

## بررسی پدیده‌های انتقال گرما، حرکت و رئولوژی گل حفاری در مسیر رفت و برگشت به داخل چاه

علی اصغر حمیدی

استادیار گروه مهندسی شیمی - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

محمدرضا خرقانی

دانشجوی فارغ التحصیل کارشناسی ارشد - دانشکده فنی - دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت ۷۵/۸/۲۰، تاریخ تصویب ۷۷/۲/۱۲)

### چکیده

جریان گل حفاری به درون چاه از مسیر مرکز لوله حفاری، روزنه‌های سرمته و فاصله بین لوله حفاری و لوله جداری چاه با پدیده‌های پیچیده انتقال حرارت و جابجائی گل و کنده‌های حفاری همراه است. حرارت قابل ملاحظه‌ای در نقطه حفاری به علت اصطکاک بین سرمته با زمین حاصل می‌گردد و دمای زمین نیز با عمق افزایش می‌یابد. این پدیده‌ها باعث تغییرات دما در گل حفاری و بنابراین تغییر خواص فیزیکی خصوصاً گرانشی آن می‌گردند. در مسیر برگشت، گل باید کنده‌های حاصل از حفاری را با خود حمل کرده به سطح زمین منتقل کند. توانایی گل در انجام این فرآیند نیز به گرانشی غیرنیوتنی گل و تغییرات فشار در مسیر جریان بستگی دارد.

در این مطالعه تغییرات گرانشی گل به علت تغییرات دما مورد مطالعه قرار گرفته است و با حل معادلات ریاضی حاکم بر انتقال حرارت و جابجائی گل در طول مسیر حرکت چگونگی حمل کنده‌های حفاری توسط گل مورد بررسی واقع شده است.

کلیدواژه‌ها: گل حفاری، رئولوژی، افت فشار، انتقال حرارت، مدل سازی

### مقدمه

یک سیال غیر نیوتنی می باشد، قبل از هرچیز باید یک معادله حرکت مناسب برای آن انتخاب شود.

در مقاله حاضر تغییرات گرانشی گل حفاری در اثر تغییرات دما در مسیر حرکت گل مورد مطالعه قرار گرفته است و با ارائه مدلی شامل این تغییرات افت فشار برای جریان گل و همچنین چگونگی حمل کنده‌ها به سطح زمین مطالعه شده است. نتایج حاصل با داده‌های تجربی از یک چاه در حال حفر در منطقه نفت خیز جنوب مقایسه شده و نتایج رضایت بخشی مشاهده شده است.

روابط حاکم برای مدل ریاضی

در این بخش معادلات و روابط حاکم در اجراء مدل

در حفاری گل از درون لوله‌ای در حال دوران که بر سر آن مته نصب شده است به طرف پایین حرکت کرده، پس از خروج از روزنه‌های مته و خنک کردن سر آن از مجرای حلقوی بین لوله مته و حفره ایجاد شده در زمین به طرف بالا حرکت میکند که ضمن این کار کنده‌ها را با خود به طرف بالا حمل مینماید. گل حفاری در مسیر حرکت خود در چاه وظایف متعددی را به عهده دارد که از مهمترین آنها حمل کنده‌های حفاری به سطح زمین است. برای مطالعه این وظیفه گل حفاری خواص فیزیکی خصوصاً گرانشی آن در عمق چاه، به همراه تاثیر عوامل خارجی مانند دما و تنش موضعی در هر نقطه از مسیر حرکت باید تعیین شوند. بنابراین لازم است که توزیع دما و گرادیان فشار در طول مسیر حرکت گل تعیین شود. باتوجه به اینکه، گل حفاری

با تعیین مقادیر جدید سرعت و گرانروی خمیره‌ای گل، عدد رینولدز (Re) قابل محاسبه است.

$$Re = \frac{\rho V_T d_i}{\mu_{pr}} \quad (5)$$

مقدار (Re) بحرانی برای گل حفاری حدود ۲۱۰۰ در نظر گرفته میشود که برای عدد (Re) بیشتر از این مقدار، جریان ناآرام و برای مقادیر کمتر از این حد جریان آرام است.

مسیر حرکت گل در چاه را، همانطور که در شکل (۱) نشان داده شده است میتوان به سه ناحیه تقسیم کرد. افت فشار برای هر ناحیه عبارت است از:

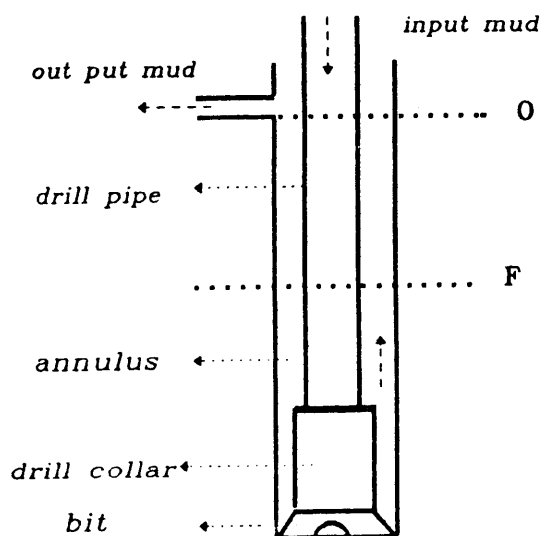
۱ - مسیر رفت گل به داخل چاه یا عبور از لوله حفاری [۱، ۳، ۵].

$$Re < 2100$$

$$\Delta P_d = \frac{\tau_y L}{225 d_i} + \frac{\mu_{pr} L V_T}{1500 d_i^2} \quad (6)$$

$$Re > 2100$$

$$\Delta P_d = \frac{FL \rho V_T^2}{25.8 d_i} \quad F = 0.05 / Re^{0.2} \quad (7)$$



شکل ۱: شمای ساده‌ای از مسیر رفت و برگشت گل در چاه.

۲ - مرحله عبور از نازل‌های مته [۱].

$$\Delta P_b = \frac{Q^2 \rho}{7430 C^2 d_e^4} \quad (8)$$

C ضریب تخلیه نازل که برای نازل‌های مورد استفاده در مته حفاری حدود ۰/۹۵ است و  $d_e$  قطر معادل نازلهاست که

ریاضی مطرح شده ارائه میگردند.

### رنولوژی گل حفاری

گل حفاری یک سیال غیرنیوتنی است. پس از مطالعه نظری و تجربی گل حفاری نتیجه گیری شد که بهترین رابطه برای بیان حرکت گل حفاری معادله بینگهام پلاستیک است که به شکل زیر ارائه میگردد [۱]:

$$\tau - \tau_y = \mu_p \left( \frac{du}{dy} \right) \quad (1)$$

که  $\tau_y$  تنش تسلیم،  $\mu_p$  گرانروی خمیره‌ای<sup>(۱)</sup> و  $du/dy$  گرادیان سرعت برای حرکت گل میباشد.

### گرادیان و افت فشار در مسیر حرکت گل حفاری

به هنگام حفاری، لوله در حال دوران است. بنابراین انتظار میرود که در این حالت افت فشار نسبت به جریان لوله ساکن بیشتر باشد. آزمایشات انجام شده در این زمینه این نظریه را تأیید میکند. این افزایش در افت فشار به علت تغییر سرعت و گرانروی خمیره‌ای گل میباشد. معادلات زیر مقادیر جدید سرعت و گرانروی خمیره‌ای را برای گل نشان میدهند [۲].

$$V_T = (V_1^2 + V_2^2)^{1/2} \quad (2)$$

$$\mu_e = \mu_p + 6.67 \tau_y d_i / V_1 \quad (3)$$

$$\mu_{pr} = \mu_e - 6.67 \tau_y d_i / V_T \quad (3 - الف)$$

$$\mu_e = \mu_p + 5.0 \tau_y (D - d_o) / V_1 \quad (4)$$

$$\mu_{pr} = \mu_e - 5.0 \tau_y (D - d_o) / V_T \quad (4 - الف)$$

معادلات (۳) و (۳ - الف) برای لوله حفاری و معادلات (۴) و (۴ - الف) برای فضای حلقوی میباشد، که:

$V_1$  بردار سرعت ناشی از چرخش لوله حفاری

$V_2$  بردار سرعت حاصل از نیروی پمپ

$V_T$  بردار برآیند سرعت

$d_i$ ،  $d_o$  و  $D$  به ترتیب قطر داخلی لوله حفاری، قطر خارجی لوله حفاری و قطر سوراخ حفر شده میباشد.

$\mu_e$  و  $\mu_p$  به ترتیب گرانروی موثر و گرانروی خمیره‌ای تحت تاثیر چرخش لوله حفاری میباشد.

افت فشار گل در فضای حلقوی از نقطه O تا نقطه F:  $\Delta P_{a(o-f)}$

افت فشار گل در لوله حفاری از نقطه O تا نقطه F:  $\Delta P_{a(o-f)}$

فشار ستون گل در عمق F در داخل فضای حلقوی:  $P_{FA}$

فشار ستون گل در عمق F در داخل لوله حفاری:  $P_{FA}$

توزیع دما در مسیر حرکت گل

مسیر رفت و برگشت گل به داخل چاه را میتوان مانند یک مبدل حرارتی که سیال سرد آن گل ورودی به چاه و سیال گرم آن گل خروجی از چاه می باشند در نظر گرفت. شکل (۲) جزئی از چاه به ارتفاع dx را نشان میدهد، معادلات موازنه انرژی برای این المان به شکل زیر می باشند:

$$m_i C_p \frac{dT_p}{dx} = U(\pi \cdot d_i) (T_a - T_p) + P_1 \quad (15)$$

$$m_o C_p \frac{dT_p}{dx} = -U(\pi \cdot d_i) (T_a - T_p) + h_f (\pi \cdot d_o) (T_f - T_a) + P_2 \quad (16)$$

$T_f$  و  $T_a$ ،  $T_p$  به ترتیب دماهای سیال درون لوله، مجرای حلقوی و دمای زمین در عمق x میباشند  $h_f$  و  $U$  به ترتیب ضرایب کلی انتقال حرارت بین فضای حلقوی و زمین و فضای حلقوی و لوله حفاری میباشند.

مقادیر  $P_1$  و  $P_2$  که عبارتند از گرمای تولید شده ناشی از اصطکاک در طول مسیر از رابطه زیر محاسبه می گردند [۴].

$$P_1 = 1.484 m_i \Delta P_a \quad (17 - \text{الف})$$

$$P_2 = 1.484 m_o \Delta P_a \quad (17 - \text{ب})$$

$\Delta P_p$  و  $\Delta P_a$  به ترتیب افت فشار برای واحد طول در لوله حفاری و فضای حلقوی و  $m_o$  و  $m_i$  به ترتیب دبی جریان گل درون لوله و در مجرای حلقوی میباشند.

برای تعیین ضرایب کلی انتقال حرارت باید ضرایب انتقال حرارت در داخل لوله حفاری ( $h_p$ ) و مجرای حلقوی ( $h_a$ ) را محاسبه کرد و برای بدست آوردن این ضرایب از عدد ناسلت ( $Nu$ ) استفاده میشود.

روابط زیر برای محاسبه عدد ناسلت ارائه شده است [۴].

برای جریان آرام:  $Re < 2100$

برای لوله حفاری:

برابر است با:  $d_e = (d_1^2 + d_2^2 + \dots + d_n^2)^{1/2}$

۳- مسیر برگشت گل به سطح زمین یا عبور از فضای حلقوی [۱،۳،۵].

$Re < 2100$

$$\Delta P_a = \frac{\tau_v L}{200 (D-d_o)} + \frac{\mu_{pf} L V_T}{1000 (D-d_o)^2} \quad (9)$$

$Re > 2100$

$$\Delta P_a = \frac{FL \rho V_T^2}{25.8 (D - d_o)} \quad F = 0.05 / Re^{0.2} \quad (10)$$

افت فشار کل یا فشار لازم برای به حرکت درآوردن گل در چاه از مجموع افت فشار در سه مرحله بدست می آید.

$$\Delta P_t = \Delta P_d + \Delta P_b + \Delta P_a \quad (11)$$

فشار در هر نقطه از ستون گل مثلاً نقطه F با عمق H حاصل دو نیرو است:

الف - نیروی حاصل از وزن گل (فشار هیدرواستاتیک)

$$P_H = \rho g H \quad (12)$$

$P_H$ : فشار هیدرواستاتیک در عمق H

$\rho$ : دانسیته گل

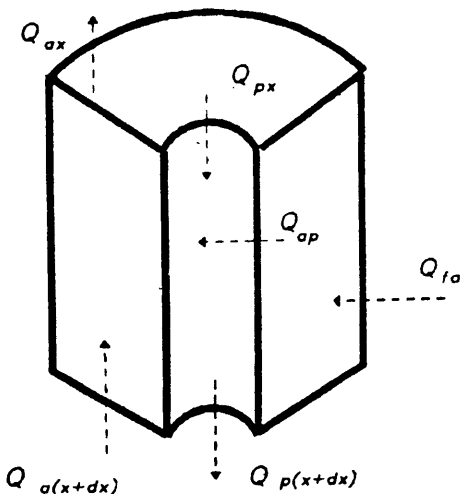
ب - نیروی حاصل از قدرت پمپ گل

$$P_p = \Delta P_t - \Delta P_{d(o-f)} \quad (13)$$

برای محاسبه فشار در یک نقطه مانند (F) در شکل (۳) بصورت زیر عمل میشود.

$$P_{FP} = P_H - \Delta P_{a(o-f)} \quad (14 - \text{الف})$$

$$P_{FP} = P_H + (\Delta P_t - \Delta P_{p(o-f)}) \quad (14 - \text{ب})$$



شکل ۲: شمای ساده‌ای از یک المان از مسیر رفت و برگشت گل.

$$\Delta T = \frac{Q}{mC_p} \quad (27)$$

$K_f$  ضریب اصطکاک بین مته و زمین،  $W$  قسمتی از وزن مته که به زمین اعمال می‌گردد.  
 $V$  سرعت حرکت مته و  $A_w$  سطح تماس مته و زمین است.  
 با تعیین توزیع درجه حرارت و گرادیان فشار در طول مسیر حرکت گل میتوان گرانروی خمیره‌ای و تنش تسلیم در هر عمق را مشخص نمود.

سرعت حرکت کنده‌های حفاری در گل

با تعیین گرانروی خمیره‌ای و تنش تسلیم گل در طول مسیر، نیروهای وارد بر کنده‌های حفاری درون گل تعیین میشوند و سپس سرعت صعود یا سقوط کنده‌ها در گل تعیین می‌گردد.

نیروهای اعمال شده به یک ذره درون سیال عبارتند از:  
 ۱ - نیروی ثقلی که ناشی از وزن ذره میباشد.

$$G.F = \frac{1}{6} \pi D_p^3 \rho_s g \quad (28)$$

۲ - نیروی شناوری که در جهت عکس نیروی وزن از طرف سیال وارد میشود.

$$B.F = \frac{1}{6} \pi D_p^3 \rho g \quad (29)$$

۳ - نیروی دراگ که در خلاف جهت حرکت به ذره وارد میشود.

$$D.F = \frac{1}{2} \rho C_D AV^2 \quad (30)$$

برای تعیین سرعت حد سقوط یک ذره در سیال، مجموع سه نیروی فوق برابر صفر قرار داده میشود [۵].

$$\frac{1}{6} \pi D_p^3 \rho_s g = \frac{1}{6} \pi D_p^3 \rho g + \frac{1}{2} \rho C_D AV^2 \quad (31)$$

که:

$D_p$ : قطر معادل ذرات

$\rho$ : دانسیته گل

$\rho_s$ : دانسیته ذرات کنده شده

$C_D$ : ضرایب دراگ

$A$ : مساحت سطح تصویر شده ذرات بر افق

برای تعیین ضرایب دراگ ( $C_D$ ) میتوان از شکل (۳) استفاده نمود.

$$Nu = 2.0 \quad (18)$$

برای مجرای حلقوی:

$$Nu = 3.66 \quad (19)$$

$$Re > 2100$$

برای جریان ناآرام:

$$Nu = 0.015 Re^{0.83} Pr^{0.42} \quad (20)$$

$$h = \frac{K Nu}{D} \quad (21)$$

$K$  ضریب هدایت گل و  $D$  یک قطر مشخصه است.  
 با استفاده از معادلات فوق ضرایب انتقال حرارت در مسیر رفت و برگشت تعیین می‌شوند. و سپس با بکارگیری معادلات زیر، ضرایب کلی انتقال حرارت تعیین می‌شود.

$$\frac{1}{h_f} = \frac{1}{h_a} + \frac{(d_i/2)}{K_s} \ln\left(\frac{D_o}{D_i}\right) + \frac{(d_i/2)}{K_c} \ln\left(\frac{D}{D_o}\right) \quad (22)$$

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_p} + \left(\frac{d_i}{d_o}\right) \frac{1}{h_a} + \frac{(d_i/2)}{K_s} \ln\left(\frac{d_o}{d_i}\right) \quad (23)$$

$K_c$  و  $K_s$  به ترتیب ضرایب هدایت سیمان و فولاد،  $d_o$  و  $d_i$  به ترتیب قطر داخلی و خارجی لوله حفاری و  $D_o$  و  $D_i$  به ترتیب قطر داخلی و خارجی لوله جداری میباشد. با تعیین مقادیر  $U$ ،  $h_f$ ،  $P_1$  و  $P_2$  در معادلات (۱۵) و (۱۶)، این معادلات را بطور همزمان حل کرده و توزیع درجه حرارت در مسیر رفت و برگشت بصورت زیر بدست آورده میشود.

$$T_p = K_1 e^{m_1 x} + K_2 e^{m_2 x} + D_1 x + D_2 \quad (24)$$

$$T_a = \left(\frac{m_1}{A_1} + 1\right) K_1 e^{m_1 x} + \left(\frac{m_2}{A_1} + 1\right) K_2 e^{m_2 x} + D_1 x +$$

$$\left(\frac{D_1}{A_1} \frac{A_2}{A_1} + D_2\right) \quad (25)$$

برای تعیین اعداد ثابت انتگرال گیری  $D_1$ ،  $D_2$ ،  $K_1$  و  $K_2$  از شرایط مرزی مناسب استفاده میشود. سایر پارامترهای توضیح داده نشده حاصل از تجزیه تحلیل ریاضی مربوطه میباشد [۶].

برای تعیین افزایش دمای گل در هنگام عبور از مته باید گرمای تولید شده در اثر اصطکاک مته با زمین تعیین شود.

$$Q = \frac{K_f W V}{A_w} \quad (26)$$

و بالاخره قطر و تعداد نازل‌های مته .

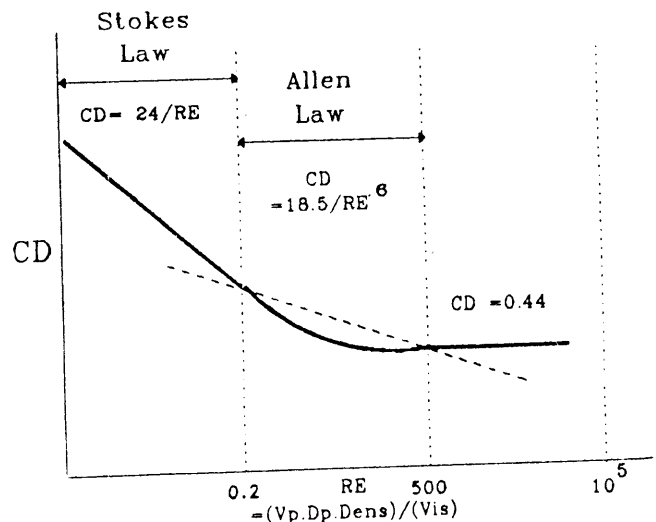
فرضیات مطرح در حل مساله عبارتند از :

چاه در شرایط عادی قرار داد (یعنی فرار گل به داخل سازند اتفاق نیافتد) و شیب توزیع دما در زمین در عمقهای مختلف یکسان باشد. برای حل معادلات توزیع دما و گرادیان فشار مسیر حرکت گل حفاری را به اجزائی کم ارتفاع طوری که بتوان خصوصیات فیزیکی گل را در آن جزء ثابت در نظر گرفت تقسیم کرده و هر جزء همزمان با اجزاء دیگر حل میگردد. در ابتدا داده‌های لازم بصورت ورودی به نرم‌افزار داده میشود. سپس با ثابت در نظر گرفتن مقادیر گرانیوی خمیره‌ای و تنش تسلیم معادلات مربوط به افت فشار، گرادیان فشار، ضرایب انتقال حرارت، گرمای حاصله از اصطکاک و توزیع دما حل شده و در نتیجه مقادیر گرانیوی خمیره‌ای و تنش تسلیم با استفاده از دورن یابی داده‌ها در هر جزء تعیین میشود. با استفاده از این مقادیر جدید معادلات مجدداً حل میگردد و این مراحل آنقدر تکرار میشود تا مقادیر بدست آمده از دو مرحله متوالی دارای تفاوت اندکی باشد. پس از تعیین مقادیر گرانیوی خمیره‌ای و تنش تسلیم با محاسبه نیروهای وارده بر کنده‌های حفاری سرعت سقوط یا صعود این ذرات تعیین می شوند.

### مثال و نتیجه گیری

با استفاده از مدل ارایه شده و حل روابط حاکم، کاربرد این مدل و مقایسه آن با یک مثال واقعی مورد بررسی قرار میگیرد اطلاعاتی که در رابطه با یک چاه نفت در دست حفاری واقع در منطقه نفت خیز جنوب کشور تهیه و نتایج مدل با این داده‌ها مقایسه شده است. مشخصات چاه مذکور به قرار زیر است :

۱۱۲۰۰	(Ft)	۳۴۱۳	m	عمق چاه به هنگام برداشت اطلاعات
۵/۸۷۵	(in)	۱۵	Cm	قطر چاه
۲/۷۶-۳/۱	(in)	۷-۷/۸	Cm	قطر داخلی و خارجی لوله حفاری
۲/۲۵-۴/۷۵	(in)	۵/۷-۱۲	Cm	قطر داخلی و خارجی لوله جداری
۷۵۰	(Ft)	۲۲۸/۶	m	طول لوله جداری
۹/۳۵	(lb/gal)	۱۱۲۰	Kg/m <sup>3</sup>	دانسیته گل



شکل ۳: منحنی ضریب درگ بر حسب عدد Re.

اگر  $Re < 0.2$  باشد سرعت سقوط ذره طبق معادله زیر قابل محاسبه است:

$$V = \left( \frac{4}{3} D_p (\rho_s - \rho) g / C_D \rho \right)^{0.5} \quad (32)$$

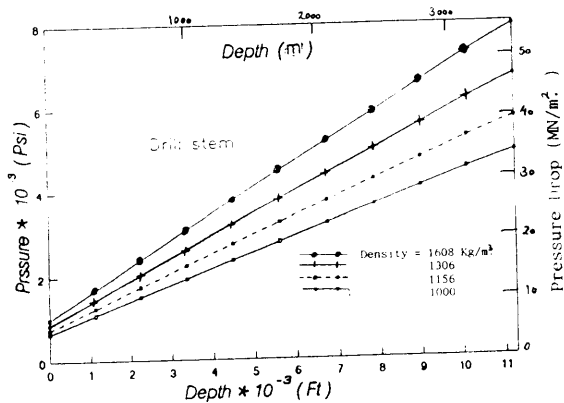
با محاسبه سرعت سقوط، میتوان عدد رینولدز را محاسبه کرد. اگر عدد فوق کوچکتر از ۰/۲ نبود از قسمت دیگر منحنی استفاده میشود. با تعیین سرعت سقوط کنده‌ها و سرعت حرکت گل در فضای حلقوی، برآیند سرعت حرکت کنده‌ها تعیین میشود.

### چگونگی حل روابط حاکم بر مسئله

داده‌های مورد نیاز برای حل این مسئله عبارتند از دمای گل ورودی، دبی جریان گل، دانسیته، گرانیوی و تنش تسلیم گل، قطر داخلی و خارجی لوله حفاری و لوله‌های جداری، سرعت دوران لوله حفاری، گرادیان دما در زمین

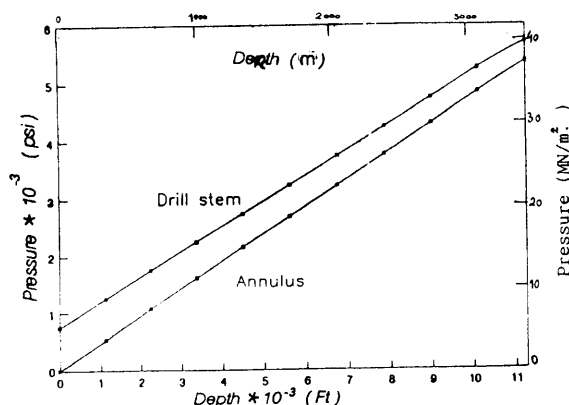
۱۴	(C.P)	۱۴	mNs/m <sup>2</sup>	گرانروی خمیره‌ای گل
۵	(lb/100Ft <sup>2</sup> )	۲۴/۱۵	lb/100m <sup>2</sup>	تنش تسلیم Yield Point
۳		۳		تعداد نازل‌های مته
۰/۳۲۴	(in)	۸/۲	mm	قطر نازل‌های مته
۱۲۵	(GPM)	۲۸/۳۹	m <sup>3</sup> /hr	دبی ورودی گل
۱۵۰	(GPM)	۳۴/۰۷	m <sup>3</sup> /hr	دبی خروجی گل
۶۰	(RPM)	۶۰	RPM	سرعت دوران مته
۰/۰۱۳	(°F/Ft)	۰/۰۲۳	°C/m	گرادیان درجه حرارت زمین در منطقه
۸۰	(°F)	۲۶/۷	°C	درجه حرارت گل ورودی به چاه
۸۵-۹۰	(°F)	۲۹/۵-۳۲/۲	°C	درجه حرارت گل خروجی از چاه
۱۸۰-۱۸۵	(°F)	۸۲/۲-۸۵/۰	°C	حرارت گل در ته چاه
۶۵۰-۷۰۰	(Psi)	۴/۴۸-۴/۸۳	MN/m <sup>2</sup>	افت فشار دوسر پمپ گل

دمای واقعی انتهای چاه و مقدار محاسبه شده وجود دارد و از طرف دیگر افت فشار پیش بینی شده ۷۵۱Psi (51.8MN/m<sup>2</sup>) با افت فشار واقعی اندازه‌گیری شده ۶۷۵Psi (4.65MN/m<sup>2</sup>) مطابقت خوبی دارد.



شکل ۵: گرادیان فشار در مسیر رفت گل، برای گل با دانسیته‌های مختلف در چاه.

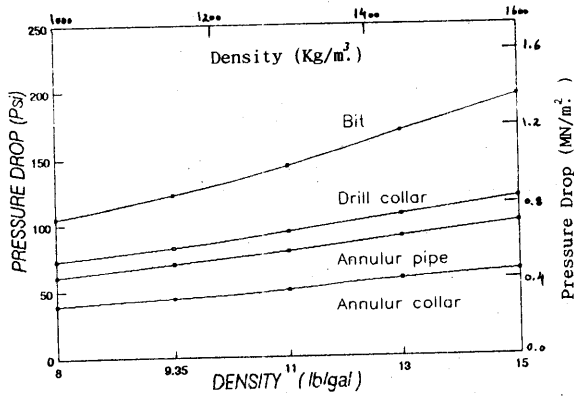
پس از اطمینان از عملکرد صحیح نرم افزار، مطالعه پارامتریک بر روی گرادیان فشار و توزیع درجه حرارت بر حسب متغیرهای مدل (دانسیته گل، گرانروی، ضریب



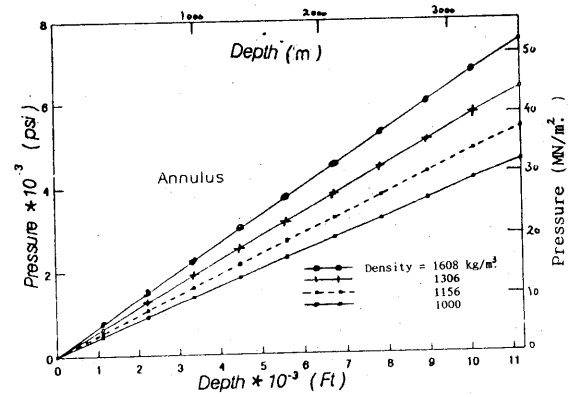
شکل ۴: گرادیان فشار در مسیر رفت و برگشت گل، در چاه.

با استفاده از داده‌های فوق از نرم‌افزار تهیه شده استفاده و نتایج نشان داده شده، در شکل‌های ۴ و ۱۳ بدست آورده شده است.

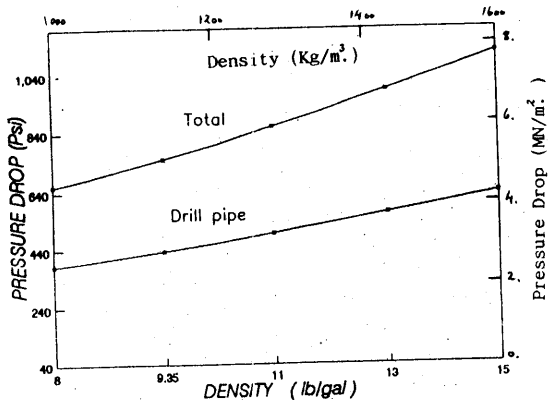
مقایسه گرادیان فشار و توزیع درجه حرارت برای مسیر رفت و برگشت در چاه مذکور به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۱۳ نشان داده شده است. داده‌های تجربی برای فشار و درجه حرارت تنها در نقاط ورودی و انتهای چاه موجود بوده است که در شکل نشان داده شده است. مشاهده میشود که با توجه به اینکه دمای ورودی واقعی و داده شده به برنامه یکسان بوده است، تفاوت کمی (حدود ۱۰٪) بین



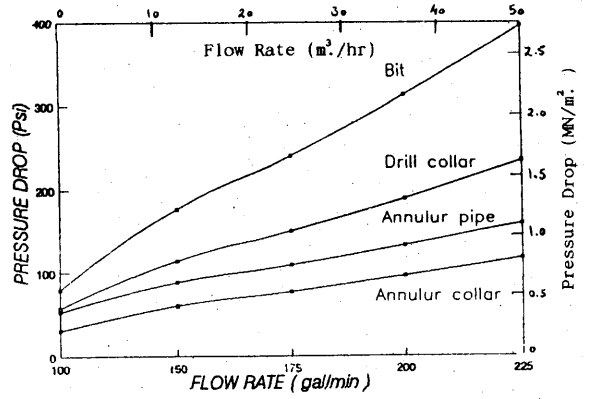
شکل ۹: تغییرات افت فشار در مسیر حرکت، برحسب دانسیته گل.



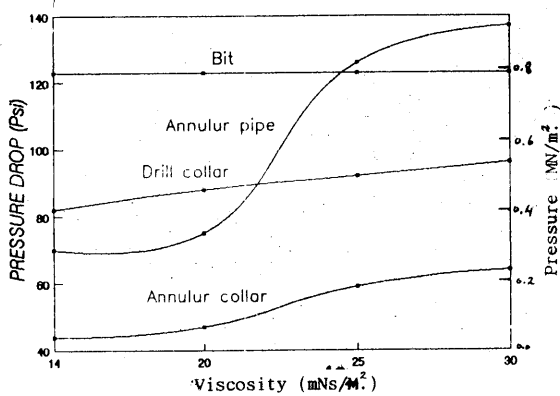
شکل ۶: گرادیان فشار در مسیر برگشت گل، برای گل با دانسیته‌های مختلف در چاه.



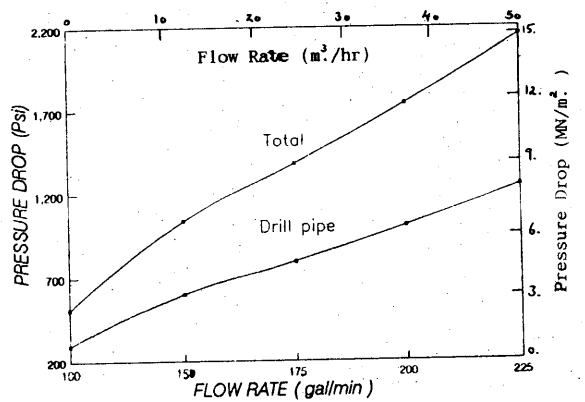
شکل ۱۰: تغییرات افت فشار در مسیر حرکت، برحسب دانسیته گل.



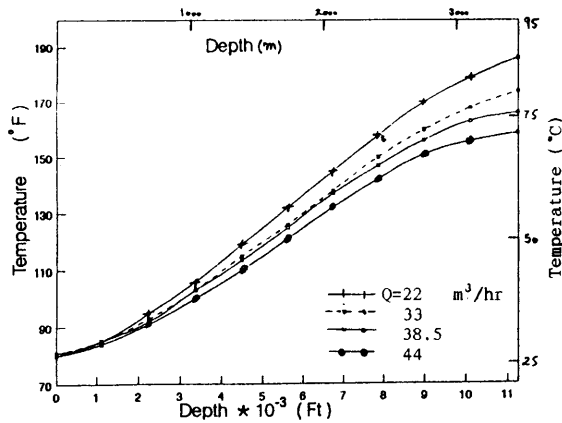
شکل ۷: تغییرات افت فشار در مسیر حرکت، برحسب دبی جریان گل.



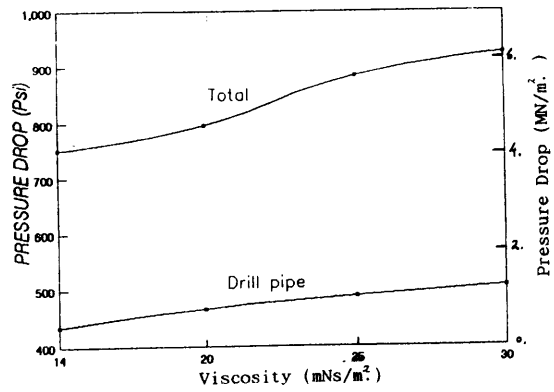
شکل ۱۱: تغییرات افت فشار در مسیر حرکت، برحسب گرانیوی گل.



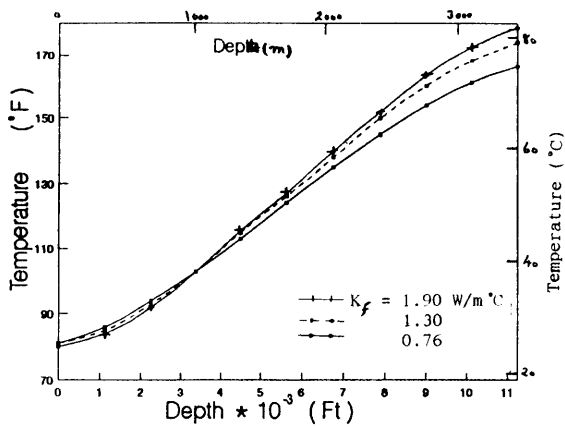
شکل ۸: تغییرات افت فشار در مسیر حرکت، برحسب دبی جریان گل.



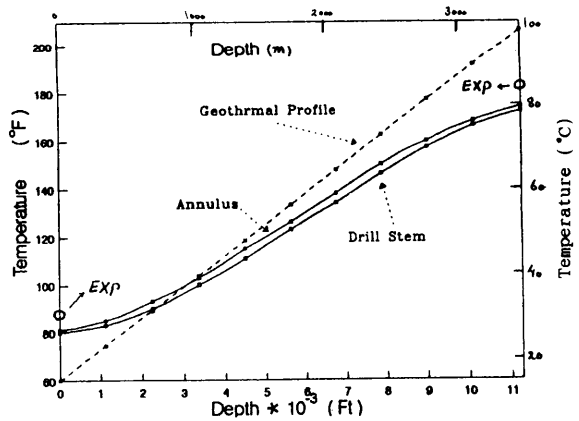
شکل ۱۵: تاثیر دبی جریان گل بر توزیع درجه حرارت برای مسیر برگشت گل در چاه.



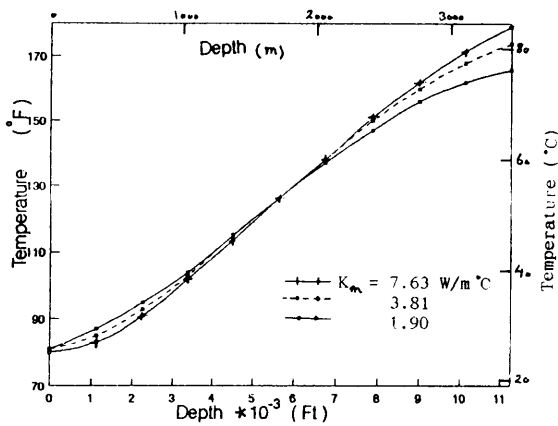
شکل ۱۲: تغییرات افت فشار در مسیر حرکت، برحسب گرانیوی گل.



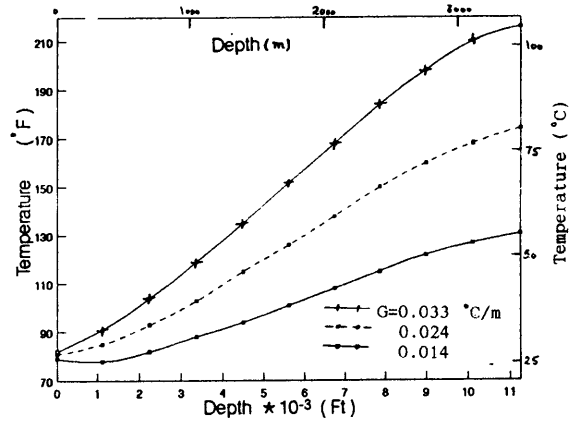
شکل ۱۶: تاثیر ضریب هدایت حرارتی زمین بر توزیع درجه حرارت برای مسیر برگشت گل در چاه.



شکل ۱۳: توزیع درجه حرارت برای مسیر رفت و برگشت گل در چاه.

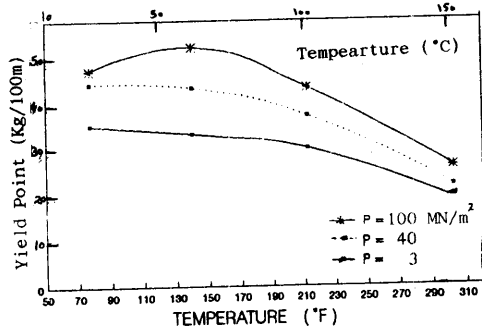


شکل ۱۷: تاثیر ضریب هدایت حرارتی گل بر توزیع درجه حرارت برای مسیر برگشت گل در چاه.

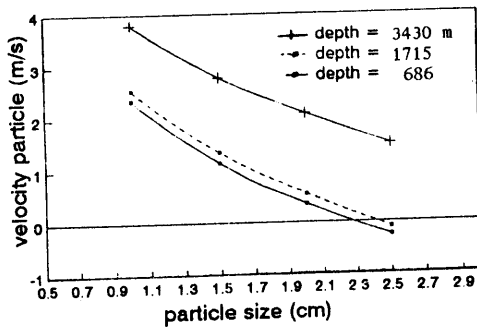


شکل ۱۴: تاثیر شیب درجه حرارت زمین بر توزیع درجه حرارت برای مسیر برگشت گل در چاه.





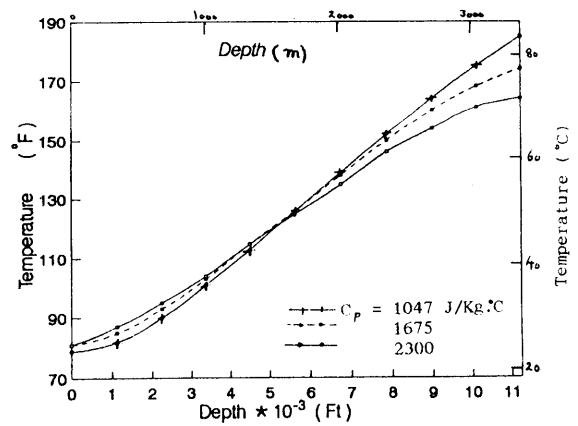
شکل ۲۰: تغییرات تنش تسلیم بر حسب درجه حرارت در فشارهای مختلف برای گل.



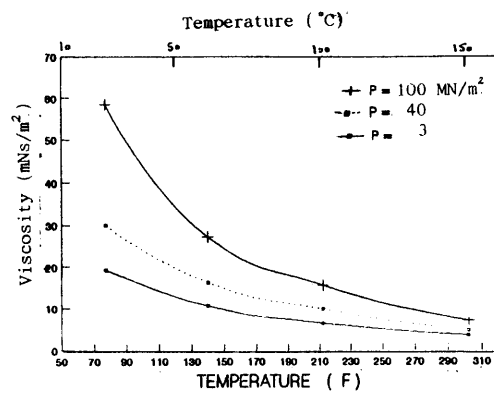
شکل ۲۱: سرعت حرکت ذرات در عمق‌های مختلف.

هدایت حرارتی زمین و گل، ظرفیت حرارتی گل، گرادیان درجه حرارت در زمین و دبی گل ورودی) انجام شد که نتایج برای گرادیان فشار در شکل‌های ۵ الی ۱۲ و برای توزیع درجه حرارت در شکل‌های ۱۶ الی ۲۰ نشان داده شده است.

در نهایت با مطالعه دقیق تغییرات گرانیوی با درجه حرارت و فشار و بنابراین با مکان چگونگی رفتار حرکتی کنده‌ها مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل ۱۹ و ۲۰ وابستگی گرانیوی و تنش تسلیم به درجه حرارت و فشار را نشان می‌دهد. براساس این شکلها سرعت حرکت کنده‌ها به عنوان تابعی از اندازه آنها و مکان در شکل ۲۱ آورده شده است. از بررسی این شکل مشاهده میشود که گل مصرفی قادر به حمل کنده‌های با اندازه بزرگتر از ۲/۳ سانتیمتر نمیشد.



شکل ۱۸: تاثیر ظرفیت حرارتی گل بر توزیع درجه حرارت برای مسیر برگشت گل در چاه.



شکل ۱۹: تغییرات گرانیوی خمیره‌ای بر حسب درجه حرارت در فشارهای مختلف برای گل.

## مراجع

1. Monicard, R.(1982). "Drilling Mud and Cement Rheology Manual." Gulf Publishing Company.
  2. Bared, S. G. (1990). "Another Method Depicting the Effect of Drilling Fluids in a pipe on the pressure Drop." Sept. *Society of Petroleum Engineers*, 21613.
  3. Salin G. (1980). "Bared The New Reynolds Number and the Estimated Drilling under High Gravitaions." Sept. *Society of Petroleum Engineers*, 21630.
  4. Holmes, C. S. and Swift, S. C. (1970). "Calculation of Circulating Mud Temperatures." *Journal of petroleum Technology*, June.
  5. Glowka, D. A. and Stone, C. M. (1985). "Thermal Response of ploycrystalling Diamond compact Cutter under Simulated Downhole Conditions." *Society of petroleum Engineers Journal* , April.
- ۶- خرقانی، م. "مدلسازی حرکت سیالات غیرنیوتونی و شبیه سازی آن در بهینه سازی حرکت گلهای حفاری." پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران، (۱۳۷۴).

واژه نامه

گرانروی خمیره ای

1 - Plastic Viscosity