Archive of SID

مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
۷ خرداد ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: هم اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۰۲۱
www.Reservoir.ir

تفسیر ساختارهای رسوبی و ساختمانی با استفاده از نمودارهای تصویری FMI و نمودارهای صوتی DSI در یکی از چاه های جنوب ایران

سارا کریمیان[۱]، محمدکمال قاسم العسگری[۲]،
[۱]کارشناسی ارشد مهندسی نفت ، واحد علوم و تحقیقات تهران
sara.karimiyan1987@gmail.com

چکیده

نمودارهای چاه‌پیمایی از منابع مهم جهت استخراج خصوصیات زمین‌شناسی مخزن می‌باشند تفسیر نمودارهای تصویری FMIو نمودارهای صوتی پیشرفته DSI جهت تفسیر ساختارهای رسوبی و ساختمانی مورد بررسی قرار می گیرد. این نمودارها همچینین در زون‌بندی مخزن و مطالعه ناهمگنی بافت سنگ مخزن کارایی بسیار بالایی دارند. اطلاعات خام این نمودارها در نرم‌افزار بارگذاری گردید و سپس پردازش و تفسیر آنها صورت پذیرفت. بر این اساس فواصل دارای شکستگی، لایه‌بندی، ریزش دیواره و شکستگی القایی مشخص شد. در مرحله بعد با نتایج تفسیر نمودارهای DSI مقایسه گردید. بر اساس این مقایسه، ناهمسانگردی تنش‌های افقی و راستای تنش بیشینه افقی تعیین گردید.در این چاه در مجموع سه عدد شکستگی در سازند داریان بالایی تشخیص داده شده است. پس چگالی شکستگی در این سازند بسیار پایین بوده و سیستم شکستگی در این سازند وجود ندارد. بر اساس تفسیر های بدست آمده جهت شیب شکستگی القایی شمال غربی – جنوب شرقی و در نتیجه راستای صفحه شکستگی، شمال شرق – جنوب غرب می‌باشد. از این‌رو تنش بیشینه افقی نیز در این راستا می‌باشد .درصد ناهمسانگردی در این فاصله عمقی بسیار ناچیز می‌باشد. پس ناهمسانگردی تنش‌های افقی در این سازند نیز ناچیز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: نمودارهای تصویری، نمودارهای صوتی پیشرفته، تنش های افقی، راستای تنش های افقی، ناهمسانگردی

۱- کارشناسی ارشد مهندسی نفت ، واحد علوم وتحقیقات
۲- هیئت علمی، دانشگاه صنعت نفت، ایران

www.SID.ir

Archive of SID

- مقدمه

نمودارهای چاه‌پیمایی از منابع مهم جهت استخراج خصوصیات زمین‌شناسی مخزن می‌باشند. نمودارهای معمول در چاه‌نگاری بیشتر جهت استخراج خصوصیات پتروفیزیکی نظیر تخلخل، اشباع آب و سنگ‌شناسی کاربرد دارد. همچنین زون‌بندی مخزن براساس این نمودارها صورت می‌پذیرد. در حالی که خصوصیات ساختمانی، بافت سنگ و رسوب‌شناسی نیز در مطالعه و مدل‌سازی میادین اهمیت بسزایی را دارا می‌باشد. تلاش جهت تهیه اطلاعات نمودارگیری مرتبط با زمین‌شناسی ساختمانی و رسوب‌شناسی منجر به ابداع و توسعه نمودارهای تصویری گردید.

نمودارهای تصویری، دسته ای از نمودارها هستند که تصاویر با قدرت تفکیک بالا در حد میلیمتر از دیواره چاه را ارائه می دهند .این نمودارها تصویری مجازی ازدیواره چاه هستند که ویژگیهای فیزیکی دیواره چاه مانند مقاومت الکتریکی یا تباین صوتی را نشان می دهند .لاگهای تصویری برای زمین شناسان مخزن و مهندسین نفت این امکان را فراهم می کند تا پدیده های کوچک مقیاس در محدوده دیواره چاه را شناسایی کنند .این اطلاعات در تکمیل چاه مانند مشبک کاری و برنامه توسعه میدان نفتی نظیر مسیر چاههای انحرافی نقش کلیدی دارند [1]. از نمودارهای صوتی قدیمی فقط می توان سرعت انتشار امواج تراکمی را استخراج کرد .اگر چه با رشد تکنولوژی امروزه می توان با آنالیز شکل موج کامل ابزار DSI (Dipole Shear Sonic Imager) سرعت امواج برشی و تراکمی را در لایه های زمین به دست آورد [2]. با داشتن نمودارهای سرعت امواج برشی و تراکمی و ترکیب آنها با داده های نگار چگالی امکان محاسبه خواص مکانیکی و ثابتهای کشسان دینامیکی به صورت پیوسته در طول چاه فراهم می شود[3] در اواسط دهه ۱۹۸۰ شرکت شلمبرژه اولین ابزار الکتریکی را با نام Formation Micro Scaner (FMS) تولید کرد. در سال ۱۹۹۱ ابزار FMI با قدرت نفکیک و پوشش بالاتر نسبت به این شرکت معرفی شد. اساس کار این ابزارها اندازه گیری مقاومت سازند می باشد و نتیجه آن تصویری است که برای مطالعه و آنالیز پدیده های مختلف مورد تفسیر قرار می گیرد.

نمودار FMI یک تصویر مجازی الکتریکی از دیواره چاه تهیه می‌کند. تصاویر حاصل از این ابزار کاربردهای گوناگونی دارد. مهمترین کاربردهای آن به شرح زیر می‌باشند.

- مطالعه شکستگی‌ها
- تعیین لایه‌ها و شیب لایه‌بندی
- مطالعه ساختارهای زمین‌شناسی (رسوبی و ساختمانی)
- مطالعات رسوب‌شناسی و بافت سنگ
- بررسی همبستگی بین چاه‌ها

هدف از بررسی نمودارهای تصویری در این مطالعه، تشخیص شکستگی‌ها، گسیختگی دیواره چاه و ساختارهای زمین‌شناسی مؤثر در تولید به منظور بررسی جهت اصلی تنش در میدان می‌باشد.

۲- تفسیر نمودارهای تصویری

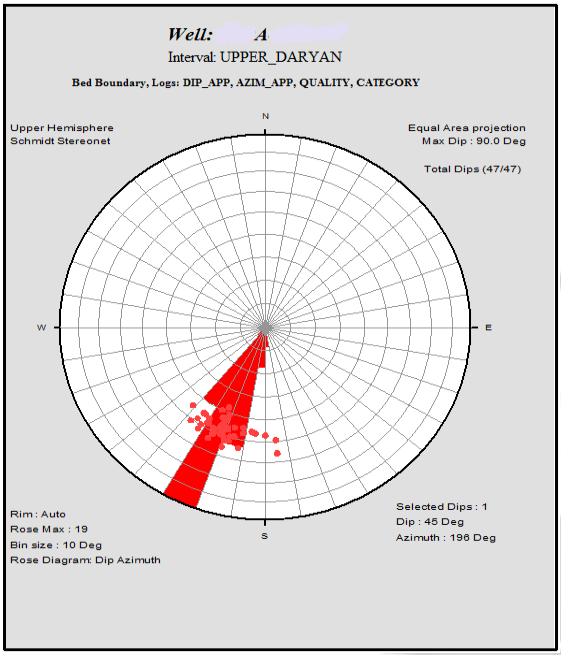
پس از پردازش نمودارهای تصویری، تفسیر ساختارهای زمین‌شناسی و پدیده‌های رسوبی بر روی این نمودارها صورت پذیرفت. مهمترین پدیده در تفسیر این تصاویر، ساختارهای صفحه‌ای (Planar Features) نظیر سطوح شکستگی و مرز لایه‌بندی می‌باشند

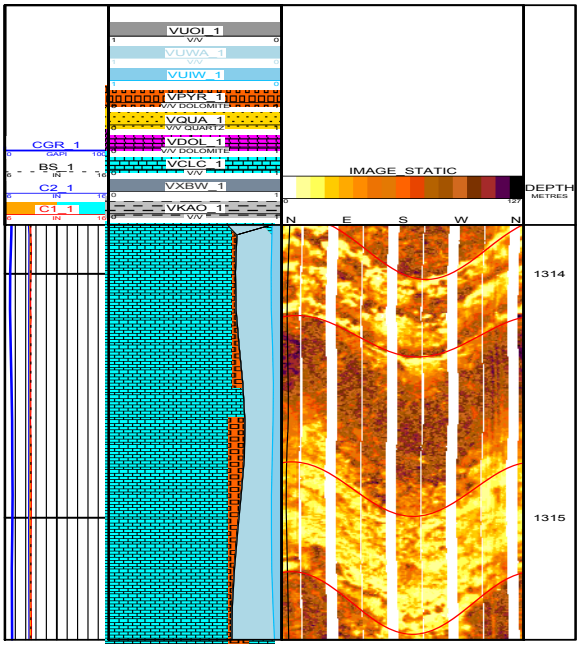
www.SID.ir

Archive of SID

۲-۱ تعیین مرز لایه‌ها (Layering)

مشخص نمودن مرز لایه‌ها و تعیین شیب طبقات یکی از کاربردهای بسیار مهم نمودارهای تصویری می‌باشد. در دو طرف مرز لایه معمولا خصوصیات پتروفیزیکی و ازجمله مقاومت الکتریکی تغییر می‌نماید. بنابراین مرز لایه‌ها با تغییر رنگ زمینه در نمودارهای تصویری همراه می‌باشد. نمونه‌ای از مرز لایه‌ها در چاه A در (شکل-۱سمت چپ) نمایش داده شده است. همچنین نمایش شیب و جهت شیب ظاهری لایه بر روی شبکه استریونت در (شکل ۲ سمت راست) نمایش داده شده است.





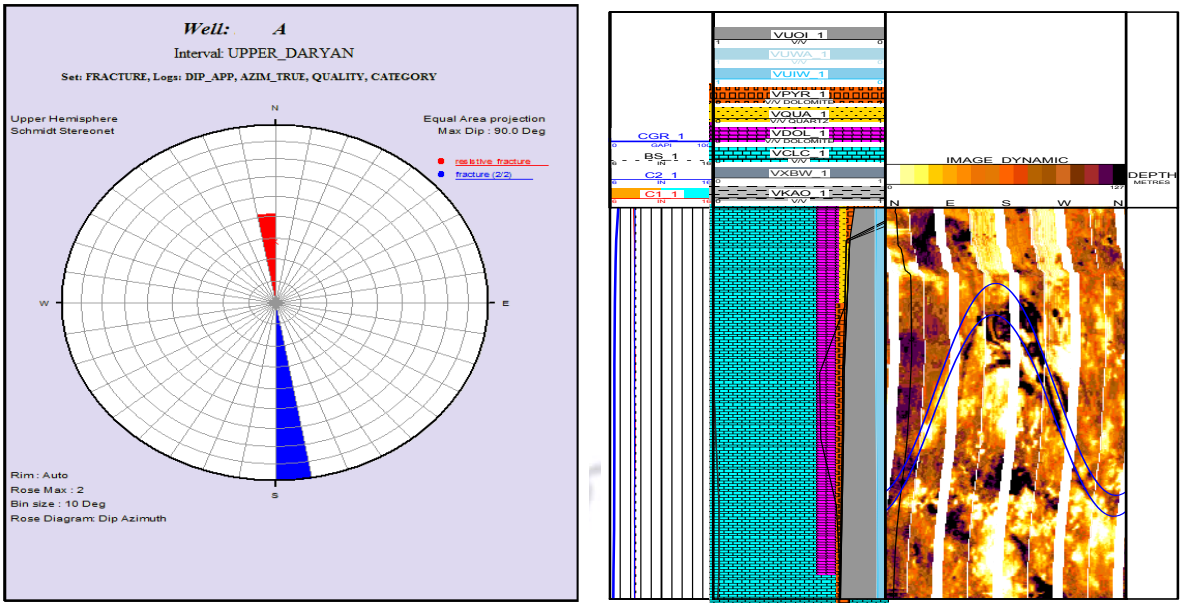
شکل ۱: شکل سمت راست تعیین مرز و شیب لایه‌ها با استفاده از تصاویر FMI در چاه A (سازند داریان)، شکل ۲:نمایش شیب و جهت شیب ظاهری لایه‌ها با استفاده از شبکه استریونت در چاه A

۲-۲ شکستگی‌ها (Fractures)

شکستگی‌ها به واسطه تراوایی بسیار بالایی خود دارای نقش تعیین کننده در تولید مخزن می‌باشند. شکستگی‌ها بر روی نمودارهای تصویری به صورت ساختارهای صفحه‌ای نمایش داده می‌شوند. سطوح شکستگی با مرز لایه‌بندی هم‌شیب نبوده و سطوح لایه‌بندی را قطع می‌نمایند. نمونه‌ای از شکستگی‌ها در چاه A در (شکل 2 سمت راست) نمایش داده شده است. در این شکل، آثار شکستگی بر روی تصویر FMI نمایش داده شده است. همچنین در راستای جهت تنش‌ها در این لایه از میدان شیب و جهت شیب ظاهری شکستگی‌ها بر روی شبکه استرویونت بررسی گردید که در (شکل ۲ سمت چپ) ارائه شده است. رنگ قرمز در این شکل نشانگر شکستگی‌های پر شده به وسیله رسوبات می‌باشد (Resistive Fracture). همچنین رنگ آبی نمایش دهنده شکستگی باز می‌باشد (Open Fracture).

www.SID.ir

Archive of SID



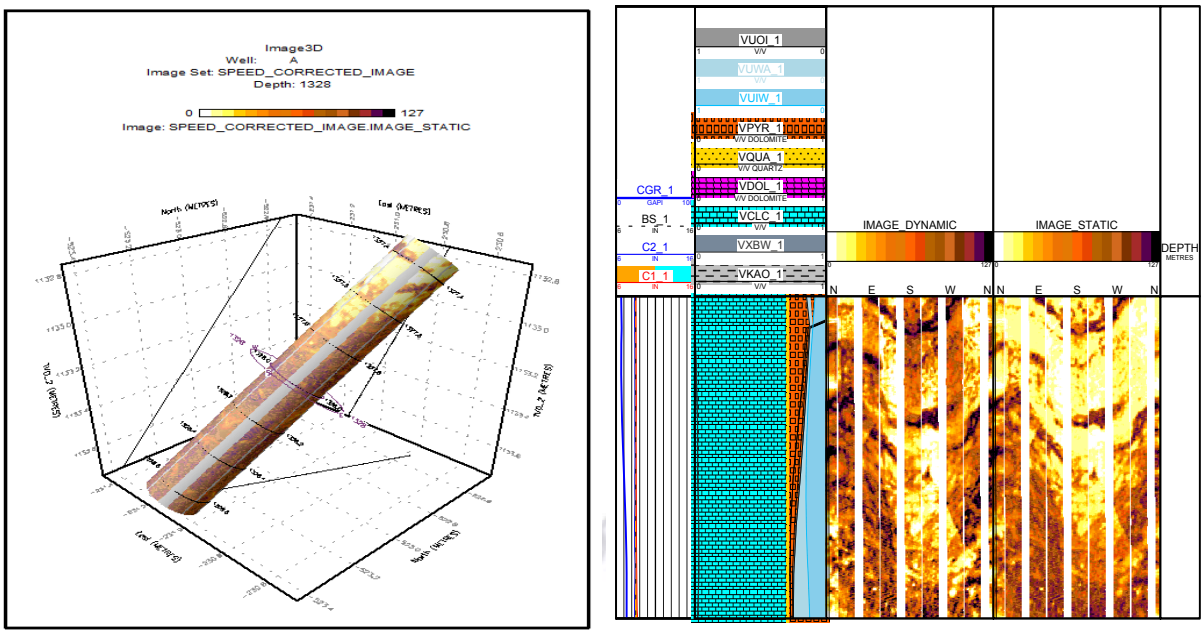
شکل-۲: شکل سمت راست نمونه‌ای از شکستگی‌های باز در چاه A (سازند داریان)، شکل سمت چپ نمایش شیب و جهت شیب ظاهری شکستگی‌ها با استفاده از شبکه استریونت در چاه A

۲-۳ گسیختگی دیواره چاه (Break Out)

گسیختگی دیواره چاه عبارت است از شکستگی دیواره چاه در راستای کوچکترین تنش افقی وارده بر دیواره چاه. نمایش شماتیک جهت یافتگی گسیختگی دیواره چاه نسبت به نیروهای افقی در شکل ۵ نمایش داده شده است. این شکل مقطع افقی دیواره بوده که SH تنش بیشینه و Sh تنش کمینه را نمایش می‌دهد. گسیختگی دیواره چاه بر روی نمودارهای تصویری به صورت ریزش در یک راستا و تغییر شکل مقطع چاه از دایره به بیضی می‌گردد. این پدیده مانع از تماس مناسب بالشتک‌های نمودار تصویری FMI در راستای گسیختگی با دیواره چاه می‌گردد. در نتیجه کیفیت تصویر FMI در این راستا کاهش می‌یابد. در صورتیکه که پهنای گسیختگی بیشتر از پهنای بالشتک‌ها باشد، تصویر مبهم بر روی نمودار ظاهر نشده و تنها راه تشخیص گسیختگی، استفاده از نمودار قطرسنجی مضاعف می‌باشد. بخشی از نمودار تصویری مربوط به چاه مورد مطالعه در شکل ۵ نمایش داده شده است. در بخش سمت چپ، نمودارهای C1 و C2 نمایش داده شده است. این نمودارها قطر چاه در دو راستای عمود بر هم را نشان می‌دهند.

www.SID.ir

Archive of SID



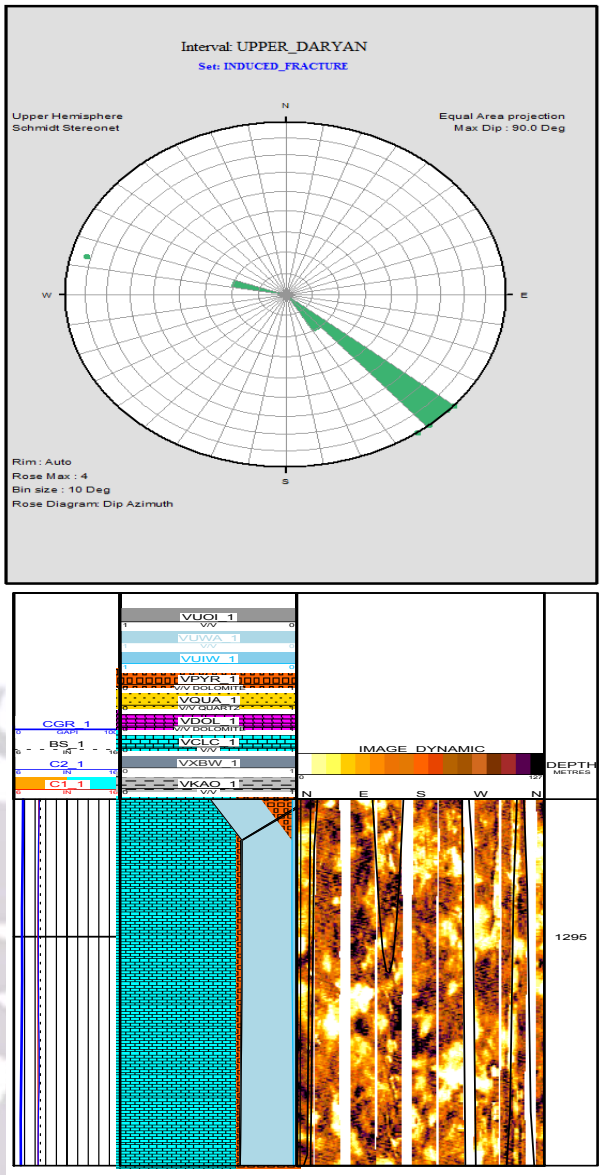
شکل ۳-:شکل سمت راست نمایش گسیختگی دیواره چاه به همراه نمودار قطرسنجی در چاه A(سازند داریان)
، شکل سمت چپ نمایش سه بعدی نمودار تصویری FMI در چاهA

۴-۲ شکستگی القایی (Induced Fracture)

تعیین جهت تنش‌های درجا در مخازن هیدروکربوری یکی از مهمترین چالش‌ها در مباحث حفاری، تکمیل چاه و مراحل ازدیاد برداشت می‌باشد. شکستگی‌های القایی یکی از عوامل عمده در ایجاد ناپایداری دیواره چاه می‌باشد. از اینرو بررسی دقیق این شکستگی‌ها و دلایل ایجاد آن، نقش شایانی در جهت پایداری دیواره چاه دارد. جهت تشخیص شکستگی القایی بررسی خصوصیات آن ضروری می‌باشد. یکی از فواصل عمقی که شکستگی القایی در آن رخ داده است بر روی نمودار تصویری FMI در (شکل سمت راست ۴) ارائه گردیده است. همچنین بررسی راستای شکستگی القایی در این لایه از میدان از طریق شبکه استریونت صورت پذیرفت(شکل ۴ سمت چپ)..

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۴: شکل سمت راست نمایش شکستگی القایی در دیواره چاه در چاه A(سازند داریان)، شکل سمت چپ نمایش شیب و جهت شیب ظاهری شکستگی‌های القایی با استفاده از شبکه استریونت در چاه A

۳-تفسیر نمودار Dipole Shear Sonic Imager

این نمودار جهت تعیین خصوصیات مکانیکی سازند، تفسیر سنگ‌شناسی و تخلخل سازند، مطالعات ژئوفیزیکی و همچنین مطالعه ناهمسانگردی سرعت موج برشی برداشت می‌گردد. سرعت موج برشی تابعی از راستای شکستگی‌های طبیعی و القایی در سازند می‌باشد. این سرعت در جهت موازی شکستگی‌ها بیشینه و در راستای عمود بر این شکستگی‌ها کمینه می‌باشد. اطلاعات مربوط به نمودار DSI در نرم‌افزار Geolog بارگزاری گردید و مراحل Preprocessing و Processing جهت تهیه Waveform

www.SID.ir

Archive of SID

پردازش شده و محاسبه پارامترهای مورد نیاز جهت مطالعه ناهمسانگردی، اعمال گردید در مرحله بعد ناهمسانگردی موج برشی در فضای دو بعدی مورد بررسی قرار گرفت. نمونه‌ای از نتایج مطالعه ناهمسانگردی موج برشی در (شکل ۹ سمت راست) ارائه گردیده است. راستای سرعت بیشینه موج برشی و راستای شکستگی‌های القایی در شکل ۱۰ نمایش داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌گردد همخوانی مناسبی بین راستای شکستگی‌های القایی و راستای سرعت بیشینه موج برشی وجود دارد. بر این اساس راستای تنش افقی بیشینه در این فاصله عمقی شمال شرقی- جنوب غربی می‌باشد.

پارامتر مؤثر دیگر مطالعه ناهمسانگردی، درصد تغییرات سرعت موج برشی کمینه و بیشینه می‌باشد. این پارامتر با رابطه (۱) زیر تعریف می‌گردد.

$$Anisotropy_DT = \frac{DTS_\max - DTS_\min}{DTS_\min} \times 100 \qquad (۱)$$

که در آن:

Anisotropy_DT: درصد ناهمسانگردی موج برشی

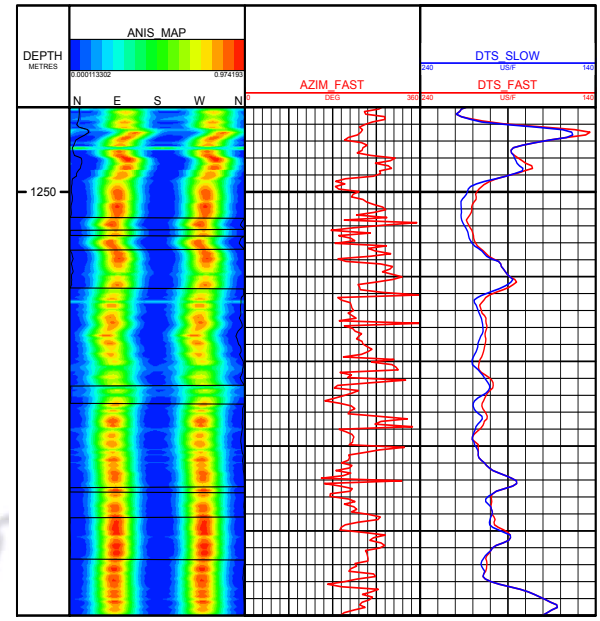
DTS_max: سرعت موج برشی بیشینه

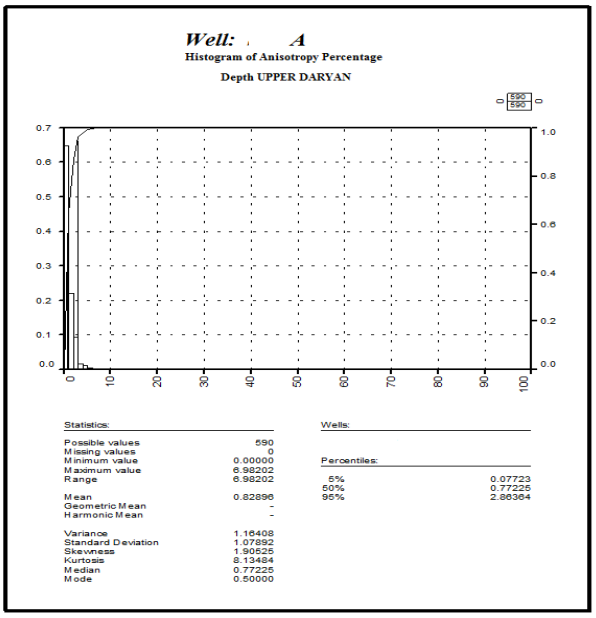
DTS_min: سرعت موج برشی کمینه

نمودار توزیع ناهمسانگردی موج برشی مربوط به سازند داریان بالایی در (شکل ۶ سمت چپ) نمایش داده شده است. همانگونه که در این شکل مشاهده می‌گردد،

www.SID.ir

Archive of SID

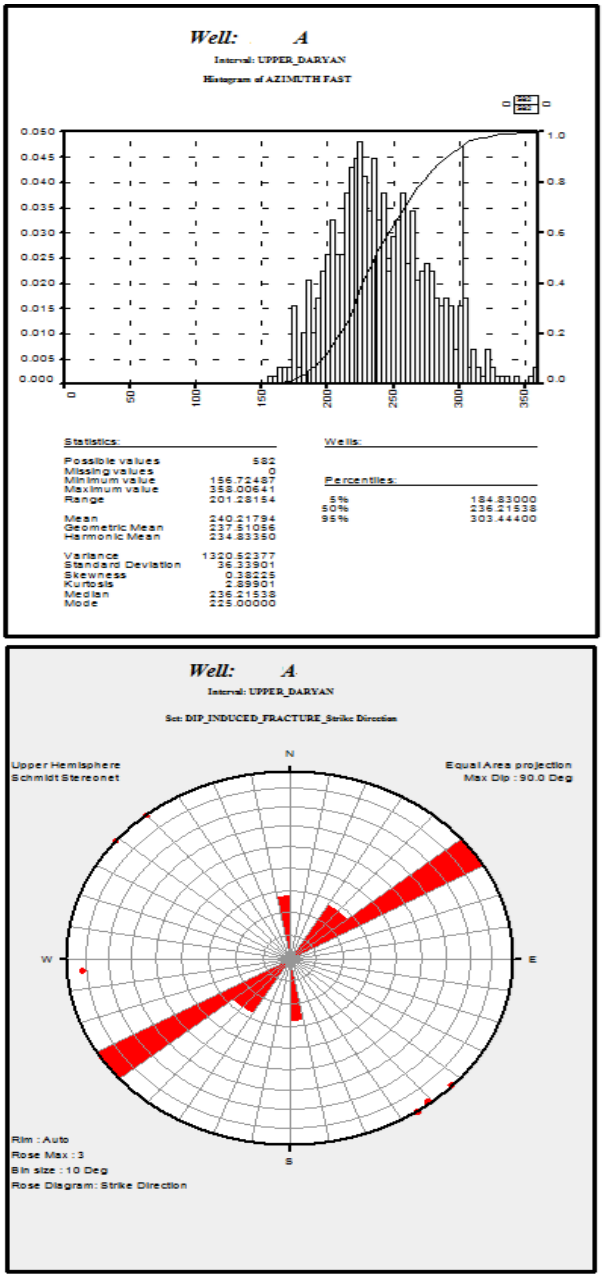




شکل۵:شکل سمت راست نمایش نقشه ناهمسانگردی موج برشی، راستای سرعت برشی بیشینه و سرعت موج برشی بیشینه و کمینه، شکل سمت چپ نمودار توزیع درصد ناهمسانگردی موج برشی

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۶:شکل سمت راست راستای شکستگی‌های القایی، شکل سمت چپ توزیع راستای موج برشی بیشینه
:

www.SID.ir

Archive of SID

۴-نتایج

نمودارهای تصویری نقش مهمی در مطالعه شکستگی های مخازن هیدروکربوری داشته و اطلاعات دقیقی در مورد شکستگی های اطراف چاه در اختیار ما قرار می دهد.در این مقاله نتایج زیر به دست آمد.

- در مجموع سه عدد شکستگی در سازند داریان بالایی تشخیص داده شده است. در نتیجه چگالی شکستگی در این سازند بسیار پایین بوده و سیستم شکستگی در این سازند وجود ندارد.
- با توجه به قرائت نمودارهای قطر سنجی دارای تفاوت چشمگیر نمی‌باشد. تفاوت در دو قطر نمودار قطر سنجی مؤید گسیختگی در دیواره چاه می‌باشد. در صورتیکه در کل فاصله عمقی در این لایه چنین تفاوتی به مشاهده نمی‌گردد از این‌رو گسیختگی در دیواره چاه بوجود نیامده است.
- بر اساس تفسیر های بدست آمده جهت شیب شکستگی القایی شمال غربی – جنوب شرقی و در نتیجه راستای صفحه شکستگی، شمال شرق – جنوب غرب می‌باشد. از این‌رو تنش بیشینه افقی نیز در این راستا می‌باشد
- درصد ناهمسانگردی در این فاصله عمقی بسیار ناچیز می‌باشد. بر این اساس ناهمسانگردی تنش‌های افقی در این سازند نیز ناچیز می‌باشد.

منابع

[۱] Oden, C. O. and LoCoco, J. J., 2000, Variable Frequency Monopole-Dipole Sonic Logging for Mechanical and Hydrogeologic parameters, Conference Proceedings of the Annual Meeting of Environmental and Engineering Geophysical Society, Denver, CO.
[2] Schlumberger, 1989, Schlumberger Log Interpretation: Principles and Applications, July, Houston, Texas
[۳] Serra, O. “Formation MicroScanner Image Interpretation”. Schlumberger Education Services (1989).

www.SID.ir