

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده معدن ، نفت و ژئوفیزیک

تفسیر لاگ های تصویری مقاومتی سازند های مخازن نفتی به
منظور شناسایی شکستگی ها

دانشجو: مصیب شفیع زاده

اساتید راهنما:

دکتر منصور ضیائی

دکتر بهزاد تخم چی

پایان نامه ارشد جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد

بهمن ۱۳۹۰

چکیده

با پیشرفت های ایجاد شده در صنعت نفت و گاز و پیچیده شدن روش های اکتشافی، نگار های¹ معمول قادر به پیشبرد تمامی اهداف این صنعت نیستند. در صورت محدود بودن اطلاعات، تشخیص لایه های مؤثر و برآورد پارامتر های مخزن دشوارتر است. در عین حال، تکنولوژی FMI می تواند اطلاعات ارزشمندی را در مورد مخازن شکاف دار به منظور تعیین کمی و توصیف کیفی در اختیار گذارد.

مخازن ایران به طور عمده کربناته بوده که در آن ها شکستگی ها نقش مهمی را در تراوایی و تولید هیدروکربور ایفا می کند. تا کنون، کمتر روش اتوماسیونی درباره پردازش تصاویر FMI به کار گرفته شده است. بنابراین به منظور پیشرفت در اکتشاف نفت و گاز، ارائه روش شناسایی کار آمد برای تصاویر FMI بسیار لازم به نظر می رسد.

پدیده های صفحه ای در شکل های درون چاهی تصویر شده به صورت موج شبه سینوسی ظاهر می شوند و از آن جا که قطر دهانه چاه نسبت به پدیده های ساختاری و چینه شناسی بسیار کوچک است، به صورت کاملا صفحه ای در نظر گرفته می شوند. بنابر این در این تحقیق از ترکیب توابع سینوسی برای منطبق کردن بر روند های شکستگی ها استفاده می شود. شیب و آزیموت بدست آمده از این الگوریتم می تواند جهت تعیین دقیق تراوایی و مسیر حرکت سیال مورد استفاده قرار گیرد.

در بررسی این تصاویر چند نکته کلیدی وجود دارد؛ اول این که، نمونه ها برای آموزش و آزمایش الگوریتم بسیار محدودند. نکته دوم نویز بالا در این تصاویر است به گونه ای که بررسی و دسته بندی ساختار ها در تصویر، بدون تخصص کافی بسیار دشوار است. بنابراین برخی شکستگی ها به دلیل نویز بالای تصویر و همچنین وجود پدیده ها و بافت های سنگ شناسی با مقاومت پایین در اطراف شکستگی که سبب ایجاد شرایط مبهم در پردازش می شود، توسط الگوریتم طراحی شده قابل شناسایی نیست. علاوه بر این محدودیت ها، منابع مرتبط با این تحقیق بسیار اندک بوده به طوری که از منابع محدودی در این تحقیق استفاده شده است. در بررسی های صورت گرفته

¹ Log

روی تصاویر FMI که به شیوه ای متفاوت انجام شده، ما از نمونه های بسیار اندکی استفاده نموده ایم که مشکل کمبود نمونه را تا حدودی برطرف نموده است.

الگوریتم ما شامل سه مرحله است: ۱- پیکسل های مشخص کننده شکستگی از شکل تصویر شده FMI استخراج می شوند و شامل ماتریس مکان X و Y و ماتریس مقادیر نظیر هر نقطه $f(x,y)$ است. ۲- دو بردار X و Y به عنوان ورودی های جعبه ابزار CFTool نرم افزار متلب از طریق ترکیب این سه ماتریس حاصل می شود. در پایان مناسب ترین منحنی از ترکیب توابع سینوس بر شکل شبه سینوسی شکستگی منطبق شده و شیب و آزیموت از طریق بررسی ویژگی های موج سینوسی مشخص می شود. نتایج الگوریتم طراحی شده با تفاسیر حقیقی موجود مقایسه شده اند. در عمل، متوسط خطای بدست آمده برای میانگین شیب و آزیموت های محاسبه شده به ترتیب $3/5\%$ و کمتر از $0/9\%$ برآورد شده است. در ادامه، نتایج بدست آمده توسط بررسی های آماری بهبود یافته اند به طوری که سطح اطمینان به نتایج بدست آمده تا حد $0/95$ (۹۵ درصد) و با قطعیت بالا ارتقاء پیدا کرده است. علاوه بر این، الگوریتم توانسته پیچیدگی و سختی های موجود در تشخیص شکستگی ها را برای اکتشاف نفت و گاز تا حدود قابل ملاحظه ای کاهش دهد.

کلیدواژه: نگار، ساختاری، چینه شناسی، و پیکسل

تعهد نامه

اینجانب مصیب شفیع زاده دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته اکتشاف نفت دانشکده معدن، نفت و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کاربرد آنالیز تصاویر برای پردازش لاگ های تصویری مقاومتی سازند های مخازن نفتی به منظور شناسایی شکستگی ها تحت راهنمایی آقایان دکتر منصور ضیایی و دکتر بهزاد تخم چی متعهد می شوم.

- 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 می باشد 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 می گردد.
- 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 می باشد . 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 نمی باشد.

فهرست

۱	فصل اول : کلیات
۱	۱.۱. مقدمه
۳	۲.۱. پیشینه پژوهش
۴	۳.۱. اهداف و ضرورت تحقیق
۵	۴.۱. محل مورد مطالعه
۷	۵.۱. ساختار پایان نامه
۸	فصل دوم : نگار های تصویری چاه
۹	۱.۲. روش های تصویر سازی از درون چاه
۹	۱.۱.۲. دوربین های درون چاهی
۱۰	۲.۱.۲. نگارهای تصویری صوتی جهت ثبت تباین و تضاد صوتی
۱۰	۳.۱.۲. نگار تصویری مقاومت ویژه جهت ثبت اختلاف مقاومت الکتریکی
۱۴	۲.۲. نمودار های تصویری مقاومتی
۱۴	۱.۲.۲. نمودار FMS
۱۶	۲.۲.۲. نمودار FMI
۱۸	۳.۲. مبانی تفسیر
۱۹	۱.۳.۲. شکستگی های سیمان شده یا پر شده
۲۰	۲.۳.۲. شکستگی های پر شده توسط مواد رسانا
۲۲	فصل سوم : آماده سازی تصاویر FMI توسط نرم افزار متلب
۲۳	بخش اول : بررسی ویژگی های تصاویر FMI
۲۳	۱.۳. انواع تصاویر

۲۳	۱.۱.۳. تصاویر در حوضه طیف امواج الکترو مغناطیس
۲۳	۲.۱.۳. تصاویر مصنوعی
۲۳	۳.۱.۳. تصاویر صوتی و مقاومت ویژه (الکتریکی)
۲۴	۲.۳. اهمیت ایجاد الگوریتم برای پردازش تصاویر
۲۴	۳.۳. انواع تصاویر بر اساس رنگ
۲۴	۱.۳.۳. تصاویر سیاه و سفید
۲۴	۲.۳.۳. تصاویر تک رنگ
۲۵	۳.۳.۳. تصاویر رنگی
۲۵	۴.۳. تصاویر دیجیتال
۳۰	۵.۳. توابع خطی - تکه ای
۳۶	بخش دوم: کاربرد نرم افزار متلب در آماده سازی تصویر
۳۹	۶.۳. تابع انتقال شدت سطح
۴۵	۸.۳. توابع ریخت شناسی و عنصرساختاری
۴۹	۹.۳. تطبیق منحنی بر داده ها
۵۳	فصل چهارم: شکستگی ها در تصاویر FMI و شناسایی ویژگی های آن ها
۵۴	۱.۴. جزییات تصویر FMI
۵۸	۲.۴. انواع شکستگی ها
۵۸	۱.۲.۴. شکستگی باز
۵۸	۲.۲.۴. شکستگی مسدود
۵۸	۳.۲.۴. شکستگی القاشده طی عملیات حفاری
۵۹	۳.۴. مراحل شناسایی شکستگی ها
۶۳	۴.۴. نتایج بدست آمده و مقایسه با تفسیرهای موجود
۶۳	۱.۴.۴. داده ها
۶۸	۲.۴.۴. درجه اطمینان برای منطبق بودن داده ها و بهبود آنها
۶۹	۵.۴. بهبود روش برآورد شیب و آزیموت
۷۰	۶.۴. آزمایش روش بهبود یافته توسط نمونه آزمایشی

۷۴

۷۵

۷۷

نتیجه گیری و پیشنهادات

منابع

چکیده به زبان انگلیسی

لیست شکل ها

- شکل ۱.۱.۱. موقعیت میدان نفتی گچساران ۶
- شکل ۲.۱. موقعیت سازند سورمه ۷
- شکل ۱.۲. مقایسه تصویر نگار مقاومتی (FMI) و نگار صوتی (UBI) مربوط به یک چاه واحد ۱۳
- شکل ۲.۲. دستگاه FMS و آرایش الکتروود های آن ۱۵
- شکل ۳.۲. دستگاه FMI و موقعیت سوند و بالشتک های آن ۱۶
- شکل ۴.۲. ویژگی های ابزار FMI ۱۷
- شکل ۵.۲. تصویر FMI ۴ بالشتکی مربوط به یک مخزن شکاف دار گرانیته ۱۸
- شکل ۶.۲. یک دسته شکستگی های مورب تیره در زمینه سنگ به همراه استیلولیت ۲۰
- شکل ۷.۲. شکستگی های ایجاد شده طی حفاری و مکانیزم تشکیل آن ها ۲۱
- شکل ۱.۳. طیف امواج الکترو مغناطیس بر اساس میزان انرژی برای هر فوتون ۲۳
- شکل ۲.۳. خطای دید در تشخیص رنگ ها به علت تغییر در تضاد رنگ ۲۴
- شکل ۳.۳. شکل شماتیک مکعب ترکیب رنگی ۲۵
- شکل ۴.۳. الف) مکان نقاط (پیکسل) تصویر. ب) مقادیر متناظر با نقاط تصویر ۲۶
- شکل ۵.۳. تصویر سیاه و سفید یک نگار FMI و نمایش مقادیر آن ۲۷
- شکل ۶.۳. تصویر تک رنگ یک نگار و نمایش مقادیر آن ۲۷
- شکل ۷.۳. تصویر رنگی یک نگار و نمایش مقادیر آن ۲۸
- شکل ۸.۳. تصویر رنگی مربوط به بخشی از نگار FMI و سه لایه آن ۲۹
- شکل ۹.۳. منحنی تابع افزایش تضاد رنگی ۳۱
- شکل ۱۰.۳. نتایج اعمال تابع افزایش تضاد رنگی ۳۱
- شکل ۱۱.۳. منحنی تابع برش سطوح خاکستری و دو شیوه آن ۳۲

- شکل ۱۲.۳. نتایج اعمال تابع برش سطوح خاکستری روی تصویر ۸ بیتی خاکستری مقیاس ۳۴
- شکل ۱۳.۳. نتایج اعمال تابع برش سطوح خاکستری روی تصویر ۸ بیتی رنگی ۳۵
- شکل ۱۴.۳. مرحله اول: اعمال تابع برش سطوح خاکستری ؛ مرحله دوم: مشاهده زیر لایه قرمز ۳۵
- شکل ۱۵.۳. نمایش تصویر توسط دستور imshow ۳۷
- شکل ۱۶.۳. نمایش تصویر توسط دستور imtool ۳۸
- شکل ۱۷.۳. بدست آوردن پارامتر های مورد نیاز توسط دستور Imtool ۳۹
- شکل ۱۸.۳. تصویر خروجی درحالت گاما بزرگتر از یک روشن تر و گاما کوچکتر از یک تیره تر می شود ۴۰
- شکل ۱۹.۳. نمودار برای سه تابع مختلف در دستور imadjust با مقدار $\gamma=1$ ۴۱
- شکل ۲۰.۳. نمودار تابع انتقال محدوده (۰/۷۵-۰/۵) به (۰/۴-۵/۲) و عملکرد این تابع ۴۲
- شکل ۲۱.۳. اثر تابع انتقال انتقال محدوده (۰/۷۵-۰/۵) به (۰/۴-۵/۲) روی یک نگار FMI ۴۳
- شکل ۲۲.۳. تابع edge و توانایی آن در تشخیص مرز های ناپیوستگی ۴۴
- شکل ۲۳.۳. شکل شماتیک تعدادی از عنصرهای ساختاری دستور strel ۴۶
- شکل ۲۴.۳. فرسایش نقاط تصویر برای تصویر خاکستری مقیاس و اتصال گسستگی بین نقاط تیره ۴۷
- شکل ۲۵.۳. گسترش نقاط تصویر برای تصویر خاکستری مقیاس ۴۸
- شکل ۲۶.۳. تطبیق منحنی های چندجمله ای بر داده ها ۵۰
- شکل ۲۷.۳. تطبیق سه تابع مختلف بر داده ها توسط جعبه ابزار cftool ۵۱
- شکل ۲۸.۳. نمودار تابع منطبق شده و نمودارهای مشتق اول و دوم و انتگرال تابع ۵۲
- شکل ۱.۴. نگاره FMI به همراه اطلاعات بالای آن ۵۴
- شکل ۲.۴. نمایش جهت پدیده های صفحه ای ۵۶
- شکل ۳.۴. حالت پدیده های افقی ، عمودی و دارای شیب نسبت به امتداد چاه در شکل تصویر شده ۵۷

- شکل ۴.۴. انطباق منحنی سینوسی بر تصویر ناقص شکستگی ۵۷
- شکل ۵.۴. نمونه هایی از انواع شکستگی ها در تصاویر FMI ۵۹
- شکل ۶.۴. تشریح پارامترهای X و Y ۶۰
- شکل ۷.۴. تشریح نحوه دستیابی به شیب و آزمون شکستگی ۶۲
- شکل ۸.۴. شکستگی های موجود در عمق ۲۶۶۶ متری مربوط به چاه شماره ۲۴۵ میدان نفتی گچساران ۶۳
- شکل ۹.۴. شکستگی های موجود در عمق ۲۷۴۲ متری مربوط به چاه شماره ۲۴۵ میدان نفتی گچساران ۶۳
- شکل ۱۰.۴. منحنی های منطبق شده پس از انتخاب ۵ مرحله نقطه شاخص ۶۴
- شکل ۱۱.۴. منحنی های منطبق شده پس از انتخاب ۵ مرحله نقطه شاخص ۶۵
- شکل ۱۲.۴. میزان انطباق روند کلی شیب های برآورد شده با نتایج تفسیر شده ۶۷
- شکل ۱۳.۴. میزان انطباق روند کلی آزمون های برآورد شده با نتایج تفسیر شده ۶۸
- شکل ۱۴.۴. نرمال بودن توزیع مقادیر تفاضل ۱ و ۲ برای داده های آموزشی با توجه به مقدار Sig ۷۱
- شکل ۱۵.۴. نرمال بودن توزیع مقادیر تفاضل ۱ و ۲ برای داده های آزمایشی با توجه به مقدار Sig ۷۱

لیست جدول ها

۱۹	جدول ۱.۲. تقسیم بندی انواع تصویر ها
۴۴	جدول ۱.۳. متغیرهای تابع edge
45	جدول ۲.۳. عنصرهای ساختاری تابع strel
۵۳	جدول ۳.۳. متغیرهای دستور fspecial
۵۵	جدول ۴.۳. متغیرهای تابع edge
۵۷	جدول ۵.۳. عنصرهای ساختاری تابع strel
۶۵	جدول ۱.۴. پارامتر های استخراج شده ((x) و f(x) نقاط بحرانی) از منحنی ها
۶۶	جدول ۲.۴. مقادیر شیب و آزمون برآورد شده با توجه به پارامتر های بدست آمده برای هر پدیده
۶۷	جدول ۳.۴. مقدار متوسط خطا در برآورد شیب و آزمون
۷۰	جدول ۴.۴. نتایج برآورد شده شیب و آزمون برای دو پدیده و کاهش درصد خطا بعد از بهبود نتایج
۷۳	جدول ۵.۴. آزمایش روش بهبود یافته و تأیید کاهش درصد خطا در برآورد شیب و آزمون

فصل اول:

کلیات

۱.۱. مقدمه

با پیشرفت های ایجاد شده در صنعت نفت و گاز و پیچیده شدن روش های اکتشافی، نگارهای^۱ معمول قادر به پیشبرد تمامی اهداف این صنعت نیستند. از اینرو استفاده از روش های نوین ضروری به نظر می رسد. با توجه به قدرت تفکیک بالای (در حد میلیمتر) نمودارهای تصویری چاه می توان توسط آنالیز تصاویر حاصل از این نمودارها برخی از مشکلات پیش رو را حل نمود. نمودارهای تصویرگر بر دو نوع صوتی و مقاومت سنج اند که در اینجا بر نوع دوم تکیه شده است. از دقیق ترین نمودارهای مقاومت سنج، نمودار FMI^۲ می باشد که در گل های رسانای آب پایه^۳ بکار می رود و در تفسیرهای زمین شناسی و پتروفیزیکی نقش بسزایی داشته و به مفسر این امکان را می دهد که ساخت های مختلف کوچک مقیاس از جمله خلل و فرج پُر شده از نفت، موانع ماسه ای، لایه های نازک، محل های مستعد تخلخل ثانویه و ... را بررسی نماید. با توجه به اصول مهندسی مخزن، نوع سنگ و پدیده ها و ساخت های موجود در آن تأثیر زیادی بر میزان تخلخل مفید و به خصوص تراوایی و در نتیجه میزان بهره دهی مخزن دارد.

یکی از روش های جدیدی که برای بررسی عوامل تأثیرگذار در تعیین کیفیت مخزن بکار می رود استفاده از آنالیز تصاویر است. این روش، یک تحقیق جدید و مدرن است که در دو دهه اخیر در شاخه های مختلف علوم زمین و معدن راه پیدا کرده و به سرعت در حال گسترش و توسعه می باشد. اغلب کشورهای صاحب نام در رشته های مذکور؛ در تجزیه و تحلیل این گونه مسایل از این روش استفاده می کنند که از آن جمله می توان به آمریکا، ژاپن و روسیه اشاره کرد. استفاده از روش های آنالیز تصاویر با گسترش کامپیوتر به تدریج افزایش یافته است. در ابتدا تصاویر خاکستری (سیاه و سفید) که از مقاطع نازک یا مغزه تهیه شده بود مورد استفاده قرار گرفت. کار با این تصاویر به طور معمول خطای بالایی را به همراه داشت چرا که این تصاویر برای مطالعه

¹ Log

² Formation Micro Imaging (FMI)

³ Water-based mud

سنگهای با دانه بندی و بافت پیچیده جواب قانع کننده ای نداشتند. با افزایش قدرت آنالیز کامپیوترها تصاویر رنگی که با بزرگ نمایی های متفاوتی تهیه می شدند، مورد مطالعه قرار گرفتند.

از آنجایی که روش های آزمایشگاهی نیازمند تجهیزات و وسایل خاص و در دسترس بودن مغزه هستند و چاه های محدودی دارای مغزه می باشد (۱۸) و نگار چاه پیمایی^۱ نیز اطلاعات دقیقی در مورد پراکندگی و شکل هندسی فضاهای خالی موجود در سنگ ارائه نمی کنند، لذا استفاده از روش آنالیز تصاویر کمک شایانی در شناخت هر چه بیشتر سنگ می کند. به کمک این روش می توان میکرو ساختارهای موجود در سنگ را با دقت و سرعت بالا مطالعه کرد. امروزه نرم افزارهای مختلف آنالیز تصویر برای اهداف مختلف طراحی شده اند که برای استخراج بسیاری از پارامترها می توان از آن استفاده کرد.

یکی از بهترین نرم افزارها برای آنالیز تصاویر، نرم افزار متلب^۲ می باشد که جعبه ابزارهای^۳ مختلف و کارآمدی برای انجام این عملیات ها دارد. جعبه ابزار آنالیز تصویر در نرم افزار متلب یکی از کامل ترین منابع برای رسیدن به اهداف آنالیز تصویر می باشد. در فصل سوم این تحقیق بیشتر به جزئیات و دستوره های این نرم افزار اشاره خواهد شد.

۲.۱. پیشینه پژوهش

در زمینه تحقیق انجام شده یعنی آنالیز تصاویر FMI به منظور شناسایی شکستگی ها پژوهش های بسیار اندکی صورت گرفته است. برای مثال گلاور^۴ و بورمن^۵ در سال ۲۰۰۶ با استفاده از اعمال صفحه عمودی بر تصاویر برای تشخیص شکستگی ها در تصاویر FMI استفاده کردند که توانست با دقت نسبتا خوبی ویژگی شکستگی ها

^۱ Well logging

^۲ Matlab

^۳ Tool box

^۴ Glover

^۵ Bormann

را شناسایی کند به طوری در اغلب موارد اختلاف مقدار برآورد شده با حقیقی در بازه ی ۱ تا ۱۸ درجه بوده اما در مواردی اختلاهِ بیش از ۳۰ درجه هم مشاهده می شود (۱۷).

روشی نیز در سال ۲۰۰۹ توسط نینگ^۱ و همکارانش ارائه شده توانست محدودیت کمبود داده ها را برطرف نماید اما تنها برای دسته بندی نوع محدودی از سنگ ها آن هم از نوع غبار آتشفشانی^۲؛ مواد مذاب آتشفشانی^۳، و ماسه سنگ های با گرد شدگی پایین^۴ می باشد (۱۸).

۳.۱. اهداف و ضرورت تحقیق

برخی ساخت ها به خصوص شکستگی ها و جهت و شیب آن ها نقش بسیار مهمی در تعیین تراوایی حقیقی سنگ مخزن و تعیین محل های مناسب برای شکافت مصنوعی^۵ و پیش بینی مسیر درست حرکت سیال در مخزن دارد. با توجه به این که غالب مخازن ایران از نوع کربناته می باشد که شکستگی ها نقش اصلی را در برآورد تراوایی و در نتیجه بهره دهی آنها دارند، تراوایی پارامتری کلیدی در تعیین بهره دهی است. به عبارتی مدیریت تولید و ازدیاد برداشت در مخازن کربناته وابسته به تعیین تراوایی است که شکستگی ها مهم ترین نقش را در تعیین آن دارند (۱۶ و ۹). لذا ارائه روشی کارآمد در تعیین شکستگی ها ضروری است. امروزه از پردازش تصاویر FMI با قدرت تفکیک در حد میلیمتر استفاده می شود که پردازش آن ها نیاز به کارشناسان خبره و زیاد دارد. بیشتر روش های بکار گرفته شده در FMI هنوز وابسته به عملیات دستی بوده که موجب صرف هزینه و وقت بسیار و در عین حال بازدهی پایین است. علاوه بر این، نتایج حاصل از آن به طور معمول تحت تأثیر تجارب شخصی بوده و در عمل همواره نتایج ثابت و قابل اعتمادی را نخواهد داد. بر اساس مطالعات و بررسی های صورت گرفته الگوی اتوماسیون مناسبی جهت آنالیز تصاویر حاصل از نگارهای تصویری طراحی

¹ Ning

² tuff

³ Lava

⁴ breccias

⁵ perforate

نشده است. علاوه بر این در این تکنیک ها الگوریتم پیچیده ای به کار رفته که نیازمند نمونه های زیاد می باشد، در حالی که برای آنالیز نگارهای تصویری باید روشی ارائه داد که محدودیت های ذیل را جبران کند:

(۱) در بسیاری از موارد نمونه ها به دلیل حساسیت شرکت ها، بسیار اندک است و حتی ممکن است مجبور شویم تنها از یک نمونه آموزشی استفاده کنیم.

(۲) غالب تصاویر FMI نويز بالایی دارند.

(۳) تفاوت میان سنگ ها در تصاویر FMI بسیار کم بوده و حتی سنگ های مختلف ممکن است الگوهای مشابهی را نمایش دهند به گونه ای که حتی دسته بندی دستی سنگ ها نیز نیاز به تجربه و مهارت بالایی دارد. همان طور که بیان شد روشی که در سال ۲۰۰۹ توسط نینگ و همکارانش ارائه شد اگر چه محدودیت اول را بر طرف نموده اما تنها برای دسته بندی نوع محدودی از سنگ ها می باشد. از این رو تشخیص الگو با استفاده از تصاویر برای اتوماسیون سازی این داده ها ضروریست.

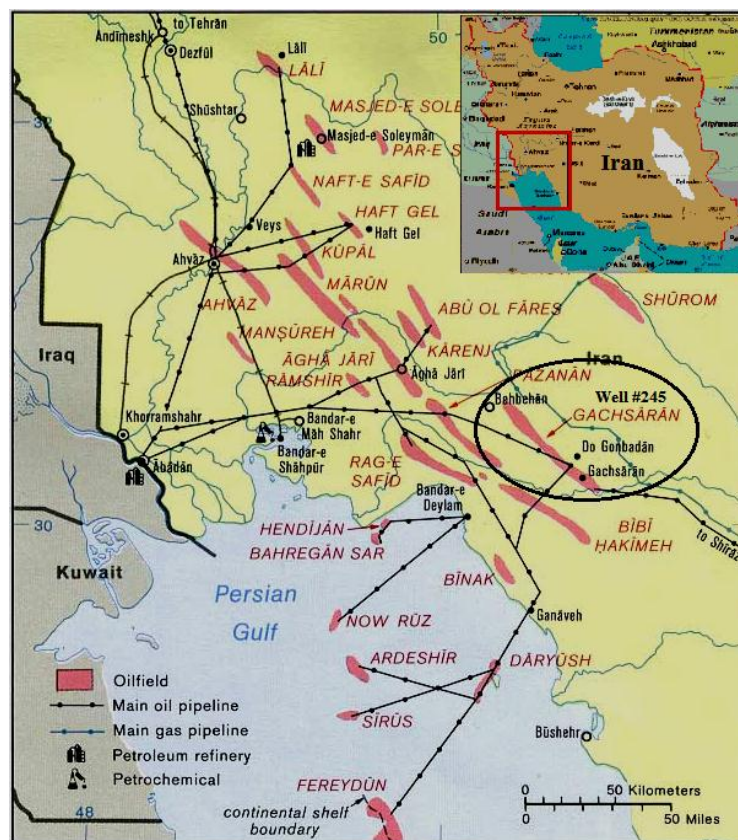
مهمترین هدف در این مطالعه، ارائه الگوریتمی مناسب برای شناسایی شکستگی ها است و شناخت شکستگی های سنگ مخزن با استفاده از آنالیز تصاویر مهمترین نوآوری این تحقیق خواهد بود. نتایج بدست آمده از این روش را می توان با نتایج نگار چاه پیمایی و نتایج مطالعات آزمایشگاهی تلفیق کرد و در جهت تعیین کیفیت مخزنی بکار برد و امکان مطالعه دقیق تر میزان تراوایی سازند را فراهم آورد.

۴.۱. محل مورد مطالعه

یکی از تصاویر FMI دریافت شده مربوط به سازند سورمه در یکی از میادین نفتی جنوب ایران است. احتمالاً به دلیل وجود برخی محدودیت ها، اطلاعات دقیق تری در مورد مکان داده ی برداشت شده در اختیار قرار نگرفته است. تصویر دیگر مربوط به میدان نفتی گچساران در جنوب غرب ایران است که از چاه شماره ی ۲۴۵ برداشت شده است.

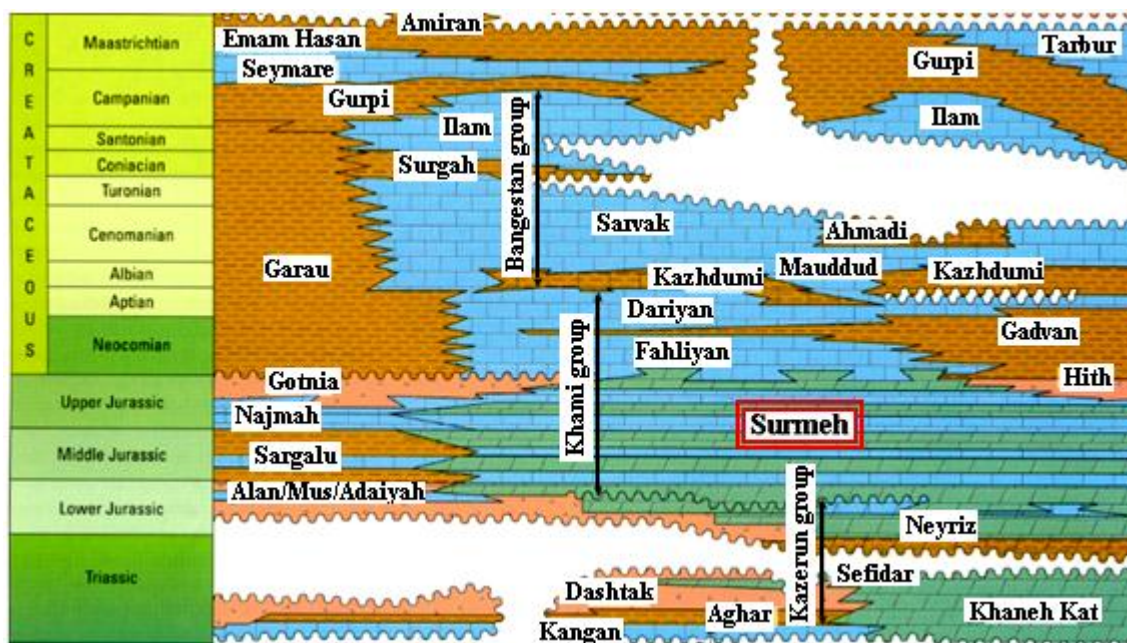
نهشته های سازند سورمه از نظر سنی، اگرچه نشانگر ژوراسیک میانی- بالایی است؛ ولی زون های زیستی نشانگر آن هستند که سازند سورمه معرف تمام دوره ی ژوراسیک است.

سازند سورمه هم‌ارز «سازند عرب» در عربستان و دیگر کشورهای عربی است که مخازن بسیار عظیم نفت را در خود دارد. مرز زیرین سازند سورمه توسط یک لایه آهکی ۵ متری دارای فسیل دو کفه ای بزرگ لیتوتیس^۱ مشخص می گردد. این لایه لیتوتیس دار بعنوان حدّ شاخص مرز پایینی سازند سورمه با سازند نیریز در اکثر نقاط قابل مشاهده است. مرز بالایی سازند سورمه یکسان نیست. گاهی این مرز، سازند انیدریتی هیث (ژوراسیک بالایی) است و گاهی بطور تدریجی به سنگ آهک های سازند فهلیان (کرتاسهٔ پایینی) می رسد.



شکل ۱.۱. موقعیت میدان نفتی گچساران

¹ Lithiotis



شکل ۲.۱. موقعیت سازند سورمه

۵.۱. ساختار پایان نامه

در فصل بعدی این تحقیق مطالب بنیادی در مورد آنالیز تصویر و در فصل سوم نیز دستورات موجود در نرم افزار متلب جهت آنالیز تصویر بیان خواهد شد. فصل چهارم به نگار FMI و جزئیات آن اختصاص خواهد یافت. در فصل پنجم نتایج حاصل از اعمال الگوهای بکار رفته جهت آنالیز تصاویر FMI و بررسی دقت الگوریتم طراحی شده ارائه خواهد شد و فصل پایانی مربوط به نتایج تحقیق و پیشنهادات ارائه شده می باشد.

فصل دوم:

نگارهای تصویری چاه^۱

^۱ Well imaging Log

۱.۲. روش های تصویر سازی از درون چاه

این روش ها به سه دسته تقسیم می شوند:

- دوربین های درون چاهی
- نگارهای تصویری صوتی
- نگارهای تصویر مقاومت ویژه

نگارهای تصویری، تصویری مجازی با قدرت تفکیک بالا از دیواره چاه ارایه می دهد که قادر است پدیده های ظریف دیواره را نشان دهند. این ابزار ها می توانند در چاهی با قطر هشت اینچ تا ۸۰ درصد را پوشش دهند (۱۶و۱۵) و با ارایه اطلاعات مفید در مورد بافت و تخلخل ثانویه و شکستگی و خصوصیات ساختمانی، نقش مهمی در توصیف دقیق تر مخزن و بویژه مخازن کربناته که سهم شایان ذکری در بین مخازن هیدروکربوری ایران دارند، ایفا می کنند.

عملکرد این نگارها در ادامه بیان شده است:

۱.۱.۲. دوربین های درون چاهی

توسط یک دوربین و منبع نوری از درون چاه به صورت رنگی یا سیاه و سفید تصویر برداری می شود. دارای کاربرد های زیادی است که به سه دسته کلی تقسیم می شود:

- بازدید از لوله ها و تجهیزات درون چاهی شامل سرویس مانده یابی و تعیین محل های کاهش یافته تولید و

نقاط نشت لوله جداری و مغزی

- بازدید از حفره باز در صورت حفاری با هوا

- بازدید از سیال

۲.۱.۲. نگارهای تصویری صوتی جهت ثبت تباین و تضاد صوتی ریز ساخت های موجود در دیواره

چاه

یکی از اولین ابزار های تصویری صوتی BHTV^۱ است. در این ابزار ها توسط منبع پیزوالکتریکی چرخان، امواج اولتراسونیک را به سمت دیواره چاه فرستاده و زمان رفت و برگشت امواج و دامنه پژواک بازتابی اندازه گیری می شود. اختلاف موجود در زمان رفت و برگشت و دامنه سیگنال برگشتی مشخص کننده شکستگی یا دیگر ساخت ها و ریز ساخت های زمین شناسی و یا وضعیت چاه و لوله های جداری می باشد. این ابزار ها اگرچه تصویری ضعیف تر نسبت به مقاومت سنج ها دارند اما تصویر کاملی از دیواره اطراف چاه ارائه می دهند (پوشش صد در صد) و در انواع گل های حفاری و همچنین در حالت های حفره باز و لوله جداری قابل استفاده می باشند.

از آنجا که در این تحقیق از تصاویر نگارهای مقاومت ویژه استفاده شده است، پس از این مقدمه کوتاه، در ادامه به تشریح این نگار ها پرداخته می شود.

۳.۱.۲. نگار تصویری مقاومت ویژه جهت ثبت اختلاف مقاومت الکتریکی عوارض موجود در دیواره

چاه

این روش در سال ۱۹۸۰ بعنوان روش شیب سنجی^۲ معرفی شد. در این روش از ابزار هایی استفاده می شود که دارای تعدادی الکتروود سوار بر یک بالشتک^۳ عایق است و می تواند ریز مقاومت ویژه^۴ یا ریز هدایت ویژه^۵ عوارض دیواره را اندازه بگیرد. ابزار های تصویری الکتریکی به دو گروه تقسیم می شوند که گروه اول برای اندازه گیری

^۱ Borehole Televiewer

^۲ Dipmeter

^۳ Pad

^۴ Micro resistivity

^۵ Micro conductivity

در گل های رسانای آب پایه^۱ (FMI,FMS,STAR,EMI,ARI) و گروه دوم در گل های نارسانای نفت پایه^۲ (Earth Imager ، OBMI) استفاده می شود. در این روش جریان الکتریکی را به سمت سازند فرستاده و تغییرات شدت جریان الکتریکی را اندازه گیری می کنند. میزان رسانایی سازند به خواص سیال، تخلخل، تراوایی، ترکیب سنگ و بافت دانه های آن بستگی دارد. تغییرات رسانایی سازند پس از پردازش، به تصاویری رنگی یا سیاه و سفید تبدیل شده و بر اساس تقسیم بندی زیر ویژگی های سازند مورد بررسی قرار می گیرد. این نگار مانند دوربین عکاسی عمل می کند به طوری که رنگ های روشن بیانگر رسانایی ضعیف بوده و ممکن است مشخص کننده نواحی با مقاومت ویژه بالا و یا تخلخل و تراوایی پایین باشد و رنگ های تیره بیانگر رسانایی بالا و می تواند مربوط به نواحی با مقاومت ویژه پایین و یا تخلخل و تراوایی بالا می باشد و شکستگی ها و لایه بندی ها نیز به راحتی قابل تشخیص اند. همچنین نرم افزار های بهبود دهنده تصویر می توانند امکان شناسایی پدیده های جزئی تر را نیز فراهم آورد (۱۵).

تصاویر و اندازه گیری های دقیق این ابزارها در تفسیرهای زمین شناسی و پتروفیزیکی مورد استفاده قرار می گیرد و در موارد زیر کاربرد دارد:

- تعیین محیط رسوبی
- تعیین رخداد های دیاژنتیکی و تغییرات مکانیکی
- تعیین ساختار های عمومی، ساختهای رسوبی و لایه های نازک
- تعیین نقاط دارای پتانسیل تخلخل ثانویه
- بررسی شکستگی ها و گسل ها
- بررسی کیفی و کمی محل های با مقاومت بالا جهت تعیین و تخمین زون های نفتی

¹Water-based Mud

² Oil-based Mud

اگرچه این ابزارها مانند ابزارهای صوتی به وضعیت چاه حساس نیستند ولی محدودیت‌هایی نیز دارند که باید مورد توجه قرار گیرد؛ از جمله این که این ابزارها چون به تباین مقاومت ویژه وابسته هستند بر خلاف دوربین‌های درون چاهی و ابزارهای صوتی به محیط حفره باز^۱ و همچنین گل حفاری آب پایه محدود می‌شوند. مقاومت ویژه گل حفاری نباید بیش از ۵۰ اهم-متر باشد و از طرفی، گل نباید بیش از حد رسانا باشد. برای ایجاد تصویری با کیفیت، تباین مقاومت بین گل و سازند نباید بیشتر از ۱۰۰۰۰ اهم-متر باشد (۱۴). علاوه بر این در زمانی که انحراف چاه کمتر از ده درجه است، دستگاه باید به طور کامل در مرکز چاه بوده تا بیشترین تماس را با دیواره داشته باشد زیرا در صورت هم محور نبودن^۲ دستگاه و چاه و در نتیجه تماس ضعیف دستگاه، تصویری مات ایجاد خواهد شد.

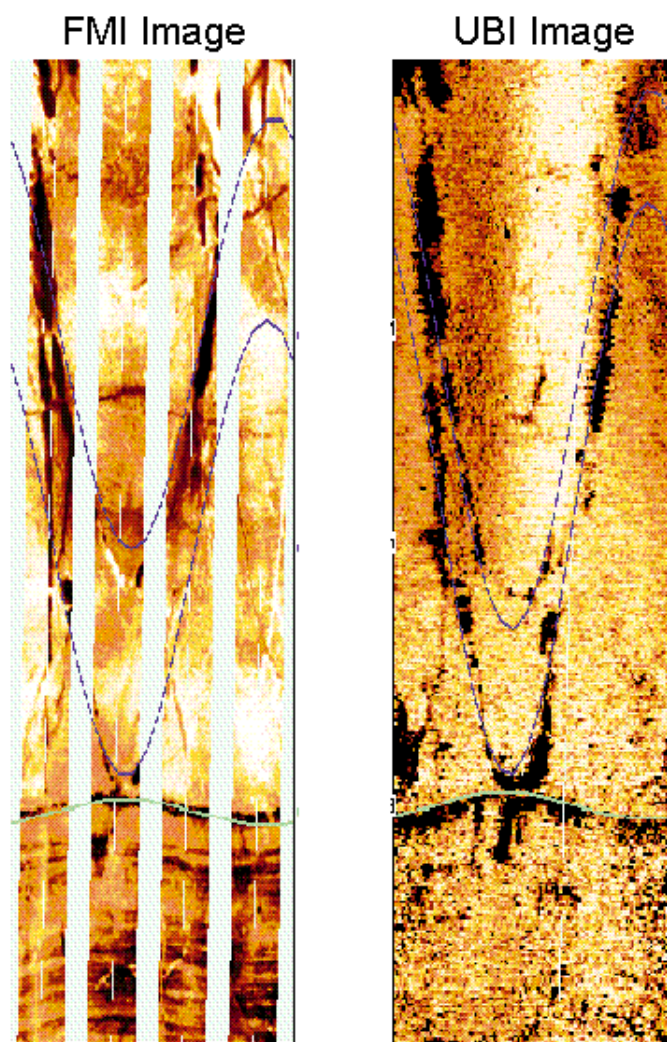
تفکیک فضایی^۳ نگار تصویری مقاومتی حدود ده برابر نگار صوتی و تفکیک دامنه‌ای^۴ آن حدود ۵۰۰ برابر است (شکل ۱-۲). نگارهای تصویری مقاومتی استاندارد در گل‌های حفاری رسانا به کار می‌روند و نوع ویژه آن‌ها در گل‌های غیر رسانا نیز به کار می‌رود. این نگار در چاه‌های دارای لوله جداری کاربردی ندارد (۱۵).

^۱ Open hole

^۲ Tool eccentricity

^۳ Spatial resolution

^۴ Amplitude resolution



شکل ۱-۲. مقایسه تصویر نگار مقاومتی (FMI) و نگار صوتی (UBI) مربوط به یک چاه واحد و مشاهده تفکیک پذیری و دامنه

دینامیکی بالاتر نگار مقاومتی (۱۵)

در تصاویر استوانه ای حاصل از لاگ های تصویری، پدیده های صفحه ای شکل همچون لایه بندی، شکستگی و گسل، بسته به اینکه چاه را به صورت عمودی یا غیرعمودی قطع کنند، به ترتیب به شکل دایره و بیضی دیده می شوند که در صورت برش این تصویر استوانه ای در امتداد محورش و باز شدن تصویر (همان شکلی که در نگار نمایش داده می شود)، این پدیده ها به ترتیب به شکل خط مستقیم و یک موج سینوسی ظاهر می شوند.

اساس نمودار های تصویری مقاومتی شبیه نمودار های شیب سنج (HDT^۱ و SHDT^۲) است و هر دو نوع، در تعیین شیب و امتداد ساختار های صفحه ای مورد استفاده قرار می گیرند.

با توجه به اینکه نمودار FMI در حقیقت نمودار FMS^۳ تصحیح شده می باشد، به بررسی این دو نمودار پرداخته می شود. در سال ۱۹۸۶، مدل نهایی شیب سنج با عنوان FMS توسط شلومبرژر به کار گرفته شد. سپس مدل پیشرفته تر به نام FMI ارائه شد که تعداد الکتروده های آن ۲۷ الکتروده بیشتر بود. ابزار های FMI اکنون دارای ۴ یا ۸ بالشتک بوده و نسبت به قبل تعداد الکتروده کمتری روی هر بالشتک قرار دارد که نسبت به نوع ۲ بالشتکی قدیمی درصد بالاتری از دهانه چاه را پوشش می دهد (۱۵).

۲.۲. نمودار های تصویری مقاومتی

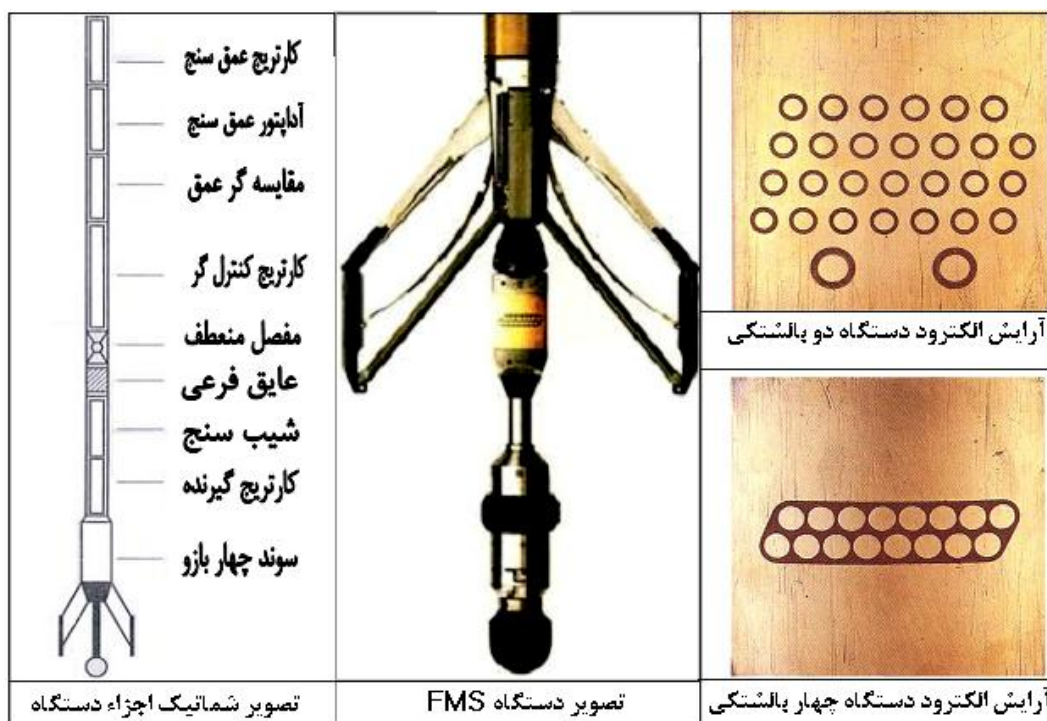
۱.۲.۲. نمودار FMS

دستگاه های اولیه دارای دو بالشتک بوده که هر کدام شامل ۲۷ الکتروده برای اندازه گیری ریزمقاومت ویژه می باشد. تصویر آن در چاه ۸ اینچی دارای پوشش ۲۰ درصدی است که جهت افزایش پوشش نمودارگیری، برداشت مجدد با چرخش دستگاه صورت می گیرد. دستگاه چهار بالشتکی دارای ۱۶ الکتروده روی هر بالشتک و پوشش ۴۰ درصدی در چاه ۸ اینچی است. نوع اول به صورت ۲۷ الکتروده دکه ای در چهار ردیف و نوع دوم دارای ۱۶ الکتروده دکه ای در دو ردیف ۸ تایی است. این نمودار به خصوص در چاه های مطالعاتی که دارای قطر بیش از ۱۰ اینچ هستند؛ درصد پوشش کمتری را تحقق می بخشد که کمتر از ۳۰ درصد خواهد بود (۱۸).

^۱ High Resolution Dipmeter Tool

^۲ Stratigraphic HDT

^۳ Formation Micro Scanner



شکل ۲-۲. دستگاه FMS و آرایش الکتروود های آن (۱۸)

این دستگاه دارای یک بخش شتاب سنج^۱ به منظور سنجش سرعت جابجایی دستگاه و موقعیت دقیق آن و یک بخش مغناطیس سنج^۲ برای تعیین جهت^۳ دستگاه می باشد. تصویر بدست آمده از این دستگاه دارای ویژگی های زیر است:

قدرت تفکیک عمودی بسیار زیاد^۴ (حدود ۵ میلیمتر)، دامنه تغییرات مقاومتی خیلی وسیع (کمتر از 0/1 تا بیش از ۱۰۰۰۰ اهم- متر) و حساسیت بالا که سبب می شود پدیده های بسیار ظریف نیز قابل مشاهده شوند. این دستگاه دارای نرخ نمونه برداری بالا بوده و قادر است در هر 0/1 اینچ (حدود 2/۵ میلیمتر) جابجایی عمودی یک برداشت انجام دهد.

¹ Accelerometer

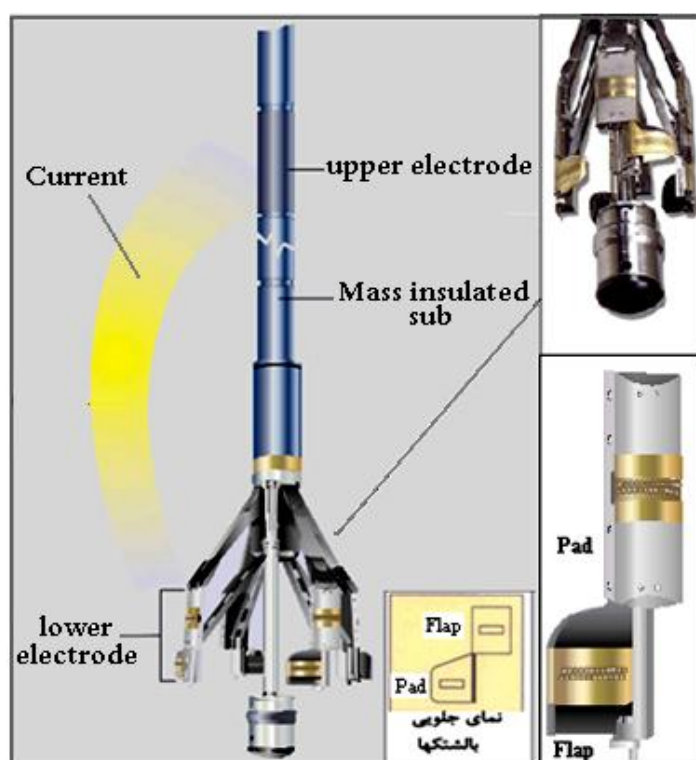
² Magnetometer

³ Orientation

⁴ High Vertical Resolution

۲.۲.۲. نمودار FMI

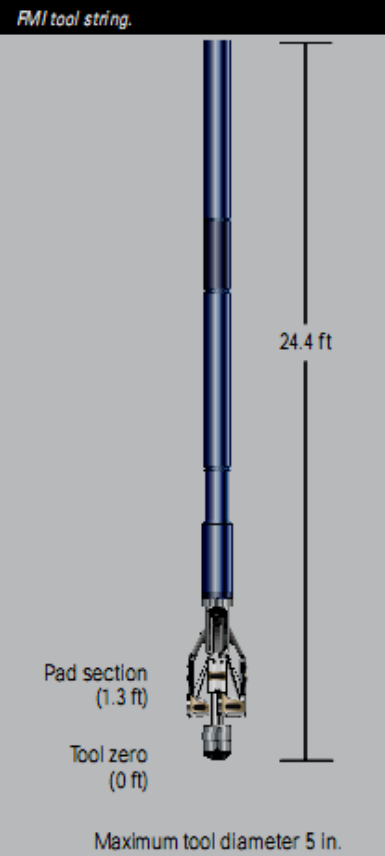
این نمودار همان نمودار تصحیح شده ی FMS است که روی هر بالشتک با نصب یک زبانه^۱ در مجموع ۱۹۲ نمودار اندازه گیری می شود و برای چاه ۸ اینچی تا ۸۰ درصد پوشش ایجاد می کند و در چاه ۶ اینچی درصد پوشش بیش از صد در صد است (۱۵). این نمودار ها در توصیف ساختار های خطی و غیر خطی و همچنین رویداد های رسوبی و دیاژنتیکی کاربرد فراوان دارد.



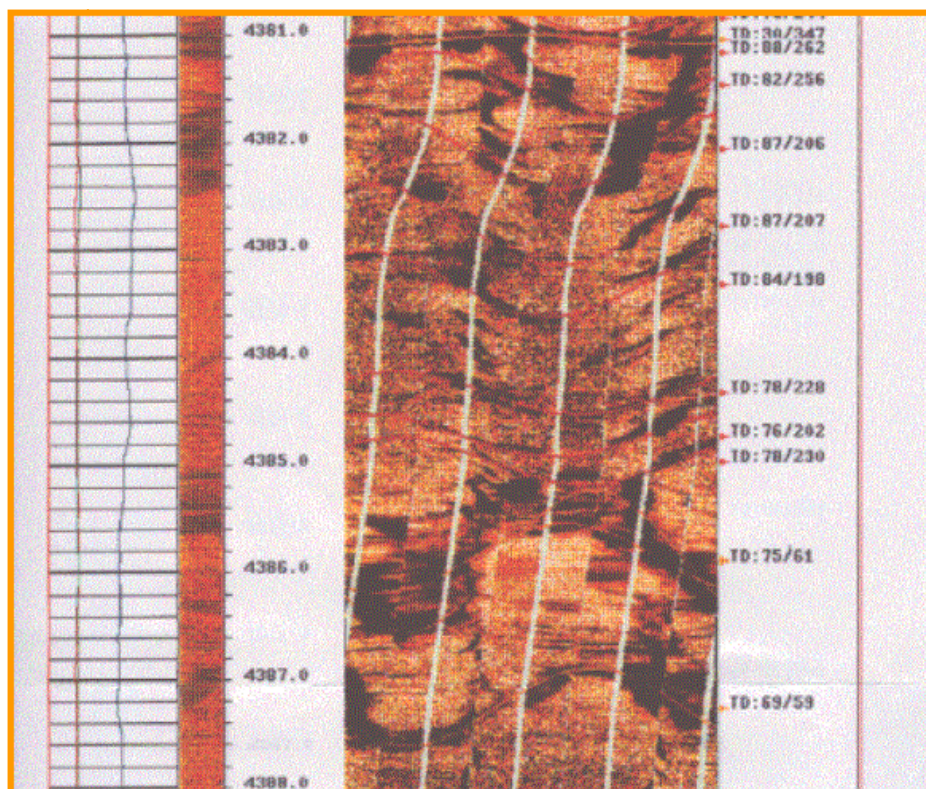
شکل ۲-۳. دستگاه FMI و موقعیت سوند و بالشتک های آن (۴)

^۱ Flap

FMI Specifications	
Applications	Structural geology, stratigraphy, reservoir analysis, heterogeneity, fine-scale features, real-time answers
Vertical resolution	0.2 in. with 50-micron features visible
Azimuthal resolution	0.2 in. with 50-micron features visible
Measuring electrodes	192
Pads and flaps	8
Coverage	80% in 8-in. borehole (fullbore image mode)
Max pressure	20,000 psi
Max temperature	350°F [175°C]
Borehole diameter	
Min	5¼ in.
Max	21 in.
Max hole deviation	90°
Logging speed	
Fullbore image mode	1,800 ft/hr with real-time processed image
Four-pad mode	3,600 ft/hr with real-time processed image
Dipmeter mode	5,400 ft/hr with real-time dip processing
Inclinometer mode	10,000 ft/hr
Max mud resistivity	50 ohm-m
FMI tool	
Max diameter	5 in.
Makeup length	24.4 ft
Makeup length with flex joint	26.4 ft
Weight in air	433.7 lbm
Compressional strength (TLC* operations)	12,000 lbf (safety factor of 2)
Max pad pressure	44 lbf
Combinability	Top combinable with openhole wireline tools



شکل ۲-۴. ویژگی های ابزار FMI (۴)



شکل ۲-۵. تصویر FMI ۴ بالشتکی مربوط به یک مخزن شکاف دار گرانیتی (۱۵)

۳.۲. مبانی تفسیر

هنگام تفسیر، پدیده ها به سه گروه تقسیم می شود:

گروه یک: پدیده های تفسیر پذیر مستقل^۱

گروه دو: تصویر های مبهم^۲

گروه سه: تصویر های نیازمند کالیبره کردن با داده های مغزه^۳

¹ Self - Interpretable

² Ambiguous

³ Core Calibration needed

جدول ۲-۱. تقسیم بندی انواع تصویر ها (۱۸)

	اشکال تکنیکی	اشکال رسوبی	اشکال دیاژنتیکی
گروه یک	اشکال مستقل (قابل تفسیر بوسیله خودشان)		
	شیب ساختمانی شکستگی (مایل و قائم) گسل خوردگی چین خوردگی	سطوح لایه بندی لامیناسیون لایه بندی متقاطع اندازه و شکل دانه ها سطح فرسایشی، قالب وزنی ساختارهای دگرشکلی	استیلولیت (با دامنه بالا)
گروه دو	اشکال مبهم (قابل تفسیر با استفاده از داده های دیگر نمودارها)		
		قلوه سنگ - ریگ - برش شیلپهای تخریبی دانه بندی تدریجی جورشدگی باقت کربناتها	کنکوسیونهای نودولی چرت تخلخل حفره های - غاری بلور سولفید نودولهای سولفات
گروه سه	اشکالی که تفسیر آنها نیاز به داده های مغزه می باشد		
	شکستگی های ریز شکستگی های افقی	بیوتوربیدات لامینه های بسیار نازک	استیلولیت (با دامنه کوتاه)

پدیده های گروه دو به طور عمده غیرخطی اند و به صورت تیره یا روشن در تصویر ظاهر می شوند و تنها زمانی به طور صحیح قابل تفسیر می باشند که سنگ دربردارنده ی آن ها قابل شناسایی باشد. تفسیر تصویر های گروه سوم حتی با کمک نمودار های دیگر حفره باز به دلیل ابهامات احتمالی نظیر خط های بسیار کوتاه یا نامنظم یا تصویر های نوفه دار، مشکل است و نیاز به اطلاعات مغزه دارد.

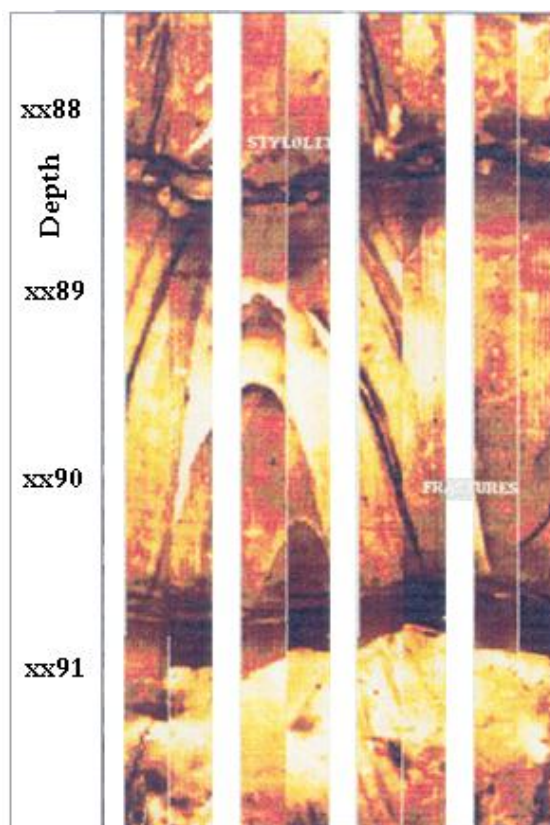
از آنجا که هدف اصلی بررسی شکستگی هاست در ادامه دو نوع اصلی شکستگی بیان می شود.

۱.۳.۲. شکستگی های سیمان شده یا پر شده

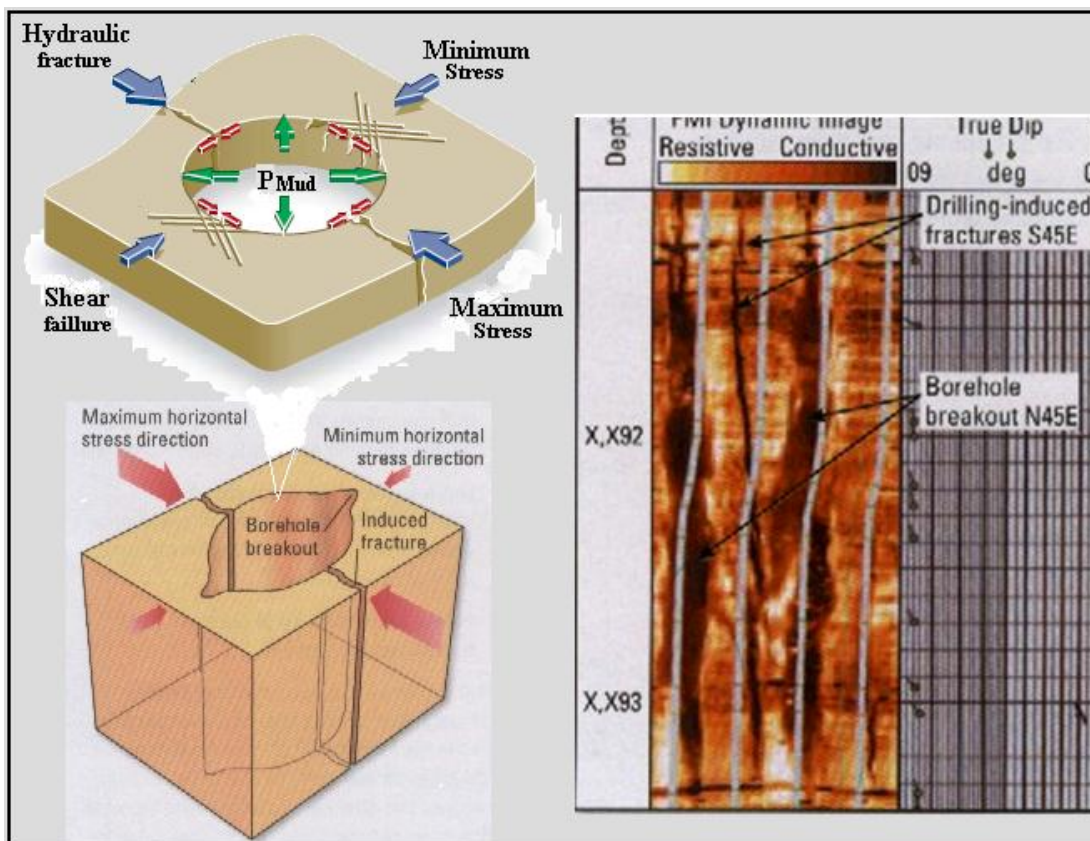
این پدیده نسبت به اطراف، مقاومت ویژه بیشتری دارد و به رنگ روشن دیده می شود که بسیار ریز و کشیده و تا حدودی مستقیم هستند. سطوح سیمان شده بعنوان موانع تراوایی عمل می کنند که اگر گسترش جانبی زیاد داشته و به یک لایه غیر تراوا ختم شوند می توانند بعنوان تله های کوچک عمل کنند.

۲.۳.۲. شکستگی های پُر شده توسط مواد رسانا

این شکستگی ها بندرت مستقیم اند، به رنگ تیره دیده می شوند و در یک فاصله طولانی قابل تشخیص اند. بطور معمول در یک زمینه ی مقاوم تر (روشن تر) دیده می شوند. چون شکستگی های ایجاد شده طی حفاری به طور عمده توسط گل حفاری پر می شوند، در تصویر به شکل پدیده های عمودی و تیره دیده می شوند (شکل های ۶-۲ و ۷-۲).



شکل ۶-۲. یک دسته شکستگی های مورب تیره در زمینه سنگ به همراه استیلولیت (۱۸)



شکل ۲-۷. شکستگی های ایجاد شده طی حفاری و مکانیزم تشکیل آن ها (۱۵)

فصل سوم:

آماده سازی تصاویر FMI توسط نرم افزار متلب^۱

^۱ Matlab

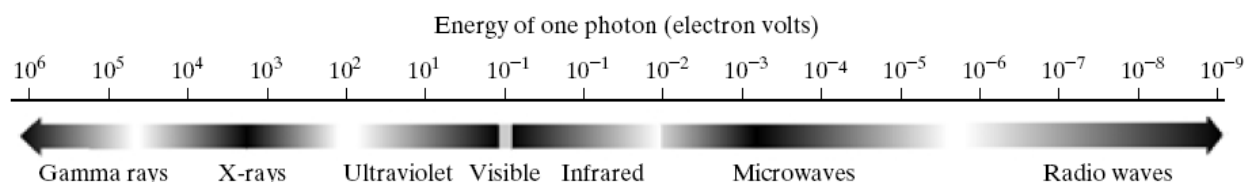
بخش اول - بررسی ویژگی های تصاویر FMI

۱.۳. انواع تصاویر

قبل از بررسی تصاویر FMI، در ابتدا دسته بندی کلی از انواع تصاویر پُر کاربرد ارائه می گردد:

۱.۱.۳. تصاویر در حوضه طیف امواج الکترو مغناطیس^۱

یکی از تقسیم بندی های این امواج بر اساس میزان انرژی هر فوتون از موج است که در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۱-۳. طیف امواج الکترو مغناطیس بر اساس میزان انرژی برای هر فوتون (۱)

۲.۱.۳. تصاویر مصنوعی^۲

۳.۱.۳. تصاویر صوتی و مقاومت ویژه (الکتریکی)

تصاویری که توسط انتشار صوت و یا جریان الکتریکی و بررسی نحوه انتشار آن ها در محیط بدست می آید؛ امروزه کاربرد وسیعی در زمین شناسی اکتشافی، صنعت و پزشکی پیدا کرده است. در زمین شناسی اکتشافی (لرزه نگار) فرکانس امواج در حد صد ها هرتز می باشد و این در حالی است که در سایر رشته ها فرکانس امواج در حد میلیون ها هرتز (فراصوت) است. مهمترین کاربرد تجاری آنالیز تصویر در حوضه زمین شناسی مربوط به اکتشاف هیدروکربور و کانی ها می باشد (۱).

¹ Electromagnetic spectrum

² Synthetic (computer-generated)

۲.۳. اهمیت ایجاد الگوریتم برای پردازش تصاویر

با توجه به وجود خطا های انسانی (مانند خطای دید) در بررسی تصاویر و عدم توانایی چشم در درک صحیح رنگ ها و تغییرات واقعی، ایجاد الگوریتم برای پردازش تصاویر ضروری به نظر می رسد. شکل ۱.۲ نمونه ای برای اثبات این واقعیت است. در این شکل مربع داخلی دارای رنگی واحد است؛ باوجود این، به دلیل تغییر در رنگ پیش زمینه، تفاوتی غیر واقعی مشاهده می شود که در برنامه های رایانه ای به دلیل اختصاص یابی عددی خاص به هر رنگ در هر نقطه، از این خطا ها جلوگیری می شود.



شکل ۲-۳. خطای دید در تشخیص رنگ ها به علت تغییر در تضاد رنگ^۱ (۱)

۳.۳. انواع تصاویر بر اساس رنگ

۱.۳.۳. تصاویر سیاه و سفید^۲: این تصاویر متشکل از رنگ های سیاه و سفید است.

۲.۳.۳. تصاویر تک رنگ^۳: این تصاویر به صورت دامنه ای از رنگ خاکستری هستند و پارامتری که در آنها تغییر کرده و موجب ایجاد تفاوت می شود، شدت یا مقدار رنگ خاکستری و به اصطلاح سطح خاکستری^۴ می باشد که بین محدوده ی سیاه تا سفید تغییر می کند.



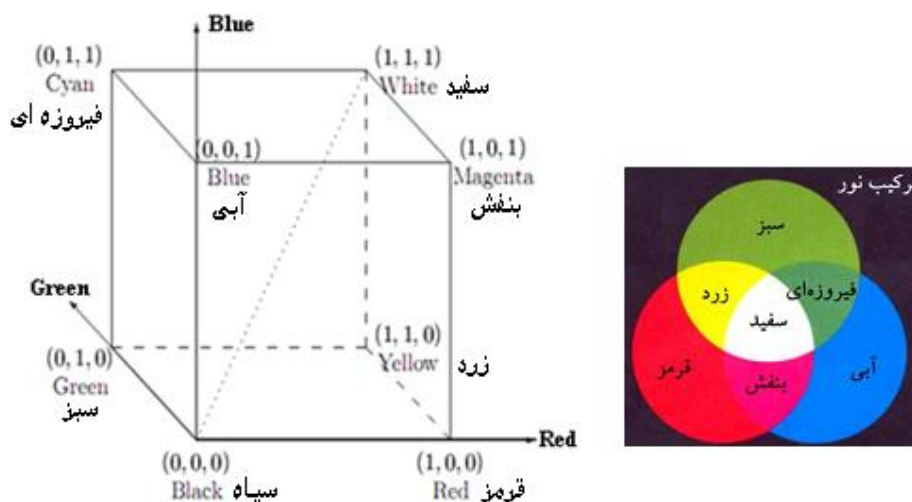
¹ Contrast

² Binary (Black & White)

³ Monochromatic

⁴ Gray level

۳.۳.۳. تصاویر رنگی^۱: این تصاویر از ترکیب سه رنگ قرمز و سبز و آبی ایجاد می شوند که در شکل (۲-۲) به صورت شماتیک نحوه ایجاد هشت رنگ اصلی نمایش داده شده است. تصاویر FMI بررسی شده از این نوع هستند.



شکل ۳-۳. شکل شماتیک مکعب ترکیب رنگی (۱)

۴.۳. تصاویر دیجیتال

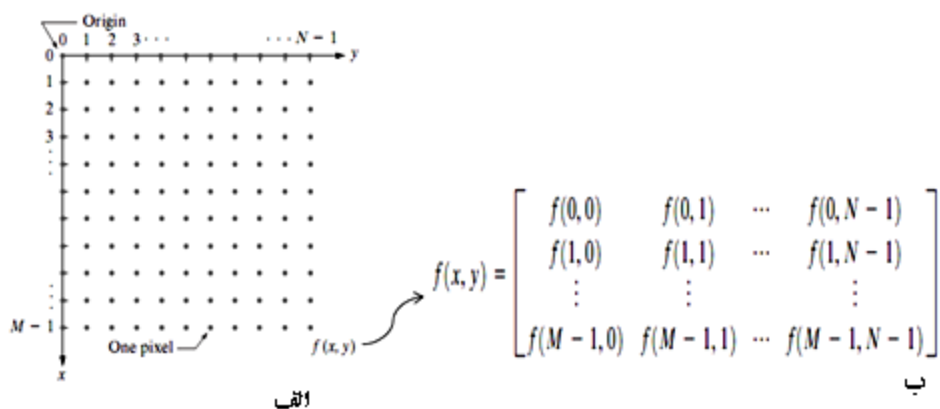
پس از ارائه مقدمه ای کوتاه درباره دسته بندی تصاویر و اهمیت ایجاد الگوریتم برای پردازش آن ها، در ادامه، به تشریح تصاویر دیجیتال و ویژگی های آن ها پرداخته خواهد شد.

تصاویر دیجیتال در حقیقت از تعداد قابل شمارشی نقطه (پیکسل^۲) تشکیل شده اند که هر کدام دارای مکان و مقدار مختص به خود هستند. مکان این نقاط بر اساس مؤلفه x و y و مقدار متناظر با این نقاط، یعنی $f(x,y)$ و در قالب یک ماتریس بیان شده و برای رایانه قابل تعریف می شود (۱).

^۱Chromatic

^۲ Pixel

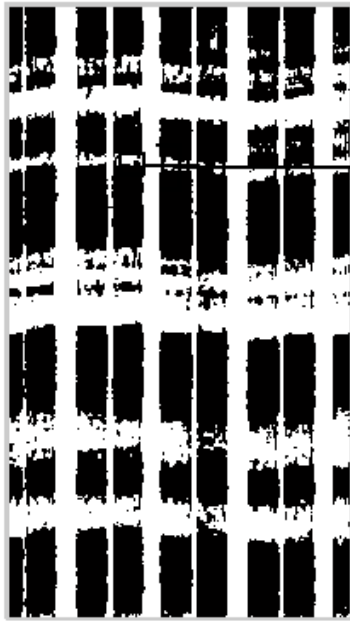
در تصاویر تک رنگ، $f(x,y)$ همان شدت رنگ خاکستری است که بین دو رنگ سیاه و سفید (در تصاویر ۸ بیتی بین صفر و ۲۵۵) در تغییر است و در تصاویر سیاه و سفید مقدار آن برای رنگ سیاه و سفید به ترتیب صفر و یک می باشد. $f(x,y)$ در تصاویر رنگی از ترکیب سه مؤلفه قرمز و سبز و آبی^۱ ایجاد می شود. ماتریس مقادیر به صورت ماتریس $m \times n$ که بیانگر ابعاد تصویر است، در برنامه رایانه ای تعریف می شود که در شکل ۲-۳ نشان داده شده است. شکل های (۲-۴) تا (۲-۶) توسط دو دستور `Imread` و `Imtool` بدست آمده است.



شکل ۳-۴. الف) مکان نقاط (پیکسل) تصویر. ب) مقادیر متناظر با نقاط تصویر (۱)

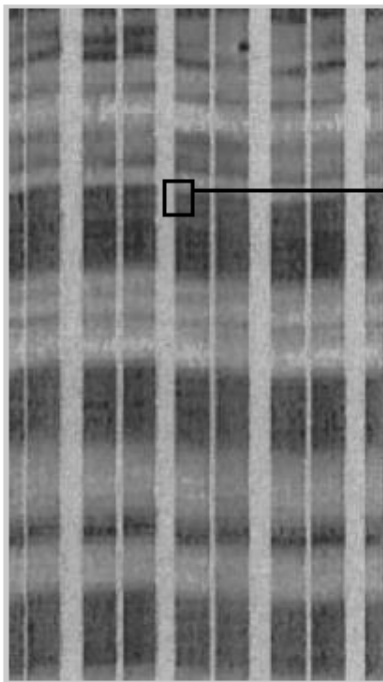
در شکل های بعدی مثال هایی از تصاویر FMI برای این سه نوع تصویر نشان داده شده است.

¹ Red & Green & Blue (RGB)



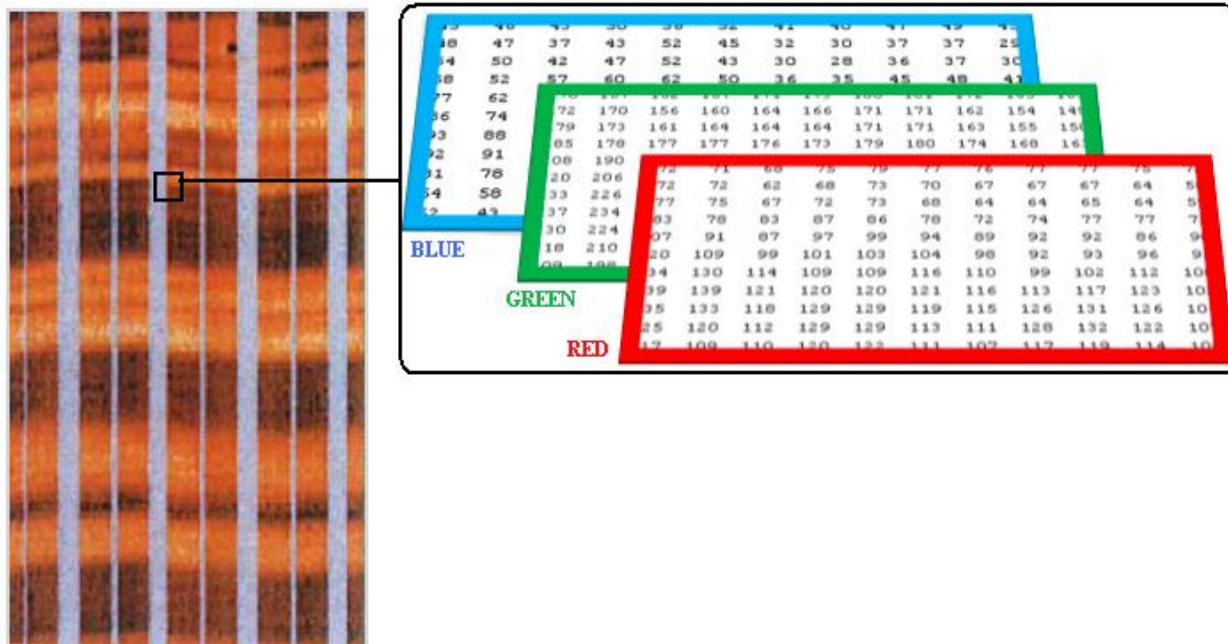
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1

شکل ۳-۵. تصویر سیاه و سفید یک نگار^۱ FMI و نمایش مقادیر آن



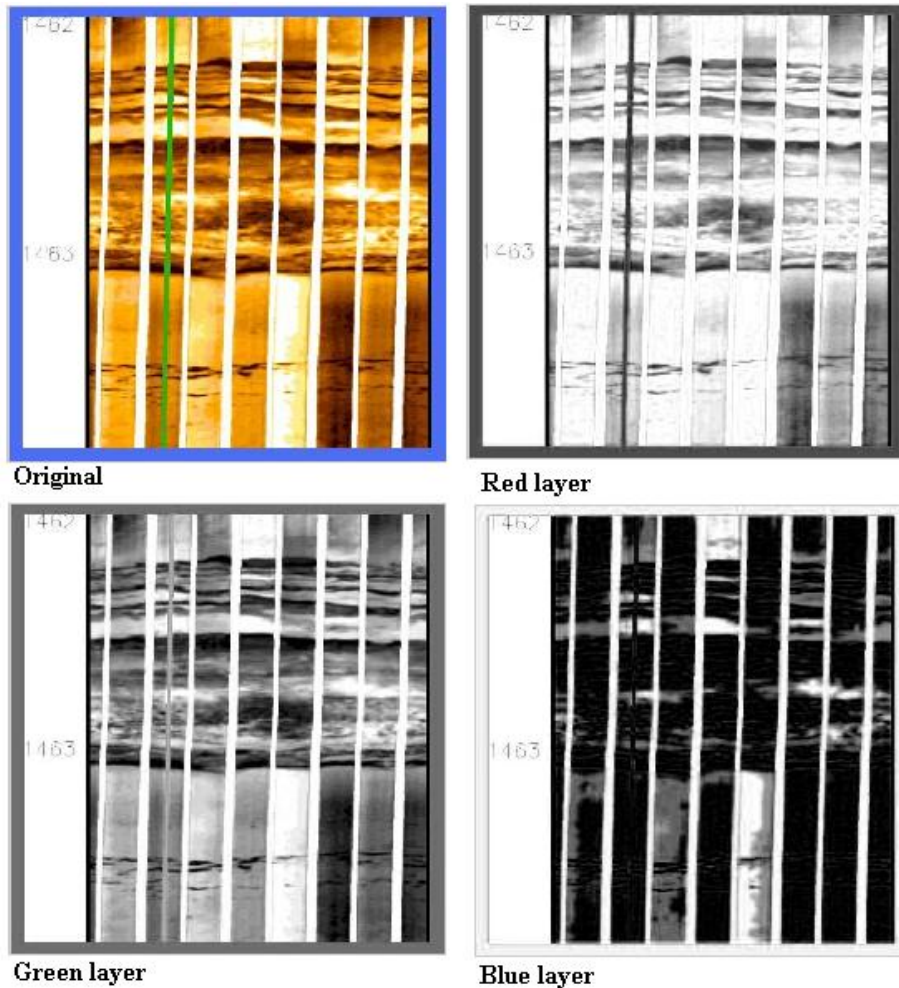
98	97	93	100	104	103	103	104	102	99	96
99	98	87	93	98	96	94	94	92	88	82
105	101	92	97	98	94	92	92	91	88	83
111	105	108	111	110	103	100	101	102	101	96
134	117	111	120	123	118	116	119	117	110	114
146	134	123	123	125	127	124	119	118	120	119
159	154	137	130	130	138	135	125	126	135	123
163	162	142	140	140	142	141	138	141	146	124
157	154	137	147	148	139	139	150	154	149	126
146	140	130	146	147	133	134	151	155	144	129
137	128	127	137	139	130	130	140	142	136	129

شکل ۳-۶. تصویر تک رنگ یک نگار و نمایش مقادیر آن



شکل ۷.۳. تصویر رنگی یک نگار و نمایش مقادیر آن که مقدار هر نقطه به صورت ترکیب سه لایه در آن نقطه است.

تصاویر رنگی، مشابه تصاویر تک رنگ هستند و فقط از سه لایه تصویر تک رنگ ایجاد شده اند که عبارتند از سه لایه ی شامل شدت سطح قرمز، سبز و آبی در هر نقطه که در تصاویر ۸ بیتی، شدت در بازه [0-255] قرار می گیرد. در شکل زیر که در محیط متلب بدست آمده است، تصویر رنگی مربوط به بخشی از نگار FMI همراه با لایه های آن نشان داده شده است.



شکل ۳-۸. تصویر رنگی مربوط به بخشی از نگار FMI و سه لایه آن

با توجه به مکعب رنگی که پیش از این نشان داده شد، رنگ سفید از ترکیب رنگ های قرمز، سبز و آبی ایجاد می شود. رنگ سیاه نیز حاصل از عدم حضور این سه رنگ است (به عبارت دیگر همان بی رنگی است و در حقیقت باید گفت که کلمه رنگ را برای سفید و سیاه نمی توان به کار برد). نحوه ترکیب سه رنگ اصلی برای ایجاد رنگ های مختلف در تصویر نمایش داده شده است.

۵.۳. توابع خطی - تکه ای^۱

دو نمونه از توابع خطی-تکه ای در ادامه خواهد آمد.

- افزایش تضاد رنگی^۲

- برش سطوح خاکستری^۳

افزایش تضاد رنگی:

در این جا یک حد آستانه^۴ (m) تعریف می شود و همانطور که در شکل ۳-۹ مشخص است این تابع با تاریک تر نمودن سطوح پایین تر از m و روشن تر نمودن سطوح بالاتر، موجب افزایش تضاد رنگی می شود. البته این تابع می تواند به شکل چند بخش خطی^۵ باشد. حالت خاصی از این تابع وجود دارد که سطوح پایین تر از m را به تاریک محض ($s=0$) و سطوح بالاتر تر از m را به روشن محض ($s=L-1$) انتقال می دهد که به آن تابع حد آستانه^۶ گویند و تصویر ورودی را به تصویر سیاه و سفید تبدیل می کند.

¹Piecewise-Linear Transformation Functions

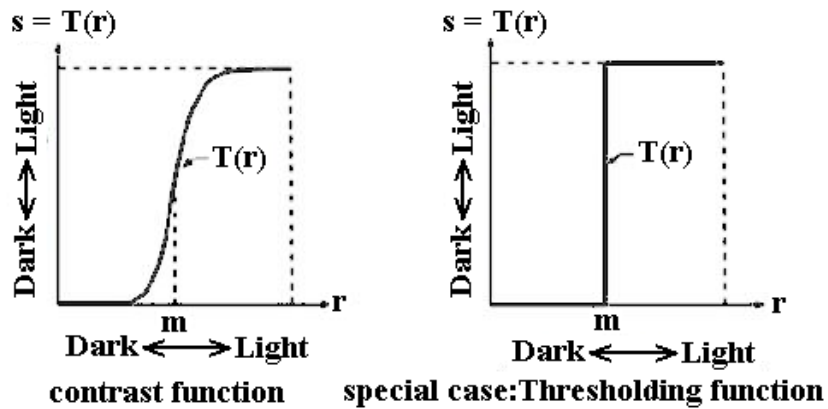
²Contrast stretching

³Gray-level slicing

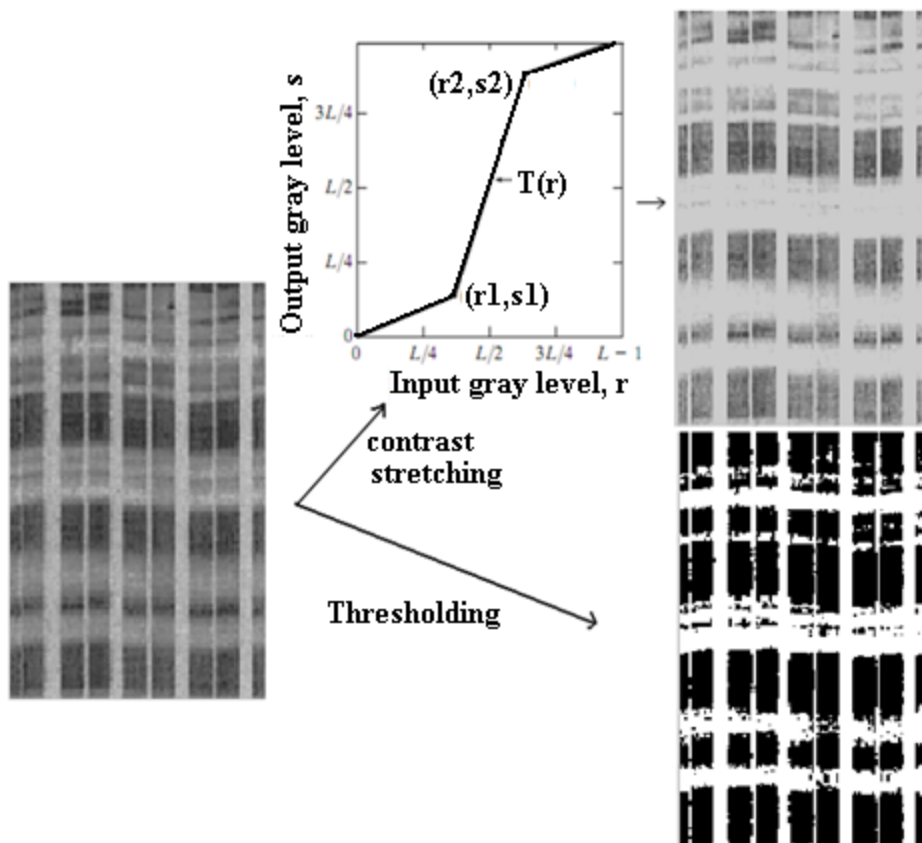
⁴Threshold

⁵Linear

⁶Thresholding function

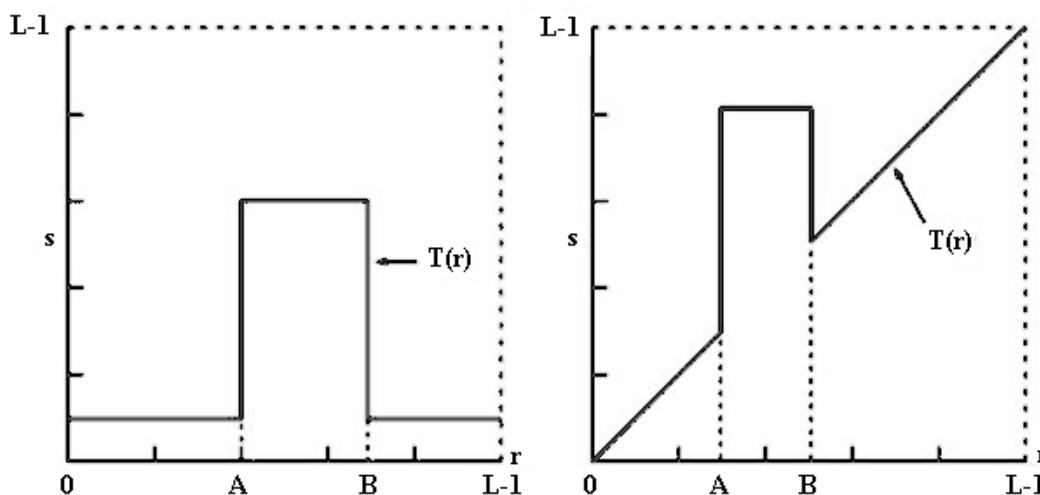


شکل ۳-۹. منحنی تابع افزایش تضاد رنگی (۱)



شکل ۳-۱۰. نتایج اعمال تابع افزایش تضاد رنگی

این تابع به منظور بارز نمودن^۱ محدوده خاصی از سطوح خاکستری بکار می رود. در این تابع برحسب نیاز دو شیوه را می توان در پیش گرفت، اول بالا بردن سطوح یک بازه و پایین بردن سایر سطوح و دوم بالا بردن سطوح یک بازه و حفظ سایر سطوح در حالت اولیه خود که توسط تابع همانی صورت می گیرد.



شکل ۳-۱۱. منحنی تابع برش سطوح خاکستری و دو شیوه آن (۲)

در شکل ۳-۱۲ که مربوط به تغییرات دامنه رنگ در تصاویر FMI بر اساس میزان مقاومت ویژه سنگ است (سطوح با مقاومت ویژه بالا، روشن و با کاهش مقاومت ویژه، رنگ تیره تر می شود)، شدت سطوح (۸۳-۱۸۳) یعنی نواحی با مقاومت ویژه متوسط بارز سازی شده است. البته در ابتدا تصویر از حالت رنگی به خاکستری مقیاس تبدیل شده و تابع برش سطوح خاکستری روی تصویر خاکستری مقیاس اعمال شده است. در روش اول بقیه سطوح تیره شده اند و در روش دوم بقیه سطوح در همان سطح اولیه حفظ شده اند. توجه شود که اگر این تابع روی تصویر رنگی اعمال شود، محدوده ی (۸۳-۱۸۳) هر کدام از زیرلایه های قرمز، سبز و آبی به طور جداگانه بارز شده و بعد ترکیب می شوند و لذا تصویر حاصل دارای رنگی متفاوت خواهد بود. در شکل ۳-

^۱Highlighting

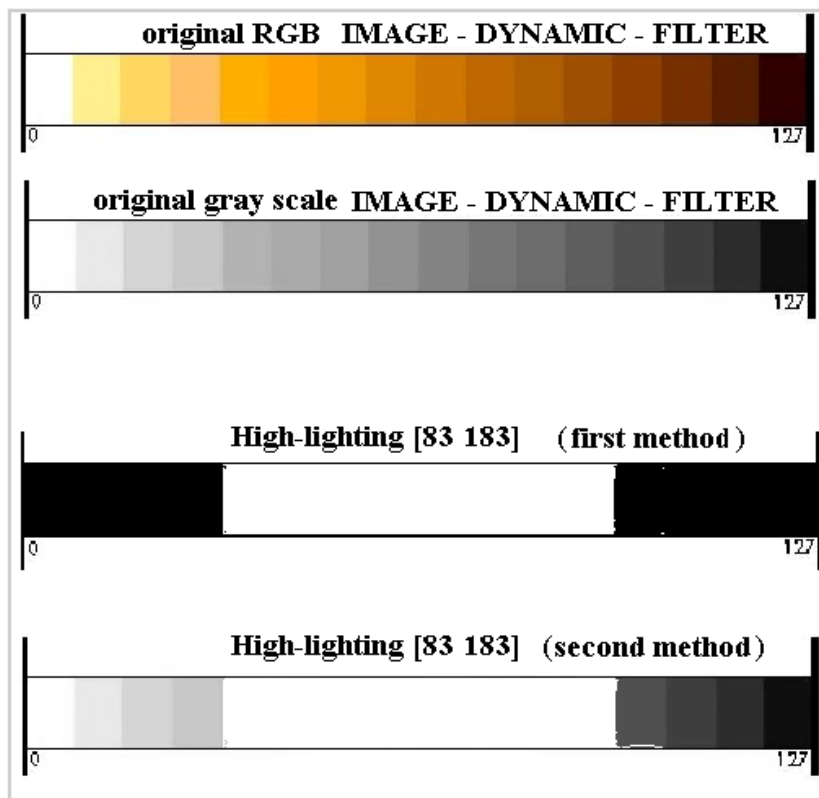
۱۳ نتایج حاصل از اعمال تابع روی دامنه رنگی تصاویر FMI نشان داده شده است. با توجه به شکل، در تشکیل رنگ های تصویر FMI دو زیر لایه قرمز و سبز بیشترین تاثیر را داشته و زیر لایه قرمز مؤثرترین زیر لایه است، از اینرو در شناسایی شکستگی ها از این زیر لایه استفاده شده است. علت استفاده از زیر لایه اول (زیر لایه قرمز) در شکل ۳-۱۴ قابل توجیه است. همانطور که مشاهده می شود در این زیر لایه بر خلاف دو زیر لایه دیگر تضاد رنگی بین نقاط متناظر نقاط تیره در تصویر رنگی با سایر نقاط بالا بوده و استخراج این نقاط توسط اعمال حد آستانه بسیار راحت تر است. علت این تضاد رنگی بدین شرح است:

مطابق مکعب رنگی، در تشکیل رنگ قهوه ای، رنگ آبی تقریباً شرکت ندارد و رنگ سبز اندکی تاثیرگذار است که در زیر لایه های این دو رنگ اصلی، نقاط نظیر رنگ قهوه ای، دارای شدت بسیار پایین (بسیار تیره) است و در زیر لایه رنگ قرمز این نقاط روشن (شدت سطح بالا) است. رنگ زرد نیز حاصل از ترکیب قرمز و سبز است و رنگ آبی تأثیر اندکی دارد بنابراین زیر لایه های قرمز و سبز در نقاط نظیر رنگ زرد و نارنجی تصویر اصلی روشن خواهند بود. و بخش های سفید تصویر که در اثر شرکت هر سه رنگ بوده، در هر سه زیر لایه روشن دیده می شوند. با توجه به اینکه غالب نقاط تصویر رنگی FMI از رنگهای بیان شده تشکیل شده اند (شکل ۲-۱۶) لذا در زیر لایه قرمز غالب نقاط روشن بوده و تنها نقاط تیره ی تصویر اصلی که بیانگر نقاط با مقاومت ویژه پایین است، در این زیر لایه تیره دیده می شود (شکل ۲-۱۹).

در شکل ۳-۱۴ مشاهده می شود که با بکارگیری زیر لایه قرمز، می توان نقاط با مقاومت ویژه پایین را به راحتی از تصویر FMI استخراج نمود. لازم به ذکر است که نقاط با مقاومت ویژه پایین اگر به صورت منحنی دارای الگوی شبه سینوسی باشند به طور عمده بیانگر سطوح صفحه ای با مقاومت ویژه پایین از جمله شکستگی های باز^۱ می باشند و لذا از این روش برای شناسایی شکستگی ها و سایر سطوح صفحه ای با مقاومت ویژه کم و همچنین زیاد (با تغییر محدوده ای که بارز می شود) می توان استفاده نمود. لازم به ذکر است که نوفه های

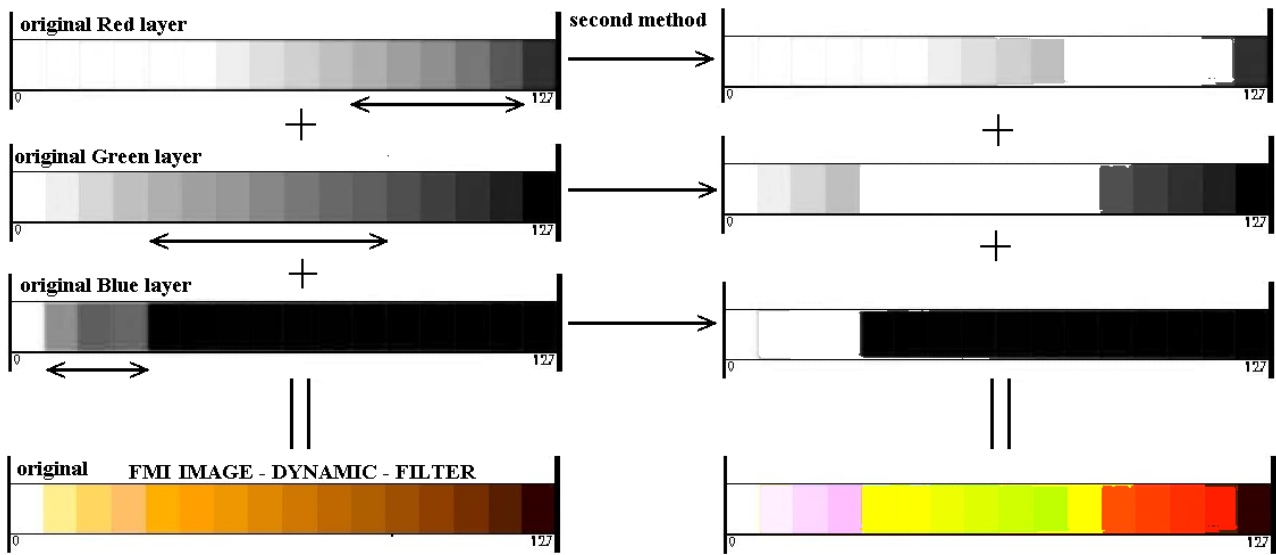
^۱Open fracture

موجود در تصویر حاصل، توسط توابع ریخت شناسی^۱ قابل حذف و گسستگی بین روند شبه سینوسی قابل اتصال است که در ادامه به آن اشاره خواهد شد.

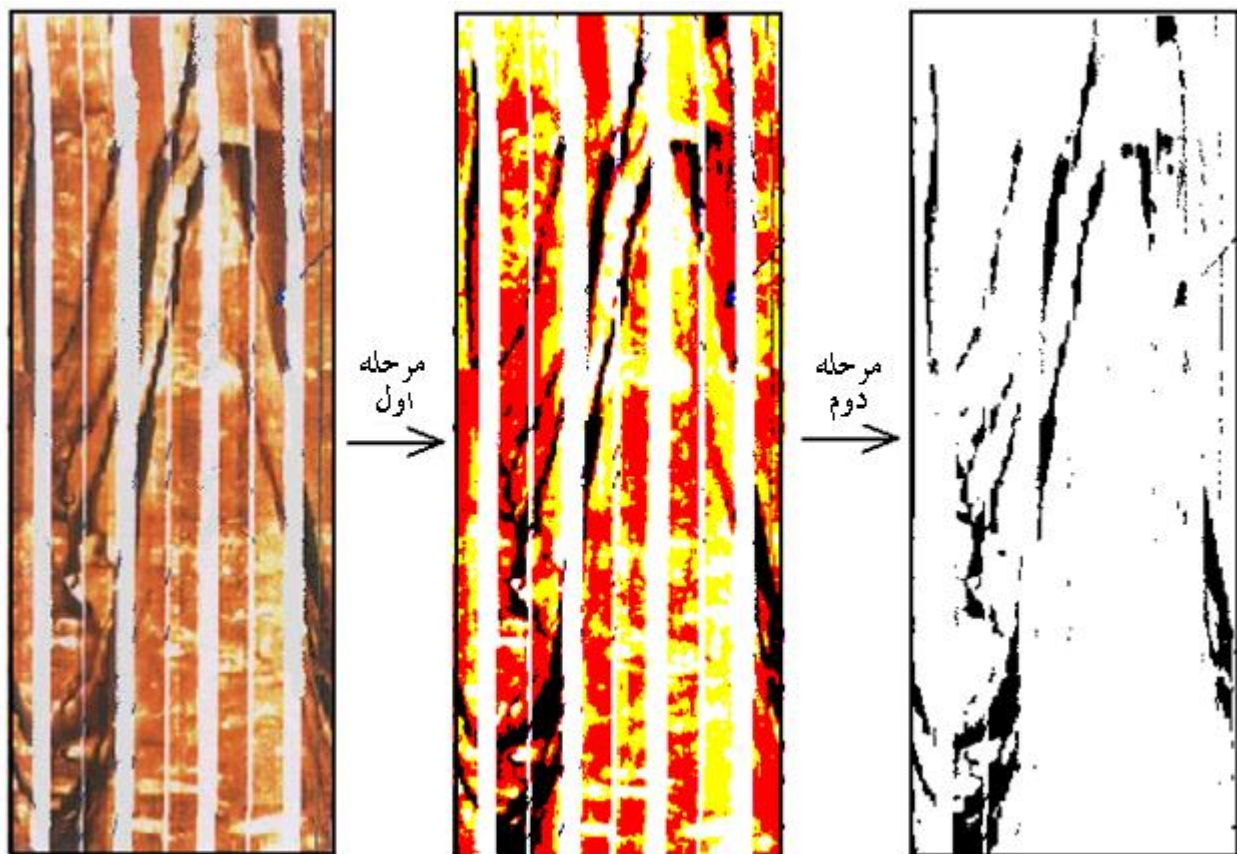


شکل ۳-۱۲. نتایج اعمال تابع برش سطوح خاکستری روی تصویر ۸ بیتی خاکستری مقیاس و بارز نمودن محدوده (۸۳-۱۸۳).

¹ Morphological function



شکل ۳-۱۳. نتایج اعمال تابع برش سطوح خاکستری روی تصویر ۸ بیتی رنگی و بارز نمودن محدوده (۸۳-۱۸۳).



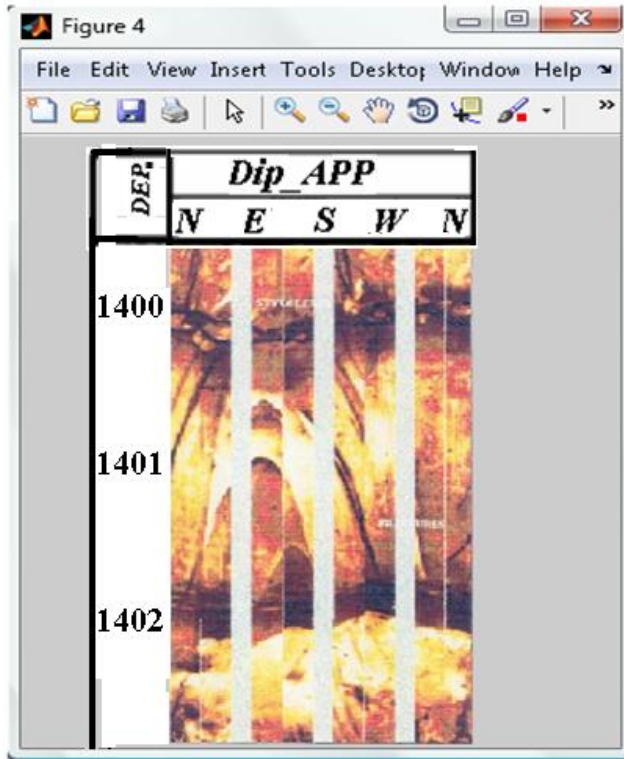
شکل ۳-۱۴. مرحله اول: اعمال تابع برش سطوح خاکستری روی تصویر رنگی؛ مرحله دوم: مشاهده زیر لایه قرمز تصویر حاصل.

همانگونه که مشاهده می شود، با استفاده از تابع برش سطوح و با استفاده از زیر لایه اول تصویر رنگی FMI، نقاط تیره تصویر که بیانگر نقاط دارای مقاومت ویژه پایین است استخراج می شود و قدم اول در شناسایی شکستگی های باز برداشته می شود زیرا این شکستگی ها توسط مواد دارای مقاومت ویژه پایین مانند گل حفاری پر شده اند و هادی جریان سیال در سازند می باشند.

بخش دوم- کاربرد نرم افزار متلب در آماده سازی تصویر

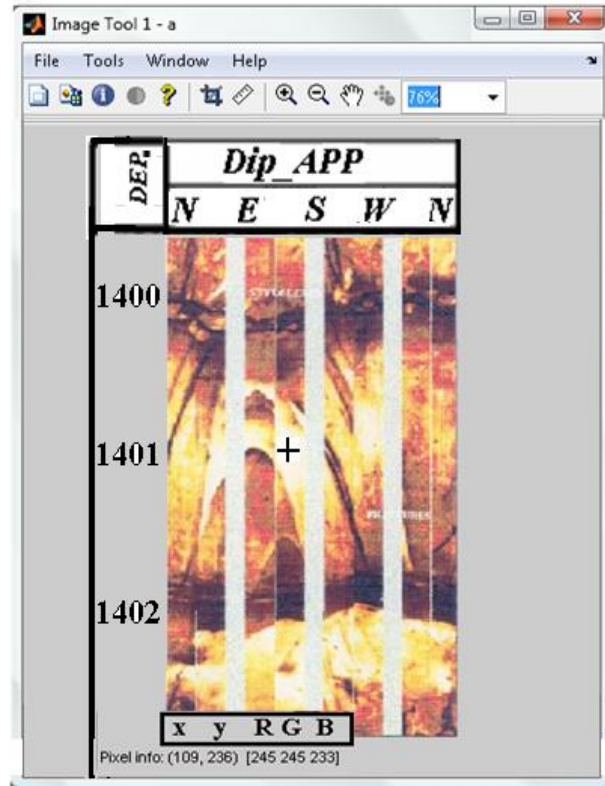
جعبه ابزار پردازش تصویر متلب از مهمترین قابلیت های این نرم افزار است که برای پردازش تصاویر رنگی و سیاه و سفید به کار می رود. در این نرم افزار، متغیر های ماتریسی قابل تعریف اند و برای تبدیل تصاویر به ماتریس جهت پردازش، از دستور `imread('name.jpg')` استفاده می شود (اگر پسوند تصویر غیر از `.jpg` باشد باید همان پسوند وارد شود و اگر مکان تصویر در مکانی غیر از مسیر نصب شده متلب باشد، باید آدرس آن به طور کامل در دستور و قبل از نام تصویر وارد شود). به منظور نمایش تصویر ماتریس ایجاد شده در محیط متلب، از دستور `imshow` استفاده می شود. علاوه بر این دستور می توان از `imtool` نیز استفاده کرد که در این صورت با قرار دادن نشانگر بر روی هر نقطه از تصویر، مختصات و مقدار (شدت سطح) متناظر آن قابل مشاهده است.


```
>> a=imread('11.jpg'); imshow(a)
>>
```



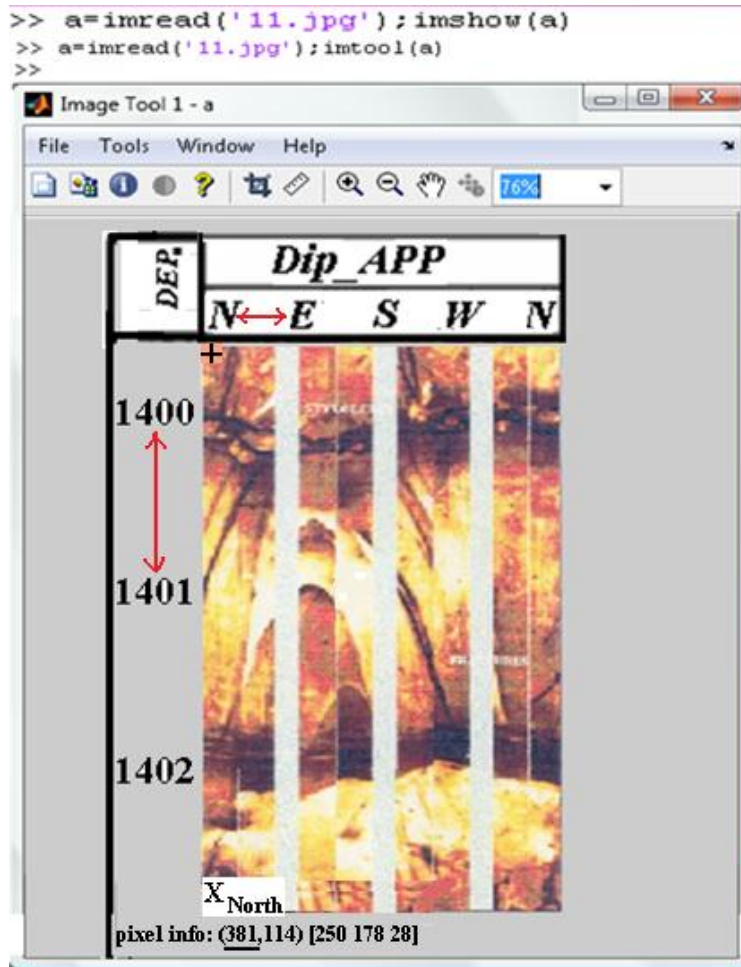
شکل ۳-۱۵. نمایش تصویر توسط دستور imshow

```
>> a=imread('11.jpg'); imshow(a)
>> a=imread('11.jpg'); imtool(a)
>>
```



شکل ۳-۱۶. نمایش تصویر توسط دستور `imtool`

همانطور که در ادامه ذکر خواهد شد، برای شناسایی ویژگی‌های شکستگی از طریق بررسی منحنی شیب سینوسی، لازم است سه پارامتر را در اختیار داشته و در الگوریتم تعریف نمود. این پارامترها عبارتند از موقعیت مکانی متناظر با شمال جغرافیایی تصویر $FMI(X_{North})$ ، تعداد پیکسل‌های نماینده Y یک متر در تصویر و همچنین تعداد پیکسل‌هایی که مشخص کننده Y یک درجه می باشند. البته برای پارامتر سوم از تعداد پیکسل‌های معادل 90° درجه استفاده شده است. برای دست‌یابی به این سه پارامتر پس از ورود تصویر FMI به محیط متلب، توسط دستور `Imtool` این تصویر فراخوانی شده و با توجه به قابلیت‌های بیان شده این دستور، براحتی می‌توان این سه پارامتر را بدست آورد (شکل ۳-۱۷).

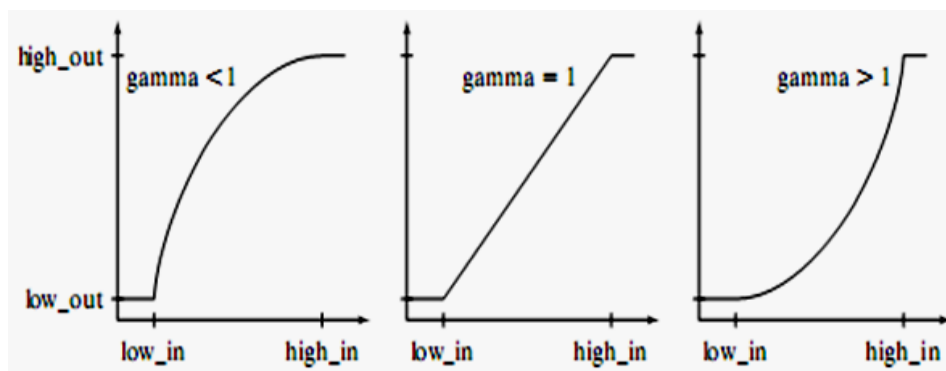


شکل ۳-۱۷. بدست آوردن پارامترهای مورد نیاز توسط دستور Imtool

۳.۶. تابع انتقال شدت سطح^۱

در متلب به کمک دستور `imadjust (name, [low_in high_in], [low_out high_out], gamma)` می توان شدت سطح تصویر را به دلخواه تغییر داد. این دستور جهت اعمال تابع برش سطوح است که انواع آن در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. منحنی تابع برای مقادیر مختلف گاما در شکل (۳-۱۸) نشان داده شده است. از این دستور، مطابق شکل ۳-۱۴ (مرحله اول)، در استخراج نقاط با مقامت ویژه پایین، کمک گرفته شده است.

¹ Intensity Transformation Function



شکل ۳-۱۸. تصویر خروجی در حالت گاما بزرگتر از یک روشن تر و گاما کوچکتر از یک تیره تر می شود (۲)

در صورت وارد نکردن مقادیر کمینه و بیشینه ی ورودی یا خروجی، این مقادیر به صورت پیش فرض $(0-1)$ ^۱ و مقدار پیش فرض گاما ۱ می باشد. توجه شود که در حالت خطی ($\text{gamma}=1$) تمامی شدت سطوح قرار گرفته در محدوده ی بین کمینه و بیشینه ی ورودی بر اساس تابع انتقال خطی تبدیل به مقادیر خروجی می شوند. برای درک بهتر به مثال بیان شده توجه شود.

دستور `imadjust` کاربردی هایی دارد که در زیر به دو مورد اشاره می شود.

(۱) تابع معکوس^۲

```
>> b=imadjust(name,[0 1],[1 0]);
```

(۲) گسترش، انقباض یا انتقال محدوده خاصی از شدت سطح توسط دستور `imadjust` و در حالت خطی ($\text{gamma}=1$). برای مثال، گسترش سطح برای محدوده ی $(0/5-0/7)$ به $(0-1)$ توسط دستور زیر است.

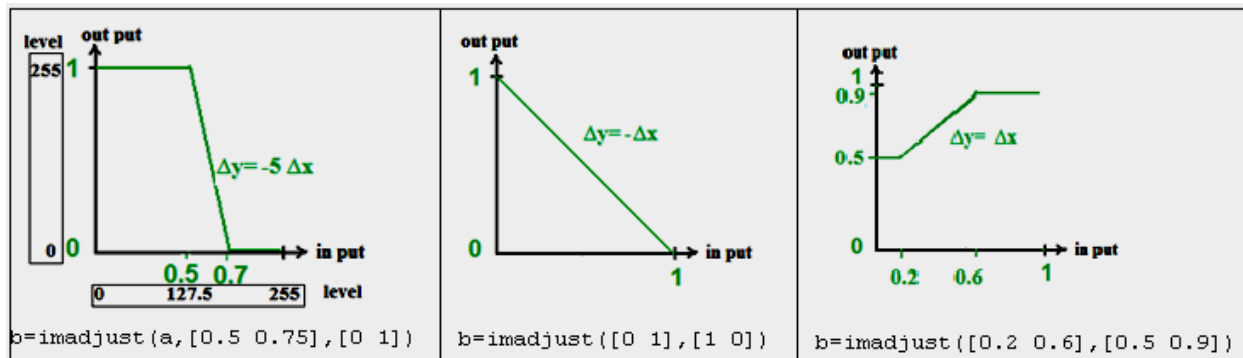
```
>> b=imadjust(name,[0.5 0.75],[0 1]);
```

¹ Default

² Negative function

اگر طول بازه ی ورودی بیشتر یا کمتر و یا برابر بازه ی خروجی باشد به ترتیب گسترش، انقباض یا انتقال در شدت سطح صورت می گیرد و بزرگی شیب نمودار تابع انتقال آن ها به ترتیب بیشتر یا کمتر و یا برابر یک خواهد بود.

نمودار تابع انتقال برای سه تابع در شکل زیر آمده است.



شکل ۳-۱۹. نمودار برای سه تابع مختلف در دستور imadjust با مقدار $\gamma=1$ (حالت خطی)

شرح یک مثال برای تصویر ۸ بیتی:

```
>> b=imadjust(name,[0.5 0.75],[0.2 0.4]);
```

در این مثال انقباضی، نقاط با شدت های $127/5$ (0.5×255) و کمتر از آن، همگی تبدیل به نقاطی با شدت ۵۱ (0.2×255) می شوند و نقاط با شدت های $178/5$ (0.75×255) و بالاتر، همگی تبدیل به نقاطی با شدت 102 (0.4×255) می شوند. شدت های بین این دو با توجه به معادله ی خط تابع انتقال که به شکل زیر به دست می آید، تبدیل می شوند.

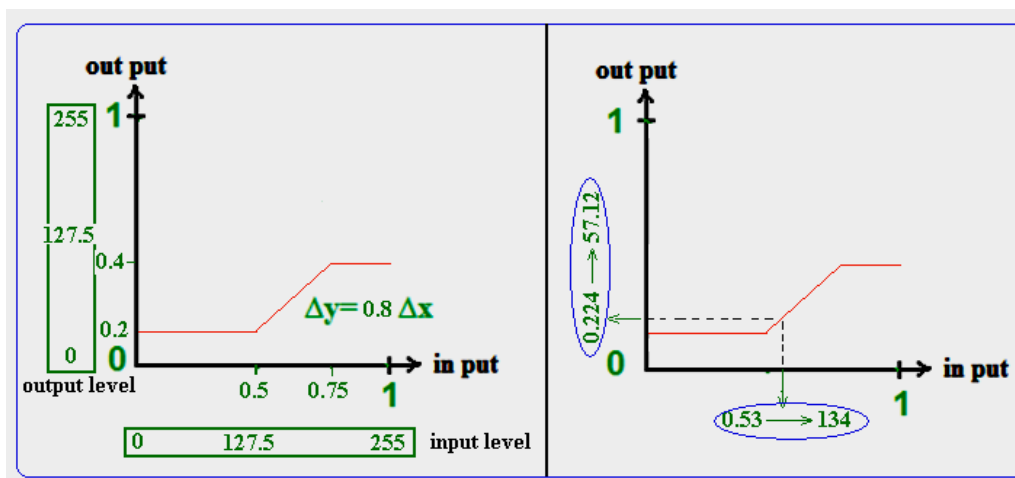
$$\Delta Y = m * \Delta X$$

1-3

که در آن ΔX اختلاف شدت سطح ورودی از مقدار کمینه و ΔY اختلاف شدت سطح تبدیل شده از خروجی بیشینه برای حالت $m < 0$ و اختلاف شدت سطح تبدیل شده از خروجی کمینه برای حالت $m > 0$ است و m که همان شیب خط است از رابطه ی زیر بدست می آید.

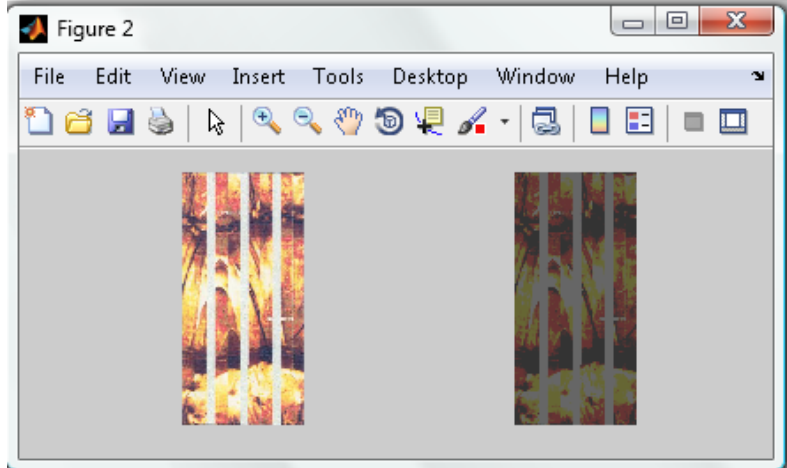
$$m = (\text{high_out} - \text{low_out}) \div (\text{high_in} - \text{low_in}) \quad 2-3$$

در این مثال، شیب خط برابر $0.8 \div (0.25 - 0.20) = 0.8$ می باشد و $m > 0$ ، بنابراین اگر شدت سطح نقطه ای ۱۳۴ باشد که در محدوده ی $(127.5 - 178.5)$ است، ابتدا به بازه ی صفر و یک (یعنی $0.53 \approx$ $134 \div 255$) انتقال می یابد و ΔX برابر $0.3 - 0.5 = 0.53$ می شود. براساس تابع انتقال، ΔY برابر $0.24 \times X$ می شود و با توجه به اینکه مقدار کمینه خروجی 0.2 است، خروجی عدد ۱۳۴ برابر 0.224 می شود که معادل $57.12 \div (255 \times 0.224)$ است. به این ترتیب این تابع، شدت ۱۳۴ را تبدیل به 57.12 می کند و در کل تصویر تیره تر می شود. در شکل زیر، این عملیات به صورت نمودار نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۰. نمودار تابع انتقال محدوده $(0.5 - 0.75)$ به $(0.2 - 0.4)$ و عملکرد این تابع بر شدت سطح ۱۳۴

```
>> a=imread('1.jpg');b=imadjust(a,[0.5 0.75],[0.2 0.4]);
>> subplot(1,2,1);imshow(a);subplot(1,2,2);imshow(b)
>>
```



شکل ۳-۲۱. اثر تابع انتقال انتقال محدوده (۰/۵-۰/۷۵) به (۰/۲-۵۰/۴) روی یک نگار FMI و تاریک شدن تصویر

۷.۳. شناسایی مرز بین نواحی^۱

برای یافتن مرز های ناپیوستگی در تصاویر خاکستری مقیاس^۲ می توان از دستور edge کمک گرفت (شکل ۳-۲۲). در تابع edge شیوه های متفاوتی وجود دارد که شیوه ی canny دقیق ترین شیوه ی این تابع است. این تابع را نمی توان برای تصاویر رنگی بکار برد و لازم است این تصاویر ابتدا به خاکستری مقیاس تبدیل شوند. از کاربرد های این تابع می توان به تعیین مرز شکستگی ها به منظور تعیین میزان بازشدگی شکستگی ها اشاره کرد که اگرچه در این تحقیق به این هدف پرداخته نشده است ولی می توان در این زمینه از تابع edge استفاده نمود.

^۱ Edge detection

^۲ Grayscale

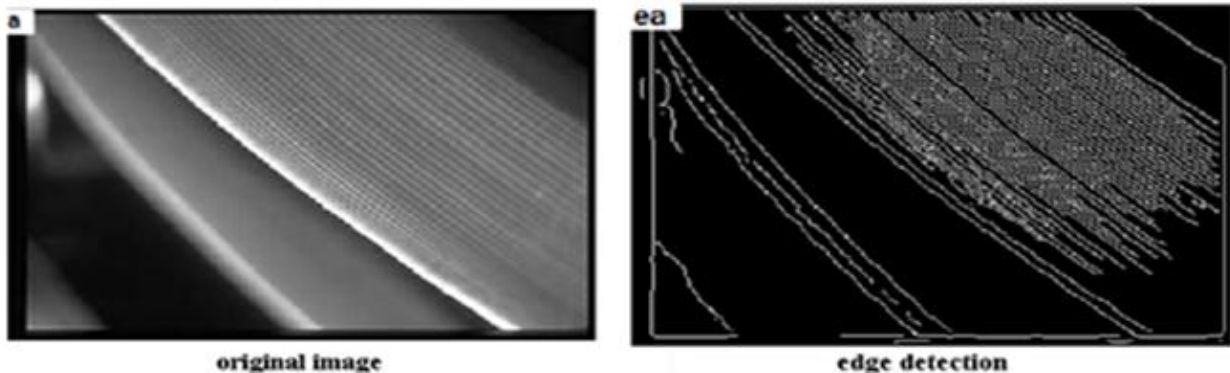
دستور تابع edge و متغیرهای آن در زیر آمده است:

>> g= edge (a,method,parameter)

۵-۳

جدول ۳-۱. متغیرهای تابع edge (۲)

تشریح پارامترها	دستور	روش
اگر مقدار T وارد نشود، به طور خودکار تعیین می شود. جهت پیش فرض در این روش دو طرفه است.	[g,t]= edge (a,'sobel',T,'dir')	Sobel
مشابه روش sobel است. اگرچه دارای پیچیدگی کمتری بوده و از لحاظ محاسباتی ساده تر است؛ اما خروجی آن همراه با نوفه است.	[g,t]= edge (a,'prewitt',T,'dir')	Prewitt
این روش ساده ترین و ابتدایی ترین روش است و نسبت به دیگر روش ها کمتر مورد استفاده قرار می گیرد.	[g,t]= edge (a,'roberts',T,'dir')	Roberts
اگر مقدار T وارد نشود، به طور خودکار تعیین می شود. مقدار پیش فرض برای انحراف از معیار ۲ است.	[g,t]= edge (a,'log',T,sigma)	LoG
شبیه روش LoG است اما در این روش، عمل ترکیب تحت تابع H صورت می گیرد.	[g,t]= edge (a,'zero crossing',T,H)	Zero crossing
T یک بردار به شکل [T1,T2] است (T1<T2). مقدار انحراف از معیار یک است. پیکسلی که در مرز تضادمقداری ^۱ بوده و تضاد، بزرگتر از T2 باشد به عنوان مرز قوی ^۲ و اگر مقدار بین T1 و T2 باشد به عنوان مرز ضعیف ^۳ محسوب می شوند. بقیه مرزها (مقادیر کوچکتر از T1) تبدیل به پیکسل هایی با مقدار صفر می شوند. اگر یک مرز ضعیف دارای ۸ همسایگی با مرز های قوی باشد؛ الگوریتم این پیکسل را به سایر پیکسل ها متصل می کند.	[g,t]= edge (a,'canny',T,sigma)	Canny (most powerful method)



شکل ۳-۲۲. تابع edge و توانایی آن در تشخیص مرز های ناپیوستگی

¹ Ridge pixels

² Strong edge

³ Weak edge

۸.۳. توابع ریخت شناسی و عنصرساختاری^۱

این تابع جهت گسترش نقاط دارای شدت سطح خاکستری و متصل کردن آنها و یا جهت حذف (فرسایش و تخریب^۲) این نقاط و جدا کردن آن ها به کار می رود و در تصاویر خاکستری مقیاس یا سیاه و سفید استفاده می شود.

برای این منظور ابتدا در محیط متلب با دستور strel، ساختار عنصری که بر اساس آن نقاط گسترش یا تخریب می یابند مشخص می شود که به شکل زیر است.

>> SE= strel(shape , parameter)

۶-۳

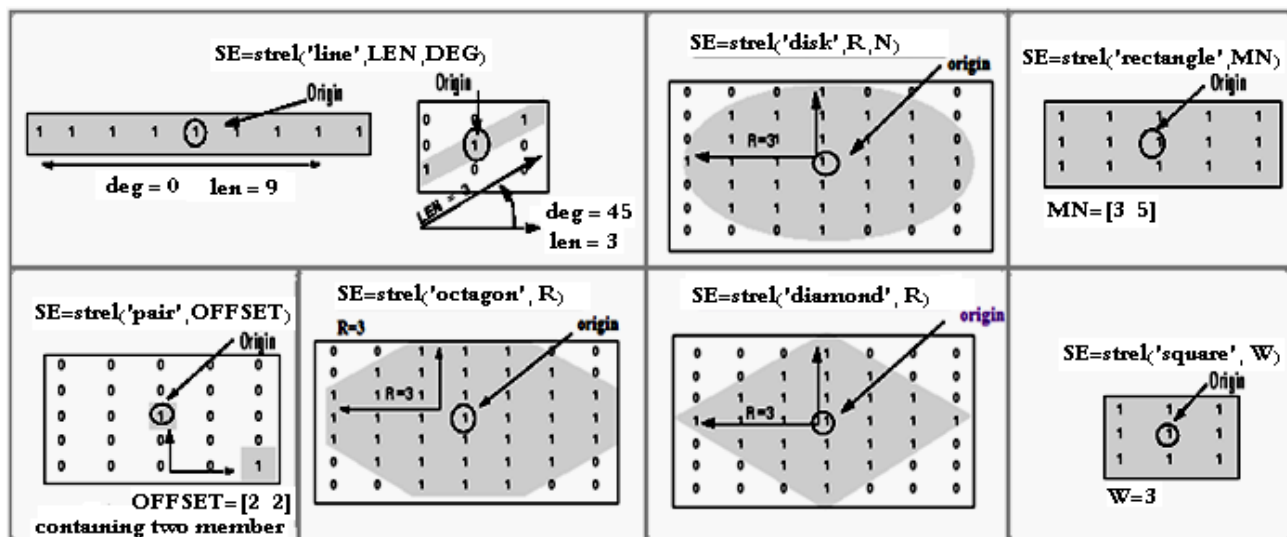
در جدول زیر عنصر های ساختاری آمده است و در ادامه شکل شماتیک برخی از آن ها نمایش داده شده است.

جدول ۳-۲. عنصرهای ساختاری تابع strel (۷)

Flat Structuring Elements		Nonflat Structuring Elements	
<u>'arbitrary'</u>	<u>'pair'</u>	<u>'arbitrary'</u>	<u>'ball'</u>
<u>'diamond'</u>	<u>'periodicline'</u>		
<u>'disk'</u>	<u>'rectangle'</u>		
<u>'line'</u>	<u>'square'</u>		
<u>'octagon'</u>			

1 Morphological and structure element function

2 Erosion



شکل ۳-۲۳. شکل شماتیک تعدادی از عنصر های ساختاری دستور strel (۷)

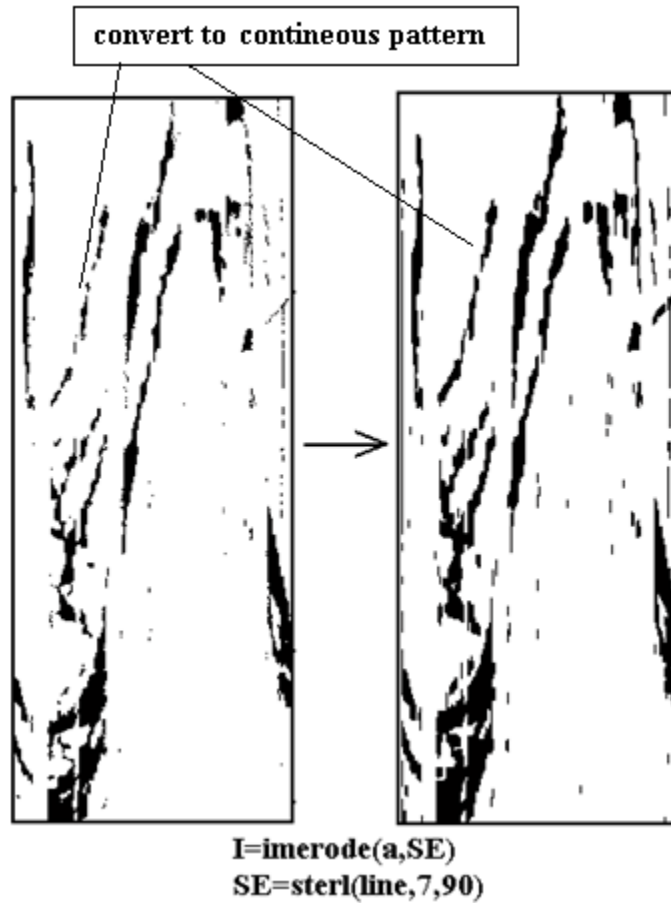
پس از انتخاب عنصر ساختاری و ابعاد آن، با دستور های imdilate و imerode به ترتیب می توان نقاط روشن را گسترش یا فرسایش داد. دستورات و مثال های مربوط به آن در ادامه آمده است.

$$\gg I = \text{imdilate}(a, SE) \quad (۷-۳)$$

$$\gg I = \text{imerode}(a, SE) \quad (۸-۳)$$

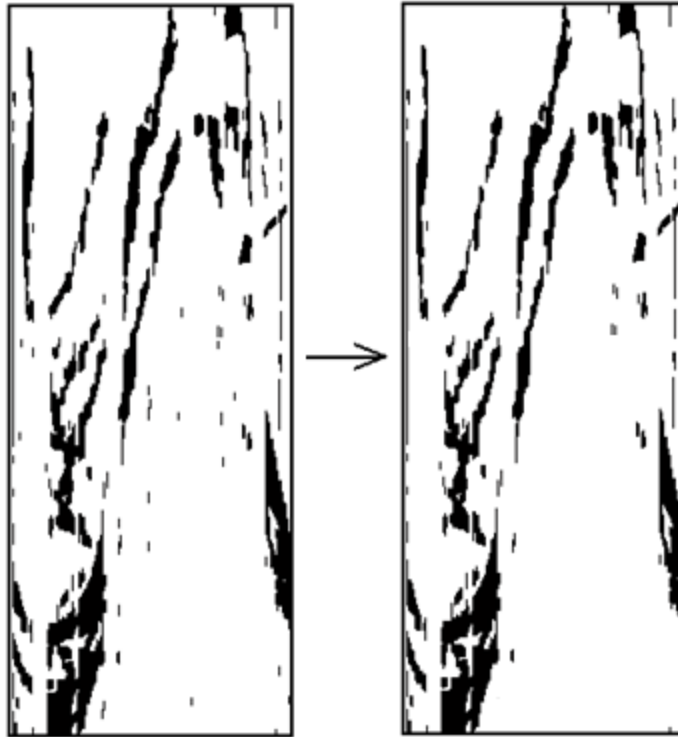
باتوجه به مطالب بیان شده، در صورتی که تصویر، رنگی باشد ابتدا باید به تصویر خاکستری مقیاس یا سیاه و سفید تبدیل شود. در ادامه یک مثال از اعمال این تابع روی تصویر نهایی شکل ۳-۱۴ به منظور حذف نوفه ها و همچنین بهبود روند شبه سینوسی تصویر آورده شده است. در تابع imdilate که از شکل ریخت شناسی خط عمودی استفاده شده، نقاط روشن (که پس زمینه را تشکیل می دهند) در قالب خط عمودی گسترش و در نتیجه نقاط تیره نوفه مانند را حذف می کند. شرط گسترش نقاط روشن اینست که دارای n همسایگی روشن باشند (n بین ۱ تا ۸ می باشد یعنی ممکن است هر ۸ همسایگی روشن باشند و اگر یک همسایگی نقطه نیز روشن باشد کافی است). در تابع imerode نقاط روشن به صورت خط عمودی فرسایش یافته و تیره می شوند و

در نتیجه نقاط تیره تا حدودی حالت پیوستگی به خود می گیرند و موج کامل تر می شود. به عبارت دیگر در صورتی که یک نقطه دارای n همسایگی تیره باشد ($1 < n < 8$) تیره می شود (۸).



شکل ۳-۲۴. فرسایش نقاط تصویر برای تصویر خاکستری مقیاس و اتصال گسستگی بین نقاط تیره با فرسایش نقاط روشن

Some noises are removed



$I = \text{imerode}(a, SE)$
 $SE = \text{ster1}(\text{line}, 7, 90)$

شکل ۳-۲۵. گسترش نقاطِ تصویر برای تصویر خاکستری مقیاس سبب کاهش نوفه شده است

همان طور که در شکل های بالا مشخص است، برای متصل کردن نقاط دارای سطح خاکستری و یا جداکردن آن ها می توان از این دستور ها استفاده کرد که در الگوریتم نوشته شده مورد استفاده قرار گرفته است و در صورت بکارگیری همزمان دستور های `imerode` و `imdilate` علاوه بر حذف نویز ها، روند شبه سینوسی پدیده های صفحه ای تکمیل تر شده و عمل انطباق بهتر صورت می گیرد.

۹.۳. تطبیق منحنی بر داده ها^۱

در برخی موارد لازم است که منحنی خاصی را بر داده ها تطبیق داده و با توجه به معادله ی منحنی، اطلاعات خاصی را از روند تغییرات داده ها استخراج نمود. در محیط متلب می توان توسط دستورهایی `polyval` و `polyfit` عمل تطبیق را انجام داد. علاوه بر این، از جعبه ابزار `cftool`^۲ نیز استفاده می شود. این جعبه ابزار در آخرین نسخه^۳ از نرم افزار متلب (MATLAB 2010) تعبیه شده است که کارآیی های فراوانی داشته و در این تحقیق بسیار مورد استفاده قرار گرفته است.

در حالت معمول، تابع $P = \text{polyfit}(x, y, n)$ ضرایب مربوط به چند جمله ای درجه ی n جهت تطبیق بر داده های x و y به روش حداقل مربعات^۴ را استخراج می کند. روش حداقل مربعات اگر چه نقاط ضعیفی دارد و ساده ترین و قابل فهم ترین روش بوده و در صورت نزدیک بودن نتایج برآورد شده با نتایج واقعی، انطباق بالایی را ایجاد می کند. پارامتر P عبارتست از برداری به طول $n+1$ شامل ضرایب x با توانهای نزولی از n تا صفر:

$$P_1 x^n + P_2 x^{n-1} + \dots + P_n x + P_{n+1}; P = [P_1, P_2, \dots, P_n, P_{n+1}]$$

سپس توسط دستور `Y=polyval(P,x)` و `plot(x,Y)` عمل تطبیق انجام می شود.

توجه شود که می توان از دستور `P=polyfit(x,log(y))` و `P=polyfit(x,sin(y))` و... علاوه بر تابع چندجمله ای، از سایر توابع استفاده کرد؛ اما جعبه ابزار `cftool` با توجه به وجود توابع مختلف، از قابلیت مناسبی برخوردار بوده و تطبیق دادن توسط آن سریع تر و راحت تر است.

فرض کنید داده های x و y به صورت زیر باشد.

¹ Fit a curve into data (data fitting)

² Curve fitting tool

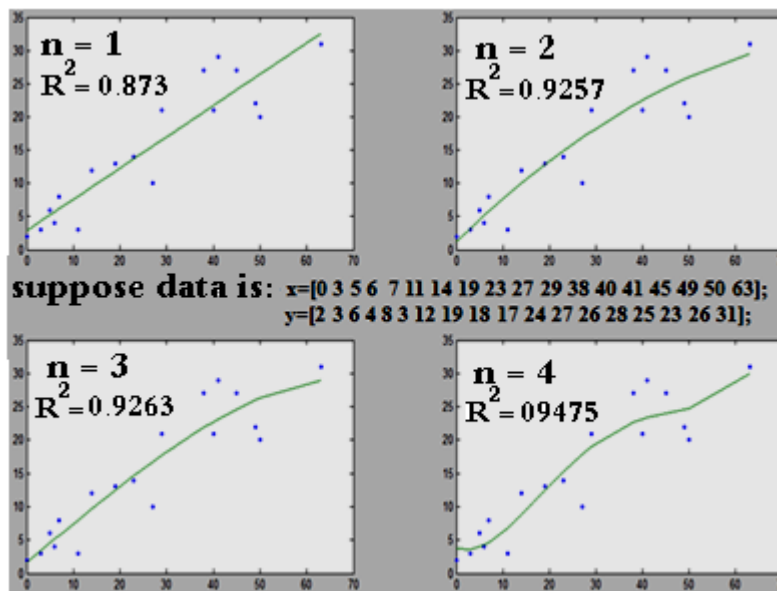
³ Version

⁴ Least square

>> x = [0 3 5 6 7 11 14 19 23 27 29 38 40 41 45 49 50 63];

y = [2 3 6 4 8 3 12 19 18 17 24 27 26 28 25 23 26 31];

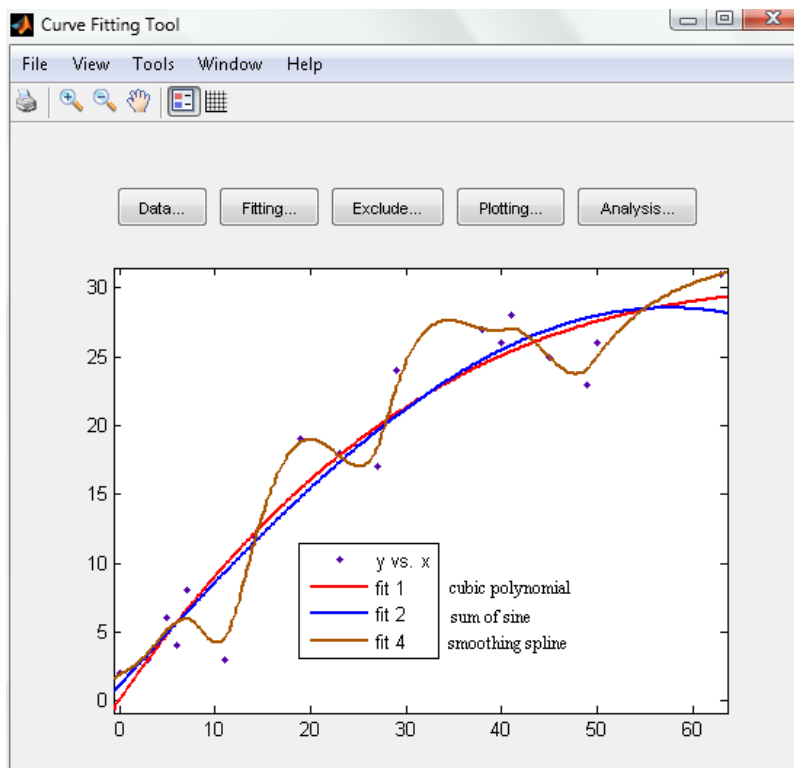
در شکل زیر، منحنی های منطبق شده ی درجه ی یک تا چهار و میزان انطباق آنها نشان داده شده است.



شکل ۳-۲۶. تطبیق منحنی های چند جمله ای بر داده ها

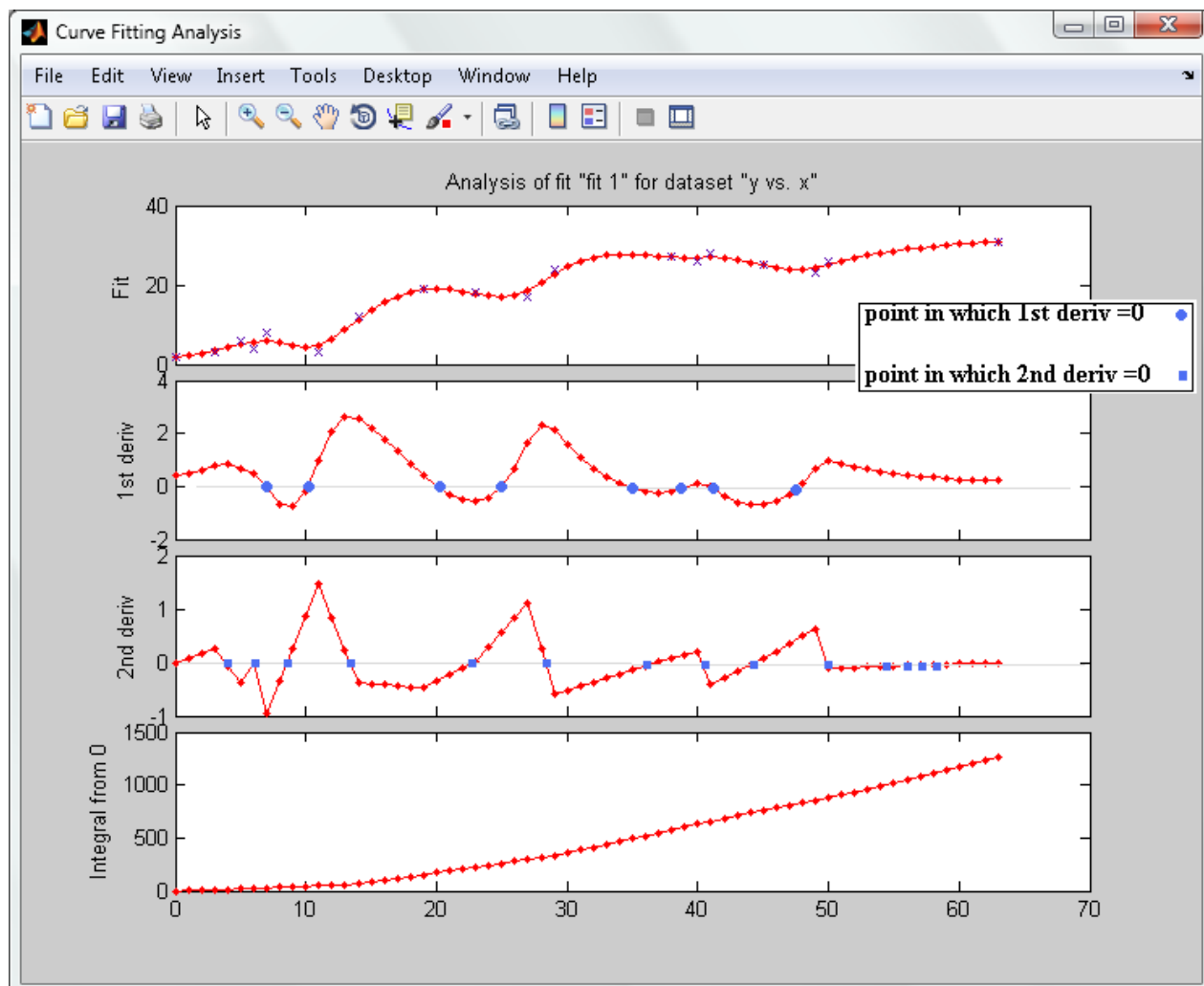
تشریح پنجره ی جعبه ابزار cftool ضمن بیان مثال ذکر شده در ادامه آمده است. در این جعبه ابزار، داده ها از طریق گزینه ی Data فراخوانی شده و در صورت نیاز از طریق گزینه ی Exclude و حتی به صورت گرافیکی می توان داده های مورد نظر که به طور عمدۀ نویز^۱ یا نوفه نامیده شده و از روند کلی داده ها پیروی نمی کنند را کنار گذاشت تا عمل تطبیق با دقت بیشتری انجام پذیرد و یا داده خاصی را دوباره اضافه نمود. سپس توسط گزینه ی fitting، منحنی مورد نظر بر داده ها تطبیق داده می شود. گزینه ی Analysis جهت بررسی ویژگی های این منحنی، از قبیل بررسی نموداری و عددی مقادیر مشتق اول و دوم و یا بررسی انتگرال معین از نقطه شروع تا نقطه مورد نظر، در این جعبه ابزار تعبیه شده است.

¹ Noise



شکل ۳-۲۷. تطبیق سه تابع مختلف بر داده ها توسط جعبه ابزار cftool

توسط گزینه Analysis می توان نقاط بیشینه و کمینه (نقاطی که مشتق اول صفر است) و نقاط عطف (نقاطی که مشتق دوم صفر است)، را مشخص نمود که در این تحقیق برای تعیین مقادیر نقاط بیشینه و کمینه به منظور محاسبه شیب و آزیموت شکستگی مورد استفاده قرار گرفته است. در تصاویر بعدی این نقاط مشخص شده اند.



شکل ۳-۲۸. نمودار تابع منطبق شده و نمودارهای مشتق اول و دوم آن به همراه نقاط کمینه و بیشینه و عطف و نمودار انتگرال تابع از نقطه صفر تا نقاط مختلف

در فصل بعد کاربرد های این جعبه ابزار به منظور شناسایی روند شبه سینوسی شکستگی ها و بررسی منحنی منطبق شده برای شناسایی دو پارامتر اصلی شکستگی (شیب و آزیموت) بیان خواهد شد.

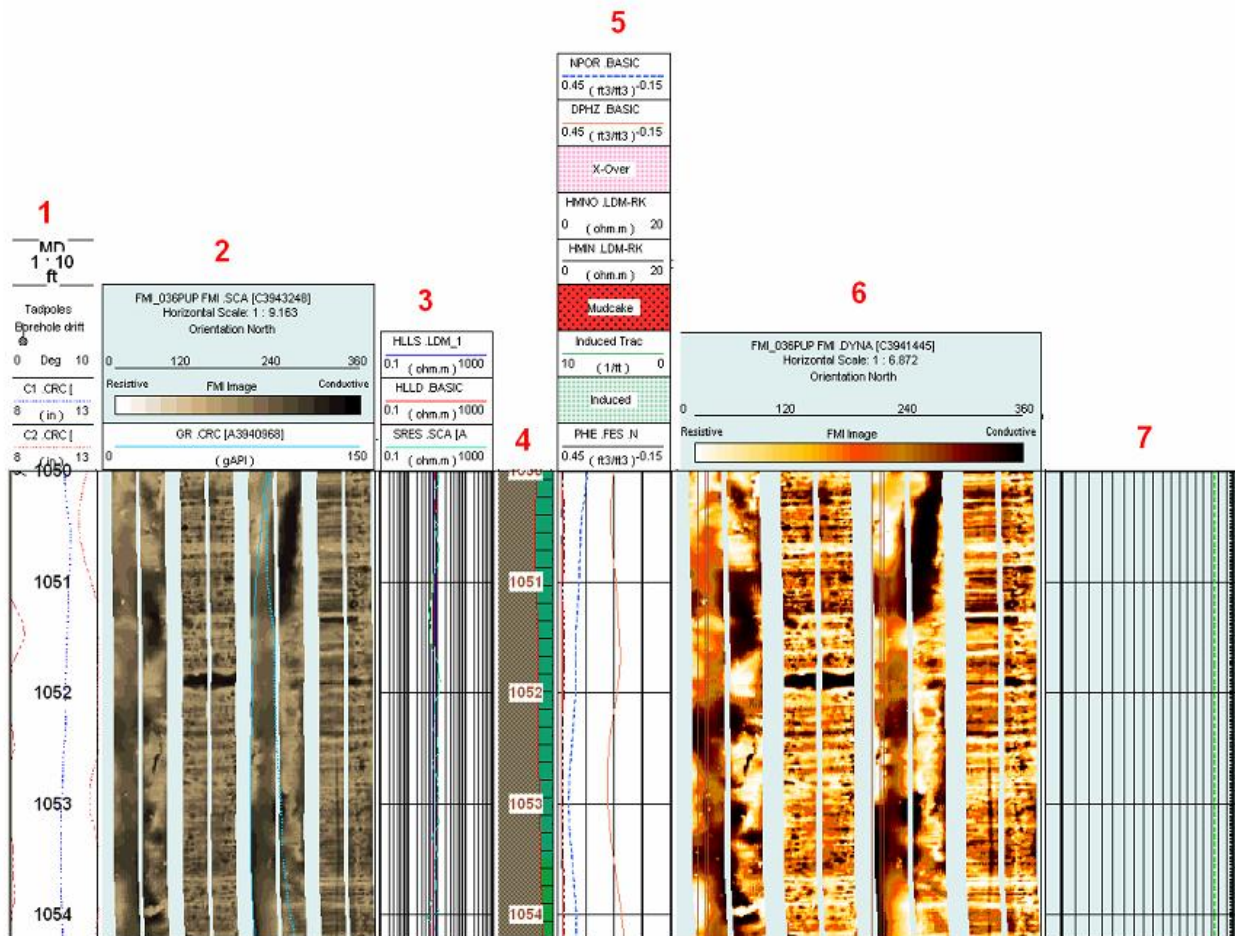
فصل چهارم:

شکستگی ها در تصاویر FMI و شناسایی ویژگی های

آن ها

۱.۴. جزئیات تصویر FMI

نگار FMI تصویری از پدیده های ساختاری در امتداد دهانه ی چاه ارایه می دهد که در فصل قبل به آنها اشاره شد. در شکل زیر تصویری از نگار FMI به همراه اطلاعات بالای^۱ این نگار نشان داده شده است.



شکل ۱-۴. نگار FMI به همراه اطلاعات بالای آن (چاه ۱۰-X-۱-۶۷ در Teapot Dome, Wyoming) (۶)

تصویر های این نگار می تواند در تعیین شیب و آزمون^۲ شکستگی ها بکار رود.

^۱ FMI log header information

^۲ Strike

اطلاعات نگار FMI در شکل ۴-۱ نشان داده شده که به ۷ بخش تقسیم می شود.

ستون ۱: اطلاعات مربوط به عمق و قطر چاه که در چاه های یکنواخت به طور کلی قطر چاه یکسان است.

ستون ۲: این ستون تصویر جریان استاتیکی^۱ را به صورت خاکستری مقیاس نشان می دهد و نشان دهنده ی جریان نسبی در هر نقطه از چاه در مقایسه با مقادیر بیشینه و کمینه در کلّ نگار است. تصویر استاتیک همانگونه که بیان شد، برای شناسایی پدیده های عمده ی سنگ شناسی^۲ در اطراف چاه بکار می رود.

ستون ۳: خروجی های نگار مقاومت ویژه چندگانه را نشان می دهد که به طور معمول با عمق کم، متوسط و زیاد^۳ است که جهت تطابق دادن با سایر نگار به منظور برطرف کردن ابهامات در مرحله ی تفسیر به کار می روند.

ستون ۴: این ستون نشان گر عمقی و سنگ شناسی^۴ است. نشان گر سنگ شناسی بر اساس ترکیب اطلاعات به دست آمده از نگار اشعه گاما و القایی و اثر فوتوالکتریک بدست می آید.

ستون ۵: مقادیر قرائت شده تخلخل چگالی و نوترون^۵ و همچنین میزان گل جداره ای^۶ در چاه را نشان می دهد.

ستون ۶: نمایش دهنده جریان دینامیکی^۷ است که در هر اینچ مقدار جریان اندازه گیری شده را نشان می دهد و امکان شناسایی پدیده های کوچک مقیاس را فراهم می آورد.

ستون ۷: نمایش دهنده ی جهت^۸ پدیده های صفحه ای^۹ است که در شکل زیر یک نمونه ارایه شده است (۶).

¹ Static current map image

² Major lithologic features

³ LLS,LLM,LLD

⁴ Depth and lithology indicator

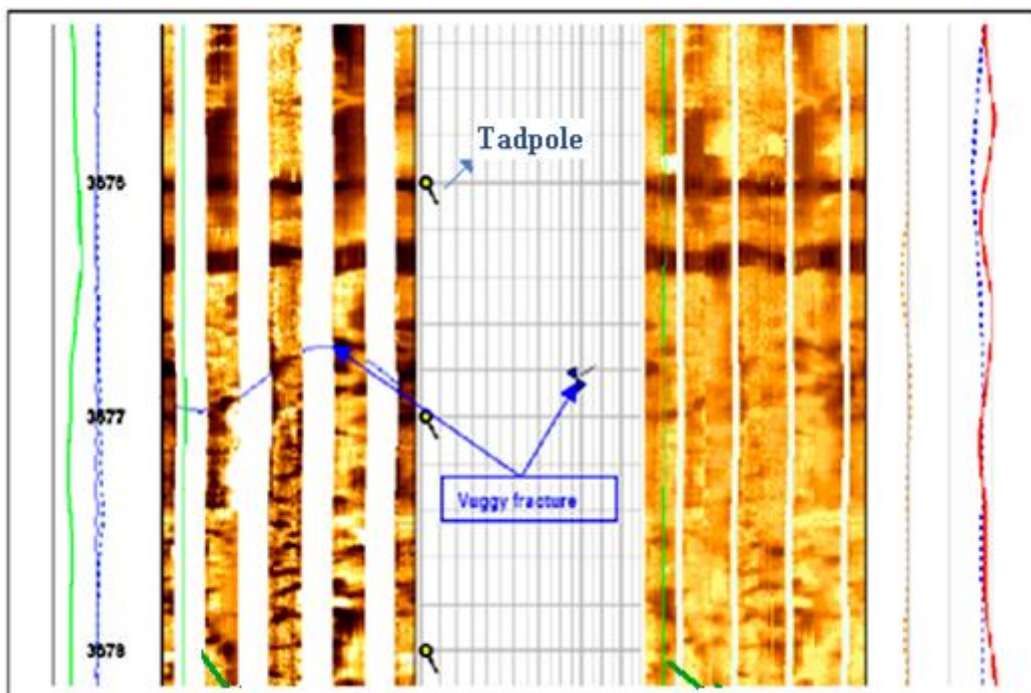
⁵ Neutron and density porosity

⁶ Mudcake

⁷ Dynamic current map

⁸ Tadpole plots

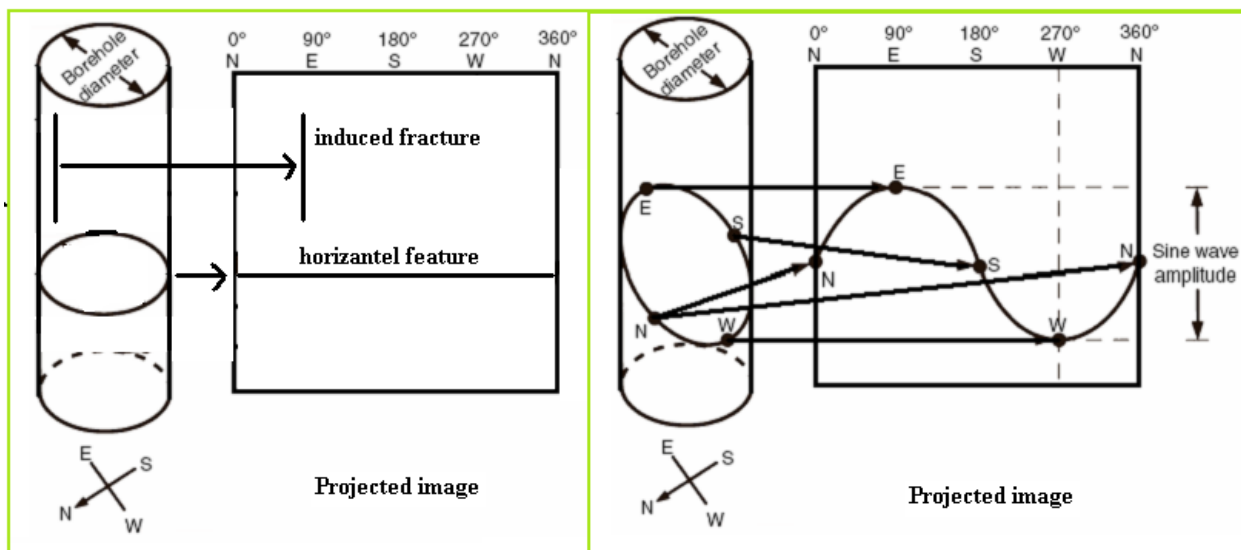
⁹ Planar feature



شکل ۴-۲. نمایش جهت پدیده های صفحه ای (۶)

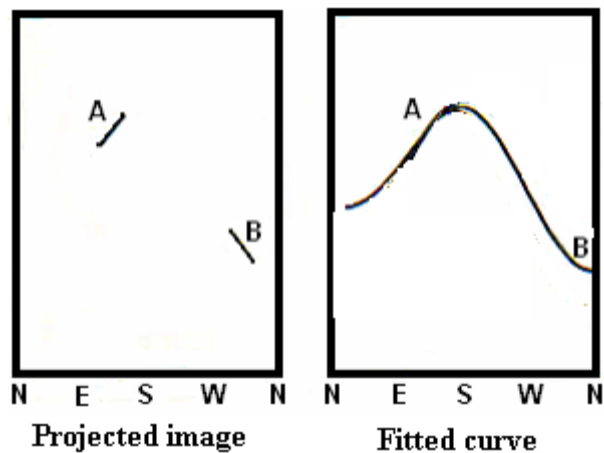
پدیده های صفحه ای افقی که به طور عمودی دهانه چاه را قطع کنند، در شکل تصویر شده ی^۱ FMI به صورت صورت خط افقی است و پدیده هایی که در راستای امتداد چاه^۲ است، مانند شکستگی های القایی^۳ طی حفاری حفاری چاه، به صورت خطوط عمودی و مستقیم اند. سایر پدیده ها که مورب دهانه ی چاه را قطع می کنند، به صورت موج سینوسی ظاهر می شوند. در این تحقیق با توجه به ویژگی های این موج سینوسی، شیب و آزیموت شکستگی محاسبه شده است.

¹ Projected image
² Along the borehole
³ Induced fractures



شکل ۴-۳. حالت پدیده های افقی، عمودی و دارای شیب نسبت به امتداد چاه در شکل تصویر شده (۶)

اگر موج سینوسی به هر دلیلی از جمله پر شدن توسط مواد غیر رسانا به طور کامل دیده نشود، در ابتدا منحنی سینوسی بر این موج منطبق نموده و سپس از این منحنی منطبق شده^۱ برای استخراج اطلاعات مورد نیاز استفاده می شود.



شکل ۴-۴. انطباق منحنی سینوسی بر تصویر ناقص شکستگی

¹ Fitted curve

۲.۴. انواع شکستگی ها

۱.۲.۴. شکستگی باز: این نوع شکستگی به صورت منحنی با مقاومت کم (رنگ تیره) و حاوی گل حفاری نفوذ یافته، آب سازندی و یا رُس^۱ می باشد. اگرچه به طور دقیق مشخص نمی شود که شکستگی با رُس پر شده یا برای عبور سیال باز است، ولی فرض بر این است که تمامی این نوع شکستگی ها باز هستند (شرایط ایده آل). در صورتی که بعضی از قسمت های شکستگی با سیمان پر شده باشد به آن شکستگی نیمه مسدود^۲ گویند که در اثر عملیات حفاری ممکن است این بخش ها نیز باز شوند.

۲.۲.۴. شکستگی مسدود^۳: شکستگی های مقاوم به شکل موج سینوسی و به رنگ سفید (با روشن) ظاهر می شوند. این شکستگی ها در ابتدا باز بوده اند اما توسط سیمان های مقاوم سیلیسی^۴ و کربنات کلسیم پر شده اند و از موانع تراوایی سازند به شمار می آیند. به دلیل قطع شدن جریان پیوسته ی دستگاه FMI، در اطراف این شکستگی ها هاله ای^۵ دیده می شود (شکل ۴-۵).

۳.۲.۴. شکستگی القاشده طی عملیات حفاری^۶: طی حفاری چاه به دلیل تنش وارده بر دیواره چاه ممکن است شکستگی هایی ایجاد شود که به طور عمده عمودی هستند، بنابراین در تصویر های FMI به شکل موج سینوسی نبوده و خطوطی عمودی را ایجاد می کنند.

¹ Clay

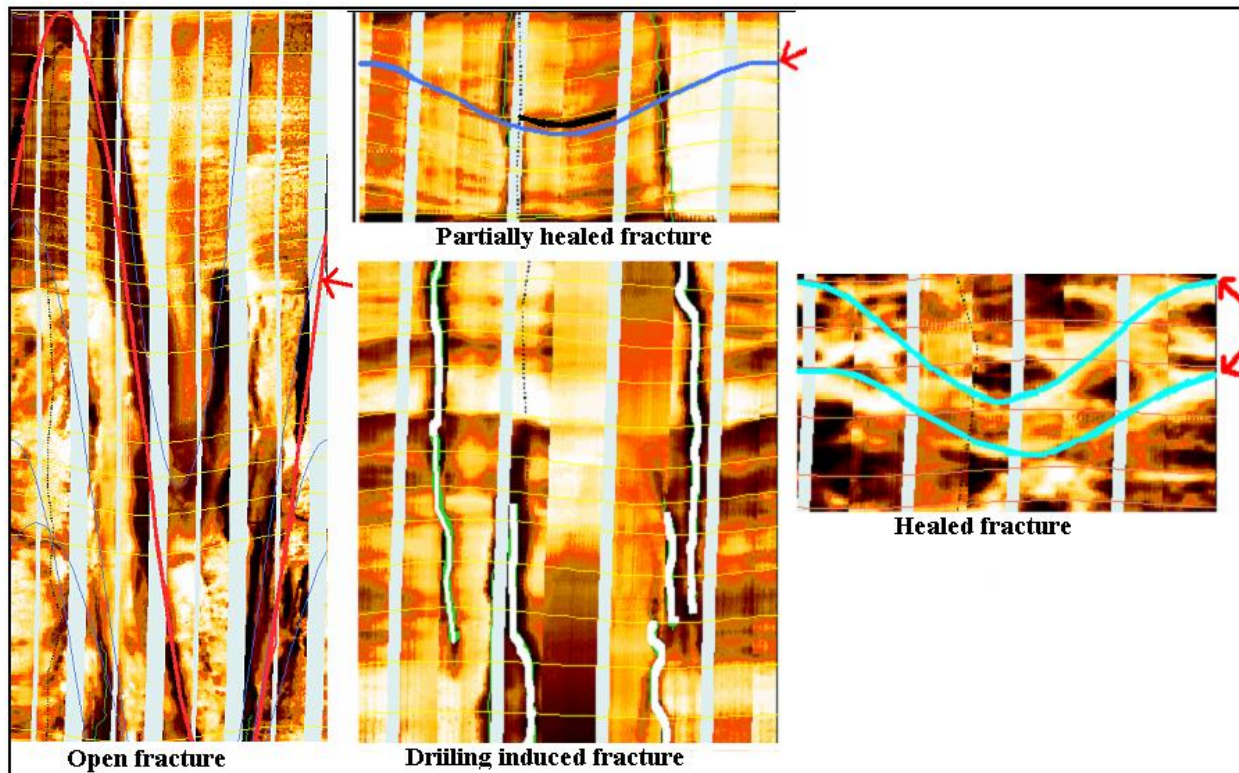
² Partially Healed Fractures

³ Healed Fractures

⁴ Quartz

⁵ Halo effect

⁶ Drilling Induced Fractures



شکل ۴-۵. نمونه هایی از انواع شکستگی ها در تصاویر FMI از چاه 48-X-28 در Teapot Dome, Wyoming (۶)

۳.۴. مراحل شناسایی شکستگی ها

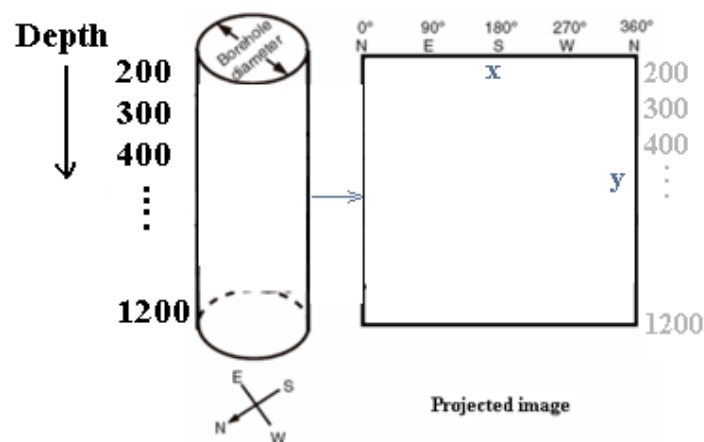
پس از بیان عملیات مقدماتی صورت گرفته روی تصاویر FMI در فصل قبل، در این بخش نتایج شناسایی الگوی شبه سینوسی شکستگی ها ارائه خواهد شد. لازم به ذکر است که هدف اصلی، تعیین شیب و آزیموت شکستگی هاست، بنابراین شکستگی های افقی و عمودی (القا شده در اثر حفاری) که دارای شیب مشخص (به ترتیب صفر و ۹۰ درجه) و بدون آزیموت هستند در این بررسی قرار نمی گیرد. از طرفی شکستگی های باز و مسدود هر دو به شکل موج سینوسی ظاهر می شوند و تفاوت اصلی آن ها در تصاویر FMI در رنگ آنهاست و روش تعیین شیب و آزیموت برای آن ها یکسان است. از اینرو به دلیل اهمیت شکستگی های باز در تعیین تراوایی سازند و حرکت سیال، روی این شکستگی ها متمرکز خواهیم شد. توجه شود که شکستگی های نیمه مسدود با منطبق

نمودن منحنی سینوسی مناسب و بررسی این منحنی مورد مطالعه قرار می گیرند و غالب شکستگی ها از این نوع می باشند.

مرحله ی نخست در شناسایی شکستگی ها، استخراج نقاط با مقاومت ویژه پایین از تصویر است که به طور کامل در فصل قبل بیان شد. از آنجا که شکستگی همواره در تمام بخش های تصویر وجود ندارد، به منظور کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت پردازش، لازم است محدوده ای از تصویر که دربردارنده ی شکستگی (موج سینوسی یا بخشی از این موج) است، برای پردازش انتخاب شود.

تصویر حاصل که نمایش دهنده ی بخش های با مقاومت ویژه پایین (تیره) است، از سه پارامتر تشکیل شده است: دو بردار x و y که مشخص کننده موقعیت هر نقطه در تصویر است و ماتریس $f(x,y)$ که مقادیر هر نقطه را نشان می دهد و با توجه به حد آستانه به کار رفته در این تحقیق، شامل مقادیر ۲۵۵ برای نقاط مشخص کننده شکستگی و مقاومت ویژه پایین و مقادیر صفر برای نقاط زمینه است، بنابراین شکستگی در تصویر ۸ بیتی حاصل به صورت موج سفید یا بخشی از این موج (در شکستگی نیمه مسدود) می باشد.

مقدار x در شکل تصویر شده ی FMI بین صفر تا ۳۶۰ درجه است و در حقیقت محیط حلقه ی چاه بوده و مکان نقاط در دهانه چاه را در عمقی خاص نشان می دهد. مقدار y نیز عمق چاه را نشان می دهد.



شکل ۴-۶. تشریح پارامترهای x و y

از آنجا که برای بررسی ویژگی های موج شبه سینوسی یا منحنی منطبق شده باید این سه پارامتر را به دو بردار که در بردارنده ی این موج است، تبدیل نمود، بنابراین الگوریتمی ارایه می شود که با ترکیب این سه مؤلفه، دو بردار X و Y در خروجی خود ایجاد می کند که رسم نمودن این دو، نسبت به یکدیگر توسط دستور $\text{plot}(X,Y)$ نمایش دهنده شکل موج یا منحنی منطبق شده است. به طور خلاصه طی این مراحل، تصویر ۸ بیتی مشخص کننده ی شکستگی استخراج شده، به دو بردار X و Y تبدیل می شود که ورودی های جعبه ابزار cftool^1 برای استخراج ویژگی های منحنی شبه سینوسی است.

در مرحله ی بعد نقاط شاخصی بر روی هر منحنی سینوسی انتخاب می شود و عمل انطباق تحت تابع سینوسی انجام می شود. با توجه به آزمون های انجام گرفته برای انطباق دادن، باید حداقل از حاصل جمع دو تابع سینوس برای انطباق استفاده کرد. از یک سو برای کاهش پارامتر های بکار رفته در تابع انطباق که موجب کاهش حجم عملیات صورت گرفته و تعداد نقاط شاخص انتخابی می شود و از سوی دیگر به دلیل انطباق بالا برای حالت حاصل جمع دو تابع سینوس ($R^2 > 0.9$)؛ این حالت، حالت بهینه در نظر گرفته می شود. تابع انطباق به صورت زیر است:

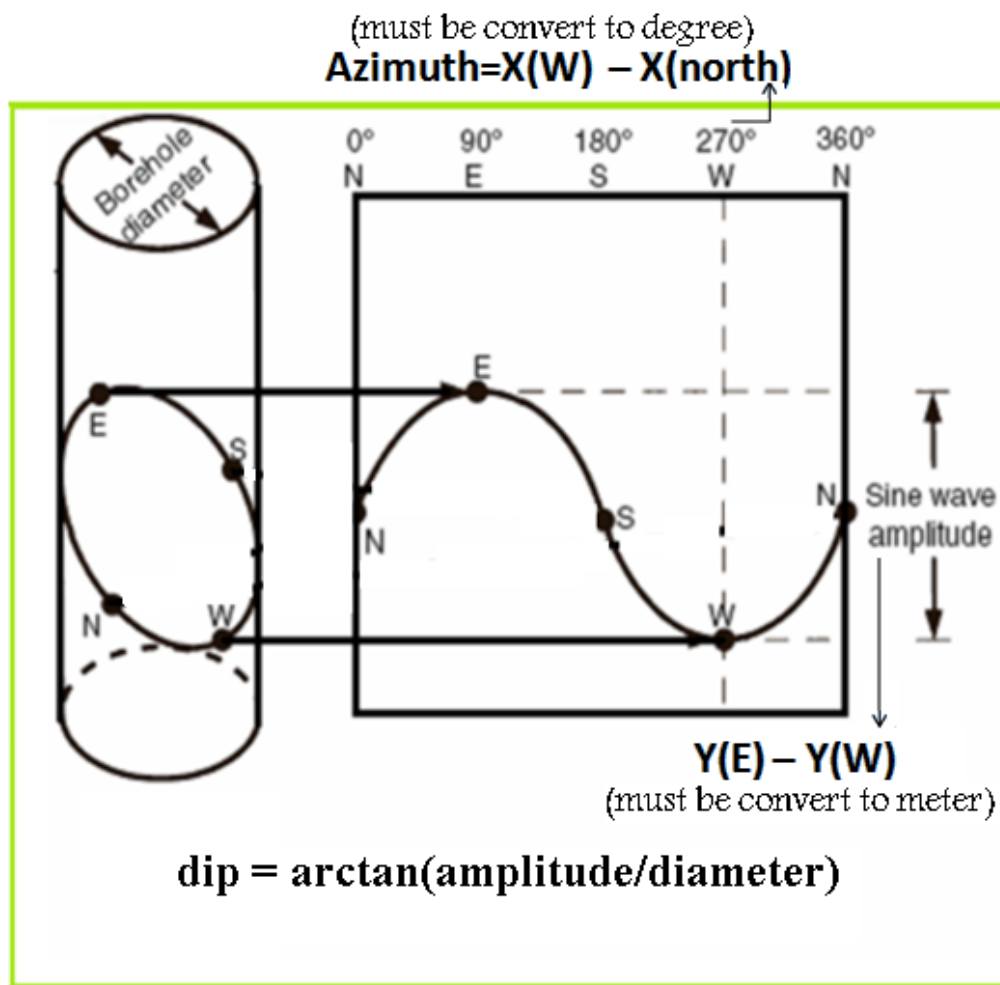
$$Y = a_1 \sin(b_1 X + c_1) + a_2 \sin(b_2 X + c_2) \quad 1-5$$

به دلیل این که شش پارامتر ثابت در تابع بکار رفته است، برای انطباق دادن منحنی، حداقل شش نقطه شاخص باید انتخاب نمود.

برای محاسبه ی شیب شکستگی کافی است اختلاف عمق نقطه ی ورود شکستگی به چاه و خروج از آن، که نقاط بیشینه و کمینه ی موج سینوسی است، را محاسبه و بر قطر چاه تقسیم نمود. این دو نقطه در شکل ۴-۳ معادل نقاط E و W می باشد؛ توسط تابع معکوس تانژانت می توان زاویه ی شیب شکستگی نسبت به افق را بدست آورد. برای تعیین آزمون شکستگی موقعیت x نقطه ی W (نقطه ی کمینه) را تعیین کرده و با توجه به

¹ Curve fitting tool

موقعیت شمال در تصویر، این مشخصه ی شکستگی نیز قابل محاسبه خواهد بود. بنابراین برای محاسبه ی شیب و آزیموت شکستگی، کافی است موقعیت نقاط بیشینه و کمینه ی موج سینوسی، قطر چاه، موقعیت شمال جغرافیایی تصویر، تعداد پیکسل هایی که مشخص کننده یک متر و همچنین تعداد پیکسل هایی که مشخص کننده ۹۰ درجه جغرافیایی در تصویر است را مشخص نمود که توسط جعبه ابزار cftool و دستور imtool تمام این داده ها قابل دست یابی خواهند بود.

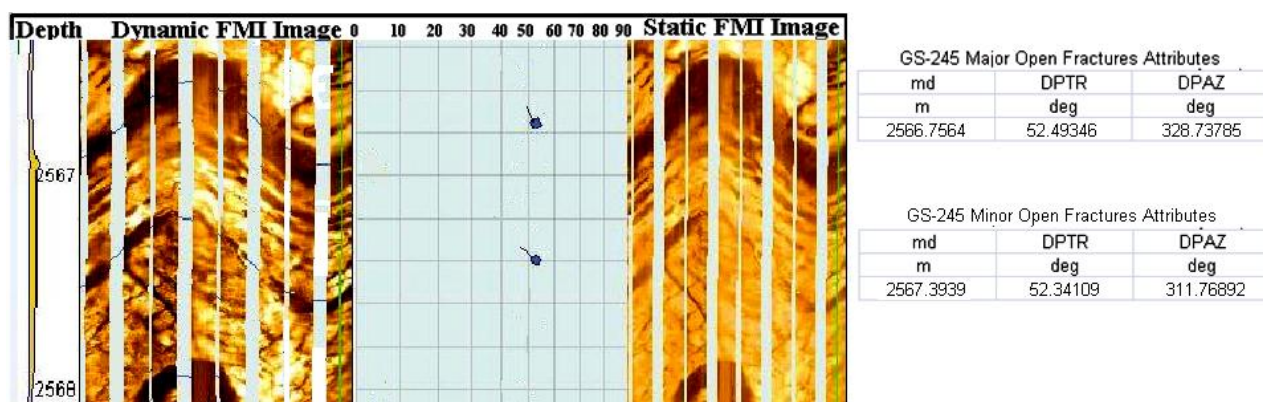


شکل ۴-۷. تشریح نحوه دستیابی به شیب و آزیموت شکستگی

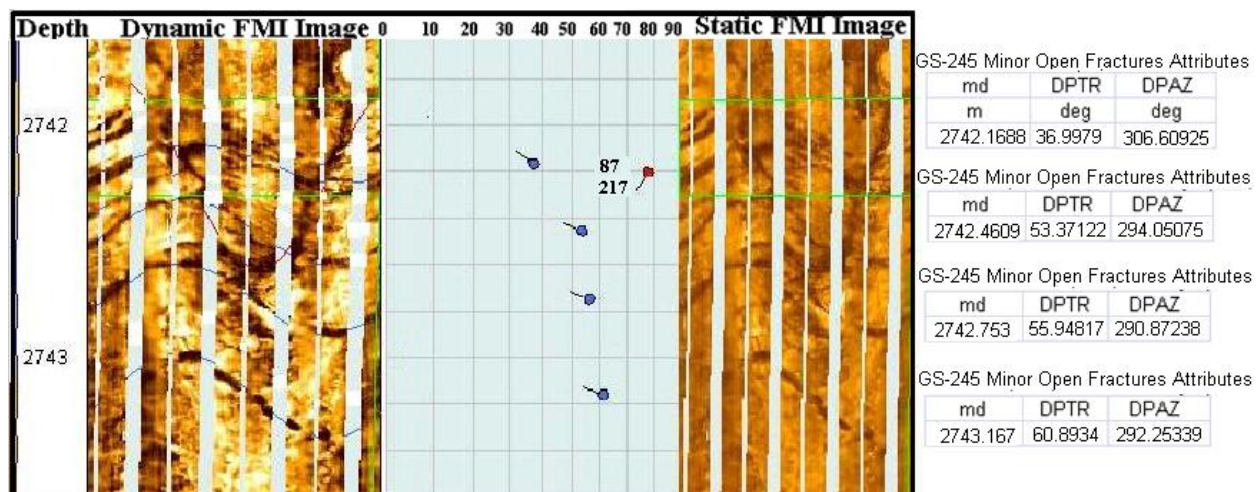
۴.۴. نتایج بدست آمده و مقایسه با تفسیر های موجود

۱.۴.۴. داده ها

در این تحقیق دو تصویر FMI مورد استفاده قرار گرفته است. یکی از تصاویر مربوط به سازند سورمه در یکی از میداین نفتی جنوب ایران و دیگری مربوط به چاه شماره ۲۴۵ میدان نفتی گچساران است. مراحل بیان شده برای بدست آوردن شیب و آزیموت، در شکل های ۴-۸ و ۴-۹ برای چند پدیده صفحه ای به عنوان نمونه آمده است.

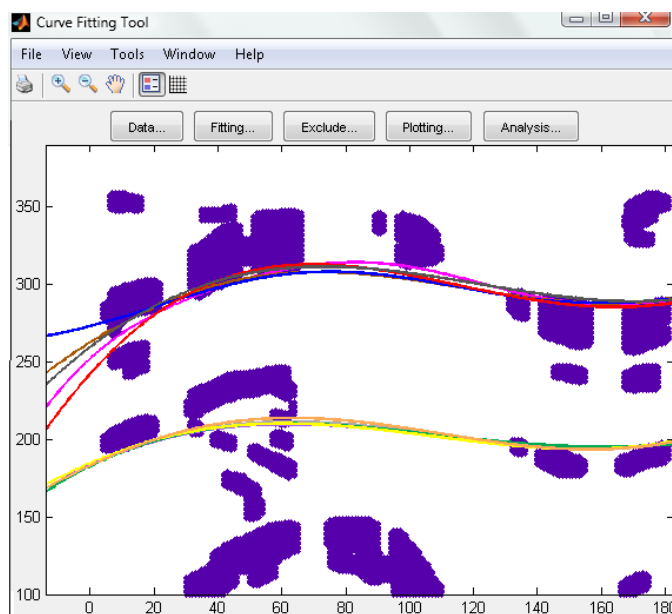


شکل ۴-۸. شکستگی های موجود در عمق ۲۶۶۶ متری مربوط به چاه شماره ۲۴۵ میدان نفتی گچساران

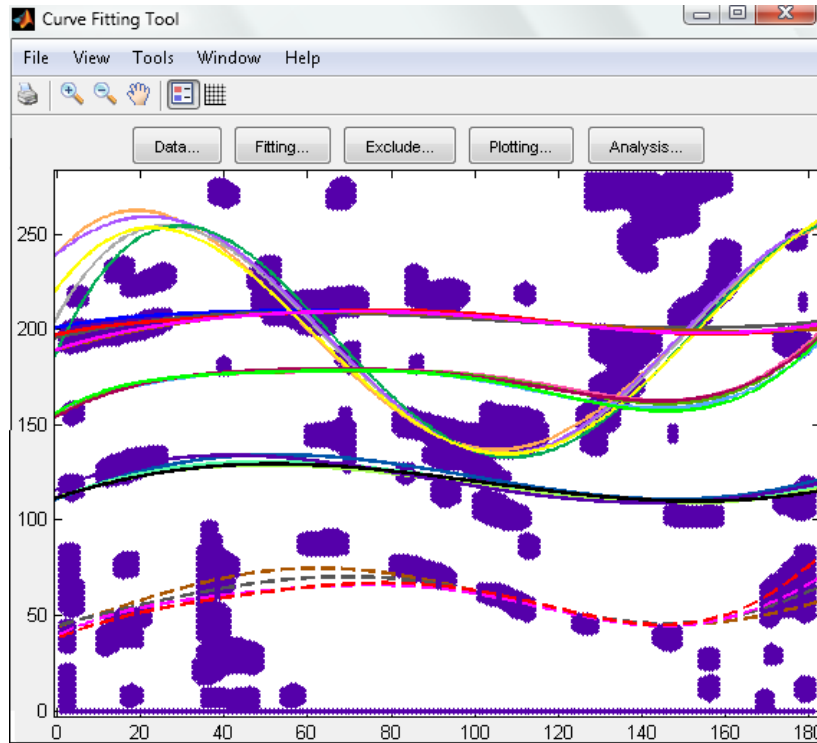


شکل ۴-۹. شکستگی های موجود در عمق ۲۷۴۲ متری مربوط به چاه شماره ۲۴۵ میدان نفتی گچساران

در شکل ۴-۱۰ و ۴-۱۱ نتایج حاصل از تطبیق منحنی های حاصل از ترکیب خطی توابع سینوسی نشان داده شده است. پارامترهای استخراج شده از این منحنی ها نیز در جدول ۴-۱ آمده است.



شکل ۴-۱۰. منحنی های منطبق شده پس از انتخاب ۵ مرحله نقطه شاخص



شکل ۴-۱۱. منحنی های منطبق شده پس از انتخاب ۵ مرحله نقطه شاخص

جدول ۴-۱: پارامتر های استخراج شده (x) و ($f(x)$ نقاط بحرانی) از منحنی های نشان داده شده در شکل های ۴-۱۰ و ۴-۱۱

مرحله پنجم		مرحله چهارم		مرحله سوم		مرحله دوم		مرحله اول		پارامتر	عمق (متر)	پدیده
Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.	Min.	Max.			
۱۵۵/۳	۷۱/۴	۱۵۰/۹	۵۸/۲	۱۵۷/۵	۷۶/۳	۱۵۸/۸	۶۲/۸	۱۵۶/۶	۷۸/۵	x	۲۷۴۲/۲	شکستگی
۱۹۷/۹	۲۰۹/۴	۲۰۰/۷	۲۰۸/۷	۱۹۸/۸	۲۰۹/۸	۱۹۸/۲	۲۰۹/۸	۱۹۷/۴	۲۰۹/۹	f(x)		
۱۰۸/۹	۲۹/۵	۱۰۶/۹	۲۲	۱۰۷/۱	۲۶/۱	۱۰۵/۲	۱۹/۱	۱۰۷/۵	۲۲/۷	x	۲۷۴۲/۳	لایه رسانا
۱۳۲/۸	۲۵۴/۲	۱۳۴/۵	۲۵۸/۹	۱۳۴/۸	۲۵۴/۳	۱۳۶/۸	۲۶۲/۳	۱۳۴/۶	۲۵۳/۲	f(x)		
۱۴۵/۶	۷۶	۱۴۴/۲	۶۶/۲	۱۴۶	۷۰/۴	۱۴۵/۳	۷۸/۳	۱۴۴	۶۶/۳	x	۲۷۴۲/۵	شکستگی
۱۶۰/۹	۱۷۸/۴	۱۵۸/۶	۱۷۹/۴	۱۵۷/۱	۱۷۸/۴	۱۶۲/۶	۱۷۸/۴	۱۶۲/۳	۱۷۹/۳	f(x)		
۱۵۳	۵۲	۱۴۹/۴	۵۰/۱	۱۴۷/۲	۵۲/۷	۱۴۱/۹	۴۱/۴	۱۴۸/۷	۴۹/۸	x	۲۷۴۲/۷	شکستگی
۱۰۹/۸	۱۲۹/۳	۱۰۹/۶	۱۳۰/۶	۱۱۰/۹	۱۳۴/۳	۱۰۹/۱	۱۳۳/۹	۱۰۸/۷	۱۲۸/۸	f(x)		
۱۴۵/۴	۷۵/۴	۱۴۵/۸	۶۹/۳	۱۴۷/۸	۶۲/۶	۱۴۴/۹	۷۸/۴	۱۴۴/۸	۴۷/۹	x	۲۷۴۳/۲	شکستگی
۴۴/۶	۶۵/۹	۴۵/۷	۷۰/۳	۴۵/۳	۷۴/۸	۴۵/۱	۶۶/۹	۴۳/۳	۷۶/۱	f(x)		
۱۶۲	۸۲/۹	۱۷۰	۷۳/۱	۱۶۱/۵	۷۱/۴	۱۵۸/۸	۷۵/۳	۱۶۴/۷	۶۹/۷	x	۲۵۶۶/۷	شکستگی
۲۸۷/۱	۳۱۴/۲	۲۸۸/۹	۳۱۱/۴	۲۸۷/۷	۳۰۷/۸	۲۸۷/۹	۳۰۸/۱	۲۸۵/۳	۳۱۲/۸	f(x)		
۱۶۱	۶۱/۴	۱۵۶/۱	۶۱/۸	۱۵۷/۳	۶۲/۹	۱۵۶/۷	۶۳/۳	۱۵۴/۲	۶۰/۴	x	۲۵۶۷/۴	شکستگی
۱۹۵/۲	۲۱۰/۲	۱۹۳/۸	۲۰۹/۷	۱۹۳/۸	۲۱۱/۳	۱۹۳/۴	۲۱۳/۷	۱۹۳/۷	۲۱۰/۲	f(x)		

در جدول ۲-۴ مقادیر شیب و آزیموت برآورد شده با توجه به پارامتر های بدست آمده برای هر پدیده، نشان داده شده است که بیانگر انطباق مناسب آنها با نتایج تفسیر شده می باشد. تفاسیر موجود از طریق پژوهشگاه صنعت نفت در اختیار قرار گرفته است.

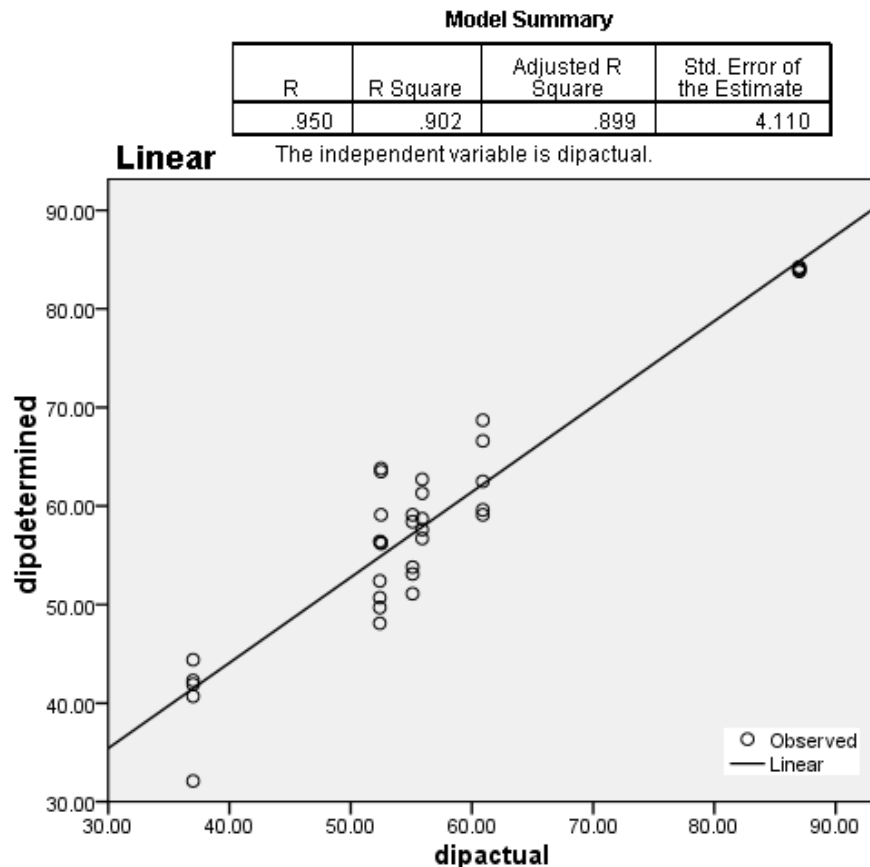
جدول ۲-۴: مقادیر شیب و آزیموت برآورد شده با توجه به پارامتر های بدست آمده برای هر پدیده

پدیده	عمق (متر)	پارامتر	مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	مرحله چهارم	مرحله پنجم	میانگین	مقدار حقیقی	درصد خطا
شکستگی	۲۷۴۲/۲	شیب	۴۴/۴	۴۲/۳	۴۰/۷	۳۲/۱	۴۱/۹	۴۰/۲۸	۳۷	۳/۶
		آزیموت	۳۱۳/۲	۳۱۷/۶	۳۱۵	۳۰۱/۸	۳۱۰/۶	۳۱۱/۶۴	۳۰۶/۶	۱/۴
لایه رسانا	۲۷۴۲/۳	شیب	۸۳/۸	۸۴/۲	۸۳/۹	۸۴/۲	۸۴	۸۴/۱	۸۷	۳/۳
		آزیموت	۲۱۵	۲۱۰/۴	۲۱۴/۲	۲۱۳/۸	۲۱۷/۸	۲۱۴/۳	۲۱۷	۰/۸
شکستگی	۲۷۴۲/۵	شیب	۵۳/۱	۵۱/۱	۵۹/۱	۵۸/۴	۵۳/۸	۵۵/۱	۵۳/۴	۱/۹
		آزیموت	۲۸۸	۲۹۰/۶	۲۹۲	۲۸۸/۴	۲۹۱/۲	۲۹۰/۱	۲۹۴/۱	۱/۱
شکستگی	۲۷۴۲/۷	شیب	۵۷/۶	۶۲/۷	۶۱/۳	۵۸/۷	۵۶/۷	۵۹/۴	۵۵/۹	۳/۹
		آزیموت	۲۹۷/۴	۲۸۳/۸	۲۹۴/۴	۲۹۸/۸	۳۰۶	۲۹۶/۱	۲۹۰/۸	۱/۵
شکستگی	۲۷۴۳/۲	شیب	۶۸/۷	۵۹/۶	۶۶/۶	۶۲/۵	۵۹/۱	۶۳/۳	۶۰/۹	۲/۷
		آزیموت	۲۸۹/۶	۲۸۹/۸	۲۹۵/۶	۲۹۱/۶	۲۹۰/۸	۲۹۱/۵	۲۹۲/۳	۰/۲
شکستگی	۲۵۶۶/۷	شیب	۶۳/۸	۵۶/۳	۵۶/۲	۵۹/۱	۶۳/۵	۵۹/۸	۵۲/۵	۸/۱
		آزیموت	۳۲۹/۴	۳۱۷/۶	۳۲۳	۳۴۰	۳۲۴	۳۲۶/۸	۳۲۸/۷	۰/۵
شکستگی	۲۵۶۷/۴	شیب	۵۰/۷	۵۶/۴	۵۲/۴	۴۹/۷	۴۸/۱	۵۱/۵	۵۲/۴	۱
		آزیموت	۳۰۸/۴	۳۱۳/۴	۳۱۴/۶	۳۱۲/۲	۳۲۲	۳۱۴/۲	۳۱۱/۷	۰/۷

جدول ۳-۴: مقدار متوسط خطا در برآورد شیب و آزمون

پارامتر	شکستگی ۱	لایه رسانا	شکستگی ۲	شکستگی ۳	شکستگی ۴	شکستگی ۵	شکستگی ۶	میانگین خطا
درصد شیب	۳/۶	۱	۳/۳	۱/۹	۳/۹	۲/۷	۸/۱	۳/۵
درصد خطا آزمون	۱/۴	۰/۷	۰/۸	۱/۱	۱/۵	۰/۲	۰/۵	۰/۸۸

همان طور که در دو شکل زیر مشاهده می شود، میزان انطباق نتایج برآورد شده با مقادیر حقیقی بسیار مناسب است به طوری که مقدار ضریب انطباق^۱ برای شیب و آزمون به ترتیب بیش از ۹۰ و ۹۷ درصد است.

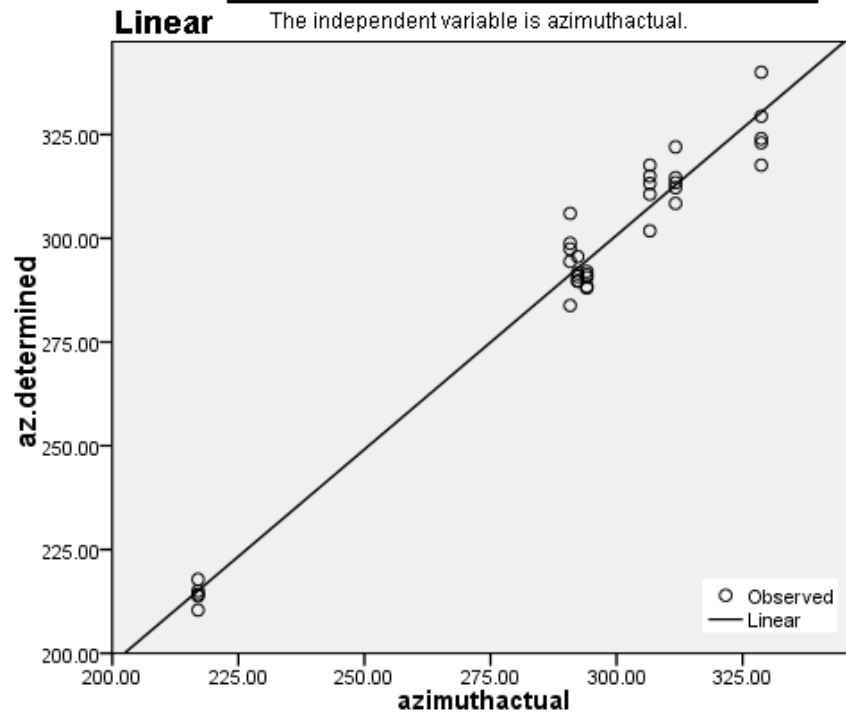


شکل ۴-۱۲. میزان انطباق روند کلی شیب های برآورد شده با نتایج تفسیر شده

¹ Correlation coefficient (R square)

Model Summary

R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
.985	.970	.969	6.156



شکل ۴-۱۳. میزان انطباق روند کلی آزیموت های برآورد شده با نتایج تفسیر شده

۲.۴.۴. درجه اطمینان برای منطبق بودن داده ها و بهبود آن ها

برای بررسی میزان انطباق، تفاضل نتایج بدست آمده و نتایج حقیقی مورد بررسی قرار می گیرد. در صورت صفر شدن حاصل این تفاضل، بیان می شود که نتایج، دارای انطباق هستند. در صورت وارد کردن مقدار صفر برای آزمایش T که در شکل ۲۵.۵ نشان داده شده است، در این نرم افزار، فرض H_0 ، صفر بودن میانگین تفاضل ها و انطباق نتایج است و فرض H_1 ، صفر نبودن میانگین تفاضل ها است. پارامتری که رد یا قبول شدن فرض H_0 را مشخص می کند، Sig می باشد که حالتی از احتمال بوده و مساحت زیر منحنی توزیع نرمال را مشخص می کند (مساحت کل برابر ۱ و همان احتمال صد در صد را نشان می دهد). برای قبول فرض H_0 با درجه اطمینان ۰/۹۵ (۹۵ درصد)، کافی است $Sig > ۰/۰۵$ باشد. اگر این شرط برقرار نباشد بیان می شود که فرض H_0 رد و

H_1 پذیرفته می شود. این بررسی توسط آزمایش T^1 می شود. اما شرط استفاده از این آزمایش اینست که داده های مربوط به تفاضل از توزیع نرمال پیروی کنند. برای تعیین نرمال بودن توزیع داده ها از آزمایش های ناپارامتری^۲ و از نوع کولموگروف-اسمیرنوف^۳ استفاده می شود. در این آزمایش فرض H_0 نرمال بودن داده هاست و در صورتی که $Sig > 0/05$ باشد، این فرض قبول می شود. در این قسمت برای بررسی انطباق داده های بدست آمده برای شیب و آزمون، این روش آماری بکارگرفته می شود تا درجه اطمینان نتایج برآورد شده مشخص شود.

۵.۴. بهبود روش برآورد شیب و آزمون

با توجه به انجام آزمایش های بیان شده، درجه اطمینان در محاسبه شیب و آزمون برای پدیده های تصویر مربوط به سازند سورمه نمی تواند $0/95$ باشد (شکل ۴-۱۵). اگرچه برای محاسبه این دو ویژگی در داده های سازند گچساران، این درجه اطمینان حاصل شده و فرض H_0 قبول شده اما مقدار $Sig < 0/3$ که در شکل ۴-۱۵ آمده، بیانگر پذیرش این فرض با قطعیت بسیار بالا نیست. به همین منظور نتایج برآورد شده با استفاده از عملیات رگرسیون و استفاده از ضرایب خط رگرسیون بهبود داده شده است. این عملیات روی نتایج برآورد شده برای پدیده های موجود در تصویر FMI سازند سورمه انجام گرفته است. آزمایش های ناپارامتری و آزمایش T صورت گرفته روی این تفاضل ها نشان دهنده ی بهبود نتایج و انطباق آن ها با مقادیر حقیقی است و مقدار بالای بدست آمده برای Sig در آزمایش T بیانگر پذیرش فرض H_0 ، یعنی صفر بودن میانگین تفاضل ها و در نتیجه انطباق نتایج با درجه اطمینان $0/95$ است.

در جدول زیر به مقایسه نتایج برآورد شده شیب و آزمون برای دو پدیده به عنوان نمونه پرداخته شده است.

¹ T test

² Nonparametric tests

³ Kolmogorov-smirnov

جدول ۴-۴. نتایج برآورد شده شیب و آزمون برای دو پدیده و کاهش درصد خطا بعد از بهبود نتایج

میدان گچساران (داده آزمایشی)		سازند سورمه (داده آموزشی)		داده
آزمون	شیب	آزمون	شیب	پارامتر
۲۱۵	۷۳	۳۲۰	۲۱	مقدار واقعی
۲۱۲/۸۸	۸۰/۳۶	۳۲۹/۳	۲۲/۶۲	برآورد شده قبل از بهبود (میانگین)
۲۱۳/۵۲۱	۷۷/۸۶۹۵۷	۳۲۶/۰۴	۲۲/۰۸۲۱	برآورد شده بعد از بهبود (میانگین)
-۲/۱۲	۷/۳۶	۹/۳	۱/۶۲	تفاضل ۱ [Difference 1]
-۱/۴۷۹۴۴	۴/۸۶۹۵۷	۶/۰۳۹۶	۱/۰۸۲۱۳	تفاضل ۲ [Difference 2]
%۰/۶	%۸/۲	%۲/۶	%۱/۸	درصد خطا ۱
%۰/۴	%۵/۴	%۱/۷	%۱/۲	درصد خطا ۲

۴-۶. آزمایش روش بهبود یافته توسط نمونه آزمایشی^۱

روش بهبود یافته توسط شیب و آزمون های برآورد شده برای پنج پدیده استخراج شده از تصویر FMI مربوط به چاه شماره ۲۴۵ میدان نفتی گچساران آزمایش شده است. همانطور که در شکل های ۴-۱۴ و ۴-۱۵ نشان داده شده است، مقادیر تفاضل قبل و بعد از بهبود برای هر دو تصویر FMI دارای توزیع نرمال اند و می توان از آزمایش T برای بررسی صفر شدن میانگین آن ها استفاده کرد. با توجه به مقادیر Sig، درجه اطمینان ۰/۹۵ برای شیب و آزمون های برآورد شده ی پدیده های موجود در تصویر آموزشی (تصویر FMI سازند سورمه) بدست نیامده است که پس از بهبود نتایج، این هدف محقق شده است.

اگر چه نتایج بدست آمده برای نمونه آزمایشی (تصویر FMI میدان نفتی گچساران) بیانگر درجه اطمینان ۰/۹۵ است ($Sig > ۰/۰۵$)، اما مقادیر Sig بدست آمده برای نتایج برآورد شده ی این تصویر بیانگر بالا رفتن قطعیت انطباق نتایج برآورد شده بعد از بهبود است (شکل ۴-۱۶). کاهش میزان خطا در برآورد نتایج برآورد شده بعد از بهبود برای نمونه آزمایشی، تأیید کننده صحت روش بکار گرفته شده برای بهبود نتایج است. مطابق جدول ۴-۵

¹ Test sample

متوسط درصد خطا در برآورد شیب نمونه آزمایشی از ۳/۳۶ به ۲/۹۲ و در برآورد آزمون از ۰/۵۶ به ۰/۴۵ کاهش یافته است.

→ NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Difference1Di p0Surmeh	Difference2Di p0Surmeh	Difference1Azi muth0Surme h	Difference2Azi muth0Surme h
N		35	35	35	35
Normal Parameters ^a	Mean	.7886	-.0217	2.7686	.9823
	Std. Deviation	1.92014	1.75924	7.00411	7.11259
Most Extreme Differences	Absolute	.115	.132	.147	.163
	Positive	.115	.132	.075	.082
	Negative	-.081	-.074	-.147	-.163
Kolmogorov-Smirnov Z		.679	.781	.871	.964
Asymp. Sig. (2-tailed)		.746	.576	.434	.311

a. Test distribution is Normal.

شکل ۴-۱۴. نرمال بودن توزیع مقادیر تفاضل ۱ و ۲ برای داده های آموزشی با توجه به مقدار Sig بدست آمده

→ NPar Tests

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Difference1Di p0Gachsaran	Difference2Di p0Gachsaran	Difference1Azi muth0Gachsa ran	Difference2Azi muth0Gachsa ran
N		25	25	25	29
Normal Parameters ^a	Mean	1.5880	-.4347	-.7960	-.2270
	Std. Deviation	4.33189	4.22346	3.36644	3.21738
Most Extreme Differences	Absolute	.188	.175	.150	.140
	Positive	.188	.175	.150	.140
	Negative	-.149	-.169	-.122	-.129
Kolmogorov-Smirnov Z		.938	.876	.751	.752
Asymp. Sig. (2-tailed)		.343	.427	.626	.624

a. Test distribution is Normal.

شکل ۴-۱۵. نرمال بودن توزیع مقادیر تفاضل ۱ و ۲ برای داده های آزمایشی با توجه به مقدار Sig بدست آمده

One-Sample Test

DATA		Test Value = 0				
		t	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
					Lower	Upper
Surmeh Trained data	Difference1Dip0Surmeh	2.430	.021	.78857	.1290	1.4482
	Difference2Dip0Surmeh	-.073	<u>.942</u>	-.02167	-.6260	.5827
	Difference1Azimuth0Surmeh	2.338	.025	2.76857	.3626	5.1746
	Difference2Azimuth0Surmeh	.817	<u>.420</u>	.98232	-1.4609	3.4256
Gachsaran Test data	Difference1Dip0Gachsaran	1.833	.079	1.58800	-.2001	3.3761
	Difference2Dip0Gachsaran	-.515	<u>.612</u>	-.43469	-2.1780	1.3087
	Difference1Azimuth0Gachsaran	-1.182	.249	-.79600	-2.1856	.5936
	Difference2Azimuth0Gachsaran	-.380	<u>.707</u>	-.22697	-1.4508	.9969

شکل ۴-۱۶. افزایش درجه اطمینان به انطباق نتایج با واقعیت تا ۹۵ درصد برای تمامی مقادیر برآورد شده بعد از بهبود

مطابق جدول ۴-۵ کاهش متوسط میزان خطا در برآورد نتایج برآورد شده بعد از بهبود برای نمونه آزمایشی تأیید کننده صحت روش بکار گرفته شده برای بهبود نتایج است.

جدول ۴-۵. آزمایش روش بهبود یافته توسط پنج نمونه آزمایشی و تأیید کاهش درصد خطا در برآورد شیب و آزمون

پدیده	مقدار واقعی	میانگین مقادیر برآورد شده	میانگین مقادیر بهبود یافته	متوسط درصد خطا برای مقادیر بهبود یافته	متوسط درصد خطا برای مقادیر برآورد شده
برآورد شیب	لایه رسانا	۷۳	۸۰/۴	۷۷/۸	۸/۲۳
	لایه بندی	۵۳/۴	۵۵/۱	۵۳/۵	۱/۸۹
	شکستگی ۱	۵۲/۴	۵۱/۵	۴۹/۹	۱/۱
	شکستگی ۲	۶۰/۹	۶۳/۳	۶۱/۴	۲/۶۷
	شکستگی ۳	۸۵	۸۲/۴	۷۹/۸	۲/۸۹
	میانگین خطا			۲/۹۲	۳/۳۶
برآورد آزمون	لایه رسانا	۲۱۵	۲۱۲/۹	۲۱۳/۵	۰/۵۸
	لایه بندی	۲۹۴/۱	۲۹۰/۱	۲۹۰/۹	۱/۱۲
	شکستگی ۱	۳۱۱/۷	۳۱۴/۲	۳۱۵/۱	۰/۶۹
	شکستگی ۲	۲۹۲/۳	۲۹۱/۵	۲۹۲/۴	۰/۲۳
	شکستگی ۳	۲۱۸	۲۱۷/۴	۲۱۸/۱	۰/۱۷
	میانگین خطا			۰/۴۵	۰/۵۶

نتیجه گیری و پیشنهادات

الگوریتم ارزیابی شده در این تحقیق از توانایی بالایی در تشخیص مهم ترین مشخصه های شکستگی، یعنی شیب و آزیموت، برخوردار است. با توجه به نتایج بدست آمده که در جدول و نمودار های بخش پایانی آمده است و مقایسه این نتایج با تفسیر های موجود، این الگوریتم با دقت بسیار زیادی شیب و آزیموت شکستگی ها را مشخص نموده است؛ به طوری که متوسط درصد خطای نتایج در تعیین شیب شکستگی $3/5$ درصد و در تعیین آزیموت شکستگی کمتر از $0/9$ درصد می باشد. روند های بدست آمده نشان دهنده ی انطباق بیش از 90 درصد در برآورد شیب و 97 درصد در برآورد آزیموت است. علاوه بر این با توجه به روند خاص نتایج بدست آمده، توسط بکارگیری ضرایب رگرسیون خطی، درجه اطمینان نتایج بدست آمده به حد 95 درصد رسانده شد و در مواردی که این درجه اطمینان حاصل شده بود، قطعیت در صحت نتایج برآورد شده برای شیب و آزیموت تا حد بسیار بالایی افزایش داده شد. نتایج حاصل از بهبود، بیانگر کاهش متوسط درصد خطا در برآورد ویژگی های اصلی شکستگی است؛ به طوری که این کاهش در برآورد شیب $0/44$ درصد یعنی از $3/36$ به $2/92$ درصد و در برآورد آزیموت $0/11$ درصد یعنی از $0/56$ به $0/45$ درصد است.

با توجه به نتایج مناسب بدست آمده ، پیشنهاد می شود جهت تکمیل این روش به منظور تعیین میزان بازشدگی شکستگی^۱ مطالعاتی صورت گیرد تا بتوان علاوه بر مدل سازی دقیق تر شکستگی های مخارن هیدروکربوری، جهت ارائه بهترین روش های ازدیاد برداشت گام های مؤثری برداشت.

¹ Fracture aperture

- ١- Gonzalez R.C. and Woods R.E. (2002), '**Digital Image Processing**', Second Edition, Chapters 1, 2, 3, 6, and 9. Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, New Jersey, Publisher: Tom Robbins.
- ٢- Gonzalez R.C. and Woods R.E. and Eddins S.L (2004), '**Digital Image Processing using MATLAB**', Chapters 2, 3, and 9 Prentice-Hall, Inc. Upper Saddle River, Publisher: Tom Robbins.
- ٣- Yin X.Ch. and Wang Zh.B. and Liu Q. and Hao H.W. and Kaizhu H.,(2010), '**FMI image based rock structure classification using classifier combination**', Springer -Verlag London.
- ٤- Mark of Schlumberger (2002), '**FMI Borehole geology, geomechanics and 3D reservoir modeling**', Schlumberger
- ٥- McMahon D. (2007), '**MATLAB Demystified**', Chapters 2, 3, and 10, ebook published by McGraw-Hill Co.
- 6- Schwartz B.C. (2006), '**Fracture Pattern Characterization of the Tensleep Formation, Teapot Dome, Wyoming**', Masters Thesises, pages 107-121, Department of Geology and Geography Morgantown, West Virginia
- ٧- Help of MATLAB Software
- ٨- Francus P. (2004), '**Image Analysis, Sediments and Paleoenvironments**', Volume 7, pages 1-59, Springer's eBookstore.
- ٩- Karimpouli S., Fathianpour N., Roohi J. (2010), '**A new approach to improve neural networks' algorithm in permeability prediction of petroleum reservoirs using supervised committee machine neural network (SCMNN)**', Elsevier paper, Isfahan University of Technology, Iran.

۱۰- Huang Y., Gedeonb T. D. and Won P. M. (2008), '**An integrated neural-fuzzy-genetic-algorithm using hyper-surface membership functions to predict permeability in petroleum reservoirs**', paper 2008, Sydney, Australia.

11- James A., (2000), '**Basics of MATLAB and beyond**', ebook published by CRC Press LLC, Chapters 1 through 8, Corporate Blvd., Boca Raton, Florida, United States.

۱۲- Saemi M., Ahmadi M., Yazdian Varjani A. (2007), '**Design of neural networks using genetic algorithm for the permeability estimation of the reservoir**', Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran

۱۳- Trauth M. H.(2006), '**MATLAB Recipes for Earth Sciences**', First edition, Geoscience book, University of Potsdam, Germany , Springer Berlin Heidelberg, Springer's eBookstore.

۱۴- Serra, O. (1989), '**Formation MicroScanner Image Interpretation**', Petrophysical book, Schlumberger Education Services.

۱۵- Crain E.R. (1978), '**Crain's Petrophysical Handbook**', Chapters 2, 7, 15, and 19, Calgary, Alberta, Schlumberger well surveying corporation.

۱۶- Ning L., Dexing Q., Qingfeng L., Hongliang W., Youshen F., Lixin D., Qingfu F., Kewen W. (2009), '**Theory on logging interpretation of igneous rocks and its application**', Research paper, Petroleum exploration and development, China.

۱۷- Glover P. W.J. and Bormann P. (2006), '**The characterization of trough and planar cross-bedding from borehole image logs**', Journal of Applied Geophysics published by Elsevier.

۱۸- قنواتی ک. (۲۰۰۲) ، "کاربرد نمودارهای تصویرگر در ارزیابی مخازن و تفسیر نمودار FMS"،

سمینار کارشناسی ارشد، دانشکده فنی تهران، مرکز دانشگاه تهران.

Abstract

As the oil and gas exploration becomes gradually complicated, the traditional well logging method has many problems. With limited information, recognizing effective layers and estimating reserves parameters become more and more difficult. In contrast, the Formation Micro Imager (FMI) technology can provide rich information on fractured reservoirs, and most importantly it can be applied to identify fractured reservoirs qualitatively and can help explain them quantitatively.

Iranian reservoirs are mainly carbonate reservoirs in which the fractures have important effect on permeability and petroleum production. . To our knowledge, we rarely find automatic fracture recognition systems with FMI images in the literatures. Consequently, for promoting oil and gas exploration, it is of great significance to develop an efficient and intelligent recognition system using FMI images.

The projection of a planar feature on borehole images will be represented by a sine wave. Because the borehole is very small in relation to Stratigraphic and structural features, when they intersect the borehole, they are nearly planar and assumed to be planar feature, so in this paper we use sine function for fitting the best curve on fracture pattern.

We analyze rock FMI images with very limited samples in a different way by using image processing. There are several key issues in such recognition systems for FMI images. Firstly, the training samples are limited in most cases due to sensitive company data source. Secondly, FMI images are usually of great noises. In practice, even with manual processing, it is very difficult to analyze and classify rock structures without enough expertise. So, some fractures cannot be detected using this algorithm because of great noisy FMI images and also existence of other features and rock textures with low resistivity around fractures which cause the ambiguous condition in processing. Moreover, related references were very limited and we used just few references.

The dip and azimuth of fractures are detected using this algorithm to identify more precise permeability and career of fluid in reservoir. Our algorithm includes three main steps. First, pixels represented fracture are extracted from projected FMI image involve location matrices x and y and corresponding values matrix $f(x,y)$. Then, two vectors X and Y as inputs of CFTOOL of MATLAB are produced by combination of these three matrices. Finally, optimum

combination of sine function is fitted to sine shape of fracture pattern to identify dip and azimuth of fracture. We test our fracture recognition system with real interpretation FMI rock images. In experiments, the average recognition error of our proposed system is about 0.7 % for azimuth detection and less than 3% for dip. The results are improved by statistical analysis so that the confidence level for correlation between real and determined parameters is upgraded to 0.95 (95%). Moreover, this automatic system can significantly reduce the complexity and difficulty in the fracture detection analysis task for the oil and gas exploration.

Key word: Log, Structural, Stratigraphical, Pixel