

آنالیز شبیه سازی گردش سیالات حفاری و مقایسه کاربردی آن در فیلد

مهدی علی نژاد مفرد

کارشناس ارشد نفت (حفاری) - دانشگاه کالگری کانادا - دانشگاه صنعت نفت

malineja@ucalgary.ca

شماره تماس: ۰۹۱۵۵۱۰۳۹۳۱

چکیده

سیستم گردش گل حفاری نقش بارزی را در عملیات حفاری بر عهده دارد. طراحی مناسب این سیستم میتواند بهره وری حفاری را افزایش داده و هزینه مصرفی را تا ۵۰٪ کاهش دهد. از اینرو پیش بینی دقیق توزیع فشار سیالات حفاری در تمام عمق چاه حائز اهمیت می باشد.

در این مقاله روش شبیه سازی سیستم گل حفاری و فشار در گردش گل و آنالیز آن بررسی می شود و در پایان مقایسه ای بین نتایج حاصل از کاربرد آن در یک منطقه ارزیابی می گردد. برای هر مقدار سرعت پمپ گل حفاری، افت فشارهایی که در سطح، داخل رشته لوله حفاری، در هنگام عبور از مته و در بازگشت از میان فضای حلقوی بوجود می آید محاسبه می گردد.

روش مورد بررسی توانایی محاسبه همزمان افت فشارها را چه در جریان آرام و یا جریان اغتشاشی را دارد و میتوان آنرا در مواردیکه رژیمهای مختلف جریانی در یک چرخه سیال حفاری در چاه وجود دارد بکار برد.

مقادیر افت فشار برای سرعت جریانهای متفاوت و در عمقهای مختلف در یک چاه در دو وضعیت وجود یا عدم وجود washout محاسبه گردیده و در جداول و اشکال ضمیمه نشان داده شده است.

اطلاعات مربوط به فیلد از خلاصه گزارشات BHA، مشخصات مته ها و گل حفاری بکار رفته جهت محاسبه فشار پمپ مورد نیاز در اعماق مختلف و سپس مقایسه آن با مقادیر ثبت شده فشار سر چاهی استفاده شده است.

کلمات کلیدی

افت فشار، سیستم گردش گل حفاری، washout، فضای حلقوی، سرعت جریان گل حفاری

مقدمه

سیستم گردش سیالات در بسیاری از فعالیتهای نفتی شامل حفاری، تکمیل چاه، شکاف سازی، اسید کاری، تعمیر چاه و تولید نقش مهمی را دارد. در حفاری چاهها نقش سیالات بسیار حیاتی تر است زیرا از طرفی سیستم بهینه گردش گل در کاهش هزینه ها مؤثر بوده و از سوی دیگر عدم محاسبات صحیح مقادیر افت فشار به هرز روی گل و یا از دست دادن چاه می انجامد.

روشهای تأیید شده API مدل‌های رفتاری Power Law و یا Bingham را برای سیستم گردش سیال حفاری در نظر می‌گیرند. این مدلها و محاسبات هیدرولیکی پیرامون آنها راه مناسبی را جهت ارزیابی قابل قبول سیستم سیالات بکار رفته در چاههای قائم موجود در خشکی و گل‌های حفاری پایه بنتونیتی فراهم می‌آورند.

سیال حفاری توسط پمپ از طریق تجهیزات سطحی و از درون رشته لوله حفاری و از میان مته عبور کرده و مجدداً به سطح چاه برمی‌گردد. گل پس از خروج از مته وارد فضای حلقوی annulus شده و با سازند در تماس خواهد بود. نکته دیگری که در این مورد وجود دارد ایجاد فضاهاى شسته شده washouts می‌باشد. در یک چنین وضعیتی مقادیر بیشتری از گل حفاری پس از خروج از مته در فضای annulus جمع شده و باعث کاهش بهره‌وری سیستم گردش گل می‌شود. در این مقاله، سیال حفاری تحت مدل Power Law ارزیابی شده و افت فشارها در درون لوله حفاری و اجزای آن، مته و فضای حلقوی مابین آنها و دیواره چاه محاسبه می‌گردد.

محاسبه افت فشارهای جریان

رابطه اساسی مورد استفاده در آنالیز یک بعدی جریان سیال معادله برنولی می‌باشد که برای محاسبه افت فشار با تغییراتی مورد استفاده قرار می‌گیرد. هنگامی که اصل بقای انرژی در مورد جریان سیال بکار رود، معادلات حاصل را تئوری برنولی نامیم. هنگامیکه دو نقطه ۱ و ۲ در یک سیستم جریان مفروض باشند رابطه جریان بدینگونه خواهد بود:

$$h_1 + \frac{U_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho_1} - F + W = h_2 + \frac{U_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho_2}$$

در مورد گردش گل حفاری که گل توسط پمپ از تانک ذخیره پمپ شده و به آن برمی‌گردد مقدار h_1 و h_2 و نیز P_1 و P_2 که هر دو در فشار اتمسفر هستند برابر بوده و از رابطه حذف می‌گردند. مقادیر سرعت نیز بعلاوه کوچکی قابل صرفنظر کردن می‌باشند و در مورد دانسیته یا چگالی گل نیز باید گفت که تغییر قابل ملاحظه‌ای بوجود نمی‌آید و بنابر این رابطه فوق به شکل زیر در می‌آید:

$$W = F$$

مقدار W بیانگر کار انجام شده و یا اسب بخار هیدرولیکی است که توسط پمپ اعمال می‌شود و عبارت F بیانگر مقدار افت فشار بوده که شامل افت فشارهای اصطکاکی است که در مسیر جریان سیال ایجاد می‌شود و نیز افت فشار ناشی از عبور گل از میان نازل‌های مته می‌باشد. جهت برآورد افت فشارهای اصطکاکی، گل حفاری بعنوان سیالی که از مدل Power Law تبعیت می‌کند فرض می‌شود.

$$\tau = K\gamma^n$$

برای مقطع لوله حفاری و لوله وزنه Drill Collar مقدار ثابت n و نیز ضریب تطابق مدل مفروض یعنی K با استفاده از گرانروی سنج چرخشی Rotational Viscometer در سرعت‌های ۶۰۰ و ۳۰۰ rpm محاسبه می‌شود.

شود. برای فضای حلقوی چاه سرعتهای ۱۰۰ و ۳ rpm این دستگاه استفاده می شود و سپس مقادیر سرعت متوسط V ، ویسکوزیته مؤثر μ_e ، عدد رینولدز N_{Re} ، ضریب اصطکاک f و گرادیان افت فشار اصطکاکی dP/dL برآورد شده و افت فشار در هر قسمت از مسیر گردش سیال حفاری محاسبه می شود. مجموع افت فشارها شامل مجموع مقادیر آن در قسمتهای لوله حفاری، لوله وزنه، نازلهای مته، فضای حلقوی بین چاه و لوله وزنه و فضای حلقوی بین چاه و لوله حفاری می باشد و در صورتیکه مقدار اختلاف فشار هیدرولیکی در پمپ را صرف نظر نماییم، عدد مجموع فوق برابر فشار لازم جهت گردش گل حفاری درون چاه می باشد. در فرایند محاسبه فوق، جریان داخل رشته لوله حفاری را جریان اغتشاشی و جریان سیال داخل فضای حلقوی را جریان آرام فرض می نماییم و در صورت تغییر این روند تحت شرایط متفاوت گرانیوی سیال، می بایست فرمولهای مورد نیاز آنها در آن فواصل مورد استفاده قرار گیرند.

آنالیز یک چاه و نتایج حاصل

در این قسمت محاسبات فشار پمپ، افت فشارهای اصطکاکی و فشارهای **parasitic** برای چاهی در پنج سرعت جریانی متفاوت گل حفاری یعنی ۱۰۰، ۲۰۰، ۳۰۰، ۴۰۰ و ۵۰۰ گالن بر دقیقه در شرایط وجود **washout** و عدم وجود آن انجام داده می شود. لازم به ذکر است که به مجموع افت فشارهای اصطکاکی موجود در سطح، لوله حفاری، لوله وزنه و فضای حلقوی فشارهای **parasitic** گوئیم. جدول شماره ۱ خواص رئولوژی گل حفاری، هندسه چاه و وجود یا عدم وجود **washout** را بیان می دارد. واضح است که برای سرعتهای جریانی بالاتر، فشار پمپ بیشتری در نتیجه ی افزایش افت فشار، مورد نیاز است. با ترسیم نمودار فشار پمپ بر حسب جریانهای مختلف در حالتی دارای **washout** یا بدون آن، یک روند تقریباً خطی مشاهده می شود لیکن مقدار افت فشار در جریانهای متفاوت برای وضعیتی که چاه دارای **washout** هست کمتر می باشد و این در نتیجه حصول عدد رینولدز کوچکتر در آن قسمت بوده که بعلت قطر بیشتر فضای حلقوی و کوچکتر بودن گرادیان فشار اصطکاکی می باشد. با ترسیم فشار **Parasitic** بر حسب جریانهای مختلف در دو حالت متفاوت شرایط دیواره چاه مشاهده خواهد شد که مقدار افت فشار **parasitic** در یک چاه دارای **washout** کمتر از حالتی است که چاه دارای بزرگ شدگی ناشی از شسته شدن دیواره نمی باشد.

در شکل ۱، فشار جریانی و گردش (Circulating Pressure) یا فشار دینامیکی P_{dyn} بر حسب مسیر طی شده توسط گل حفاری از رشته لوله ها (مانند مسیری U شکل) در دو وضعیت شسته شدگی دیواره چاه یا بدون آن در سرعت جریان ۴۰۰ gpm نشان داده شده است. فشار جریانی از مقدار حداکثر شروع شده و همانطور که گل مسیر بیشتری را طی می کند کاهش می یابد. در قسمت پایانی نمودار مربوط به **washout** مقدار کم افت فشار اصطکاکی در این ناحیه بین قسمتهای ۱ و ۲ مشاهده می شود. در هر قسمت از مسیر U شکل از شروع جریان در رشته لوله تا بازگشت به لوله جداره سطحی **Surface Casing** مقدار فشار جریانی در حالتی که چاه دارای **washout** است کمتر می باشد. نقاط ۱ و ۲ شروع و پایان قسمت دارای **washout** در دیواره چاه را نشان می دهد.

شکل ۲ فشار هیدروستاتیکی P_{hyd} ناشی از گل را بصورت منفرد و نیز در حالت مجموع با فشار جریانی $P_{hyd} + P_{dyn}$ بر حسب مسیر طی شده گل در چاه برای حالت **washout** و بدون آن و سرعت جریان سیال ۴۰۰ gpm نشان می دهد. منحنی فشار هیدروستاتیکی در حالت وجود **washout** یا عدم وجود آن بعلت یکسان بودن عمق چاه در هر دو وضعیت، تفاوتی نمی کند. همانطور که مشاهده می شود، با افزایش عمق چاه مقدار فشار هیدروستاتیکی گل نیز افزایش می یابد و مقدار حداکثر آن در ته چاه می باشد. در منحنی $P_{dyn} + P_{hyd}$ تفاوت حالت **washout** و عدم وجود آن مشاهده می شود. با افزایش مسیر طی شده توسط گل تا قبل از رسیدن به مته، منحنی مجموع بطور خطی افزایش می یابد تا به مقدار حداکثر می رسد و سپس افت فشار با کاهش در راستای قائم روی منحنی که مربوط به عبور سیال از مته می باشد مشاهده می گردد و سپس کاهش تدریجی منحنی را تا قسمتی که بیانگر رسیدن گل به سطح از طریق فضای حلقوی می باشد مشاهده می کنیم که مقدار مجموع فشار هیدروستاتیکی و فشار جریانی صفر می باشد. نقاط ۱ و ۲ در شکل بیانگر قسمت **washout** می باشند که مقدار افت فشار جریانی کمتری را در طول این قسمت نسبت به حالتی که **washout** نداریم نشان می دهند.

با ترسیم نمودار افت فشار جریان در فضای حلقوی برای مقادیر مختلف سرعت جریان در دو حالت **washout** و بدون آن مشاهده خواهد شد که روند کلی منحنی، افزایش تدریجی افت فشار جریانی در فضای حلقوی را با افزایش سرعت سیال نشان می دهد. تفاوت بارزی بین حالت چاه با دارا بودن قسمت **washout** و بدون آن مشهود است. در حالت اول مقدار افت فشار فضای حلقوی بسیار کمتر از حالتی است که **washout** ایجاد نشده باشد و این بعلت قطر بیشتر در قسمتی از چاه است که دارای **washout** می باشد. مقادیر افت فشار در جریانهای ۴۰۰ و ۵۰۰ گالن بر دقیقه از روند کلی افزایش مانند سایر جریانها تبعیت نمی کنند و این امر ناشی از ایجاد جریان اغتشاشی در فضای بین دیواره چاه و لوله وزنه **drill collar** برای این دو سرعت جریانی می باشد.

در صورتیکه مقدار دانسیته معادل در گردش گل حفاری ECD در دو حالت مختلف را برحسب سرعت جریانهای مختلف رسم نماییم تغییر روندهای بارزی مشاهده می دهد. مقدار ECD بستگی به خواص گل، قطر خارجی لوله وزنه، اندازه چاه و سرعت گردش سیال دارد. در حالتی که چاه دارای **washout** نمی باشد، مقدار ECD بیشتری برای سرعتهای جریان مختلف حاصل می شود. در اینجا نیز تغییر روند از سرعتهای ۴۰۰ و ۵۰۰ gpm به بعد مشاهده می شود که در نتیجه تغییر رژیم جریان در فضای بین دیواره چاه و لوله وزنه می باشد. این رژیم جریانی برای سه سرعت دیگر بصورت خطی و آرام می باشد.

آنالیز مقدار فشار ثبت شده در فیلد و مقدار شبیه سازی شده

برای مقایسه نتایج شبی سازی شده (محاسبه شده) با مقادیر واقعی در فیلد، چاهی به عمق ۳۰۳۳ متر در نظر گرفته شده که مقادیر افت فشار در فاصله ۵۰۰ تا ۳۰۰۰ متر در فواصل حفاری هر ۲۵۰ متر محاسبه گردیده است. اطلاعات حاصل از BHA، مشخصات مته بکار رفته، ویژگیهای گل حفاری و گزارشات کاربرد آن و

خواننده های گراویسنج مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل ۳ مقایسه بین دو سری نتایج به تصویر کشیده شده است. واضح است که تطابق خطی قابل قبولی بین دو سری نتایج وجود دارد. اختلاف جزئی حاصل در نتیجه نادیده گرفتن افت فشارهای جزئی در سیستم گردش سیال حفاری می باشد که بعنوان مثال در محل اتصالات رشته لوله حفاری و یا بر اثر جریانات جزئی افقی در مقطع فضاها عبور سیال **Cross Flow Effect** ایجاد می شوند. نحوه چیدمان رشته لوله حفاری در فواصل ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ متر با فواصل ۲۲۵۰ تا ۲۷۵۰ متر متفاوت بوده و از این فاصله تا عمق ۳۰۰۰ متر **BHA** نهایی را داریم که در حفاری این قسمت نازلهای مته کمتر شده اما قطر آنها به ۱۱/۹ میلیمتر افزایش پیدا کرده است.

نتایج

در این مقاله، روش آنالیز و شبیه سازی کامل سیستم هیدرولیکی گردش گل حفاری مورد بررسی قرار گرفته و سیال حفاری تابع مدل رئولوژیکی **Power Law** فرض شده است.

- مشاهده گردید که افت فشارها تنها به مقادیر ثابت مدل مفروض یعنی **n** و **K** بستگی ندارند و به مقادیر تغییرات جزئی آنها چندان وابسته نیستند.
- در این مبحث تنها افت فشارهای اصطکاکی و افت فشار در نازل مته مد نظر قرار گرفته اند و از افت فشارهای جزئی محل اتصالات و نیز ناشی از جریانات جزئی افقی در مقطع فضاها عبور سیال، صرف نظر شده است.
- مقایسه چاه در حالتی که دارای **washout** بوده با وضعیتی که دارای این قسمت نیست این نتیجه را حاصل می دهد که مقدار افت فشار اصطکاکی در حالت اول کمتر می باشد. این امر عمدتاً باعث افزایش قطر چاه در آن قسمت، کوچکتر بودن عدد رینولدز در محاسبات و کاهش گرادیان فشار اصطکاکی می باشد.
- مقایسه بین فشار محاسبه شده مورد نیاز برای پمپ و مقادیر ثبت شده در فیلد تطابق بسیار خوب و قابل قبولی را ارائه می دهد و تفاوت جزئی بعلا بر برخی ساده سازیها و صرف نظر کردن از مقادیر کوچک افت فشار در برخی نقاط از سیستم گردش سیال حفاری می باشد.

منابع

1. Harland G., "Advanced Drilling Simulation Modeling" Printed Materials for ENME 619.63, University of Calgary, Alberta, Canada, Sep. & Oct. 2005
2. Arthur W. McCray, Frank W. Cole, "Oil well drilling technology" University of Oklahoma Press, 1959
3. Keith K, Millheim, Said Sahin Tulga, "Simulation of the Wellbore Hydraulics While Drilling, Including the Effects of Fluid Influxes and Losses and Pipe Washouts" paper SPE 11057, presented at the 57th Annual Fall Technical Conference and Exhibition of the SPE of AIME, held in New Orleans. LA, Sept. 26-29.1982

ضمیمه

محاسبه افت فشار

مقدار کل فشار مورد نیاز پمپ می بایست برابر مجموع مقادیر افت فشار درون رشته لوله حفاری، لوله وزنه، نازل‌های مته، فضای حلقوی و در سطح (مانند اختلاف فشار درون پمپ) باشد:

$$P_{pump} = \Delta P_{DP} + \Delta P_{DC} + \Delta P_{(bit)Nozzles} + \Delta P_{DC/ANN} + \Delta P_{DP/ANN} + \Delta P_{Hyd}$$

علائم و اختصارات

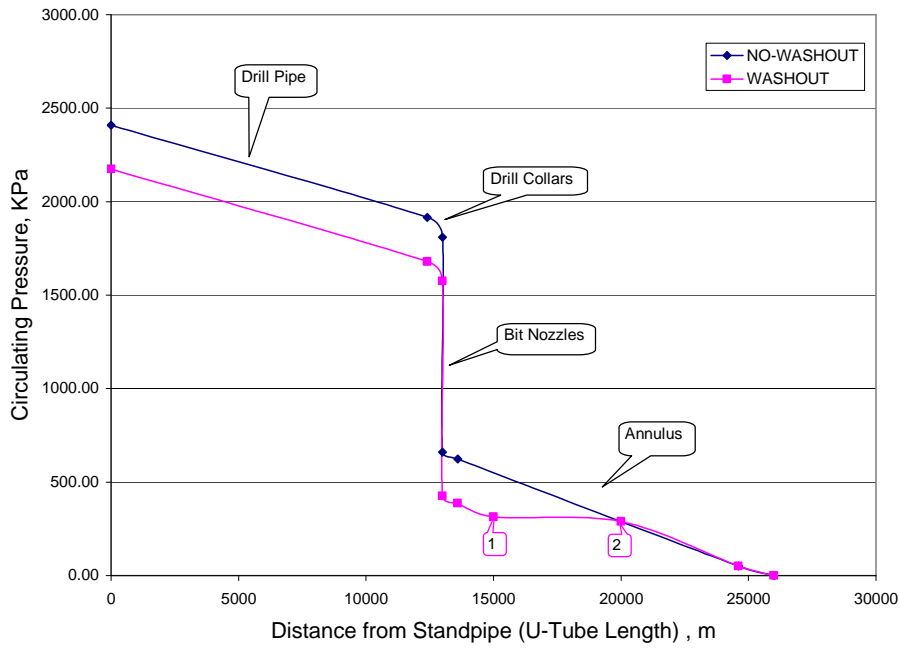
- D diameter, in
- F sum of flowing pressure losses
- g acceleration of gravity, 32.2 ft./sec.²
- h height above a chosen reference elevation, ft
- K Power Law fluid consistency index
- n Power Law constant factor
- P pressure of the fluid, lb./ft.² & KPa
- Q fluid flow rate, gal/min
- R rotational viscometer reading
- U flow velocity, ft./sec.
- V velocity of the mud, ft./sec.
- W sum of mechanical energy added (HHP)
- z depth, ft
- $\dot{\gamma}$ fluid shear strain rate, seconds⁻¹
- ρ density of the fluid, lb./ft.³ & ppg
- τ fluid shear stress, dynes/cm²
- μ viscosity, cp

اندیسیها

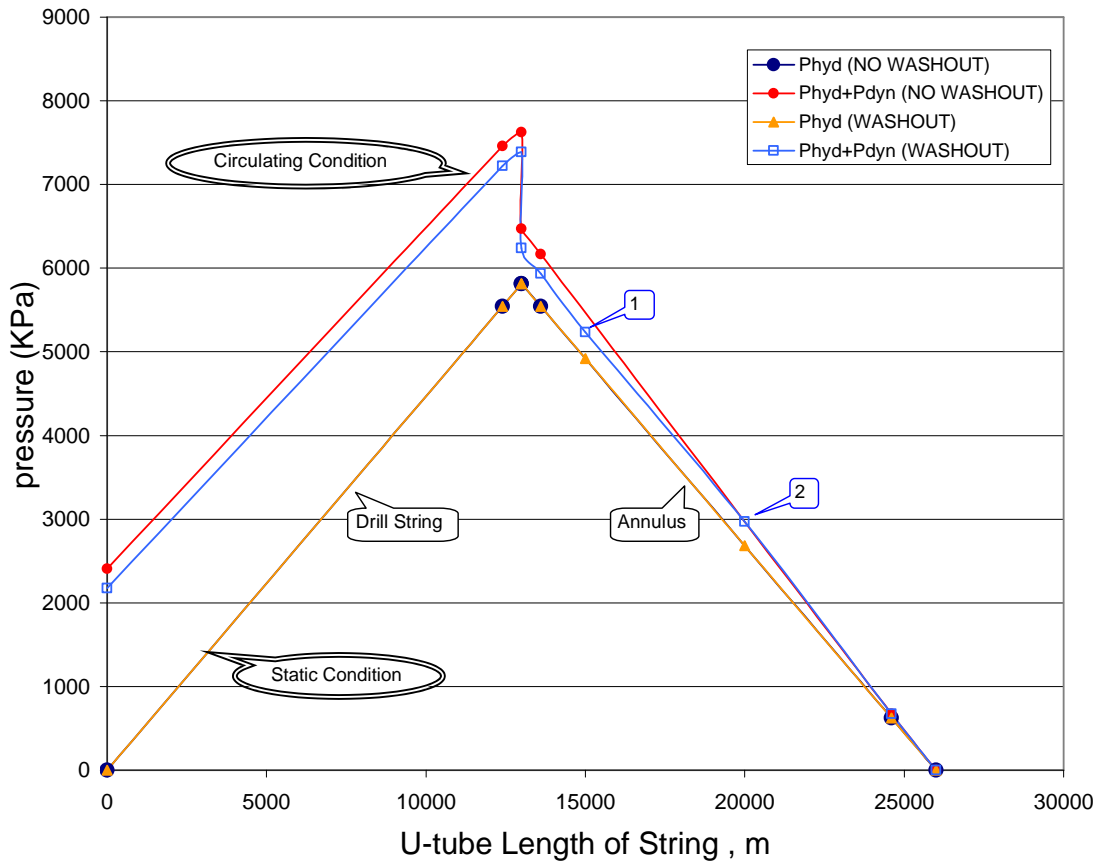
- 1 start region in process of calculation
- 2 end region in process of calculation
- dyn dynamic (circulating)
- e effective
- hyd hydraulic
- Re Reynolds

Well Depth (ft)	13000	Casing Depth (ft)	1400
Surface Hole Diameter (inch)	8.75	Mud Density (ppg)	8.6
Main Hole Diameter (inch)	7.875		
Drill Pipe Information		Drill Collar Information	
ID	4.26 in	ID	3 in
OD	5 in	OD	6.5 in
Total Length	12400 ft	Total Length	600 ft
Drill Bit Nozzle Diameter		Flow Rate Information	
Nozzle 1	12 1/32 in	Q1	100 gpm
Nozzle 2	12 1/32 in	Q2	200 gpm
Nozzle 3	12 1/32 in	Q3	300 gpm
Surface Pressure loss (psi)	50	Q4	400 gpm
Viscometer Readings		Q5	500 gpm
Rot. Speed	Reading		
600	68 degrees		
300	50 degrees		
100	34 degrees		
3	18 degrees		

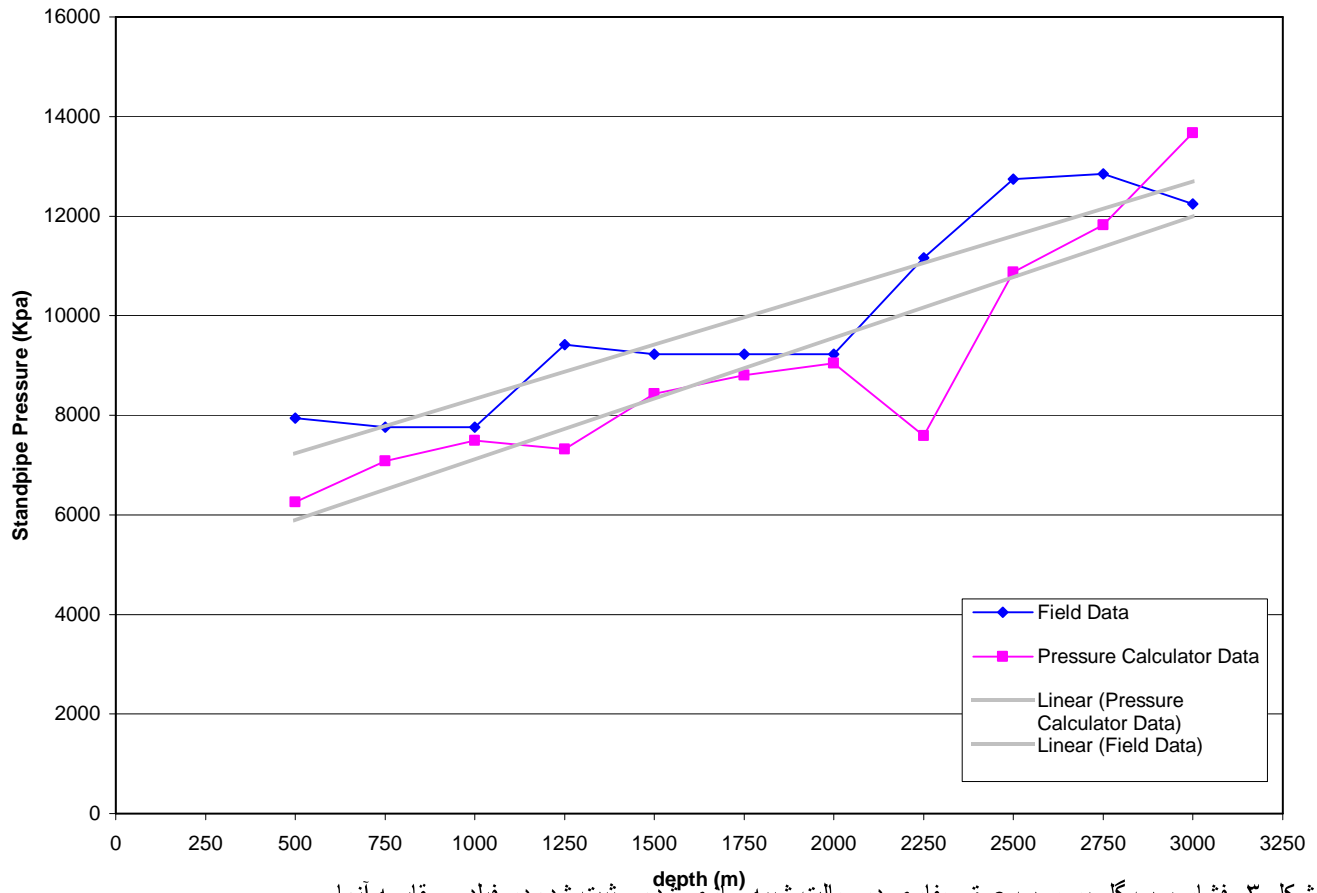
جدول ۱- مشخصات کلی چاه نمونه مورد بررسی



شکل ۱- فشار دینامیک بر حسب مسیر طی شده توسط گِل در سرعت جریان ۴۰۰ گالن بر دقیقه در دو حالت متفاوت



شکل ۲- فشار هیدروستاتیکی و فشار جریانی (دینامیک) برحسب مسیری طی شده توسط سیال حفاری در سرعت جریانی ۴۰۰ گالن بر دقیقه در دو حالت مختلف



شکل ۳- فشار پمپ گل برحسب عمق حفاری در حالت شبیه سازی شده و ثبت شده در فیلد و مقایسه آنها

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.