

تعیین نواحی با تراکم شکستگی بالا در میدان نفتی بی بی حکیمه با استفاده از داده‌های حفاری و شاخص بهره‌دهی مخزن

◀ حمید مداحی^۱، سیداحمدعلوی^۱، ایرج عبداللهی فرد^۲، حسن امیری بختیار^۲، حسین طالبی^۲

چکیده:

در این مطالعه با هدف تعیین نواحی با تراکم شکستگی بالا و با استفاده از داده‌های هرزروی گل حفاری، وزن گل حفاری و همچنین شاخص بهره‌دهی مخزن، به بررسی مخازن آسماری و بنگستان در میدان نفتی بی بی حکیمه، که یکی از بزرگترین میادین نفتی جنوب باختری ایران می‌باشد، پرداخته شده است. مخازن آسماری و بنگستان در این میدان، بر اساس خصوصیات پتروفیزیکی و سنگ‌شناختی به ترتیب به چهار و نه زون مختلف تقسیم شده‌اند. تحلیل داده‌ها و نقشه‌های هم‌ارزش هرزروی گل حفاری تهیه شده برای این مخازن، بیانگر این است که شکستگی در تمامی زون‌ها وجود دارد و میزان هرز-روی گل و بنابراین تراکم شکستگی، بر خلاف مخزن بنگستان، در مخزن آسماری با افزایش عمق در مجموع از یک روند کاهشی پیروی می‌کند. بررسی وزن گل حفاری مربوط به این مخازن نیز، بالاترین تراکم شکستگی را در کوهانه‌های اصلی آنها، که از بیشترین میزان خمش عرضی و طولی برخوردار هستند، همچنین در قسمت‌هایی از مخزن که تحت تأثیر عملکرد گسل‌ها و یا خمش محوری واقع شده‌اند نشان داده است. شاخص بهره‌دهی مخزن نیز بالاترین تراکم شکستگی را در نواحی گسل خورده، همچنین در کمان بیرونی خمش محوری ساختمان هر مخزن نشان داده است.

واژه‌های کلیدی: تراکم شکستگی - داده‌های حفاری - شاخص بهره‌دهی - مخزن - آسماری - بنگستان - بی بی حکیمه

مقدمه:

تخلیه طبیعی، بازیافت ثانویه و بالاخره بازیافت نهایی بسیار پراهمیت تلقی می‌شود [۳]. بنابراین مطالعه و بررسی شکستگی‌ها و شناخت موقعیت و نحوه گسترش آنها در سرتاسر مخزن، می‌تواند به طرح توسعه میدان، تعیین محل‌های مناسب جهت احداث چاه‌های جدید، افزایش طول عمر و بهره‌دهی مناسب مخزن، کاهش هزینه‌های پی‌جویی و درک کلی ما از سیستم شکستگی در میادین نفتی، کمک قابل توجهی نماید. از این‌رو در این مطالعه با هدف تعیین نواحی با تراکم شکستگی بالا و با استفاده از داده‌های هرزروی گل حفاری^۱، وزن گل حفاری و همچنین شاخص بهره‌دهی مخزن^۲، به بررسی مخازن آسماری و بنگستان در میدان نفتی بی بی حکیمه، که یکی از بزرگترین میادین نفتی جنوب باختری ایران می‌باشد، پرداخته شده است. این میدان با روند باختر، شمال باختری - خاور، جنوب خاوری در حدود ۲۳۰ کیلومتری جنوب

شکستگی‌ها رایج‌ترین ساختار زمین‌شناسی هستند که ممکن است در هر رخنمون سنگی وجود داشته باشند [۸]. البته به دلیل فرآیندهای پیچیده‌ای که در تشکیل آنها دخالت دارد، تحلیل و بررسی آنها به خصوص از دیدگاه ساختاری، به‌ویژه در مورد شکستگی‌های زیر سطحی مشکل بوده و به همین خاطر علی‌رغم اهمیت زیاد، کمتر مورد توجه زمین‌شناسان قرار گرفته‌اند. در رابطه با اهمیت خاصیت شکستگی‌ها می‌توان به نقش مؤثر آنها در افزایش تخلخل، نفوذپذیری و در نتیجه تولید بالای نفت در مخازن کربناته جنوب باختری ایران اشاره کرد. شکستگی‌ها یکی از مهم‌ترین مسررهای جریان سیال در مخازن کربناته هستند [۵]. در این مخازن، غالباً تولید متناسب با نفوذپذیری مرتبط با تخلخل زمینه سنگ نبوده و به مراتب بیشتر از آن می‌باشد، لذا نقش شکستگی‌ها در

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران

۲- مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، تهران

۳- شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب، اهواز

1. Drilling mud loss data

2. PI-Productivity Index

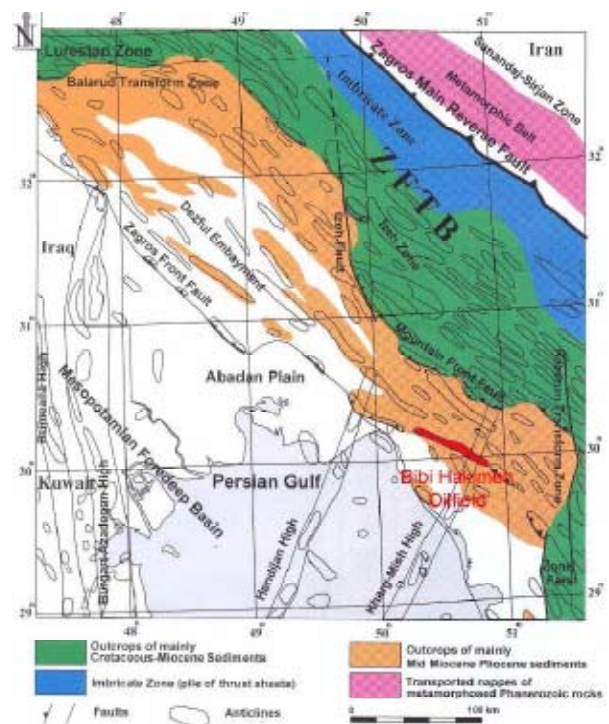
باید تقریباً ثابت بوده و دچار تغییرات شدید نگردد، زیرا افزایش وزن گل باعث ازدیاد فشار هیدرواستاتیک درون چاه شده و این خود باعث ایجاد شکستگی‌های القایی³ (در درون مخزن و به تبع آن افزایش مصنوعی هرزروی گل می‌شود. این هرزروی هیچ‌گونه ارتباطی با خصوصیات زمین‌شناسی مخزن نداشته و به نوبه خود تفسیر شکستگی‌های مخزن را با مشکل مواجه می‌سازد. همچنین فشار هیدرواستاتیک مخزن در چاه‌های مختلف مورد مطالعه نیز باید یکسان باشد. به عنوان مثال در حین حفاری اولین چاه‌های حفر شده، به دلیل بالا بودن فشار هیدرواستاتیک مخزن که خود ناشی از دست نخورده بودن مخزن و عدم استحصال هیدروکربور از آن می‌باشد، قاعدتاً از گل‌های سنگین با وزن بالا استفاده شده است. بنابراین در حین حفاری این چاه‌ها شاهد مقدار هرزروی بی‌روبه و حتی کامل گل به کار رفته، خواهد بود. در حالی که در حین حفاری چاه‌های بعدی که با گذشت زمان نسبتاً زیادی نسبت به اولین چاه‌های حفر شده در مخزن صورت می‌گیرد، به دلیل کاهش فشار هیدرواستاتیک مخزن که خود ناشی از استحصال هیدروکربور از آن است، از وزن پایین گل حفاری استفاده شده است. از این رو مقدار هرزروی گل در حین حفاری این گونه چاه‌ها نیز به نوبه خود افت چشمگیری را نسبت به چاه‌های قدیمی‌تر نشان خواهد داد. علاوه بر این باید فقط به هرزروی‌های در حین حفاری توجه گردد. هرزروی‌هایی که در حالت ساکن چاه اتفاق می‌افتد ارزش فنی خاصی ندارد.

اگر چه هرزروی گل حفاری، امتداد، شیب و دیگر خصوصیات ساختاری شکستگی‌ها را مشخص نمی‌کند اما با استفاده از آن می‌توان مکان‌هایی با تراکم شکستگی بالا، همچنین محل احتمالی گسل‌ها را تعیین نمود. جهت برداشت صحیح داده‌های هرزروی گل حفاری از گزارش روزانه حفاری چاه‌ها استفاده شده است. میزان وزن گل حفاری، فواصل عمقی حفاری شده، میزان هرزروی گل در حین حفاری بر حسب بشکه در ساعت (BPH)، میزان هرزروی انباشتی در سازند طی یک روز و مجموع ساعات حفاری شده در همین مدت مواردی هستند که از این گزارش‌ها برداشت و ثبت شده‌اند. به منظور استفاده از این روش، میزان هرزروی گل برای هر یک از زون‌های مخازن آسماری و بنگستان، در چاه‌های مختلف محاسبه و نتایج حاصل از آن به صورت نقشه‌های هم‌ارزش هرزروی گل حفاری برای هر زون مخزنی ارائه شده است. (شکل‌های ۲-الف تا د).

با توجه به نقشه‌های تهیه شده برای مخزن آسماری میدان نفتی بی‌بی حکیمه، شکستگی در تمامی زون‌های این مخزن وجود دارد و میزان هرزروی گل و بنابراین تراکم شکستگی، با افزایش عمق در مجموع از یک روند کاهشی پیروی می‌کند. در زون یک، سه منطقه کاملاً مشخص دارای هرزروی شدیدتری نسبت به دیگر قسمت‌های مخزن هستند که بارزترین آنها در منتهی‌الیه جنوب خاوری مخزن مشاهده می‌شود، جایی که محل گذر بلندای خارگ-میش (Kharg-Mish High) می‌باشد (شکل ۱). دو منطقه دیگر در محدوده شمال باختری و تقریباً مرکزی مخزن واقع شده‌اند. هرزروی در این دو منطقه می‌تواند ناشی از عملکرد گسل‌های موجود در محدوده شمال باختری، و تأثیر خمش محوری ساختار و شکستگی‌های باز کششی حاصل از آن در محدوده مرکزی مخزن باشد (شکل ۲-الف).

در زون دو نیز سه منطقه با هرزروی شدید مشاهده می‌شود. بیشترین هرزروی در یال شمال خاوری از محدوده تقریباً جنوب خاوری مخزن وجود داشته و می‌تواند ناشی از تأثیر توأمان بلندای خارگ-میش و خمش محوری ساختار در این محدوده از مخزن باشد. دو منطقه دیگر در محدوده مرکزی و شمال باختری مخزن واقع شده‌اند و می‌توانند مؤید تأثیر خمش محوری در قسمت مرکزی مخزن و گسل‌های موجود در محدوده شمال باختری مخزن باشند (شکل ۲-ب). اما بیشترین میزان هرزروی

خاوری اهواز، در نزدیکی خلیج فارس و در حاشیه خاوری فروافتادگی دزفول واقع شده و از آخرین تاقدیس‌های کشیده و نامتقارن کمربند چین خورده زاگرس محسوب می‌شود (شکل ۱). افق مخزنی آسماری در این میدان دارای ۷۵ کیلومتر طول و به طور متوسط ۵ کیلومتر عرض بوده و براساس خصوصیات پتروفیزیکی و سنگ‌شناختی به چهار زون مختلف تقسیم شده است [۱]. افق مخزنی بنگستان نیز ۷۲ کیلومتر طول و به طور متوسط ۴/۵ کیلومتر عرض داشته و به ۹ زون مختلف تقسیم می‌شود [۲].



شکل ۱- موقعیت میدان نفتی بی‌بی حکیمه در فروافتادگی دزفول (با تغییرات از [۴]).

بحث:

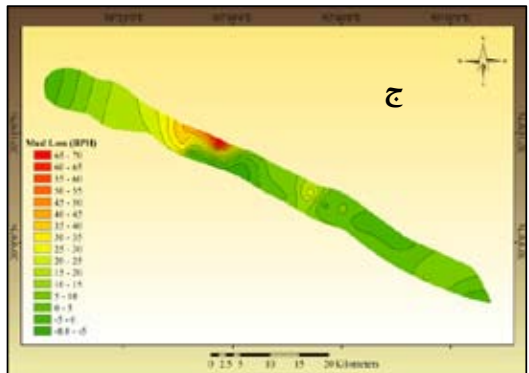
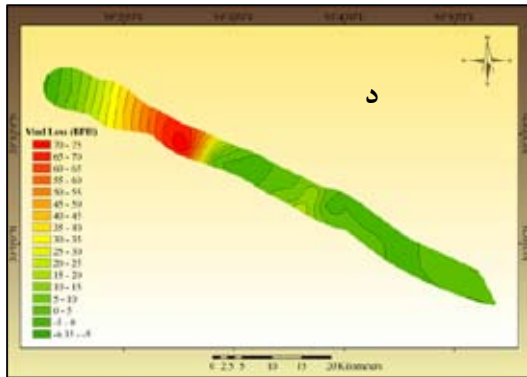
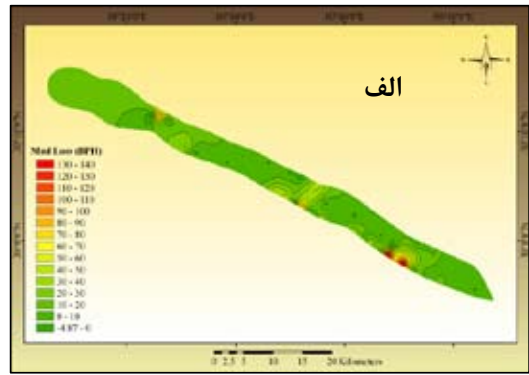
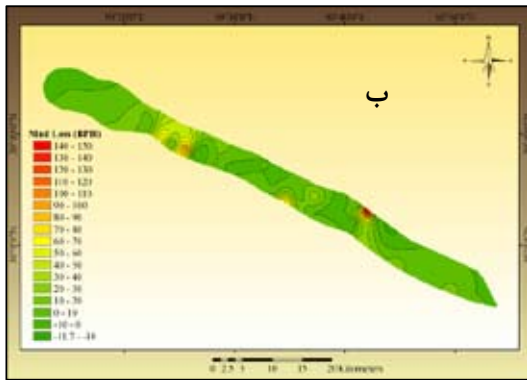
در این مطالعه جهت تعیین نواحی با تراکم شکستگی بالا در مخازن آسماری و بنگستان میدان نفتی بی‌بی حکیمه، از داده‌های استاتیک زمین‌شناسی³ و دینامیک چاه‌های حفر شده در این مخازن استفاده شده است [۱، ۲، ۶، ۷]. بدین منظور داده‌های مربوط به میزان هرزروی گل حفاری در چاه‌های حفر شده در هر افق مخزنی مورد ارزیابی قرار گرفته و نقشه‌های هم‌ارزش حاصل از آنها برای زون‌های مختلف هر مخزن تهیه شده و مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این از داده‌های مربوط به وزن گل به کار رفته در حین حفاری نیز استفاده شده و نقشه‌های هم‌ارزش وزن گل حفاری برای رأس هر یک از افق‌های مخزنی تهیه شده است. مقدار شاخص بهره‌دهی چاه‌های مختلف مخازن آسماری و بنگستان نیز مورد بررسی قرار گرفته و نتیجه حاصل از آن در قالب نقشه هم‌ارزش شاخص بهره‌دهی برای هر افق مخزنی ارائه شده است.

۱-۱- استفاده از داده‌های حفاری:

۱-۱-۱- داده‌های هرزروی گل حفاری:

هرزروی گل حفاری در درون مخزن، یکی از روش‌های مفیدی است که در مطالعه و تحلیل شکستگی‌های مخزنی از آن استفاده می‌شود. جهت به‌کارگیری این روش باید شرایطی یکسان بر مخزن حاکم باشد، یعنی اینکه وزن گل در طول مدت حفاری یک چاه به‌ویژه درون مخزن

3. Static geological data



شکل ۲- الف تا د) به ترتیب نقشه‌های هم‌ارزش هرزروی گل حفاری برای زون‌های یک تا چهار مخزن آسماری در میدان نفتی بی‌بی حکیمه.

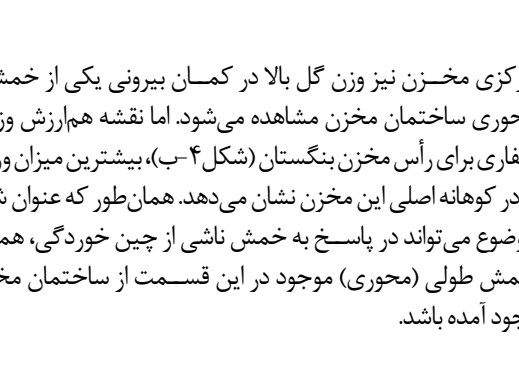
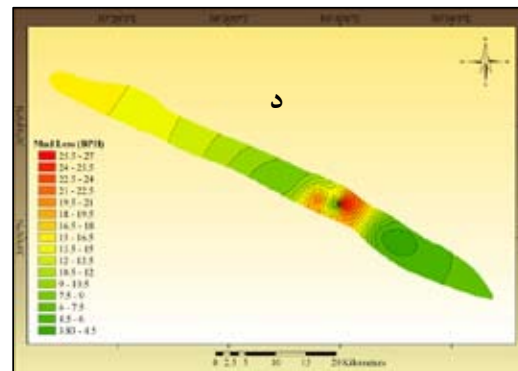
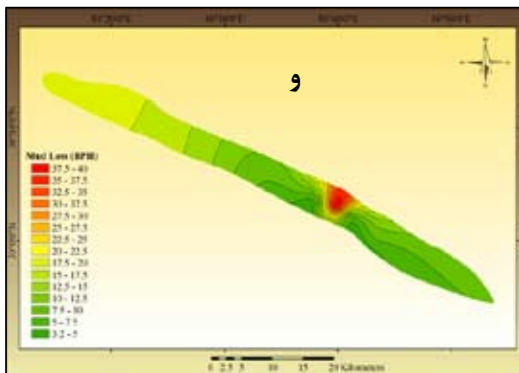
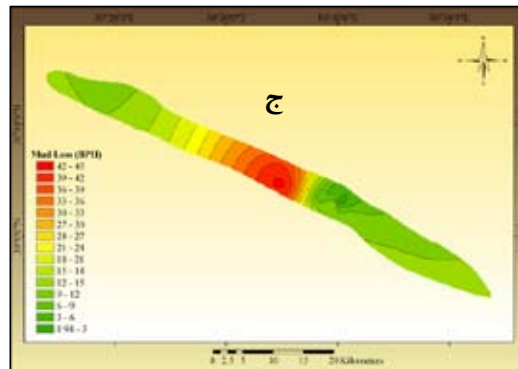
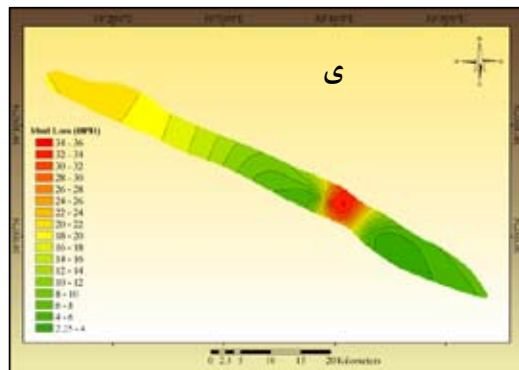
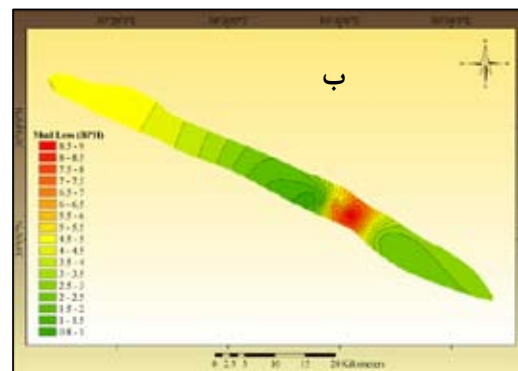
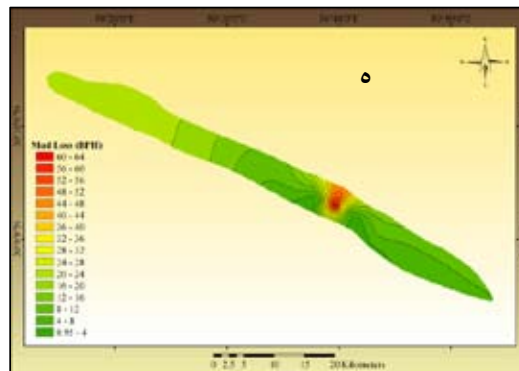
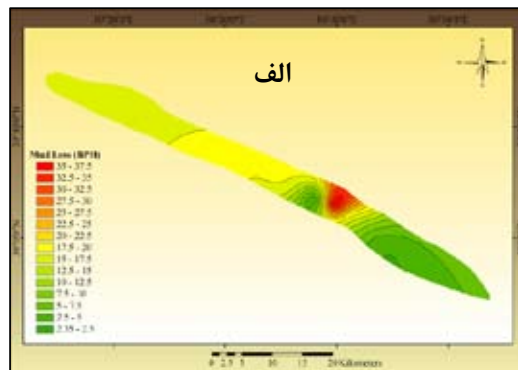
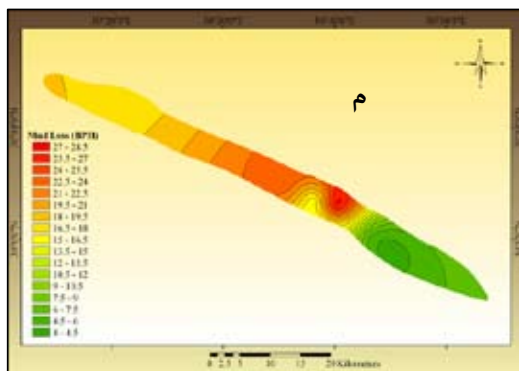
بیرونی خمش‌های محوری آن، به ویژه کمان بیرونی خمش محوری اصلی موجود در این مخزن وجود دارد. بالا بودن تنش‌های کششی، دلیل افزایش تراکم شکستگی در این قسمت از ساختمان مخزن است.

۱-۲-۱- داده‌های وزن گل حفاری:

کاهش یا افزایش وزن گل حفاری به طور مستقیم تحت تأثیر فشار سازند حفاری شده است. زیرا عموماً وزن گل حفاری به گونه‌ای برابر فشار هیدروستاتیک سازند تنظیم می‌گردد که از جریان مواد سازندی ناپایدار به درون چاه و همچنین از جریان مصنوعی گل حفاری به درون سازند جلوگیری شود. از آنجا که فشار، رابطه مستقیم با تنش دارد میزان وزن گل حفاری، با درصد کمی خطا، شباهت زیادی با تنش لیتواستاتیک ساختار دارد. بر همین اساس نقشه توزیع تغییرات وزن گل در یک افق زمین‌شناسی می‌تواند منعکس‌کننده وضعیت توزیع تنش در آن افق باشد. به عبارت دیگر نقشه هم‌ارزش وزن گل حفاری در رأس مخازن آسماری و بنگستان میدان بی‌بی حکیمه، تا حدود زیادی نقشه توزیع تنش را برای این افق‌های مخزنی نشان می‌دهد. نقشه هم‌ارزش وزن گل حفاری برای رأس مخزن آسماری (شکل ۴- الف)، بیشترین میزان وزن گل را به ترتیب در نواحی باختری، مرکزی، کوهانه^۴ اصلی مخزن و همچنین نواحی نزدیک به دماغه جنوب خاوری آن نشان می‌دهد. افزایش وزن گل یا به عبارتی افزایش تنش لیتواستاتیک در کوهانه اصلی مخزن آسماری می‌تواند در پاسخ به خمش عرضی (خمش ناشی از چین‌خوردگی)، همچنین خمش طولی (محوری) موجود در این قسمت از ساختار، به وجود آمده باشد. اما وزن گل بالا در نواحی نزدیک به دماغه جنوب خاوری این مخزن می‌تواند به دلیل گذر بلندای خارگ- میش از این منطقه باشد. این پدیده در نواحی باختری مخزن نیز می‌تواند ناشی از عملکرد گسل‌های موجود در این منطقه، همچنین گسل رانده موجود در جنوب باختری تاقدیس، که در این نواحی بیش از دیگر قسمت‌های مخزن به قاعده یال جنوب باختری آن نزدیک شده است، باشد. در ناحیه

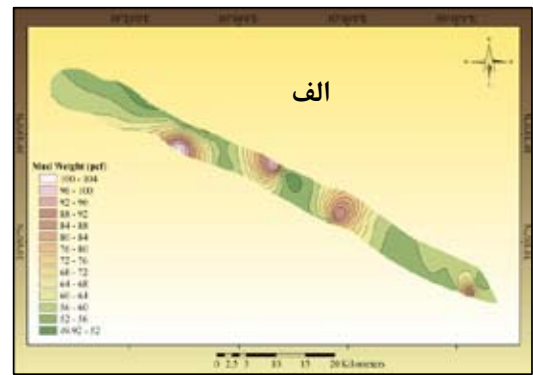
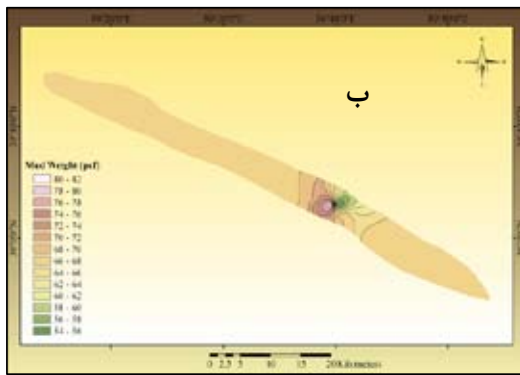
گل حفاری زون سه مخزن، در محدوده شمال باختری آن، جایی که محل عملکرد گسل‌های موجود در آن منطقه و شکستگی‌های همراه با آن‌ها می‌باشد، مشاهده می‌شود. منطقه دیگر نیز در محدوده مرکزی مخزن که متأثر از خمش محوری ساختمان مخزن می‌باشد وجود دارد. سومین منطقه دارای هرزروی نسبتاً شدید گل در این زون در محدوده جنوب خاوری مخزن مشاهده می‌شود (شکل ۲- ج). در نهایت زون چهارم مخزن دو منطقه با هرزروی شدید گل را نشان می‌دهد که یکی در شمال باختری مخزن و دیگری در محدوده مرکزی آن مشاهده می‌گردد. شدت هرزروی در بخش شمال باختری این زون همانند زون سه بسیار شدیدتر است (شکل ۲- د). مقایسه میزان هرزروی گل در زون‌های مختلف مخزنی نشان می‌دهد که بیشترین میزان هرزروی در زون‌های یک و دو (مناطق کم‌عمق تر) رخ داده است. افزایش قابل ملاحظه هرزروی گل در این مناطق را می‌توان به گسترش شکستگی‌های باز و طولی که در اثر فاز کششی حاکم بر قسمت‌های بالایی سازند آسماری (اعماق بالاتر از سطح خنثی) ایجاد شده‌اند، نسبت داد.

با توجه به نقشه‌های تهیه شده برای مخزن بنگستان، شکستگی در تمامی زون‌های این مخزن وجود دارد. اما برخلاف مخزن آسماری، در اینجا میزان هرزروی و بنابراین تراکم شکستگی، با افزایش عمق از یک روند کاهش‌ی منظم پیروی نمی‌کند. حتی در برخی زون‌های عمیق، میزان هرزروی گل از زون‌های کم‌عمق تر به مراتب بیشتر است. این پدیده می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی همچون عملکرد گسل رانده موجود در مرکز مخزن که در امتداد محور آن توسعه یافته است، باشد. چرا که نرخ لغزش و میزان جابه‌جایی گسل‌های رانده پنهان که در زیر اکثر تاقدیس‌های کمربند چین خورده رانده زاگرس وجود دارند، با نزدیک شدن به سطح زمین کاهش می‌یابد. این امر نیز به نوبه خود می‌تواند باعث کاهش تراکم شکستگی‌های برشی مرتبط با گسل و در نتیجه کاهش نسبی هرزروی گل در مناطق کم‌عمق تر گردد. علاوه بر این بالاترین تراکم شکستگی در تمام زون‌های این مخزن، در کمان



مرکزی مخزن نیز وزن گل بالا در کمان بیرونی یکی از خمش‌های محوری ساختمان مخزن مشاهده می‌شود. اما نقشه هم‌ارزش وزن گل حفاری برای رأس مخزن بنگستان (شکل ۴-ب)، بیشترین میزان وزن گل را در کوهانه اصلی این مخزن نشان می‌دهد. همان‌طور که عنوان شد این موضوع می‌تواند در پاسخ به خمش ناشی از چین خوردگی، همچنین خمش طولی (محوری) موجود در این قسمت از ساختمان مخزن به وجود آمده باشد.

شکل ۳- الف تا ی) به ترتیب نقشه‌های هم‌ارزش هرزروی گل حفاری برای زون‌های یک تا نه مخزن بنگستان در میدان نفتی بی‌بی‌حکیمه.



شکل ۴- نقشه هم ارزش وزن گل حفاری برای رأس مخزن الف) آسماری ب) بنگستان در میدان نفتی بی بی حکیمه.

۲-۱- استفاده از شاخص بهره دهی:

گسل های موجود در محدوده شمال باختری مخزن مشاهده می شود. در مخزن بنگستان نیز، بالاترین تراکم شکستگی در کمان بیرونی خمش- های محوری ساختمان آن وجود دارد. با استفاده از داده های وزن گل حفاری نیز بالاترین تراکم شکستگی در کوهانه های اصلی مخازن که از بیشترین میزان خمش عرضی و طولی برخوردار هستند، همچنین در قسمت هایی از مخزن که تحت تأثیر عملکرد گسل ها و یا خمش محوری واقع شده اند مشاهده می شود. بررسی شاخص بهره دهی مخزن نیز بالاترین تراکم شکستگی را در نواحی متأثر از عملکرد گسل ها، همچنین در کمان بیرونی خمش های محوری ساختمان هر مخزن نشان می دهد.

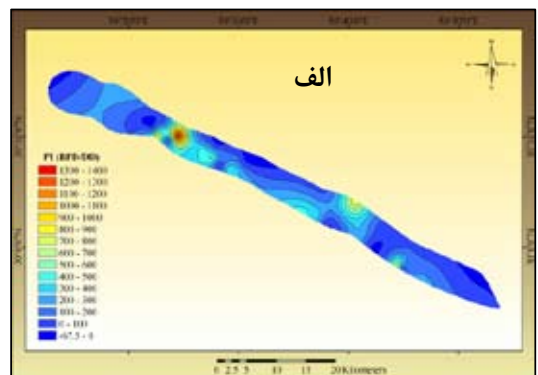
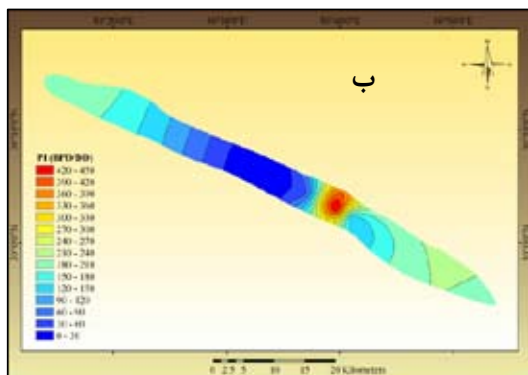
منابع:

- ۱- شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، مطالعه زمین شناسی مخزن آسماری میدان نفتی بی بی حکیمه، گزارش شماره پ-۵۸۰۵، ۱۳۸۵.
- ۲- شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، مطالعه زمین شناسی مخزن بنگستان میدان نفتی بی بی حکیمه، گزارش شماره پ-۵۰۱۶، ۱۳۸۰.
- ۳- مطبوعی، همایون، زمین شناسی نفت زاگرس، جلد اول، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۱۳۷۴، ۵۸۹ ص.
- 4- Abdollahi Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M., Alavi, S. A., Interaction of the Zagros Fold-Thrust Belt and the Arabian-type, deep-seated fold in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. Journal of Petroleum Geoscience, Vol. 12, 2006, pp. 347-362.
- 5- Bourne, S. J., Bauckmann, F., Rijkels, L., Stephenson, B. J., Weber, A., Willemsse, E. J. M., Predictive modelling of naturally fractured reservoirs using geomechanism and flow simulation. 9th Abu Dhabi Intern Petroleom Exhibition and Conference (Abu Dhabi, UAE) 2000, 10p.
- 6- NISOC, Bibi Hakimeh underground contour map on top of Bangestan Group, 2006.
- 7- NISOC, Bibi Hakimeh underground contour map on top of Asmari Formation, 2007.
- 8- Park, R. G., Foundation of structural geology, 1989, 358p.

اختلاف تراکم شکستگی های باز و خصوصیات هیدرولیکی آنها، سهم عمده ای در کنترل شاخص بهره دهی چاه های مختلف میدان نفتی بی بی حکیمه ایفا می کند. در این مطالعه جهت بررسی تراکم جانبی شکستگی های مخازن آسماری و بنگستان در این میدان، از مقادیر شاخص بهره دهی برخی چاه های حفر شده در این مخازن، استفاده شده است و نتیجه آن به صورت نقشه های هم ارزش شاخص بهره دهی برای هر افق مخزنی ارائه گردیده است (شکل ۵). این نقشه ها حاکی از وضعیت تولیدی بهتر مخزن آسماری از نظر تراوایی و قابلیت عبور سیالات در نواحی باختری نسبت به نواحی خاوری تر آن می باشد. این موضوع می تواند متأثر از عملکرد گسل های موجود در قسمت های باختری مخزن باشد. بخش هایی از نواحی خاوری و مرکزی کمان بیرونی خمش محوری آن است. این وضعیت در مخزن بنگستان نیز مشاهده می شود. به عبارت دیگر، حداکثر میزان شاخص بهره دهی مخزن بنگستان مربوط به کمان بیرونی خمش محوری آن می باشد. همان طور که عنوان شد، بالا بودن تنش های کششی، دلیل افزایش تراکم شکستگی ها و در نتیجه بالا بودن میزان شاخص بهره دهی در این قسمت از ساختمان مخزن است.

نتیجه گیری:

تحلیل داده ها و نقشه های هم ارزش هرزروی گل حفاری تهیه شده برای مخازن آسماری و بنگستان در میدان نفتی بی بی حکیمه، بیانگر این است که شکستگی در تمامی زون های این مخازن، به ویژه زون های بالایی آنها وجود دارد و میزان هرزروی و بنابراین تراکم شکستگی، بر خلاف مخزن بنگستان، در مخزن آسماری با افزایش عمق، در مجموع از یک روند کاهشی پیروی می کند. افزایش قابل ملاحظه هرزروی گل در زون های بالایی را می توان به توسعه شکستگی های باز که در اثر فاز کششی حاکم بر قسمت های بالایی سازند آسماری (اعماق بالاتر از سطح خنثی) ایجاد شده اند نسبت داد. در مخزن آسماری بالاترین تراکم شکستگی در کمان بیرونی خمش های محوری ساختمان آن و همچنین در محل گذر



شکل ۵ - نقشه هم ارزش شاخص بهره دهی برای مخزن الف) آسماری ب) بنگستان در میدان نفتی بی بی حکیمه.