

مدل سازی عددی پایداری چاه در رسوبات دارای هیدرات گازی

محسن مسعودیان سعدآباد^۱; Reem Freij-Ayoub^۲; ریاض خراط^۳

۱- دانشگاه Curtin استرالیا و دانشگاه صنعت نفت، تهران، خیابان ستارخان، خسرو جنوبی، جنب باشگاه شماره ۲ شرکت نفت؛

mohsenmas80@yahoo.com

۲- CSIRO Petroleum, ARRC, 26 Dick Perry Avenue, Kensington, Western Australia 6151, Australia

۳- دانشگاه صنعت نفت، تهران، برق آلستوم، خیابان ستارخان، خیابان خسرو جنوبی، جنب باشگاه شماره ۲ شرکت نفت

چکیده

حفاری چاه در رسوبات دارای هیدرات گازی عملیاتی مخاطره آمیز است. در تحقیق حاضر، مدلی عددی را برای شبیه سازی پایداری چاه حین حفاری در زون دارای هیدرات، ارائه می شود. این مدل، برای درک رفتار رسوبات دارای هیدرات و پاسخ آنها به بارهای ناشی از فرآیند حفاری با استفاده از FLAC 2D ساخته شده است که نرم افزاری کاملاً شناخته شده در حل مسائل مهندسی خاک و سنگ و ژئومکانیک به روش تفاضل محدود است.

در این مدل، سیال حفاری، چند درجه گرمتر از سازند فرض می شود و قانون فوریه برای انتقال گرما از این منبع استفاده می شود. در این مدل، جریان سیال و فشار روزه ای آب در سازند به شکل جریان شبه دو فازی شبیه سازی شده اند که در آن، گاز تولید شده از گسیختگی هیدرات تنها به افزایش فشار روزه ای و جریان آب سازند کمک می کند. تغییر فشار روزه ای، تنش کلی را مطابق اصل تنش موثر ترزاقی تغییر می دهد. آب سازند حاوی ۳/۵ درصد نمک طعام است و متان، گاز تشکیل دهنده هیدرات می باشد. جدولی از دما و فشار پایداری فاز هیدرات تهیه شده است که برای پیش بینی زمان تغییر فاز بکار می رود. قانون بویل برای گاز ایده آل استفاده می شود تا فشار سیستم به تعادل برسد. بر اساس مقدار هیدرات گسیخته شده، تخلخل و چسبندگی سازند تصحیح می گردد. رفتار مکانیکی رسوبات با استفاده از معیار شکست موهر-کولمب مدل شده است.

کلمات کلیدی: هیدرات گازی، پایداری چاه، مدل سازی عددی، حفاری، نفت و گاز

Numerical Modeling Of Wellbore Stability In Hydrate-Bearing Sediments

Mohsen Masoudian Saadabad, Reem Freij-Ayoub, Riyaz Kharrat

Abstract

Wellbore drilling in hydrate-bearing sediments is hazardous to safe and cost-effective operation. The present research has developed a numerical model to simulate the stability of a wellbore drilled in a hydrate-bearing zone as well as predicting response of hydrate-bearing sediments to drilling a wellbore. The model was developed using FLAC 2D which is a well-known finite difference software in geomechanical problems.

In this model, drilling fluid is assumed to be warmer than formation and Fourier's Law is used for heat transfer. In this simplified model, fluid flow is simulated as pseudo-two-phase flow in which the produced gas from hydrate dissociation only helps the formation water to flow. A change in pore pressure, changes the total stress according to Terzaghi's effective stress principle. The pore water is assumed to contain 3.5% NaCl with methane as hydrate-forming gas. A look up table is provided containing pressure and temperature of phase stability of the hydrate. Boyle's Law for an ideal gas is used to equilibrate the system pressure. On basis of the calculated amount of dissociated hydrate, the porosity and cohesion of the formation are updated. The mechanical behavior of the formation is modeled using Mohr-Coulomb failure criterion.

Keywords: Gas Hydrate, Wellbore Stability, Numerical Modeling, Drilling, Oil and Gas

هیدرات گازی^۱ ترکیبی کریستالی از مخلوط آب و گازهایی با وزن کم است. تشکیل هیدرات به دما و فشار محیط، ترکیب و نوع گاز، و شوری آب بستگی دارد. در ساختار کریستالی این ماده، مولکول گاز در میان قفسی از مولکولهای آب محصور است. با توجه به میزان عظیم گاز ذخیره شده در هیدراتها (دو برابر گاز موجود در مخازن معمول جهان) این ماده می‌تواند در آینده به عنوان منبع مهمی برای استحصال گاز طبیعی به شمار آید. اما تولید از مخازن هیدرات، تاکنون به علت موانع جغرافیایی و مشکلات فنی و اقتصادی هنوز میسر نشده است [۱]. خطرات ناشی از تشکیل و گسیختگی^۲ هیدرات در حین حفاری و تولید قابل چشم‌پوشی نیست. در اثر حفاری در رسوبات دارای هیدرات، سیالی با دما و فشار بالاتر به داخل سازند جریان یافته، دما و فشار سازند را افزایش می‌دهد و این باعث ناپایداری ترمودینامیکی فاز هیدرات شده و آن را به دو فاز مجزای آب و گاز تبدیل می‌کند. این تغییر فاز، مقادیر قابل توجهی آب و گاز تولید می‌کند که فشار سازند را افزایش می‌دهد. همزمان، تخلخل به دلیل گسیختگی هیدرات، افزایش می‌یابد که به نوبه خود بر خواص مقاومتی سازند تاثیر می‌گذارد. بنابراین عدم شناخت صحیح از رفتار این سازندها بدون شک موجب شکست عملیات حفاری شده و ضررهای جبران ناپذیری وارد خواهد کرد [۲]، [۳].

برای مدل‌سازی پایداری چاه، نیاز به داشتن مدل‌هایی برای گسیختگی هیدرات است. یکی از اولین مدل‌های قابل اعتنا برای شبیه‌سازی گسیختگی هیدرات مدلی است که توسط Kim و همکارانش در سال ۱۹۸۷ ارائه شد و هنوز نیز پایه ای برای سایر شبیه‌سازی‌ها و مدل‌سازی‌هاست. آنان بر اساس اختلاف فشار سیستم و فشار پایداری فاز با در نظر گرفتن خواص ترمودینامیکی هیدرات، گسیختگی را به صورت یک فرآیند همدمای مدل کردند [۴]. در مراجع [۵] و [۶] نیز مدل‌هایی برای گسیختگی ارائه شده اند تا تولید گاز با تحریک حرارتی^۳ را از مخازن هیدرات شبیه‌سازی کند. مدل عددی مرجع [۵]، آب تولید شده را به حساب نیاورده است و مدل مرجع [۶] نیز یک مدل ریاضی است. در مرجع [۷] یک مدل ریاضی دیگر برای گسیختگی هیدرات در محیط متخلخل با استفاده از قانون دارسی، روابط موازنه انرژی و معادله پیوستگی ارائه شده است. یک مدل تک بعدی برای شبیه‌سازی تولید گاز به روش کاهش فشار^۴ در مرجع [۸] تهیه شده است که با در نظر گرفتن روابط میان درجه اشباع سیالات و نرخ‌های انتقال جرم، معادله پیوستگی را برای ۳ فاز مختلف گاز، مایع و هیدرات حل می‌کند. در مرجع [۹]، مدلی ریاضی برای تولید به روش کاهش فشار ساخته شده که سینتیک گسیختگی را به همراه نفوذپذیری شعاعی حول چاه استخراجی بررسی کرده است. در سال ۲۰۰۳، Masuda و همکارانش یک شبیه‌ساز مخزن را ارائه دادند که در آن جریان آب و گاز، رسانش و هدایت گرما، و سینتیک گسیختگی لحاظ شده بود. در همین سال، Moridis مدلی جامع را ارائه کرد که سینتیک گسیختگی را با در نظر گرفتن جریان چند فازی در محیط متخلخل به صورت یک کد آماده برای شبیه‌سازی تولید گاز از منابع هیدرات درآورد [۱۰]، [۱۱]. احمدی در سال ۲۰۰۴، یک مدل عددی تک بعدی غیرهمدمای را برای تولید گاز از هیدرات ارائه کرد اما آب تولید شده را به حساب نیاورد [۱۲]. در مرجع [۱۳] با استفاده از اطلاعات میدانی و آزمایشگاهی یک شبیه‌ساز ۳ بعدی برای گسیختگی هیدرات ارائه شد. در این شبیه‌ساز، ۴ جزء (هیدرات، متان، آب و نمک) و ۵ فاز (هیدرات، گاز، فاز مایع، یخ و نمک) بر اساس مدل Kim و روابط انتقال گرما و جرم بررسی شدند.

در سال ۲۰۰۵، Birchwood یک مدل المان محدود برای پیش‌بینی پایداری چاه توسط نرم افزار ABAQUSTM ارائه کرد که در آن از فرمول‌های موهر-کولمب و روابط Kim استفاده شد [۱۴]. در مرجع [۱۵] پایداری چاه استخراج گاز از مخزن هیدرات به روش کاهش فشار مدل‌سازی شده است. مدل مذکور با استفاده از نرم افزار FLAC 2D و در نظر گرفتن ۳ فاز آب، گاز و هیدرات در محیط متخلخل خاک ساخته شده است. در این مدل روابط دارسی برای جریان سیال و Van Genuchten برای فشار موینگی بکار رفته است. چسبندگی خاک تابعی خطی از درجه سیر شدگی هیدرات بوده و معیار موهر-کولمب برای پیش‌بینی شکست به کار رفته است. در این مدل از روابط Kim نیز برای شبیه‌سازی گسیختگی استفاده شده است. در سال ۲۰۰۷، Freij-Ayoub با استفاده از FLAC 3D مدلی را از پایداری چاه در حین حفاری در رسوبات دارای هیدرات ارائه کرد که در آن گوه ای را حول چاه در نظر گرفت و به کمک روابط موهر-کولمب و نیز یک رابطه جدید برای گسیختگی (در این مقاله نیز از این رابطه استفاده خواهد شد)، ارزیابی پایداری را انجام داد [۳].

مدل ارائه شده در مقاله حاضر، ابزاری را برای پیش‌بینی خطرات حفاری در رسوبات دارای هیدرات با شرایط مختلف ایجاد می‌کند. بدین منظور از FLAC 2D استفاده شده تا به کمک روش تفاضل محدود، پایداری چاه ارزیابی گردد. مقاله حاضر،

بخشی از پروژه تولید گاز از مخازن هیدرات است که در مرکز ملی تحقیقات علمی و صنعتی استرالیا در حال انجام است.

۲- فرمول‌ها

۱-۲- فرمول‌های تغییر شکل مکانیکی

تغییر شکل مکانیکی محیط، به صورت الاستو-پلاستیک مدل شده است و مجموع تغییر شکل‌های الاستیک و پلاستیک، تغییر شکل کلی را تشکیل می‌دهد. تغییر شکل الاستیک با توجه به قانون هوک محاسبه می‌شود و تغییر شکل پلاستیک تنها هنگامی صفر نیست که جریان پلاستیک رخ دهد. پوش موهر کولمب به کمک توابع شکست برشی و کششی قابل ترسیم است

$$f^s = \sigma_1 - \sigma_3 N_\phi + 2c \sqrt{N_\phi} \quad (1)$$

$$f^t = \sigma^t - \sigma_3 \quad (2)$$

که در آن σ_1 تنش اصلی ماکزیمم، σ_3 تنش اصلی مینیمم، σ^t مقاومت کششی، c چسبندگی، و ϕ زاویه اصطکاک داخلی است. N_ϕ نیز به صورت زیر تعریف می‌شود

$$N_\phi = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad (3)$$

در صورت وقوع هر یک از دو شکست برشی یا کششی، مقدار تابع f^s یا f^t (بر اساس نوع شکست رخ داده) برای محاسبه تغییر شکل پلاستیک و در نتیجه تصحیح تغییر شکل کلی استفاده می‌شود.

۲-۲- فرمول‌های جریان سیال

جریان سیال در محیط متخلخل با استفاده از قانون دارسی بیان می‌شود

$$q_i = -k_{ij} \frac{\partial}{\partial x_j} (P - \rho_w g_k x_k) \quad (4)$$

که در آن q_i دبی سیال، k_{ij} ضریب تحرک^۵ سیال با واحد $m^2/Pa \cdot sec$ ، $\hat{k}(s)$ نفوذپذیری نسبی که تابعی از درجه اشباع (s) است، P فشار سیال، ρ_w چگالی سیال، و g_k گرانش زمین است. در محیط اشباع رابطه موازنه جرم سیال اینگونه است

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} = -\frac{\partial q_i}{\partial x_i} + q_v \quad (5)$$

که در آن، ζ تغییر محتوای سیال در واحد حجم و q_v دبی حجمی سیال است. موازنه ممنتوم نیز به این شکل است

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial t} + \rho g_i = \rho \frac{d\dot{u}_i}{dt} \quad (6)$$

که در آن، σ_{ij} تنش کلی، \dot{u} سرعت، $\rho = (1-n)\rho_s + n\rho_w$ جرم واحد حجم جامد، ρ_s و ρ_w چگالی‌های فاز جامد و سیال، و n تخلخل است. توجه شود که $(1-n)\rho_s$ با چگالی خشک ماتریکس خاک یعنی ρ_d مطابقت دارد.

معادله پاسخ سیال منفذی به درجه سیرشدگی بستگی دارد. در حالت اشباع، $s=1$ این معادله بدین صورت است

$$\frac{\partial P}{\partial t} = M \left(\frac{\partial \zeta}{\partial t} - \alpha \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right) \quad (7)$$

که در آن، M مدول Biot، α ضریب Biot، و ε کرنش حجمی است. مدول Biot با مدول حجمی خشک خاک (K) و مدول حجمی سیال (K_w) و نیز n و α به صورت زیر رابطه دارد

$$M = \frac{K_w}{n + (\alpha - n)(1 - \alpha) \frac{K_w}{K}} \quad (8)$$

برای خاکها که مدول حجمی جامد در مقایسه با سیال بسیار کم است ($\alpha = 1$) داریم

$$M = \frac{K_w}{n} \quad (۹)$$

۳-۲- فرمول‌های انتقال گرما

معادله دیفرانسیل موازنه انرژی بدین شکل است

$$-\nabla \cdot q^T + q_v^T = \frac{\partial \zeta_T}{\partial t} \quad (۱۰)$$

که در آن q^T بردار شار حرارتی بر حسب W/m^2 ، q_v^T شدت منبع حرارتی بر حسب W/m^3 ، و ζ_T گرمای ذخیره شده در واحد حجم بر حسب J/m^3 . تغییرات دما می‌تواند هم در اثر انرژی ذخیره شده و هم در اثر کرنش حجمی ε رخ دهد. این رابطه به صورت معادله دیفرانسیل زیر نشان داده می‌شود.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = M_T \left(\frac{\partial \zeta_T}{\partial t} - \beta_v \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} \right) \quad (۱۱)$$

که در آن M_T و β_v ثابت‌های مواد، و T درجه حرارت است. حالتی که در آن $\beta_v = 0$ و $M_T = 1/\rho C_v$ (که ρ چگالی کلی محیط بر حسب kg/m^3 و C_v گرمای ویژه در حجم ثابت بر حسب واحد $J/kg^\circ C$ است) بیانگر آن است که کرنش حجمی تاثیر بسیار کمی بر تغییر درجه حرارت دارد که برای مسائل مکانیکی شبه استاتیکی^۶ در حضور فازهای جامد و مایع، فرض معتبری است. با در نظر گرفتن این فرض، معادله دیفرانسیل بالا به این شکل در می‌آید

$$\frac{\partial \zeta_T}{\partial t} = \rho C_v \frac{\partial T}{\partial t} \quad (۱۲)$$

از ترکیب معادلات ۱۰ و ۱۲، معادله موازنه انرژی به این شکل در می‌آید

$$-\nabla \cdot q^T + q_v^T = \rho C_v \frac{dT}{dt} \quad (۱۳)$$

قانون فوریه، رابطه میان شار حرارتی و گرادیان دماست که برای یک محیط هموژن و ایزوتروپیک، به صورت زیر است

$$q^T = -k^T \nabla T \quad (۱۴)$$

که در آن T درجه حرارت بر حسب $^\circ C$ و k^T تانسور هدایت گرمایی با واحد $W/m^\circ C$ است.

۴-۲- معادلات رابط

این معادلات، برای ارتباط میان هر یک از روابط تغییر شکل مکانیکی، جریان سیال، و انتقال حرارت که در بالا ذکر شد استفاده می‌شود. برای حل مسائل تنش حرارتی، روابط تنش و کرنش مجدداً فرموله می‌شوند

$$\frac{\partial \varepsilon_{ij}^T}{\partial t} = \alpha_t \frac{\partial T}{\partial t} \delta_{ij} \quad (۱۵)$$

که در آن $\alpha_t [1/^\circ C]$ ضریب انبساط خطی حرارتی، ε_{ij}^T کرنش حرارتی، و δ_{ij} ضریب کرونگر^۷ است. معادله دیفرانسیل حرکت و روابط سرعت کرنش برای مکانیک حرارتی با مسائل مکانیکی محض تفاوتی ندارند.

تغییر فشار روزه‌ای در اثر انبساط حرارتی نیز با معادله دیفرانسیل زیر نشان داده می‌شود

$$\frac{\partial P}{\partial t} = M \left(\frac{\partial \zeta}{\partial t} - \alpha \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \beta \frac{\partial T}{\partial t} \right) \quad (۱۶)$$

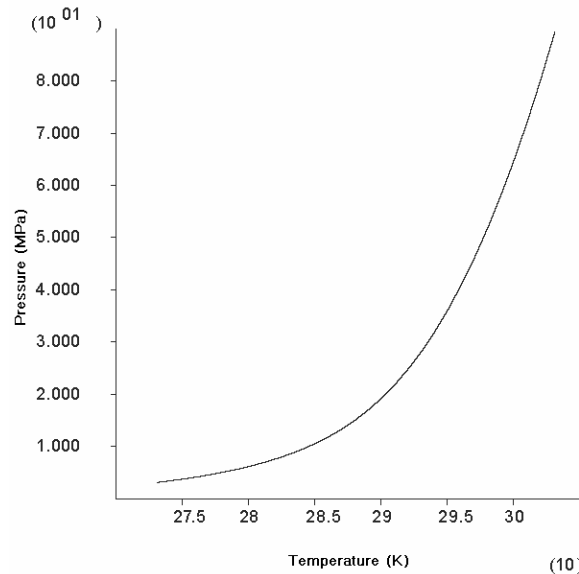
که در آن ζ تغییر محتوای سیال، M و α مدول و ضریب Biot، و β ضریب انبساط حجمی حرارتی سیال است برابر با

$$\beta = n \beta_f + (1-n) \beta_g \quad (۱۷)$$

که در آن n تخلخل، و β_f و β_g ضرایب انبساط حجمی سیال و دانه‌های خاک ($\beta_g = 3\alpha_t$) است.

۳- مدل گسیختگی هیدرات

گسیختگی هیدرات در سازند هنگامی رخ می‌دهد که فشار و دمای سیستم، خارج از ناحیه فشار و دمای پایدار باشد. حفاری چاه در زون دارای هیدرات باعث می‌شود که سیال حفاری با فشار و دمای بیشتر به داخل سازند وارد شود و دما و فشار اولیه سازند (P_0, T_0) تغییر کند (P, T) . اگر فشار جدید کمتر از فشار پایداری فاز در همان دما باشد، گسیختگی آغاز می‌شود و این فرآیند تا زمانی ادامه می‌یابد که یا فشار سیستم با فشار پایداری فاز برابر شود یا تمام هیدرات موجود در سیستم گسیخته شود. شکل ۱ نمودار فازی هیدرات را نشان می‌دهد که بر اساس اطلاعات مرکز هیدرات دانشگاه هریوت وات ترسیم و برای این مدل استفاده شده است. آب موجود در ساختار کریستالی حاوی $3/5$ درصد نمک و گاز تشکیل دهنده هیدرات، متان است.



شکل ۱: نمودار فازی هیدرات؛ ناحیه بالای منحنی ناحیه پایداری فاز هیدرات است

در مدل حاضر، فرآیند گسیختگی، همدمای فرض شده، به این معنی که دمای محیط تحت تاثیر فرآیند گسیختگی نیست. با این فرض، مقدار هیدرات گسیخته شده به اختلاف فشار سیستم و فشار پایداری فاز (ΔP) بستگی دارد. از قانون بویل برای گاز ایده‌آل (با ضریب تراکم واحد) جهت محاسبه گاز آزاد شده در واحد حجم استفاده می‌شود. فرض می‌شود همه هیدرات موجود از ساختار نوع یک است بدین معنی که در واحد حجم، به ازای هر مول هیدرات، ۸ مول متان آزاد می‌شود به طوریکه

$$n_{gh} = (P_e - P) / RT \quad (18)$$

$$n_h = n_{gh} / 8 \quad (19)$$

که در آن n_{gh} تعداد مول گاز حاصل از گسیختگی، P_e فشار پایداری فاز، P فشار گاز (سیستم)، $R=8.31441$ ثابت گاز، T دمای گاز (سیستم)، و n_h تعداد مول هیدرات گسیخته شده است. گسیختگی، تخلخل را به صورت تابعی از n_h افزایش می‌دهد که مقدار آن برابر با تغییر حجم منافذ در واحد حجم رسوبات (ΔV) است

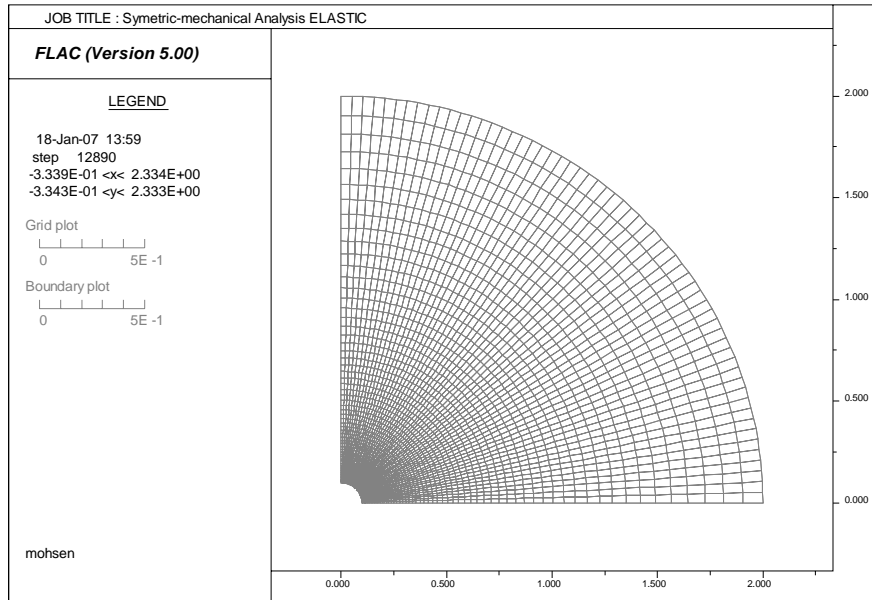
$$\Delta V = \varphi_n - \varphi_{n-1} = n_h V_c A_v \quad (20)$$

که در آن φ_n و φ_{n-1} به ترتیب تخلخل‌های اولیه و ثانویه V_c حجم کریستال ساختار نوع یک (برابر با $1.728 \times 10^{-27} m^3$) و A_v عدد آووگادرو (برابر با 6.02205×10^{23})، حاصل $V_c A_v$ ، حجم یک مول از کریستال هیدرات است. برای تصحیح فشار روزه‌ای مجدداً از قانون بویل استفاده می‌شود. باید توجه داشت که تعداد مول هیدرات گسیخته شده در این محاسبات از تعداد کل مولهای هیدرات در سیستم تجاوز نکند.

از آنجا که هیدرات به عنوان سیمان بین دانه‌های خاک در نظر گرفته شده است گسیختگی، موجب کاهش چسبندگی می‌شود که این کاهش، به صورت تابعی خطی از افزایش تخلخل نشان داده شده است

$$C = C_0 (1 - \psi(\varphi - \varphi_0)) \quad (21)$$

که در آن، C_0 چسبندگی اولیه، C مقدار تابع چسبندگی، و ψ ضریبی که برابر با $1/2$ فرض شده است [۳]. در این مدل، برای جلوگیری از پیچیدگی، ضریب نفوذپذیری با افزایش تخلخل تصحیح نمی‌شود و آب حاصل از گسیختگی در نظر گرفته نشده است. به علاوه، گسیختگی هیدرات به عنوان یک فرآیند مستقل از زمان و برگشت ناپذیر فرض شده است.



شکل ۲- هندسه زونهای FLAC برای مدل کرنش صفحه‌ای

جدول ۱- پارامترهای فرض شده در مدل [۳]

مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر
$1.9 \times 10^3 J/KgK$	ظرفیت گرمایی ویژه	17MPa	فشار روزنه‌ای
$7.7 \times 10^5 K^{-1}$	ضریب انبساط خطی هیدرات	32MPa	تنش افقی درجا (ایزوتروپیک)
$30 \times 10^5 K^{-1}$	ضریب انبساط خطی سیال	21MPa	تنش عمودی درجا
8.31441 J/moleK	ثابت گاز	20MPa	فشار گل حفاری
$1.728 \times 10^{-27} m^3$	حجم کریستال هیدرات	288.15K	دمای سازند
6.02205×10^{23}	عدد آووگادرو	293.15K	دمای گل حفاری
1.0	ضریب Biot	0.45	نسبت پواسون
7.0GPa	مدول حجمی رسوبات	0.49	تخلخل رسوبات بدون هیدرات
0.69GPa	مدول برشی رسوبات	0.25	تخلخل رسوبات هیدرات دار
1.8MPa	چسبندگی	$1 \times 10^{15} m^2$	نفوذپذیری ذاتی
1.5MPa	مقاومت کششی	2200 Kg/m ³	چگالی اشباع رسوبات
35°	زاویه اصطکاک داخلی	1.4 W/m ¹ K ¹	هدایت گرمایی

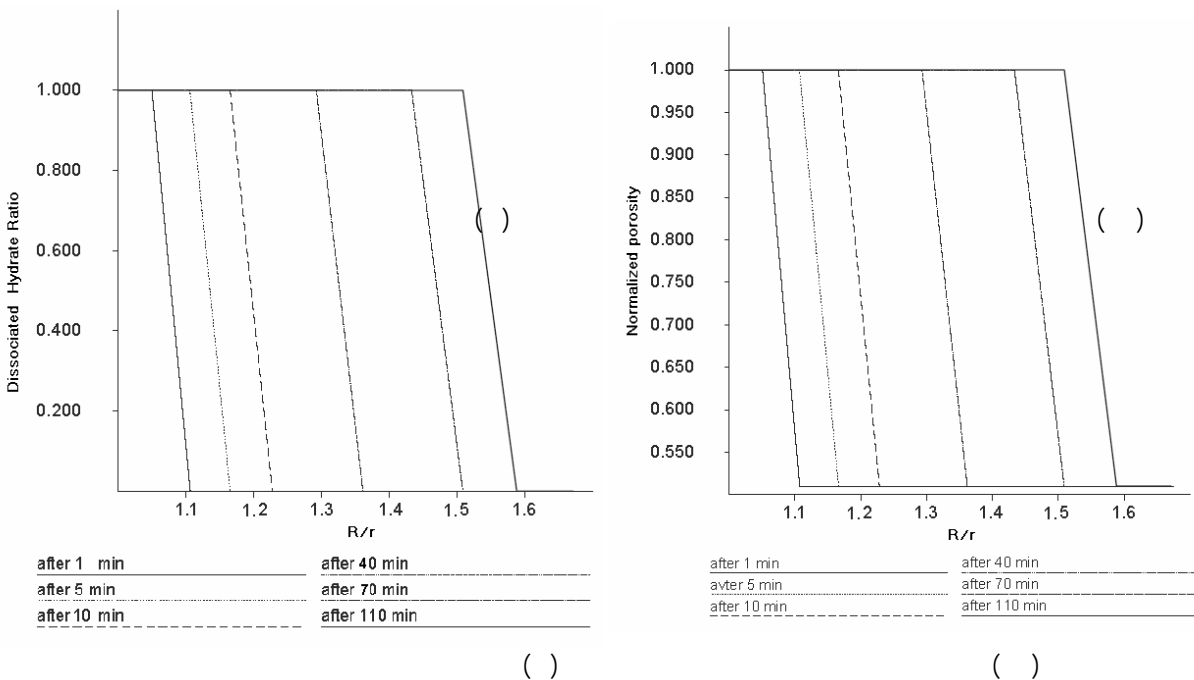
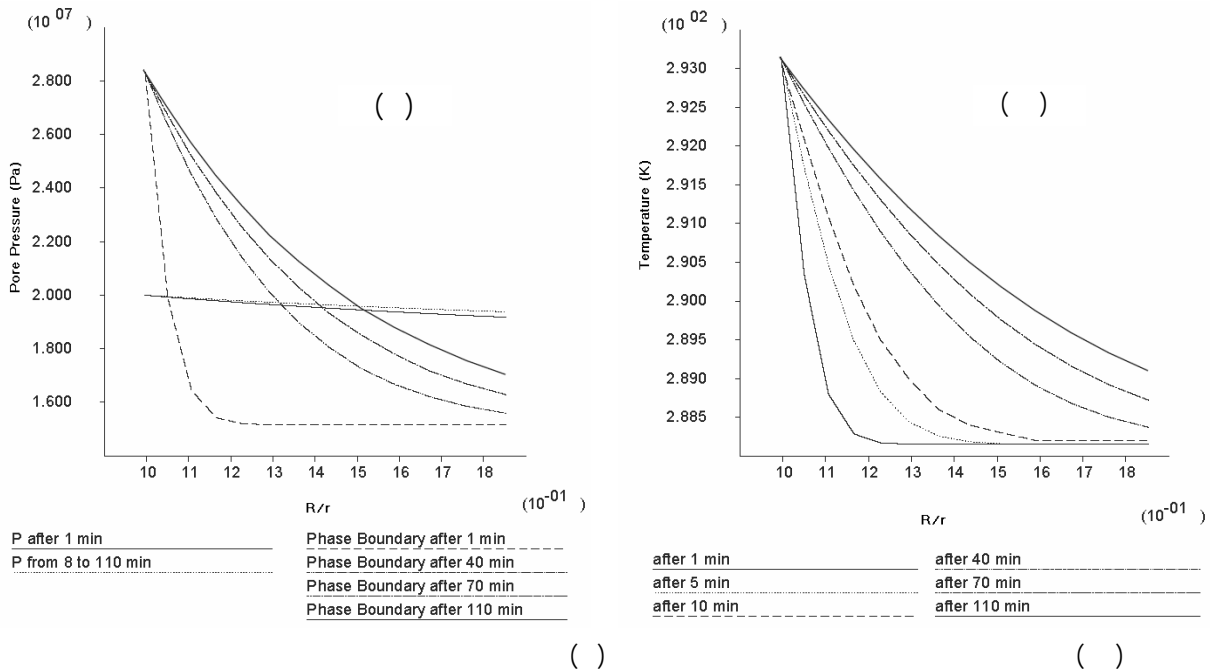
۳- مشخصات مدل پایداری چاه

در مدل حاضر، چاهی عمودی در یک سازند رسوبی در عمق زیاد زیر آب فرض شده که تنش‌های درجا به صورت ایزوتروپیک و متقارن توزیع شده‌اند. این مدل، دوبعدی است که محور عمود بر آن، محور چاه است. به دلیل تقارن، تنها یک چهارم دایره استفاده می‌شود. پارامترهای مدل، در جدول ذکر شده‌اند و شکل نیز زونهای تفاضل محدود را نشان می‌دهد. توجه شود که FLAC v5.00 نمی‌تواند معادلات حرارت و جریان سیال را به طور همزمان حل کند. لذا هنگام کدنویسی نیاز به تعریف تابع جدیدی است که بتواند در هر time-step ضمن تبدیل حالت محاسبات، از حالت حرارتی به حالت جریان سیال و بالعکس،

تابع گسیختگی را فراخوانی کند که این خود منجر به پیچیدگی برنامه و طولانی تر شدن محاسبات می شود.

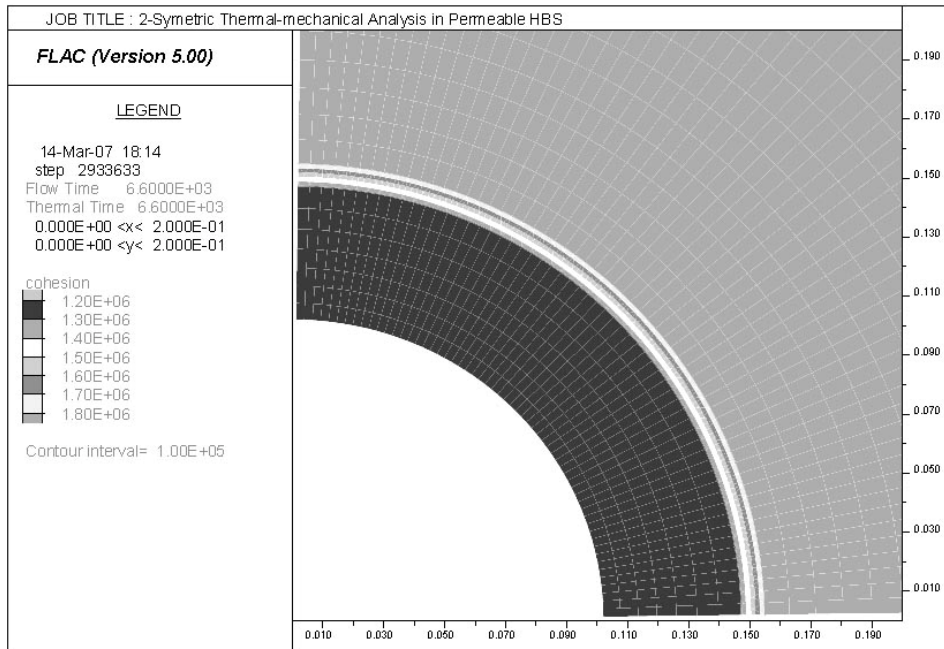
۴- نتایج شبیه سازی

با گذشت زمان از آغاز حفاری در زون مورد مطالعه، دما و فشار منفذی افزایش می یابد. با استفاده از شکل (ب) می توان حدس زد که کدام مناطق تحت تاثیر فرآیند گسیختگی هستند. هر جا که فشار روزنه ای از فشار پایداری فاز بیشتر باشد، هیدرات در حال گسیخته شدن است. این مناطق در شکل (الف) و شکل (ب) نشان داده شده اند. جایی که تخلخل به بیشترین مقدار خود رسیده است، تمام هیدرات گسیخته شده است. قسمت شیب دار این دو نمودار، جبهه گسیختگی^۱ را نشان می دهد، یعنی جایی که هیدرات در حال گسیخته شدن است.

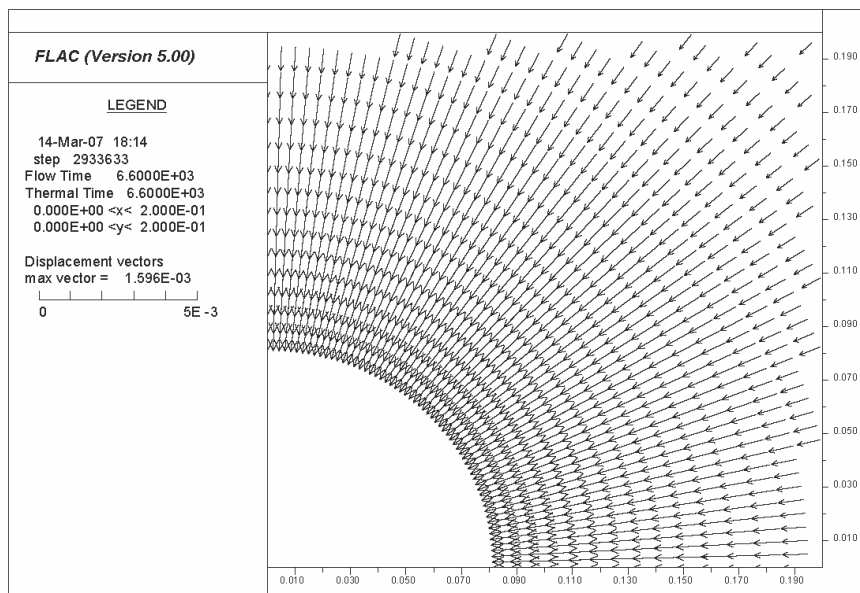


شکل ۵- چسبندگی خاک را پس از گذشت ۱۱۰ دقیق از آغاز عملیات حفاری نشان می دهد. کانتورهای بدست آمده با

نمودارهای رسم شده در شکل کاملاً انطباق دارد. شکل ۶ نیز جابجایی مجموع را نشان می‌دهند. مقدار جابجایی در دیواره چاه ۱۱۰ دقیقه پس از آغاز حفاری برابر با ۱/۵۹۶ میلیمتر محاسبه شده است. این مقدار تقریباً ۱/۶ برابر جابجایی محاسبه شده در حالتی است که در سازند هیدرات وجود ندارد. ناحیه تسلیم حول چاه حدود ۳۰ درصد بزرگتر از حالتی است که هیدرات در سازند وجود ندارد.



شکل ۵- کانتورهای چسبندگی، ۱۱۰ دقیقه پس از آغاز حفاری در زون دارای هیدرات



شکل ۶- بردارهای جابجایی پس از ۱۱۰ دقیقه

۵- پیشنهاد

پیشنهاد می‌شود برای مطالعات آینده شرایط واقعی تری مدل گردد. وابسته به زمان و غیرهمدما فرض کردن فرآیند گسیختگی، وابستگی نفوذپذیری به تخلخل، و در نظر گرفتن جریان دوفازی می‌تواند مدل را پیچیده‌تر و کامل‌تر کند. البته FLAC v5.0 قادر به در نظر گرفتن پارامترهای جریان دوفازی به همراه انتقال گرما نیست و لذا مدل کردن جریان دوفازی همزمان با انتقال

حرارت در این ورژن بسیار مشکل است. به علاوه، در آینده می‌توان پایداری چاه را در طی تولید گاز از مخازن هیدرات مدل کرد زیرا یکی از موانع عمده بهره‌برداری از این مخازن، پایداری چاه در حین عملیات تولید است.

۶- تشکر و قدردانی

لازم است از پرسنل و مسئولین مرکز ملی تحقیقات علمی و صنعتی استرالیا^۱، به ویژه خانم دکتر Reem Freij-Ayoub، به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی‌شان تشکر کنم. همچنین از دکتر Jorge Sampaio و دکتر ریاض خراط اساتید دانشگاه‌های Curtin و صنعت نفت قدردانی می‌کنم. از شرکت متن (مهندسی توسعه نفت) نیز به دلیل حمایت مالی پروژه تشکر می‌کنم.

۷- مراجع

- [1] Sloan, E.; 1997; *Clathrate Hydrates of Natural Gas*, 2nd Edition, Marcel Decker Inc., New York, U.S.A.,
- [2] J.N.Nimblett, R. S.; 2005; *Gas Hydrate as a Drilling Hazard: Examples from Global Deepwater Settings*; Offshore Technology Conference; Houston, TX, U.S.A.
- [3] Reem Freij-Ayoub, Chee Tan, Ben Clennell, Bahan Tohidi and J. Yang; 2007; *A Wellbore Stability Model for Hydrate Bearing Sediments*; Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol 57, Issues 1-2, 209-220
- [4] Kim H.C., Bishnoi, P.R. Heidemann, R.A. and Rizvi, S.S.H.; 1987; *Kinetics of Methane Hydrate Decomposition*; Chemical Engineering Science, 42 (7), 1645-1653.
- [5] Holder, G.D. and Angert, P.F.; 1982; *Simulation of Gas Production from a Reservoir Containing Both Gas Hydrates and Free Natural Gas*; SPE Annual Fall Technical Conference and Exhibition
- [6] McGuire, P.; 1982; *Recovery of Gas from Hydrate Deposits Using Conventional Technology*; Unconventional Gas Recovery Symposium
- [7] Selim, M. a.; 1990; *Hydrate Dissociation in Sediments*; SPE Reservoir Engineering, 5 (2), 245-251
- [8] Yusif, M. A.; February 1991; *Experimental and Theoretical Investigation of Methane Gas Hydrate Dissociation in Porous Media*; SPE reservoir engineering, 69-76
- [9] N. Goel, M. W.; 2001; *Analytical Modeling of Gas Recovery from In-situ Hydrates Dissociation*; Journal of Petroleum Science and Engineering (29), 115-127
- [10] Masuda, Y., Naganawa, S., Fujita, K., Sato, K., & Hayashi, Y.; 2003; *Modeling and Experimental Studies on Dissociation of Methane Gas Hydrates in Berea Sandstone Cores*; 3rd International Conference on Gas Hydrates. Salt Lake City, USA.
- [11] Moridis, G.; 2003; *Numerical Studies of Gas Production from Methane Hydrates*; SPE 87330
- [12] Ahmadi, G., Ji, C., & Smith, D.; 2004; *Numerical Solution for Natural Gas Production from Methane Hydrate Dissociation*; Journal of Petroleum Science and Engineering (41), 269-285
- [13] Sun, X., & Mohanty, K.; 2006; *Kinetic Simulation of Methane Hydrate Formation and Dissociation in Porous Media*; Chemical Engineering Science (61), 3476 - 3495
- [14] Birchwood, R. N.; 2005; *Wellbore Stability Model for Marine Sediments Containing Gas Hydrates*; 2005 AADE Technical Conference and Exhibition, (p. 14), Texas: American Association of Drilling Engineering.
- [15] Klar, A., & Soga, K.; 2005; *Coupled Deformation-Flow Analysis for Methane Hydrate Production by Depressurized Wells*; Poromechanics-Biot Centennial (1905-2005)
- [16] ITASCA; 2005; *FLAC Ver 5.00 (Fast Lagrangian Analysis of Continua) User's Guide*; Itasca Consulting Group Inc.; Minneapolis, Minesota, USA

۸- زیر نویس‌ها

- ¹ Gas Hydrate
- ² Dissociation
- ³ Thermal Stimulation
- ⁴ Depressurization
- ⁵ Mobility

⁶ Quasi-Static

⁷ Kronecker Delta

⁸ Dissociation Front

⁹ CSIRO; Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization