

تحلیل ژئومکانیکی و آنالیز ناپایداری دیواره چاه در یکی از میادین گازی جنوب غرب ایران

محسن صائمی^۱

تهران، پژوهشگاه صنعت نفت، پردیس بالادستی
(saemim@ripi.ir)

چکیده

میدان گازی مورد مطالعه که نویسنده مقاله با توجه به محرمانه بودن اطلاعات از ذکر نام آن معذور می باشد در نوار شمالی رودخانه مند واقع در جنوب غربی کشورمان جزء ذخائر قابل توجه گاز طبیعی است که با توجه به فعالیت های تکتونیکی شدید و ساختار زمین شناسی پیچیده در آن ناحیه، عمده جریان سیال در این مخزن بواسطه شکستگی های طبیعی و القایی کششی به سمت چاه های تولیدی هدایت می شود. از اینرو شناخت کامل مکانیسم های ژئومکانیکی و رژیم تنش های برجا در منطقه می تواند کمک شایان توجهی به طراحی استراتژی های تولیدی از مخزن و همچنین کاهش هزینه های عملیاتی ناشی از حفر چاه در چنین ساختار شکافداری گردد. در این مطالعه با استفاده از دادهای گردآوری شده طی فازهای اکتشاف و بهره برداری مقدار تنش های برجا در منطقه و مدول های ژئومکانیکی منطقه تعیین و در ادامه به مطالعه و تحلیل ژئومکانیکی مخزن مذکور پرداخته شده است.

واژه های کلیدی: تحلیل ژئومکانیکی، میدان گازی، آنالیز پایداری، تنش های اصلی، پنجره ایمن گل

۱- عضو هیات علمی

۱- مقدمه

داشتن دانش و شناخت کافی از فرآیندهای ژئومکانیکی مخزن همواره از مراحل ابتدایی اکتشاف تا مراحل پایانی عمر یک مخزن به منظور شبیه سازی مناسب مخزن، کاهش ریسک در طی عملیات اجرایی و نهایتاً کاهش هزینه های جاری از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. هدف از این پروژه مطالعه و تحلیل ژئومکانیکی میدان اشاره شده شامل تعیین تانسور کامل تنش حاکم بر میدان، تعیین پارامترهای ژئومکانیکی سنگ مخزن با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی، استفاده از نتایج تفسیر نمودار DSI در تعیین مدول های الاستیک سنگ، تعیین وزن بهینه گل حفاری و پنجره گل، تعیین مسیر بهینه حفاری در مراحل توسعه میدان و تحلیل پایداری دیواره های چاه است. در این مطالعه با گردآوری و آنالیز داده های موجود بدست آمده طی فازهای اکتشاف و بهره برداری از مخزن مورد نظر، مقدار و جهت تنش های اصلی و همچنین خصوصیات مکانیکی سنگ مخزن عمدتاً با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی و گزارشات روزانه حفاری و چاه های تکمیل شده تعیین شده اند مورد ارزیابی قرار می گیرد. نتایج بدست آمده از مطالعه ژئومکانیکی این میدان نشان می دهد که با توجه فعالیت های شدید تکتونیکی ساختارهای مخزن، مطالعه ژئومکانیکی و تحلیل پایداری چاه نقش بسزایی در فازهای توسعه میدان و طراحی تولید ایفا خواهد نمود.

۲- رژیم تنش های اصلی حاکم بر منطقه

گام نخست در یک پروژه تحلیل ژئومکانیکی تعیین تانسور تنش است. مقدار و جهت تنش های اصلی در دیواره چاه تانسور تنش اصلی در آن نقطه است که با چرخش این تانسور در جهت های دلخواه می توان حالت تنش را در سایر صفحات عبور کننده از آن نقطه تعیین نمود. لذا با توجه به قائم بودن یکی از تنشهای اصلی و از آنجائیکه راستای این تنش ها عمود بر هم هستند، تنها با دانستن جهت یکی از تنش های اصلی افقی می توان مقدار تنش های اصلی را تعیین نمود.

ابزارهای متفاوتی در مهندسی نفت برای تعیین جهت تنش های اصلی وجود دارد که در این میان نمودارهای تصویری و کالیپر چند بازویی نقش بسزایی دارند. روش های دیگری مانند مکانیزم کانونی زمین لرزه (Focal Mechanism)، آنالیز پراکنش سرعت موج برشی حاصل از نگار DSI و مطالعه تکتونیکی گسلها و دیگر ساختارهای زمین شناسی وجود نیز دارند. جهت تنش های اصلی تعیین شده با استفاده از نگار DSI در این مطالعه تطابق بسیار خوبی با جهت تنش های بدست آمده حاصل از نمودارهای تصویری نشان می دهد.

از مشاهدات نگار FMI، جهت شکستگی های فشاری که نمایانگر جهت تنش افقی حداقل است بدست آمد تحلیل آماری روی شکستگی های القایی در دیواره چاه حاصل از پردازش نمودارهای FMI نشان می دهد که جهت امتداد شکستگی های فشاری بطور میانگین ۱۳۰ درجه است که با مقدار متوسط تنش افقی حداکثر (۵۰ درجه) بدست آمده از روی نمودار DSI تطابق بسیار خوبی دارد.

۳- تعیین مقدار تنش های افقی

برای تعیین تنش های افقی در مخزن بدلیل تخلخل بسیار پایین سنگ مخزن و رفتار شکننده آن از تئوری الاستیسیته استفاده شده است. از آنجائیکه اطلاعات حاصل از روش های مستقیم اندازه گیری تنش در مخزن موجود نیستند، می بایست تنش های افقی را با استفاده از پلیگون تنش تا حد قابل قبولی از میزان عدم قطعیت، تخمین زد.

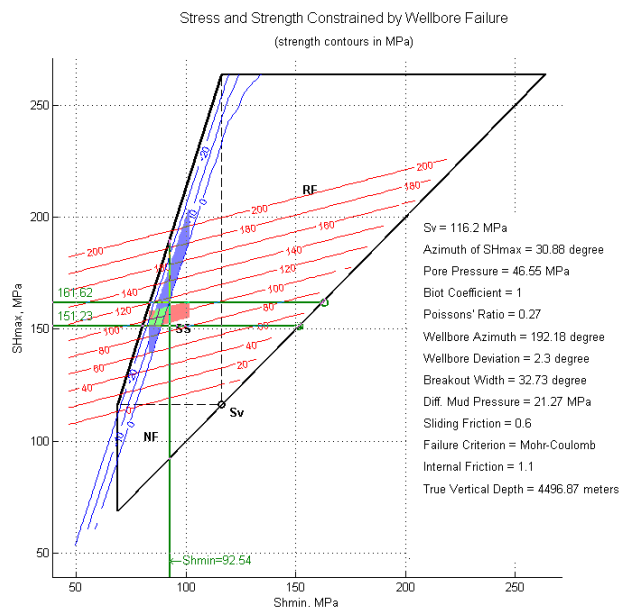
برای اینکار از مقاومت های تک محوره فشاری و کششی سنگ مخزن در نقاطی که چاه دچار شکستگی های فشاری و کششی شده است استفاده می کنیم. از آنجائیکه مقدار دقیق این پارامترها در دسترس نیست، با در نظر گرفتن تغییرپذیری این پارامترها به میزان 10 Mpa محدوده تغییرات تنش های افقی بدست می آید. برای بالا بردن درجه اطمینان از صحت مقادیر پیش بینی شده می بایست از داده های واقعی به منظور کالیبراسیون محاسبات استفاده کرد. با توجه به اینکه مقدار عرض شکستگی های فشاری که از روی نمودار تصویری FMI بدست آمده است، در ارتباط مستقیم با مقاومت تراکمی سنگ و میزان تنش های افقی اعمال شده در دیواره چاه است، می توان مقدار تنش افقی حداکثر را با استفاده از رابطه زیر تعیین نمود:

$$S_{Hmax} = \frac{(C_0 + 2P_p + \Delta P + \sigma^{\Delta T}) - S_{hmin}(1 + 2 \cos 2\theta_b)}{1 - 2 \cos 2\theta_b} \quad (1)$$

جاییکه عرض خردشدگی برابر است با:

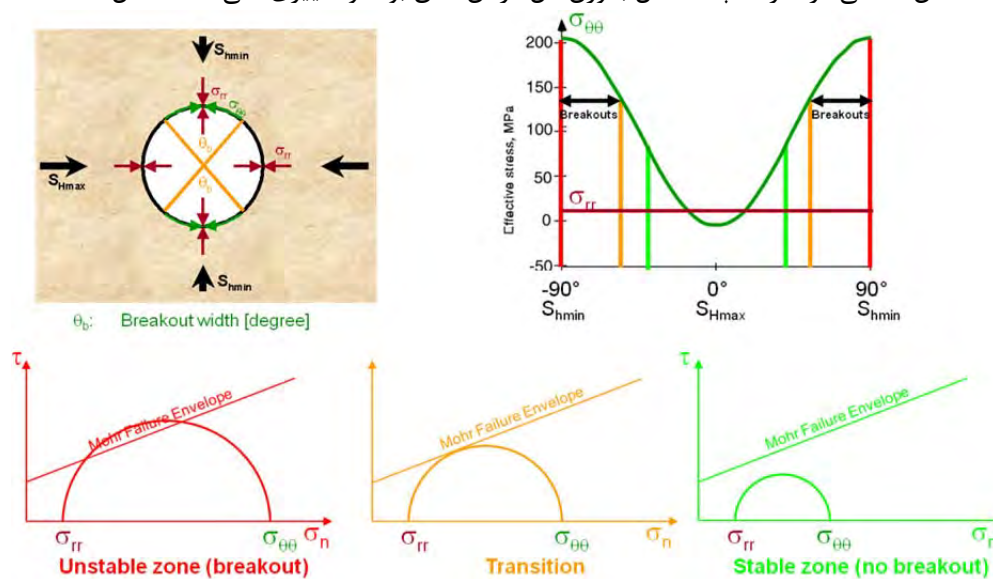
$$2\theta_b \equiv \pi - w_{bo}$$

با توجه به روابط فوق می توان به ازای زوایای مختلف خردشدگی در دیواره چاه کنتره‌های عرض شکستگی فشاری در دیواره چاه را در پلیگون تنش ترسیم، و از این طریق اعتبار محدوده تنش تعیین شده در مرحله قبل را مورد سنجش قرار داد. نکته قابل توجه در این محاسبات نواحی تغییرات تنش های افقی است که تطابق بسیار خوبی در هر دو پلیگون تنش مذکور در اعماق مختلف چاه با یکدیگر دارند (شکل ۱).



شکل ۱: پلیگون تنش در عمق ۳۲۵۰ متری از مخزن

تنش ها در اطراف چاه توسط تنش شعاعی در راستای عمود بر دیواره چاه و تنش مماسی بصورت مماس بر دیواره چاه و در تمام نقاط است. تنش شعاعی در اطراف چاه معادل با وزن گل در آن عمق بوده و تغییری نمی کند (شکل ۲).



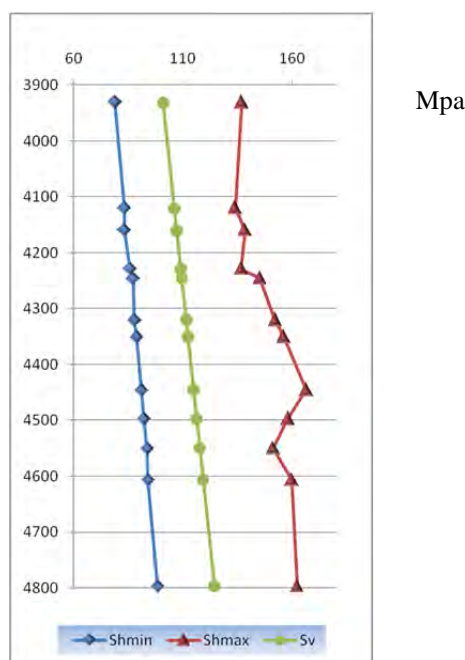
شکل ۲: تغییرات تنش های مماسی و شعاعی در اطراف یک چاه قائم

تنش مماسی در اطراف چاه متغیر است و از راستای تنش افقی ماکزیمم اندازه گیری می شود. مقدار تنش مماسی در راستای تنش افقی حداقل، بیشترین مقدار را دارد. جاییکه اختلاف بین دو تنش شعاعی و مماسی به بیشترین مقدار خود برسد، خردشدگی های فشاری شکل گرفته و دایره موهر از پوش شکست تجاوز می کند. با افزایش زاویه از راستای تنش افقی حداقل، این اختلاف کاهش یافته و در یک نقطه خاص پوش شکست و دایره موهر بر یکدیگر مماس می شوند. به این نقطه اصطلاحاً حد خردشدگی گفته می شود. همانطور که در شکل ۲ دیده می شود، عرض نهایی خردشدگی را می توان با اندازه گیری اختلاف بین دو خط قرمز و نارنجی در شکل بدست آورد. همچنین با توجه به توضیحات فوق، محل و عرض خردشدگی های فشاری برای عمق های مختلف محاسبه شده است. عرض و آزمون خردشدگی های تنش با استفاده از این روش در مرحله بعد با مشاهدات حاصل از نمودار FMI مقایسه شده و نتایج زیر بدست آمد (جدول ۱).

جدول ۱: مقایسه بین پارامترهای پیش بینی شده و واقعی برای خردشدگی های فشاری

Depth	Break out_FMI	Width_FMI	Predicted Break out Position	Predicted Shmin	Shmax
3931.752	115.6	42.23	117	44	79
4120.736	109.27	34.84	110	34	83.17
4160.276	138.3	38.01	138	38	83.15
4229.097	128.27	41.17	128	41	85.7
4246.128	103.46	48.56	104	49	87.14
4320.519	130.91	42.23	131	43	87.85
4350.7	133.02	48.56	133	48	88.88
4445.698	154.66	39.06	154	39	91.03

شکل ۳ گرادیان تنش های افقی اصلی در چاه را نشان می دهد. این دیاگرام بیانگر رژیم تنش امتداد لغز در مخزن است.



شکل ۳: گرادیان تنش های افقی اصلی در چاه

۴- محاسبه مولفه تنش های اصلی در سازندهای اطراف چاه

در بخش قبل تنش های اصلی در دیواره چاه محاسبه شدند. برای محاسبه تغییرات تنش های برجا در سازندهای اطراف چاه از تئوری الاستیسیه خطی استفاده شد. در شکل ۴ نحوه تغییرات مولفه های مختلف تنش در اطراف چاه با شعاع ۶/۱۲۵ inch در عمق های مختلف دیده می شود. آزمون تنش افقی حداکثر در زیر هر شکل مشخص شده است. تغییرات مولفه تنش مماسی به شدت به موقعیت اطراف چاه و فاصله از دیواره چاه وابسته است. منحنی های سمت راست تغییرات مولفه های تنش را نسبت به فاصله نرمالایز شده (r/R) از دیواره چاه در زوایای مختلف نشان می دهد. معمولاً بیشترین تغییرات در جهات تنش های افقی مشاهده می شود.

در دیواره چاه طبق رابطه کرش تنش مماسی بصورت زیر است:

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{1}{2}(S_{Hmax} + S_{hmin} - 2P_0) \left(1 + \frac{R^2}{r^2}\right) - \frac{1}{2}(S_{Hmax} - S_{hmin}) \times \left(1 + \frac{3R^4}{r^4}\right) \cos 2\theta - \frac{P_0 R^2}{r^2} - \sigma \Delta T \quad (2)$$

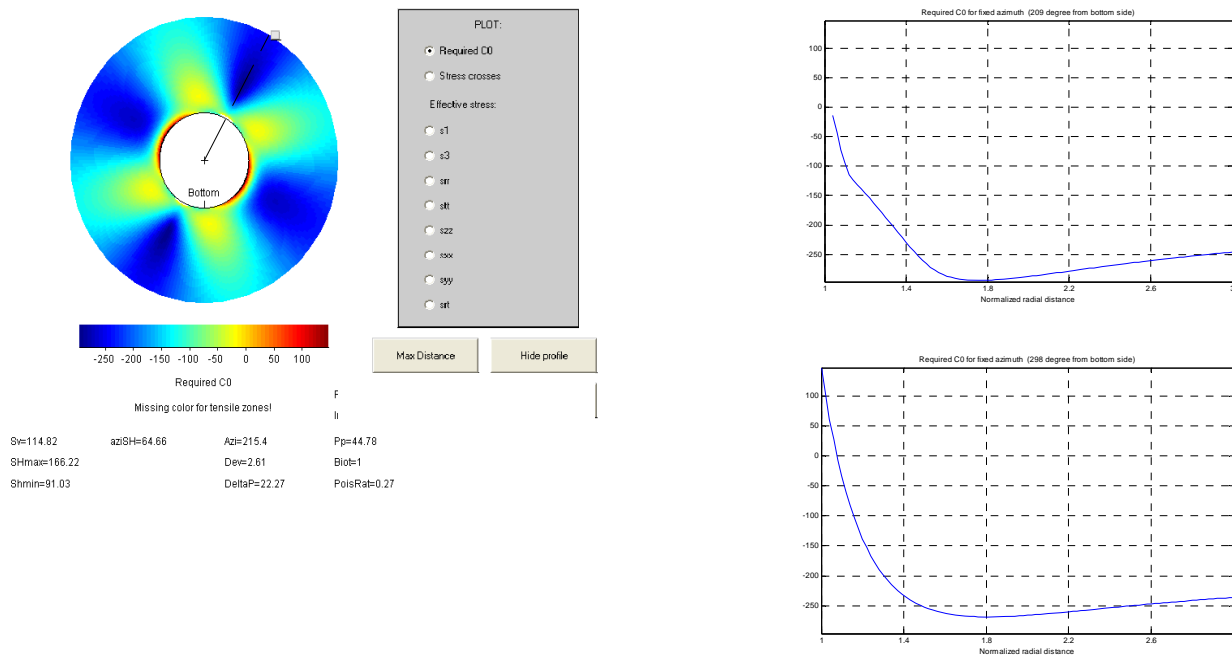
تنش های شعاعی و برشی نیز بطور مشابه طبق تئوری کرش بدست می آیند:

$$\sigma_{rr} = \frac{1}{2}(S_{Hmax} + S_{hmin} - 2P_0) \left(1 - \frac{R^2}{r^2}\right) + \frac{1}{2}(S_{Hmax} - S_{hmin}) \times \left(1 - \frac{4R^2}{r^2} + \frac{3R^4}{r^4}\right) \cos 2\theta + \frac{P_0 R^2}{r^2} \quad (3)$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{1}{2}(S_{Hmax} - S_{hmin}) \left(1 + \frac{2R^2}{r^2} - \frac{3R^4}{r^4}\right) \sin 2\theta \quad (4)$$

شایان ذکر است که با توجه به روابط کرش مولفه های تنش محاسبه شده در سازندهای اطراف چاه مستقل از مدول های الاستیک هستند این بدان معناست که هیچگونه تغییری در رفتار تمرکز تنش ها در لیتولوژی های مختلف روی نخواهد داد. همچنین از آنجاییکه فرض همگن و همسانگرد بودن سازندها در محاسبات تئوری الاستیسیته مطرح شده است، کنترت تنش ها در اطراف چاه نسبت به محور تنش های اصلی افقی متقارن است. از این رو تنها با محاسبه تغییرات مولفه های تنش در یک ربع از محیط دایروی چاه می توان تنش های محاسبه شده را به سایر نقاط چاه تعمیم داد.

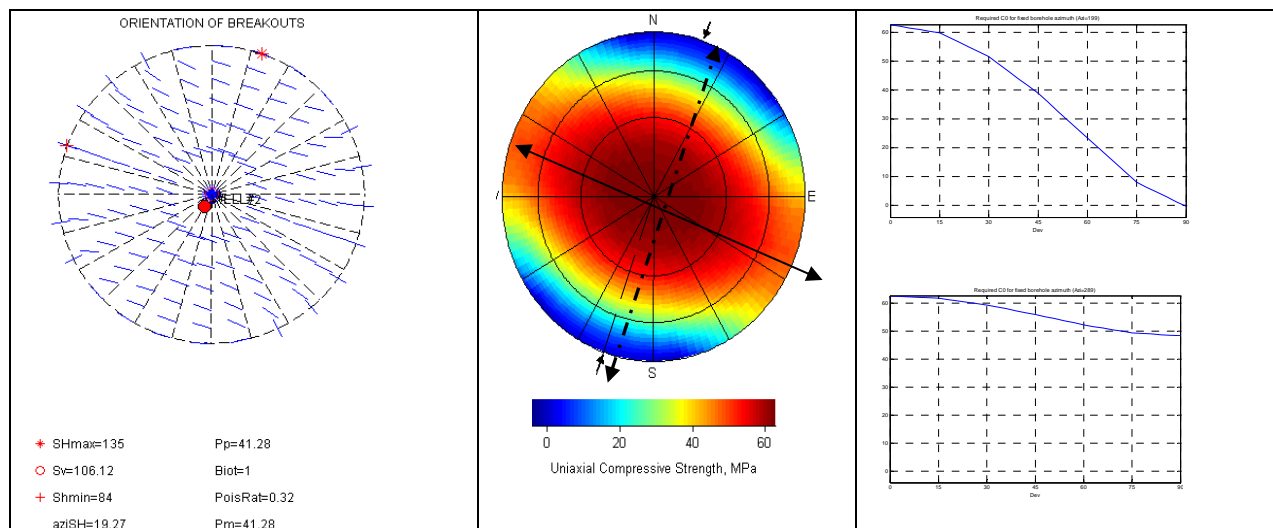
برای مثال در عمق ۴۰۰۰ متری از مخزن در نسبت $r/R=3$ تنش مماسی در راستای تنش های حداکثر افقی و حداقل افقی نشان داده شده است (شکل ۴). مقدار تنش مماسی در پلات بالایی در راستای S_{Hmax} در دیواره چاه، تقریباً برابر صفر بوده و احتمال گسیختگی کششی در این نقطه وجود دارد. همچنین این تنش در پلات پایینی که مرتبط با راستای تنش حداقل افقی است تا ۱۵۰ Mpa بوده و نواحی قرمز رنگ تمرکز تنش فشاری و بدنبال آن تشکیل شکستگی های فشاری را نشان می دهد.



شکل ۴: تغییرات تنش مماسی در سازندهای اطراف چاه در عمق ۴۰۰۰ متری

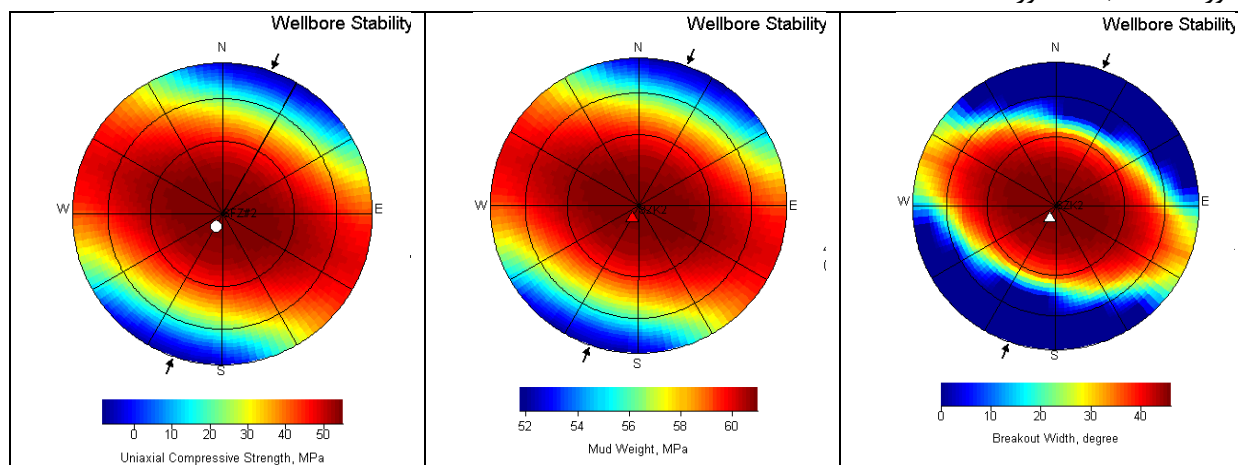
۵- تحلیل پایداری چاه

برای ارزیابی پایداری چاه در جهات مختلف در تحلیل ژئومکانیکی چاه از دیاگرام نیمکره پایینی استریونت استفاده شده است. این دایره برای هر رژیم تنش، هر مقدار تنش و همچنین هر فشار و وزن گلی قابل ترسیم است (Peska and Zoback 1996). این دیاگرام ها بر اساس تغییر رنگ ها کدگذاری شده اند که در حقیقت مقدار مقاومت فشاری یا وزن گل مورد نیاز در آن نقطه را برای جلوگیری از تشکیل شکستگی نشان می دهند (initiation of breakouts). رنگهای قرمز مناطق ناپایدار با مقاومت مورد نیاز بالا و نواحی آبی رنگ جهات با ریسک پایین حفاری را نشان می دهند. در شکل ۵ مثالی از تصویر نیمکره پایینی که در آن پروفیل های تغییر مقاومت تراکمی سنگ نسبت به تغییر شیب چاه در راستای تنش های افقی نشان داده شده است (در عمق ۴۱۲۰ متری). همانطور که از شکل نیز مشاهده می شود برای چاه های شیبدار نزدیک به حالت قائم مقاومت بیشتری برای پایداری چاه در مقابل گسیختگی های فشاری مورد نیاز است.



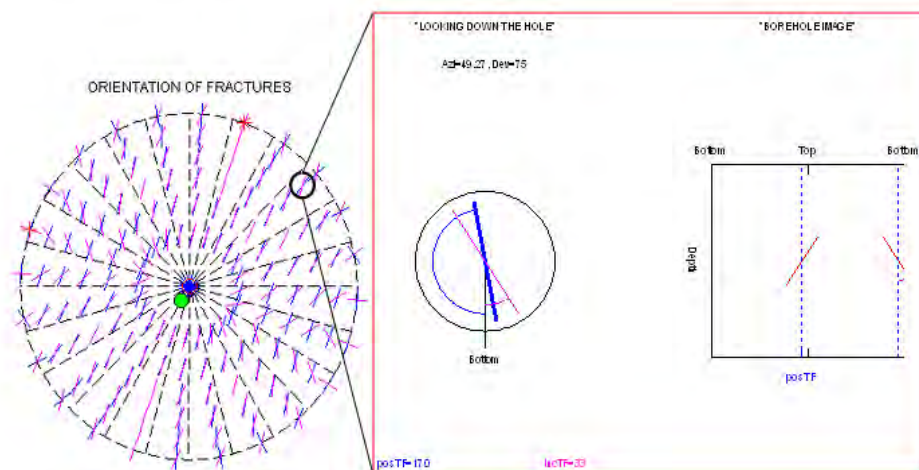
شکل ۵: تصویر نیمکره پایینی که در آن پروفیل های تغییر مقاومت تراکمی سنگ نسبت به تغییر شیب چاه در راستای تنش های افقی در عمق ۴۱۲۰ رسم شده است.

علاوه بر مورد فوق تصاویر مربوط به استریونت های تحلیل پایداری و موقعیت خردشدگی های فشاری براساس فشار گل حفاری مورد نیاز و عرض خردشدگی های فشاری نیز ترسیم شده است. برای مثال در شکل ۶ سه استریونت تحلیل پایداری چاه در عمق ۴۱۲۰ متری از سطح زمین ارائه شده است که با مقایسه آنها با یکدیگر می توان بهترین مسیر حفاری را در عمق مورد مطالعه بدست آورد.



شکل ۶: تحلیل پایداری چاه به ترتیب از چپ به راست برای مقدار مقاومت تک محوره مورد نیاز، وزن گل مورد نیاز برای جلوگیری از خردشدگی فشاری و عرض خردشدگی فشاری در عمق ۴۱۲۰

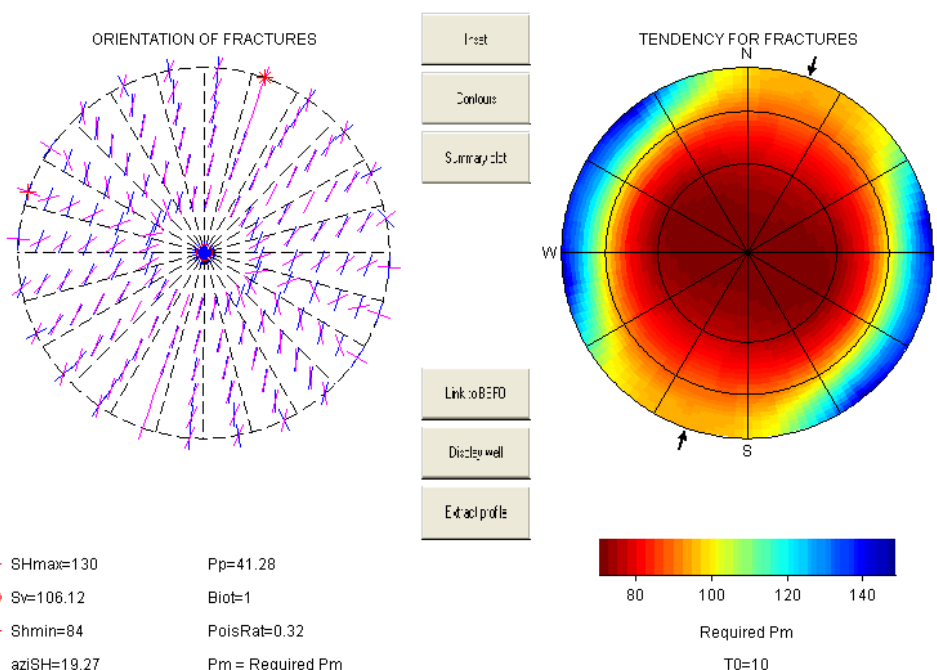
بطور مشابه می توان از روش مذکور برای نشان دادن تمایل ایجاد شکستگی های کششی در دیواره چاه استفاده کرد. برای مثال در عمق ۴۱۲۰ متری از چاه میدان مورد مطالعه موقعیت شکستگی های کششی در جهت مختلف حفاری در شکل ۷ نشان داده شده است.



* SHmax=135 Pp=41.28
 ○ Sv=106.12 Biot=1
 + Shmin=84 PoisRat=0.32
 aziSH=19.27 Pm = Required Pm

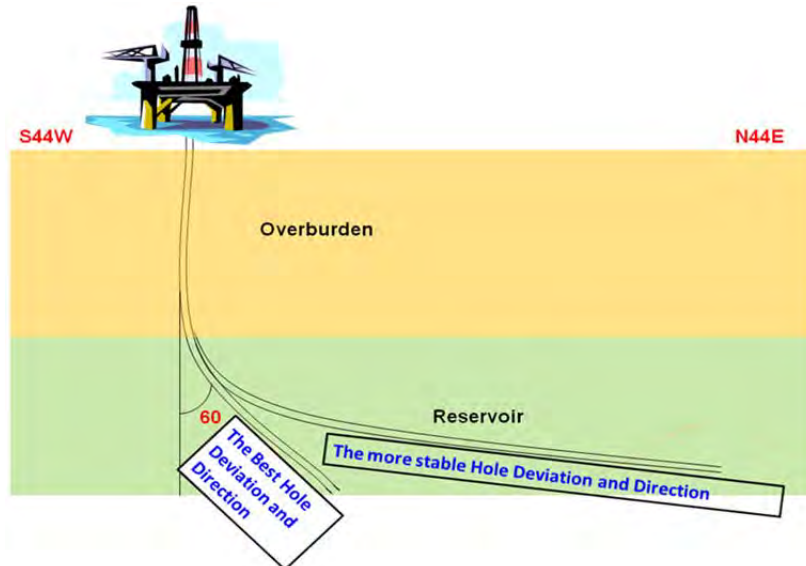
شکل ۷: تحلیل پایداری چاه بر اساس شکستگی های کششی ایجاد شده در دیواره چاه که بصورت موقعیت این شکستگی ها به ازای مسیرهای مختلف چاه ترسیم شده است (در عمق ۴۱۲۰).

در حقیقت احتمال تشکیل شکستگی های کششی زمانی بالاست که وزن گل نزدیک به فشار منفذی گردد (نواحی قرمز رنگ). شکل ۸ مثالی از این حالت را برای شرایط مشابه با شکل های قبل را ارائه می دهد:



شکل ۸: تحلیل پایداری چاه بر حسب فشار گل مورد نیاز برای جلوگیری از ایجاد شکستگی های کششی در عمق ۴۱۲۰ متری

شکل ۹ مسیر بهینه حفاری را در یک عمق خاص از چاه نشان می دهد. حال با توجه به اینکه این حالت برای اعماق مختلف در مخزن محاسبه شده است، لذا بهترین مسیر حفاری را می توان در شکل ۹ ارائه داد. در این شکل آزمون چاه در راستای تنش افقی حداکثر می باشد. پایدارترین حالت حفر چاه حالتی است که در آن محور چاه نزدیک به حالت افقی است اما با توجه به اینکه در این حالت متراژ حفاری و متعاقبا مشکلات اجرایی در حین حفر افزایش می یابند، بنابراین بهترین شیب برای حفاری زاویه ۵۷ درجه نسبت به امتداد قائم است. در حقیقت این مقدار زاویه ای است که از منطقه Transition گذشته و وارد ناحیه ایمن و پایدار می شویم.



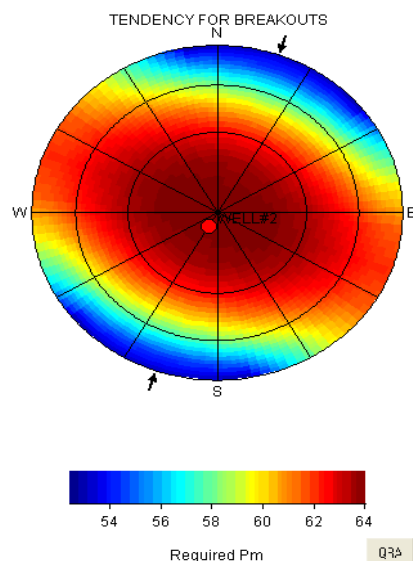
شکل ۹: مسیر بهینه حفاری در میدان مورد مطالعه

۶- تعیین بهینه پنجره گل حفاری

زمانی که به بررسی عوامل ایجاد ناپایداری در چاه پرداخته می شود، ابتدا می بایست مفاهیم چاه پایدار و وزن گل بهینه تعریف شوند. برای این منظور لازمست تا مفهوم پنجره ایمن گل در طی یک پروسه حفاری که در حقیقت اختلاف بین حداقل و حداکثر وزن گلی است که جهت جلوگیری از ناپایداری چاه در یک عمق مشخص تعیین شود. حد پایین این محدوده وزنی از گل است که به ازای آن چاه پایدار بماند. حد بالایی پنجره گل نیز وزن گلی است که به ازای آن شکست هیدرولیکی و متعاقبا هرزروی گل در دیواره چاه اتفاق نیافتد.

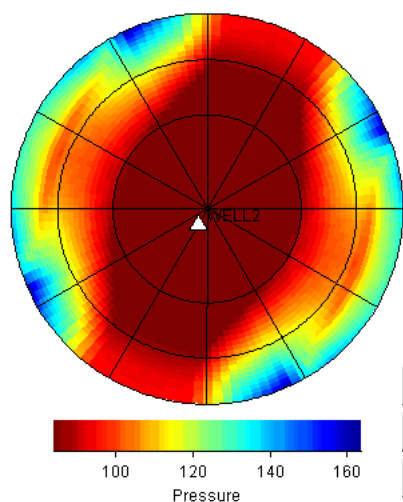
در دیگرام های پنجره گل پایداری نسبی چاه در جهات مختلف و در عمق های مشخص مورد ارزیابی قرار گرفته است. در هر تصویر آزمون چاه با مقدار زاویه ای که از شمال جغرافیایی اندازه گیری می شود و شیب آن با فاصله شعاعی از مرکز استریونت معادل است. رنگهای هر پلات بر اساس مقدار وزن گل مورد نیاز جهت ممانعت از ناپایداری چاه کدگذاری شده است. برای مثال در عمق ۴۱۲۰ متری شکل ۱۰ وزن گل مازاد را که برای جلوگیری از ایجاد خردشدگی فشاری با عرض ۳۴/۸۴ درجه لازمست را نشان می دهد. به عبارت دیگر وزن گل محاسبه شده تنها برای ایجاد گسیختگی فشاری محدودی در چاه تعیین شده و اجازه گسیختگی گسترده را نمی دهد. به این فشار اصطلاحاً pbo یا فشار تشکیل شکستگی فشاری اطلاق می گردد

شکل ۱۲ ماکزیمم سه محدوده تغییرات فشار را برای فشارهای Pinit, Pgrow, Plink را نشان می دهد. شکل سمت چپ حد پایین و شکل سمت راست حد بالای پنجره گل را نشان می دهد. اگر مقطع A-B را در آزمون ۹۰ درجه در امتداد هر دو شکل رسم شود مقدار فشار گل را می توان نسبت به زاویه انحراف چاه از حالت قائم بدست می آید. در این حالت پیکان های دوسویه حداقل و حداکثر پنجره گل را نشان می دهند. در این مورد خاص، پنجره ایمن گل از ۶۶ تا ۷۷ Mpa تعریف می شود.



شکل ۱۰: مقدار فشار گل مورد نیاز برای پیش گیری از ایجاد خردشدگی فشاری با عرض ۳۵ در عمق ۴۱۲۰ متری

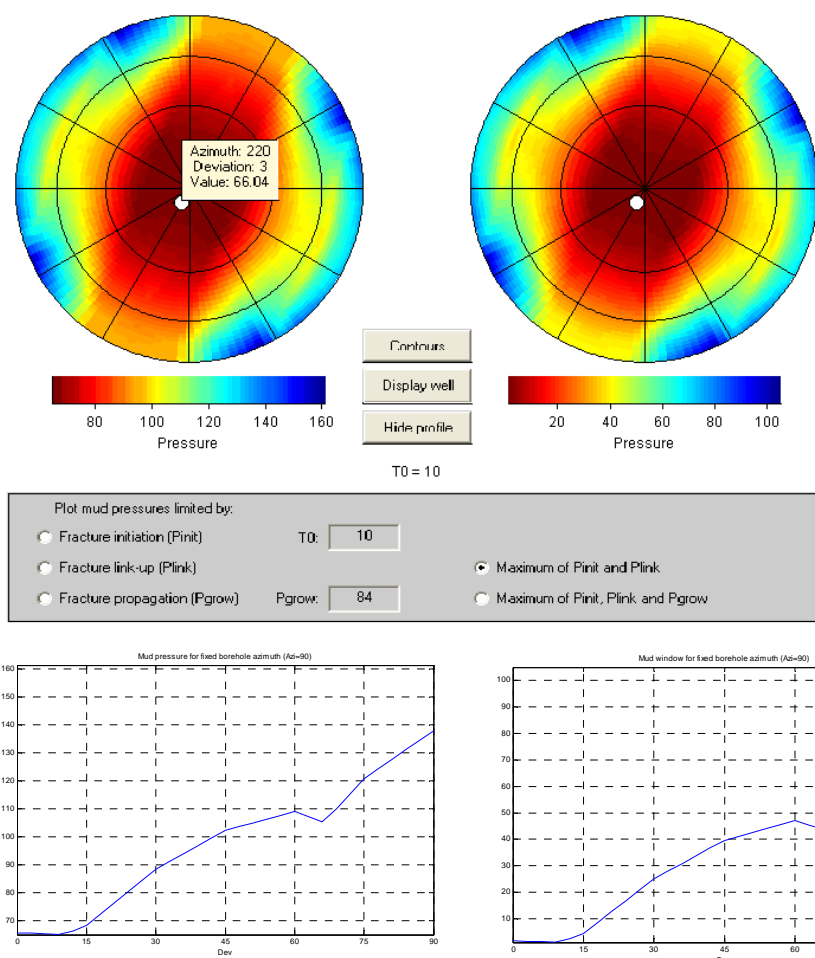
در اینجا این سوال مطرح می شود که تا چه میزان می توان فشار گل را بالا برد بدون اینکه پدیده هرزروی گل اتفاق نیافتد. شکل ۱۱ نشان می دهد که برای جلوگیری از تشکیل شکستگی های کششی در دیواره چاه که در موقعیتی با شیب ۲/۵۴ و آزیموت ۲۰۸ درجه قرار دارد می بایست از وزن گل کمتر از ۸۴ Mpa استفاده شود (Pinit). بنابراین زمانیکه از وزن گل بالا برای ممانعت از تشکیل خردشدگی های فشاری استفاده می شود، به استثنای جاهای بسیار شیبدار که در راستای شمال غربی - جنوب شرقی حفاری می شوند، احتمال شکستگی های کششی در سایر نقاط وجود دارد. با این وجود، تشکیل ترک ها در دیواره چاه تا زمانیکه پدیده هرزروی گل اتفاق نیافتد مشکل ساز نخواهد شد.



شکل ۱۱: مقدار فشار مورد نیاز برای ایجاد شکستگی کششی (Pinit) در عمق ۴۱۲۰ متری

همانطور که در بخش های قبل نیز اشاره شد، در صنعت حفاری معمولاً برای طراحی وزن بهینه گل از پنجره گل حفاری که محدوده بین فشار منفذی و فشار شکست سازند است استفاده می شود (محدوده آبی رنگ در شکل ۳۴). این بازه از گل تنها به منظور جلوگیری از ورود سیال منفذی به درون چاه و هرزروی گل مناسب است و نمی تواند مقدار مطمئنی از وزن گل مورد نیاز به منظور پایدارسازی دیواره چاه ارائه دهد. از این رو با توجه به موارد ذکر شده در بالا از نقطه نظر ژئومکانیکی پنجره گل

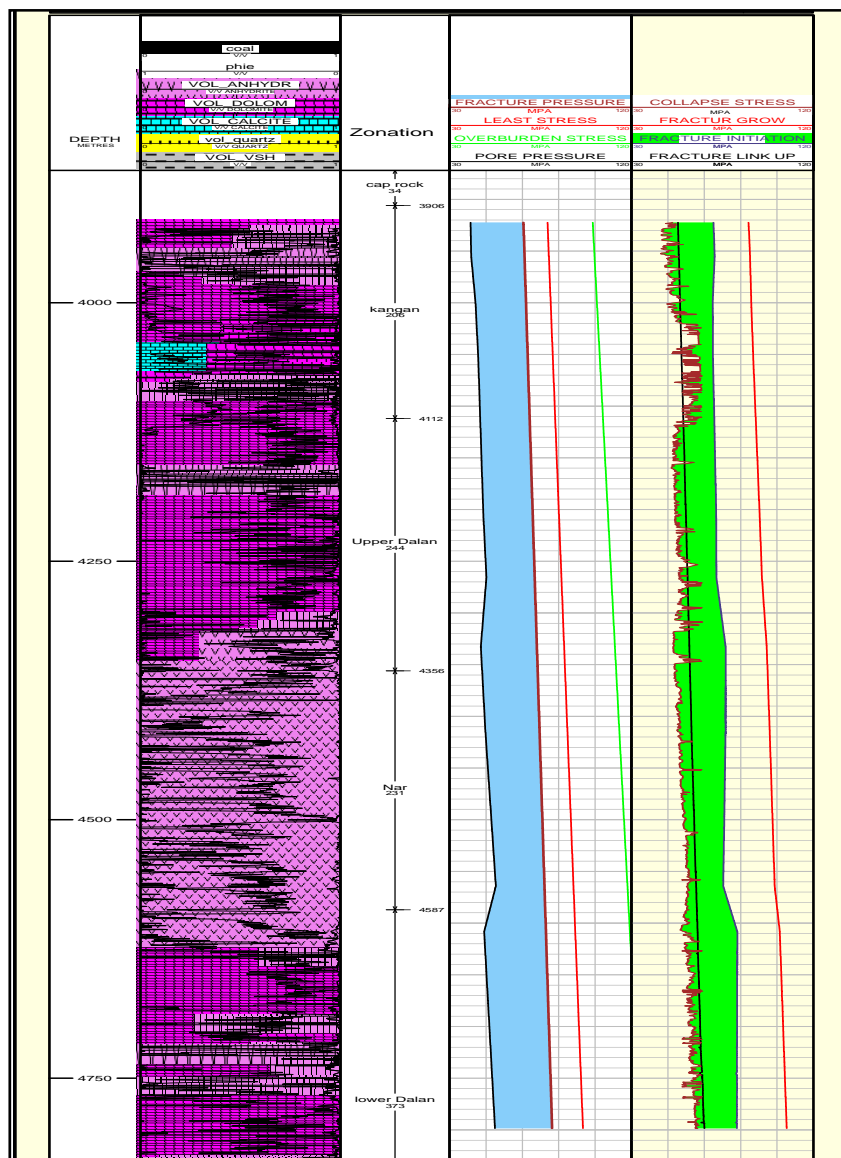
می بایست به گونه ای طراحی شود که علاوه بر هرزروی گل و ورود سیال به چاه، از ایجاد شکستگی های فشاری و کششی در چاه نیز جلوگیری کند.



شکل ۱۲: ماکزیمم سه محدوده تغییرات فشار را برای فشارهای Pinit, Pgrow, Plink

ناحیه سبز رنگ در شکل ۱۳ محدوده مجاز تغییرات گل را در چاه نشان می دهد. در این شکل با توجه به اینکه میزان هرزروی گل در سازندهای مختلف چاه ناچیز است، وزن گلی که به ازای مقادیر بیشتر از آن شکستگی های کششی در چاه ایجاد می شود حد بالایی پنجره گل در نظر گرفته می شود. چراکه این مقدار از وزن گل نمی تواند باعث هرزروی گل به مقدار زیاد شود (تنها در فشار انتشار هرزروی قابل توجه گل رخ می دهد).

از طرفی برای تعیین حد پایین پنجره گل از مقدار وزن گلی استفاده می شود که به ازای مقادیر کمتر از آن گسیختگی فشاری با عرض مشخص ایجاد می شود. این مقدار از گسیختگی نباید منجر به ریزش یا ناپایداری دیواره چاه شود. به این مقدار از وزن گل را اصطلاحاً wellbore collapse stress wellbore collapse stress می گردد.



شکل ۱۳: پنجره گل و پنجره ژئومکانیکی گل

۷- نتیجه گیری

به طور کلی، در این مقاله میدان مذکور از لحاظ ژئومکانیکی مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. تعیین رژیم تنش حاکم بر میدان، پارامترهای ژئومکانیکی سنگ مخزن با استفاده از نمودارهای پتروفیزیکی، تعیین وزن بهینه گل حفاری و پنجره ایمن گل، تعیین مسیر بهینه حفاری در مراحل توسعه میدان و تحلیل پایداری دیواره های چاه ها از جمله مواردی بود که در طی این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج بدست آمده از مطالعه ژئومکانیکی این میدان نشان می دهد که با توجه فعالیت های شدید تکتونیکی ساختارهای مخزن، مطالعه ژئومکانیکی و تحلیل پایداری چاه نقش بسزایی در فازهای توسعه میدان و طراحی تولید ایفا خواهد نمود. برای مثال طراحی پنجره ایمن گل نقش قابل ملاحظه ای در انتخاب لوله های جداری مناسب و وزن بهینه گل حفاری در طول عملیات حفاری خواهد داشت. از طرفی انتخاب صحیح بهترین مسیر حفاری چاه تا حد امکان می تواند هزینه های ناشی از طراحی غیراصولی یک چاه را کاهش دهد.

مراجع

- 1- Barton, C. A. and Zoback, M. D. (1994). "Stress perturbations associated with active faults penetrated by boreholes: Possible evidence for near-complete stress drop and a new technique for stress magnitude measurements." *J. Geophys. Res.*, 99, 9373–9390.
- 2- Chang, C., Zoback, M. D. et al. (2006). "Empirical relations between rock strength and physical properties in sedimentary rocks." *Journal of Petroleum Science and Engineering*, 51, 223–237.
- 3- Moos, D., Zoback, M. D. et al. (1999). Feasibility study of the stability of openhole multilaterals, Cook Inlet, Alaska. 1999 SPE Mid-continent Operations Symposium, Oklahoma City, OK, Society of Petroleum Engineers.
- 5- Paul, P. and Zoback, M. D. (2006). Wellbore Stability Study for the SAFOD Borehole through the San Andreas Fault: SPE 102781. SPE Annual Technical Conference, San Antonio, TX.
- 6- Peska, P. and Zoback, M. D. (1996). "Stress and failure of inclined boreholes SFIB v2.0: Stanford Rock Physics and Borehole Geophysics Annual Report, 57, Paper H3." Stanford University Department of Geophysics.
- 7- Vernik, L. and Zoback, M. D. (1990). Strength anisotropy of crystalline rock: Implications for assessment of In situ stresses from wellbore breakouts. *Rock Mechanics Contributions and Challenges*. Balkema, Rotterdam.