



شاخص بهره‌دهی و چگونگی استفاده از آن در مخازن گازی

محسن صفری بیدختی ■ کارشناس ارشد حفاری و بهره‌برداری نفت، شرکت ملی نفت ایران
فرود کریمی ■ کارشناس ارشد حفاری و بهره‌برداری نفت، شرکت ملی نفت ایران

چکیده

پایش چاه و بررسی تغییرات پتانسیل تولیدی آن در دوره تولید، از مهم‌ترین مسائل موجود در بهره‌برداری از مخازن نفت و گاز است. این مهم در چاه‌های گازی به دلیل پیچیده‌تر بودن حرکت سیال از مخزن به داخل چاه در مقایسه با چاه‌های نفت، به مراتب مشکل‌تر است. از طرف دیگر، مقایسه پتانسیل تولیدی چاه‌ها با یکدیگر برای برنامه‌ریزی تولید و عملیات مختلف روی چاه از دیگر مسائل موجود در مهندسی بهره‌برداری است. هر چند شبیه‌سازی چاه‌های گازی بهترین راه مطالعه پتانسیل تولیدی آنهاست، اما در عمل به استفاده از این روش به دلیل نیاز به اطلاعات زیاد و همچنین ساده نبودن آن، کمتر توجه می‌شود. در این بین استفاده از شاخص بهره‌دهی که پتانسیل تولیدی چاه‌ها را به صورت بسیار ساده و در قالب یک عدد بیان می‌کند، می‌تواند بسیار مفید باشد.

در این تحقیق سعی بر آن است تا با استفاده از نتایج آزمایش جریان بعد از جریان، روش ساده و قابل استفاده‌ای برای به دست آوردن شاخص بهره‌دهی در چاه‌های گازی ارائه داد. در انتها نیز برای نشان دادن کاربردی بودن این روش، به بررسی نمونه‌های واقعی پرداخته می‌شود.

واژه‌های کلیدی | شاخص بهره‌دهی، پتانسیل تولید، مخازن گازی

مقدمه

نیست. دلیل این امر پدیده توربولنسی است که افت فشار اضافی بوجود می‌آورد. این موضوع در روابط IPR موجود (روابط فتکوویچ، جونز و...) نیز به راحتی مشاهده می‌شود [۱]. از آنجا که شاخص بهره‌دهی معکوس شیب نمودار IPR است، مقدار آن نیز در نقاط مختلف نمودار متفاوت خواهد بود. در این شرایط می‌توان سه نوع شاخص بهره‌دهی برای یک چاه گازی تعریف کرد:

۱-۱- شاخص بهره‌دهی ظاهری

برای به دست آوردن این مقدار در هر نقطه نمودار، می‌توان مقدار دبی و فشار را در رابطه (۱)، جایگزین و نتیجه را به منزله عددی که ظاهراً بیان‌کننده شاخص بهره‌دهی است، گزارش کرد. در این مورد در واقع از ابتدای نمودار IPR خطی به نقطه مورد نظر، رسم و معکوس شیب این خط به دست آورده می‌شود. عدد حاصل شده شیب ظاهری منحنی نمودار است که با شیب لحظه‌ای منحنی در آن نقطه (خط مماس بر منحنی) متفاوت خواهد بود. شکل ۱ بیان‌کننده تفاوت این دو نوع شیب است.

۱-۲- شاخص بهره‌دهی واقعی

این مقدار در واقع شیب واقعی نمودار دبی در برابر توان فشار

شاخص بهره‌دهی پارامتر مهمی است که در واقع توصیف‌کننده توانایی مخزن در انتقال سیال به درون چاه است. این پارامتر در مخازن نفتی زیر فشار اشباع که رابطه دبی با فشار تولیدی خطی است، به صورت معکوس شیب نمودار IPR (نمودار فشار چاه-دبی تولیدی) تعریف می‌شود. در واقع این شاخص، مقدار دبی تولیدی چاه را به ازای یک واحد افت فشار نشان می‌دهد، اما از آنجا که در مخازن گازی دبی تولیدی با فشار چاه رابطه خطی ندارد، استفاده از این پارامتر نیز کمی مشکل‌تر خواهد بود. در ادامه، چگونگی استفاده از این پارامتر و کاربرد آن در مخازن گازی همراه با نمونه‌های واقعی تشریح می‌شود.

۱- شاخص بهره‌دهی در مخازن گازی

مطابق قانون دارسی در مخازن گازی بر خلاف مخازن نفتی، دبی تولیدی متناسب با توان دوم فشار است. بنابراین تعریف شاخص بهره‌دهی در این مخازن به صورت رابطه (۱) معرفی می‌شود [۱]:

$$PI = \frac{Q_g}{P_s^2 - P_f^2} \quad (1)$$

اگر نمودار توان دوم فشار را بر حسب دبی تولیدی متناظر با آن ترسیم کنیم، خواهیم دید این رابطه نیز مخصوصاً در دبی‌های بالا خطی

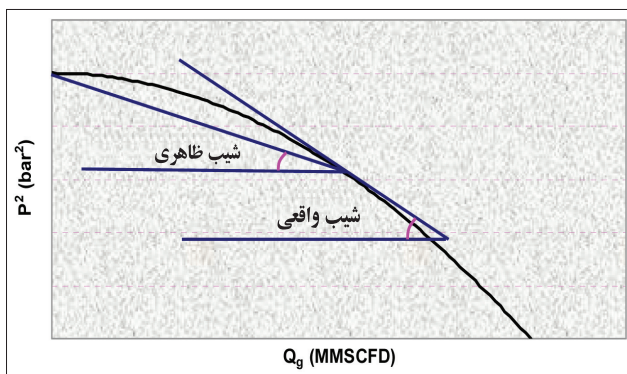
برای مقایسه بین چاه‌های مختلف، علاوه بر طول بازه تولیدی، به شرایط دیگر چاه از جمله مقدار فشار مخزن در آن بخش، تکمیل چاه و غیره باید توجه کرد.

در این مطالعه، یکی از میداین گازی کشور بررسی شده است. نوع تکمیل چاه در چاه‌های این میدان، یکسان و طول بازه تولیدی نیز تفاوت چندانی نداشته است. به همین دلیل از شاخص بهره‌دهی متوسط همراه با در نظر گرفتن مقدار فشار بسته چاه استفاده شد.

۳-۱ شاخص بهره‌دهی در تعدادی از چاه‌های یک میداین گازی

با استفاده از اطلاعات حاصل از آخرین آزمایش روی تعدادی از چاه‌های یکی از میداین گازی مقادیر شاخص بهره‌دهی متوسط آنها، محاسبه و نمودار آنها به همراه مقدار فشار بسته چاه در شکل ۲ ترسیم شده است. همان‌گونه که از نمودار پیداست، چاه شماره ۱ قوی‌ترین چاه است

متوسط ظاهری	PI ظاهری	متوسط واقعی	PI واقعی
۰/۰۰۹۰۸	۰/۰۱۸۳۳	۰/۰۰۶۷۳	۰/۰۱۳۵۹
	۰/۰۱۰۶۸		۰/۰۰۷۹۲
	۰/۰۰۹۱۰		۰/۰۰۶۷۴
	۰/۰۰۸۲۶		۰/۰۰۶۱۲
	۰/۰۰۷۷۱		۰/۰۰۵۷۱
	۰/۰۰۷۳۱		۰/۰۰۵۴۲
	۰/۰۰۷		۰/۰۰۵۱۹
	۰/۰۰۶۷۵		۰/۰۰۵
	۰/۰۰۶۵۴		۰/۰۰۴۸۵



شیب ظاهری و واقعی در نمودار IPR

در هر نقطه است. برای محاسبه این شاخص در صورت داشتن رابطه دبی بر حسب توان دوم فشار، می‌توان در هر نقطه از دبی نسبت به توان دوم فشار مشتق گرفت و مقدار آن را به منزله شاخص بهره‌دهی واقعی گزارش کرد. مثلاً اگر فرض کنیم داده‌های چاه از رابطه فتکوویچ تبعیت می‌کنند، شیب نمودار در هر نقطه با رابطه زیر برابر خواهد بود:

$$\frac{dQ_g}{dP_f^2} = n.C.(P_s^2 - P_f^2)^{n-1} \quad (2)$$

چنانچه ملاحظه می‌شود، عدد حاصل از رابطه بالا برابر با شاخص بهره‌دهی واقعی خواهد بود؛ چرا که این مقدار، شیب نمودار دبی در برابر توان دوم فشار است (دبی متغیر وابسته است) نه برعکس آن! ناگفته پیداست، شاخص بهره‌دهی واقعی نیز از نقطه‌ای به نقطه دیگر تفاوت دارد.

۳-۲ شاخص بهره‌دهی متوسط

مقادیر شاخص بهره‌دهی ظاهری و واقعی برای هر چاه یک عدد ثابت نیستند و از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت خواهند بود، اما هدف از تعریف شاخص بهره‌دهی نشان دادن پتانسیل تولیدی یک مخزن در یک چاه با عددی مشخص است و تعریف کردن آن به صورت نقطه‌ای نمی‌تواند در عمل استفاده شود. به همین منظور در اینجا شاخص بهره‌دهی متوسط برای هر چاه تعریف می‌شود که برای هر چاه مقداری ثابت خواهد بود. برای بدست آوردن شاخص بهره‌دهی متوسط، مقدار واقعی آن در نقاط مختلف به دست می‌آید و میانگین آنها محاسبه می‌شود. مقادیر شاخص‌های بهره‌دهی ظاهری، واقعی و متوسط برای یکی از چاه‌های میداین گازی کشور در جدول ۱ و متوسط مقادیر شاخص بهره‌دهی ظاهری نیز برای مقایسه آورده شده است.

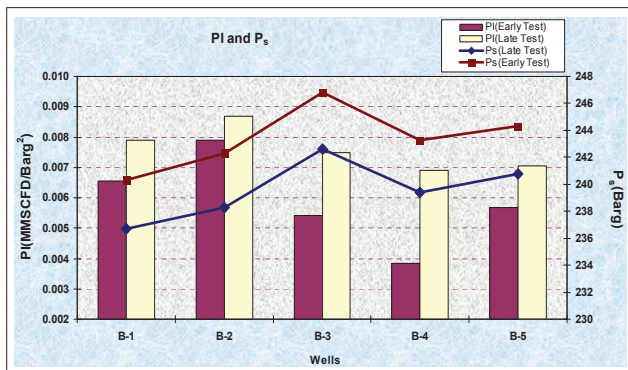
۲- شاخص بهره‌دهی ویژه

از شاخص بهره‌دهی برای مقایسه تغییرات پتانسیل تولید یک چاه در یک دوره تولیدی مشخص یا بررسی تأثیر عملیات مختلف (اسیدزنی، مشبک کاری) روی یک چاه استفاده می‌شود، اما اگر هدف، مقایسه پتانسیل تولید چاه‌های مختلف یک میدان باشد، شاخص بهره‌دهی ویژه برای مقایسه بهتر کاربرد دارد که به این صورت تعریف می‌شود [۲]:

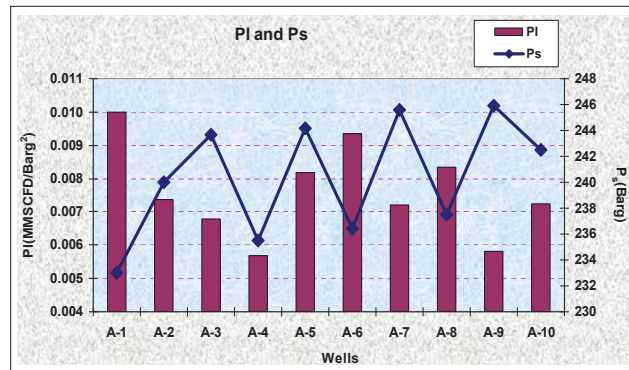
$$PI = \frac{Q_g}{h.(P_s^2 - P_f^2)} \quad (3)$$

این شاخص در واقع توانایی «واحد طول مخزن» را در یک چاه در انتقال سیال به درون چاه نشان می‌دهد. استفاده از این پارامتر نیز مشکلاتی به همراه دارد. برای نمونه ممکن است در یک چاه، بازه نسبتاً وسیعی مشبک کاری شده باشد، اما فقط بخشی از آن پتانسیل تولید مناسبی داشته باشد.

در انتها لازم به ذکر است که در صورت استفاده از شاخص بهره‌دهی



شکل ۳ | شاخص بهره‌دهی متوسط و فشار بسته‌چاه در تعدادی از چاه‌های یک میدان گازی



شکل ۴ | شاخص بهره‌دهی متوسط و فشار بسته‌چاه در تعدادی از چاه‌های یک میدان گازی

فشار بسته‌چاه در مقدار شاخص بهره‌دهی تأثیر بیشتری در مقایسه با مقدار دبی دارد، عملیات مشبک کاری جدید روی چاه شماره ۲ تأثیر چندانی نداشته است. باید دقت کرد، ممکن است دلیل این امر بوجود آمدن اثر ضریب پوسته‌ای در اطراف چاه بر اثر عملیات مشبک کاری جدید باشد. بنابراین، این چاه در اولویت اول عملیات اسیدکاری خواهد بود. بیشترین تأثیر عملیات مشبک کاری جدید نیز روی چاه‌های شماره ۳ و ۴ دیده می‌شود.

نتیجه‌گیری

- ۱- شاخص بهره‌دهی پارامتری است که پتانسیل تولید یک چاه را به صورت ساده بیان می‌کند. بنابراین تغییرات پتانسیل تولیدی یک چاه در بازه تولیدی به کمک این شاخص قابل انجام است.
- ۲- مقایسه وضعیت تولیدی چاه‌های مختلف یک میدان می‌تواند به کمک شاخص بهره‌دهی ویژه انجام شود.
- ۳- به کمک شاخص بهره‌دهی، بررسی اثر عملیات مختلف انجام‌شده روی یک میدان بسیار شفاف‌تر و ساده‌تر از روش‌های دیگر قابل انجام است.
- ۴- در بررسی‌هایی که با شاخص بهره‌دهی انجام می‌شود- همانند مطالعات دیگر- توجه به سایر پارامترها از جمله فشار بسته‌چاه ضروری است.
- ۵- در بررسی تعدادی از چاه‌های یک میدان گازی، چاه شماره ۲ پس از انجام عملیات مشبک کاری اخیر در اولویت انجام اسیدکاری قرار دارد.

و پس از آن چاه‌های شماره ۵، ۶ و ۸ قرار می‌گیرند. ضعیف‌ترین چاه نیز چاه‌های شماره ۴ و ۹ هستند. باید دقت داشت که چاه شماره ۹ با داشتن شاخص بهره‌دهی نزدیک به چاه شماره ۴، به مراتب وضعیت بهتری دارد. دلیل این امر این است که چاه شماره ۹، فشار بسته‌چاه بالاتری نسبت به چاه شماره ۴ دارد. با توجه به اینکه تفاضل توان دوم فشار در مخرج رابطه (۱) قرار دارد، در تفاوت‌های کوچک شاخص بهره‌دهی، تأثیر فشار بیشتر از مقدار دبی خواهد بود.

۴- بررسی اثر مشبک کاری جدید در تعدادی از چاه‌های یکی از میداین گازی

برای نشان دادن کاربردی بودن شاخص بهره‌دهی، در این بخش به بررسی اثر عملیات مشبک کاری و تأثیر آن بر پتانسیل تولید چاه پرداخته می‌شود. بدین منظور از تعدادی از چاه‌های یکی از میداین گازی که عملیات مشبک کاری جدیدی روی آن انجام شده است، پنج چاه انتخاب شدند و نتایج آزمایش‌ها روی آنها، قبل و بعد از عملیات ذکر شده بررسی شد. مقادیر شاخص بهره‌دهی متوسط برای این چاه‌ها، محاسبه و در شکل ۳ همراه با مقادیر فشار بسته‌چاه آورده شده است. البته، عملیات اسیدکاری پس از عملیات مشبک کاری روی این چاه‌ها انجام نشده است.

با توجه به این شکل مقادیر شاخص بهره‌دهی متوسط پس از عملیات افزایش یافته است. باید توجه داشت، فشار بسته‌چاه پس از عملیات مقادیر پایین‌تری دارد و چاه‌های ذکر شده در فاصله بین دو آزمایش انجام شده تولید داشته‌اند و افت فشار ناشی از تخلیه طبیعی مخزن بوده است. با توجه به این امر و با عنایت این نکته که تغییرات

منابع

[1] Michael Golan, Curtis H. Whitson, "WELL PERFORMANCE", 2nd Edition, Norwegian University of Science and Technology (NTNU), Prentice-Hall, Inc., Tappir, 1991.

[2] Thomas O. Allen, Allen P. Roberts, "Production Operation (Well Completion, Workover and Stimulation)", 4th Edition, OGCI and PetroSkills Publications, Tulsa, Oklahoma, 1993.