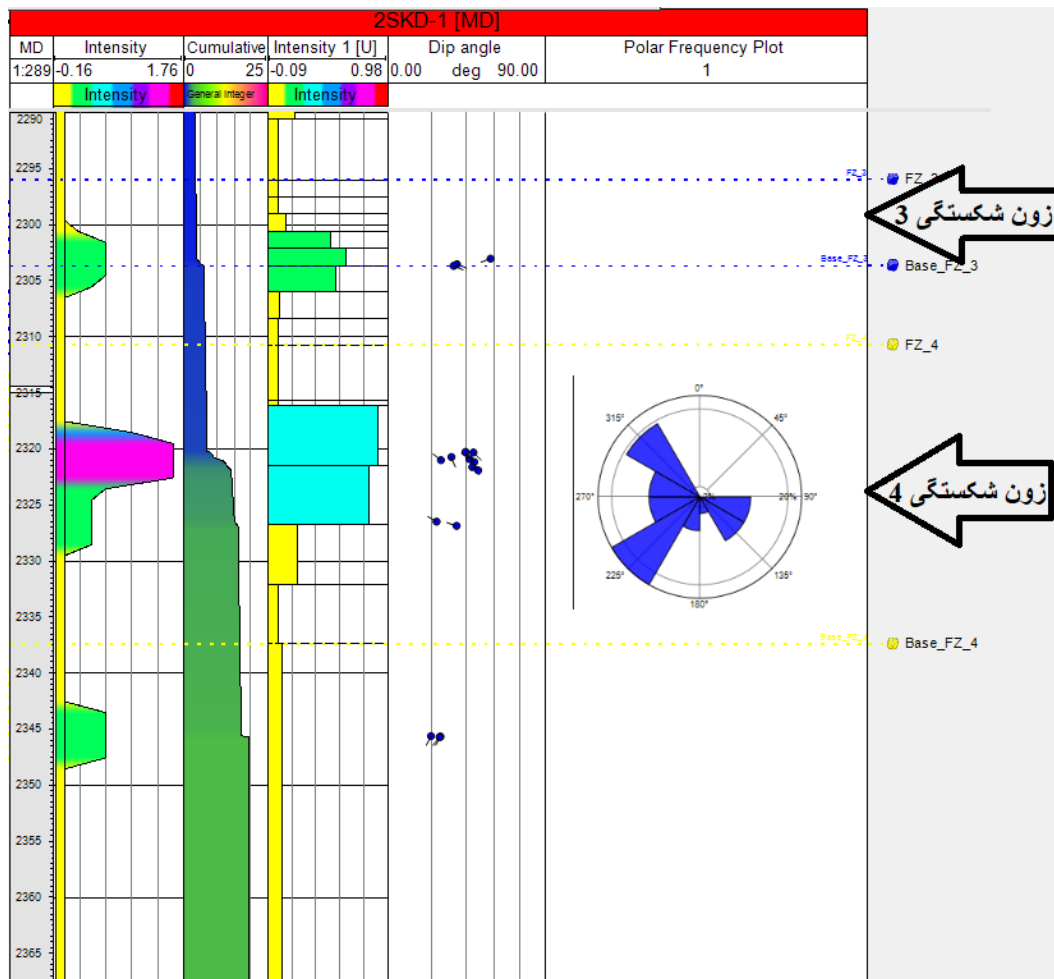
شیب نمودار تجمعی و میزان شدت شکستگی در آن محدوده، زون‌بندی صورت می‌گیرد. این زون‌بندی کمک می‌کند هر منطقه را به صورت جداگانه از لحاظ پارامترهای آماری مورد تحلیل و بررسی قرار داده و می‌توان با توجه به میزان شدت خواص در هر زون، آن زون را به عنوان زون هدف معرفی کرده و مدل‌سازی‌های مختلف، از جمله مدل‌سازی شبکه شکستگی را در آن زون انجام داد. تعیین زون شکستگی در مخزن، از لحاظ تولید و بهره‌برداری هیدروکربور از مخزن می‌تواند نقش مهمی را ایفا کند.

در این مطالعه با توجه به تغییرات شیب نمودار تجمعی و میزان شدت شکستگی در عمق‌های مختلف، محدوده مطالعاتی به چهار زون تقسیم‌بندی شد. همان‌طور که در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود، می‌توان خواص شکستگی‌ها مانند شدت شکستگی، شیب و جهت شیب شکستگی را در هر زون مورد ارزیابی قرار داد. در زون شکستگی ۱، مشاهده می‌شود که با تغییر شیب ناگهانی لاگ تجمعی در یک بازه عمقی کم (۲۴ متر) شدت شکستگی در بالا و پایین این زون بسیار زیاد است. در زون شکستگی ۱، جهت شیب شکستگی‌ها شمال غربی - جنوب شرقی است که بر روی



شکل ۱۰. تعیین زون‌های شکستگی با توجه به نمودار تجمعی و نمودار شدت شکستگی در چاه 2S-50. در این شکل شیب و جهت شیب شکستگی‌های مربوط به هر زون به خوبی مشاهده می‌شود.

ارائه استراتژی شناسایی و مدلسازی توأمان شکستگی‌ها به کمک نمودار FMI و داده‌های لرزه‌ای در فرایند زون‌بندی مخزن ...



شکل ۱۱. تعیین زون‌های شکستگی با توجه به نمودار تجمعی و نمودار شدت شکستگی در چاه 2skd-1. در این شکل شیب و جهت شیب شکستگی‌های مربوط به زون شکستگی ۴ به خوبی مشاهده می‌شود.

۷. نتیجه‌گیری

به تغییرات شیب نمودار تجمعی و میزان شدت شکستگی در عمق‌های مختلف، محدوده مطالعاتی به چهار زون شکستگی تقسیم‌بندی شد. در این ۴ زون عمده جهت شیب شکستگی، شمال غربی - جنوب شرقی است. با این تقسیم‌بندی می‌توان زون هدف را برای بهره‌برداری و حتی حفاری چاه در دیگر قسمت‌های میدان تعیین کرد. با توجه به بررسی‌های انجام شده، زون شکستگی ۲ در چاه 2S-50 و زون شکستگی ۴ در چاه 2skd-1 دارای بیشترین شدت شکستگی هستند که در فرایند تولید از چاه باید به آن توجه ویژه‌ای شود.

روش‌های زیادی برای مطالعه شکستگی‌های در مخزن وجود دارد که نمودارهای تصویری از جمله FMI دقت بسیار بالایی در شناسایی شکستگی‌ها دارند. با مطالعه و بررسی دقیق نمودارهای تصویری در چاه 2s-50 تعداد ۱۳۱ شکستگی باز و در چاه 2skd-1 تعداد ۲۶ شکستگی باز تفسیر شد، که صحت تشخیص شکستگی‌های گرفته شده روی نمودار FMI با کمک نمودارهای پتروفیزیکی (نوترون، صوتی و چگالی) به خوبی مورد تأیید قرار گرفت. جهت بررسی دقیق پارامترهای شکستگی‌ها، در این مطالعه با توجه

۸. مراجع

عقلی، ق.، سلیمانی، ب.، چرچی، ع.، زحمتکش، الف. (۱۳۹۵). تعیین روشی نوین برای شناسایی زون‌های شکسته بر روی نمودارهای پتروفیزیکی و تطابق آن با نمودارهای تصویرگر. مجله پژوهش نفت، شماره ۸۶

- Aghli, GH., Fardin, H., Mohamadian, R., & Saedi, GH. (2014). Structural and fracture analysis using EMI and FMI image Log in the carbonate Asmari reservoir (Oligo-Miocene), SW Iran. *Geopersia* pp.169-184.
- Baytok, S., & Pranter, M.J. (2013). Fault and fracture distribution within a tight-gas sandstone reservoir: Mesaverde Group, Mamm Creek Field, Piceance Basin, Colorado, USA. *EAGE/ The Geological Society of London*, 19, pp203-222.
- Darling, T. (2005). *Well Logging and Formation Evaluation*. Elsevier Science, Retrieved from <http://books.google.com/books?id=vKdIGNAE8JYC>, p. 336.
- Khoshbakht, F., Azizzadeh, M., Memarian, H., Nourozi, G. H., & Moallemi, S.A. (2012). Comparison of electrical image log with core in a fractured carbonate reservoirs. *Journal of petroleum Science and engineering*, Vol 86-87, pp. 289-296.
- Khoshbakht, F., Memarian, H., & Mohammadnia, M. (2009). Comparison of Asmari, Pabdeh and Gurpi formations' fractures, derived from image log. *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 67 (1-2): 65–74.
- Nelson, R. A. (2001). *Geologic analysis of naturally Fractured reservoirs*. Second edition, Gulf Professional Publishing, Boston, USA.
- Rezaee, A.H., & Nogole-Sadat, M.A. (2004). Fracture Modeling in Asmari Reservoir of Rag-e sefid Oil-Field by using Multi well Image Log (FMS/FMI), *Iranian Int. J. Sci*, p.107-121.
- Rezaee, M. R., & Chehrazi, A. (2005). *Fundamentals of Well Log Interpretation: Tehran*, University of Tehran (in Persian).
- Tokhmchi, B., Memarian, H., & Rezaee, M.R. (2010). Estimation of the fracture density in fractured zones using petrophysical logs. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 72, 206–213.
- Yenugu, M., & Marfurt, K.J. (2011). Relation between seismic curvatures and fractures identified from image logs - application to the Mississippian reservoirs of Oklahoma, USA. *SEG*.
- Zahmatkesh, I., Aghli, GH., & Mohamadian, R. (2015). Systematic fractures analysis using image logs and complementary methods in the Marun Oilfield, SW Iran. *Geopersia* 5 (2), 2015, PP. 139- 150