

اثر حرارتی بر ثبات چاه در طول عملیات حفاری به صورت افقی و طولانی مدت

چکیده

در این مطالعه، یک مدل برای ثبات چاه سه بعدی ارائه شده است که از تنش های حرارتی همراه با یک مدل درجه حرارتی یکپارچه، برای حفاری چاه به صورت افقی استفاده شده است. شبیه سازی دمایی سوراخ پایین با استفاده از اندازه گیری های میدانی انجام و با نتایج برای چاه های عمودی مقایسه شد. آنالیزهای حساسیت دمایی نشان داد که، طول بخش افقی و گرمای ویژه گل از دلایل اصلی است که سبب می شود دمای سوراخ پایین برای چاه های افقی افزایش یابد. نتایج مدل ثبات چاه نشان می دهد که تغییرات دمایی در چاه های افقی نسبت به چاه های عمودی کوچکتر است، با این حال، اثر تنش های حرارتی در وزن بحرانی گل در بخش افقی حساس تر میباشد. زمانیکه درجه حرارت سوراخ پایین بیش از دمای تشکیل استاتیک باشد، بخش افقی چاه در قسمت جلویی با ثبات تر از قسمت عقبی آن است. این تحقیق می تواند یک مرجع نظری برای افزایش بهره وری عملیاتی و ایمنی برای حفاری چاه به صورت افقی باشد.

1-مقدمه

در توسعه و بهره برداری منابع نفتی و گازی، چاه های افقی به منظور افزایش تولید به طور گسترده ای استفاده شده اند. متأسفانه، به دلیل دمای بالا حین عملیات حفاری، مشکلات زیادی همچون ناپایداری مایعات حفاری شده در محل تنش وجود دارد.

بسیاری از دانشمندان انتقال حرارت را از سیستم های زمین گرمایی در طول عملیات حفاری با استفاده از روش های تحلیلی و عددی و به منظور ارزیابی دمای مایع سرکوله شده مطالعه کردند. روش های تحلیلی به طور کلی برای مدل سازی ساده سیستم های حفاری استفاده شده اند. برای سیستم های پیچیده تر، این روش قادر به مدل سازی رفتار

حرارتی نمی باشد. روش های عددی برای مطالعه سیستم های پیچیده تر و حل معادلات تفاضل محدود برای حالت ناپایدار انتقال حرارت در چاه مورد نیاز می باشد.

مواردی که در بالا ذکر شد برای چاه های عمودی مناسب می باشد و برخی محققان (پرکینز و گونزالس، 1981؛ تنگ و لو 1998) مدل هایی را برای اثر تنش اطراف چاه در دماهای مختلف برای چاه های عمودی ارائه کردند. اخیراً، یوشیکا و همکارانش (2007) و لی و زو (2010) مدل حرارتی را برای پیش بینی دمای چاه، فشار و سرعت جریان برای چاه های افقی پیش بینی کرده اند، اما این مدل ها تنها انتقال حرارت را در بخش افقی و مخزن در نظر میگیرد. کومار و همکارانش یک مدل تحلیلی ساده برای تجزیه و تحلیل حرارت تولید شده از اصطکاک گمانه و برای پیش بینی دمای چاه برای رسیدن به عملیات حفاری چاه ارائه کردند. مدل آنها تنها در شرایط پایدار صادق می باشد و به همین دلیل فرآیندهای انتقال حرارت را نمی توان به درستی مدل سازی کرد. لیوهو و همکارانش عوامل موثر بر دمای چاه های افقی را مورد بررسی قرار داد. گونزالس و همکارانش (2004) دریافتند که گرادیان شکستگی را می توان تحت تاثیر دمای چاه از طریق آزمون نشت کردن تحت تاثیر قرار داد. یو و همکارانش و نگوین و همکارانش (2010) اثرات حرارتی بر ثبات چاه را، به طور جداگانه مدلسازی کردند. با این حال مطالعات محدودی در حال حاضر وجود دارد که از روش های عددی برای مطالعه تاثیر حرارتی ثبات چاه استفاده کرده اند.

تغییر درجه حرارت در چاه های افقی نسبت به چاه های عمودی بسیار متفاوت می باشد که سبب می شود اثر حرارتی متفاوتی بر ثبات چاه های افقی به صورت طولانی مدت داشته باشد. در نتیجه، ما نمی توانیم مدل حرارتی و اثر حرارتی ثبات چاه را به طور مستقل بررسی کنیم.

با توجه به موارد فوق، هدف پژوهش حاضر ما توسعه یک مدل ترکیبی به منظور: (الف) شبیه سازی عددی در درجه حرارت های بالای فرآیند انتقال حرارت در چاه های افقی (ب) اندازه گیری اثر حرارتی بر ثبات چاه در چاه های افقی به صورت طولانی مدت بر اساس توزیع درجه حرارت به دست آمده از شبیه سازی، می باشد.

در این مطالعه، یک مدل حرارتی یکپارچه از حفاری چاه به صورت افقی به منظور بررسی ویژگی های حرارت منتقل شده از دیواره های افقی ارائه شد. تنش های حرارتی در نزدیکی دیواره های افقی چاه همراه با اثرات محیط زیستی

حفاری چاه آنالیز شد و اثرات حرارتی بر روی " وزن بحرانی گل "، مورد بررسی قرار گرفت و یک مرجع نظری برای درک بهتر رفتار حرارتی و اثر حرارتی بر ثبات چاه در عملیات حفاری چاه های افقی ارائه گردید.

2-درجه حرارت چاه از دیواره های افقی و فاکتورهای موثر

1-2 مدل ریاضی

یک دیاگرام شماتیک از عملیات حفاری افقی در شکل 1 نشان داده شده است. سیستم حفاری به طور کلی دارای پنج منطقه مشخص می باشد: (1) سیال در طول حفاری از طریق لوله مته رو به پایین جریان می یابد؛ (2) منطقه دیواره لوله مته؛ (3) سیال به سمت بالا در ناحیه حلقوی جریان می یابد؛ (4) بخش شکل گیری، و (5) ناحیه مته. هر منطقه را می توان به سه بخش تقسیم کرد: بخش عمودی، بخش منحنی، و بخش افقی (به استثنای ناحیه (5) در بالا).

برای توسعه معادلات انرژی و به منظور توصیف رفتار حرارتی چاه و اطراف آن، فرض های زیر بیان میگردد:

(1) انتقال حرارت فقط در جهت افقی در نظر گرفته شده است

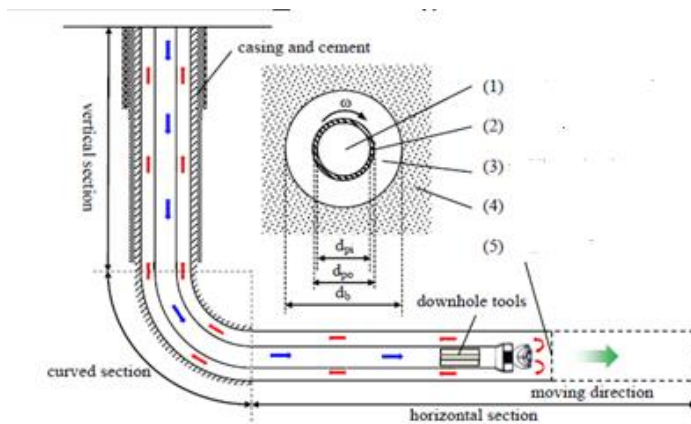
(2) خواص فیزیکی به عنوان مثال، چگالی، گرمای ویژه و نرخ هدایت حرارتی ثابت هستند؛ انتقال حرارت تنها در مدل سازی تشکیل ها اعمال می شود.

(3) خواص سیالات مستقل از دما است و سیالات حفاری شده تراکم ناپذیر و در حالت پایدار هستند.

(4) انتقال حرارت در سیال حفاری شده توسط همرفت محوری رخ می دهد. انتقال زمانی رخ میدهد که فرایند سرکوله خاتمه یافته است.

(5) حفاری به صورت افقی دارای حرکت دورانی و بدون هیچ کمانش می باشد.

با استفاده از این معادلات رفتار حرارتی کل سیستم های حفاری مدل سازی شده است. پنج مجموعه مختلف از معادلات دیفرانسیل برای پنج منطقه، همراه با شرایط مرزی باید تعریف شود.



شکل 1. شماتیکی از مایع سرکوله شده در سیستم های حفاری چاه های افقی

2-1-1 ناحیه چاه

منطقه چاه را می توان به سه زیر منطقه تقسیم کرد که شامل منطقه سیال در لوله مته، منطقه دیواره لوله مته و منطقه سیال در ناحیه حلقوی می باشد. معادلات انرژی در هر منطقه به صورت زیر به طور جداگانه نوشته شده است:

$$(\rho C_p)_{flui} \left(\frac{\partial T_{flui,p}}{\partial t} + v_{flui,p} \frac{\partial T_{flui,p}}{\partial z} \right) = \lambda_{flui} \frac{\partial^2 T_{flui,p}}{\partial r^2} + \frac{\lambda_{flui}}{r} \frac{\partial T_{flui,p}}{\partial r} + S_p \quad (1)$$

$$(\rho C_p)_{ste} \frac{\partial T_{pipe}}{\partial t} = \lambda_{ste} \frac{\partial^2 T_{pipe}}{\partial z^2} + \lambda_{ste} \frac{\partial^2 T_{pipe}}{\partial r^2} + \frac{\lambda_{ste}}{r} \frac{\partial T_{pipe}}{\partial r} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} (\rho C_p)_{mix} \left(\frac{\partial T_{flui,a}}{\partial t} + v_{flui,a} \frac{\partial T_{flui,a}}{\partial z} \right) \\ = \lambda_{mix} \frac{\partial^2 T_{flui,a}}{\partial r^2} + \frac{\lambda_{mix}}{r} \frac{\partial T_{flui,a}}{\partial r} + S_a \end{aligned} \quad (3)$$

2-1-2 ناحیه شکل گیری

بخش شکل گیری در حفاری چاه در محیطی متخلخل رخ می دهد. بنابراین تخلخل باید در این منطقه در نظر گرفته شود. ظرفیت حرارتی بخش شکل گیری را می توان به صورت زیر نوشت:

$$(\rho C_p)_{form} = (\rho C_p)_{rock}(1 - \Phi) + (\rho C_p)_{poro} \Phi \quad (4)$$

$$\lambda_{form} = \lambda_{poro} \Phi + \lambda_{rock}^{(1-\Phi)} \quad (5)$$

معادله تعادل انرژی برای مناطق شکل گیری به صورت عمودی و بخش منحنی چاه را می توان به صورت زیر نوشت:

$$(\rho C_p)_{form} \frac{\partial T_{form}}{\partial t} = \lambda_{form} \frac{\partial^2 T_{form}}{\partial r^2} + \frac{\lambda_{form}}{r} \frac{\partial T_{form}}{\partial r} \quad (6)$$

در بخش افقی حفاری ، محور چاه موازی با جهت افقی است. انتقال حرارت در هر دو حالت محوری و شعاعی باید در نظر گرفته شود. فوری و همکاران یک مدل جریان ورودی به مخزن را برای یک چاه افقی مورد بررسی قرار داد و فشار و دما در مخزن را به صورت جریان شعاعی یک بعدی در نزدیکی چاه، و یک جریان خطی یک بعدی دورتر از دیواره چاه تقریب زدند که در شکل 2 نشان داده شده است. آنها تخمین زدند که فاصله از چاه که در آن جریان خطی به صورت شعاعی است به صورت $H/2$ در نظر گرفته می شود و H در شکل نشان داده شده است. هنگامی که هیچ سیالی در بخش شکل گیری جریان ندارد (منطقه خطی ساده وجود دارد)، تنها انتقال حرارت در نظر گرفته شده است، معادله تعادل انرژی به صورت زیر می شود:

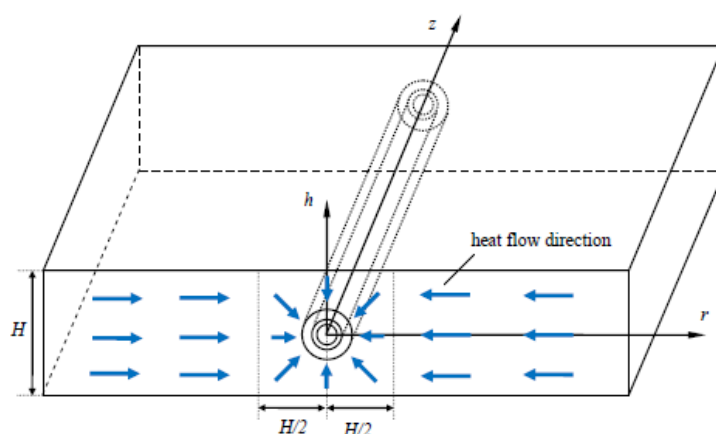
$$(\rho C_p)_{form} \frac{\partial T_{form}}{\partial t} = \begin{cases} \lambda_{form} \frac{\partial^2 T_{form}}{\partial r^2} + \frac{\lambda_{form}}{r} \frac{\partial T_{form}}{\partial r} + \lambda_{form} \frac{\partial^2 T_{form}}{\partial z^2}, & r \leq H/2 \\ \lambda_{form} \frac{\partial^2 T_{form}}{\partial r^2} + \lambda_{form} \frac{\partial^2 T_{form}}{\partial z^2}, & r > H/2 \end{cases} \quad (7)$$

2-2 صحت مدل

یک چاه عمیق افقی (با عمق 6180 متر) در میدان نفتی تاریم، با یک بخش افقی بلند (678 متر) برای حفاری انتخاب شد. از یک لوله مته با قطر 88.9 میلی متر در یک سوراخ به قطر 152.4 میلی متر استفاده شد، که دما در پایین بخش افقی بسیار بالا و در حدود 150 درجه سانتیگراد می باشد. سیال بر پایه روغن برای ثبات گمانه مورد استفاده قرار گرفت. سرعت نفوذ از 0.71 تا 3.76 متر بر ساعت متفاوت است، که به طور میانگین نرخ نفوذ 1.6 متر بر ساعت در نظر گرفته می شود. خواص فیزیکی مواد در سیستم حفاری در جدول 1 نشان داده شده است.

MWD (وسیله اندازه گیری در حفاری) برای تشخیص دمای بخش حلقوی در دیواره های چاه مورد استفاده قرار گرفت. درجه حرارت اندازه گیری شده در دستگاه های پایین چاه ذخیره شد. این دستگاه قادر است به طور مداوم دمای چاه در بخش حلقه را در طول گردش ضبط کند.

شکل 3 دما را در اعماق مختلف در طول عملیات حفاری پیش بینی کرده و اندازه گیری می کند. زمان صفر در نقطه شروع (آغاز بخش افقی) تنظیم شد. درجه حرارت استاتیکی به عنوان درجه حرارت شروع در شروع شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفت. این شرایط مطلوب نیست، اما پس از 8 ساعت شبیه سازی، دیده شد که نتایج به میزان قابل توجهی وابسته به شرایط اولیه نیست. دمای محاسبه شده نزدیک به مقادیر اندازه گیری شده است، و درجه حرارت سوراخ پایین به تدریج با افزایش عمق اندازه گیری شده افزایش می یابد.



شکل 2: شماتیکی از انتقال گرما بین بخش شکل گیری و چاه به صورت افقی

جدول 1: خواص فیزیکی مواد در سیستم های حفاری

	Density [kg/m ³]	Specific heat [J/(kg °C)]	Thermal conductivity [W/(m °C)]
Rock	2640	837	2.25
Drilling pipe	7800	400	43.75
Cement	1900	2000	1.0
Drilling fluid	1080	1647 (oil based mud)	1.02

2-3 عوامل موثر بر روی دیواره های افقی دمای چاه

برای دیواره های عمودی، تغییر درجه حرارت چاه به طور عمده به انتقال حرارت سیال بین بخش شکل گیری و چاه وابسته است زیرا، دمای شکل گیری تا حد زیادی در جهت عمودی متفاوت است. در مقایسه با تغییر حرارت ناشی از گرادیان زمین گرمایی، اثر حرارتی جزئی مانند گرمای ناشی از اتلاف گرانشی در حفاری را می توان نادیده گرفت. با

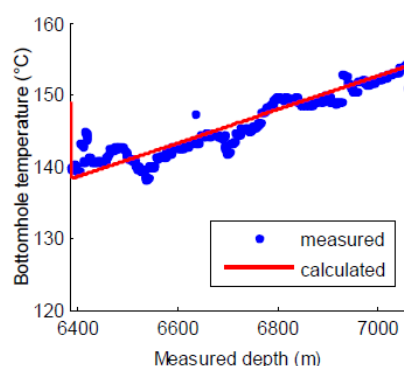
این حال، برای چاه های افقی، گرادیان دما، به ندرت در بخش افقی تغییر میکند. هنگامی که حرارت کافی بین بخش افقی چاه و بخش شکل گیری وجود داشته باشد، هر اثر حرارتی می تواند تاثیر قابل توجهی بر تغییر درجه حرارت چاه داشته باشد.

شکل 4 توزیع شار حرارتی مربوط به همرفت اجباری، انرژی هیدرولیکی و انرژی مکانیکی منابع را برای واحد های مختلف در بخش های مختلف چاه در حفاری چاه افقی نشان می دهد. نسبت توزیع انتقال حرارت و منبع انرژی برای بخش عمودی و بخش منحنی و بخش افقی و بخش مته محاسبه شد. از شکل 4 می توان دریافت که با افزایش عمق، حرارت منتقل شده ناشی از همرفت اجباری کاهش می یابد، زیرا بخش افقی در تماس کامل با بخش شکل گیری است، که منجر به تغییرات کوچکی در درجه حرارت سیال در جهت محوری می گردد. با این حال، حرارت تولید شده توسط انرژی های هیدرولیکی و انرژی های مکانیکی به تدریج با عمق افزایش می یابد و یک افزایش قابل توجهی را در نزدیکی مته نشان می دهد. انتقال حرارت بین بخش شکل گیری و بخش افقی چاه، و منابع مکانیکی و حرارتی خود از دلایل اصلی برای درجه حرارت متفاوت در چاه های افقی نسبت به چاه های عمودی می باشد.

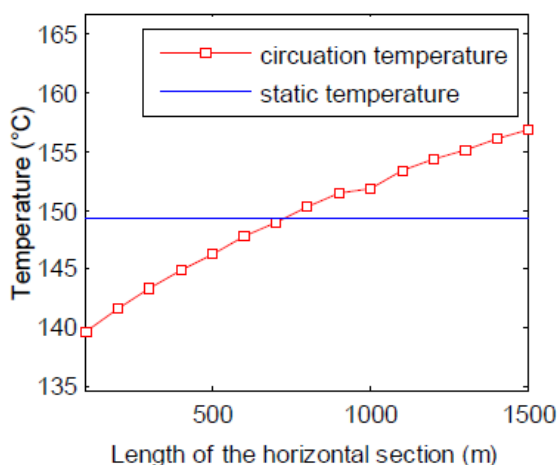
خواص فیزیکی مواد و هندسه چاه به عنوان پایه ای برای آنالیزهای حساس می باشد. تفاوت عمده بین دمای چاه های افقی و چاه های عمودی در این است که بخش افقی چاه حرارت مورد نیاز را به بخش شکل گیری منتقل می کند. طول بخش افقی نشان دهنده ی اندازه ی سطح تماس بین سیال و بخش شکل گیری می باشد که در شکل 5 نشان داده شده است. دمای سوراخ پایینی با افزایش طول بخش افقی افزایش می یابد. هنگامی که این طول به 700 متر یا بیشتر برسد، درجه حرارت سوراخ پایینی به بیش از دمای استاتیک میرسد.

شکل 6 اثر توزیع افت فشار در درجه حرارت چاه را نشان می دهد. دمای بخش افقی چاه عمدتاً تحت تاثیر افت فشار می باشد، که باعث یک افزایش 8 درجه سانتیگرادی، بدون در نظر گرفتن افت فشار اصطکاکی، می شود. شکل 7 اثر گرمای تولید شده توسط گشتاور در بخش حلقوی را نشان می دهد. بدون توجه به منبع گرمایی گشتاور، کاهش 3 درجه سانتیگرادی در دمای سوراخ پایینی وجود دارد.

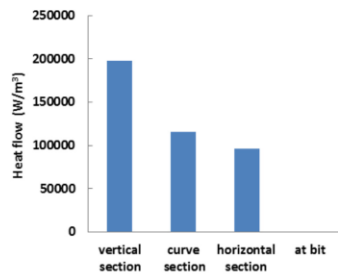
سیالات با گرمای ویژه متفاوت به طور کلی رفتار حرارتی متفاوتی را نشان میدهند. شکل 8 نشان می دهد که اثر سیستم های گل مختلف بر روی دمای گمانه نشان می دهد. ظرفیت گرمایی ویژه گل های برپایه آب حدود دو برابر گل های بر پایه روغنی است. در مقایسه با گل های پایه روغنی، دمای بخش حلقوی گل های پایه آبی حدود 20 درجه کاهش می یابد و دمای خروجی حدود 7 درجه سانتیگراد افزایش می یابد. از یک سو کاهش نرخ پمپ گل ، ضریب انتقال حرارت را بین سیال حفاری شده و بخش شکل گیری کاهش می دهد. از سوی دیگر، افت فشار منبع حرارتی، درجه حرارت سوراخ پایینی را کاهش می دهد. در نتیجه، رابطه مشخصی میان نرخ پمپ و درجه حرارت سوراخ پایین وجود ندارد و رابطه باید با توجه به شرایط خاص تعیین گردد.



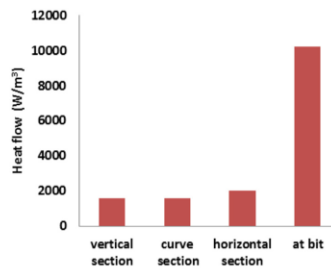
شکل 3: روند اندازه گیری درجه حرارت سوراخ پایینی با استفاده از مدل



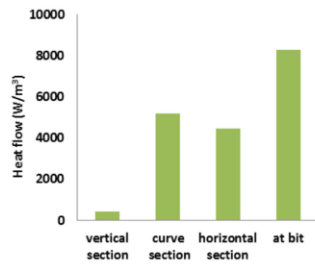
شکل 5: تاثیر طول بخش افقی بر روی دمای بخش حلقوی



(a) Heat flow caused by forced convection

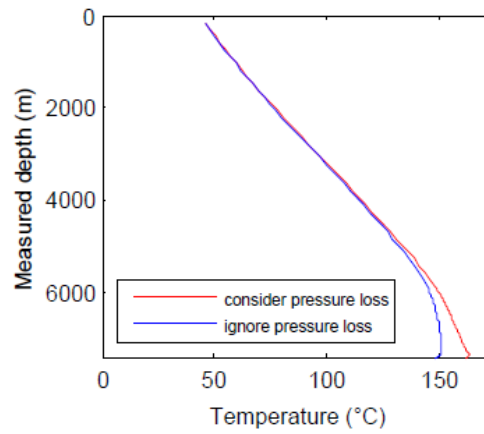


(b) Heat flow caused by hydraulic energy

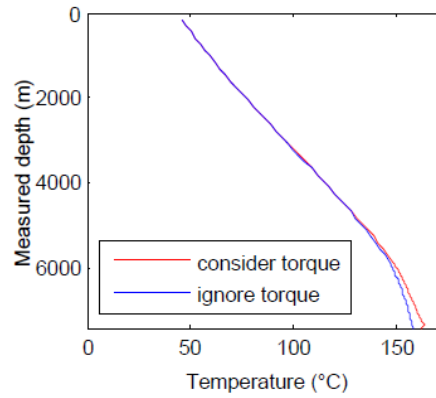


(c) Heat flow caused by mechanical energy

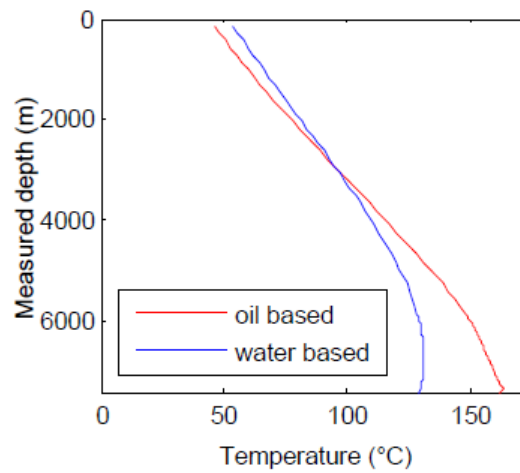
شکل 4: مقایسه شار گرمایی در بخش های مختلف از چاه



شکل 6: تاثیر افت فشار BHA بر روی دمای حلقوی



شکل 7: اثر گشتاور بر دمای بخش حلقوی



شکل 8: اثر نوع گل (پایه آبی یا روغنی) بر روی دمای بخش حلقوی

3- تنش های حرارتی بر روی پاهای افقی

3-1 تنش ناشی از تغییرات دمایی در بخش شکل گیری در دیواره افقی

هنگامی که درجه حرارت در نزدیکی چاه تغییر می کند، تنش حرارتی در بخش شکل گیری رخ می دهد. تنش حرارتی تنها زمان گرمایش یا سرمایش رخ می دهد. تنش های حرارتی ناشی از تغییر درجه حرارت ΔT از رابطه زیر به دست می آید:

$$\sigma_T = E\alpha_T\Delta T \quad (8)$$

که در آن E مدول یانگ است و α_T ضریب انبساط حرارتی خطی است. اگر ΔT مثبت باشد، سبب تنش کششی می شود و اگر ΔT منفی باشد اثر معکوس ایجاد می کند.

تنش ناشی از اثر حرارتی در نزدیکی چاه به شرح زیر است:

$$\begin{aligned}\sigma_r &= -\frac{E\alpha_T}{1-\nu} \frac{1}{r^2} \int_R^r \Delta T r dr \\ \sigma_\theta &= \frac{E\alpha_T}{1-\nu} \frac{1}{r^2} \left[\int_R^r \Delta T r dr - r^2 \Delta T \right] \\ \tau_{r\theta} &= -\frac{E\alpha_T}{1-\nu} \Delta T\end{aligned}\quad (9)$$

یک بخش همگن و همسانگرد اطراف چاه با فرض خواص تشکیل ثابت باید در نظر گرفت. بر اساس نظریه مکانیک الاستیک حرارتی، اثر حرارتی را با افزودن تنش حرارتی به مدل الاستیک خالص باید در نظر گرفت و اجزای تنش در مختصات استوانه ای به شرح زیر است:

$$\begin{cases} \sigma_r = \frac{R^2}{r^2} p_i + \frac{(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})}{2} \left(1 - \frac{R^2}{r^2}\right) + \frac{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})}{2} \left(1 + \frac{3R^4}{r^4} - \frac{4R^2}{r^2}\right) \cos 2\theta + \delta \left[\frac{\alpha_B(1-2\nu)}{2(1-\nu)} \left(1 - \frac{R^2}{r^2}\right) - \phi \right] (p_i - P_p) - \frac{E\alpha_T}{1-\nu} \frac{1}{r^2} \int_R^r \Delta T r dr \\ \sigma_\theta = -\frac{R^2}{r^2} p_i + \frac{(\sigma_{xx} + \sigma_{yy})}{2} \left(1 + \frac{R^2}{r^2}\right) - \frac{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})}{2} \left(1 + \frac{3R^4}{r^4}\right) \cos 2\theta + \delta \left[\frac{\alpha_B(1-2\nu)}{2(1-\nu)} \left(1 + \frac{R^2}{r^2}\right) - \phi \right] (p_i - P_p) + \frac{E\alpha_T}{1-\nu} \frac{1}{r^2} \left[\int_R^r \Delta T r dr - r^2 \Delta T \right] \\ \sigma_z = \sigma_{zz} + \nu \left[\sigma_{xx} + \sigma_{yy} - 2(\sigma_{xx} - \sigma_{yy}) \left(\frac{R}{r}\right)^2 \cos 2\theta \right] + \delta \left[\frac{\alpha_B(1-2\nu)}{1-\nu} - \phi \right] (p_i - P_p) - \frac{E\alpha_T}{1-\nu} \Delta T \end{cases}\quad (10)$$

که در آن σ_{xx} ، σ_{yy} ، σ_{zz} سه تنش اصلی برای دیواره افقی چاه می باشد و از معادلات زیر پیروی میکنند:

$$\begin{cases} \sigma_{xx} = \sigma_v \\ \sigma_{yy} = \sigma_H \sin^2 \beta + \sigma_h \cos^2 \beta \\ \sigma_{zz} = \sigma_H \cos^2 \beta + \sigma_h \sin^2 \beta \end{cases}\quad (11)$$

در سطح گمانه، معادله (10) می تواند به صورت زیر بیان گردد:

$$\begin{cases} \sigma_r = p_i - \delta\phi(p_i - P_p) \\ \sigma_\theta = -p_i + (1 - 2 \cos 2\theta)\sigma_{xx} + (1 + 2 \cos 2\theta)\sigma_{yy} + \delta \left[\frac{\alpha_B(1 - 2\nu)}{(1 - \nu)} - \phi \right] (p_i - P_p) - \frac{E\alpha_T \Delta T}{1 - \nu} \\ \sigma_z = \sigma_{zz} - 2\nu(\sigma_{xx} - \sigma_{yy}) \cos 2\theta + \delta \left[\frac{\alpha_B(1 - 2\nu)}{1 - \nu} - \phi \right] (p_i - P_p) - \frac{E\alpha_T \Delta T}{1 - \nu} \end{cases} \quad (12)$$

2-3 پدیده شکست در چاه

تنش اطراف چاه بر اساس فشار و دمای چاه با استفاده از روابط بالا نشان داده شد. وزن بحرانی گل با استفاده از معیار گسیختگی MohreCoulomb و معیار گسیختگی کششی، اندازه گیری شد. معیار گسیختگی MohreCoulomb به شکل زیر است:

برای معیار گسیختگی کششی، اثرات نسبت پواسون باید در نظر گرفته شود. ادونه (2008) اثرات نسبت پواسون در شکستگی فشار و تنش های حرارتی را با استفاده از عامل K و C ، به صورت زیر بیان کرد:

$$(\sigma_{\max} - \alpha P_p) \leq 2S_0 \tan\left(\frac{\pi + 2\phi}{4}\right) + (\sigma_{\min} - \alpha P_p) \tan^2\left(\frac{\pi + 2\phi}{4}\right) \quad (13)$$

$$\sigma_T = KE\alpha_T \Delta T \quad (14)$$

$$K = (1 + \nu)^2 / (3\nu(1 - 2\nu) + (1 + \nu)^2)$$

شکل 9 اثر پواسون را نشان می دهد و معیار گسیختگی کششی می توان به صورت زیر بیان کرد:

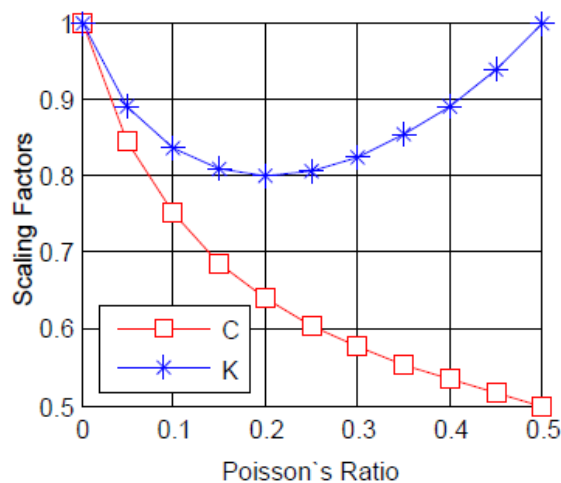
$$\sigma_{bd} = (\sigma_{\min} - \alpha P_p) + \sigma_t \leq 0 \quad (15)$$

وزن بحرانی گل با استفاده از معادلات بالا و پارامترهای ورودی که در جدول 2 آورده شده است محاسبه میگردد. در این مقاله در مورد این داده های ورودی و هندسه و خواص فیزیکی مواد در بخش 2.2 به تفصیل آورده شده است. حداقل و حداکثر وزن مورد نیاز گل برای شکست و فروپاشی به عنوان تابعی از گمانه در شکل 10 آورده شده است. افزایش زاویه ی چرخش، وزن گل برای شکست کاهش می یابد، و وزن گل برای فروپاشی افزایش یافته است و چاه افقی برای شکستگی یا تخریب مناسبتر میگردد.

3.3 اثر حرارتی در چاه افقی

شکل 11 اثر حرارتی بر روی وزن بحرانی برای چاه عمودی و افقی نشان می دهد. ارتباط خطی اثر حرارتی در وزن بحرانی گل برای چاه های افقی به دست آمد. با این حال اثر حرارتی بر روی چاه های افقی حساس تر از چاه های عمودی است. هنگامی که درجه حرارت شکل گیری کاهش می یابد، چاه شکننده تر می گردد. افزایش درجه حرارت شکل گیری سبب افزایش وزن گل شکست شده و فروپاشی شده می گردد.

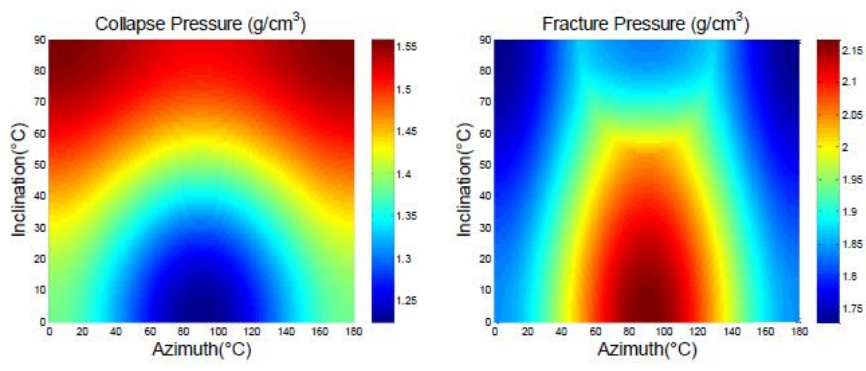
با شرایط حفاری درست، وزن بحرانی گل از چاه افقی در امتداد بخش افقی با گل های مختلف در شکل 12 نشان داده شده است. برای گل بر پایه نفت، درجه حرارت در انتهای بخش افقی افزایش می یابد، و باعث می شود وزن بحرانی گل افزایش یابد.



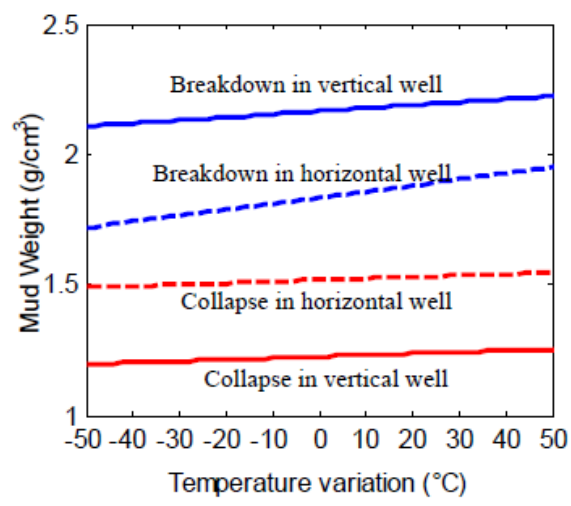
شکل 9: فاکتورهای مقیاسی به وسیله اثرات پواسون

جدول 2: داده های ورودی ویژگی های شکل گیری

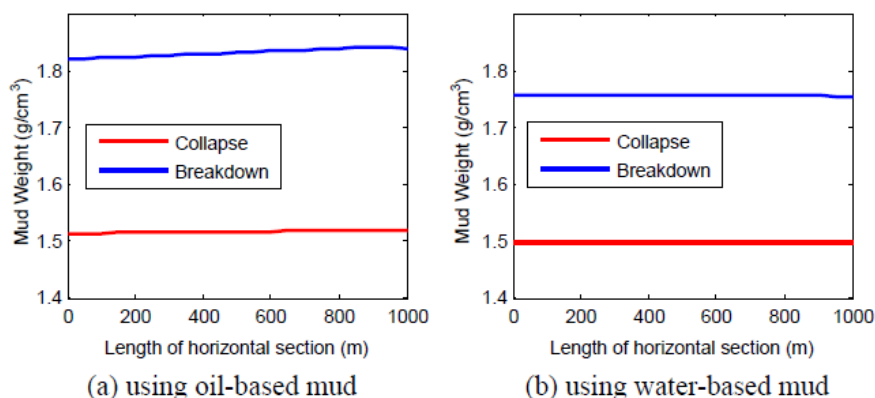
Variables	Values
Overburden stress gradient	2.26 Mpa/100 m
Maximum horizontal stress gradient	2.04 MPa/100 m
Minimum horizontal stress gradient	1.88 Mpa/100 m
Pore pressure, equivalent	1.24 g/cm ³
Thermal expansion coefficient	2.36 × 10 ⁻⁵ °C ⁻¹
Poisson's ratio	0.22
Biot's constant	0.9
Young's modulus	6895 Mpa
Cohesion	6.14 Mpa
Friction angle	30°
Tensile strength	0.69 Mpa



شکل 10 : اثر زاویه تمایل و زاویه آزیموت در وزن بحرانی گل



شکل 11 : اثر درجه حرارت بر روی وزن بحرانی گل برای چاه های عمودی و افقی



شکل 12: وزن گل چاه افقی در امتداد بخش افقی با سیستم گل مختلف

جدول 3: تحلیل حساسیت پارامترهای موثر بر ثبات گمانه.

Variables	Rate of change		
	Variables	Collapse pressure	Breakdown pressure
Thermal expansion coefficient	50%	0.38%	1.24%
Borehole temperature	-50%	-0.38%	-1.23%
Poisson's ratio	100%	0.76%	2.47%
	-200%	-1.52%	-4.94%
Pore pressure	36.4%	0.09%	-1.67%
	54.5%	-0.10%	2.61%
Overburden stress	10%	3.17%	0.00%
	-10%	-3.17%	0.00%
Maximum horizontal stress	10%	11.30%	-5.39%
	-10%	-11.30%	5.39%
Minimum horizontal stress	10%	-3.39%	4.85%
	-10%	3.39%	-12.65%
Well inclination	7.2%	0.00%	6.00%
	-15.6%	0.00%	-15.92%
	-50%	-9.61%	11.20%
	-100%	-19.21%	16.41%

هنگام استفاده از گل پایه آبی، دمای بخش افقی کمتر از دمای شکل گیری است که باعث می شود گل به سمت پایین حرکت کند (همانطور که در شکل 12 نشان داده شده است).

از آنجایی که تبادل حرارت کافی در بخش افقی وجود دارد تغییرات دمایی در چاه افقی کوچکتر از تغییرات دمایی در چاه عمودی می باشد و دمای سوراخ پایینی در چاه افقی نزدیک به دمای شکل گیری می باشد. با این حال، اثر تنش های حرارتی در وزن بحرانی گل در بخش افقی حساس تر است.

4- آنالیز عدم قطعیت

بسیاری از پارامترها تحت تاثیر ثبات گمانه قرار می گیرند. این پارامترها شامل سه تنش اصلی، فشار منفذی، وزن گل، زاویه و شیب خوب، درجه حرارت پایین گمانه می باشد. مشکل استفاده از یک مدل ثبات گمانه است که هیچ یک از این پارامترها را نمی توان با دقت اندازه گیری کرد. بنابراین، در این بخش برای آنالیز عدم قطعیت پارامترهای بخش 3.2 به عنوان پایه مورد استفاده قرار گرفت و نتایج آن در جدول 3 آورده شده است.

از جدول 3 می توان دریافت که زمانی که $\sigma_v > \sigma_H > \sigma_h$ باشد، پارامترهای موثر در وزن گل برای ایجاد ثبات گمانه شامل سه تنش اصلی، فشار منفذی، دمای گمانه، ضریب انبساط حرارتی و نسبت پواسون می باشد. ضریب انبساط حرارتی، نسبت پواسون و دمای گمانه اثر کمی بر وزن گل فروپاشی شده دارد. فشار آب حفره اثر کمی بر وزن گل شکست شده دارد.

5- نتیجه گیری

مدل درجه حرارتی یکپارچه برای چاه افقی ارائه و آزمایش شد. عملکرد حرارتی چاه افقی کاملاً متفاوت از چاه های عمودی است، درجه حرارت بخش پایینی برای چاه های افقی در بعضی نقاط می تواند بالاتر از دمای شکل گیری باشد. بعلاوه آنکه تبادل حرارت در بخش افقی مورد نیاز می باشد، مقدار تغییرات دمایی در چاه افقی کوچکتر از چاه های عمودی است؛ با این حال، اثر تنش حرارتی در وزن بحرانی گل در چاه افقی حساس تر است.

هنگامی که درجه حرارت سوراخ پایین بیشتر از دمای شکل گیری باشد وزن بحرانی گل در قسمت جلویی بخش افقی بیشتر از قسمت انتهایی می باشد. توصیه می شود گل پایه نفتی برای به حداقل رساندن اثر خنک کننده استفاده گردد.

References

- Aadnoy, B.S., Belayneh, M., 2008. A New Fracture Model That Includes Load History, Temperature, and Poisson's Effects. SPE 114829.
- Edwardson, M.J., Girner, H.M., Parkinson, H.R., et al., 1962. Calculation of formation temperatures disturbances caused by mud circulation. J. Pet. Tech. 14 (4), 416-426.
- Fjaer, E., Holt, R.M., Horsrud, P., Raaen, A.M., Risnes, R., 1992. Petroleum Related Rock Mechanics. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Furui, K., Zhu, D., Hill, A.D., 2003. A rigorous formation damage skin factor and reservoir inflow model for a horizontal well. SPE Prod. Facil. 18 (3), 151-157.
- Gonzalez, Manuel Eduardo, Bloys, James Benjamin, Lofton, John E., et al., 2004. Increasing Effective Fracture Gradients by Managing Wellbore Temperatures. IADC/SPE 87217.
- Holmes, C.S., Swift, S.C., 1970. Calculation of circulating mud temperatures. J. Pet. Tech. 22 (6), 670-674.
- Iyoho, A.W., Rask, J.H., Wieseneck, J.B., Grant, L.S., 2009. Comprehensive Drilling

- Model Analyzes BHT Parameters. IADC/SPE 124142.
- Kabir, C.S., Hasan, A.R., Kouba, G.E., Ameen, M., 1996. Determining circulating fluid temperature in drilling, workover, and well control operations. *SPE Drill. Complet.* 11 (2), 74–79.
- Kumar, Aniket, Pratap Singh, Ajay, Samuel, Robello, 2012a. Analytical Model to Predict the Effect of Pipe Friction on Downhole Temperatures for Extended-reach Drilling (ERD). IADC/SPE 151254.
- Kumar, Aniket, Pratap Singh, Ajay, Samuel, Robello, 2012b. Field Application of an Analytical Model for Estimating the Downhole Temperatures Due to Wellbore Friction. IADC/SPE 156307.
- Li, Zhuoyi, Zhu, Ding, 2010. Predicting flow profile of horizontal well by downhole pressure and distributed-temperature data for waterdrive reservoir. *SPE Prod. Oper.* 25 (3), 296–304.
- Marshall, D.W., Bentsen, R.G., 1982. A computer model to determine the temperature distributions in a wellbore. *J. Cdn. Pet. Tech.* 21 (1), 63–75.
- Nguyen, D., Miska, S., Yu, M., Saasen, A., et al., 2010. Modeling Thermal Effects on Wellbore Stability. SPE 133428.
- Nansheng, Qiu, Sehngbiao, Hu, Lijuan, He, 2004. Theory and Application of Sedimentary Basin Thermal System. Petroleum Industry Press (in Chinese).
- Perkins, T.K., Gonzalez, J.A., 1984. Changes in Earth stresses around a wellbore caused by radially symmetrical pressure and temperature gradients. *Soc. Pet. Eng. J.* 24 (2), 129–140.
- Ramey Jr., H.J., 1962. Wellbore heat transmission. *J. Pet. Tech.* 14 (4), 427–435.
- Raymond, L.R., 1969. Temperature distribution in a circulating drilling fluid. *J. Pet. Tech.* 21 (3), 333–341.
- Tang, Lin, Luo, Pinya, 1998. The Effect of the Thermal Stress on Wellbore Stability. SPE, 39505.
- Tragesser, A.F., Crawford, P.B., Crawford, H.R., 1967. A method for calculating circulating temperatures. *J. Pet. Tech.* 19 (11), 1507–1512.
- Trichel, Keith, Fabian, John, 2011. Understanding and Managing Bottom Hole Circulating Temperature Behavior in Horizontal HT Wells – a Case Study Based on Haynesville Horizontal Wells. SPE/IADC 140332.
- Wooley, G.R., 1980. Computing downhole temperatures in circulation, injection, and production wells. *J. Pet. Tech.* 32 (9), 1509–1522.
- Xu, Z.L., 1982. Elastic Mechanics. 2nd People's Education Press (in Chinese).
- Yoshioka, K., Zhu, D., Hill, A.D., Dawkrajai, P., Lake, L.W., 2007. Prediction of temperature changes caused by water or gas entry into a horizontal well. *SPE Prod. Oper.* 22 (4), 425–433.
- Yu, M., Chen, G., Chenevert, M.E., 2001. Chemical and Thermal Effects on Wellbore Stability of Shale Formations. SPE 71366.