تاثیر گرادیان دمای زمین بر مشخصات جریان سه‏فازی گاز- مایع- جامد درون دالیز چاه تحت عملیات حفاری زیرتعادلی

سعید قبادپوری1\*

 1- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه یاسوج، یاسوج

\* یاسوج، صندوق پستی 7591874934، sghy\_790@yahoo.com;ghobadpouri.s@yu.ac.ir

چکیده

در این مقاله با استفاده از حل عددی مبتنی بر مدل چند سیالی تک فشاری، جریان سه فازی گاز- مایع- جامد در فضای حلقوی چاه‏های تحت عملیات حفاری زیرتعادلی شبیه‏سازی شده است. شارش نفت و گاز از مخزن به درون فضای حلقوی در حین انجام عملیات حفاری به واسطه‏ی زیرتعادلی بودن تکنیک حفاری در نظر گرفته شده است. کد عددی با استفاده از داده‏های تجربی یک چاه واقعی، مدل‏های مکانستیک در دسترس و حل عددی جریان گاز- مایع دوفازی اعتبارسنجی شده است. با توجه به اهمیت کنترل مشخصات جریان در حین عملیات حفاری زیرتعادلی و همچنین تغییرات دمایی درون زمین، تاثیر تغییرات دمایی بر روی مشخصات جریان درون دالیز چاه شامل توزیع فشار، کسر حجمی و سرعت فازهای مایع، جامد و گاز مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان می‏دهد که افزایش گرادیان دمای درون زمین سبب کاهش فشار، افزایش کسر حجمی فاز گاز و سرعت آن و همچنین کاهش کسر حجمی فاز مایع و افزایش سرعت آن می‏شود. تاثیر افزایش گرادیان دما بر روی کسر حجمی کنده‏های حفاری و سرعت آن‏ها تحت تاثیر میزان افزایش سرعت فاز مایع و کاهش میزان لزجت و قابلیت حمل کنده‏ها است.

**کلی**د‌واژگ**ان**

حفاری زیرتعادلی، جریان سه فازی، مشخصات جریان، گرادیان دمای زمین

Effect of geothermal temperature gradient on the gas- liquid- solid three-phase flow characteristics in the annulus during Under-balanced drilling operation

Saeed Ghobadpouri1\*

1- Oil and Gas Department, Yasouj University, Yasouj, Iran.

\* P.O.B. 7591874934 Yasouj, Iran, sghy\_790@yahoo.com;ghobadpouri.s@yu.ac.ir

Abstract

In this paper, gas- liquid- solid three-phase flow in the annulus of a well during under-balanced drilling operation was simulated numerically using single-pressure multi-fluid model. During drilling operations, due to underbalanced drilling techniques being, the flow of oil and gas from the reservoir into the annulus is considered. Developed numerical code, has been validated by using experimental data from a real well, available mechanistic models and gas- liquid two-phase numerical simulation. Given the importance of Control the flow characteristics during under-balanced drilling operation, the effects of geothermal temperature gradient on the flow charecteristics including pressure distribution, volume fraction and velocity of liquid, solid and gas phases has been investigated. The results show that increasing the temperature gradient reduces the pressure, increases the volume fraction of the gas phase and its velocity, as well as decreases the volume fraction of the liquid phase and increases its velocity. The effect of increasing the temperature gradient on the volume fraction and velocity of cuttings is affected by the rate of increase of liquid phase velocity and decreasing the viscosity and cutting carring capacity.

Keywords

Unde-Balanced Drilling, Three-Phase Flow, Flow Characteristics, Geothermal Temperature Gradient

1. مقدمه

دو فشار مهم در طی عملیات حفاری، فشار ناشی از سیال حفاری و فشار سازند می‏باشد. بر مبنای قیاس بین این دو فشار تکنیک‏های مختلف حفاری تعریف می‏شوند. رایج‏ترین شیوه حفاری، حفاری بالای فشار تعادلی است. در این نوع حفاری، فشار ناشی از سیال حفاری از فشار سازند بیشتر است در نتیجه سیال حفاری و کنده‏های ناشی از حفاری به درون سازند نفوذ می‏کنند و سبب هدر روی سیال حفاری و همچنین آسیب‏دیدگی سازند می‏شوند که در نتیجه آن، ضریب بهره‏دهی چاه هنگام بهره‏برداری کم می‏شود. درصورتی که فشار سیال حفاری کمتر از فشار سازند باشد، تکنیک حفاری را حفاری زیر فشار تعادلی می‏گویند. در روش زیرتعادلی، سیال حفاری بواسطه فشار کمترش نسبت به فشار سازند هیچ‏گونه نفوذی به مخزن ندارد بنابراین مشکل آسیب‏دیدگی سازند در حفاری زیرتعادلی برطرف می‏شود. بعلاوه آنکه در عملیات حفاری زیر‏تعادلی، عمر مته، نرخ نفوذ مته، سرعت حفاری نیز بیشتر است و به محض ورود عملیات حفاری به يك ناحيه بهره‏ده، می‏توان همزمان با عملیات حفاری، برداشت هیدروکربن از مخزن را نیز داشت که این امر از نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت است.

در عملیات حفاری زیرتعادلی با استفاده از تزریق جریان دوفازی گاز- مایع درون لوله حفاری و همچنین کنترل فشار خروجی چاه، فشار ته چاه را به گونه‏ای کنترل می‏کنند که همواره کمتر از فشار سازند باشد. سیال دوفازی تزریق شده از سرچاه پس از عبور از لوله حفاری و همچنین مته حفاری وارد فضای حلقوی بین لوله حفاری و جداره سازند می‏شود و با حمل کنده‏های ناشی از عملیات حفاری به صورت جریان سه‏فازی گاز- مایع- جامد از طریق دالیز به سطح چاه برمی‏گردد. در خروجی دالیز فشار کنترل و برابر با فشار چوک است. جهت طراحی و بهینه‏سازی یک عملیات حفاری موفق، درک و شناخت کافی از جریان سیال حفاری با توجه به وظایف خطیر و مهم آن از جایگاه ویژه‏ای برخوردار است. از این رو، شبیه‏سازی و تحلیل جریان سه‏فازی گاز– مایع- جامد در عملیات حفاری زیرتعادلی جهت بدست آوردن مشخصات جریان، شرایط بهینه عملکردی و بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر مشخصات جریان اهمیت فراوانی دارد.

یکی از جامع‏ترین تحقیقات با رویکرد عددی در این زمینه، در برگن نروژ صورت پذیرفته است و نرم‌افزار ارائه شده دینا فلو دریل نام دارد. تئوری حاکم بر دینامیک سیالات این نرم‏افزار در قالب مقالات [3-1] و مشخصات مخزن در مقالات [4] و [5] تشریح شده ‌است. در این نرم‌افزار جهت شبیه‏سازی یک‏بعدی از معادلات بقاء جرم برای هر جزء و یک معادله مومنتم کلی برای همه اجزاء و تعدادی رابطه کمکی استفاده شده است. علی‌رغم قابلیت‌های بسیار زیاد، این نرم‌افزار پارامترهای جریان را در برخی حالات با خطایی نزدیک 100% پیش‌بینی می‌کند. فن و همکاران [6] یک برنامه کامپیوتری برای پیش‏بینی رفتار جریان سیال حفاری چند‏فازی در حین عملیات حفاری زیرتعادلی تهیه کرده‏اند. معادلات حاکم در این تحقیق نیز شامل معادلات بقاء جرم به طور جداگانه برای هر فاز و یک معادله ممنتوم کلی برای مخلوط می‏باشد. در این تحقیق برای اعتبارسنجی مدل ارائه شده از یک حلقه چاه فرضی استفاده شده است که اطلاعات واقعی ندارد. پرزتلز و همکاران [7] و [8] با استفاده از مدل شار رانشی و ترکیب این مدل با مدل‌های مکانیسم‏نگر ، جریان دوفازی گاز– مایع در حفاری زیر فشار تعادلی را مورد بررسی قرار دادند. فدیرو و آدسینا [9]، با استفاده از مدل‏سازی مکانیسم‏نگر، اثر انتقال کنده‏ها بر افت فشار و همچنین اثرات کسر حجمی ذرات جامد بر جریان دائم درون یک لوله عمودی را مورد بررسی قرار دهند. آن‏ها بیان داشتند که کنده‏های حفاری، جریان سیال را به تاخیر می‏اندازد و فشار ته چاه و چگالی معادل سیال حفاری را افزایش می‏دهد. با توجه به دقت بیشتر مدل دوسیالی نسبت به مدل شار رانشی و همچنین جامعیت حل‏های عددی نسبت به حل‏های مکانیسم‏نگر، قبادپوری و همکاران [10]، جریان دوفازی گاز– مایع در دالیز در حین حفاری زیرتعادلی را به صورت یک‏بعدی مورد بررسی قرار داده‏اند. به منظور اعتبارسنجی مدل دوسیالی ارائه شده، نتایج شبیه‏سازی بدست آمده با داده‏های تجربی و همچنین با نتایج به‏دست آمده از مدل مکانیسم‏نگر و نرم‏افزار ولفلو مقایسه شده‏اند. نتایج نشان می‏دهد که سه پارامتر دبی مایع، دبی گاز و فشار خروجی می‏توانند به عنوان پارامترهای کنترل کننده فشار چاه مورد استفاده قرار بگیرند. با توجه به اهمیت موضوع تمیزکاری فضای حلقوی، قبادپوری و همکاران [11]، جریان سه فازی گاز- مایع- جامد درون فضای حلقوی را با استفاده از مدل چندسیالی شبیه‏سازی نمودند و تاثیر دبی‏های تزریقی فازهای مایع و جامد، فشار چوک، سرعت حفاری و اندازه‏ی کنده‏های حفاری را بر روی فشار در ته چاه و همچنین تمیزکاری فضای حلقوی بررسی کردند.

با توجه به سوابق پژوهشی ارائه شده، مشاهده می‏شود تاکنون تاثیر گرادیان دمای زمین بر روی مشخصات جریان درون دالیز چاه‏های تحت عملیات حفاری زیرتعادلی مورد بررسی قرار نگرفته ‏است.. از این رو، در تحقیق حاضر با استفاده از شبیه‏سازی عددی به بررسی تاثیر گرادیان دمای زمین بر مشخصات جریان سه فازی گاز- مایع- جامد در حفاری زیر تعادلی پرداخته می‏شود.

2- معادلات حاکم

در عملیات حفاری زیرتعادلی، هر یک از فازهای مایع و گاز درون دالیز از دو جزء تشکیل شده‏اند. همان‏گونه که در "شکل 1" نشان داده شده است یکی از این اجزاء از سر چاه به درون لوله‏ی حفاری تزریق می‏شود و پس از عبور از مته وارد دالیز می‏شود و جزء دوم، از سازند به درون دالیز جریان می‏یابد. در این تحقیق فرض شده است که تنها یک مایع و یک گاز درون دالیز جریان دارد و خواص آن‏ها براساس میانگین وزنی اجزاء محاسبه می‏شوند. از میان مدل‏های مبتنی بر دیدگاه‏های اویلری– اویلری- اویلری از مدل چندسیالی تک فشاری برای شبیه‏سازی استفاده شده است.

|  |
| --- |
|             |
| Fig. 1 Well geometry and fluid flow in the annulus |
| **شکل 1** هندسه‏ی چاه، نحوه شارش جریان در فضای حلقوی |

در این مقاله، توزیع دما در طول چاه همان توزیع ژئوترمال در نظر گرفته شده است و سیالات درون دالیز بصورت همدما با مخزن فرض شده است. در حقیقت اثرات دما با تاثیر بر لزجت و چگالی فاز گاز مشخصات جریان درون دالیز را تحت تاثیر قرار می‏‏دهد. معادلات بقاء جرم و مومنتوم مدل چندسیالی تک فشاری در مقالات زیادی همچون اوجه و فلاتن [12] ارائه شده‏اند. با توجه به طول زیاد فیزیک مساله در قیاس با قطر لوله حفاری، مساله یک بعدی فرض شده است. همچنین فاز گاز تراکم‏پذیر و فاز مایع تراکم‏ناپذیر درنظر گرفته می‏شود. بدین ترتیب معادلات حاکم به شرح ذیل خواهد بود. در این معادلات، u سرعت، α کسر حجمی، P فشار و ρ نماد چگالی است. از زیرنویس‏های G، L و S به‏ترتیب برای مشخص کردن فازهای گاز، مایع و جامد استفاده می‏شود.

|  |  |
| --- | --- |
| (1) | $$\frac{d}{dx}\left(α\_{G}ρ\_{G}u\_{G}A\right)=0$$ |
| (2) | $$\frac{d}{dx}\left(α\_{L}ρ\_{L}u\_{L}A\right)=0$$ |
| (3) | $$\frac{d}{dx}\left(α\_{S}ρ\_{S}u\_{S}A\right)=0$$ |
| (4) | $$\frac{d}{dx}\left(α\_{G}ρ\_{G}u\_{G}^{2}A\right)=-A\left(F\_{iG}+F\_{wG}+F\_{gG}+F\_{vG}+α\_{G}\frac{∂P}{∂x}\right)- ∆P\_{iG}\frac{d\left(Aα\_{G}\right)}{dx}$$ |
| (5) | $$\frac{d}{dx}\left(α\_{L}ρ\_{L}u\_{L}^{2}A\right)=-A\left(F\_{iL}+F\_{wL}+F\_{gL}+F\_{vL}+α\_{L}\frac{∂P}{∂x}\right)- ∆P\_{iL}\frac{d\left(Aα\_{L}\right)}{dx}$$ |
| (6) | $$\frac{d}{dx}\left(α\_{S}ρ\_{S}u\_{S}^{2}A\right)=-A\left(F\_{iS}+F\_{wS}+F\_{gS}+F\_{vS}+α\_{S}\frac{∂P}{∂x}\right)$$ |

در معادلات فوق $ F\_{ik}\left(k=G,L,S\right)$، نیروی درگی است که در نتیجه برهمکنش سایر فازها بر فاز $k$‏ام وارد می‏شود. $F\_{wk}$ نیروی اصطکاک دیواره لوله،. $F\_{gk}$ نیروی گرانش و $F\_{vk}$ نیروی جرم مجازی است. $∆P\_{ik}\left(k=G,L\right)$ عبارت تصحیح فشار می‏باشد که بیانگر اختلاف فشار فصل مشترک و هر فاز می‏باشد. روابط مربوط به نیروها و عبارت تصحیح فشار در مراجع [10]،[11] و [13] ارائه شده است.

علاوه بر معادلات بقاء جرم و مومنتوم، برای بسته شدن سیستم معادلات دو معادله دیگر نیاز است. این روابط، رابطه قید هندسی و معادله حالت فاز گاز است. براساس رابطه قید هندسی

|  |  |
| --- | --- |
| (7) | $$\sum\_{k}^{}α\_{k}=α\_{G}+α\_{L}+α\_{S}=1$$ |

معادله حالت فاز گاز به شرح زیر است

|  |  |
| --- | --- |
| (8) | $$ρ\_{G}=ρ\_{G}\left(P\_{G},T\_{G}\right)=\frac{M\_{G}∙P}{8314∙Z∙T}$$ |

در رابطه (8)، Z ضریب تراکم‏پذیری فاز گاز است که روابط متنوعی برای آن پیشنهاد شده است. در مقاله حاضر از رابطه‏ای که درانچاک و ابوالقاسم [14] پیشنهاد داده‏اند استفاده شده است

2-2- الگوهای جریان و معیار تشخیص آن‏ها

در این مقاله، جهت تشخیص الگوی جریان از الگوی جریان مبتنی بر کسر حجمی فاز گاز استفاده شده است. بر این اساس برای شرایط جریان سه‏فازی گاز- مایع- جامد رو به بالا در فضای دالیز چاه، در صورتی که کسر حجمی فاز گاز کمتر از 0.2 باشد رژیم جریان حبابی، از 0.2 تا 0.3 گذار از حبابی به لخته‏ای، از 0.3 تا 0.6915 لخته‏ای، بین 0.6915 و0.7915 گذار از لخته‏ای به کف‏آلود و بزرگتر از 0.7915 رژیم کف‏آلود است [15].

2-2- تولید نفت و گاز هم‏زمان با عملیات حفاری

برای محاسبه مقدار نفت و گازی که در حین حفاری زیرتعادلی تولید می‏شود، روابط متعددی بیان شده‏است. در این تحقیق، برای پیش‏بینی میزان شارش نفت و گاز از رابطه وگل استفاده شده است [16]

|  |  |
| --- | --- |
| (9) | $$\frac{q}{q\_{max}}=1.0-0.2\left(\frac{BHP}{P\_{R}}\right)-0.8\left(\frac{BHP}{P\_{R}}\right)^{2}$$ |

در معادله (9)، q دبی نفت شارش یافته به درون دالیز، BHP فشار ته چاه و $P\_{R}$ فشار متوسط مخزن است. همچنین $q\_{max}$، ماکزیمم دبی نفت شارش یافته به درون دالیز است که در ازای فشار ته چاه صفر، بدست می‏آید.

3- الگوریتم و روش حل

در مدل چندسیالی با فرض حالت پایا برای جریان سه‏فازی گاز- مایع- جامد، معادلات پیوستگی و مومنتوم فازها شش معادله‏ی غیرخطی دیفرانسیلی می‏باشد. این شش معادله به همراه معادله قید هندسی و معادله‏ی حالت فاز گاز یک دستگاه هشت معادله‏، هشت مجهول غیرخطی را تشکیل می‏دهند. هشت مجهول در این دستگاه معادلات شامل سه کسر حجمی، سه سرعت، چگالی فاز گاز و فشار می‏باشد. پس از گسسته‏سازی معادلات حاکم با استفاده از تقریب مرتبه‏ی یک پیشرو بر روی شبکه‏ای همانند آنچه در "شکل 1" نشان داده شده، یک دستگاه معادله‏ جبری غیرخطی با هشت معادله که به یکدیگر کوپل هستند بدست خواهد آمد.

3-1- الگوریتم تعیین شرایط مرزی و حل مساله

1-محاسبات از سرچاه (بالای فضای حلقوی) شروع می‏شود و در امتداد دالیز تا رسیدن به انتهای چاه ادامه می‏یابد

2-اولین حلقه تکرار با حدس مقادیر نفت و گاز تولیدی از مخزن شروع می‏شود. در ابتدا فرض می‏شود که نفت و گاز با حداکثر دبی ممکن از مخزن به درون دالیز جریان می‏یابند. با استفاده از این مقادیر و همچنین دبی مایع و گاز تزریقی از سر چاه خواص معادل مایع و گاز درون فضای حلقوی براساس میانگین وزنی اجزاء محاسبه می‏شوند.

3-چگالی فاز جامد، سرعت حفاری و قطر متوسط کنده‏های حفاری به عنوان ورودی اخذ می‏شود.

4-فشار در خروجی دالیز برابر با فشار چوک است $\left(P\_{i+1}=P\_{Choke }\right)$. با استفاده از معادله حالت فاز گاز و دما در گره سرچاهی، چگالی فاز گاز در خروجی دالیز بدست می‏آید.

5-دومین حلقه تکرار با حدس کسر حجمی فاز گاز $α\_{G}$ و کسر حجمی فاز جامد $α\_{S}$ در گره سرچاه، شروع می‏شود و با استفاده از این مقادیر حدسی کسر حجمی فاز مایع در سر چاه بدست می‏آید $α\_{L}=1-α\_{G}-α\_{S}$. با استفاده از این مقادیر و معادلات بقاء جرم سه فاز، سرعت فازهای جامد، مایع و گاز در گره سرچاهی مشخص می‏شود. بدین ترتیب در مراحل 4 و 5 همه مجهولات در گره $i+1$، "شکل "1 معلوم می‏شوند.

6-سومین حلقه تکرار، با حدس مقادیر مجهول در دومین گره از سر چاه شروع می‏شود و با استفاده از تکرار نیوتن، اصلاح این مقادیر حدسی تا ارضاء معیار همگرایی ادامه می‏یابد. در تکرار نیوتن از رابطه $ Y\_{n+1}=Y\_{n}-J^{-1}F\_{n}\left(Y\_{n}\right)$ استفاده می‏شود. در این رابطه، $Y$ بردار مجهولات می‏باشد. بردار $F\_{n}$، از رابطه 10 و بر اساس مقادیر مجهولات و معادلات حاکم در نقطه $i$ و در تکرار $n$‏ام محاسبه می‏شود. همچنین $J^{-1}$ معکوس ماتریس ژاکوبین است.

7-روند حل از پایین دست جریان (سر چاه) به سمت بالادست جریان (انتهای چاه) مشابه با مرحله 6، برای سایر نقاط ادامه می‏یابد. به منظور اصلاح حدس اولیه‏ی کسر حجمی فازهای گاز و جامد در گره سرچاهی، پس از حل تعداد محدودی از گره‏ها (مثلا 5 گره)، با استفاده از برون‏یابی خطی کسر حجمی فازهای گاز و جامد در اولین گره سر چاه اصلاح می‏شود و فرآیند حل با مقادیر جدید کسرهای حجمی فاز گاز و فاز جامد بدست آمده، از مرحله 4 تا ارضاء معیار همگرایی $\left(\left|α\_{G,i=1}^{n+1}-α\_{G,i=1}^{n}\right|+\left|α\_{S,i=1}^{n+1}-α\_{S,i=1}^{n}\right|<10^{-4}\right)$ ادامه می‏یابد.

8- روند حل تا انتهای چاه ادامه می‏یابد سپس مقدار نفت و گاز تولیدی، با استفاده از فشار انتهای چاه بدست آمده در مرحله هفتم همچنین رابطه 9 اصلاح می‏شود و حل از مرحله 2 با مقادیر اصلاح شده‏ی نفت و گاز تولیدی، تا ارضاء معیار همگرایی$\left(\left|BHP^{n+1}-BHP^{n}\right|<10^{-7}\right)$ ادامه می‏یابد.

4- نتایج و بحث در نتایج

جهت اعتبارسنجی کد شبیه‏ساز جریان سه فازی گاز- مایع- جامد از اطلاعات مربوط به چاه ماسپک 53 استفاده شده است. این چاه، یک چاه عمودی عملیاتی در مکزیک است و به روش زیرتعادلی حفاری شده است. مشخصات هندسی این چاه و پارامترهای عملکردی آن از مرجع [7] استخراج شده و با استفاده از کد تهیه شده شبیه‏سازی صورت گرفته است.

 در "شکل 2" توزیع فشار بدست آمده از کد تهیه شده برمبنای مدل سه سیالی گاز- مایع- جامد، و همچنین سایر نتایج تجربی، عددی و مکانیسم‏نگر و همچنین مقدار عملیاتی فشار درته چاه ارائه شده است.

|  |
| --- |
|  |
| Fig. 2 pressure distribution along Muspac-53 annulus |
| شکل 2 توزیع فشار در دالیز چاه ماسپک 53 |

همان‏گونه که نتایج نشان می‏دهد مدل سه‏سیالی گاز- مایع- جامد دقت بیشتری نسبت به مدل دوسیالی گاز- مایع دارد. همچنین این روش نسبت به بسیاری از مدل‏های مورد استفاده در نرم افزار ولفلو که از رویکردهای مکانیسم‏نگر استفاده می‏کنند دقت بهتری دارد. نکته‏ی قابل توجه دیگر آن‏که، هر چند براساس اطلاعات ارائه شده مدل حسن و کبیر در مقایسه با مدل سه‏سیالی گاز- مایع- جامد از دقت بیشتری در پیش‏بینی فشار ته چاه برخوردار است اما این مدل در مورد نحوه‏ی توزیع ذرات جامد در طول دالیز هیچ اطلاعاتی ارائه نمی‏کند. همچنین این مدل یک مدل مکانیسم‏نگر است و بر اساس روابط تجربی بنا شده است. بنابراین، دقت بیشتر این مدل مکانیسم‏نگر در شبیه‏سازی این چاه خاص، دلیلی برای برتری دقت آن در همه‏ی شرایط و مدل‏سازی سایر چاه‏ها نمی‏باشد.

4-2- تاثیر گرادیان دمای زمین بر مشخصات جریان سه فازی درون دالیز

جریان سه فازی گاز- مایع- جامد در عملیات حفاری، از فضای حلقوی بین لوله حفاری و دیواره چاه به سمت سر چاه حرکت می¬کند. فشار در ته چاه ناشی از مشخصات ستون جریان در فضای حلقوی است. تغییرات دمای ژئوترمال و به تبع آن، دمای فازهای مایع و گاز مشخصات جریان را تحت تاثیر قرار می‏دهد. بررسی تاثیر میزان تغییرات دما بر روی فشار و سایر مشخصات جریان به طراحی موفق عملیات حفاری کمک شایانی می-نماید. در ادامه به بررسی اثر این پارامتر بر روی فشار، کسرهای حجمی و سرعت فازهای گاز، مایع و جامد پرداخته می‏شود.

در "شکل 3" اثر تغییر گرادیان دما بر توزیع فشار در طول دالیز ارائه شده است. همانگونه که از این شکل برمی‏آید با افزایش گرادیان دما فشار در طول دالیز کاهش می‏یابد. میزان کاهش فشار در قسمت انتهایی چاه مشهودتر است.

|  |
| --- |
|  |
| **Fig. 3** Effects of temperature gradient on the annulus pressure distribution |
| **شکل 3** تاثیر گرادیان دما بر توزیع فشار درون دالیز |

در "شکل 4" تاثیر گرادیان دما بر روی توزیع کسر حجمی فاز گاز نشان داده شده است. به ظور کلی از انتهای چاه به سمت سرچاه و در امتداد جریان با کاهش فشار، کسر حجمی فاز گاز افزایش می‏یابد. در یک عمق ثابت و با افزایش گرادیان دما، بواسطه دمای بالاتر فاز گاز، کسر حجمی فاز گاز افزایش می‏یابد.

در "شکل 5" تاثیر افزایش گرادیان دما بر روی کسر حجمی فاز مایع نشان داده شده است. با کاهش فشار در طول جریان در دالیز و افزایش کسر حجمی فاز گاز، تبعا کسر حجمی فاز مایع کاهش می‏یابد. در یک عمق ثابت با افزایش دما، کسر حجمی فاز مایع کاهش یافته است.

|  |
| --- |
|  |
| **Fig. 4** Effects of temperature gradient on the gas volume fraction distribution |
| **شکل 4** تاثیر گرادیان دما بر توزیع کسر حجمی فاز گاز درون دالیز |
|  |
| **Fig. 5** Effects of temperature gradient on the liquid volume fraction distribution |
| **شکل 5** تاثیر گرادیان دما بر توزیع کسر حجمی فاز مایع درون دالیز |

تاثیر افزایش گرادیان دما بر روی توزیع کنده‏های حفاری در "شکل 6" نشان داده شده است. افزایش دما از یک سو سبب کاهش لزجت فاز مایع و قابلیت حمل کنده‏ها می‏شود و از سوی دیگر باعث افزایش کسر حجمی فاز گاز و به تبع آن کاهش کسر حجمی فازهای مایع و جامد می‏شود.

در "شکل 7" تاثیر افزایش گرادیان دما بر روی سرعت فاز گاز ارائه شده است. با افزایش دما، چگالی فاز گاز کاهش می یابد و با توجه به ثابت بودن نرخ جرمی فاز گاز وزودی به دالیز در حالت پایا، این کاهش چگالی از طریق افزایش کسر حجمی و سرعت فاز گاز جبران شده است.

|  |
| --- |
|  |
| **Fig. 6** Effects of temperature gradient on the solid volume fraction distribution |
| **شکل 6** تاثیر گرادیان دما بر توزیع کسر حجمی فاز جامد درون دالیز |
|  |
| **Fig. 7** Effects of temperature gradient on the gas velocity distribution |
| **شکل 7** تاثیر گرادیان دما بر توزیع سرعت فاز گاز درون دالیز |

تاثیر افزایش گرادیان دما بر سرعت فاز مایع در "شکل 8" نشان داده شده است. با افزایش گرادیان دما سرعت فاز مایع در یک عمق ثابت افزایش یافته است. با توجه به تعاملات فازهای مایع و گاز در رژیم های مختلف جریان سه فازی بویژه رژیم های حبابی و اسلاگ و همچنین افزایش سرعت فاز گاز، رفتار نشان داده شده در این نمودار منطقی است.

تاثیر افزایش گرادیان دما بر روی توزیع کسر حجمی فاز جامد در طول دالیز در "شکل 9" ارائه شده است. با توجه به نحوه تغییرات کسر حجمی کنده‏ها و ثابت بودن نرخ فاز جامد ورودی به دالیز، این تغییرات منطقی می‏باشد.

|  |
| --- |
|  |
| **Fig. 8** Effects of temperature gradient on the liquid velocity distribution |
| **شکل 8** تاثیر گرادیان دما بر توزیع سرعت فاز مایع درون دالیز |
|  |
| **Fig. 9** Effects of temperature gradient on the solid velocity distribution |
| **شکل 9** تاثیر گرادیان دما بر توزیع سرعت فاز جامد درون دالیز |

5- نتیجه‏گیری

در این مطالعه، از روشی عددی مبتنی بر مدل چندسیالی تک فشاری جهت شبیه‏سازی جریان سه‏فازی گاز- مایع- جامد در فضای حلقوی یک چاه با ابعاد واقعی همراه با شارش نفت و گاز از مخزن به‏واسطه‏ی زیرتعادلی بودن عملیات حفاری استفاده شده است. نتایج حاصل از کد عددی تهیه شده با داده‏های یک چاه واقعی مقایسه و اعتبارسنجی شده است. تاثیر تغییر گرادیان دما بر روی مشخصات جریان درون دالیز مورد بررسی قرار گرفته است. براساس نتایج بدست آمده با افزایش گرادیان دما، در یک عمق ثابت فشار کاهش می‏یابد. در حقیقت با افزایش دما چگالی فاز گاز کاهش می‏یابد. با توجه به ثابت بودن نرخ جرمی جریان گاز در درون دالیز در حالت پایا، این کاهش چگالی با افزایش کسر حجمی فاز گاز و همچنین سرعت فاز گاز جبران می‏گردد. افزایش کسر حجمی فاز گاز سبب کاهش کسر حجمی فاز مایع و جامد می‏شود. با توجه به فرض تراکم‏ناپذیری فاز مایع و همچنین ثابت بودن نرخ جریان جرمی فاز مایع، سرعت فاز مایع افزایش می‏یابد. سرعت و کسر حجمی فاز جامد از یک سو تحت تاثیر افزایش سرعت فاز مایع و از سوی دیگر کاهش لزجت فاز مایع و قابلیت حمل کنده‏ی آن و همچنین افزایش کسر حجمی فاز گاز است. در نواحی مختلف بسته به آن که کدام اثر، اثر غالب باشد، کسر حجمی و سرعت فاز جامد می‏تواند افزایش و یا کاهش نشان دهد.

6- مراجع

[1] Lorentzen R. J., Fjelde K. K., Froyen J., A. Lage C., Naevdal G., Vefring E. H., 2001, Underbalanced drilling: Real time data interpretation and decision support, in the SPE/IADC drilling conference, Amsterdam, Netherlands.

[2] Lorentzen R. J., Fjelde K. K., Froyen J., Lage A. C., Naevdal G., Vefring E. H., 2001, Underbalanced and low-head drilling operations: Real time interpretation of measured data and operational support, in the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Louisiana.

[3] Lorentzen R. J., Naevdal G., Lage A. C., 2003, Tuning of parameters in a two-phase flow model using an ensemble Kalman filter, International Journal of Multiphase Flow, Vol. 29, No. 8, pp. 1283-1309.

[4] Vefring E. H., Nygaard G., K. Fjelde K., R. Lorentzen J., Naevdal G., Merlo A., 2002,Reservoir characterization during underbalanced drilling: Methodology, accuracy, and necessary data, in the SPE Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, USA.

[5] Vefring E. H., Nygaard G. H., Lorentzen R. J., Naevdal G., K. Fjelde K., 2006, Reservoir characterization during underbalanced drilling (UBD): Methodology and active tests, SPE Journal, Vol. 11, No. 02, pp. 181-192.

 [6] Fan J. J., Gao C., Taihe S., Liu H., Yu Z., 2001, A comprehensive model and computer simulation for underbalanced drilling in oil and gas wells, in the SPE/ICoTA Coiled Tubing Roundtable, Houston, Texas.

[7] Perez-Tellez C., 2003, Improved Bottomhole Pressure Control for Underbalanced Drilling Operations, PhD Thesis, Universidad Nacional Autonoma de Mexico.

[8] Perez-Tellez C., Urbieta-Lopez A., Miller A., Banda-Morato R., 2003, Bottomhole pressure measurements: Indispensable tool for optimizing underbalanced drilling operations, in the Offshore Technology Conference, Houston, Texas.

[9] Fadairo A. S., Falode O. A., 2009, Effect of drilling cuttings transport on pressure drop in a flowing well, in Middle East Drilling Technology Conference & Exhibition held in Manama, Bahrain.

[10] Ghobadpouri, S., Hajidavalloo, E., Noghrehabadi, A.R., Shekari, Y., Khezrian, M., 2016, Numerical simulation of under-balanced drilling operations with oil and gas production from reservoir using single pressure two-fluid model, Modares Mechanical Engineering, Vol. 16, No. 6, pp. 291-302. (in Persianفارسی )

[11] Ghobadpouri, S., Hajidavalloo, E., Noghrehabadi, A.R., 2017, Modeling and simulation of gas-liquid-solid three-phase flow in under-balanced drilling operation, Journal of Petroleum Science and Engineering (2017), doi: 10.1016/j. Petrol.

[12] Evje S., Flatten T., 2003, Hybrid flux-splitting schemes for a common two-fluid model, Journal of Computational Physics, Vol. 192, No. 1, pp. 175-210.

[13] Bestion D.,1990, "The physical closure laws in the CATHARE code," Nuclear Engineering and Design., vol. 124, pp. 229-245.

[14] Dranchuk P., Abou-Kassem H., 1975, Calculation of Z factors for natural gases using equations of state, Journal of Canadian Petroleum Technology, Vol. 14, No. 03.

 [15] Hatta N., Fujimoto H., Isobe M., Kang J.-S., 1997, Theoretical analysis of flow characteristics of multiphase mixtures in a vertical pipe, International journal of multiphase flow, Vol. 24, No. 4, pp. 539-561.

[16] Guo B., Lyons W. C., Ghalambor A., 2007, Petroleum production engineering, a computer-assisted approach, pp 3.30-3.36, Texas: Gulf Professional Publishing.