



مقایسه الگوی هندسی شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران با استفاده از لاگ تصویری FMI و داده‌های سنجش از دور

لقمان صادقی^۱، محمد حسنپورصدقی^۲، علی کدخدائی^۳، فرزاد فتح‌الزاده^۴

^۱ کارشناس ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران looghmansadeghi@gmail.com

^۲ استادیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران hassanpour_mhd@tabrizu.ac.ir

^۳ استاد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، ایران kadhodaie_ali@tabrizu.ac.ir

^۴ کارشناس ارشد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ایران farzadfathollazadeh@gmail.com

چکیده

مطالعه سیستم‌های شکستگی، شناخت هندسه و نحوه گسترش مکانی آن‌ها در سطح و عمق در توسعه میادین نفتی اهمیت زیادی دارد. در این مطالعه با استفاده از تصاویر ریزمقاومت سازندی (FMI) به‌عنوان داده زیرسطحی، شکستگی‌های طبیعی و القایی مرتبط با چین خوردگی و گسلش منطقه‌ای، جهت‌گیری، تراکم، مقدار شیب و روابط آن‌ها با زمین ساخت منطقه مورد بررسی قرار گرفته است. هم-چنین از تصاویر ماهواره‌ای Aster به‌عنوان داده سطحی جهت بارزسازی خطواره‌ها، هندسه آن‌ها و روابط این شکستگی‌ها با زمین ساخت منطقه استفاده شده است. با وجود پیچیدگی‌های زمین‌شناسی میدان مورد مطالعه، جهت‌گیری شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی رابطه روشنی را با محور چین‌خوردگی محلی نشان داده و در برخی موارد به نظر می‌رسد که بیشتر به جهت تنش حداکثر افقی و در محل کنونی یا گسلش امتداد لغز محلی مرتبط باشند. شکستگی‌های سطحی به دلیل فعالیت و ارتباط آن‌ها با تنش تکتونیکی منطقه‌ای و نه فرآیندهای محلی کم‌عمق، منحصر به فرد هستند. نوع غالب خطواره‌ها تقریباً موازی با جهت کوتاه شدگی و در راستای NE-SW قرار دارند که دارای ماهیت کششی هستند و با گسلش امتداد لغز انطباق سینماتیکی دارند. نوع دوم با تراکم کمتری در راستای تنش کمینه افقی بوده و جزو شکستگی‌های عرضی در نظر گرفته می‌شوند.

واژه‌های کلیدی

شکستگی زیرسطحی، خطواره‌های ساختاری، تحلیل تنش، لاگ تصویری، سنجش از دور.



۱. مقدمه

مؤثرترین عامل در افزایش تولید و برداشت از چاه‌های نفت و گاز، وجود پدیده شکستگی و نحوه ارتباط آن‌ها با یکدیگر می‌باشد. شکستگی در سنگ‌های مخزن اهمیت زیادی در افزایش تخلخل و به‌ویژه نفوذپذیری دارد. بنابراین، در تعیین خواص مخزنی به‌خصوص در سنگ‌های کربناته، شکستگی‌ها جایگاه ویژه‌ای دارند. تعیین دقیق محل شکستگی‌ها و مشخص نمودن عمق‌های دارای بیشترین تعداد شکستگی جهت تعیین زون‌های مخزنی با پتانسیل بالای تولید، اجرای حفاری جهت‌دار (انحرافی)، تعیین محل اسید کاری، محل انجام عملیات مشبک کاری و نیز جلوگیری از صرف هزینه‌های گزاف در تکمیل زون‌های مخزنی نامناسب، از اهمیت زیادی برخوردار است. در چاه‌ها، داده‌های مغزه‌ها، اطلاعات تولیدی چاه‌ها و داده‌های دینامیکی مخزن استفاده می‌گردد و در نهایت با تلفیق اطلاعات ذکرشده و از طریق روش‌های آماری و ریاضی، سازوکار ایجاد شکستگی‌ها، روندهای عمومی و الگوهای شکستگی‌های غالب، تعیین می‌شود. این الگوها در ارتباط مستقیم با رژیم تکتونیکی و تنش‌های حاکم بر منطقه می‌باشند.

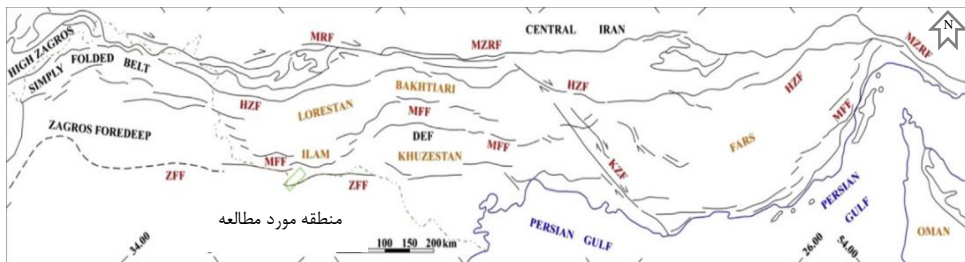
امروزه استفاده از سنجش از دور در مطالعات زمین‌شناسی به موضوعی فراگیر تبدیل شده است. مطالعات سنجش از دور اطلاعات ارزشمندی در مورد ساختارها و پدیده‌های گوناگون زمین‌ساختی در اختیار محققان قرار می‌دهند. عملیات دورسنجی در تحقیقات زمین‌شناسی به دلیل داشتن ویژگی‌هایی از جمله کم‌هزینه بودن، عملکرد بهتر در مقایسه با روش‌های موجود و دسترسی به نتایج در زمان کمتر می‌تواند نقش تعیین‌کننده‌ای در مقایسه با سایر روش‌های معمول ایفا کند و اطلاعات ارزشمندی در مورد ساختارها و واحدهای سنگ چین‌ای منطقه مورد مطالعه ارائه دهد [5].

تنش‌های زمین‌ساختی هم در امتداد سطح زمین و هم درون پوسته عمل می‌کنند. مقدار تنش‌ها به عواملی مانند فرآیندهای زمین‌شناسی، عمق، فشار منفذی، ضریب اصطکاک و مقاومت سنگ بستگی دارد [8]. نمودارهای معمولی ژئوفیزیکی تنها امکان تعیین پارامترهای اصلی مخزن و توزیع سیالات را فراهم می‌کنند. درحالی‌که روش تصویر برداری از چاه به عنوان یک ابزار ارزشمند در شناسایی و تفسیر ویژگی‌های رسوبی، تعیین شیب منطقه‌ای، شناسایی عناصر ساختاری، زمین‌ساختی و همچنین تجزیه و تحلیل شکستگی‌های طبیعی و شکستگی‌های ناشی از عملیات حفاری مربوط به تنش زمین‌ساختی در یک منطقه خاص را ممکن می‌سازد [4]. به‌طور کلی، ۴۰ تا ۸۰٪ از دیواره چاه با قدرت تفکیک ۰/۵ mm توسط نمودار تصویری FMI پوشش داده می‌شود که در این مطالعه از این داده‌ها استفاده شده است.

میدان نفتی مورد مطالعه در استان ایلام و در بیرونی‌ترین قسمت از کمربند چین‌خورده ساده زاگرس در بلوک اکتشافی اناران واقع شده است که سازند سروک سنگ مخزن اصلی آن می‌باشد. اکثر تاق‌دیس‌های منطقه از جمله تاق‌دیس میدان مورد مطالعه، تحت تأثیر منطقه گسلی بالارود واقع شده‌اند به نحوی که یکی از مشتقات گسل بالارود با روند خاورشمال‌خاور-باخترجنوب‌باختر و مؤلفه امتدادلغز چپ‌بر این میدان را متأثر نموده است. ساختار میدان، یک چین ملایم با امتداد شمال‌غرب-جنوب‌شرق در بالای گسل پیش‌ژرفای زاگرس^۱ (ZFF) می‌باشد [6]. گسل جبهه کوهستان^۲ (MFF) با روند شمال‌باختر-جنوب‌خاور از شرق این میدان را تحت تأثیر قرار می‌دهد و به صورت کلی این میدان در قسمت پیش‌ژرفای زاگرس^۳ (ZF) قرار گرفته است (شکل ۱). رخنمون‌های سطحی منطقه به طور عمده از بخش لهری سازند آجاجاری با مقدار کمتری کنگلومرای سازند بختیاری (پلیوسن) تشکیل شده‌اند.

علاوه بر ارزیابی‌های مرسوم، در این مطالعه شکستگی‌های سطحی و زیر سطحی یکی از میادین نفتی جنوب‌غرب از لحاظ هندسه ساختاری نسبت به تنش کمینه و بیشینه میدان و همچنین نسبت به محور چین اصلی میدان دسته‌بندی شده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتیجه این مطالعه موردی می‌تواند درک درستی از وضعیت شکستگی‌ها و انواع آن در مخزن و سطح زمین را فراهم کند و چگونگی توزیع رژیم تنش حاکم را توضیح دهد. مطالعه ترک‌های سطحی فعال می‌تواند به درک بهتر فرآیند شکست فعال و گذشته در کمربند‌های چین‌خورده رانده کمک کند. همچنین سودمندی روند ساختارهای مشاهده شده در استنتاج جهات ساختارها، تنش و عوامل زمین‌ساختی مؤثر بر ایجاد شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی مورد ارزیابی و بحث قرار گرفته است.

1. Zagros Foredeep Fault
2. Mountain Front Fault
3. Zagros Foredeep



شکل ۱. کمربند چین خورده-رانده زاگرس در جنوب غرب ایران و منطقه مورد مطالعه که با مستطیل سبز رنگ مشخص شده است.

۲. روش کار

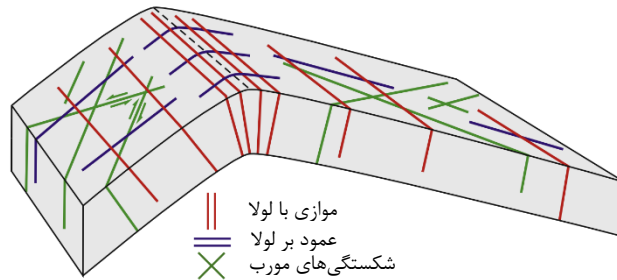
هدف اولیه پردازش کامپیوتری داده های خام مقاومتی، تبدیل داده های خام به بهترین حالت نمایش تصویری است. آماده کردن و استانداردسازی مناسب داده ها با استفاده از الگوریتم های تصحیح خاصی بدست می آید. پردازش داده های FMI دو چاه Wa و Wb میدان مورد مطالعه در نرم افزار ژئولاگ نسخه ۸، با استفاده از کشو تصاویر گمانه (WBI) انجام شد. برای تصحیح تصاویر خام، از ماژول اصلی اصلاح سرعت با استفاده از زمان ثبت تصویر، شتاب و سرعت ابزار در هر عمق محاسبه شد. سپس دو نوع نرمال سازی استاتیک و دینامیک روی تصویر خام اولیه انجام شد. در تصویر دینامیک رگه و شکستگی محسوس تر و در تصویر استاتیک تغییر لایه بندی بهتر دیده می شود. سپس جهت دستیابی به هندسه شکستگی ها و هم چنین تنش کمینه و بیشینه (امتداد، جهت آزیموت و شب)، طبقه بندی ساختارها روی تصویر انجام شد. تمام تفاسیر چاه با استفاده از ترکیبی از تصاویر نرمال شده استاتیک و دینامیک همراه با نمودارهای گاما-ری، مقاومت ویژه و لاگ قطر سنج (کلیپر لاگ) انجام شده است.

در مطالعه پیش رو با استفاده از تصاویر ماهواره ای سنجنده Aster با استفاده از تکنیک های سنجش از دور به بارزسازی خطواره های زمین ساختی منطقه مورد مطالعه پرداخته شده و مورد ارزیابی قرار گرفت. سپس برای بررسی میزان انطباق داده های استخراج شده، از بررسی های صحرائی انجام گرفته قبلی جهت مقایسه استفاده شده است. تصاویر ماهواره Aster با داشتن سه باند طیفی در طیفی بین ۰.۵۲ تا ۰.۸۶ میکرومتر در منطقه قابل مشاهده مادون قرمز نزدیک با دقت مکانی ۱۵ متر و همچنین وجود شش باند طیفی بین ۱.۶ و ۲.۴۳ میکرومتر با دقت ۳۰ متر و ۵ باند قرمر بلند با طیف بین ۸.۱۲ تا ۱۱.۶۵ میکرومتر، دقت ۹۰ متر وضوح مکانی و طیفی، امکان مناسبی جهت بارزسازی ساختارهای زمین شناسی را فراهم می کند.

تصویر ماهواره ای از پایگاه داده Usgs دانلود شده و سپس در نرم افزار Envi 5.6 ابتدا نسبت به تصحیح اتمسفری اقدام شد و سپس با استفاده از روش تجزیه و تحلیل مولفه اصلی PCA برای ایجاد باندهای خروجی غیر همبسته و تفکیک اجزای نویز استفاده شد که اولین باند PCA حاوی بیشترین واریانس داده به عنوان تصویر مبنا با وضوح بالا انتخاب شد. تصویر مربوطه در ادامه به محیط نرم افزار Geomatica جهت بارزسازی خطواره ها اضافه شد. در ادامه خطواره های استخراج شده به محیط Arc GIS اضافه و نقشه خطواره تهیه شد.

۱.۲. آنالیز ساختاری

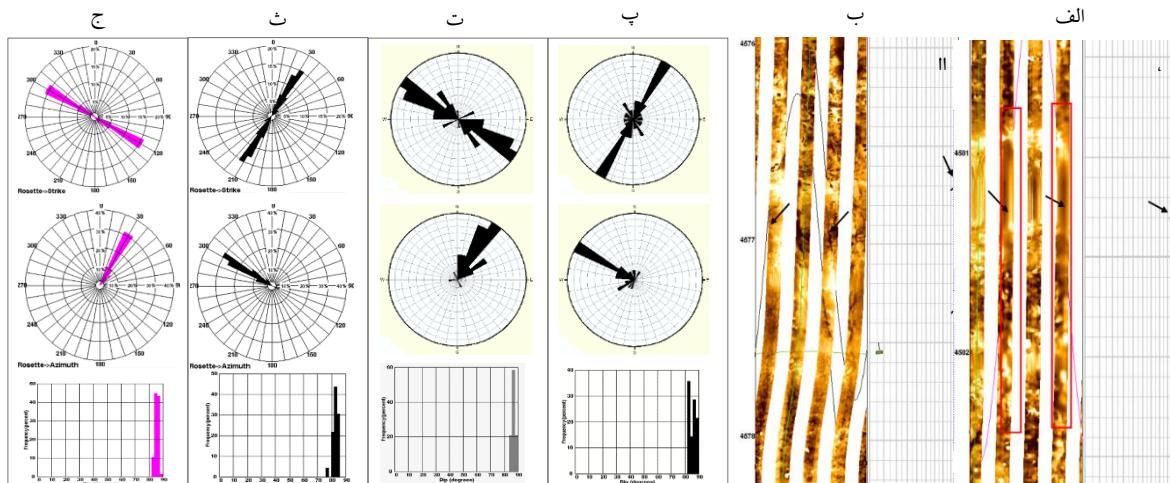
شکستگی های زیرسطحی در کمربندهای چین خورده رانده می توانند قبل یا پس از چین خوردگی ایجاد شوند که می توان با استفاده از معیار هایی مانند ارتباط بین جهت گیری شکستگی ها و محور چین و زاویه شیب شکستگی نسبت به لایه بندی زمان ایجاد شکستگی ها را تشخیص داد [3]. در این مطالعه دسته بندی شکستگی های زیرسطحی دو چاه میدان براساس مدل پرایس و کاسگاروف [7]، براساس جهت گیری شکستگی ها نسبت به محور چین به سه حالت کلی موازی، عمود و مورب نسبت به محور چین دسته بندی شدند (شکل ۲). هم چنین شکستگی های سطحی به دو دسته اصلی عمود بر محور چین و موازی با تنش بیشینه افقی و هم راستا با محور چین و موازی با تنش کمینه افقی تقسیم بندی شدند. مفروض است که شکستگی های زیرسطحی عمود بر محور چین، مربوط به قبل از چین خوردگی هستند در حالی که شکستگی های موازی و مایل، هم زمان با چین خوردگی یا بعد از چین خوردگی ایجاد می شوند.



شکل ۲. مجموعه شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی در تاق‌دیس‌های نامتقارن در طبقه بندی پرایس (پرایس ۱۹۶۶)؛ اصلاح شده توسط پرایس و کاسگاروف، ۱۹۹۰.

۳. تنش و شکستگی‌های زیرسطحی

همان‌طور که در بخش زمین‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه نیز اشاره شد، چین خوردگی رخ داده در این میدان براساس نقشه‌ی زیرسطحی (UGC) یک چین نامتقارن می‌باشد (شکل ۴-الف). چین خوردگی این میدان متأثر از گسلش امتداد لغز چپ‌بر (از مشتقات گسل بالارود) با خمش چرخشی از این روند تکاملی تبعیت می‌کند. اطلاعات بدست آمده از لاگ تصویری در دو چاه مورد مطالعه، امتداد شکستگی‌های القایی را که مبین بیشترین تنش افقی (SHmax) هستند، N30E تا N50E و کمابیش هم‌راستا با روند کلی فشارش وارده به صفحه ایران از جانب ورقه‌ی عربی را نشان می‌دهد (شکل ۳). همچنین امتداد برون ریخت‌های هر دو چاه معرف کمترین تنش افقی (Shmin)، N40W تا N60W و عمود بر روند تنش افقی بیشینه بدست آمده است، در صورتی‌که تنش افقی بیشینه و کمینه بدست آمده از لاگ تصویری در تعداد دیگری از چاه‌های مطالعه‌شده در یال غربی و دور از جنوب میدان، هم به ترتیب روند N50E و N40W را نشان می‌دهند [1].

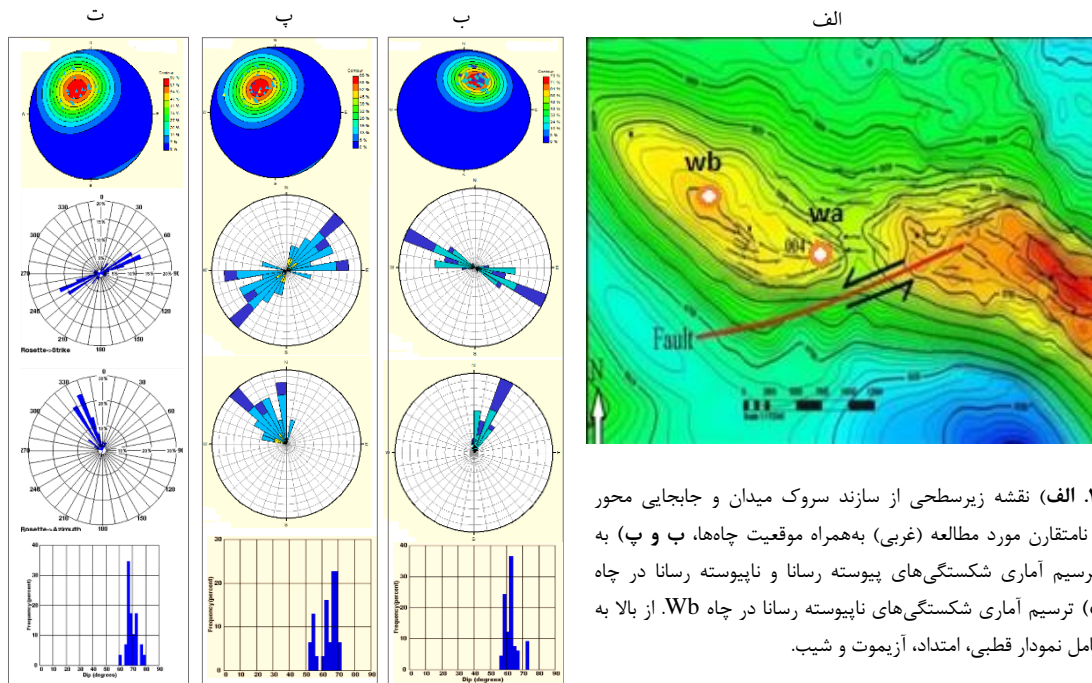


شکل ۳. الف) شکستگی‌های القایی حاصل از عملیات حفاری، ب) برون ریخت‌های دیواره چاه، پ) ترسیم آماری شکستگی‌های القایی معرف تنش بیشینه در چاه Wa، ت) ترسیم آماری گسیختگی‌های چاه معرف تنش کمینه در چاه Wa، ث) ترسیم آماری شکستگی‌های القایی معرف تنش بیشینه در چاه Wb، ج) ترسیم آماری گسیختگی‌های چاه معرف تنش کمینه در چاه Wb. نمودارها از بالا به پایین شامل امتداد، آزیموت و شیب می‌باشند.

سه مرحله شکستگی مخزنی در تاق‌دیس و در چاه‌های مورد مطالعه در ارتباط با چین‌خوردگی-راندگی-خمش پیشنهاد شده است که اجزای مختلف شبکه شکستگی‌ها را از نظر هندسه و رفتار دینامیکی توصیف می‌کند: شکستگی‌های نوع I در چاه، با توجه به موازی بودن با محور لولا و همچنین روند کمابیش موازی با لایه‌بندی جزو شکستگی‌های طولی می‌باشند. این شکستگی‌ها در طی فشرده‌شدن ساختمان به موازات خط فرورانش صفحه عربی به زیر صفحه ایران مرکزی و کشش قوس خارجی چین به موازات روند تنش افقی حداقل ایجاد شده‌اند. وجود دو گسل نرمال موازی با امتداد این دسته از شکستگی‌ها و همچنین قرارگرفتن اکثر شکستگی‌های پیوسته باز در این



دسته، صحت روند پیشنهادی تشکیل این شکستگی‌ها را محتمل‌تر می‌کند که هم‌زمان با چین خوردگی و در حین رشد چین تشکیل شده باشند. در نتیجه شکستگی‌های نوع I را با اطمینان زیاد می‌توان شکستگی‌های مرتبط با چین خوردگی اولیه در میوسن پیشین دانست [2] (شکل ۴-ب).



شکل ۴. الف) نقشه زیرسطحی از سازند سروک میدان و جایابی محور تاقدیس نامتقارن مورد مطالعه (غربی) به همراه موقعیت چاه‌ها، ب و پ) به ترتیب ترسیم آماری شکستگی‌های پیوسته رسانا و ناپیوسته رسانا در چاه Wa، ت) ترسیم آماری شکستگی‌های ناپیوسته رسانا در چاه Wb. از بالا به پایین شامل نمودار قطبی، امتداد، آزیموت و شیب.

شکستگی‌های نوع II، با روند کلی NE-SW بیشتر باز و ناپیوسته و جزو شکستگی‌های عمود نسبت به چین محسوب می‌شوند، زیرا کمابیش عمود بر محور لولای چین گسترش دارند. شکستگی قبل از چین خوردگی برای این دسته از شکستگی‌ها پیشنهاد می‌شود که توسط تنش‌های دور از میدان و در طول برخورد ورقه عربی به اوراسیا در حوضه‌ی پیش‌بوم تشکیل شده‌اند (شکل ۴-پ و ت).

شکستگی‌های دسته III شکستگی‌های مورب مزدوج نسبت به لولای چین هستند که امتدادهای ENE-WSW و WNW-ESE را شامل می‌شوند زمان تشکیل مجموعه شکستگی‌های مورب در چین بعد از تشکیل شکستگی‌های موازی و عمود بر محور چین پیشنهاد می‌شود. نحوه تشکیل این شکستگی‌ها ممکن است مربوط به فعالیت مجدد در حین تغییر جهت تنش اطراف گسل‌های پی‌سنگی باشند (صادقی و همکاران، ۱۴۰۱). از طرفی، می‌توانند به دلیل کوتاه‌شدگی کمابیش عمود بر لایه‌بندی و کشش جانبی در طول خمش چین (به خصوص در قسمت جنوبی چین و در هر دو یال شرقی و غربی) ایجاد شوند. تفسیر دوم به بهترین نحو با موقعیت و امتداد غالب همراه با توسعه دیر هنگام مجموعه شکستگی‌های مورب مزدوج متناسب است. شکستگی‌های دسته III و تا حدی دسته II، می‌توانند در مرحله‌ی از خمش چپ‌گردی هم در تشکیل و هم در تغییر جهت تأثیر گرفته باشند. شکستگی‌های جوان معمولاً ضمن اینکه شکستگی‌های قدیمی را قطع نمی‌کنند، به یکدیگر نزدیک‌تر هستند، در نتیجه شکستگی‌های عرضی قدیمی تر از شکستگی‌های طولی و شکستگی‌های طولی نیز سن بیشتری نسبت به شکستگی‌های مورب دارند.

۴. شکستگی‌های سطحی

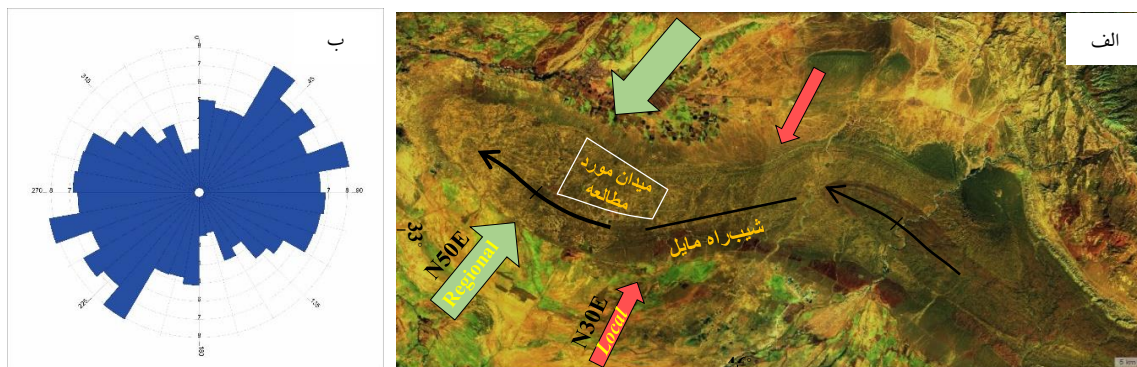
فرسایش سریع ترک‌ها در میداین نفتی به وسیله زهکشی سطحی، قطر دهانه ترک‌ها را افزایش می‌دهد، بنابراین بیشتر آن‌ها در تصاویر ماهواره‌ای با وضوح بالا به‌عنوان خطواره قابل مشاهده هستند. بررسی امتداد خطواره‌های بدست آمده نشان‌دهنده تراکم شکستگی‌ها در راستای NE-SW می‌باشد (شکل ۵). این خطواره‌ها دارای بازشدگی تا ده سانتی‌متر و جزو ساختارهای کششی هستند.



آنالیز آماری خطواره‌های بدست آمده، محدوده غالب امتدادی بین N120E و N35E را نشان می‌دهد، که در میان آن‌ها شکستگی‌های با جهت گیری N75-85E و N35-40E بیشترین فراوانی را دارند (شکل ۵). مجموعه با تراکم امتدادی کمتر، تقریباً عمود بر مجموعه شکستگی‌های غالب فوق‌الذکر در تصاویر ماهواره‌ای مشاهده شد. این مجموعه دارای امتداد N50-70W است. با حرکت از شرق به غرب در میدان، یک تغییر سیستماتیک از ENE به NE را مشاهده می‌شود (شکل ۶). بنابراین راستای شکستگی‌های سطحی از حالت موازی با شیب جانبی چین میدان، به تقریباً عمود بر محور چین در بخش لهری سازند آغاچاری در سطح تغییر می‌کند. بنابراین جهت گیری دسته دوم شکستگی‌ها طبق طبقه‌بندی پرایس و کاسگارف و با توجه به نوع چین میدان به عنوان مجموعه عمود بر لولا در نظر گرفته شده و با شکستگی‌های نوع II زیرسطحی یعنی شکستگی‌های قبل از چین خوردگی در یک راستا قرار می‌گیرند.

تغییر تدریجی امتداد خطواره‌ها در نزدیکی گسل‌های فعال در میدان یعنی در نزدیکی گسل امتداد لغز با راستای ENE-WSW و گسل-های نرمال محلی با راستای NW-SE (شکل‌های ۴-الف و ۶)، اختلال خط سیر تنش ناشی از فعالیت این گسل‌ها را نشان می‌دهد. چگالی یا تراکم شکستگی‌ها در سطح با استفاده از نرم افزار GIS محاسبه شده است (شکل ۶).

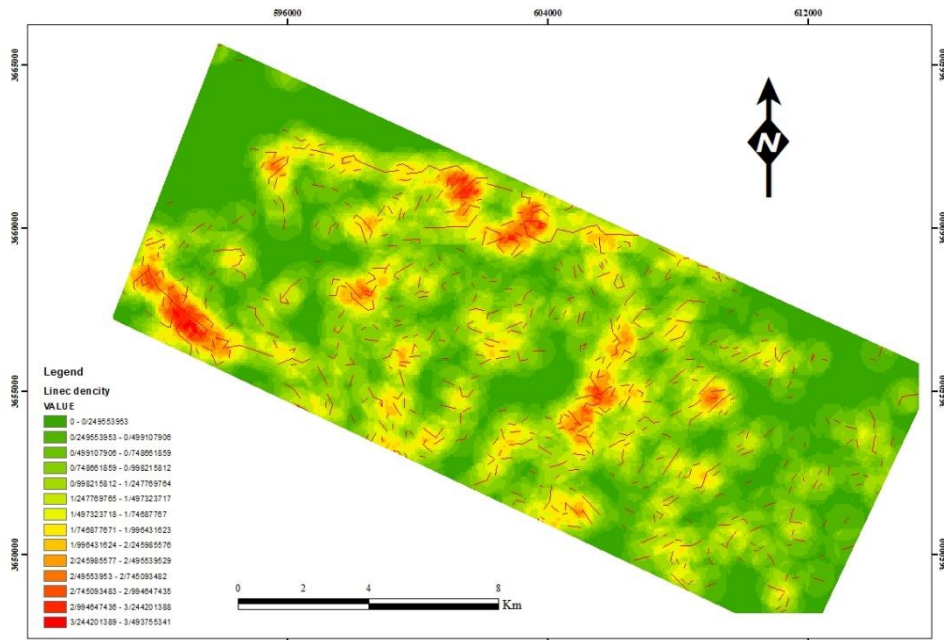
الگوی منظم هندسه خطواره‌ها، انطباق سینماتیکی آن‌ها با گسل‌ها و چین میدان و عدم وجود هرگونه ارتباط هندسی با عوامل غیر زمین ساختی جایگزین (مانند لغزش یا فرایندهای استخراج آب یا نفت) در اینجا برای نشان دادن منشأ تکتونیکی خطواره‌ها مورد استفاده قرار گرفته است. افزایش فشار منفذی ناشی از رسوب بر روی سطح می‌تواند منجر به ترک خوردگی کششی بیشتر در این میدان شود. نتایج نشان می‌دهد که تراکم خطواره‌ها در نواحی مجاور با سیستم‌های گسلی و پهنه‌های شکننا بیشترین شدت را دارا است. تمرکز بالای خطواره‌ها نشان دهنده رویداد تغییر شکل شکننده در محیط زمین‌ساختی است. شکستگی‌ها عمدتاً با روند شمال‌خاور-جنوب‌باختر، همراستا با گسل امتدادلغز زیرسطحی میدان و عمود بر محور چین می‌باشند.



شکل ۵. الف) تصویر ماهواره‌ای سنتینل از منطقه مورد مطالعه همراه با جهات تنش کمینه و بیشینه، ب) نمودار گل‌سرخی خطواره‌های سطحی موجود در محدوده مورد مطالعه که عمدتاً جهت شمال‌خاور-جنوب‌باختر را نشان می‌دهند.

۵. نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه اطلاعات شکستگی‌ها وضعیت زمین ساختی در عمق‌های چند هزار متر را در بر دارند بنابراین مقایسه آنها با شرایط زمین شناسی سطحی ناحیه می‌تواند روند تغییرات زمین ساختی عمقی را نیز بر اساس تغییرات شرایط لیتواستاتیک آشکار کند. در این راستا و در این مطالعه با توجه به نتایج بدست آمده از لاگ‌های چاه‌های مورد مطالعه، شکستگی‌های زیرسطحی و با استفاده از داده‌های سنجش از دور شکستگی‌های سطحی دارای سه جهت اصلی موازی، عمود و مایل نسبت به محور چین شناسایی و طبقه‌بندی شدند. دسته I شامل شکستگی‌هایی هم‌روند با راستای محور چین و به طور تقریبی موازی با لایه‌بندی بوده و جزو شکستگی‌های طولی محسوب می‌شوند که احتمال است این دسته از شکستگی‌ها در چین خوردگی اولیه، به موازات خط برخورد و تنش افقی کمینه تشکیل شده باشند. این شکستگی‌های با شکستگی‌های سطحی نوع ۲ (تراکم کمتر) دارای یک راستا هستند و جزو شکستگی‌های طولی و کششی می‌باشند. این دسته از شکستگی‌ها همراستا با تنش کمینه و گسل‌های نرمال میدان در عمق و سطح تشکیل شده‌اند.



شکل ۶. نقشه توزیع و تراکم خطواره‌های بارزسازی شده توسط داده‌های سنجش از دور در میدان مورد مطالعه و اطراف آن. تراکم ترک‌ها در واحد سطح به صورت کانتورهای رنگی نشان داده شده است. روندهای سیستماتیک خطواره‌ها مسیر فعال در جهت حداکثر کوتاه شدگی یا تنش بیشینه را نشان می‌دهند. هرچقدر میزان و شدت رنگ به سمت قرمز گسترش داشته باشد تراکم ساختاری بیشتر است و از نظر تکتونیکی محدوده فعال‌تری می‌باشد.

دسته II شکستگی‌هایی را شامل می‌شود که امتدادشان نسبت به محور چین و لایه‌بندی به طور تقریبی عمود می‌باشد. این دسته احتمالاً مربوط به مرحله قبل از چین خوردگی در طول برخورد ورقه‌ی عربی به ایران مرکزی و همچنین متأثر از ناهمسان‌گردی مکانیکی لایه-بندی هستند. شکستگی‌های سطحی نوع ۱ (تراکم غالب)، همراستا با این شکستگی‌ها در عمق هستند. همچنین این دسته از شکستگی‌ها هم‌راستا با تنش افقی بیشینه کنونی بوده و جزو شکستگی‌های عرضی در نظر گرفته می‌شوند.

دسته III نیز شامل شکستگی‌هایی با امتدادهای ENE-WSW و WNW-ESE است که به صورت مورب مزدوج نسبت به محور چین قرار گرفته‌اند. احتمالاً بعد از تشکیل شکستگی‌های I و II در عمق و به دلیل فعالیت مجدد گسل‌های پی‌سنگی زاگرس از جمله گسل امتدادلغز چپ‌بر در میدان و کشش جانبی در طول خمش چین، این مجموعه شکستگی تشکیل شده باشند.

نتایج تحلیل‌های ساختاری نشان می‌دهد که روند شکستگی‌های ایجاد شده در سطح و عمق تقریباً یکسان بوده و همچنین شکل این دگرریختی‌ها در سطح و عمق نیز تا حدودی از هم تبعیت می‌کنند. با توجه به نتایج به‌دست آمده می‌توان عنوان کرد که در بسیاری از موارد و با توجه به الگوی زمین‌ساختی و نوع چین‌خوردگی، هندسه ساختارهای عمقی می‌تواند شبیه به ساختارهای سطحی بوده و با استفاده از اطلاعات سطحی می‌توان قضاوتی کارشناسانه نسبت به شرایط عمقی پیدا نمود.

منابع

- [1] شوراب، م؛ یوسفی، م؛ موسوی، م. (۱۳۹۷). تحلیل توسعه شکستگی‌ها وابسته به چین خوردگی و تعیین جهت تنش‌های برج‌ها در سازند سروک در یکی از میداین نفتی غرب، زمین‌ساخت ۵۵-۶۸.
- [2] صادقی، ل؛ حسنپور صدقی، م؛ کدخدایی، ع. (۱۴۰۱). تحلیل تکتونیکی یکی از میداین نفتی جنوب‌غرب ایران، با استفاده از نمودار تصویری FMI، پژوهش نفت.

[3] Ameen, M.S., Buhidma, I.M., Rahim, Z., 2010. The function of fractures and in-situ stresses in the Khuff reservoir performance, onshore fields, Saudi Arabia. AAPG Bull. 94, 27e60.



- [4] Assous S., Elkington P., Clark S. (2014) Automated detection of planar geological features in borehole images, *Geophysics* 79, 1, 11–19.
- [5] Behyari, M., and Fathollahzadeh, F., 2023, Deformation style change in the transition zone from mantel to crust: NW Khoy ophiolite: *Advanced Applied Geology*, v. 13, no. 1, p. 144-160.
- [6] Berberian, M. (1995): Master blind thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics, *Tectonophysics*, Vol.241, PP.193-224.
- [7] Price, N., Cosgrove, J., 1990. *Analysis of Geological Structures*. Cambridge University Press, Cambridge, p. 502.
- [8] Zoback M.D., 2007. *Reservoir Geomechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, New York.