Archive of SID

انجمن زمین ساخت و زمین شناسی ساختاری ایـــران
TECTONIC & STRUCTURAL GEOLOGY ASSOCIATION OF IRAN

بررسی پایداری دیواره چاه های نفتی با کمک نرم افزار STABView

◇◇◇◇◇◇◇

چکیده :

ناپایداری دیواره چاه یکی از مشکلات اساسی درعملیات حفاری چاههای نفت و گاز است. با توجه به این که حفر چاه با شیب و آزیموت های متفاوت انجام میگیرد و از میان لایه های با خواص متفاوت می‌گذرد، از این رو فرآیند حفاری پیچیده و دارای ریسک بالا می باشد و لذا تحلیل و پیش بینی ناپایداری چاه از اهمیت ویژه ای برخوردار است. ناپایداری دیواره چاه به سیستم تنش تکتونیکی مرتبط است و بر اساس اینکه در ناحیه مورد مطالعه تنش های برجای غالب از نوع نرمال، فشارشی و یا امتدادلغز باشد مسیر بهینه حفر چاه تعیین خواهد شد. راستای تنش های برجا نشانگر وضعیت کنونی میدان تنش می باشد. نرم افزارStabview یک نرم افزار بسیار قدرتمند برای آنالیز نقشه چاه می باشد که توسط شرکت Weatherford طراحی شده است.مدل‌های ارائه شده توسط این نرم‌افزار، بهینه ترین آزیموت و شیب، برای حفاری‌های جهت‌دار، به مهندسین حفار ارائه می‌دهد، تا دیواره چاه دارای کمترین میزان شکست باشد. با توجه به این که مقاومت سنگ در برگیرنده چاه غیر قابل کنترل است تنها عامل قابل کنترل در پایدارسازی دیواره چاه های باز، فشار گل حفاری است. با توجه به معیارهای گسیختگی برشی و کششی به دست آمده می توان بازه ای از وزن گل حفاری را تعریف کرد که در این بازه دیواره چاه پایدار است. درنتیجه می توان تغییرات فشار گل حفاری نسبت به زاویه انحراف از قائم را در یک نمودار رسم کرد.

کلید واژه ها: پایداری-دیواره- چاههای نفت و گاز-stabview-ژئومکانیک-تنش‌های برجا

Wellbore stability analysis using stabview software

Abstract:

Wellbore instability is one of the main problems during drilling of oil and gas wells. Due to different inclinations and azimuth in wellbore, and passing through the layer with different properties, the drilling process is complex and high risk, therefore, analyzing and wellbore stability prediction is important. Wellbore instability is caused by tectonic stress regime and according to the type of dominant is-situ stress in study area (normal, compressional or strike slip), the optimal path will eventually select. Orientation of in situ stress indicates current state of stress field. Stabview is a very powerful software to analyze the map of well, designed by Weatherford. The models offered by this software, offers to the drilling engineers, the optimal azimuth and dip for directional drilling with the lowest failure.

Keywords : stability-wellbore-oil and gas wells-stabview-geomechanic-in situ stresses

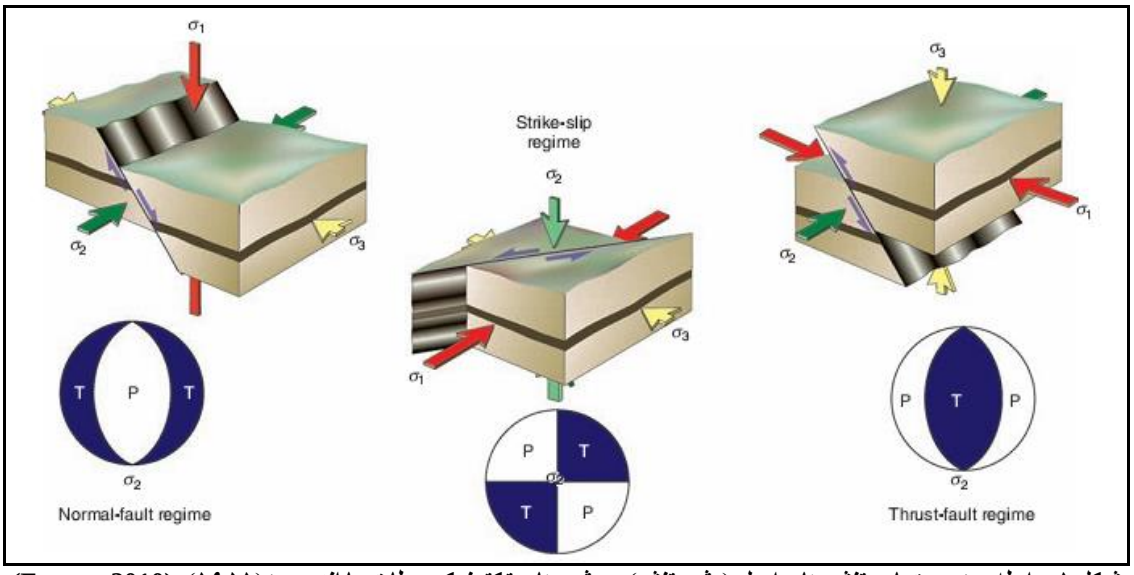
◇◇◇◇◇◇◇

مقدمه :

www.SID.ir

Archive of SID

به دلیل اینکه ناپایداری دیواره چاه از مشکلات اساسی در عملیات حفاری چاههای نفت و گاز می باشد در بسیاری از میدان های نفتی برای کاهش هزینه ها و افزایش تولید و بازدهی بیشتر مخازن نفت و همچنین کاهش مشکلات حفاری به مطالعات پایداری و تعیین مسیر بهینه حفاری نیاز می باشد.(zare, 2010) از جمله موارد دارای اهمیت در مطالعه پایداری، تعیین تنش های برجا است، آگاهی از رژیم تنش برجا برای پژوهشگران علوم زمین به ویژه زمین ساخت شناسان و مهندسین مخزن دارای اهمیت بسیار زیادی است. تنش های محلی که در یک مخزن وجود دارد، پیش از استخراج هیدروکربون به عنوان تنش های برجا اشاره شده است. خصوصیات کامل تنسور تنش های برجا نیازمند تعیین بزرگی و جهت سه مولفه ی تنش اصلی است، که از بزرگ به کوچک به عنوان σ_1، σ_2 و σ_3 نشان داده می شود. در محیطی با سطح برجستگی های ملایم، فرض کلی براین است که سطح زمین هموار و افقی است. در چنین موردی، یکی از جهت گیری های تنش اصلی تقریبا عمودی است. این تنش قائم برجا، توسط σ_v نشان داده می شود که از وزن سنگ های پوشاننده، رسوبات و سیالات موجود در آنها نتیجه می‌شود. با توجه به ماهیت عمود بر هم بودن تنش های اصلی، دو تنش اصلی دیگر در سطح افقی خواهد بود. این تنش های اصلی توسط σ_{Hmax} و σ_{Hmin} به ترتیب برای بیشترین و کمترین تنش برجا نشان داده می‌شود. (Mclellan, 2001). شکل(۱)



شکل ۱. رابطه بین جهت‌یابی تنش های اصلی(رژیم تنش) و رژیم های تکتونیکی مطابق با اندرسون(۱۹۵۱). (Fossen, 2010)

معمولا، مخصوصا در حوضه های رسوبی کششی، σ_v بزرگتر از دو تنش اصلی دیگر است. در حوضه های همگرا یا فشاری، نیروهای جانبی فشاری در نتیجه ی رژیم تنشی است که σ_v متوسط یا کمترین مقدار تنش اصلی است.

نرم‌فزار Stabview یک نرم‌افزار بسیار قدرتمند برای آنالیز نقشه چاه می‌باشد که توسط شرکت Weatherford طراحی شده است. (Mclellan, 2001). مهمترین توانایی‌های این نرم افزار شامل:آنالیز پایداری دیواره چاه،بررسی پتانسیل تولید ماسه در هنگام حفاری،بررسی هرزروی گل و ایجاد شکستگی در سازندها،ایجاد نقشه گسل و سازندها می‌باشد.

با توجه به این که مقاومت سنگ در برگیرنده چاه غیر قابل کنترل است تنها عامل قابل کنترل در پایدارسازی دیواره چاه های باز، فشار گل حفاری است. با توجه به معیارهای گسیختگی برشی و کششی به دست آمده می توان بازه ای از وزن گل حفاری را تعریف

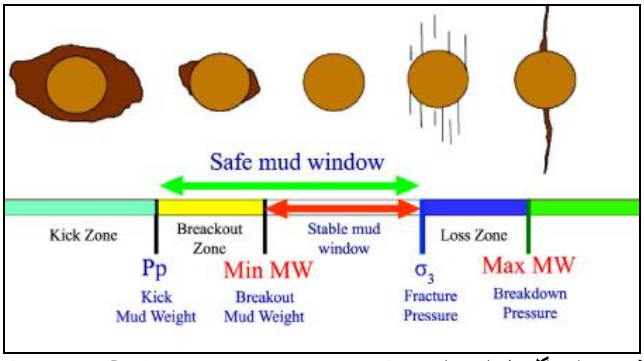
www.SID.ir

Archive of SID

کرد که در این بازه دیواره چاه پایدار است. با توجه به این که وضعیت تنش های القا شده در دیواره چاه نسبت به زاویه انحراف از قائم چاه متغیر است فشار گل حفاری لازم برای جلوگیری از وقوع گسیختگی در دیواره چاه نسبت به زاویه انحراف از قائم چاه تغییر می کند، درنتیجه می توان تغییرات فشار گل حفاری نسبت به زاویه انحراف از قائم را در یک نمودار رسم کرد.

سازندهای زیرزمینی همواره تحت تاثیر تنش های فشاری عمودی (وزن لایه های فوقانی) و همچنین تنش های افقی (محدوده کرنش های جانبی) هستند. عملیات حفاری سنگ ها باعث برهم خوردن تعادل در آنها می شود. وقتی که یک چاه حفاری می شود، تعادل محدوده ای که در آن حفاری شده به هم می خورد. دیواره اطراف آن سعی در برگرداندن تعادل به محدوده نامتعادل دارد. در نتیجه تمرکز تنش در اطراف دیواره چاه ایجاد شده و تنش های برجا تغییر می کند. اگر عامل بازدارنده ناپایداری در چاه موجود نباشد، در دیواره چاه و سازند شکست ایجاد می شود. بنابراین به یک عامل بازدارنده و جبران کننده فشار جهت جلوگیری از شکست نیازمندیم که این فشار معمولا به وسیله فشار سیالات (گل حفاری) که فشار هیدرواستاتیک نامیده می شود، جبران می گردد.

پنجره ایمن گل(Safe mud window)، به گونه ای است که فشار گل باید میان فشار منفذی و تنش افقی حداقل قرار بگیرد. وقتی که فشار گل کمتر از فشار سازند باشد فوران سیال روی داده و جریان سیال از مخزن به درون چاه روی می دهد. اگر فشار گل از تنش افقی حداقل تجاوز کند، شکستگی های کششی القایی ناشی از حفاری ایجاد شده و هرزروی گل اتفاق می افتد. از نقطه نظر ژئومکانیکی، پنجره گل پایدار اجازه می دهد که چاه از شکستگی های کششی و یا گیر لوله ها که در اثر وزن زیاد گل ایجاد می شوند و همچنین شکستگی های برشی یا Breakout که به دلیل وزن گل کم صورت می گیرد ایمن باشد. (Al-Ajmi AM and Zimmerman RW, 2006) .در شکل نمای پنجره وزنی گل ایمن و پنجره وزنی گل پایدار نشان داده شده است.



شکل ۲. پنجره وزن گل پایدار و ایمن (Al-Ajmi AM and Zimmerman RW, 2006)

◇◇◇◇◇◇◇

بحث و روش تحقیق:

تمرکز استرس در اطراف چاه باعث بروز شکستگی های فشاری یا کششی در دیواره می‌شود. شکستگی های فشاری ناشی از استرس breakout (ریزش های متقارن دیواره چاه در جهت تنش افقی مینیمم) هستند. بروز breakout در بسیاری از چاه‌ها متداول است و اطلاعات مهمی از مقدار و جهت تنش را به همراه دارد. البته باید در مورد breakout این نکته را خاطرنشان کرد که بروز این

www.SID.ir

Archive of SID

شکستگی در ابعاد گسترده باعث به وجود آمدن مشکلات ناپایداری در چاه می گردد. شکستگی های کششی در دیواره نیز یکی از پدیده های مرسوم ژئومکانیکی است که در چاهها اتفاق می‌افتد. این نوع شکستگی تحت عنوان شکستگی کششی ناشی از حفاری شهرت پیدا کرده و اصلی ترین عامل هرزروی گل در چاه‌هاست. (Prats, 1981)

در پایداری دیواره ی چاه های نفت باید تعادل بین استرس سنگ و مقاومت سنگ برقرار باشد بدین گونه که عواملی که بر مقاومت سنگ تاثیر دارد شامل جنس سازند و شکست کششی و شکست برشی و عواملی که بر ناپایداری تاثیر دارد شامل فشار منفذی و تکتونیک فعال و گل میباشد، عادل برقرار شود. مشکلات پایداری دیواره چاه شامل ناپایداری های شیمیایی و ناپایداری های مکانیکی است. ناپایداری شیمیایی برای مثال به دلیل شیل های واکنش پذیر و ناپایداری مکانیکی در اثر تنش‌های روبار(Overburden stress)، فشارهای زمین شناسی، فشارهای هیدرولیکی می‌باشد. در کل مکانیسم های شکستگی شامل دو نوع کششی و برشی است که در مورد کششی باعث ایجاد شکستگی ها و هرزروی گل(Loss of Circulation)، و در مورد شکستگی های برشی با عث ایجاد ریزش‌ها(Cavings)، چاه تنگ(Tight Hole)، گیرکردن رشته حفاری(Stuck Pipe) میشود. (Zobak, 2007)

- روش کار

اطلاعات مورد نیاز برای این نرم‌فزار شامل پارامترهای الاستیک و تنش های برجا است. پارامترهای الاستیک سنگ به دو روش دینامیکی و استاتیکی قابل اندازه‌گیری هستند. در روش دینامیکی، با اندازه‌گیری سرعت عبور امواج تراکمی (Vp) و برشی (Vs) در شرایط برجا و یا آزمایشگاه، ویژگی‌های الاستیک دینامیکی سنگ به دست می‌آیند. در روش استاتیکی نیز با انجام آزمایش‌های تخریبی مانند مقاومت فشاری تک محوری و یا سه محوری بر روی مغزه سنگ، پارامترهای مقاومتی و الاستیک استاتیکی اندازه‌گیری می‌شوند. روش‌های استاتیکی نتایج واقع‌بینانه‌تری نسبت به روش‌های دینامیکی می‌دهند، اما هزینه انجام آن بیش تر بوده و اندازه‌گیری آن به نقاط دارای مغزه سنگی محدود می‌شود. متاسفانه پارامترهای دینامیکی و استاتیکی با یک دیگر برابر نیستند و معمولاً پارامترهای دینامیکی از پارامترهای استاتیکی متناظر خود بزرگ تر هستند. به منظور اندازه‌گیری پیوسته ویژگی‌های مکانیک سنگ در طول چاه، ایجاد روابط تجربی بین پارامترهای دینامیکی و استاتیکی ضروری به نظر می‌رسد. پارامتر های مورد نیاز برای انجام یک تحلیل زمین مکانیکی جهت بررسی پایداری دیواره چاه را می توان در دو دسته تقسیم بندی نمود:

دسته اول پارامترهای مربوط به سازند بوده که شامل ضریب پواسون (۱) و مدول های الاستیسیته (مدول یانگ(۲) ، مدول برشی(۳) و مدول حجمی(۴))، مقاومت فشاری تک محوره (۵) و ضریب بایوت و همچنین تخلخل، نفوذپذیری، چگالی و فشار منفذی می باشند. (Zobak, 2007)

$$\nu = 0.5\frac{V_p^2 - 2V_s^2}{(V_p^2 - V_s^2)} \qquad (۱)$$

$$E_{(psi)} = \left(\frac{\rho_b}{\Delta t_s{}^2}\right)\left(\frac{3(\Delta t_s{}^2) - 4(\Delta t_p{}^2)}{\Delta t_s{}^2 - \Delta t_p{}^2}\right) \times 1.34 \times 10^{10} \qquad (۲)$$

$$G_{(psi)} = \left(\frac{RHOB}{\Delta t_s{}^2}\right) \times 1.34 \times 10^{10} \qquad (۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$K_{(psi)} = \rho_b \left(\left(\frac{1}{\Delta t_p{}^2} \right) - \left(\frac{4}{3\,\Delta t_s{}^2} \right) \right) \times 1.34 \times 10^{10} \quad (۴)$$

$$UCS = 0.035\,Vp - 31.5 \quad (۵)$$

دسته دوم پارامترهای مربوط به تنش منطقه بوده که شامل مقدار تنش های عمودی(۶) و تنش های افقی ماکزیمم (۷) و مینیمم (۸) و همچنین جهت آنها می باشند.

$$Sv = \int_0^z \rho(z) g\, dz \approx \rho g z \quad (۶)$$

که در معادله(۶) ρ (z) : دانسیته سنگ و تابعی از عمق است و g: ثابت شتاب گرانشی و z : عمق بر حسب متر می‌باشد.

$$\sigma_H = \frac{v}{1-v}(\sigma_v - \alpha P_p) + \alpha P_p + \frac{vE}{1-v^2}\varepsilon_x + \frac{E}{1-v^2}\varepsilon_y \quad (۷)$$

$$\sigma_h = \frac{v}{1-v}(\sigma_v - \alpha P_p) + \alpha P_p + \frac{E}{1-v^2}\varepsilon_x + \frac{vE}{1-v^2}\varepsilon_y \quad (۸)$$

در روابط (۷) و (۸)، Pp فشار منفذی، ν ضریب پواسون ، σv تنش برجای قائم، σh تنش برجای افقی حداقل، σH تنش برجای افقی حداکثر، E مدول یانگ، که براساس مگاپاسکال محاسبه می‌شوند.α ضریب بایوت،εxوεy کرنش در جهت تنش افقی حداقل و حداکثر هستند. (حقی, آصف, و خیاط, ۱۳۹۴)

مهمترین قسمت‌ها برای ورود اطلاعات، شامل سربرگ‌های Model Properties و Input Data می‌باشد. سربرگ اول شامل نوع آنالیز که نوع مسئله مورد بررسی که شامل، فروریختگی چاه(hole collapse)در طول حفاری، شکستگی یا هرزروی گل ، فروریختگی چاه و تولید ماسه(sand production) مشخص می‌شود. مورد بعدی اطلاعات چاه و واحدهای چینه‌ای می‌باشد. نوع اطلاعات مربوط به فشار سازند و تنش‌ها، ویژگی‌های مکانیک سنگی سازندها و همچنین نوع مدل نیز در قسمت سربرگ دوم وارد نرم افزار می‌شود. برای این منظور مقادیر میانگین ضرایب الاستیک برای سازندهای موجود در هر چاه محاسبه شده و همچنین گرادیان تنش‌های برجا برای کل سازند و نقاط شروع و اتمام هر سازند محاسبه شده و عمق شروع و اتمام سازندها برای نرم‌افزار معرفی می‌شود. پس از اینکه تمام اطلاعات مورد نیاز در اختیار نرم افزار قرار داده شد می‌توان با تعیین نوع مدل از سربرگ Analysis Mode و اجرای دستور Run، نمودارها و جداول مورد نظر را تعیین نموده و رسم نمود. از نتایج بدست آمده برای هر واحدهای چینه ای مشخص تعداد مدل ها انتخاب می شود، برای مثال با مشخص کردن مدل فروریختگی گزینه ای برای مشخص کردن بیشترین مقدار تحمل تسلیم شدگی در اطراف دیواره چاه وجود دارد که مدل های استفاده شده در این نرم افزار آغاز تسلیم شدگی دیواره چاه را پیش بینی می کند. در تحلیل استرس، تغییرات در فشار سازند در بسیاری از مخزن ها باعث تغییر در بزرگی

www.SID.ir

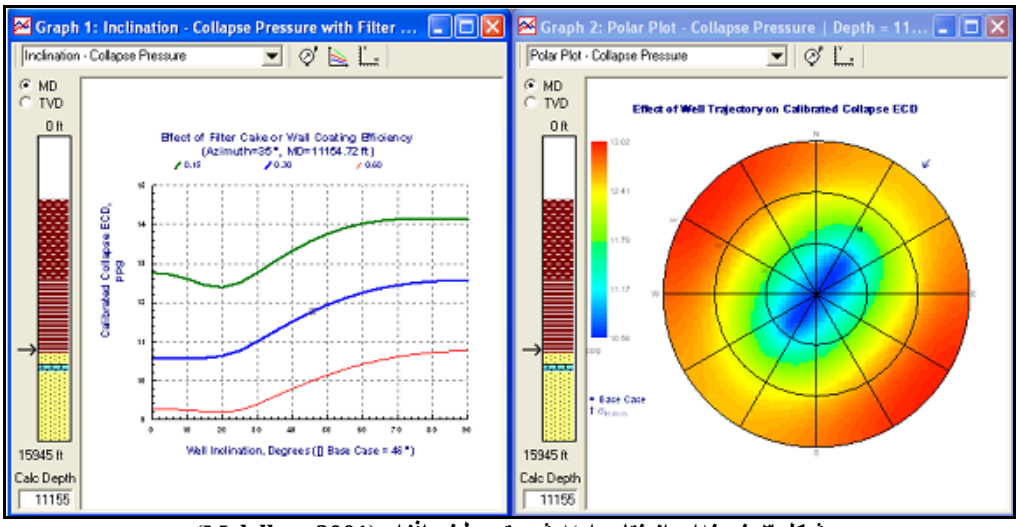
Archive of SID

استرس برجای کلی در مخزن می شود که کاربر با استفاده از استرس تک محوری ساده، مدل های پروالاستیک مناسب برای حوضه های غیر فعال با استفاده از راه حل های مناسب برای حوضه های گسل شدگی تراستی و نرمال، این تغییرات را تخمین می زند. همچنین تاثیر دمای سازند و دیواره ی چاه برای بررسی استرس های اضافی روی فروریختگی های دیواره و گسستگی ها محاسبه می شود.

◇◇◇◇◇◇◇

نتیجه گیری :

نرم‌افزار Stabview در نوع خود یکی از بهترین و کاملترین نرم‌فزار تحلیل پایداری دیواره چاه است. هدف این مطالعه تحلیل پایداری دیواره چاههای نفتی توسط این نرم‌افزار در برابر تنش های برجا موجود در منطقه که روی پایداری چاهها صورت گرفته است. نتایج این نرم‌افزار، محدوده امن از فشار ته‌چاه برای عملیات UBD(underbalanced drilling)، و هدایت این عملیات در مخازن، تعیین می‌شود. خروجی این نرم‌افزار که شامل مدل الاستیک خطی سه‌بعدی می‌باشد، کمترین فشار ته چاه بهینه(BHP)، برای جلوگیری از ریزش چاه و بیشترین فشار ته‌چاه برای جلوگیری از شکستگی breakdown، به عنوان تابعی از مسیر چاه نشان می‌دهد. این نرم‌افزار انتخاب گسترده‌ای از انواع نودارهای خروجی استاندارد فراهم می‌کند. نمونه ای از این نمودارها در شکل(۳)، نشان داده شده است که ستون عمق در سمت چپ نمودار قرار گرفته است که نمایشی از واحدهای چینه‌ای و لیتولوژی در چاه مورد بررسی نشان می‌دهد و فلش ها نشان دهنده‌ی عمقی است که نمودار در آن ارائه شده است.



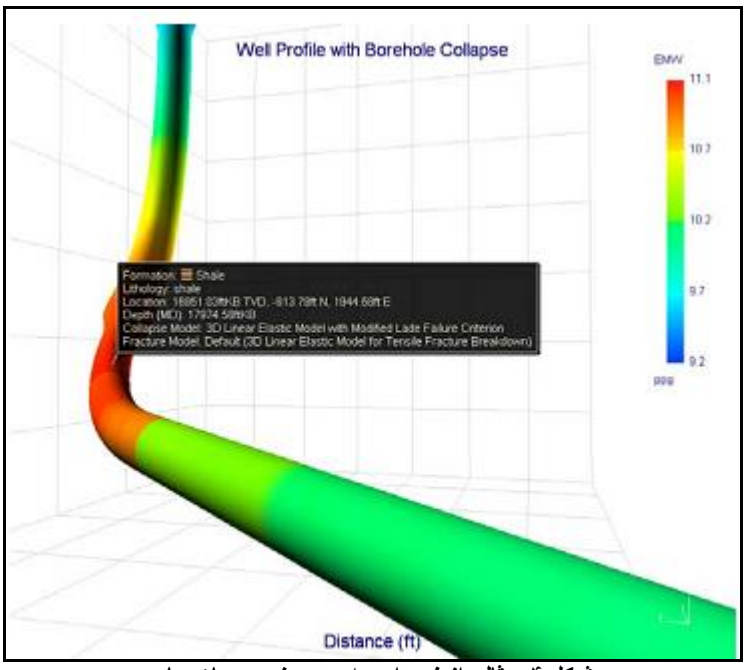
شکل ۳. نمونه‌ای از نتایج ارئه شده توسط نرم‌افزار (Mclellan, 2001)

◇◇◇◇◇◇◇

در شکل(۴)، پروفیل چاه را به‌صورت سه بعدی نشان می‌دهد که مانند نرم‌افزارهای کاربردی دیگر شامل گزینه های زوم و چرخش می‌باشد، دیواره چاه بر اساس EMW(وزن معادل گل) ریزشی با رنگ های مختلف نشان داده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۴. مثالی از نمودار سه بعدی خصوصیات چاه

منابع فارسی :

حقی، ا.، آصف، م.، خزاط، ر.، ۱۳۹۴،"تنش های برجا و ژئومکانیک مخازن هیدروکربوری"،چاپ ۱، انتشارات ستایش

◇◇◇◇◇◇◇

References:

Al-Ajmi AM and Zimmerman RW. (2006). Stability analysis of vertical boreholes using the Mogi-Coulomb failure criterion. *Int J Rock Mech Mini Sci 43*, 1200–1211.

Fossen, H. (2010). Structural Geology. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS.

M. R. zare, S. B. (2010). Mechanical Stability Analysis of Directional Wells: A Case Study in Ahwaz. *the 34 th Annual SPE International Conference and Exhibition.* Tinapa – Calabar, Nigeria,.

Mclellan, P. a. (2001). Borehole Stability Analysis for Underbalanced Drilling. *Journal of Canadian Petroleum Technology,Vol. 40, No. 5*, 31-38.

Prats, M. (1981). Effect of Burial History on the Subsurface Horizontal Stresses of Formations Having Different Material Properties. *SPE*.

STABView version 3.8 User's manual. (2008). *STABView* . Weatherford Advanced Geotechnology.

Zobak, m. (2007). *Reservoir Geomechanics.* Cambridge University Press.

www.SID.ir