



پیش بینی تولید مخازن گازی با رفتار حجمی با ارایه یک الگوریتم ساده

علی خلیلی^۱ • شرکت نفت مناطق مرکزی ایران

چکیده

در بسیاری از موارد برای پیش‌بینی تولید مخازن گازی، به ساخت مدل استاتیک و به دنبال آن مدل دینامیک نیاز است. این مراحل نیازمند صرف وقت و هزینه زیاد بوده و در زمان کم، قابل اجرا نیستند. در این مقاله برای پیش‌بینی تولید از مخازن گازی (ترجیحاً میادینی که هنوز توسعه نیافته‌اند)، یک الگوریتم ساده ولی در عین حال نسبتاً قوی ارایه می‌شود. در این روش از مفاهیم موازنه مواد برای مخازن گازی با رفتار حجمی و همچنین شمای کلی رشته تولیدی و عملکرد درون چاهی مخزن استفاده شده است. علاوه بر این، می‌توان محدودیت‌های موجود عملیاتی از قبیل فشار جریان سرچاهی، دبی میدان، حداقل تولید هرچاه و غیره را نیز اعمال نمود و بر اساس آن، مدل را اجرا کرد. در این باره یک برنامه کامپیوتری نیز تهیه شده است که با استفاده از آن می‌توان با سرعت بالا به نتایج مدل دست یافت. همچنین نتایج این الگوریتم با نرم‌افزار تجاری Eclipse نیز مقایسه گردیده است. همان‌طور که نشان داده می‌شود، در یکی از میادین گازی، نتایج به‌دست آمده با نتایج نرم‌افزارهای تجاری تطابق بسیار خوبی دارد.

مخزن حجمی، عملکرد درون چاهی، تثبیت دبی تولید، مخزن گازی

واژه‌های کلیدی

مقدمه

پیش‌بینی عملکرد مخازن هیدروکربوری برای توسعه میادین، لازم و ضروری است؛ زیرا میزان سرمایه‌گذاری، مقرون به صرفه بودن و همچنین میزان تولید، به پتانسیل تولید از میدان وابسته بوده و سرمایه‌گذاری نیز بر اساس مشخصات مخزنی میدان و تعداد چاه‌های مورد نیاز برای تولید میزان مشخصی از هیدروکربور صورت می‌پذیرد. در حال حاضر پیش‌بینی تولید از میدان با استفاده از نرم‌افزارهای تجاری ممکن است، ولی به دلیل این که مدل‌سازی این نرم‌افزارها زمان زیادی می‌طلبد، به روشی سریع و نسبتاً ساده نیاز است تا به‌وسیله آن، عملکرد مخزن به صورت کلی معین گردد و سپس در صورت نیاز به جزئیات شبیه‌سازی مخزن، نسبت به مدل‌سازی آن اقدام شود. در حالت خاص، در میادین توسعه‌نیافته که لازم است برای ارایه برنامه مقدماتی توسعه آن‌ها، تعداد چاه‌ها، دبی تولید و مدت زمان تثبیت دبی داده شود، این نرم‌افزار یک روش سریع می‌باشد؛ چراکه به‌وسیله آن می‌توان قبل از انجام مطالعات جامع، برنامه مقدماتی توسعه را ارایه نمود، سپس با توسعه اولیه و حفر چاه‌های جدید و اخذ اطلاعات تکمیلی، به مطالعات جامع و برنامه‌های توسعه تکمیلی پرداخت. در این مقاله با ارایه یک الگوریتم ساده و در عین حال نسبتاً قوی، به پیش‌بینی تولید از یک میدان گازی پرداخته شده است. این روش ترکیبی از موازنه مواد، عملکرد جریان سیال در رشته تولیدی و همچنین پتانسیل واقعی میدان است. این الگوریتم برای چند میدان گازی استفاده شده و نتایج خروجی آن با نتایج حاصل از نرم‌افزار تجاری Eclipse، تطابق بسیار خوبی داشته است.

الگوریتم

رابطه موازنه مواد برای یک میدان گازی به شکل ذیل است [۱]:

$$G(B_{ga} - B_{gi}) + GB_{gi} \left(\frac{C_w S_{wi} + C_f}{1 - S_{wi}} \right) \Delta \bar{P} + W_e = G_p B_{ga} + B_w W_p \quad (1)$$

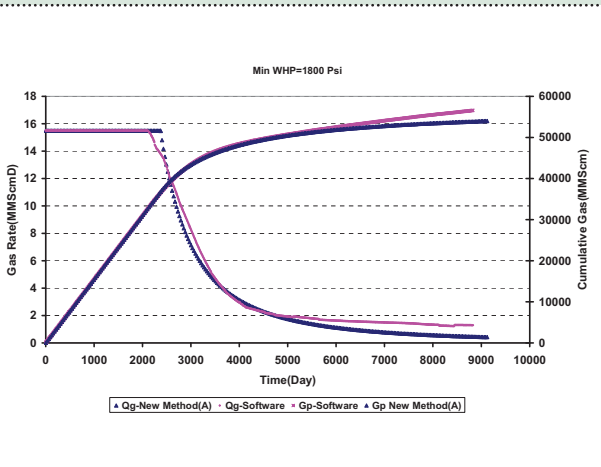
با استفاده از روابط موازنه مواد برای مخازن گازی بدون آبد که اصطلاحاً مخازن حجمی نامیده می‌شود، می‌توان معادله ۲ را نوشت:

$$G(B_{ga} - B_{gi}) = G_p B_{ga} \quad (2)$$

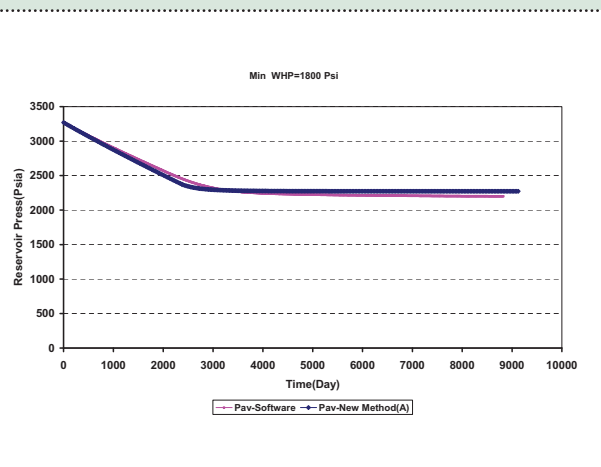
با معلوم بودن تعداد چاه‌های تولیدی میدان و همچنین تولید هر کدام از چاه‌ها و با فرض این که برای مدت زمان t ، دبی چاه‌ها ثابت باشد، مقدار G_p قابل محاسبه است. از طرفی مقادیر B_{gi} و G نیز معلوم می‌باشند، از این‌رو با استفاده از معادله ۲ می‌توان مقدار B_{ga} را حساب کرد. از طرف دیگر ضریب حجمی گاز تابعی از فشار، دما و ضریب انحراف گاز است (رابطه ۳).

$$B_g = f(Z, T, P) \quad (3)$$

¹ a.khalili@icofc.ir



شکل ۲ | مقایسه تغییرات دبی میدان A با زمان با استفاده از نرم افزار و روش جدید



شکل ۳ | مقایسه تغییرات فشار میدان A با زمان با استفاده از نرم افزار و روش جدید

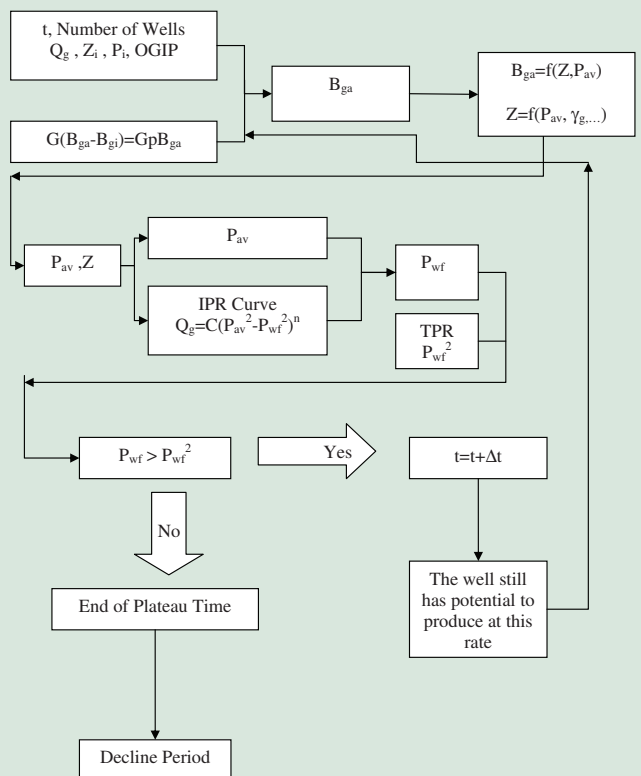
چاه‌ها به حداقل مقدار برای جریان گاز در حالت تخلیه طبیعی رسید، میدان توان تولید دبی ثابت یا به عبارتی دیگر، تخلیه طبیعی را ندارد؛ بنابراین یا باید حداقل فشار سرچاهی را با نصب ایستگاه تقویت فشار گاز پایین آورد یا برای تأمین حداقل فشار جریان سرچاهی، میزان دبی تولیدی را کم نمود. شکل ۱ الگوریتم را به صورت تصویری نشان می‌دهد. در صورت عدم امکان نصب تقویت فشار گاز برای نگه‌داشتن تولید با پایین آوردن حداقل فشار سرچاهی، باید برای تأمین حداقل فشار سرچاهی مطلوب و مورد نظر، دبی چاه‌ها را کم کرد. با الگوریتم ذیل می‌توان مرحله کاهش تولید دبی را پیش‌بینی نمود:

۱- ثبت فشار و زمان و تولید تجمعی و دبی چاه در پایان دبی ثابت (تخلیه طبیعی)

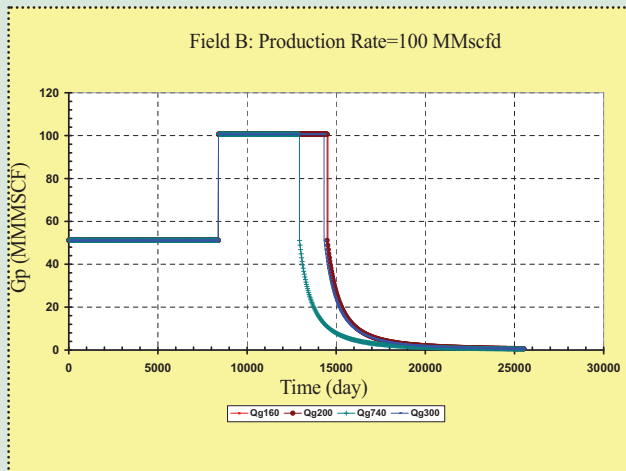
همچنین ضریب انحراف گاز (Z) نیز تابعی از فشار و دماست؛ این تابع مستقل از رابطه ۳ می‌باشد. با حل معادله‌های ۲ و ۳ به صورت هم‌زمان در لحظه t ، می‌توان فشار و ضریب انحراف گاز را تعیین نمود، سپس با داشتن مقادیر C و n از معادله عملکرد درونی چاه (IPR) و معلوم بودن دبی تولیدی و فشار متوسط مخزن، فشار بن چاه قابل محاسبه است (رابطه ۴).

$$Q = C(P_{av}^2 - P_{wf}^2)^n \quad (4)$$

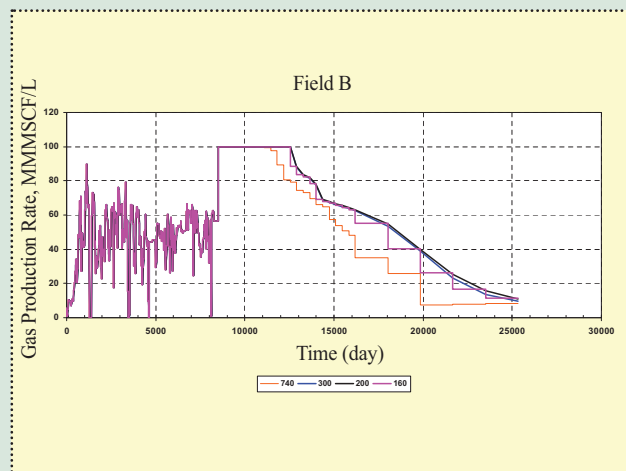
برای تعیین این که آیا فشار کنونی مخزن، توان تولید و حفظ دبی در نظر گرفته شده را داراست یا خیر، از روابط عملکرد لوله مغزی (TPR) که مربوط به میزان افت فشار در رشته تولیدی به ازای مقدار معین تولید و فشار سرچاهی معین می‌باشد، استفاده می‌گردد؛ به طوری که حداقل فشار جریان بن چاه (P_{wf}^2) که برای تأمین حداقل فشار سرچاهی و دبی مورد نظر نیاز است، بر اساس عملکرد لوله مغزی محاسبه شده و اگر مقدار به دست آمده کم‌تر از فشار جریان (P_{wf}) به دست آمده از معادله ۴ باشد، بیانگر وجود توان مخزن برای تولید با شرایط فعلی است، بنابراین به زمان بعدی t^2 رفته و این الگوریتم تا زمانی که شرایط یاد شده برقرار باشد، ادامه پیدا می‌کند. محاسبات انجام شده تا این مرحله بر مبنای دبی ثابت برای یک حداقل فشار سرچاهی است؛ بعد از این که فشار جریان سرچاهی



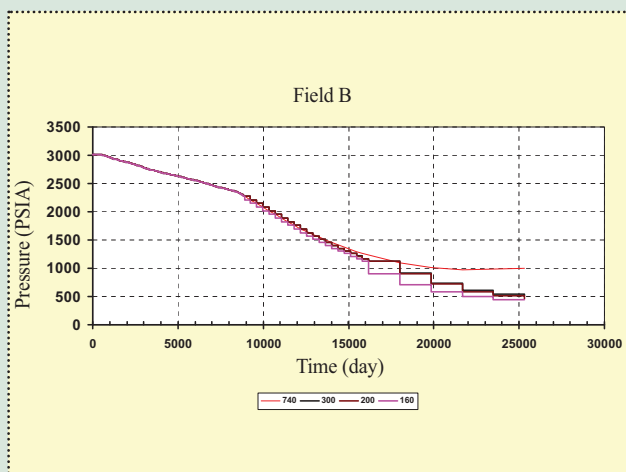
² Time step



شکل ۴ | دبی روزانه میدان B در چهار سناریو با استفاده از روش جدید



شکل ۵ | دبی روزانه میدان B در چهار سناریو با استفاده از نرم افزار تجاری



شکل ۶ | تغییرات فشار مخزن بر حسب زمان در چهار سناریو (خروجی نرم افزار تجاری)

۲- کاهش فشار مخزن به اندازه چند واحد فشار
۳- به دست آوردن پتانسیل تولید چاه با استفاده از فشار مخزن محاسبه شده در بند ۲ و حداقل فشار سرچاهی (تلفیق IPR و TPR)

۴- محاسبه متوسط دبی به ازای این افت فشار

$$\log(Q_{av}) = \frac{\log(Q_1) + \log(Q_2)}{2} \quad (5)$$

۵- محاسبه گاز تولید شده در قبال این افت فشار از طریق اختلاف در تولید تجمعی پیشین و فعلی

۶- محاسبه مدت زمان دبی بند ۳ (بعد از تثبیت دبی) از تقسیم تولید تجمعی (بند ۵) بر دبی متوسط (بند ۴)

۷- تکرار الگوریتم از بند ۲ تا رسیدن به محدودیت تعریف شده (مثال: حداقل دبی با صرفه اقتصادی)

هم چنین ذکر این نکات ضروری به نظر می رسد که:

۱- تعداد چاه های فعال در طول دوره شبیه سازی ثابت است.

۲- تولید از چاه ها به مقدار مساوی فرض می شود.

۳- پتانسیل تولیدی همه چاه ها یکسان فرض می شود.

۴- دبی چاه ها به گونه ای انتخاب می شود که وقوع پدیده مخروطی شدن تا حد ممکن به تأخیر افتد.

جدول ۱ | داده های مربوط به میدان

ملاحظات	واحد	مقدار	داده مورد نیاز
فازنه مواد مخزن با رفتار حجمی	دبی تولید بهینه از هر چاه	۱/۱۲	میلیون متر مکعب در روز
	تولید از کل میدان	۱۵/۵	میلیون متر مکعب در روز
	فشار اولیه مخزن	۳۳۰۰	پام
	دمای مخزن	۱۹۰	فازنه های
	ضریب انحراف گاز در شرایط اولیه	۰/۹۰۶	
مربوط به عملکرد درون چاهی (TPR)	حداقل فشار سر چاه	۱۸۰۰	پام
	اندازه کاهنده	۶۴/۶۴	
	قطر داخلی لوله مغزی	۶/۱۸۴۰	اینچ
	وزن مخصوص گاز	۰/۶۵۴۵	
	درصد مولی N ₂ در گاز	۰/۰۴۷۳	
	درصد مولی CO ₂ در گاز	۰/۰۰۷	
	درصد مولی H ₂ S در گاز	۰	
	دمای گاز در سر چاه	۹۵	فازنه های
	طول متوسط لوله مغزی در چاه ها	۱۰۲۰۰	فوت
	متوسط زاویه انحراف چاه	۲	درجه
عملکرد درون چاهی (IPR)	ضریب C در معادله IPR	۰/۰۰۱۶	MMm ³ /day Psi ²
	مقدار n در معادله IPR	۰/۵۰۰۲	
	AOF	۵/۲۵	میلیون متر مکعب در روز
کل زمان اجرای برنامه	۲۵	سال	



در این الگوریتم به یک رابطه بین دبی تولید گاز و افت فشار حاصل از آن نیاز است، که رابطه ۴ همین نقش را ایفا می‌کند. یک روش دیگر برای بیان این رابطه، استفاده از معادلات تحلیلی است که پارامترهای آن از طریق چاه‌آزمایی قابل محاسبه می‌باشند. به‌عنوان مثال، معادله جریان گاز در یک سیستم شعاعی به شرح رابطه ۶ است. در این باره مجهولات معادله ۶ در میدان A تعیین شده، سپس در الگوریتم اعمال گردید و نتایج حاصله نیز قابل قبول بود.

$$Q = \frac{kh(\bar{p}^2 - p_{wf}^2)}{1424 \bar{\mu} \bar{Z} T \left(\ln \frac{0.472re}{rw} + s + Dq \right)} \quad (6)$$

پارامترهای این معادله عبارتند از: K، تراوایی سنگ مخزن (میلی داریسی)؛ h، ضخامت مخزن (ft)؛ \bar{p} ، فشار متوسط مخزن (پام)؛ P_{wf} ، فشار بین چاه (پام)؛ $\bar{\mu}$ ، گرانیوی سیال گاز (cp)؛ \bar{Z} ، ضریب انحراف گاز؛ T، دمای مخزن (R)؛ re، شعاع خارجی مخزن (ft)؛ \bar{w} ، شعاع چاه (ft)؛ S، ضریب پوسته؛ D، ضریب انحراف از جریان داریسی (day/Mscf)؛ Q، دبی تولیدی (Mscf/day).

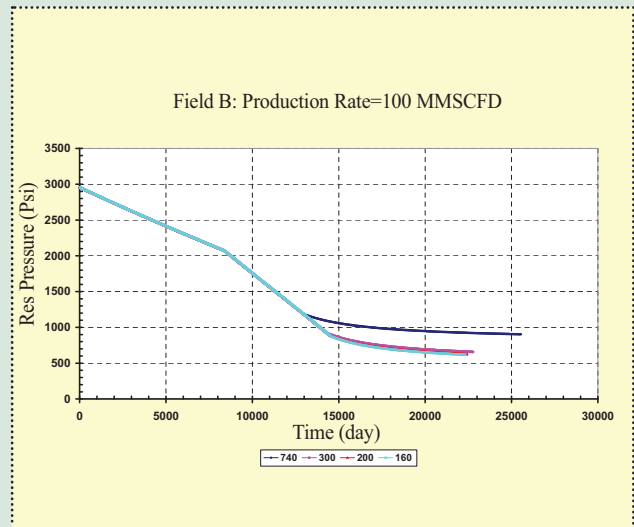
♦ نتیجه گیری

- مهم‌ترین نتایج این مطالعه را می‌توان به صورت ذیل خلاصه نمود:
- ۱- الگوریتم پیشنهادی می‌تواند در پیش‌بینی تولید میدانی گازی با رفتار حجمی، به عنوان یک روش ساده و سریع مورد استفاده واقع شود.
 - ۲- نتایج حاصل از این الگوریتم در مقایسه با خروجی نرم‌افزار شبیه‌ساز تجاری رضایت‌بخش است.
 - ۳- این الگوریتم برای میدانی توسعه یافته نیز به عنوان یک تخمین، قابل استفاده می‌باشد.
 - ۴- به علت حل معادله موازنه مواد، می‌توان با آگاهی از عملکرد میدان، آبرده نیز به مدل اضافه نمود.

♦ منابع

- [1] Craft, B.C. and Hawkins, M.F. (1991). Applied Petroleum Reservoir Engineering. Englewood. Prentice-Hall, Inc.
- [2] McCain, W.D. (1990). The Properties of Petroleum Fluids. Tulsa, Oklahoma, Penn Well Books.
- [3] Guo, B. and Ghalambor, A. (2005). Natural Gas Engineering Handbook. Houston, Gulf Pub. Co.
- [4] Chaudhry, A. U. (2003). Gas Well Testing Handbook. Houston, Tex, Gulf Pub. Co. PP 570-622.

³ Back pressure



شکل ۷ | تغییرات فشار مخزن بر حسب زمان در چهار سناریو به‌وسیله الگوریتم جدید در میدان B

برای به‌دست آوردن معادله عملکرد درون چاهی (IPR)، پیشنهاد می‌شود که از آزمایش پس فشار^۳ استفاده شود (به شرط این که چاه تمیز بوده و در صورت نیاز، اسیدکاری انجام شده باشد). خروجی الگوریتم، متأثر از معادله IPR مخزن است؛ بنابراین برای به‌دست آوردن نتیجه دقیق‌تر، باید معادله یاد شده از اعتبار بالایی برخوردار باشد.

برای بررسی نتایج حاصل از الگوریتم پیشنهادی، یک برنامه کامپیوتری در محیط Excel نوشته شد، این الگوریتم همه مراحل این روش را به‌صورت خودکار انجام می‌دهد. به منظور انجام مطالعه، دو میدان A و B در نظر گرفته شدند و خروجی یک نرم‌افزار شبیه‌ساز تجاری (Eclipse) با الگوریتم مورد بحث مقایسه گردید.

شکل ۲ تغییرات دبی گاز و تولید تجمعی را با زمان برای میدان A با دو روش متفاوت نشان می‌دهد. در این سناریو، حداقل فشار سر چاه ۱۸۰۰ پام می‌باشد. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، برای هر دو روش، زمان تثبیت دبی تقریباً یکسان بوده و برای کل دوره شبیه‌سازی، نتیجه مشابهی به‌دست آمده است. شکل ۳، تغییرات فشار متوسط مخزن را با زمان نشان می‌دهد. در این شکل شیب کاهش فشار تا پایان زمان دبی یکنواخت یکسان است و بعد از آن با ثابت نگاه داشتن فشار جریانی سر چاه، میزان دبی کاهش می‌یابد. داده‌های ورودی این سناریو در جدول ۱ آورده شده است.

میدان A فاقد تاریخچه تولید می‌باشد، بنابراین برای ارزیابی مدل با یک میدان دارای تاریخچه تولید، میدان B انتخاب شده است. همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود، می‌توان در طول دوره تولید، دبی روزانه را به‌طور متوسط ۵۰ میلیون فوت مکعب در روز در نظر گرفت و بعد از آن، طبق سناریوی موجود، ۱۰۰ میلیون فوت مکعب در روز در نظر گرفته شود. در این میدان، نکته دارای اهمیت آن است که پیش‌بینی تولید میدان به روش حجمی تا زمان پایان تثبیت دبی با نتایج نرم‌افزار شبیه‌ساز تجاری تقریباً یکسان می‌باشد.