

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک
گروه مهندسی نفت و ژئوفیزیک

تفکیک انواع تخلخل با استفاده از لاک‌های تصویری در یکی از محازن هیدروکربوری کر بناة جنوب ایران

دانشجو:

محمد حسین غفاری

اساتید راهنما:

دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی

دکتر فرامرز دولتی ارده‌جانی

مشاور:

مهندس فرهاد خوشبخت

دکتر مجید انصاری جعفری

پایان‌نامه کارشناسی ارشد جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

شهریور ۱۳۹۲

تقدیم بہ پدر و مادر عزیزم

گفت استاد مبرورس از یاد ابا و آنچه به من گفت استاد

با تقدیر و تشکر بیکران از زحمات اساتید بزرگووارم، جناب آقای دکتر کامکار روحانی و جناب آقای دکتر دولتی ارده‌جانی که در طی مراحل انجام این پایان‌نامه از هیچ کمکی دریغ ننموده‌اند، امیدوارم که توانسته باشم شاگرد خوبی برای ایشان بوده باشم.

همچنین بر خود لازم می‌دانم از زحمات جناب آقای مهندس فرهاد خوشبخت در پژوهشگاه صنعت نفت نیز تشکر ویژه نمایم.

تعهد نامه

اینجانب محمد حسین غفاری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی اکتشاف نفت دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه "تفکیک انواع تخلخل‌ها با استفاده از لاگ‌های تصویری در یکی از مخازن هیدروکربوری کربناته جنوب ایران" تحت راهنمایی دکتر ابوالقاسم کامکار روحانی و دکتر فرامرز دولتی ارده‌جانی متعهد می‌شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

درصد قابل توجهی از مخازن هیدروکربوری ایران، کربناته هستند. وجود سیستم پیچیده تخلخل در مخازن کربناته باعث رفتار هیدرولیکی پیچیده در این مخازن می‌شود. این مخازن به دلیل نحوه شکل‌گیری و اثرگذاری فرآیندهای دیاژنزی بسیار متغیر و غیرقابل پیش‌بینی هستند. لذا آنالیز انواع تخلخل به ویژه تخلخل حفره‌ای و شکستگی که نقش به‌سزایی در تعیین ذخیره، انتقال و استحصال سیالات هیدروکربنی دارند، بسیار ضروری به نظر می‌رسد. از چالش‌های مهم در مطالعه مخازن کربناته، تغییرات محلی شدید پارامترهای مخزنی مانند تخلخل در مخازن کربناته بوده که به دلیل ناهمگن بودن این مخازن است. مطالعه لاگ‌های چاه‌پیمایی غیر تصویری و مقاطع نازک با توجه به آن که لاگ‌های چاه‌پیمایی غیر تصویری، میانگین تخلخل را در هر ۰/۱۵ تا ۱ متر از چاه اندازه‌گیری می‌کنند و مقاطع نازک میکروسکوپی که از یک بخش از مغزه تهیه می‌شود، نمی‌تواند نتایج دقیق و مطلوبی را به همراه داشته باشد. امروزه از ابزارهای تصویرگر در حوزه‌های اکتشاف، حفاری، و توسعه مخازن نفتی استفاده می‌شود که خصوصیات فیزیکی سازندها و لایه‌های تحت‌الارضی را برحسب عمق با دقت بالایی بررسی می‌نماید. ازجمله این تصاویر می‌توان به تصاویر FMI اشاره کرد که با اندازه‌گیری مقاومت ویژه نسبی، تصویری از دیواره چاه با کیفیت بالا فراهم می‌آورد. تخلخل حفره‌ای و شکستگی‌ها را با به‌کارگیری تکنیک‌های پردازش تصویر می‌توان در لاگ تصویرگر شناسایی و میزان آن‌ها را اندازه‌گیری نمود. با تلفیق لاگ‌های چاه‌پیمایی غیر تصویری و لاگ FMI، انواع تخلخل به صورت کمی قابل تعیین است.

در این مطالعه، روشی برای اندازه‌گیری تخلخل ثانویه و تفکیک انواع آن در مخزن سروک در میدان نفتی گچساران واقع در جنوب ایران ارائه شده است. در این روش با استفاده از جعبه ابزار پردازش تصویر در نرم افزار MATLAB، اثر مربوط به تخلخل ثانویه که به صورت پیکسل‌های سیاه رنگ بر روی تصویر FMI ظاهر می‌شوند، شناسایی و آنالیز می‌گردند. با تعیین نسبت پیکسل‌های مربوط به تخلخل ثانویه به کل پیکسل‌های تصویر در بازه‌های ۵ سانتی‌متری از عمق چاه، میزان تخلخل ثانویه با دقت بسیار بالا تعیین شده و به صورت یک لاگ نمایش داده می‌شود. مقایسه نتایج حاصل از این روش با نتایج لاگ‌های غیر تصویری، اختلافی

کمتر از ۳٪ را در تعیین میزان تخلخل ثانویه نشان می‌دهد. با توجه به این که لاگ‌های غیر تصویری مقدار میانگین تخلخل را در بازه‌های ۱۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متر از عمق چاه اندازه‌گیری می‌کنند اما روش آنالیز تصویر تخلخل ثانویه را در بازه‌های ۵ سانتی‌متری از عمق چاه تعیین می‌کند، وجود این اختلاف قابل توجیه است. از مزایای مهم این روش در تعیین تخلخل ثانویه، کمک به شناسایی زون‌های نازک با تخلخل بالا می‌باشد که سایر لاگ‌های چاه‌پیمایی قادر به شناسایی آن نیستند. همچنین با در نظر گرفتن یک مقدار حد تجمع و ساختار تجمع برای پیکسل‌های سیاه رنگ مربوط به شکستگی‌ها، می‌توان آن‌ها را از تصویر متمایز نمود. با تفریق اثر شکستگی‌ها از اثر مربوط به تخلخل ثانویه بر روی لاگ تصویری، تخلخل حفره‌ای شناسایی می‌گردد. مقایسه نتایج حاصل از این روش با نتایج حاصل از تشخیص شکستگی‌ها به کمک نرم افزار Geolog نشان می‌دهد که این روش در تعیین شکستگی‌ها با بازشدگی زیاد عملکرد خوبی دارد اما به دلیل کیفیت پایین اغلب لاگ‌های تصویری و همچنین ناپیوسته بودن اثر برخی از شکستگی‌های باز به دلیل پرشدگی، در برخی موارد در تفکیک شکستگی‌ها و حفره‌ها ناتوان است.

هر چند به دلیل شباهت اثر تخلخل ثانویه و شیل‌ها بر روی لاگ‌های تصویری، روش آنالیز تصویر در بازه‌های شیلی عملکرد مناسبی ندارد اما به دلیل کیفیت مخزنی ضعیف این بازه‌ها در مخازن کربناته، می‌توان از خطای آن چشم پوشی کرد.

کلید واژه‌ها: تخلخل ثانویه، لاگ تصویری، آنالیز تصویر، لاگ چاه‌پیمایی و مخازن کربناته

فهرست

۱	فصل اول:.....
۱-۱	مقدمه
۲-۱	پیشینه پژوهش
۳-۱	اهداف و ضرورت تحقیق
۴-۱	روش انجام تحقیق
۵-۱	ساختار پایان نامه
۹	فصل دوم:.....
۱-۲	مخازن کربناته
۱-۱-۲	تخلخل در سنگ‌های کربناته
۱-۱-۱-۲	تخلخل اولیه
۲-۱-۱-۲	تخلخل حفره‌ای
۳-۱-۱-۲	تخلخل شکستگی
۲-۲	ابزارهای اندازه‌گیری تخلخل
۱-۲-۲	اندازه‌گیری تخلخل از روی مغزه
۲-۲-۲	نمودار صوتی
۳-۲-۲	نمودار چگالی
۴-۲-۲	نمودار نوترون
۵-۲-۲	نمودارهای تصویری
۳-۲	ابزارها و نمودارهای تصویری چاه
۱-۳-۲	تاریخچه تصویرگرها
۲-۳-۲	تصویربرداری صوتی و مافوق صوت :
۱-۲-۳-۲	دستگاه تصویر برداری صوتی
۲-۲-۳-۲	دستگاه تصویر برداری مافوق صوت
۳-۳-۲	نمودارهای تصویرگر الکتریکی
۱-۳-۳-۲	تصویرگرهای الکتریکی میکروشیب سنج
۲-۳-۳-۲	تصویرگر FMS

۲۱	..... <u>۳-۳-۳-۲- تصویر گر FMI</u>
۲۳	..... <u>۴-۲- پردازش نمودارهای تصویری</u>
۲۳	..... <u>۱-۴-۲- تولید تصویر</u>
۲۴	..... <u>۲-۴-۲- تصاویر حاصل از داده‌های نمودارهای تصویری</u>
۲۶	..... <u>۳-۴-۲- تصحیح سرعت و عمق</u>
۲۷	..... <u>۴-۴-۲- یکسان سازی</u>
۲۸	..... <u>۵-۴-۲- تصحیح گیرنده‌ها</u>
۲۸	..... <u>۶-۴-۲- تصحیح ولتاژ</u>
۲۸	..... <u>۷-۴-۲- تطابق عمقی</u>
۲۸	..... <u>۸-۴-۲- به هنجارسازی تصویر</u>
۲۸	..... <u>۱-۸-۴-۲- به هنجارسازی استاتیکی</u>
۲۹	..... <u>۲-۸-۴-۲- به هنجارسازی دینامیکی</u>
۲۹	..... <u>۹-۴-۲- نمایش داده‌ها</u>
۲۹	..... <u>۵-۲- تفسیر نمودارهای تصویری چاه</u>
۲۹	..... <u>۱-۵-۲- بررسی ناپیوستگی‌ها</u>
۳۰	..... <u>۲-۵-۲- بررسی شکستگی‌ها و درزه‌ها</u>
۳۱	..... <u>۶-۲- تصاویر دیجیتال</u>
۳۱	..... <u>۱-۶-۲- انواع تصاویر دیجیتال بر اساس رنگ</u>
۳۱	..... <u>۱-۱-۶-۲- تصاویر سیاه و سفید</u>
۳۲	..... <u>۲-۱-۶-۲- تصاویر تک رنگ</u>
۳۳	..... <u>۳-۱-۶-۲- تصاویر رنگی</u>
۳۳	..... <u>۲-۶-۲- مشخصات تصاویر دیجیتالی</u>
۳۳	..... <u>۱-۲-۶-۲- پیکسل</u>
34	..... <u>۱-۲-۶-۲- نمایش تصاویر دیجیتالی</u>
۳۶	..... <u>۳-۶-۲- تصاویر FMI</u>
۴۰	..... <u>۷-۲- اهمیت ایجاد الگوریتم برای پردازش تصاویر</u>
۴۰	..... <u>۸-۲- هدف از پردازش تصاویر FMI</u>

۴۱	۹-۲- کاربرد نرم افزار MATLAB در پردازش تصاویر
۴۲	فصل سوم
۴۳	۱-۳- پردازش و تصحیح داده‌ها
۴۴	۱-۱-۳- تصحیح سرعت
۴۴	۲-۲-۳- یکسان سازی داده‌های بالشتک
۴۴	۳-۲-۳- نرمال سازی تصویر
۴۵	۲-۳- تشخیص اثر تخلخل ثانویه بر روی تصویر FMI
۴۶	۱-۲-۳- خاکستری کردن تصویر FMI
۴۷	۲-۲-۳- متمایز نمودن اثر تخلخل ثانویه در تصویر خاکستری
۴۹	۳-۳- تعیین میزان تخلخل ثانویه در مخازن کربناته
۵۱	۴-۳- تعیین میزان تخلخل اولیه در مخازن کربناته
۵۲	۵-۳- راستی آزمایی روش پیشنهادی
۵۲	۱-۵-۳- تخلخل ثانویه اندازه‌گیری شده به روش آنالیز تصویر
۵۳	۲-۵-۳- تخلخل ثانویه اندازه‌گیری شده با استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی
۵۶	۳-۵-۳- مقایسه نتایج
۵۷	۶-۳- تفکیک انواع تخلخل ثانویه
۵۷	۱-۶-۳- شکستگی‌های باز
۵۸	۲-۶-۳- شناسایی شکستگی‌های باز به روش آستانه‌گیری تصویر
۵۸	۱-۲-۶-۳- پر کردن منافذ تصویر
۶۰	۲-۲-۶-۳- تجمع پیکسل‌های مربوط به شکستگی‌ها
۶۱	۳-۲-۶-۳- حذف پیکسل‌های سیاه غیر خطی و غیر سینوسی
۶۳	۳-۶-۳- شناسایی حفره‌های باز
۶۴	۷-۳- راستی آزمایی روش پیشنهادی
۶۸	فصل چهارم
۶۹	۱-۴- جمع بندی
۶۹	۱-۱-۴- تعیین تخلخل ثانویه
۶۹	۲-۱-۴- تفکیک انواع تخلخل ثانویه

۷۰.....نتایج ۲-۴

۷۰.....اندازه‌گیری تخلخل ثانویه به روش آنالیز تصویر ۱-۲-۴

۷۰.....تفکیک تخلخل ثانویه به روش آنالیز تصویر ۲-۲-۴

۷۱.....پیشنهادها ۳-۴

منابع

۷۲.....منابع فارسی

۷۲.....منابع لاتین

۷۴.....ضمائم

۷۵.....الف) الگوریتم تعیین میزان تخلخل ثانویه

۷۶.....ب) الگوریتم شناسایی شکستگی‌های باز

۷۸.....ج) الگوریتم شناسایی حفره‌های باز

۸۰.....د) فیلترسوبل

فهرست شکل‌ها

- شکل ۲-۱: تصویر صوتی از دیواره چاه..... ۱۸
- شکل ۲-۲: ابزار تصویرگر مافوق صوت و تصویر مربوط به آن..... ۱۹
- شکل ۲-۳: ابزار FMS..... ۲۰
- شکل ۲-۴: نمایی از دستگاه FMI..... ۲۲
- شکل ۲-۵: کدگذاری رنگی برای تصاویر مقاومت ویژه میکرو با رسم گراف‌های فراوانی داده‌ها..... ۲۵
- شکل ۲-۶: نمایش تصویر پرنده در آب و اثر نوفه‌های محیطی بر آن..... ۲۶
- شکل ۲-۷: تصویر داده‌های مقاومت میکرو (FMI) بعد از اعمال روش‌های پردازش، مربوط به یک زون کربناته..... ۲۷
- شکل ۲-۸: حالت سینوسی لایه‌های شیب‌دار در اطراف چاه..... ۳۰
- شکل ۲-۹: نمونه‌ای از نمایش شکستگی‌های باز بر روی تصاویر FMI..... ۳۱
- شکل ۲-۱۰: نمونه‌ای از تصاویر سیاه و سفید..... ۳۲
- شکل ۲-۱۱: نمونه‌ای از تصاویر تک رنگ..... ۳۲
- شکل ۲-۱۲: ترکیب رنگ در تصاویر رنگی..... ۳۳
- شکل ۲-۱۳: تصویری شماتیک از پیکسل‌های تشکیل دهنده یک تصویر..... ۳۴
- شکل ۲-۱۴: ماتریس تصاویر دیجیتالی..... ۳۴
- شکل ۲-۱۵: نمایش پیکسل‌های تشکیل دهنده تصاویر در MATLAB..... ۳۵
- شکل ۲-۱۶: پیکسل‌های مربوط به قسمت رنگی با مقادیر مجزا از زمینه مشخص شده‌اند..... ۳۵
- شکل ۲-۱۷: نمونه‌ای از تصویر رنگی FMI و مقادیر پیکسل‌های مربوط به آن..... ۳۷
- شکل ۲-۱۸: نمونه‌ای از تصویر خاکستری FMI و مقادیر پیکسل‌های مربوط به آن..... ۳۸
- شکل ۲-۱۹: نمونه‌ای از تصویر سیاه و سفید FMI و مقادیر پیکسل‌های مربوط به آن..... ۳۹
- شکل ۲-۲۰: خطای دید در تشخیص رنگ‌ها..... ۴۰
- شکل ۳-۱: تصویر اولیه مربوط به بازه‌ای از چاه مورد مطالعه..... ۴۳
- شکل ۳-۲: تصویر بازه‌ای از چاه مورد مطالعه..... ۴۵
- شکل ۳-۳: اثر شکستگی‌های باز و حفره‌ها بر روی نقشه رنگ تصاویر FMI..... ۴۶
- شکل ۳-۴: تبدیل تصویر رنگی FMI به تصویر خاکستری..... ۴۷
- شکل ۳-۵: متمایز شدن اثر مربوط به تخلخل ثانویه از سایر رنگ‌های تصویر خاکستری..... ۴۸
- شکل ۳-۶: تبدیل تصویر خاکستری FMI به تصویر سیاه و سفید..... ۴۸
- شکل ۳-۷: نمونه‌ای از محاسبه نسبت پیکسل‌های سیاه به سفید در پنجره‌های ۵ سانتیمتری بر روی لاگ FMI..... ۵۰
- شکل ۳-۸: نمونه‌ای از آنالیز تخلخل ثانویه در چاه مورد مطالعه به روش آنالیز تصویر..... ۵۱
- شکل ۳-۹: تلفیق لاگ نوترون و لاگ به دست آمده از روش آنالیز تصویر به منظور تعیین تخلخل اولیه..... ۵۲

- شکل ۳-۱۰: تخلخل ثانویه اندازه‌گیری شده به روش آنالیز تصویر در عمق مشخص از چاه مورد مطالعه..... ۵۳
- شکل ۳-۱۱: لاگ‌های چاه‌پیمایی مورد استفاده برای اندازه‌گیری تخلخل در عمق مورد نظر..... ۵۳
- شکل ۳-۱۲: طرح شماتیک از برخورد شکستگی شیب‌دار و افقی با دیواره چاه..... ۵۸
- شکل ۳-۱۳: وجود ناپیوستگی در تصاویر FMI..... ۵۹
- شکل ۳-۱۴: پر کردن منافذ موجود در تصویر..... ۶۰
- شکل ۳-۱۵: وجود پیکسل‌های سیاه رنگ غیر خطی و غیر سینوسی با تجمع بیشتر از N پیکسل در تصویر باینری FMI..... ۶۱
- شکل ۳-۱۶: نتایج حاصل از اعمال توابع آستانه‌گیری..... ۶۲
- شکل ۳-۱۷: نمونه‌ای از شکستگی تفکیک شده با روش آنالیز تصویر در چاه مورد مطالعه..... ۶۳
- شکل ۳-۱۸: نمونه‌ای از تفکیک شکستگی‌ها و حفره‌ها در بازه‌ای از چاه مورد مطالعه..... ۶۴
- شکل ۳-۱۹: عدم توانایی روش آنالیز تصویر در تشخیص لایه‌های شیلی از شکستگی‌ها، در چاه مورد مطالعه..... ۶۵
- شکل ۳-۲۰: تخلخل حفره‌ای مشخص شده به روش آنالیز تصویر در بازه‌های شیل‌دار و بدون شیل..... ۶۵
- شکل ۳-۲۱: مقایسه نتایج روش آنالیز تصویر و فیلتر سوبل در یک بازه بدون شیل از چاه مورد نظر..... ۶۷
- شکل ۳-۲۲: مقایسه نتایج روش آنالیز تصویر و فیلتر سوبل در یک بازه بدون شیل از چاه مورد نظر..... ۶۷

فهرست جداول

- جدول ۳-۱: پارامترهای اندازه‌گیری شده معادله وایلی برای عمق مورد نظر ۵۴
- جدول ۳-۲: مقادیر اندازه‌گیری شده برای محاسبه تخلخل کل به روش چگالی در عمق مورد نظر ۵۵
- جدول ۳-۳: مقادیر اندازه‌گیری شده برای محاسبه تخلخل کل به روش نوترون در عمق مورد نظر ۵۶

فصل اول:

کلیات

قسمت اعظم مخازن هیدروکربوری ایران در پهنه زمین شناسی زاگرس و حوضه خلیج فارس واقع شده است. از لحاظ تعداد مخازن و بدون توجه به حجم هیدروکربورها تقریباً ۹۰ درصد مخازن بزرگ ایران کربناته می‌باشد. مخازن کربناته به خاطر ترکیب شیمیایی کانی‌های تشکیل دهنده آن‌ها مستعد انحلال هستند که منجر به تشکیل و گسترش تخلخل حفره‌ای در آن‌ها می‌شود. غالباً تخلخل حفره‌ای با هم مرتبط نیستند و تاثیر زیادی روی تراوایی مخزن ندارند اما شناسایی آن جهت گزینش نقاط مناسب به منظور مشبک‌کاری از اهمیت شایانی برخوردار است. مکانیزم بازیابی نفت از تخلخل‌های حفره‌ای در یک سیستم تخلخل سه‌گانه بستگی به موقعیت تخلخل‌های حفره‌ای و ارتباط آن‌ها با سیستم شکستگی‌ها دارد. این تخلخل‌های حفره‌ای می‌توانند با سیستم شکستگی مرتبط یا نسبت به آنها ایزوله باشند [عسگری نژاد و همکاران، ۱۳۹۰].

مشخصه دیگر مخازن کربناته وجود شبکه‌های شکستگی است که این شبکه‌ها می‌توانند معابری برای حرکت سیال مخزن باشد. در میداین نفتی حوضه زاگرس، شکستگی‌ها نقش اساسی در مهاجرت و تولید مخازن هیدروکربوری دارد. وقتی شکستگی‌ها باز هستند مسیر مناسبی را برای حرکت هیدروکربن‌ها به سوی چاه نفت ایجاد می‌کنند. در مقابل وقتی شکستگی‌ها پر و سیمان شده هستند، به عنوان سدی در مقابل حرکت هیدروکربن‌ها به سمت چاه عمل می‌کنند [هالر^۱، ۱۹۸۸]. در مطالعه شکستگی‌های مخازن هیدروکربوری، به طور کلی از اطلاعات مختلفی نظیر داده‌های ساختمانی، داده‌های حفاری، نمودارهای رانده شده در چاه‌ها، داده‌های مغزه‌ها، اطلاعات تولیدی چاه‌ها و داده‌های دینامیکی مخزن استفاده می‌گردد و در نهایت با تلفیق اطلاعات فوق‌الذکر و از طریق روش‌های آماری و ریاضی، ساز و کار ایجاد شکستگی‌ها، روندهای عمومی و الگوهای شکستگی‌های غالب، تعیین می‌شود [ظهرا ب زاده، ۱۳۸۸]. حضور هم‌زمان تخلخل حفره‌ای و شکستگی در یک مخزن منجر به بروز رفتار هیدرولیکی پیچیده در آن‌ها می‌شود. عموماً روش‌های تعیین تخلخل در مخازن مانند

¹ Haller

لاگ‌های چاه‌پیمایی، اطلاعات کلی از وضعیت مخزن ارائه می‌دهند و قابلیت شناسایی زون‌های نازک با تخلخل بسیار بالا و یا بسیار پایین را ندارند.

یکی از روش‌های مفید برای به دست آوردن اطلاعات زیرزمینی، تعیین مناطق دارای شکستگی، سطوح لایه بندی و... گرفتن مغزه از دیواره چاه است. ولی با توجه به این که مغزه‌گیری مستلزم صرف زمان و هزینه بالا بوده و گاهی نیز به دلیل وجود شکستگی‌های فراوان درصد بازیافت مغزه‌ها پایین می‌آید، دانشمندان علم اکتشاف نفت در پی یافتن راه حل بهتری برای رسیدن به این هدف بوده‌اند و ابزارهای مختلفی را طراحی کرده‌اند. از جمله مهمترین این ابزارها می‌توان به دوربین‌های درون چاهی اشاره کرد که کمک شایانی در تعیین خصوصیات ساختمانی، بافت و تخلخل سنگ می‌کند. درحقیقت این گونه تصاویر به صورت مکمل و گاهی اوقات جایگزین توصیف مغزه‌ها قرار می‌گیرند [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

نمودارهای تصویری خصوصیات فیزیکی سازندها و لایه‌های تحت الارضی را برحسب عمق در چاه تعیین می‌کند. تصویر برداری به دو روش کلی الکتریکی و فراصوتی انجام می‌شود. در چاه‌هایی که گل حفاری شیرین باشد از دستگاه‌های فراصوتی استفاده می‌شود. این دستگاه‌ها امکان پوشش ۱۰۰٪ از دیواره چاه را فراهم می‌کند اما تفکیک‌پذیری آن نسبت به دستگاه‌های الکتریکی کمتر است. دستگاه‌های الکتریکی در چاه‌هایی با گل دارای درجه شوری زیاد به کار گرفته می‌شود و تفکیک‌پذیری بیشتری نسبت به دستگاه‌های صوتی دارد ولی در مقابل پوشش این دستگاه‌ها با افزایش قطر چاه کاهش پیدا می‌کند [پرنسکی^۱، ۱۹۹۹].

۲-۱- پیشینه پژوهش

در زمینه تفکیک انواع تخلخل در مخازن هیدروکربنی بالاخص مخازن کربناته تاکنون پژوهش‌های مختلفی صورت گرفته است.

¹ Prensky

آنسل متی و ابرلی^۱ در سال ۱۹۹۹، با مطالعه داده‌های لاگ و مغزه از چندین مخزن کربناته، روش لاگ انحراف سرعت^۲ را ارائه کردند. لاگ انحراف سرعت که از الحاق لاگ صوتی^۳ با لاگ تخلخل نوترون^۴ یا چگالی^۵ به دست می‌آید، ابزاری برای تشخیص انواع تخلخل اصلی در کربنات‌ها می‌باشد. این لاگ همچنین برای تشخیص گسترش فرآیندهای دیاژنتیک و روند تراوایی استفاده می‌شود. آزمایش‌های انجام شده بر روی نمونه‌های کربناته، نشان داده که سرعت امواج صوتی تنها حاصل عملکرد مقدار تخلخل نیست، بلکه به نوع تخلخل نیز بستگی دارد. بطور کلی تخلخل و سرعت، رابطه عکس دارند، اما نوع تخلخل‌های موجود، این رابطه را تغییر می‌دهد. برای ایجاد لاگ انحراف سرعت، ابتدا به وسیله معادله وایلی^۶، لاگ تخلخل به لاگ سرعت مصنوعی تبدیل می‌شود. اختلاف سرعت واقعی به دست آمده از لاگ سونیک و سرعت مصنوعی به دست آمده از لاگ تخلخل، به عنوان لاگ انحراف سرعت بیان می‌شود. با استفاده از انحراف این لاگ به چپ و راست، نوع تخلخل مشخص می‌شود.

آگیلرا^۷ و همکاران در سال ۲۰۰۴ یک سیستم تخلخل سه‌گانه را در یک مخزن کربناته بررسی نموده و ارتباط سه نوع تخلخل را با ضریب سیمان شدگی تشریح کردند. آنها برای مدل کردن تخلخل سه‌گانه از لاگ‌های تصویری صوتی و مقاومتی به همراه لاگ‌های NMR استفاده نمودند.

الاحمدی^۸ در سال ۲۰۱۰، برای شیل‌های گازی دارای شکاف هیدرولیکی مدل تخلخل سه‌گانه‌ای ارائه کرد که تخلخل ماتریکس، شکستگی‌های اصلی و مرتبط و شکستگی‌های ریز و غیرمرتبط، سه نوع تخلخل مدل را تشکیل می‌دادند. وی با استفاده از معادلات جریان نحوه تبادل سیال مابین این سه نوع تخلخل را به صورت تحلیلی توضیح داد.

¹ Anselmetti & Eberli
² velocity-deviation log
³ Sonic log
⁴ Neutron log
⁵ Density log
⁶ Wyllie equation
⁷ Aguilera
⁸ Alahmadi

دی و جاری^۱ در سال ۲۰۱۱ تخلخل سه‌گانه را در یک مخزن کربناته با استفاده از داده‌های به دست آمده از آنالیز مغزه نظیر، NMR و تزریق جیوه شناسایی و تفکیک کردند.

در سال‌های اخیر مطالعات گوناگونی بر روی لاگ‌های تصویری جهت رسیدن به الگوی مناسبی برای تشخیص انواع تخلخل‌ها صورت گرفته است.

هورلی و پانتوژا^۲ در سال ۱۹۹۸ در میدان داگر دراو^۳ در ایالت نیو مکزیکو، تخلخل حفره‌ای را کمی سازی کردند. ایشان همچنین نشان دادند با تکنیک نمودار تصویری که قابلیت تفکیک بالایی دارد، می‌توان پیکسل‌های تصویر را حساب و تخلخل ناشی از تخلخل حفره‌ای را کمی نمود.

آسبروکس^۴ و همکاران در سال ۱۹۹۹ ضمن استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی و مقایسه آنها با مغزه، فشار موئینه و لاگ تصویری، نسبت به بررسی تخلخل‌های حفره‌ای و جداسازی آنها از سایر تخلخل‌ها اقدام نمودند.

در سال ۲۰۰۹ خوشبخت و همکاران به بررسی لاگ‌های تصویری برای تعیین یک الگو برای شکستگی‌ها در سه سازند آسماری، پابده و گورپی پرداخته و پس از بررسی این لاگ‌ها به شباهت این الگوی شکستگی در سازندهای پابده و آسماری پی بردند، اما این الگو در مورد سازند گورپی کاملاً متمایز تشخیص داده شده است.

در سال ۲۰۱۲ خوشبخت و همکاران به بررسی توانایی لاگ‌های تصویری در شناسایی شکستگی‌ها و سایر مشخصات زمین‌شناسی در مخازن کربناته پرداخته و تطبیق بین لاگ‌های تصویری و مغزه را تشریح نموده‌اند، در این مقایسه مشخص گردیده که لاگ^۵ FMS در تشخیص شکستگی‌های باز و انیدریت بسیار پرتوان، و در تعیین و

¹ Dey & Johri

² Hurley & Pantoja

³ Dagger Draw

⁴ Ausbrooks

⁵ Formation Micro Scanner

تشخیص شکستگی‌های پرشده، گسل‌ها و ترکیبات متراکم در مخازن کربناته بسیار ضعیف است. این نتایج با بررسی بین دو روش ^۱FMI و مغزه از هفت چاه نزدیک به هم تأیید شده است.

۱-۳- اهداف و ضرورت تحقیق

درصد قابل توجهی از مخازن هیدروکربوری ایران، کربناته هستند. وجود سیستم پیچیده تخلخل در مخازن کربناته باعث رفتار هیدرولیکی پیچیده در این مخازن می‌شود. این مخازن به دلیل نحوه شکل‌گیری و اثرگذاری فرآیندهای دیاژنزی بسیار متغیر و غیرقابل پیش‌بینی هستند. لذا آنالیز انواع تخلخل به ویژه تخلخل حفره‌ای و شکستگی که نقش به‌سزایی در تعیین ذخیره، انتقال و استحصال سیالات هیدروکربنی دارند، بسیار ضروری به نظر می‌رسد.

در روش‌های سنتی این امر با بررسی تمامی مقاطع نازک به وسیله زمین‌شناس و به صورت چشمی انجام می‌شود. مقدار و نوع هر یک از تخلخل‌ها با به کارگیری تجربه زمین‌شناس در آن مقطع نازک تعیین می‌گردد که فرآیندی زمان‌بر و وابسته به تفسیر آن فرد است. این مشکل زمانی بیشتر می‌شود که هم زمان چند نوع تخلخل در مقطع نازک وجود داشته باشد که در این صورت احتمال خطای چشمی به شدت افزایش می‌یابد [خوشبخت، ۱۳۹۱].

تغییرات محلی شدید پارامترهای مخزنی مانند تخلخل در مخازن کربناته از چالش‌های دیگر مطالعه این مخازن است. به عنوان مثال تخلخل در یک نقطه نزدیک صفر و چند سانتی‌متر آن طرف‌تر ممکن است تخلخل به ۲۰ یا ۳۰ درصد برسد. لذا مطالعه لاگ‌های چاه‌پیمایی غیر تصویری و مقاطع نازک با توجه به آنکه لاگ‌های چاه‌پیمایی غیر تصویری میانگین تخلخل را در ۰/۱۵ تا ۱ متر از عمق چاه اندازه‌گیری می‌کنند و مقاطع نازک میکروسکوپی

^۱ Formation Micro Imager

که از یک بخش از مغزه تهیه می‌شود، نمی‌تواند نتایج دقیق و مطلوبی را به همراه داشته باشد [خوشبخت، ۱۳۹۱].

امروزه از تصویرگرها^۱ یا به عبارتی ابزارهای تصویرگر^۲ در حوزه‌های اکتشاف، حفاری، و توسعه مخازن نفتی استفاده می‌شود که خصوصیات فیزیکی سازندها و لایه‌های تحت‌الارضی را برحسب عمق با دقت بالایی بررسی می‌نماید. از جمله این تصاویر می‌توان به تصاویر FMI اشاره کرد که با اندازه‌گیری مقاومت ویژه نسبی، تصویری از دیواره چاه با کیفیت بالا فراهم می‌آورد. بیشتر روش‌های به کارگرفته شده در FMI هنوز وابسته به عملیات دستی بوده که موجب صرف هزینه و وقت بسیار و درعین حال بازدهی پایین است. علاوه بر این، گاهی به دلیل اشتباهات انسانی و نبود تجربه کافی، تفسیر این نمودارها با خطا همراه است [قاسم‌العسگری، ۱۳۸۹].

نرم افزارهای مختلفی برای نمایش و پردازش نمودارهای تصویری وجود دارد که از آن جمله می‌توان به نرم افزار Geolog اشاره کرد که تنها وجود شکستگی‌ها و تراکم آن‌ها را مشخص می‌کند. شرکت شلومبرژه نیز نرم افزاری به نام Geoframe روانه بازار کرده که قادر به تشخیص خودکار شکستگی‌ها می‌باشد اما مفسران دقت این نرم افزار را در مخازن کربناته ایران، ناکافی دانسته و روش‌های دستی را در تفسیر نمودارها ترجیح می‌دهند.

با توجه به نقش اساسی شکستگی‌ها و حفره‌ها در تولید و برداشت هیدروکربن و همچنین ناتوانی روش‌های چاه-پیمایی غیرتصویری در تعیین میزان دقیق تخلخل ثانویه و همچنین عدم توانایی این روش‌ها در تشخیص شکستگی‌ها و حفره‌های باز از یکدیگر در مخازن کربناته، ارائه یک الگوی مناسب جهت اندازه‌گیری دقیق تخلخل ثانویه و تفکیک هر کدام از این تخلخل‌ها، امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. در این مطالعه با ارائه روش آنالیز تصویر

¹ Imager

² Imaging Tools

سعی بر آن شده است که میزان و نوع تخلخل ثانویه در مخازن کربناته با دقت و سرعت بالا تعیین گردد. با استفاده از این روش امکان مطالعه دقیق تر و بهتر شرایط مخزن فراهم می شود.

۴-۱- روش انجام تحقیق

در این مطالعه سعی بر آن شده است که با بررسی و آنالیز اثر مربوط به تخلخل ثانویه بر روی لاگهای تصویری FMI، میزان و انواع آن شناسایی و ارزیابی گردد. برای دست یافتن به این هدف، دادههای اولیه به دست آمده از ابزار FMI مربوط به چاه مورد مطالعه، به وسیله نرم افزار Geolog تصحیح و پردازش می گردد. پس از انجام تصحیحات، با ارائه یک الگوی مناسب در نرم افزار MATLAB، اثر^۱ مربوط به تخلخل ثانویه شناسایی و مورد بررسی قرار می گیرد. این اثر به صورت پیکسلهای سیاه رنگ بر روی تصاویر FMI ظاهر می شود. با تعیین نسبت پیکسلهای سیاه به سایر پیکسلها در بازههای ۵ سانتی متری، میزان تخلخل ثانویه به صورت کمی و دقیق قابل محاسبه است. همچنین با مشخص نمودن یک الگوی مشخص برای پیکسلهای مربوط به شکستگیها و حفرهها در محیط نرم افزار MATLAB، این دو تخلخل مهم از یکدیگر تفکیک می شوند.

۵-۱- ساختار پایان نامه

این نوشته شامل چهار فصل می باشد. در فصل اول کلیاتی درباره اهداف، ضرورت و اهمیت انجام این تحقیق بیان شده است. در فصل دوم خصوصیات مخازن کربناته، نحوه اندازه گیری تخلخل در این نوع مخازن و همچنین ابزارهای تصویربرداری درون چاهی تشریح شده است. در بخش پایانی این فصل انواع تصاویر و ضرورت پردازش آنها مورد بررسی قرار گرفته است. در فصل سوم، روش پیشنهادی برای اندازه گیری تخلخل ثانویه و تفکیک شکستگی و حفرههای باز از یکدیگر، ارائه شده است. در این فصل نتایج حاصل از روش آنالیز تصویر با سایر نتایج مربوط به لاگهای چاه پیمایی مقایسه گردیده است. فصل چهارم نتایج حاصل از روش پیشنهادی ذکر شده و نتیجه گیری و پیشنهادات لازم ارائه شده است.

¹ Trace

فصل دوم:
تخلخل و نمودارهای تصویری

۲-۱- مخازن کربناته

مخازن کربناته از مهمترین انواع مخازن به خصوص در خاورمیانه و همچنین کشور ما می‌باشند. بیش از ۶۵٪ هیدروکربن خاورمیانه، ۴۰٪ نفت تمام میادین اصلی و ۵۰٪ درصد میادین خیلی بزرگ^۱ در مخازن کربناته هستند. بررسی انواع تخلخل و شناسایی نوع تخلخل موجود در سنگ مخزن کربناته، نقش مهمی در تفسیر و تخمین میزان تولید هیدروکربن دارد [رضایی، ۱۳۸۹].

۲-۱-۱- تخلخل در سنگ‌های کربناته

تخلخل در سنگ‌های کربناته به سه گروه تقسیم می‌شود:

۲-۱-۱-۱- تخلخل اولیه

تخلخل اولیه^۲ هم زمان با رسوب‌گذاری به وجود می‌آید. تخلخل بین دانه‌ای و درون دانه‌ای از مهمترین تخلخل‌های اولیه در سنگ‌ها می‌باشند [رضایی، ۱۳۸۹].

۲-۱-۱-۲- تخلخل حفره‌ای

تخلخل حفره‌ای^۳ در اثر انحلال و بزرگ شدن تخلخل‌های قالبی و بین دانه‌ای، بدون توجه به فابریک، در سنگ‌های کربناتی تشکیل می‌شود. این فضاهای خالی که با شکل‌ها و اندازه‌های غیرمنظم هستند می‌توانند با هم ارتباط داشته و یا نداشته باشند [رضایی، ۱۳۸۹].

^۱ giant oil field

^۲ Primary Porosity

^۳ vug

۲-۱-۱-۳- تخلخل شکستگی

تخلخل شکستگی^۱ یکی از مهمترین انواع تخلخل در سنگ‌های کربناته به شمار می‌روند. وقتی این نوع تخلخل شکل می‌گیرد، اگرچه ممکن است تخلخل سنگ خیلی بالا نرود، ولی مخزن تراوایی زیادی پیدا خواهد کرد.

شکستگی‌ها از ویژگی‌های بیشتر میدان‌های بزرگ نفتی کربناته هستند [رضایی، ۱۳۸۹].

شکستگی‌ها را می‌توان در شش گروه دسته‌بندی و بررسی نمود [قاسم العسگری، ۱۳۸۹]:

۱- شکستگی‌های طبیعی

شکستگی‌های طبیعی غالباً توسط نیروهای تکتونیکی در سنگ‌های تشکیل دهنده پوسته فوقانی زمین به وجود می‌آیند. این گونه شکستگی‌ها معمولاً در سنگ‌های کربناته بیشتر از ماسه سنگ‌ها یافت می‌شوند و معمولاً با جهت اعمال نیروهای تکتونیکی حاکم رابطه دارند.

۲- شکستگی‌های القایی

بعضی از شکستگی‌های القایی از توسعه شکستگی‌های طبیعی بوجود می‌آیند. این شکستگی‌ها ممکن است در جهت نیروهای تکتونیکی حاکم توسعه پیدا کرده باشند. ضمناً بعضی از آنها ممکن است در امتداد شکستگی‌های طبیعی نباشند و حتی ممکن است عمود بر آنها توسعه یابند.

۳- شکستگی‌های القایی به وسیله سرمته

شکستگی‌های القایی توسط سرمته به صورت موازی با محور چاه بوده که با شکستگی‌های طبیعی، القایی و توسعه یافته تفاوت دارد.

¹ Fracture

۴- شکستگی‌های توسعه یافته

این گونه شکستگی‌ها در نتیجه توسعه شکستگی‌های قبلی در حین حفاری بوجود می‌آیند. آنها ممکن است در دو جهت یا چند جهت توسعه یافته باشند. شکستگی‌های توسعه یافته معمولاً به علت پهنای بسیار کم در دبی تولید از سنگ مخزن خیلی مؤثر نمی‌باشند.

۵- شکستگی‌های هیدرولیکی

شکستگی‌های هیدرولیکی آن دسته از شکستگی‌ها می‌باشند که در جهت موازی با تنش بیشینه اصلی افقی توسعه یافته‌اند. جهت تنش‌های بیشینه اصلی افقی سطوح شکستگی‌ها را مشخص می‌کند که به علت خردشدگی دیواره چاه حفره‌ها در جهت عمود بر محور چاه توسعه می‌یابند.

۶- شکستگی‌های متفرقه

شکستگی‌های متفرقه، شکستگی‌های انحرافی یا مورب^۱ هستند. این نوع شکستگی‌ها در جهت محور چاه به صورت قائم نبوده بلکه دارای زاویه انحراف از محور چاه می‌باشند. این گونه شکستگی‌ها ممکن است با شکستگی مورب اشتباه شوند. یکی از خصوصیات بارز این نوع شکستگی‌ها عدم پیوستگی در پیرامون دیواره چاه می‌باشد. آن‌ها فقط در ناحیه کششی دیواره چاه توسعه می‌یابند و توسط منحنی سینوسی قابل توصیف نمی‌باشند.

۲-۲- ابزارهای اندازه‌گیری تخلخل

تخلخل را می‌توان در آزمایشگاه از روی مغزه‌ها و یا استفاده از نمودارهای چاه‌پیمایی خصوصاً نمودار چگالی، صوتی و نوترون محاسبه نمود [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

¹ Inclined fracture

۲-۲-۱- اندازه‌گیری تخلخل از روی مغزه

روش‌های مختلفی برای آنالیز و بررسی مغزه^۱ جهت اندازه‌گیری تخلخل وجود دارد. همانند تکنیک قانون بویل و روش مجموع سیالات، که انتخاب هر کدام از این روش‌ها به نوع سنگ آنالیز شده و زمان لازم برای به دست آوردن اطلاعات بستگی دارد. بیشتر این تکنیک‌ها به تخلخل مفید حساسند ولی تخلخل کل را می‌توان با خرد کردن نمونه در رساندن به اندازه ذرات^۲ به دست آورد [رضایی، ۱۳۸۹].

۲-۲-۲- نمودار صوتی

نمودار صوتی اولین بار در سال ۱۹۵۴ به عنوان ابزار اندازه‌گیری تخلخل شناخته شده است. این نمودار عمق را در مقابل مدت زمانی که یک پالس صوتی طول معینی از یک سنگ (یک فوت) را طی می‌کند، اندازه‌گیری می‌نماید. سرعت صوت به نوع ماتریکس، بافت سنگ، دما و فشار، ماهیت سیالات موجود در خلل و فرج سنگ بستگی دارد. از آنجا که نوع سازند با نمودارهای دیگر مشخص می‌گردد و با توجه به اینکه زمان عبور صوت با نوع و ترکیب سنگ و مایع تغییر می‌کند، می‌توان تخلخل اولیه را با استفاده از این نوع نمودار به دست آورد. معادله مبنا برای تعیین تخلخل معادله وایلی است. این رابطه بر اساس رابطه‌ی بین تخلخل و مدت زمان گذر موج در سنگ و سیال استوار است. این معادله برای سازندهای بدون شیل که در آنها فضاهای خالی به طور یکسان توزیع شده‌اند، کارایی خوبی دارد [قاسم‌العسگری، ۱۳۸۹].

$$\phi = \frac{\Delta t_{\log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \times \frac{1}{Cp} \quad (1-2)$$

که در آن:

Δt_{\log} : قرائت نمودار صوتی

Δt_f : زمان گذر صوت در سیال حفاری

¹ Core

² grain size

Δt_{ma} : زمان گذر مواد ماتریکس

Cp: فاکتور تراکم

۲-۲-۳- نمودار چگالی

ابزار اندازه‌گیری چگالی دارای چشمه تولید کننده اشعه گاما (با انرژی ۶۶۲keV) و آشکارگرهای اشعه گاما می‌باشد که در هنگام نمودارگیری در مقابل سازند قرار می‌گیرد، اشعه‌های ارسال شده از چشمه با پدیده‌های پراکندگی کامپتون و جذب فوتو الکترونیک به سازند برخورد نموده و در پایان توسط گیرنده‌ها ثبت می‌گردند. ابزار چگالی تخلخل کل سازند را اندازه‌گیری می‌نماید، برای سازندهای تمیز(عاری از شیل) با داشتن ρ_f, ρ_{ma} میزان تخلخل بر اساس معادله زیر به دست می‌آید [قاسم العسگری، ۱۳۸۹]:

$$\phi = \frac{\rho_{ma} - \rho_b}{\rho_{ma} - \rho_f} \quad (2-2)$$

که در آن:

ρ_b : قرائت نمودار چگالی

ρ_f : چگالی سیال اشباع کننده

ρ_{ma} : چگالی سنگ

ϕ : تخلخل

۲-۲-۴- نمودار نوترون

ابزار نمودارگیری نوترونی، نوترون را با انرژی بالا از طریق چشمه‌های نوترون شیمیایی یا ابزار تولید کننده نوترون به نام مینی‌ترون^۱ به درون سازند می‌فرستند، ابزار نوترون که برای تعیین تخلخل به کار می‌رود از گیرنده‌های نسبی گاز هلیوم استفاده می‌کند و بر مبنای خروجی مدنظر، گیرنده‌های هلیوم برای آشکار کردن

^۱ Minitron

نوترون‌های ترمال و اپی ترمال تنظیم می‌گردد. هنگامی که نوترون وارد آشکارگر می‌شود با اتم‌های هلیوم برهمکنش نموده و سپس موج‌های الکتریکی قابل شناسایی تولید می‌نماید. خروجی ابزارنمودارگیری نوترون، نمودار تخلخل می‌باشد. برای محاسبه تخلخل نسبت شمارش گیرنده‌های دور و نزدیک ابزار به کار می‌رود. با استفاده از این نمودار می‌توان تخلخل کل را به دست آورد. نمودار نوترون به تنهایی برای تعیین تخلخل در سازندهای عاری از شیل که با آب اشباع شده‌اند کاربرد دارد. تخلخل به طور مستقیم با کمک این نمودارها، با در نظر گرفتن تصحیحات محیطی قابل تعیین است، در برخی از سازندها تصحیحاتی از قبیل جنس سنگ، نوع کانی رسی، مقدار و نوع هیدروکربور نیز باید روی این نمودارها اعمال گردد تا تخلخل دقیق به دست آید [قاسم العسگری، ۱۳۸۹]. مقدار تخلخل کل با استفاده از نمودار نوترون در سازندهای فاقد شیل، با استفاده از معادله ۲-۳ محاسبه می‌گردد [براک^۱، ۱۹۸۶]:

$$\phi_N = \frac{\phi_{log} - \phi_{min}}{\phi_{max} - \phi_{min}} \quad (3-2)$$

که در آن:

ϕ_{log} : مقدار قرائت شده نوترون

ϕ_{min} : حداقل مقدار برداشت شده نوترون

ϕ_{max} : حداکثر مقدار برداشت شده نوترون

ϕ_N : تخلخل نوترون

¹ Brock

۲-۲-۵- نمودارهای تصویری

نمودارهای تصویری دسته‌ای از نمودارهای مدرن چاه‌پیمایی هستند که تصویر مجازی و جهت‌دار با قدرت تفکیک بالا از دیواره چاه‌های نفت و گاز برداشت می‌کنند [سرا، ۱۹۸۹]. این نوع نمودارها ابزارهای دقیقی هستند که خصوصیات فیزیکی سازندها و لایه‌های تحت‌الارضی را بر حسب عمق چاه تعیین می‌کنند. نمودارهای تصویری در بخش بعدی به‌طور مفصل شرح داده خواهند شد.

۲-۳- ابزارها و نمودارهای تصویری چاه

۲-۳-۱- تاریخچه تصویرگرها

برای اولین بار در سال ۱۹۵۸، از دستگاهی به نام دوربین عکاسی برای تهیه عکس از دیواره چاه‌ها استفاده شد، پس از آن در سال ۱۹۶۰ تصویرگرهای نوری جایگزین دوربین‌های عکاسی درون چاهی شدند و پیشرفت قابل ملاحظه‌ای را در تصویربرداری از دیوار چاه به‌وجود آوردند، اما این روش دارای محدودیت‌هایی بود که از آن جمله می‌توان به ضرورت وجود سیال حفاری شفاف اشاره نمود.

در سال ۱۹۶۸ اولین ابزارتصویرگر صوتی با فرکانس بالا توسط شرکت نفتی موبیل^۲ وارد بازار شد که بر خلاف تصویرگرهای نوری، نیاز به سیال حفاری شفاف نداشت.

شرکت شلومبرژه^۳ در اواسط دهه هشتاد میلادی، اولین ابزار تصویرگر خود را به بازار عرضه نمود. این ابزار شباهت زیادی به شیب‌سنج‌ها دارد، با این تفاوت که تعداد گیرنده‌های به‌کارگرفته شده در آن بیشتر از شیب‌سنج‌ها می‌باشد.

در سال ۱۹۸۶ تحولی بزرگ در عرصه تصویرگرها بوجود آمد. شرکت شلومبرژه اولین تصویرگر میکروالکترونیکی به نام FMS را وارد صنعت نمود. این ابزار قادر به مشخص نمودن ساختمان سازندها، لایه‌بندی، ترک‌ها،

¹ Serra

² Mobil

³ Schlumberger

شکستگی‌ها و نیز تخلخل ثانویه می‌باشد. قابلیت‌های فراوان این دستگاه در توصیف محیط رسوبی دیاژنزی و همچنین ساختارهایی همچون شکستگی‌ها سبب استمرار در استفاده از آن در سال‌های اخیر گشته است.

پس از آن در سال ۱۹۹۱ تصویرگر FMI روانه بازار شد که دارای قدرت تفکیک بالاتر و پوشش بیشتری نسبت به FMS است. امروزه ابزار FMI جایگزین مناسبی برای FMS بوده و با افزایش درصد پوشش دیواره چاه همراه است.

در سال ۱۹۹۴ شرکت دیگری به نام هالیبرتون^۱ ابزار دیگری به نام EMI وارد بازار نمود که سعی در بهبود کیفیت تصاویر دیوار چاه داشت. هم اکنون شرکت‌های مختلفی مانند ریوز، شلومبرژه، هالیبرتون و... انواع تصویرگرها با کارایی مختلف را وارد عرصه صنعت نموده‌اند و زمین شناسان جهت تحلیل و تفسیر پدیده‌های طبیعی دیواره چاه تا حدود زیادی از انجام مستمر عملیات مغزه‌گیری بی‌نیاز شده‌اند [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

۲-۳-۲- تصویربرداری صوتی و مافوق صوت:

۲-۳-۲-۱- دستگاه تصویر برداری صوتی

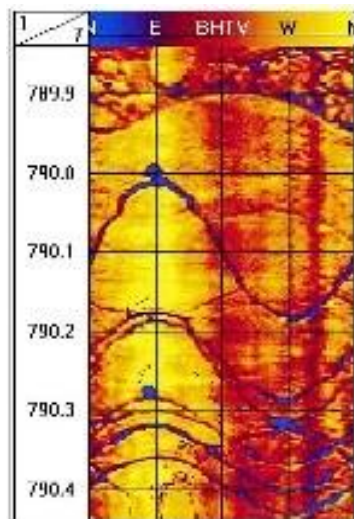
این ابزار یک اسکنر صوتی^۲ بوده و همانند یک نمودار تفسیری است که می‌تواند اطلاعاتی در زمینه موقعیت و ویژگی‌های تخلخل ثانویه از قبیل شکستگی و شیب و امتداد آنها در اختیار بگذارد. این دستگاه دارای یک منبع پیزوالکتریک چرخشی می‌باشد که صوت را به دیواره چاه فرستاده و زمان برگشت آن را اندازه‌گیری می‌کند [خوشبخت و همکاران، ۲۰۰۹]. اختلاف موجود در زمان و دامنه سیگنال‌ها مشخص کننده شکستگی یا دیگر ساختارهای سازند می‌باشد [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

دستگاه‌های تصویربرداری صوتی در انواع مختلف گل حفاری به کار می‌روند و تصویر کامل از دیواره چاه را ارائه می‌دهند (شکل ۲-۱). کیفیت این تصاویر نسبت به ابزارهای الکتریکی بسیار کمتر بوده اما کاربرد آن بیشتر است.

^۱ Haliburton

^۲ Acoustic

از محدودیت‌های این دستگاه می‌توان حساس بودن آن به گل سنگین و گل باریت‌دار و همچنین عدم کارایی آن در چاه‌هایی با قطر بالای ۱۴ اینچ اشاره نمود.

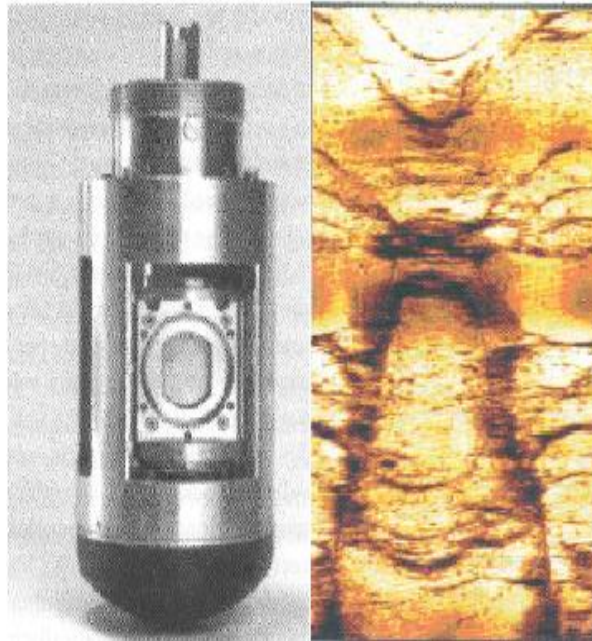


شکل ۲-۱: تصویر صوتی از دیواره چاه [ویلیامز، ۲۰۰۸].

۲-۲-۳-۲- دستگاه تصویر برداری مافوق صوت

نوعی ابزار تصویربرداری صوتی با فرکانس بالا می‌باشد. این دستگاه قابلیت استفاده در چاه‌های با گل پایه آبی و پایه روغنی را داراست و اغلب همراه ابزارهای الکتریکی که در چاه‌های پایه روغنی عملکرد ضعیفی دارند، به درون چاه رانده می‌شوند. این ابزار نقش مهمی در تشخیص محل و جهت تنش‌ها در دیواره چاه دارد و اغلب به منظور شناسایی، مقاوم سازی و مشبک‌کاری سازندهای غیر ایزوله به کار می‌رود. در شکل ۲-۲ نمونه‌ای از این ابزار و تصویر مافوق صوت دیده می‌شود.

¹ Williams



شکل ۲-۲: ابزار تصویرگر مافوق صوت و تصویر مربوط به آن [لوسی^۱، ۲۰۰۱]

۲-۳-۳-۲- نمودارهای تصویرگر الکتریکی

۲-۳-۳-۲-۱- تصویرگرهای الکتریکی میکروشیب سنج

تصویرگرهای میکروشیب سنج در سال ۱۹۸۰ با ترکیب یک پاندول و یک جهت یاب مغناطیسی ساخته شد. متداول ترین نوع این دستگاه، ابزار شیب سنج پیوسته سه بازویی است که یک منحنی با سه نقطه از سطح لایه بندی را تشخیص می دهد. ابزارهای شیب سنج را می توان پایه و اساس ابزارهای تصویرگر الکتریکی معرفی نمود.

۲-۳-۳-۲- تصویرگر FMS

نسل اول این ابزار ترکیبی از ابزار شیب سنج دوگانه با دو بالشتک تصویر بردار بود. هر بالشتک دارای ۲۷ الکتروده، در چهار ردیف، برای اندازه گیری مقاومت میکرو استفاده می شد و دستگاه در یک نوبت در چاهی به قطر ۸/۵ اینچ حدود ۲۰ درصد از دیوار چاه را پوشش می داد.

¹ Luthi

نسل دوم FMS در سال ۱۹۸۸ مدل چهار بالشتکی با ۱۶ الکتروود در دو ردیف روی هر بالشتک وارد بازار گردید. این مدل با داشتن ۴ بالشتک و جمعاً ۶۴ الکتروود پوششی معادل ۴۰ درصد در چاه به قطر ۸/۵ اینچ را داراست. ابزار نسل سوم FMS، مجهز به ابزار دیگری به نام GPIT است. این دستگاه دارای کارتریج شیب سنج تمام منظوره‌ای است که اطلاعات مربوط به شتاب سنج و مغناطیس سنج را نیز ثبت می‌کند.

اساس کار ابزار تصویرگر FMS انتشار جریان الکتریکی به داخل سازند و اندازه‌گیری مقاومت ویژه الکتریکی سازند است و از نظر تئوری فقط در گل‌های پایه‌آبی و با داشتن مقاومت ویژه گل کمتر از ۱۵۰ اهم متر کاربرد موثر دارد. از جمله خصوصیات تصویرگر FMS می‌توان به تفکیک عمودی بسیار بالا (حدود ۵ میلی‌متر)، دامنه تغییرات مقاومتی بسیار گسترده (از ۰/۱ اهم متر تا بیش از ۱۰۰۰۰ اهم متر)، نرخ بالای نمونه برداری (برداشت در هر ۰/۱ اینچ) و حساسیت بالای دستگاه در تشخیص ساختارهای بسیارنازک را نام برد [قاسم العسگری، ۱۳۸۹]. در شکل ۲-۳ طرح شماتیک از ابزار FMS دیده می‌شود.



شکل ۲-۳: ابزار FMS [سرا، ۱۹۸۹]

از جمله مهمترین ساختارهای زمین شناسی که توسط نمودارهای FMS قابل تشخیص است می توان به موارد زیر اشاره نمود [فاسم العسگری، ۱۳۸۹]:

- شکستگی های باز
- شکستگی های پر شده
- شکستگی های ناشی از عملیات حفاری
- مرز لایه بندی ها
- لایه های نازک رسانا

مطالعات نشان می دهد که نمودارهای FMS در تشخیص شکستگی های باز و انیدریت بسیار پرتوان بوده اما در تعیین شکستگی های پر شده، گسل ها و ... در مخازن کربناته، توانایی کمتری دارند [خوشبخت و همکاران، ۲۰۱۲].

۲-۳-۳-۳- تصویرگر FMI

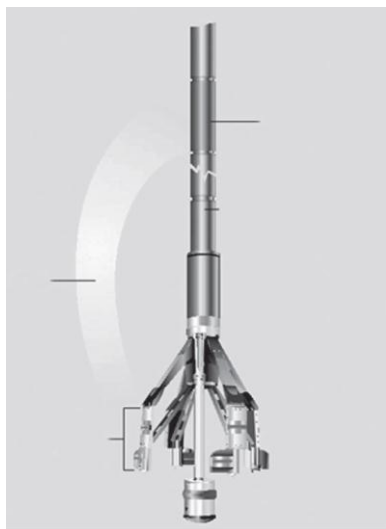
FMI نسل جدیدی از ابزارهای تصویرگر می باشد که پوشش آن دو برابر FMS است. این دستگاه دارای ۴ بازو و ۴ بالشتک بوده که بر روی هر بالشتک ۲۴ الکتروود و در مجموع ۱۹۲ الکتروود دارد و برای چاهی به قطر ۸/۵ اینچ تا ۸۰ درصد پوشش را ایجاد می کند. از آنجائی که قطر هر کدام از الکتروودها حدود ۰/۴ سانتی متر است، دقت افقی دستگاه حدود نصف فاصله افقی دو الکتروود یعنی ۰/۲۵ سانتی متر می باشد. دقت عمودی دستگاه هم حدود ۰/۵ سانتی متر است. این نمودار در توصیف ساختارهای خطی، غیرخطی، رسوبی و دیاژنزی کاربرد فراوان دارد. از مزایای این ابزار می توان قابلیت همراه شدن آن با سایر ابزارها برای ارائه تصاویر با کیفیت بهتر نسبت به FMS را نام برد.

از محدودیت‌های دستگاه FMI می‌توان به حساس بودن آن به قطر چاه (کمترین اندازه چاه ۶/۲۵ اینچ و بیشترین اندازه چاه ۲۱ اینچ)، انحراف چاه (بیشترین انحراف چاه ۹۰ درجه) و مقاومت الکتریکی گل (بیشترین مقاومت الکتریکی گل ۵۰ اهم) اشاره نمود [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

از مهمترین کاربردهای نمودار FMI می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- شناسایی الگوی درزه‌ها، گسل‌ها و شکستگی‌ها
- تحلیل و تشخیص ناپیوستگی‌های زمین شناسی در پیرامون چاه
- محاسبه زون‌های تولید در یک سازند
- بررسی خصوصیات رخساره‌ای سنگ‌های درون چاه
- و ...

در شکل زیر نمایی از دستگاه FMI دیده می‌شود :



شکل ۲-۴: نمایی از دستگاه FMI [شلومبرژه، ۲۰۰۲]

۲-۴- پردازش نمودارهای تصویری

به طور کلی داده‌های تصویری باید مراحل از آماده‌سازی را بگذرانند، هدف از گذراندن این مراحل تبدیل مقاومت ویژه برای هر الکتروود (در دستگاه‌های الکتريکی) یا زمان رفت و برگشت سیگنال (در دستگاه‌های فراصوتی) به تصویر خاکستری (سیاه و سفید) و یا رنگی می باشد تا بتوان ویژگی‌های زمین شناسی و تکتونیکی سازندها را به خوبی مشاهده و تفسیر کرد. این هدف با گذراندن مراحل زیر محقق می‌گردد [سرا، ۲۰۰۴؛ قاسم العسگری، ۱۳۸۹]:

- تولید تصویر
- تصحیح سرعت و عمق
- یکسان سازی
- تصحیح حسگرها
- تصحیح ولتاژ
- تطابق سازی عمق
- به هنجار سازی تصویر
- ارائه داده‌ها بصورت گرافیکی

۲-۴-۱- تولید تصویر

داده‌های حاصل از هر بالشتک در دستگاه‌های الکتريکی و سیگنال‌های دریافتی از دستگاه‌های صوتی به عنوان یک ماتریس پردازش می‌شوند. هر عنصر ماتریس ارائه دهنده یک نقطه از تصویر است که مقدار آن برابر با مقاومت ویژه و یا زمان رفت و برگشت سیگنال بوده و محل آن نقطه در تصویر از طریق داده‌ی آزیموت و عمق

اندازه‌گیری شده برای نقطه مورد نظر به دست می‌آید. به کمک داده‌ی آزمون به دست آمده از طریق انحراف سنج، تصویر حاصل در جهت شمال مغناطیسی قرار می‌گیرد [سرا، ۲۰۰۴؛ شلومبرژر، ۱۹۹۲].

۲-۴-۲- تصاویر حاصل از داده‌های نمودارهای تصویری

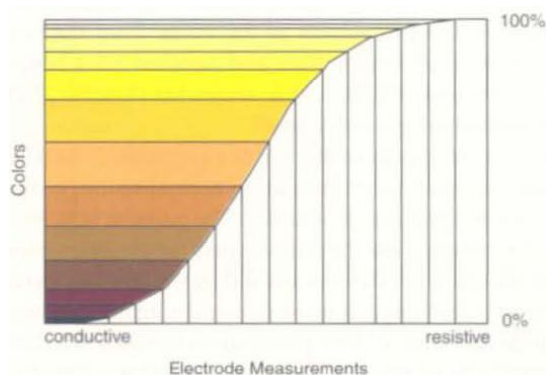
برای ایجاد تصویر از داده‌های نمودارهای تصویری باید از مقیاس رنگی (کد رنگی) برای هر کدام از پدیده‌های تصویری استفاده نمود که اصول آن به شرح زیر است [قاسم العسگری، ۱۳۸۹]:

در روش اول یک نمودار خروجی از تصویرگر به صورت یک بعدی رسم خواهد شد، برای انجام این کار برای هر رنگ، کدرنگی تعریف می‌شود. برای مثال کدرنگی ۰-۱۰ به عنوان رنگ سبز تیره، کد ۱۰-۲۰ برای رنگ سبز و کد ۲۰ تا ۳۰ برای رنگ زرد و رنگ دیگر انتخاب می‌شود.

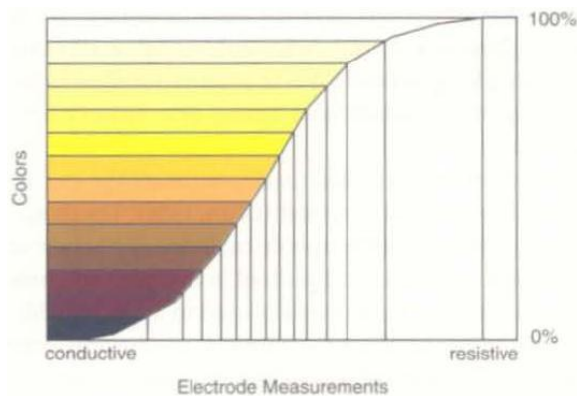
روش دیگر برای رسم تصویر این است که می‌توان کلیه پاسخ‌های ابزار نمودارگیری تصویری را به صورت کامل برای یک عمق به خصوص قرائت نمود و کدگذاری کرد. از آنجایی که تصویرگر FMI از هر عمق ۱۹۲ داده تهیه می‌کند، با این داده‌ها می‌توان تصویر رنگی برای هر عمق رسم نمود. با این‌که تصویر کامل برحسب عمق از این گونه داده‌ها در حد دقت عمودی دستگاه به دست می‌آید، کلیه‌ی نمودارهای تصویری با حد فاصل مشخص مانند ۲/۵ میلی متر برای داده‌های FMI نمونه برداری می‌شود که به صورت ماتریس در جهت عمقی و افقی با کد رنگی کدگذاری می‌گردد و سپس با تصویر بر حسب سلول با دقت افقی و دقت عمودی رسم می‌گردد.

در شکل ۲-۵-الف روش کدگذاری رنگی از داده‌های مقاومت ویژه الکتریکی نشان داده شده است. به طور متداول رنگ سیاه مربوط به ناحیه رسانا و رنگ قهوه‌ای، قرمز، زرد و سفید به ترتیب مربوط به کاهش رسانایی است. رنگ سفید مربوط به ناحیه با مقاومت ویژه الکتریکی زیاد می‌باشد. به علت این‌که گل حفاری و کانی‌های رسی دارای رنگ تیره می‌باشند با کد سیاه توجیه شده‌اند. به علاوه کد مقیاس خاکستری نیز می‌تواند برای این منظور مورد استفاده قرار گیرد. به‌طور کلی متداول شدن این نوع کدگذاری به دلیل توجیه نفوذ گل به داخل

خلل و فرج و نیز شکستگی‌ها می‌باشد. شدت مقیاس کدرنگی در تصاویر نمودارهای تصویری مقاومت ویژه میکرو به تعداد رنگ‌ها در کدگذاری بستگی دارد. با افزایش تعداد کد رنگی در تصاویر پدیده‌های بیشتری مورد مطالعه قرار خواهند گرفت که می‌تواند در نرم افزارهای مرتبط به کار برده شود. در شکل ۲-۵-الف توزیع رنگ‌ها براساس تعداد نمونه‌ها در واحد سطح تصویر انجام گرفته است. نتیجه این کار تهیه تصویری با دقت تفکیک بالا برای مناطقی است که نمونه گیری‌های متفاوت داشته است. در شکل ۲-۵-ب توزیع رنگ‌ها برای بین‌های یکنواخت نشان داده شده است که معمولا کد رنگی آن با مقیاس لگاریتمی نمایش داده شده است.



ب



الف

شکل ۲-۵: کدگذاری رنگی برای تصاویر مقاومت ویژه میکرو با رسم گراف‌های فراوانی داده‌ها: الف) توزیع رنگ‌ها به روش غیر خطی بهنجار شده که در آن هر رنگ برای تعداد مشخصی نمونه به کار گرفته شده است. ب) توزیع رنگ‌ها به روش خطی که تعدادی داده در یک حد فاصل مشخصی با یک رنگ تعیین می‌شوند. در این حالت تعداد داده‌ها برای یک رنگ مشخص از طریق تابع توزیع داده‌های اصلی به دست می‌آید [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

داده‌های ثبت شده توسط ابزارهای الکتریکی دارای مشکلات زیادی از جمله نوفه‌ها، عدم تطابق عمق به علت سرعت متغیر ابزار می‌باشند که می‌بایست برای بررسی و تحلیل تصویرها تصحیح شوند. جهت توجیه مشکل پردازش یک تصویر می‌توان به شکل ۲-۶ مراجعه نمود. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود تصویر این پرنده در شرایطی که آب آرام و بدون موج باشد، یک تصویر واقعی است. ولی به علت وجود امواج در آب (نوفه‌ها) تصویر

پرنده تحت تاثیر نوفه‌های محیطی (امواج آب) قرار می‌گیرد. لذا فیلتر کردن اثر نوفه‌ها امری ضروری به‌نظر می‌رسد که این کار با اعمال تصحیحات مختلف بر روی تصویر صورت می‌پذیرد.



شکل ۲-۶: نمایش تصویر پرنده در آب و اثر نوفه‌های محیطی بر آن [www.stockpodium.com]

۲-۴-۳- تصحیح سرعت و عمق

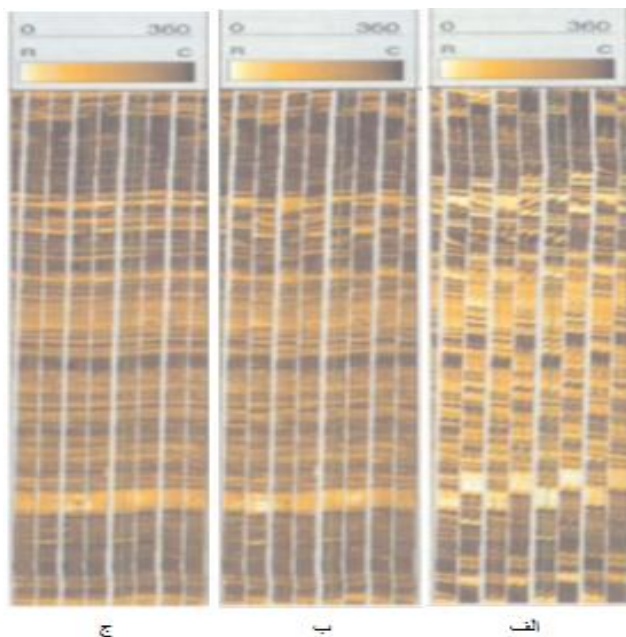
دیواره چاه به علت ناهمواری‌ها و شکستگی‌های متعدد حرکت یکنواخت ابزار تصویرگر را با مشکل مواجه می‌کند. به علت چسبیدگی و درگیری ابزار با دیواره چاه سرعت دستگاه کاهش یافته و کشیدگی کابل به وجود می‌آید. سپس، ناگهان ابزار رها می‌شود و شتاب می‌گیرد. از آنجا که تعداد نمونه‌گیری در واحد زمان در طول عملیات نمودارگیری ثابت است، تصاویر گرفته شده در زمان درگیری فشرده شده و در زمان رها شدن ابزار کشیده خواهد شد. در نتیجه با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده بایستی عمق واقعی هر الکتروود تعیین گردد [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

برای اعمال تصحیح سرعت بر روی داده‌ها، می‌توان از شتاب اندازه‌گیری شده در جهت محور قائم استفاده نمود که توسط دستگاه شتاب سنج ثبت می‌گردد. برای هر اندازه‌گیری توسط شتاب سنج، دستگاه GPIT فاصله زمانی که در آن نقطه مقدار شتاب ثابت است را اندازه می‌گیرد. بدین ترتیب می‌توان سرعت دستگاه و با انتگرال‌گیری از سرعت، عمق الکتروود را نیز به دست آورد [شلومبرژر، ۱۹۹۲].

۲-۴-۴- یکسان سازی

در عملیات تصویربرداری می‌بایست دقت شود که تمامی الکترودها نسبت به یک محیط ثابت، جواب یکسانی داشته باشند. این بدین معناست که باید گیرنده‌ها را در جواب‌دهی یکسان کرد. از آنجا که تقریباً تمامی داده‌های یک بالشتک از نظر مقدار بسیار شبیه به هم هستند، به نظر می‌رسد بهترین روش برای حل این مشکل به دست آوردن گرانیگاه داده‌ها از روی نمودار فراوانی، برای هر بالشتک است. سپس با انتقال داده‌ها می‌توان گرانیگاه همه بالشتک‌ها را روی هم منطبق نمود [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

شکل زیر مراحل مختلف پردازش داده‌های FMI در یک زون کربناته در غرب تگزاس نشان داده شده است. در قسمت الف تصویر داده‌های خام قبل از هرگونه پردازش دیده می‌شود. با توجه به پلکانی بودن تصویر الف اعمال تصحیحات سرعت ضروری به نظر می‌رسد. در قسمت ب تصویر داده‌ها بعد از اعمال جابجایی عمقی نشان داده شده است. پس از اعمال روش یکسان سازی و تصحیح سرعت براساس شتاب نگاشت، تصویر واضح‌تری به دست می‌آید که در قسمت ج قابل رویت است [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].



شکل ۲-۷: تصویر داده‌های مقاومت میکرو (FMI) بعد از اعمال روش‌های پردازش، مربوط به یک زون کربناته در غرب تگزاس [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

۲-۴-۵- تصحیح گیرنده‌ها

اگر جواب‌های یک گیرنده غیرعادی تشخیص داده شوند، باید جواب‌های آن را نادیده گرفت و به جای آن از داده‌های گیرنده جانبی استفاده کرد. این عمل با درون‌یابی بین گیرنده‌های جانبی انجام می‌گیرد. به این‌گونه الکترودها، گیرنده‌های خراب گفته می‌شود و تشخیص گیرنده‌های خراب از روی تصویر بسیار آسان است [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

۲-۴-۶- تصحیح ولتاژ

در طول نمودارگیری ممکن است ولتاژ تغییر کند. به وسیله تصحیح ولتاژ تنها ولتاژهایی که در اثر عبور از سازند بازگشته‌اند در نظر گرفته می‌شوند و بقیه حذف می‌گردند. هرچند این تصحیح برای تصویرگرهای الکتریکی الزامی نیست اما در بهبود کیفیت تصاویر نقش مهمی دارد [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

۲-۴-۷- تطابق عمقی

تطابق یا تنظیم عمق از طریق نمودارهای پرتو گاما که به همراه ابزار در چاه رانده می‌شوند، صورت می‌پذیرد و به دنبال آن تصویر در عمق واقعی خود قرار می‌گیرد. البته این روش تنها مختص تصویرگرها نیست و در تمامی نمودارها برای یکسان سازی و یکپارچگی داده‌های متداول به کار می‌رود [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

۲-۴-۸- به هنجارسازی تصویر

برای آن‌که تصویری با جزئیات بیشتر در اختیار باشد، باید کیفیت تصویر تصحیح شده، افزایش یابد. برای انجام این کار از روش نرمال سازی (به هنجارسازی) استفاده می‌شود. به هنجار سازی تصویر مرحله اختصاص رنگ به مقادیر مختلف تصویر را گویند. در این مرحله باید حد بالا و حد پایین داده‌ها در نظر گرفته شود و به هر بازه رنگ متناسب اختصاص داده شود [قاسم العسگری، ۱۳۸۹]. این روش به دو صورت استاتیکی و دینامیکی صورت می‌پذیرد [سرا، ۲۰۰۴]:

۲-۴-۸-۱- به هنجارسازی استاتیکی

این روش کل عمق اندازه‌گیری را شامل می‌شود. در این روش یک هیستوگرام از داده‌های موجود، ترسیم می‌گردد. کل بازه به ۴۲ کلاس تقسیم بندی می‌شود. بازه‌ی هر کلاس به نحوی انتخاب می‌گردد که در هر کلاس تعداد داده‌ها برابر باشد. برای هر کلاس با توجه به دامنه‌ی آن در نمودار تجمعی، رنگی اختصاص داده می‌شود. معمولاً این رنگ، از سفید (داده‌های رسانی) تا سیاه (داده‌های نارسا) تقسیم می‌شود.

۲-۴-۸-۲- به هنجارسازی دینامیکی

با استفاده از روش به هنجارسازی الکتریکی جزئیات ریز تصویر نمایان می‌گردد. الگوریتم مورد استفاده در به هنجار سازی دینامیکی نیز مانند به هنجار سازی استاتیکی می‌باشد، با این تفاوت که در این روش، پنجره‌هایی عمقی تعریف می‌شود که معمولاً طول حدود ۳ فوت در نظر گرفته می‌شود و در هر پنجره تکنیک پردازش بافت نگار انجام می‌پذیرد. روش دینامیکی جزئیات بیشتری را نسبت به روش استاتیکی نشان می‌دهد.

۲-۴-۹- نمایش داده‌ها

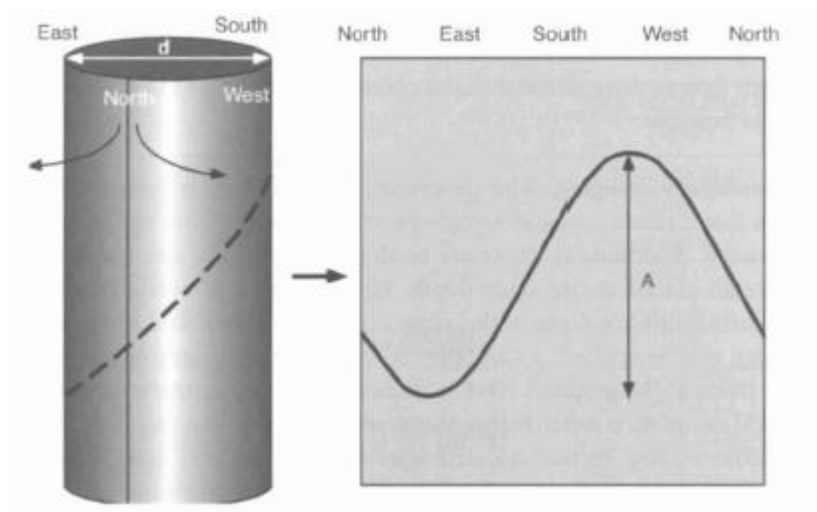
در این بخش داده‌ها بعد از تصحیحات فوق روی کاغذ چاپ و به صورت داده‌های دیجیتال نمایش داده می‌شود [قاسم العسگری، ۱۳۸۹].

۲-۵- تفسیر نمودارهای تصویری چاه

هدف از تفسیر این تصاویر، شناخت دقیق ویژگی‌های سازند اطراف دیواره چاه می‌باشد. این شناخت در مطالعه ویژگی‌های مخزن و ارزیابی سازند جهت تشخیص مسیرهای تراوا و ناتراوا، به متخصصان کمک شایانی می‌نماید. تفسیر نمودارهای تصویری در دو گروه عمده زیر انجام می‌گیرد [قاسم العسگری، ۱۳۸۹]:

۲-۵-۱- بررسی ناپیوستگی‌ها

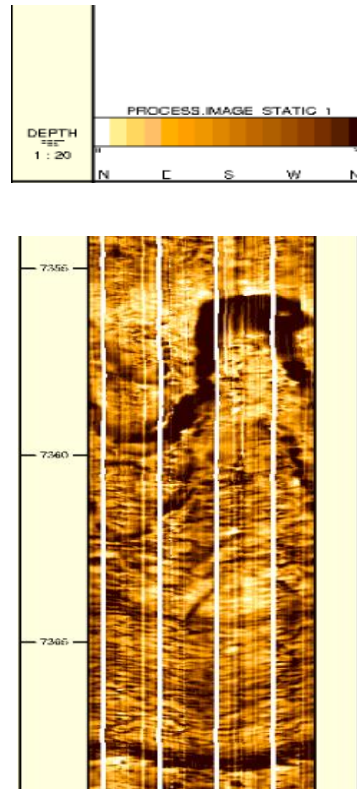
فصل مشترک یک لایه شیب‌دار با استوانه چاه درحالتی که استوانه باز و به صورت صفحه در آورده شود، به صورت نمودار سینوسی می‌باشد (شکل ۲-۸). از روی شکل سینوسی می‌توان آزمون و شیب لایه را به دست آورد.



شکل ۲-۸: حالت سینوسی لایه‌های شیب‌دار در اطراف چاه [لوسی، ۲۰۰۱]

۲-۵-۲- بررسی شکستگی‌ها و درزه‌ها

از آن‌جا که قدرت تفکیک‌پذیری تصویرگر FMI در حد یک دهم اینچ است، می‌توان درصد بسیار زیادی از شکستگی‌ها و درزه‌ها را بررسی نمود و شیب و آزمون شکستگی‌ها را محاسبه کرد. شکستگی‌ها روی نمودارهای تصویری به وضوح ظاهر می‌شوند. این پدیده به علت تفاوت بسیار زیاد مقاومت ویژه الکتریکی سیال روی نمودارهای تصویری در مقایسه با ماتریس سنگ بوجود می‌آید. در شکستگی‌های باز مایع حفاری قادر است به درون شکستگی‌ها نفوذ کرده و تأثیر خود را به صورت خطوط سیاه سینوسی روی تصویر نشان دهد. شکل ۲-۹ نمونه‌ای از خطوط سیاه رنگ سینوسی بر روی لاگ FMI مربوط به چاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. برعکس شکستگی‌های پر شده یا سیمانی شده به صورت خطوط با رنگ سفید و روشن روی تصویر مشخص می‌شوند.



شکل ۲-۹: نمونه‌ای از نمایش شکستگی‌های باز بر روی تصاویر FMI

۲-۶- تصاویر دیجیتال

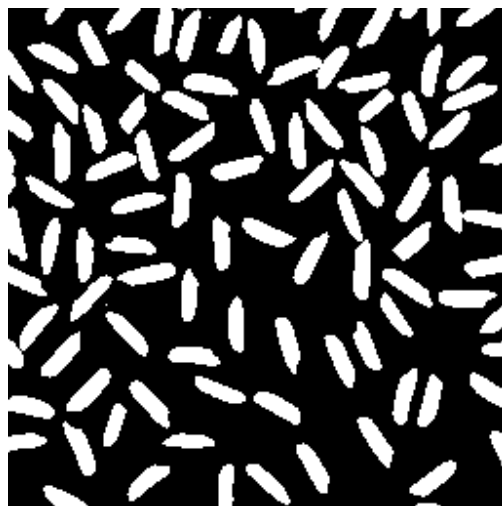
قبل از بررسی تصاویر FMI، دسته بندی کلی از انواع تصاویر دیجیتال بر اساس رنگ تشکیل دهنده آنها ارائه

می‌گردد:

۲-۶-۱- انواع تصاویر دیجیتال بر اساس رنگ

۲-۶-۱-۱- تصاویر سیاه و سفید

تصاویر سیاه و سفید^۱ تصاویری هستند که در آنها هر پیکسل دارای دو مقدار ۰ و ۱ می‌باشد که صفر نشان دهنده رنگ سیاه و یک نشان دهنده رنگ سفید است. در شکل زیر نمونه‌ای از این تصاویر نشان داده شده است.



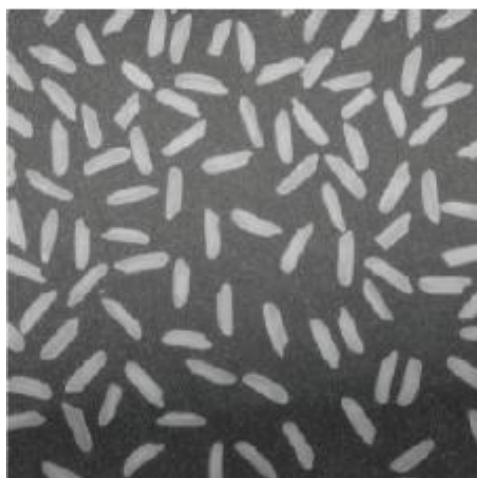
شکل ۲-۱۰: نمونه‌ای از تصاویر سیاه و سفید [www.mathwork.ir]

۲-۶-۱-۲- تصاویر تک رنگ

این تصاویر به صورت دامنه‌ای از رنگ خاکستری^۲ هستند و پارامتری که در آنها تغییر کرده و موجب تفاوت می‌شود، شدت یا مقدار رنگ خاکستری و به اصطلاح سطح خاکستری می‌باشد که بین محدوده سیاه تا سفید تغییر می‌کند (شکل ۲-۱۱).

¹ Binary (Black & white)

² Gray scale



شکل ۲-۱۱: نمونه ای از تصاویر تک رنگ [www.mathwork.ir]

۲-۶-۱-۳- تصاویر رنگی^۱

این تصاویر از ترکیب سه رنگ قرمز، سبز و آبی ایجاد می‌شوند (شکل ۲-۱۲).



شکل ۲-۱۲: ترکیب رنگ در تصاویر رنگی [گنزالس و وودز، ۲۰۰۲]

¹ RGB

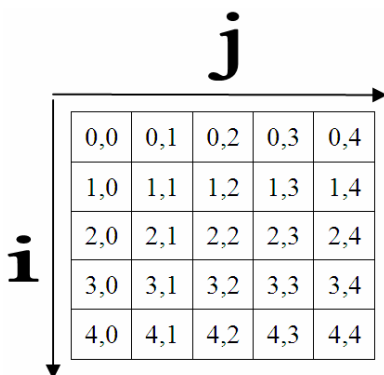
² Gonzalez and Woods

۲-۶-۲- مشخصات تصاویر دیجیتالی

یک تصویر را می‌توان توسط تابع دوبعدی $f(x,y)$ نمایش داد که در آن x و y را مختصات مکانی و مقدار f در هر نقطه را شدت روشنایی تصویر در آن نقطه می‌نامند. زمانی که مقادیر x و y و مقدار $f(x,y)$ با مقادیر گسسته و محدود بیان شوند، تصویر حاصل را یک تصویر دیجیتالی می‌نامند [گنزالس و وودز، ۲۰۰۲].

۲-۶-۲-۱- پیکسل

در یک تصویر دیجیتال، کوچکترین جزء تشکیل دهنده تصویر را پیکسل^۱ می‌نامند [گنزالس و وودز، ۲۰۰۲]. همان‌طور که در شکل ۲-۱۳ دیده می‌شود هر تصویر متشکل از تعداد زیادی پیکسل است که به صورت سطری و ستونی در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند.

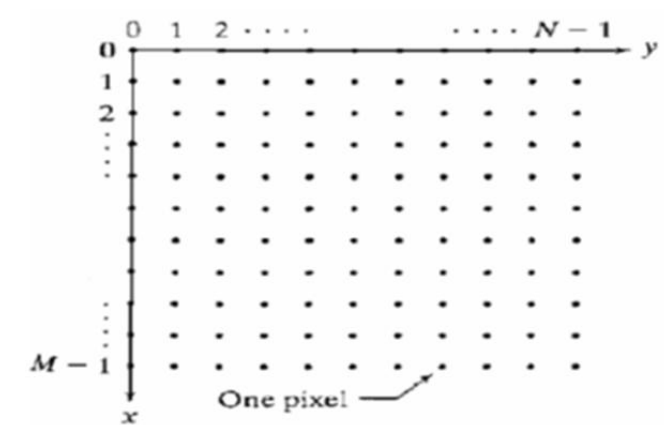


شکل ۲-۱۳: تصویری شماتیک از پیکسل‌های تشکیل دهنده یک تصویر [www.ECA.ir]

۲-۶-۲-۱- نمایش تصاویر دیجیتالی

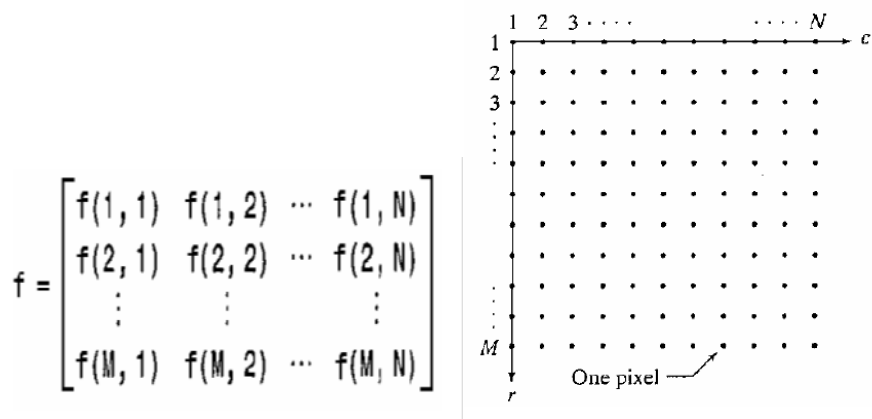
یک تصویر دیجیتالی از یک آرایه دو بعدی (ماتریس) که M سطر و N ستون دارد تشکیل شده است. مقدار هر عنصر از آرایه نشان دهنده شدت روشنایی تصویر در آن نقطه است (شکل ۲-۱۴). هر عنصر آرایه یک مقدار 8 بیتی است که می‌تواند مقداری بین ۰ و ۲۵۵ داشته باشد. مقدار صفر نشان دهنده رنگ تیره (سیاه) و مقدار ۲۵۵ نشان دهنده رنگ روشن (سفید) است.

^۱ Pixel



شکل ۲-۱۴: ماتریس تصاویر دیجیتالی [www.ECA.ir]

در نرم افزار MATLAB به دلیل آن که اندیس مؤلفه آرایه‌ها از صفر شروع نمی‌شود، مبدأ به صورت شکل ۲-۱۵ در نظر گرفته می‌شود.



$$f = \begin{bmatrix} f(1, 1) & f(1, 2) & \dots & f(1, N) \\ f(2, 1) & f(2, 2) & \dots & f(2, N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M, 1) & f(M, 2) & \dots & f(M, N) \end{bmatrix}$$

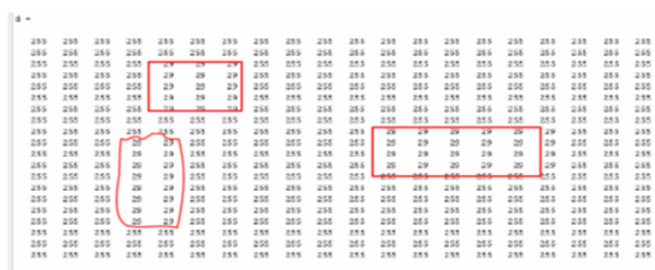
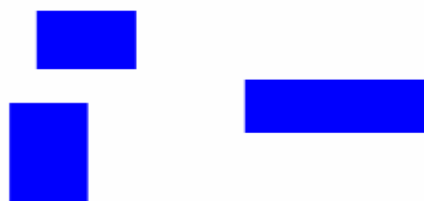
ب

الف

شکل ۲-۱۵: نمایش پیکسل‌های تشکیل دهنده تصاویر در MATLAB

الف) مکان پیکسل‌های تصویر . ب) مقادیر متناظر با نقاط تصویر [گنزالس و وودز، ۲۰۰۲]

مقادیر $f(x,y)$ در تصاویر رنگی از ترکیب سه مولفه رنگی آبی، سبز و قرمز ایجاد می‌شود (شکل ۲-۱۶).

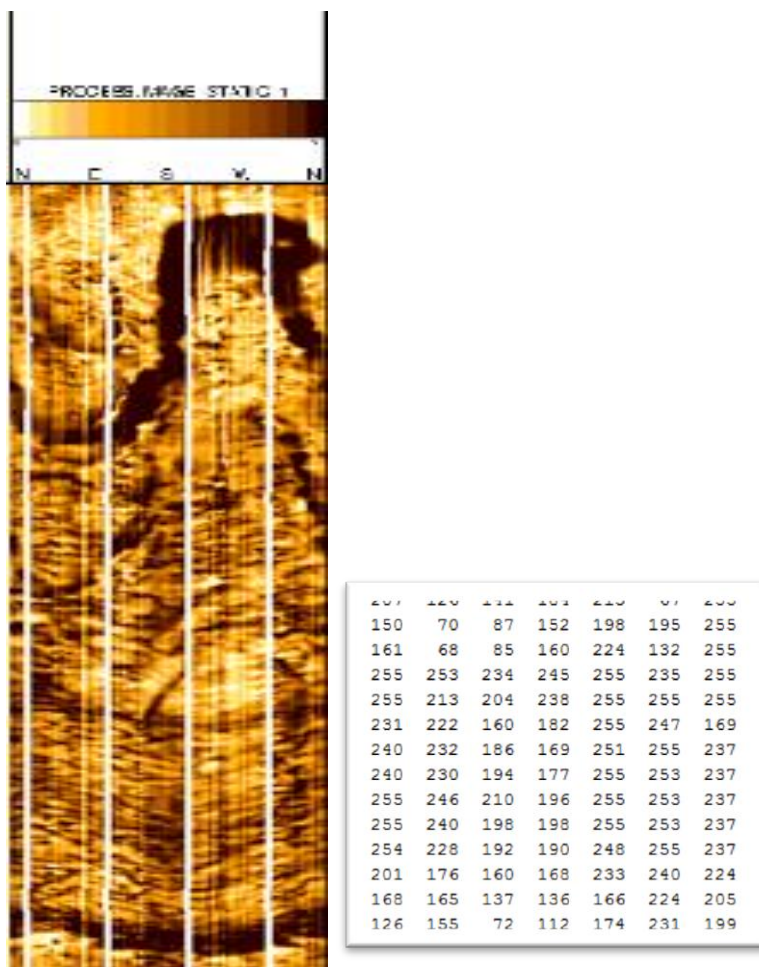


شکل ۲-۱۶: پیکسل های مربوط به قسمت رنگی با مقادیر مجزا از زمینه مشخص شده اند [www.ECA.ir].

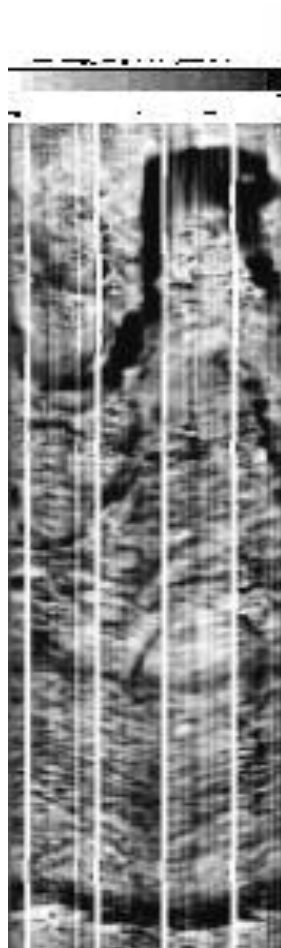
۲-۶-۳- تصاویر FMI

تصاویر FMI از نوع تصاویر رنگی و دیجیتال می باشند. ماتریس تشکیل دهنده این تصاویر، شامل تعدادی پیکسل به صورت سطری و ستونی است که آرایه های ماتریس را تشکیل می دهند. به هر کدام از آرایه های ماتریس (پیکسل)، بر اساس رنگ تشکیل دهنده آن، یک امتیاز تعلق می گیرد. با استفاده از جعبه ابزار پردازش تصویر^۱ می توان رنگ متعلق به پیکسل های تصویر FMI را به رنگ خاکستری و یا سیاه و سفید تبدیل کرد. در شکل های ۲-۱۷، ۲-۱۸ و ۲-۱۹ به ترتیب نمونه ای از تصاویر رنگی، خاکستری و سیاه و سفید از لاگ FMI مربوط به چاه مورد مطالعه نشان داده شده است.

¹ Image Processing



شکل ۲- ۱۷: نمونه ای از تصویر رنگی FMI و مقادیر پیکسل‌های مربوط به آن



143	143	152	85	109	0	0	0	0
88	126	89	108	107	0	105	15	0
97	104	103	103	104	96	94	95	89
91	98	104	103	103	84	135	146	118
95	104	103	103	103	84	135	146	118
95	95	95	95	95	86	135	146	118
143	143	152	83	86	131	146	143	131
143	143	143	139	138	255	255	255	142
138	189	255	255	255	255	255	255	255
182	255	255	255	255	255	255	255	255
201	255	255	255	255	255	255	241	140
255	255	255	255	215	126	143	143	143
255	255	255	255	138	139	143	143	119
126	215	255	255	138	139	143	143	132
116	151	255	110	84	104	103	103	89
93	95	94	118	0	0	0	127	75
95	95	94	118	0	115	101	151	119
143	143	143	143	143	143	143	143	143

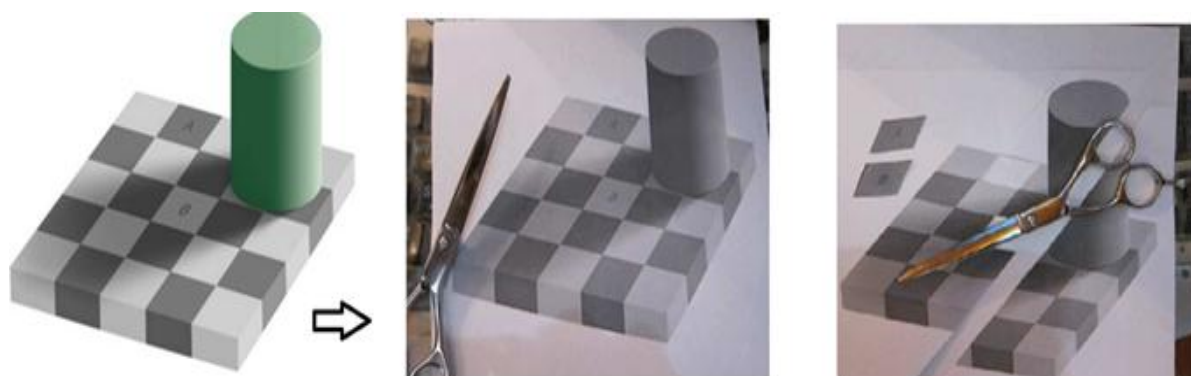
شکل ۲- ۱۸: نمونه ای از تصویر خاکستری FMI و مقادیر پیکسل‌های مربوط به آن



شکل ۲- ۱۹: نمونه ای از تصویر سیاه و سفید FMI و مقادیر پیکسل‌های مربوط به آن

۲-۷- اهمیت ایجاد الگوریتم برای پردازش تصاویر

با توجه به وجود خطاهای انسانی (مانند خطای دید) در بررسی تصاویر و عدم توانایی چشم در درک صحیح رنگ‌ها و تغییرات واقعی، ایجاد الگوریتم برای پردازش تصویر ضروری به نظر می‌رسد. شکل ۲-۲۰ یک آزمایش طراحی شده توسط پروفیسور ادوارد ادلسون^۱ را نشان می‌دهد. این شکل یک صفحه شطرنجی را با استوانه‌ای روی آن دیده می‌شود که استوانه بر روی صفحه سایه انداخته است. دو مربع A و B توسط چشم با دو رنگ متفاوت مشاهده می‌شود در صورتی که با انجام یک آزمایش ساده و جداکردن این دو مربع از تصویر، هم‌رنگ بودن آن‌ها اثبات می‌گردد که این خطا ناشی از عدم توانایی چشم و مغز انسان در تشخیص صحیح رنگ‌ها می‌باشد.



شکل ۲-۲۰: خطای دید در تشخیص رنگ‌ها [bci.mit.edu/people/adelson.html]

۲-۸- هدف از پردازش تصاویر FMI

امروزه پردازش تصویر بهترین ابزار برای استخراج ویژگی‌ها و تحلیل موقعیت و در نهایت تصمیم‌گیری صحیح می‌باشد. در مورد انسان نیز به همین صورت است، اطلاعات از طریق چشم به مغز ارسال می‌گردد و مغز با پردازش این اطلاعات تصمیم نهایی را گرفته و فرمان را صادر می‌کند. هدف از انجام پردازش بر روی تصاویر FMI، استخراج ویژگی‌های مورد نیاز برای رسیدن به اهداف از پیش تعیین شده می‌باشد.

¹ Edward H. Adelson

۲-۹- کاربرد نرم افزار MATLAB در پردازش تصاویر

پردازش تصویر یکی از مهمترین قابلیت‌های نرم افزار MATLAB است. جعبه ابزار پردازش تصویر مجموعه-ای از توابع است که توانایی انجام تعداد زیادی از عملیات پردازش تصویر همانند عملیات هندسی، آنالیز و ارتقای تصویر و عملیات بر روی تصاویر سیاه و سفید را دارد [راهنمای نرم افزار MATLAB، ۲۰۰۷].

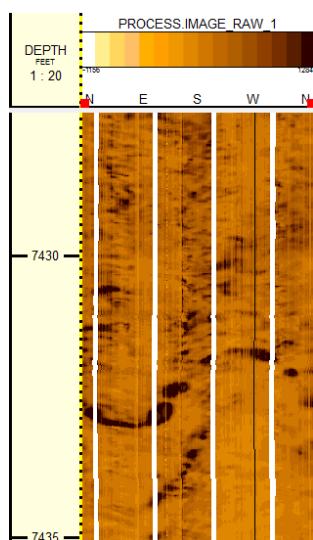
فصل سوم:

اندازه‌گیری و تفکیک تخلخل ثانویه به روش آنالیز تصویر

در مخزن سروک واقع در میدان نفتی گچساران

۳-۱- پردازش و تصحیح داده‌ها

داده‌های تصویری به دست آمده از چاه مورد مطالعه، باید مراحل از آماده سازی را پشت سر بگذارند. هدف از گذراندن این مراحل، تبدیل مقاومت ویژه برای هر الکتروود به تصویر رنگی می‌باشد تا بتوان ویژگی‌های زمین‌شناسی سازند مورد نظر را مشاهده و بررسی نمود. با استفاده از دستور تولید تصویر^۱ در نرم افزار Geolog، می‌توان داده‌های خام برداشت شده را به تصویر رنگی تبدیل نمود. همان‌طور که در شکل ۳-۱ دیده می‌شود به دلیل آنکه داده‌های ثبت شده توسط ابزارهای تصویرگر دارای مشکلات زیادی از جمله نوفه-ها، عدم تطابق عمق به علت سرعت متغیر دستگاه و ... می‌باشند، تصویر اولیه به دست آمده در مرحله اول دارای کیفیت مناسبی نمی‌باشد.



شکل ۳-۱: تصویر اولیه مربوط به بازه‌ای از چاه مورد مطالعه

برای از بین بردن نوفه‌های موجود در تصویر و همچنین تولید تصویر با کیفیت و وضوح بالا، بایستی مراحل اعمال تصحیحات توسط نرم افزار Geolog، بر روی تصویر اولیه مربوط به چاه مورد مطالعه صورت پذیرد. این مراحل به شرح زیر می‌باشند [قاسم العسگری، ۱۳۸۹]:

¹ Image Generation

۳-۱-۱- تصحیح سرعت^۱

با توجه به وجود احتمالی ناهمواری‌ها در دیواره چاه مورد مطالعه، امکان تغییر سرعت ابزار تصویرگر در حین عملیات تصویر برداری وجود دارد. با اعمال این تصحیح، حالت پلکانی تصاویر از بین می‌رود.

۳-۲-۲- یکسان سازی داده‌های بالشتک^۲

در عملیات تصویر برداری، بایستی تمام الکترودها نسبت به یک محیط ثابت، جواب یکسانی داشته باشند. این بدان معناست که باید گیرنده‌ها را در جواب‌دهی یکسان کرد. با توجه به شباهت زیاد بین مقادیر اندازه‌گیری شده توسط یک بالشتک، راه حل برطرف کردن این مشکل، به دست آوردن گرانیگاه داده‌ها از روی نمودار فراوانی برای هر بالشتک است. با اعمال این تصحیح، گرانیگاه همه بالشتک‌ها روی هم منطبق می‌گردد و تصویر مطلوب‌تری ارائه می‌شود.

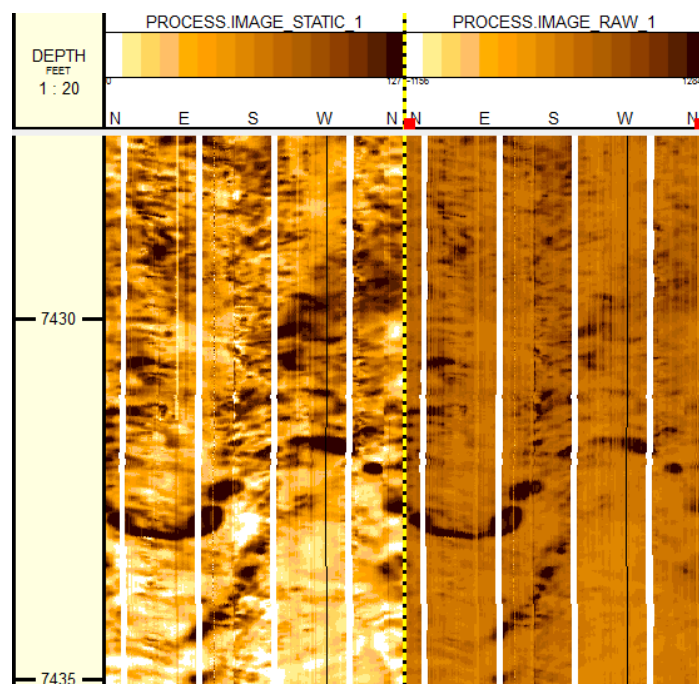
۳-۲-۳- نرمال سازی تصویر^۳

در این مرحله به مقادیر مختلف تصویر رنگ تعلق می‌گیرد و تصویری متشکل از ۱۶ رنگ با کیفیت بالا بدست می‌آید شکل (۲-۳).

¹ Speed correction

² Correlate Pad Image

³ Equalize and Normalize



الف ب

شکل ۳-۲: تصویر بازه‌ای از چاه مورد مطالعه
 (الف) تصویر اولیه ب) تصویر نهایی پس از اعمال تصحیحات

۳-۲- تشخیص اثر تخلخل ثانویه بر روی تصویر FMI

معمولا تخلخل ثانویه (شکستگی‌ها و حفره‌ها) روی نمودارهای تصویری به وضوح ظاهر می‌شوند که علت این پدیده، تفاوت بسیار زیاد در اندازه مقاومت ویژه الکتریکی سیال روی نمودارهای تصویری در مقایسه با ماتریکس سنگ می‌باشد. سیال حفاری قادر است به درون شکستگی‌های باز نفوذ کرده و تأثیر خود را به صورت خطوط سیاه سینوسی روی تصویر نشان دهد. نفوذ سیال حفاری به درون حفره‌ها نیز سبب به‌وجود آمدن نقاط سیاه پراکنده بر روی تصاویر چاه می‌گردد.

با استفاده از جعبه ابزار پردازش تصویر در نرم افزار MATLAB، می‌توان پیکسل‌های سیاه رنگ مربوط به تخلخل ثانویه را که در شکل ۳-۳ مشخص شده است، از بقیه تصویر متمایز کرد.



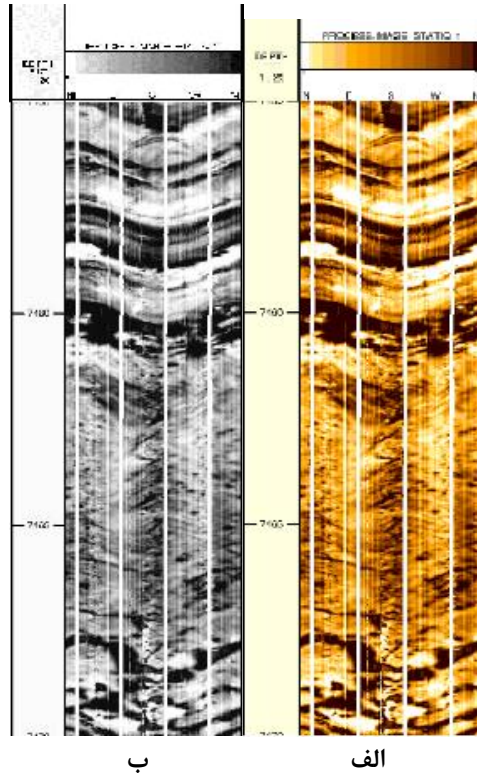
شکل ۳-۳: اثر شکستگی‌های باز و حفره‌ها بر روی نقشه رنگ^۱ تصاویر FMI

برای جدا کردن رنگ مورد نظر از سایر رنگ‌های تصویر، مراحل زیر انجام می‌شود:

۳-۲-۱- خاکستری کردن تصویر FMI

در رایج‌ترین مدل رنگ گرافیک کامپیوتری، رنگ‌ها از ترکیب سه رنگ قرمز، سبز و آبی به وجود می‌آیند که در مجموع ۱۶۵۸۱۳۷۵ رنگ متفاوت توسط این سه مؤلفه می‌تواند تولید شود. این مدل رنگ در گرافیک کامپیوتری با نام RGB شناخته می‌شود. در کنار مدل رنگ RGB مدل خاکستری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. چرا که در بیشتر کاربردها نیازی به یک تصویر رنگی نمی‌باشد و داشتن تنها یک تصویر خاکستری کافی خواهد بود. با اعمال تابع RGB2GRAY در جعبه ابزار پردازش تصویر نرم افزار MATLAB، بر روی تصویر FMI که از نوع تصاویر RGB می‌باشد، تصویر خاکستری مانند شکل ۳-۴ بدست می‌آید.

¹ Color map

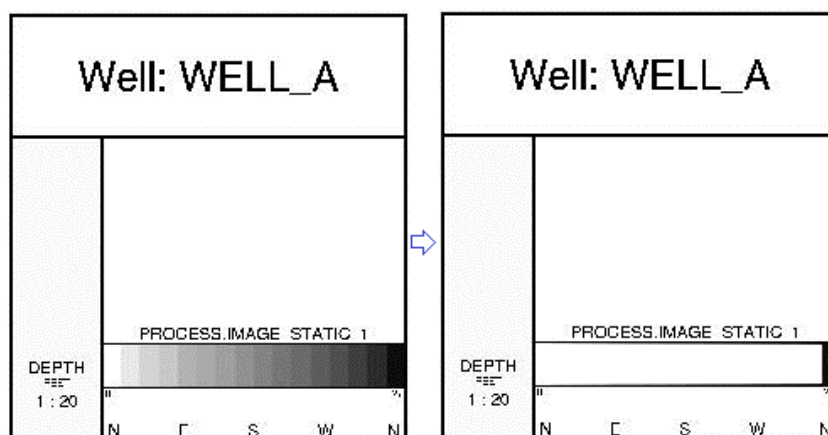


شکل ۳-۴: تبدیل تصویر رنگی FMI به تصویر خاکستری
 الف) تصویر رنگی FMI ب) تصویر خاکستری FMI

۳-۲-۲- متمایز نمودن اثر تخلخل ثانویه در تصویر خاکستری

تصویر خاکستری بدست آمده در مرحله اول، دارای طیف رنگی ۱۶ تایی متشکل از رنگ‌های سفید تا سیاه می باشد. در حوزه تصاویر خاکستری، عدد ۰ معادل سیاه و عدد ۲۵۵ معادل سفید می باشد و سایر رنگ‌ها بین این مقادیر هستند. برای متمایز نمودن رنگ سیاه مورد نظر از بقیه رنگ‌های موجود در تصویر خاکستری، از تابع im2bw استفاده می شود. همان طور که در شکل ۳-۵ دیده می شود، با در نظر گرفتن یک مقدار آستانه^۱ برای رنگ سیاه مورد نظر (اثر تخلخل ثانویه)، پیکسل‌های با مقادیر بزرگتر از آستانه تعیین شده به ۰ و مقادیر کوچکتر به ۱ تبدیل می گردد (عدد ۰ معادل سیاه و عدد ۱ معادل سفید می باشد).

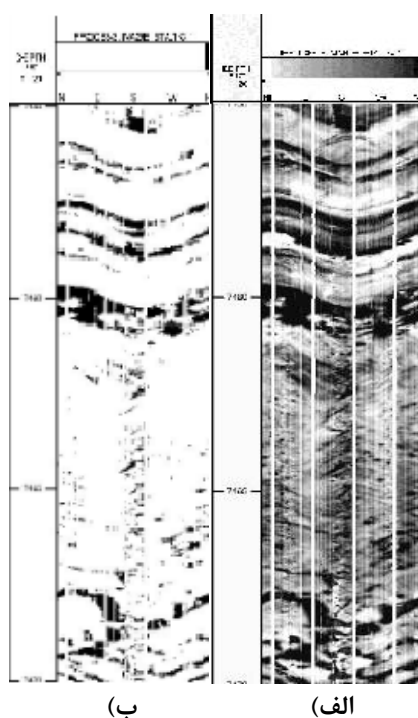
¹ Threshold



شکل ۳-۵: متمایز شدن اثر مربوط به تخلخل ثانویه از سایر رنگ‌های تصویر خاکستری

با اعمال این تابع بر تصویر خاکستری مربوط به چاه مورد مطالعه، تصویر سیاه و سفید که معرف اثر تخلخل

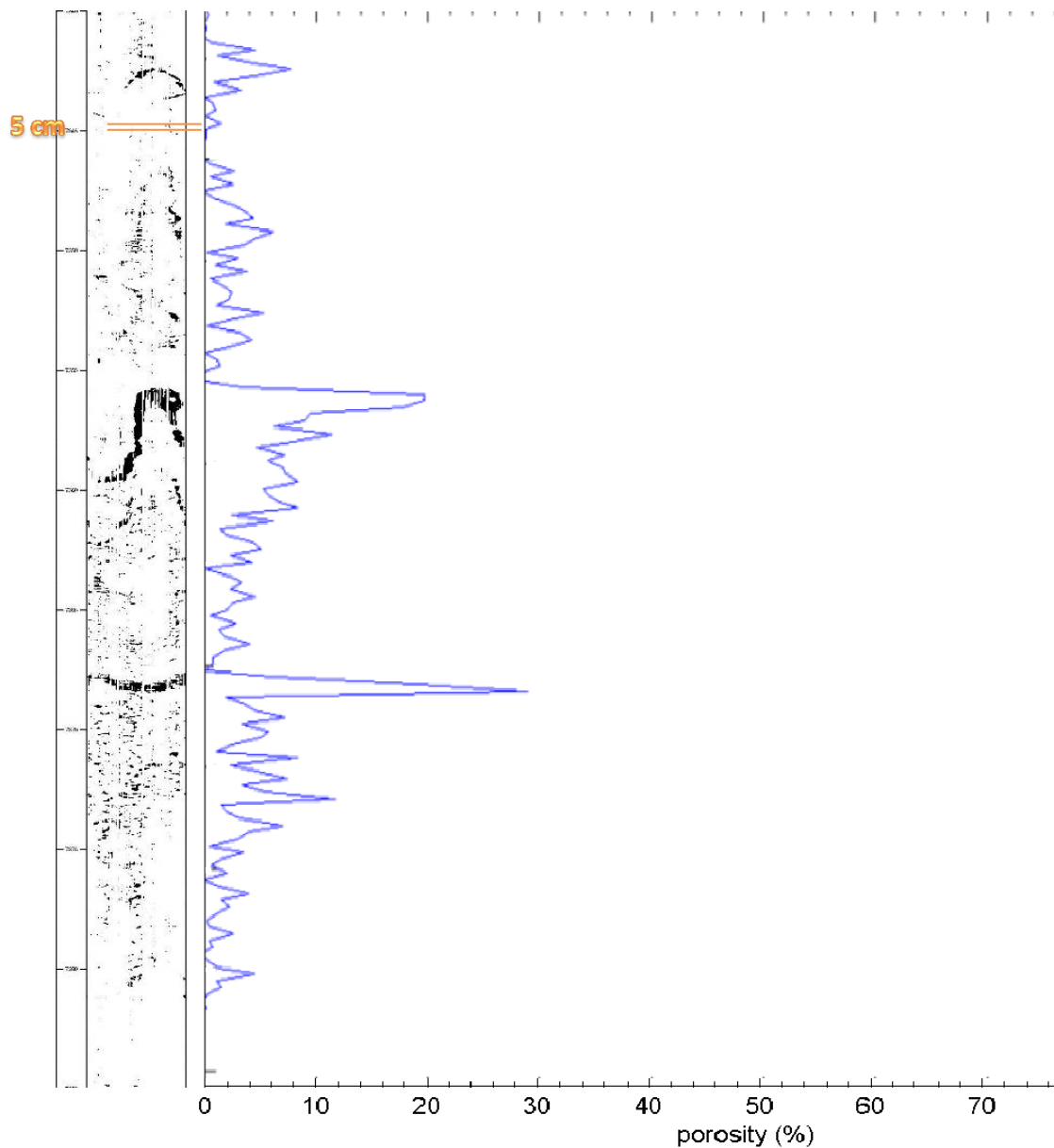
ثانویه است به وجود می‌آید (شکل ۳-۶).



شکل ۳-۶: تبدیل تصویر خاکستری FMI به تصویر سیاه و سفید
 (الف) تصویر خاکستری FMI (ب) تصویر BW از لاگ تصویری FMI

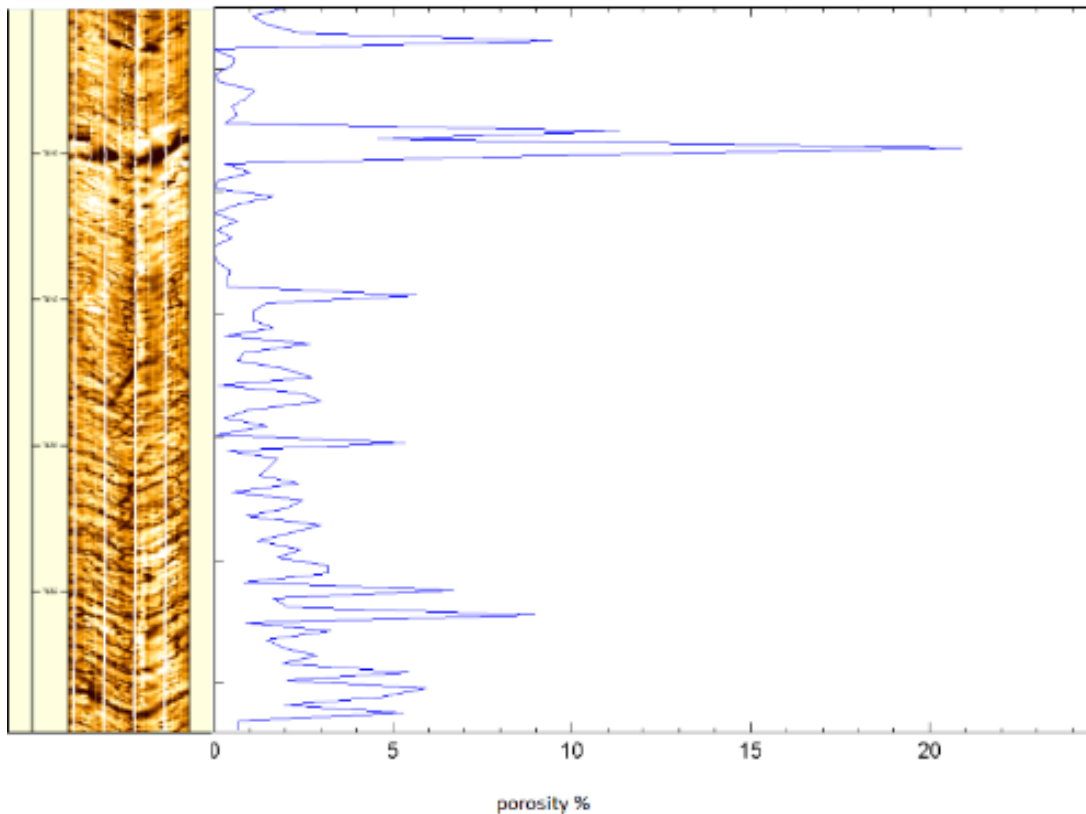
۳-۳- تعیین میزان تخلخل ثانویه در مخازن کربناته

تعیین میزان دقیق تخلخل ثانویه موجود در مخازن کربناته از چالش‌های مطالعه این مخازن است. با استفاده از روش‌های سنتی مانند آنالیز مغزه یا تفسیر لاگ‌های چاه‌پیمایی می‌توان اطلاعات کلی از میزان تخلخل موجود در مخزن به دست آورد. در این مطالعه پس از تصحیح داده‌های مربوط به لاگ تصویری چاه مورد نظر و متمایز نمودن اثر تخلخل ثانویه بر روی لاگ تصویری به روش آنالیز تصویر، با ارائه یک برنامه کامپیوتری به زبان MATLAB، تخلخل ثانویه موجود در مخازن کربناته با دقت بسیار بالایی محاسبه شد. برای انجام این کار از جعبه ابزار پردازش تصویر در نرم افزار MATLAB استفاده شده است. تصویر سیاه و سفید به دست آمده در مرحله قبل، به عنوان تصویر ورودی در این مرحله می‌باشد. برای اندازه‌گیری دقیق تخلخل ثانویه می‌بایست نسبت پیکسل‌های سیاه رنگ معرف تخلخل ثانویه به پیکسل‌های سفید رنگ که معرف سایر پیکسل‌های تصویر می‌باشند، تعیین گردد. بدین منظور الگوریتمی طراحی شده که این نسبت را در پنجره‌هایی به طول قطر چاه و عرض ۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری نموده و نتایج را به صورت یک لاگ نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۳-۷ دیده می‌شود با استفاده از این الگوریتم می‌توان هر بازه دلخواهی از تصویر چاه را انتخاب کرده و میزان دقیق تخلخل ثانویه آن را مشاهده نمود. این لاگ تغییرات تخلخل در اعماق مختلف را با دقت بالایی مشخص می‌کند.



شکل ۳-۷: نمونه ای از محاسبه نسبت پیکسل‌های سیاه به سفید در پنجره‌های ۵ سانتی‌متری بر روی لاگ FMI

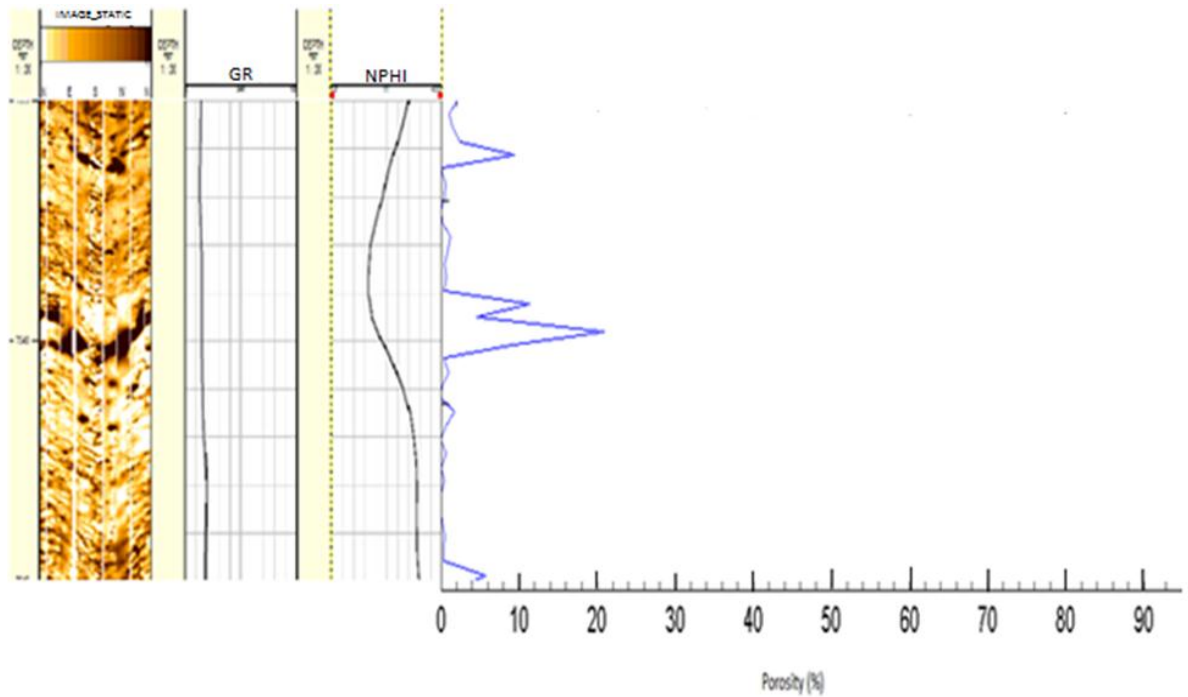
در شکل ۳-۸، لاگ آنالیز تصویر در کنار تصویر رنگی مربوط به بازه‌ای از چاه مورد مطالعه نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، لاگ آنالیز تصویر مقدار تخلخل ثانویه را بر حسب درصد و به صورت یک لاگ نمایش می‌دهد.



شکل ۳-۸: نمونه‌ای از آنالیز تخلخل ثانویه در چاه مورد مطالعه به روش آنالیز تصویر

۳-۴- تعیین میزان تخلخل اولیه در مخازن کربناته

پس از تعیین میزان دقیق تخلخل ثانویه به روش آنالیز تصویر، تخلخل اولیه نیز با دقت بالایی قابل محاسبه می‌باشد. با تفریق مقادیر به دست آمده از روش آنالیز تصویر از مقادیر تخلخل به دست آمده از لاگ نوترون یا چگالی که معرف میزان تخلخل کل می‌باشند، میزان تخلخل اولیه در هر عمق را می‌توان مشخص نمود. شکل ۳-۹ نمونه‌ای از تلفیق لاگ نوترون و لاگ آنالیز تصویر را در بازه‌ای از چاه نشان می‌دهد.



شکل ۳-۹: تلفیق لاگ نوترون و لاگ به دست آمده از روش آنالیز تصویر به منظور تعیین تخلخل اولیه

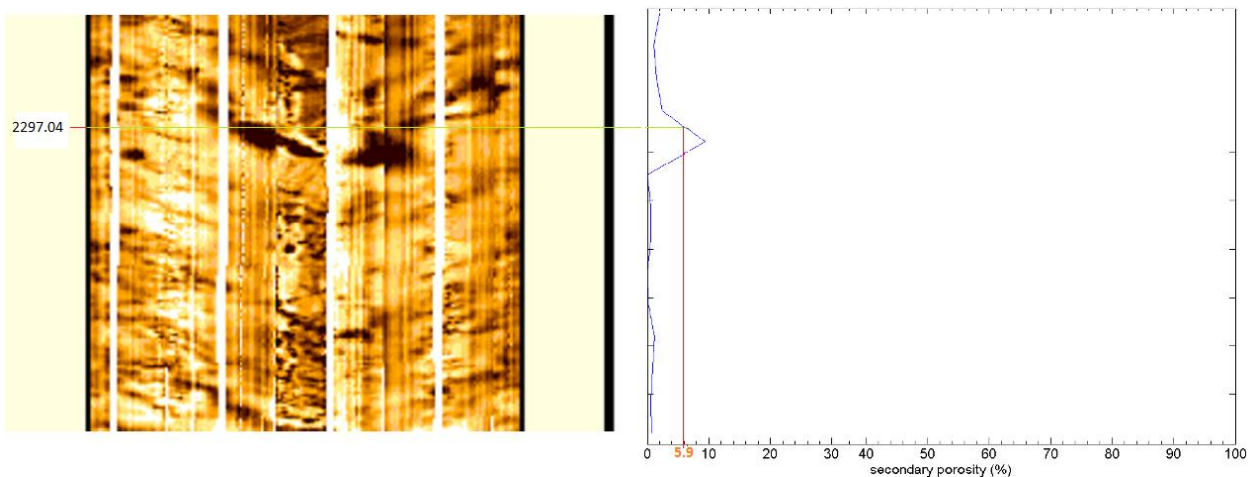
۳-۵- راستی آزمایی^۱ روش پیشنهادی

با توجه به اثر سیاه رنگ شیل‌ها بر روی لاگ FMI، روش پیشنهادی در بازه‌های شیلی نمی‌تواند تخلخل ثانویه را شناسایی کند. برای بررسی دقت روش پیشنهادی، عمق مشخصی از چاه که فاقد شیل است، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج بدست آمده از روش آنالیز تصویر با نتایج لاگ‌های چاه‌پیمایی غیر تصویری مقایسه شده و دقت روش پیشنهادی مشخص می‌گردد.

۳-۵-۱- تخلخل ثانویه اندازه‌گیری شده به روش آنالیز تصویر

همان‌طور که در شکل ۳-۱۰ دیده می‌شود، در عمق ۲۲۹۷/۰۴ متری، میزان تخلخل ثانویه اندازه‌گیری شده به روش آنالیز تصویر برابر با ۵/۹٪ می‌باشد.

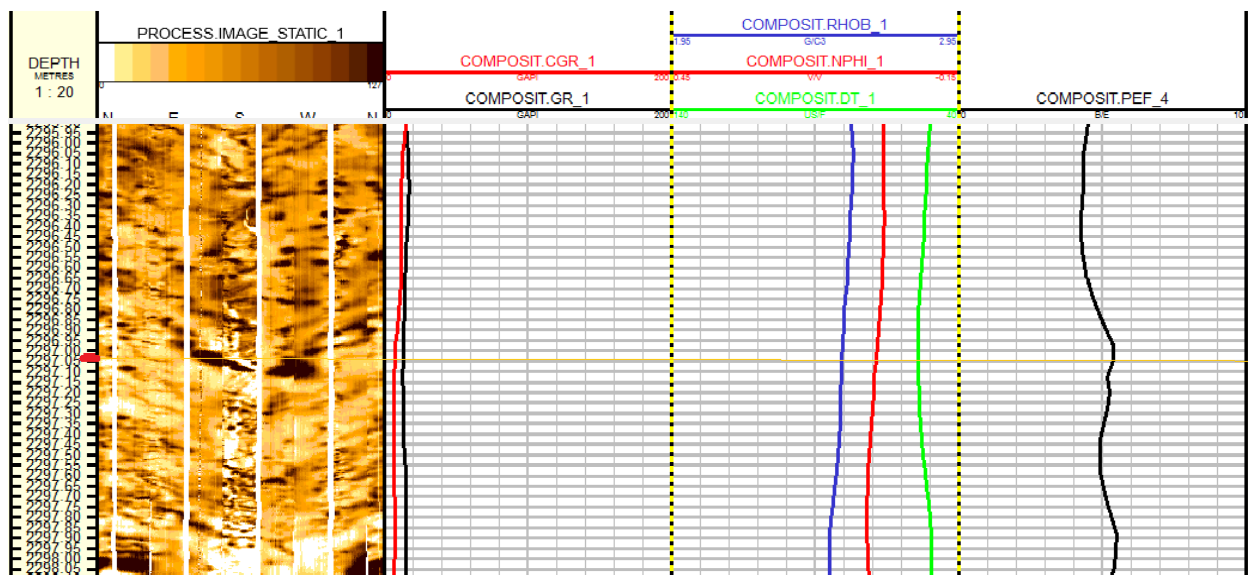
¹ Validation



شکل ۳-۱۰: تخلخل ثانویه اندازه گیری شده به روش آنالیز تصویر در عمق مشخص از چاه مورد مطالعه

۳-۵-۲- تخلخل ثانویه اندازه گیری شده با استفاده از نمودارهای چاه پیمایی

نمودارهای چاه پیمایی معمول غیر تصویری، تخلخل ثانویه را به صورت مستقیم محاسبه نمی کنند. تخلخل ثانویه در چاه مورد مطالعه از تفریق نتایج نمودار صوتی که تخلخل اولیه را مشخص می کند از تخلخل کل محاسبه شده توسط نمودارهای نوترون یا چگالی، به دست می آید (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۱: لاگ های چاه پیمایی مورد استفاده برای اندازه گیری تخلخل در عمق مورد نظر

برای اندازه‌گیری میزان تخلخل اولیه در عمق مورد نظر، از رابطه ۱-۲ استفاده می‌شود. با توجه به این‌که نمودار گاما در شکل ۱۱-۳، عمق مورد نظر را فاقد شیل معرفی می‌کند، مقدار پارامتر C_p برابر با ۱ در نظر گرفته شده و معادله ۱-۲ به معادله ۱-۳ تبدیل می‌شود.

$$\phi = \frac{\Delta t_{\log} - \Delta t_{ma}}{\Delta t_f - \Delta t_{ma}} \quad (1-3)$$

با قرائت زمان گذر موج صوتی و با توجه به کلسیتی بودن مخزن ($PEF=5/3$)، پارامترهای جدول ۱-۳ محاسبه می‌گردند. با جای‌گذاری این پارامترها در معادله ۱-۳، مقدار تخلخل اولیه به دست می‌آید.

جدول ۱-۳: پارامترهای اندازه‌گیری شده معادله وایلی برای عمق مورد نظر

جهت محاسبه مقدار تخلخل اولیه به روش صوتی

پارامتر	مقادیر اندازه‌گیری شده
Δt_{\log}	۵۴/۱۵
Δt_{ma}	۴۷
Δt_f	۱۸۹

به این ترتیب با استفاده از معادله (۱-۳) مقدار تخلخل اولیه به صورت زیر خواهد شد:

$$\phi = \frac{54.15 - 47}{189 - 47} = 0.05$$

در مرحله بعد میزان تخلخل کل با استفاده از نمودارهای چگالی و نوترون محاسبه می‌گردد.

الف) برای محاسبه مقدار تخلخل کل به کمک نمودار چگالی، بایستی مقدار پارامترهایی مانند چگالی سنگ، چگالی سیال اشباع کننده و چگالی ماتریکس سنگ را در عمق مورد نظر به دست آورد (جدول ۲-۳).

جدول ۲-۳: مقادیر اندازه‌گیری شده برای محاسبه تخلخل کل به روش چگالی در عمق مورد نظر

پارامتر	مقادیر اندازه‌گیری شده (gr/cc)
ρ_b :	۲/۵۵
ρ_f	۱
ρ_{ma}	۲/۷۱

با جای‌گذاری پارامترهای اندازه‌گیری شده در معادله ۲-۲، مقدار تخلخل کل در عمق مورد نظر به روش چگالی به دست می‌آید:

$$\phi = \frac{2.71 - 2.55}{2.71 - 1} = 0.093$$

ب) تخلخل کل با استفاده از نمودار نوترون به کمک رابطه ۲-۳ قابل محاسبه است. مقادیر مربوط به کمترین و بیشترین قرائت نوترون و همچنین قرائت مقدار نوترون برای عمق مورد نظر در جدول ۳-۳ نشان داده شده است.

جدول ۳-۳: مقادیر اندازه‌گیری شده برای محاسبه تخلخل کل به روش نوترون در عمق مورد نظر

مقادیر اندازه‌گیری شده	ریارامتر
۰/۰۲	$\phi(\log)$
-۰/۰۱۴۵	$\phi(\min)$
۰/۲۷	$\phi(\max)$

با جای‌گذاری پارامترهای اندازه‌گیری شده در معادله ۳-۲، مقدار تخلخل کل در عمق مورد نظر با روش نوترون به دست می‌آید.

$$\phi_N = \frac{0.02 + 0.0145}{0.27 + 0.0145} = 0.121$$

۳-۵-۳- مقایسه نتایج

در جدول زیر نتایج به دست آمده از روش‌های چگالی-صوتی، نوترون-صوتی و آنالیز تصویر نشان داده شده است.

جدول ۳-۴: مقایسه نتیجه روش‌های مختلف اندازه‌گیری تخلخل ثانویه

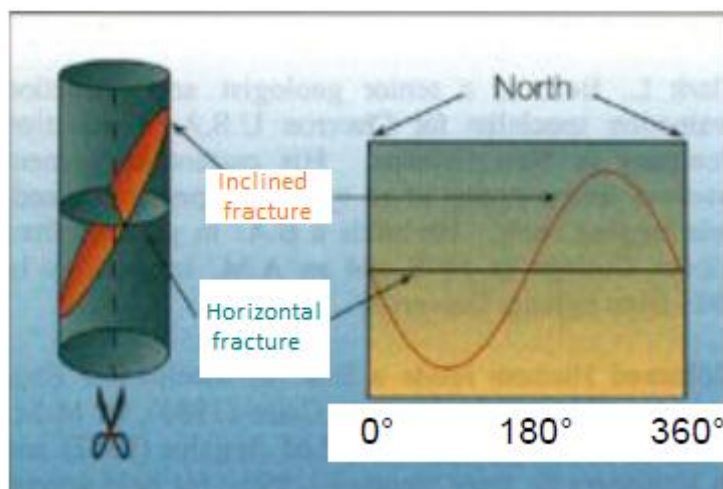
روش	مقدار تخلخل ثانویه اندازه‌گیری شده بر حسب درصد
چگالی-صوتی	۴/۳
نوترون-صوتی	۷/۱
آنالیز تصویر	۵/۹

همان‌طور که در جدول ۳-۴ مشاهده می‌شود تخلخل ثانویه محاسبه شده به روش آنالیز تصویر اختلاف بسیار کمی با سایر روش‌های چاه‌پیمایی دارد. با توجه به دقت پایین نمودارهای چاه‌پیمایی غیر تصویری که میانگین تخلخل را در بازه‌های ۰/۱۵ تا ۱ متری از عمق چاه اندازه‌گیری می‌کنند، وجود اختلاف در نتایج به دست آمده منطقی به نظر می‌رسد.

۳-۶- تفکیک انواع تخلخل ثانویه

۳-۶-۱- شکستگی‌های باز

شکستگی‌ها پدیده‌های صفحه‌ای با گسترش نسبتاً زیاد هستند که دیواره چاه را قطع می‌کنند. همان‌طور که در شکل ۳-۱۲ دیده می‌شود در صورتی که صفحه شکستگی به صورت افقی با استوانه چاه برخورد کند فصل مشترک این صفحه با استوانه چاه هنگامی که استوانه چاه باز شود، به صورت یک خط افقی خواهد بود. چنانچه صفحه شکستگی به صورت مورب با استوانه چاه برخورد نماید محل تلاقی آن با استوانه چاه هنگامی که استوانه باز شود به صورت یک موج سینوسی دیده می‌شود. شکستگی‌های باز به دلیل تباین فیزیکی شدیدی که با زمینه سازند دارند، در لاگ تصویرگر قابل شناسایی می‌باشند. شکستگی‌های باز به خاطر پرشدگی با گل حفاری رسانا، اثر تیره بر روی لاگ تصویری بر جای می‌گذارند.



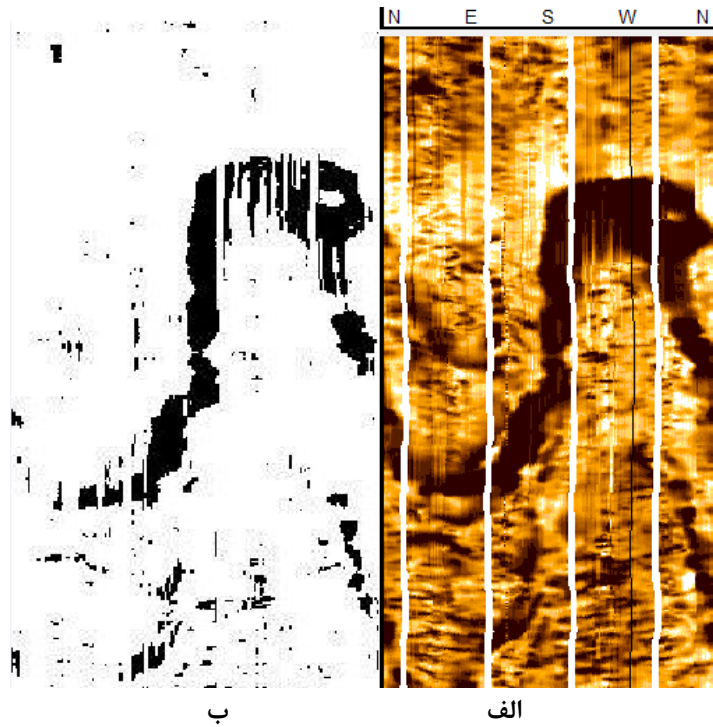
شکل ۳-۱۲: طرح شماتیک از برخورد شکستگی شیب‌دار و افقی با دیواره چاه [ویلیامز، ۲۰۰۸]

۳-۶-۲- شناسایی شکستگی‌های باز به روش آستانه‌گیری تصویر

برای جدا کردن شکستگی‌های باز از سایر پدیده‌های موجود در تصویر، می‌بایست اثر آن شناسایی گردد. تفاوت بین اثر تخلخل شکستگی‌ها و تخلخل حفره‌ای، نحوه قرارگیری و تجمع پیکسل‌های سیاه رنگ مربوط به هر کدام می‌باشد. پیکسل‌های مربوط به شکستگی‌ها اغلب تجمع خطی و سینوسی داشته در حالی‌که پیکسل‌های تخلخل حفره‌ای، تجمع بی شکل دارند. در این مطالعه، الگوریتمی بر مبنای روش آستانه‌گیری تصویر در محیط نرم افزار MATLAB ارائه شده است که شامل مراحل زیر می‌باشد:

۳-۶-۲-۱- پر کردن منافذ تصویر

پیش از تعریف یک ساختار برای تجمع پیکسل‌های سیاه رنگ مربوط به شکستگی‌های باز، باید تصحیحاتی بر روی تصویر سیاه و سفید که تصویر ورودی الگوریتم می‌باشد، انجام پذیرد. کیفیت نامناسب اغلب لاگ-های تصویری و همچنین وجود خطوط سفید رنگ عمودی که به دلیل اعمال تصحیح دیواره چاه به وسیله نرم افزار Geolog بر روی تصویر ایجاد می‌شود، تجمع یکپارچه پیکسل‌های مربوط به شکستگی‌ها را با مشکل روبرو می‌سازد (شکل ۳-۱۳).

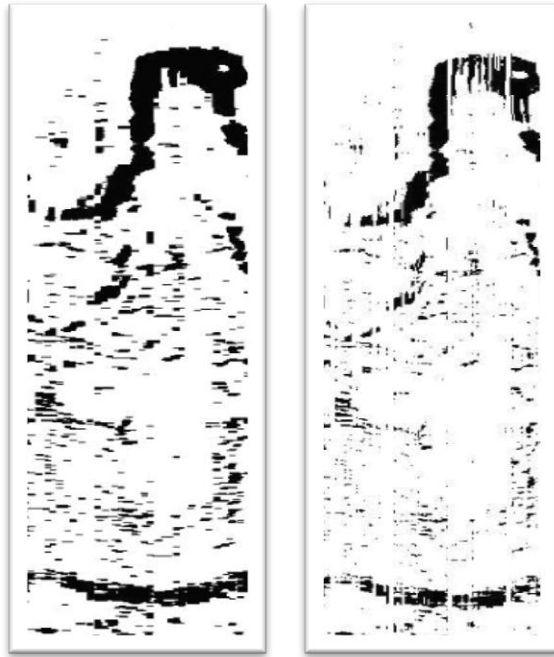


شکل ۳-۱۳: وجود ناپیوستگی در تصاویر FMI

الف) وجود خطوط سفید رنگ عمودی بر روی تصویر رنگی FMI ب) وجود ناپیوستگی در تجمع پیکسل‌های سیاه رنگ سینوسی در تصویر سیاه و سفید

برای برطرف نمودن این مشکل از تابع پرنمودن منافذ تصویر^۱ استفاده می‌شود. این دستور منافذی که در بین پیکسل‌های سیاه تصویر وجود دارد را با اضافه کردن پیکسل سیاه رنگ به تصویر، برطرف می‌کند (شکل ۳-۱۴).

¹ Imfilled Image



ب

الف

شکل ۳-۱۴: پر کردن منافذ موجود در تصویر

(الف) تصویر باینری اولیه ب) تصویر باینری با اعمال تابع پرکردن منافذ

۳-۶-۲-۲- تجمیع پیکسل‌های مربوط به شکستگی‌ها

در این مرحله، یک آستانه برای تجمیع پیکسل‌های مربوط به شکستگی‌های طبیعی باز در نظر گرفته می‌شود. در نرم افزار متلب، هر تصویر از M سطر و N ستون تشکیل شده است. خط افقی به طول N پیکسل و عرض یک پیکسل، کمترین میزان تجمیع پیکسل‌های سیاه رنگ است که می‌توان به شکستگی‌ها نسبت داده شود. با استفاده از تابع `bwareaopen`، تجمیع پیکسل‌هایی که تعداد آن از N پیکسل کمتر باشد از تصویر حذف می‌گردد.

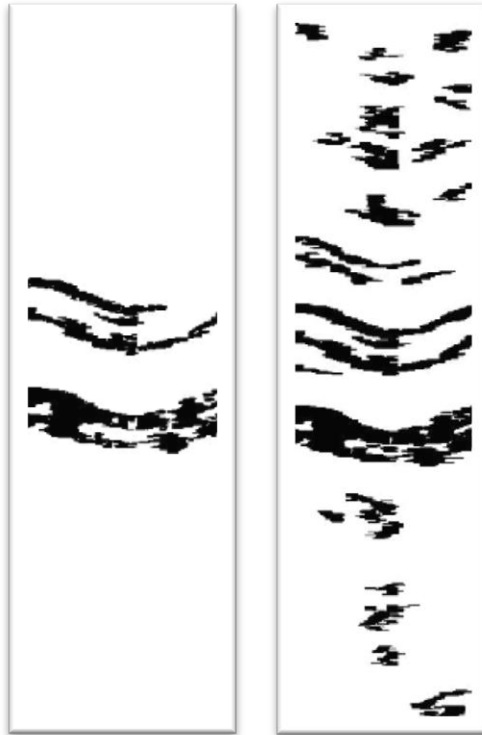
اثر مربوط به شکستگی‌های باز، به صورت تجمیع خطی یا سینوسی پیکسل‌های سیاه رنگ است. تصویر به دست آمده در این مرحله، ممکن است دارای پیکسل‌های سیاه رنگ با تجمیع بیشتر از N پیکسل و به صورت غیر خطی و غیر سینوسی باشد (شکل ۳-۱۵).



شکل ۳-۱۵: وجود پیکسل‌های سیاه رنگ غیر خطی و غیر سینوسی با تجمع بیشتر از N پیکسل در تصویر باینری FMI

۳-۲-۶-۳- حذف پیکسل‌های سیاه غیر خطی و غیر سینوسی

در این مرحله به منظور برطرف نمودن خطای به وجود آمده در نتیجه مرحله قبل، برای پیکسل‌های سیاه رنگ معرف شکستگی، یک طول یا روند تعریف می‌شود. با توجه به کامل نبودن خطوط افقی و سینوسی به دلیل کیفیت پایین تصاویر، تجمع پیکسل‌های سیاه با طول بیشتر از نصف عرض لاگ تصویری ($N/2$)، به عنوان شکستگی معرفی می‌شود. همان‌طور که در شکل ۳-۱۶ دیده می‌شود با اعمال این شرط، پیکسل‌های سیاه رنگ غیر خطی و غیر سینوسی با تجمع بیشتر از N پیکسل، از تصویر حذف می‌گردد.

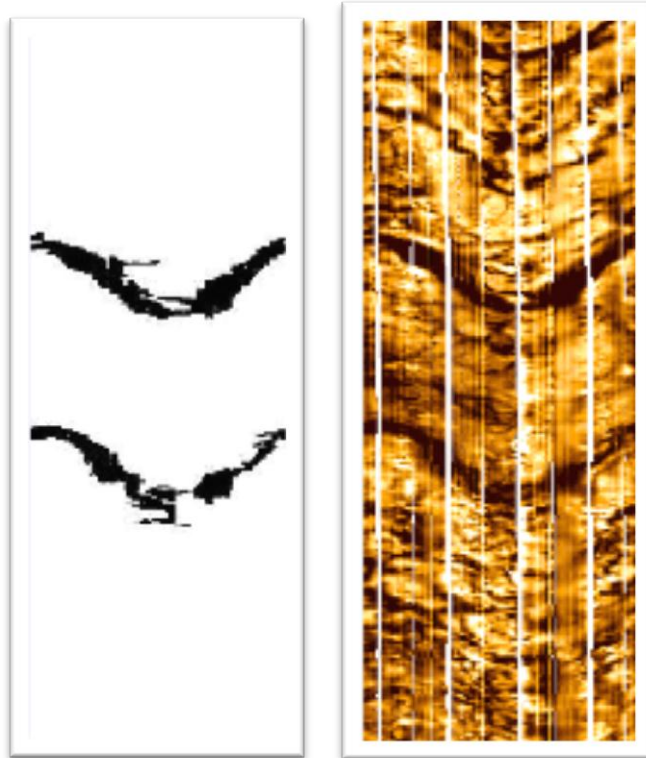


ب

الف

شکل ۳-۱۶: نتایج حاصل از اعمال توابع آستانه‌گیری (الف) تصویر شکستگی‌ها بر اساس روش حد تجمع پیکسل‌ها (ب) تصویر شکستگی‌ها بر اساس روش حد تجمع پیکسل‌ها و تعیین روند برای پیکسل‌های سیاه

لاگ تصویری مورد مطالعه از ۱۷۸ ستون پیکسل تشکیل شده است. در مرحله اول تجمع کمتر از ۱۷۸ پیکسل سیاه مربوط به تخلخل ثانویه از تصویر حذف می‌گردند. در مرحله بعد تجمعاتی که طول هم-جواری آن‌ها بیشتر از نصف عرض لاگ تصویری یعنی بیشتر از ۸۹ پیکسل باشد به عنوان شکستگی شناخته شده و بقیه پیکسل‌های سیاه از تصویر حذف می‌شود. در شکل ۱۷-الف بازه‌ای از لاگ تصویری FMI مربوط به چاه مورد مطالعه دیده می‌شود. با اعمال الگوریتم تشخیص شکستگی بر روی این تصویر، تصویر باینری به دست می‌آید که معرف شکستگی‌های موجود در بازه مورد نظر است (شکل ۱۷-ب).



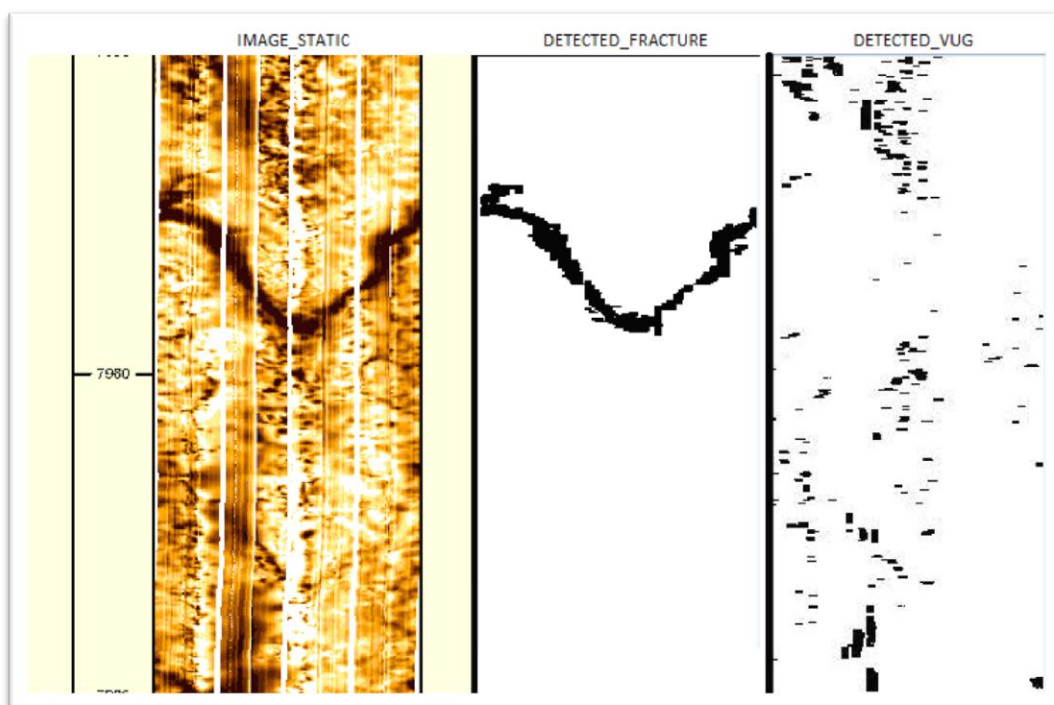
ب

الف

شکل ۳-۱۷: نمونه ای از شکستگی تفکیک شده با روش آنالیز تصویر در چاه مورد مطالعه

۳-۶-۳- شناسایی حفره‌های باز

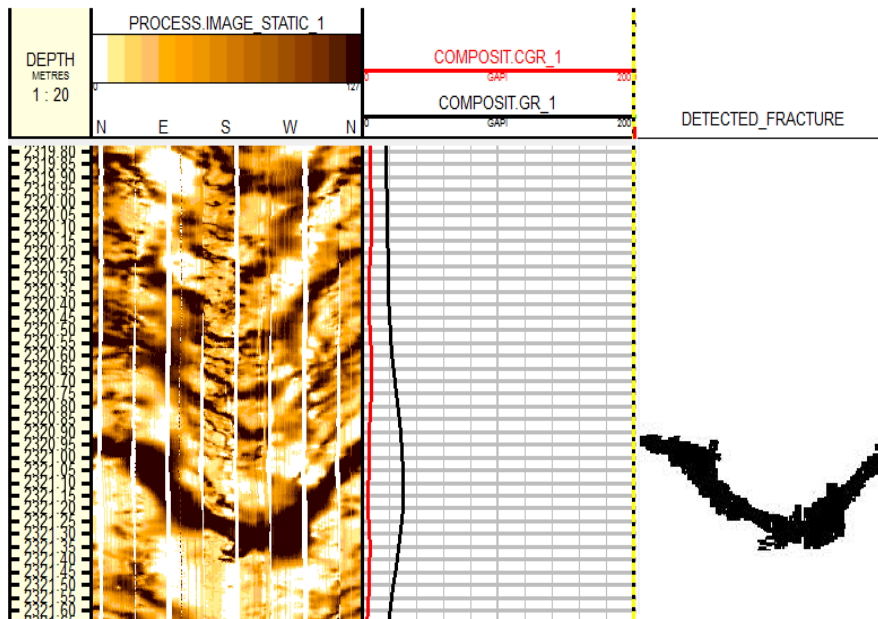
حفره‌های باز به صورت تجمع بی‌شکل پیکسل‌های سیاه بر روی تصاویر FMI دیده می‌شود. برای تشخیص تخلخل حفره‌ای در تصویر چاه مورد مطالعه، بایستی پیکسل‌های سیاه رنگ مربوط به شکستگی‌ها، که در مرحله قبل شناسایی شد از پیکسل‌های سیاه معرف تخلخل ثانویه حذف گردند. برای این کار از تابع AND منطقی استفاده می‌شود. این تابع با مقایسه دو تصویر، پیکسل‌های سیاه مشترک را حذف نموده و پیکسل‌های معرف تخلخل حفره‌ای در تصویر باقی می‌ماند. شکل زیر بازه‌ای از چاه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که با روش آنالیز تصویر، تخلخل حفره‌ای و شکستگی از یکدیگر تفکیک شده‌اند.



شکل ۳- ۱۸: نمونه‌ای از تفکیک شکستگی‌ها و حفره‌ها در بازه‌ای از چاه مورد مطالعه

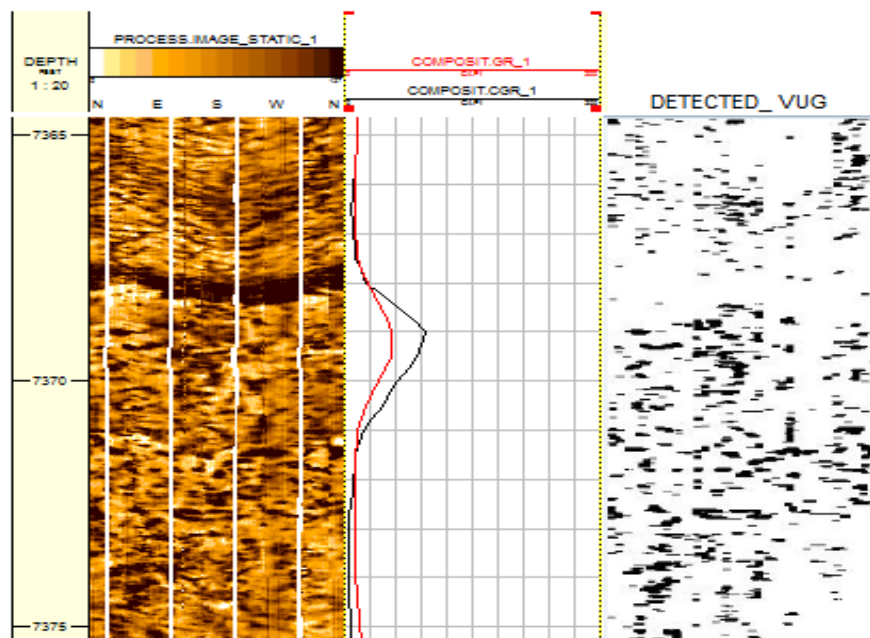
۳-۷- رآستی آزمآیی روش پیشنهادی

آثر مربوط به شیل‌ها بر روی تصاویر چاه، مانند آثر تخلخل ثانویه و به صورت پیکسل‌های سیاه رنگ می‌باشد. بنابراین روش آنالیز تصویر در بازه‌های شیل‌دار قادر به تشخیص تخلخل شکستگی و حفره‌ای از شیل‌ها نمی‌باشد. همان‌طور که در شکل ۳-۱۹ دیده می‌شود، آثر سیاه رنگ موجود در تصویر FMI چاه موردنظر با استفاده از روش آنالیز تصویر به عنوان شکستگی شناسایی شده است در حالی که نمودار چاه‌پیمایی گاما، شیل‌دار بودن سازند در عمق مورد نظر را نشان می‌دهد.



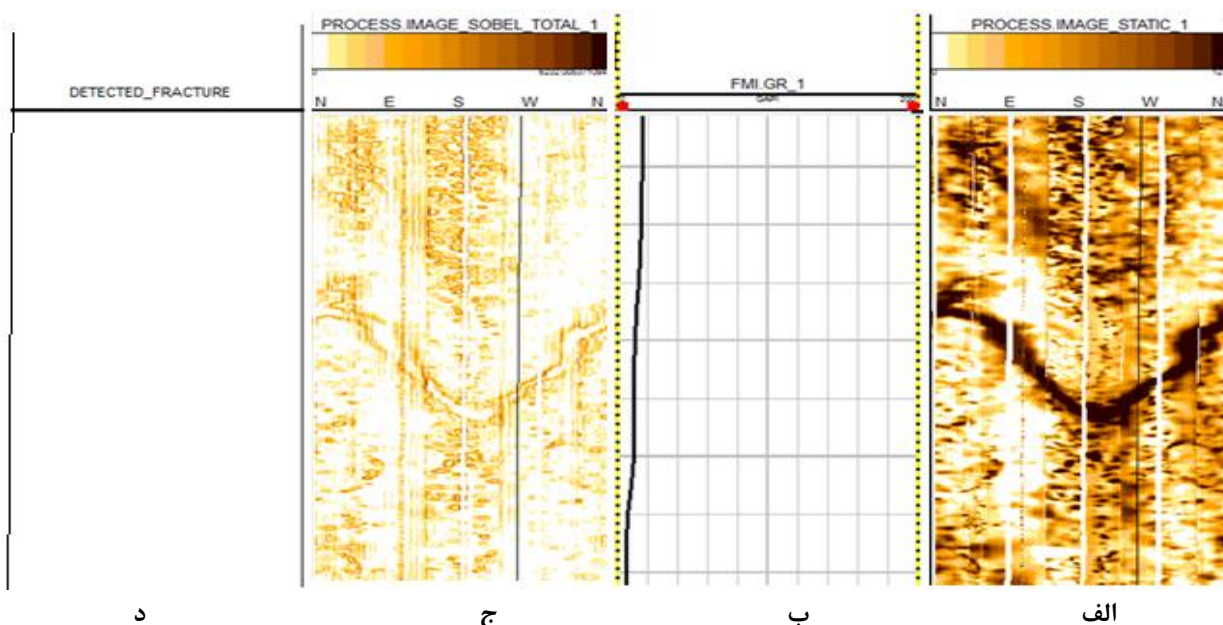
شکل ۳-۱۹: عدم توانایی روش آنالیز تصویر در تشخیص لایه‌های شیلی از شکستگی‌ها، در چاه مورد مطالعه

همان‌طور که در شکل ۳-۲۰ دیده می‌شود، در بازه‌هایی از چاه که نمودار گاما، شیل دار بودن سازند را تأیید می‌کند، روش آنالیز تصویر قادر به تفکیک اثر تخلخل حفره‌ای از اثر مربوط به شیل‌ها نمی‌باشد.



شکل ۳-۲۰: تخلخل حفره‌ای مشخص شده به روش آنالیز تصویر در بازه‌های شیل‌دار و بدون شیل

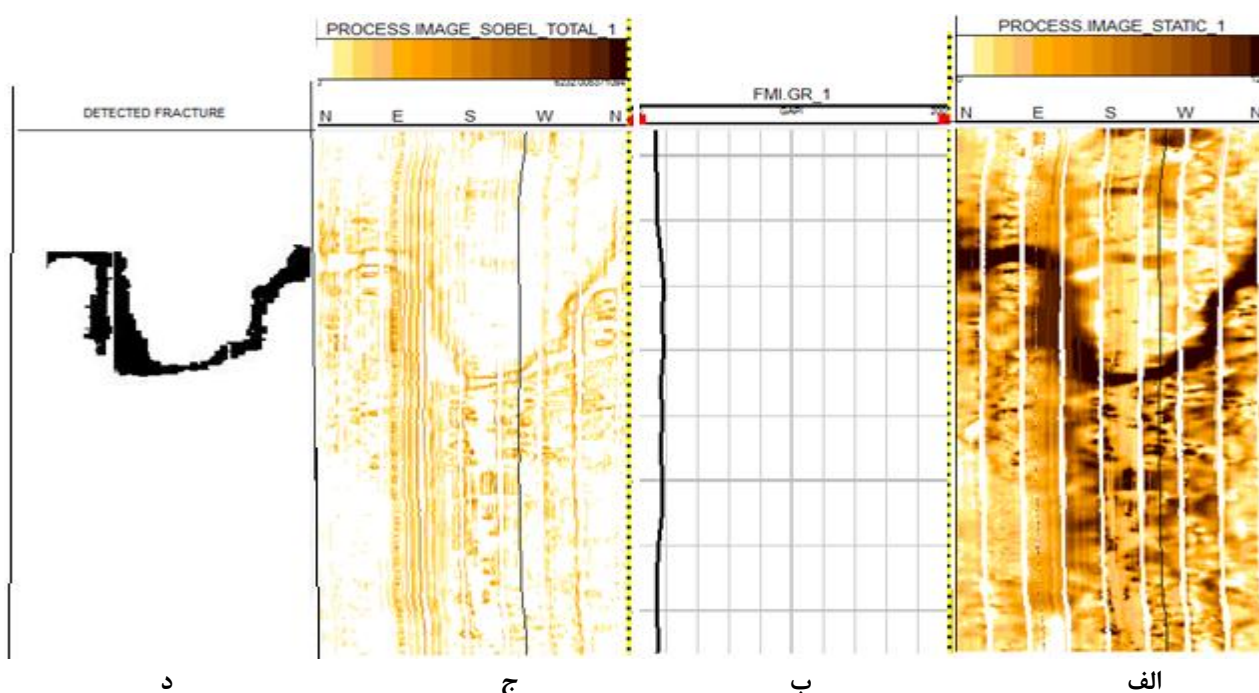
برای اعتبار سنجی روش پیشنهادی، بایستی نتایج به دست آمده از آن با نتایج حاصل از مغزه مقایسه گردد. با توجه به دسترس نبودن اطلاعات مغزه مربوط به چاه مورد نظر، این مقایسه بین نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی با نتایج حاصل از اعمال فیلتر سوبل بر روی تصویر با استفاده از نرم افزار Geolog انجام شده است. فیلتر سوبل یکی از مهمترین روش‌های لبه‌یابی می‌باشد که با مشتق‌گیری از تصویر در راستای افقی و عمودی، قادر به تشخیص لبه‌های موجود در تصویر است. لبه‌های تصویر بر اثر تفاوت شدت روشنایی بین پیکسل‌های تصویر به وجود می‌آیند. شدت روشنایی پیکسل‌های مربوط به شکستگی‌ها بر روی لاگ تصویری، نسبت به سایر پیکسل‌های تصویر اختلاف زیادی دارد، بنابراین روش فیلتر سوبل به راحتی قادر به تشخیص شکستگی‌های موجود در چاه می‌باشند. در شکل ۳-۲۱ مقایسه‌ای بین نتیجه تشخیص شکستگی به روش آنالیز تصویر و فیلتر سوبل^۱ در بازه‌ای فاقد شیل از چاه مورد مطالعه صورت گرفته است. روش فیلتر سوبل در این بازه یک شکستگی سینوسی را تشخیص داده است در حالی که روش آنالیز تصویر قادر به تشخیص شکستگی در این بازه نمی‌باشد.



¹ Sobel

شکل ۳-۲۱: مقایسه نتایج روش آنالیز تصویر و فیلتر سوبل در یک بازه بدون شیل از چاه مورد نظر الف) بازه‌ای از چاه مورد مطالعه ب) نمودار گاما مربوط به بازه مورد نظر ج) نتایج حاصل از اعمال فیلتر سوبل بر تصویر چاه د) نتایج حاصل از روش آنالیز تصویر

در شکل ۳-۲۲ بازه‌ای از چاه مورد نظر که فاقد شیل می‌باشد در نظر گرفته شده است. به دلیل باز شدگی زیاد دهانه شکستگی و همچنین عدم پر شدگی موضعی، نتایج حاصل از آنالیز تصویر و فیلتر سوبل یکسان بوده و هر دو وجود یک شکستگی باز در عمق مورد نظر را تأیید می‌کنند.



شکل ۳-۲۲: مقایسه نتایج روش آنالیز تصویر و فیلتر سوبل در یک بازه بدون شیل از چاه مورد نظر الف) بازه‌ای از چاه مورد مطالعه ب) نمودار گاما مربوط به بازه مورد نظر ج) نتایج حاصل از اعمال فیلتر سوبل بر تصویر چاه د) نتایج حاصل از روش آنالیز تصویر

کیفیت پایین اغلب لاگ‌های تصویری و همچنین پرشدگی قسمت‌هایی از شکستگی باز توسط مواد نارسانا، پیوستگی پیکسل‌های سیاه رنگ معرف شکستگی‌های باز را از بین می‌برد. با توجه به عدم تأثیر پرشدگی موضعی شکستگی‌ها توسط مواد نارسانا در نتایج به دست آمده از روش فیلتر سوبل، تشخیص شکستگی‌ها با استفاده از این روش نسبت به روش آنالیز تصویر با خطای کمتری همراه است.

فصل چهارم:

جمع بندی، نتایج و پیشنهادها

۴-۱- جمع بندی

۴-۱-۱- تعیین تخلخل ثانویه

تعیین میزان دقیق تخلخل ثانویه موجود در مخازن کربناته از چالش‌های مطالعه این مخازن است. در این مطالعه با ارائه روش آنالیز تصاویر FMI، مقدار تخلخل ثانویه در بازه‌های ۵ سانتی‌متری محاسبه شد. مقایسه نتایج به دست آمده از روش پیشنهادی با نتایج لاگ‌های چاه‌پیمایی غیر تصویری نشان دهنده دقت بالای روش می‌باشد. تفاوت جزئی بین نتایج به دلیل آن است که لاگ‌های چاه‌پیمایی غیر تصویری میانگین تخلخل را در بازه‌های ۰/۱۵ تا ۱ متری از عمق چاه اندازه‌گیری کرده اما روش پیشنهادی مقدار دقیق تخلخل را در بازه‌های ۵ سانتی‌متری محاسبه می‌کند. هر چند این روش در بازه‌های شیلی عملکرد مناسبی ندارد اما به دلیل کیفیت مخزنی ضعیف این بازه‌ها، می‌توان از خطای این روش چشم پوشی کرد. از دیگر مزایای این روش قابلیت شناسایی زون‌های نازک با تخلخل بسیار بالا و یا بسیار پایین است که در لاگ‌های چاه‌پیمایی قابل شناسایی نیستند.

۴-۱-۲- تفکیک انواع تخلخل ثانویه

در این مطالعه بر اساس تجمع پیکسل‌های سیاه رنگ مربوط به تخلخل ثانویه، سعی در ارائه روشی برای تفکیک انواع تخلخل ثانویه از یکدیگر شد. به دلیل شباهت اثرات لایه‌های شیلی و شکستگی‌ها بر روی لاگ - FMI، روش آنالیز پیکسل‌های تصویر برای تفکیک شکستگی‌های و حفره‌های باز در بازه‌های شیل‌دار نتایج مطلوبی ندارد. کیفیت پایین اکثر لاگ‌های تصویری و همچنین پر شدگی موضعی شکستگی‌های باز توسط مواد نارسا، کامل بودن اثر خطی و سینوسی مربوط به شکستگی‌های باز بر روی این تصاویر را با مشکل روبرو می‌سازد. در نتیجه این روش در تشخیص شکستگی‌ها و به تبع آن تشخیص حفره‌ها با محدودیت

همراه است و تنها در تشخیص شکستگی‌ها با باز شدگی زیاد، و همچنین شکستگی‌هایی که پر شدگی موضعی ندارند، موفق عمل می‌کند.

۴-۲- نتایج

۴-۲-۱- اندازه‌گیری تخلخل ثانویه به روش آنالیز تصویر

الف) روش آنالیز تصویر میزان تخلخل ثانویه را در بازه‌های بسیار کوچک از عمق چاه اندازه‌گیری می‌کند. لاگ‌های غیر تصویری میانگین تخلخل کل و تخلخل اولیه را در بازه‌های ۱۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متری اندازه‌گیری می‌کنند در حالی که روش ارائه شده تخلخل را در بازه‌ای بسیار کوچکتر اندازه‌گیری می‌نماید. بنابراین نتایج به دست آمده بسیار دقیق‌تر و معتبرتر از نتایج به دست آمده از تلفیق لاگ‌های چاه‌پیمایی غیر تصویری می‌باشد.

ب) با توجه به اینکه لاگ‌های چاه‌پیمایی غیر تصویری به طور مستقیم قادر به شناسایی و اندازه‌گیری تخلخل ثانویه نمی‌باشند، روش مذکور این کار را به صورت مستقیم و با سرعت و دقت بالا انجام می‌دهد و موجب صرفه‌جویی در زمان می‌گردد.

ج) با توجه به میانگین‌گیری تخلخل توسط لاگ‌های غیر تصویری در بازه‌های ۱۵ تا ۱۰۰ سانتی‌متری از عمق چاه، تغییرات تخلخل در لایه‌های نازک قابل شناسایی نیستند. اما لاگ آنالیز تصویر این تغییرات را به خوبی مشخص می‌کند.

د) روش ارائه شده در بازه‌های شیل‌دار قادر به تعیین میزان تخلخل ثانویه نمی‌باشد اما با توجه به ارزش مخزنی پایین این بازه‌ها در مخازن متداول، می‌توان از خطای این روش چشم‌پوشی کرد.

۴-۲-۲- تفکیک تخلخل ثانویه به روش آنالیز تصویر

الف) به دلیل کیفیت پایین اغلب لاگ‌های تصویری و همچنین کامل نبودن اثر مربوط به شکستگی‌ها بر روی لاگ تصویری، این روش دقت بالایی در تشخیص تمام شکستگی‌های موجود در چاه را ندارد.

ب) در صورتی که دهانه شکستگی بازشدگی زیاد داشته باشد و یا شکستگی دارای پرشدگی موضعی توسط مواد نارسا نباشد، این روش قادر به تفکیک انواع تخلخل ثانویه است. اما در عمل احتمال پرشدگی موضعی شکستگی باز زیاد است و همچنین اغلب دهانه شکستگی‌ها، بازشدگی اندکی دارند.

۴-۳- پیشنهادها

الف) از نتایج به دست آمده در تعیین تخلخل ثانویه به روش آنالیز تصویر، می‌توان در سایر مطالعات پتروفیزیکی مخزن استفاده نمود.

ج) نتایج به دست آمده از آنالیز لاگ تصویر در تعیین تخلخل ثانویه در مطالعات مربوط به تولید و بهره برداری می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد و زون‌های تولیدی احتمالی را به خوبی نمایش دهد.

د) تفکیک تخلخل حفره‌ای و شکستگی با استفاده از تکنیک بررسی تجمع پیکسل‌ها نمی‌تواند نتایج مطلوبی به همراه داشته باشد. لذا تفکیک شکستگی‌ها از تصویر با استفاده از فیلترهای تصویر یا الگوریتم‌هایی همانند الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌شود.

منابع فارسی

- ۱) خوشبخت ف، (۱۳۹۱)، "مدلسازی تخلخل سه گانه در یک مخزن کربناته با استفاده از لاگ تصویرگر و لاگ‌های چاه‌پیمایی". چهارمین کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه تهران.
- ۲) رضایی م، (۱۳۸۹) "زمین شناسی نفت" چاپ چهارم، انتشارات سازمان آموزشی و انتشاراتی علوی، تهران.
- ۳) ظهراب زاده م، (۱۳۸۸) "تحلیل سیستماتیک شکستگی‌های مخزن آسماری در یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران". مجله اکتشاف و تولید، شماره ۶۳، صفحه ۴۶.
- ۴) عسگری نژاد ی، تخم‌چی ب، کامکار روحانی ا، شرکتی ش، (۱۳۹۰)، "بررسی نقش تخلخل حفره‌ای در میزان بازیابی مخازن کربناته شکسته". اولین کنفرانس مجازی ذخیره سازی زیر زمینی مواد هیدروکربوری، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۵) قاسم العسگری م، (۱۳۸۹) "چاه‌نگاری پیشرفته" چاپ اول، انتشارات ستایش، تهران.

منابع لاتین

- 1) Aguilera R.F and Aguilera R. (2004) "A Triple Porosity Model for Petrophysical Analysis of Fractured Reservoirs" *Petrophysics*, Vol. 45, No. 2, P. 157-166.
- 2) Alahmadi H. A (2010) "A Triple-Porosity Model for Fractured Horizontal Wells" *MSc. Thesis, Texas A&M University*.
- 3) Anselmetti F. S. and Eberli G. P. (1999) "The Velocity-Deviation Log: A Tool to Predict Pore Type and Permeability Trends in Carbonate Drill Holes from Sonic and Porosity or Density Logs" *AAPG Bulletin*, Vol. 83, No. 3, P. 450-466.
- 4) Ausbrooks R and Hurley N. F and May A and Nees G.D. (1999) " Pore-Size Distributions in Vuggy Carbonates From Core Images, NMR, and Capillary Pressure" *SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas*
- 5) Brock J.(1986) "*Applied open hole log analysis*" volume2.
- 6) Dey D and Johri R.(2011) " Methods of Determination of Porosity and Permeability in the Heterogeneous Carbonate Reservoirs- A Review" *Geo India*.
- 7) Gonzalez R. C and Woods R. E.(2002) "*Digital Image Processing*" 2nd edition, prentice Hall, Upper saddle River, NJ.

- 8) Haller D and Porturas F. (1988) “How to characterize fractures in reservoirs using bore hole and core images:case study” *geological society of london,special publications*, Vol 136, pp249-259.
- 9) Hurley N. F. and Pantoja D.(1998) “Quantification of Vuggy Porosity in a Dolomite Reservoir from Borehole Image and Core, Dagger Draw Field, New Mexico” *SPE Annual Technical Conference and ExhibitionNew Orleans, Louisiana*
- 10) Khoshbakht F and Azizzadeh M and Memarian H and Noruzi G.H and Moallemi S.A. (2012) “ Comparison of electrical image log with core in a fractured carbonate reservoir” *J. Pet. Sci. Eng*, Vol 86-87, pp. 289-296.
- 11) Khoshbakht F and Memarian H and Mohammadnia M . (2009) “ Comparison of Asmari, Pabdeh and Gurpi formation's fractures, derived from image log” *J. Pet. Sci. Eng*, Volume 67, pp. 65-74
- 12) Luthi S.M .(2001) “*Geological Well Logs: Their Use in Reservoir Modeling*” Published by SPRINGER PG.
- 13) Matlab User Guide, 2007, Image Processing Tool Box, MathWork.
- 14) Prenskey S.E (1999) “ advances in borehole image technology and applicatins” *Geological society of London, Special publication*.
- 15) Schlumberger (1992) “ FMI Fullbore formation micro Imager” *Schlumberger Education services*.
- 16) Schlumberger (2002) “Borehole geology, geomechanics and 3D reservoir modeling (FMI)” *SMP-5822*.
- 17) Serra O (1989) “ Formation MicroScanner Image Interpretation” *Schlumberger Education Services*.
- 18) Serra O and & L (2004) “*Well logging-Data acquisition and applications*”.
- 19) Williams T (2008) “Well logging Principles and Application: Borehole Image Analysis”*Borehole Research Group,Lamont Doherty Earth Observatory,USA*.

ضمائم

الف) الگوریتم تعیین میزان تخلخل ثانویه

ابتدا تصویر بازه‌ای از چاه مورد مطالعه، به عنوان ورودی الگوریتم در نظر گرفته می‌شود. در مرحله بعد با استفاده از تابع `RGB2GRAY`، تصویر رنگی ورودی به یک تصویر خاکستری تبدیل می‌گردد. با جدا نمودن پیکسل‌های سیاه رنگ مربوط به تخلخل ثانویه، نسبت پیکسل‌های سیاه رنگ به پیکسل‌های سفید تصویر در پنجره‌های ۵ سانتی‌متری که معادل با ۱۲ پیکسل از تصویر می‌باشد، اندازه‌گیری می‌شود. در نهایت نسبت به دست آمده بر حسب درصد برای عمق‌های مختلف، به صورت یک نمودار قابل مشاهده است. کد زیر در نرم افزار MATLAB به همین منظور نوشته شده است:

```
clc
clear
II = imread('fmi.tif');
I=II(:,:,1:3);
imshow(I(:,:,1:3))

% BW = rgb2gray(I(:,:,1:3))
% figure
% imshow(BW)
r=size(I,1);
c=size(I,2);
for i=1:r
    for j=1:c
        if I(i,j,1)>47% && I(i,j,2)==0 && I(i,j,3)==0
            I2(i,j)=1;
        else
            I2(i,j)=0;
        end
    end
end
end
figure
```

```

imshow(~I2)
imwrite(~I2,'resultaz2.jpeg')

for i=1:r
    p(i)=sum(~I2(i,:))/c*100;
end

i=1:r;
distance=(7012-7000)/(665-449)*(i-449)+7000;
figure
plot(distance,p)
figure
bar(distance,p)

for i=1:r/12
    p2(i)=mean(p((12*i-4):12*i));
end
i=1:12:r-12;
distance2=(7012-7000)/(665-449)*(i-449)+7000;
figure
plot(distance2,p2)
figure
bar(distance2,p2)

```

ب) شناسایی شکستگی‌های باز

تصویر باینری شده لاگ FMI، به عنوان ورودی الگوریتم در نظر گرفته می‌شود. تبدیل تصویر رنگی به تصویر باینری در این الگوریتم، مانند روش اندازه‌گیری تخلخل ثانویه می‌باشد. در مرحله بعد، منافذ موجود در تصویر (foreground) توسط دستور `imfill` پر می‌گردد. با استفاده از دستور `bwareaopen` پیکسل‌های به هم پیوسته (۸ اتصال) که تجمع آن‌ها کمتر از ۱۷۸ پیکسل باشد از تصویر حذف می‌شود. تابع `bwlabel` عمل برچسب گذاری بر روی تصویر سیاه و سفید را انجام می‌دهد، یعنی به هر منطقه به هم پیوسته یک عدد اختصاص داده و در حرف I ذخیره می‌شود. تعداد این مناطق نیز در متغیر n ذخیره می‌گردد. حلقه `for` برای تمام nها عرض این مناطق را محاسبه کرده و از آنجایی که عرض مناطق سینوسی (خطی) از ۸۹ بیشتر است، این مناطق را به عنوان کاندید اثر شکستگی باز در نظر می‌گیرد. در حلقه `for` دوم، با استفاده از یک ماسک ۵*۲، مناطقی که معرف شکستگی بودند را گسترش می‌دهیم. این عمل به گسترش باینری مورفولوژیکی معروف است و در محیط MATLAB توسط دستور `Imdilate` انجام می‌پذیرد. با استفاده از این

تابع می‌توان دید بهتری از شکستگی‌ها به دست آورد. در ادامه الگوریتم دیده می‌شود که می‌توان کیفیت تصویر خروجی الگوریتم که تصویر شماره ۷ می‌باشد را با تغییر مقادیر مربوط به حد تجمع پیکسل‌ها و طول تجمع آن‌ها، افزایش داد. با توجه به با اینکه نمی‌توان یک عدد مشخص را به عنوان حد تجمع و طول اثر شکستگی در نظر گرفت، اعداد پیشنهادی که در ابتدا ذکر شد، نمی‌تواند شکستگی‌ها را به صورت کامل از تصویر جدا کند. لذا تفکیک شکستگی‌ها و حفره‌ها بر اساس تجمع پیکسل‌ها، نمی‌تواند روش مناسبی باشد. کد نوشته شده زیر در نرم افزار MATLAB و به منظور شناسایی شکستگی‌های باز ارائه می‌شود:

```
clear
clc
bin1 = imread('bin.tif');
i=bin1(:,:,1:3);
g=rgb2gray(i);
bw=im2bw(g,.1);
imwrite(bw,'1.jpeg');
f=imfill(~bw,'holes');
imwrite(f,'2.jpeg');
bwol=bwareaopen(f, 178, 8);
imwrite(bwol,'3.jpeg');
[l,n]=bwlabel(bwol,8);
imwrite(l,'4.jpeg');
j=ones([43337 178]);
imwrite(bw,'5.jpeg');
j=im2bw(j);
    for k=1:n
        [r,c]=find(l==k);
        mm=max(c)-min(c);
        if mm>۸۹
            for kk=1: numel(c)
                r=reshape(r,1,[]);
                c=reshape(c,1,[]);
                j(r(kk),c(kk))=0;
            end
        end
    end
    imwrite(j,'6.jpeg');
    j=~j;
    bw=~bw;
    for k=1:30
        j = imdilate(j,ones([2 5]));
    end
    liner1=bw&j;
imwrite(liner1,'7.jpeg');

%%
liner1=~liner1;
f2=imfill(~liner1,'holes');
```

```

imwrite(f2,'8.jpeg');
%J = imdilate(J,ones(3));
bwol=bwareaopen(f2, 178, 8);
imwrite(bwol,'9.jpeg');
[l,n]=bwlabel(bwol,8);
j=ones([43337 178]);
j=im2bw(j);
for k=1:n
    [r,c]=find(l==k);
    mm=max(c)-min(c);
    if mm>110
        for kk=1:numel(c)
            r=reshape(r,1,[]);
            c=reshape(c,1,[]);
            j(r(kk),c(kk))=0;
        end
    end
end
imwrite(j,'10.jpeg');

j=~j;
% bw=~bw;
for k=1:20
    j = imdilate(j,ones([2 5]));
    liner2=bw&j;
end

imwrite(liner2,'11.jpeg');

liner=bwareaopen(liner2, 300, 8);
imwrite(liner,'12.jpeg');

imwrite(~liner,'liner.jpeg');

```

ج) شناسایی حفره‌های باز

برای شناسایی پیکسل‌های مربوط به حفره‌ها در تصویر FMI، از نتیجه روش تشخیص شکستگی‌ها استفاده می‌شود. در این الگوریتم، پیکسل‌های سیاه رنگ مربوط به اثر شکستگی‌ها، از پیکسل‌های سیاه رنگ معرف تخلخل ثانویه، تفریق می‌گردد. این کار توسط دستور AND منطقی، انجام می‌شود. تصویر به دست آمده از این تفریق تصاویر، معرف تخلخل حفره‌ای می‌باشد. کد زیر در MATLAB به همین منظور نوشته شده است:

```
clear
```

```

clc
II = imread('bin.tif');
i=II(:,:,1:3);
g=rgb2gray(i);
bw=im2bw(g,.1);
f=imfill(~bw,'holes');
bwol=bwareaopen(f, 20, 4);
dil1 = imdilate(bwol,ones([2 5]));
bwo2=bwareaopen(dil1, 178, 8);
dil2 = imdilate(bwo2,ones([3 7]));
[l,n]=bwlabel(dil2,8);
j=ones([43337 177]);
j=im2bw(j);
for k=1:n
    [r,c]=find(l==k);
    mm=max(c)-min(c);
    if mm>19
        for kk=1:numel(c)
            r=reshape(r,1,[]);
            c=reshape(c,1,[]);
            j(r(kk),c(kk))=0;
        end
    end
end

j=~j;
bw=~bw;
for k=1:30
    di = imdilate(j,ones([5 5]));
    liner=bw&di;
end

bwo3=bwareaopen(liner, 178, 8);
imwrite(~bwo3,'a.jpeg');
unliner=~bwo3&bw;

imwrite(~unliner,'unliner.jpeg');

```

د) فیلتر سوبل

فیلتر سوبل یکی از فیلترهای پرکاربرد در زمینه پردازش تصویر به خصوص در شناسایی لبه‌های تصویر بوده و از دو ماسک افقی و عمودی تشکیل شده است (شکل ج-۱).

۱	۰	-۱
۲	۰	-۲
۱	۰	-۱

ب

۱	۲	۱
۰	۰	۰
-۱	-۲	-۱

الف

شکل ج-۱) الف) ماسک عمودی سوبل ب) ماسک افقی سوبل

ماسک‌های افقی و عمودی، پیکسل‌های تصویر را در جهت افقی و عمودی پیمایش می‌کنند. در هر پیمایش، عنصر مرکزی ماسک سوبل بر روی یک پیکسل قرار گرفته و سایر عناصر ماسک بر روی هشت پیکسل مجاور آن منطبق می‌گردد. مقدار هر کدام از پیکسل‌های هشتگانه اطراف پیکسل مورد نظر در آرایه‌های ماسک سوبل ضرب شده و مجموع نتایج به دست آمده، به آن پیکسل اختصاص داده می‌شود. در صورتی که پیکسل‌های مجاور پیکسل مورد نظر هم رنگ باشند مقدار به دست آمده برای پیکسل مرکزی برابر با صفر بوده و تصویر صاف و بدون لبه در نظر گرفته می‌شود. وجود لبه در تصاویر سبب می‌شود که مقدار متناظر با پیکسل مورد نظر برابر با صفر نباشد و این نقطه به عنوان یک نقطه از لبه در نظر گرفته می‌شود.

