

شبیه‌سازی فراز آوری مصنوعی، به وسیله نرم افزار PIPE SIM در یکی از چاه‌های مخازن جنوب غرب ایران

سجاد پیدایش ■ دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت

جمشید مقدسی ■ دکترای مهندسی نفت، رئیس دانشکده نفت آبادان و عضو هیئت علمی دانشکده صنعت نفت

چکیده

معمولاً وقتی چاهی در مخزنی دست نخورده حفر می‌شود، هیدروکربن‌ها به‌طور طبیعی به سطح جریان می‌یابند، اما بر اثر تولید به‌طور معمول از فشار مخزن کاسته می‌شود و درصد آب همراه نفت تولیدی و میزان نسبت گاز به نفت تولیدی افزایش می‌یابد. این عوامل در کنار هم باعث می‌شوند، جریان سیال از چاه کند و در نهایت قطع شود. بدین منظور برای حفظ یا تقویت تولید، از روش‌های فراز آوری مصنوعی استفاده می‌شود. چاه مورد مطالعه در این مقاله، سالیانه افت فشار تحتانی قابل توجهی دارد؛ به گونه‌ای که اکنون با فشار جریانی سرچاهی موجود، ارسال نفت این چاه به تفکیک‌گر مرحله اول واحد بهره‌برداری امکان ندارد. از جمله راهکارهای موجود برای حفظ یا افزایش تولید و افزایش فشار جریانی سرچاهی، استفاده از فراز آوری مصنوعی است. در این مقاله سعی شده است با استفاده از اطلاعات چاه و به وسیله داده‌های آزمایش فشار استاتیک و جریانی و داده‌های تولید فعلی با نرم افزار PIPE SIM اثر استفاده از لوله مغزی، فراز آوری با گاز و نصب پمپ الکتریکی شناور بر میزان دبی تولید و فشار جریانی سرچاهی شبیه‌سازی و بررسی، سپس بهترین روش فراز آوری برای چاه مورد مطالعه انتخاب شود. در نهایت نصب پمپ الکتریکی شناور بهترین روش فراز آوری مصنوعی مشخص و انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی | فشار جریانی سرچاهی، فراز آوری مصنوعی، اطلاعات چاه، افت فشار، دبی تولید

مقدمه

وقتی انرژی طبیعی که همراه نفت در مخازن ذخیره شده است، برای بالا آوردن آن به سطح زمین کافی نباشد یا نتواند حجم قابل قبولی از نفت را به سطح زمین آورد، باید با یکی از روش‌های مصنوعی تقویت شود. پیشرفت روزافزون و پرشتاب صنایع و افزایش جمعیت از یک سو و محدود بودن ذخایر نفت و گاز و غنی بودن کشور ایران از این ذخایر که منبع اصلی درآمد و ارز آوری برای آن محسوب می‌شود، از سوی دیگر موجب شده است، لزوم استفاده بیشتر و بهینه از این منابع، جدی‌تر به نظر رسد. بنابراین باید با استفاده از روش‌های علمی و جدید، تسهیلاتی فراهم آیند تا در عمر مفید مخزنی نفتی، تولید، بیشتر و در عین حال بهینه شود.

مهندسان با استفاده از نرم افزارهای شبیه‌ساز چاه که هر روز توسعه می‌یابند و تکمیل می‌شوند، شرایطی که باید در عمل با صرف هزینه‌های بالا بر چاه‌ها پیاده شوند را شبیه‌سازی و با فراهم کردن شرایط مختلف و مقایسه نتایج بدست آمده، بهترین گزینه را از بین گزینه‌های پیش رو، انتخاب و اجرا می‌کنند [۱].

یکی از نرم افزارهای موجود برای شبیه‌سازی جریان سیالات در چاه‌ها و خطوط لوله، نرم افزار PIPESIM است. امروزه این نرم افزار کمک‌های بسیار زیادی در چگونگی استفاده از دانش و فناوری جدید در بخش تولید و

بهره‌برداری عرضه می‌کند.

در این مقاله یکی از چاه‌های مخزن اهواز که با مشکل افت فشار و کاهش تولید مواجه است، با توجه به تاریخچه تولید چاه و افت فشار سالیانه مخزن از نظر وضعیت تولید، راندن لوله مغزی، استفاده از فراز آوری با گاز و بکارگیری پمپ الکتریکی شناور (ESP)، بررسی و شبیه‌سازی و میزان دبی تولیدی و فشار جریانی حاصل شده از هر سه روش، مقایسه و در نهایت بهترین روش عملیاتی برای چاه مورد مطالعه انتخاب می‌شود. در این مطالعه هدف اصلی بهینه‌سازی تولید و فرآورش، تأمین فشار جریانی سرچاهی مورد نیاز برای تفکیک سیال تولیدی در مرحله اول تفکیک‌گر و کاهش هزینه‌هاست.

۱- معرفی چاه

چاه نفتی مورد مطالعه، در یکی از میادین جنوب غرب ایران است. مشخصات سیال تولیدی و تکمیل چاه در جدول ۱ بیان شده‌اند. نفت این چاه تولیدی از سازند بنگستان (سروک G) است. فشار جریانی سرچاهی آن، برابر ۱۹۵ psia و حد فاصل عمق تولیدی چاه بین ۳۶۲۵ تا ۴۰۰۸ متر حفار است. تکمیل این چاه، به صورت حفرة باز و لازم به ذکر است، حداقل فشار جریانی سرچاهی مورد نیاز برای ارسال سیال تولیدی به مرحله اول تفکیک واحد بهره‌برداری برابر ۵۰۰ psia است.



۲- تأثیر راندن لوله مغزی در بهبود شرایط جریانی

تولید از یک لوله جداري با قطر زياد و در دبی های پايين، سبب بروز مسائلي از قبيل انباشت مايع و تشکيل رژيم جريانی نامناسب (لخته ای) در ستون چاه می شود. این اثر، به دليل سرعت پايين سيال در حفرة چاه و تفاوت دانسیته گاز و مايع است و در شرایطی که آب توليد شود، نمود بیشتری می يابد [۲]. یکی از راه های پیشنهادی برای افزایش سرعت جریان و کاهش افت فشار زياد ناشی از میزان انباشت مايع، کاهش سطح عبور جريان در حفرة چاه است. بدین منظور تأثیر راندن لوله مغزی به درون چاه های توليد نفت، با هدف بهبود رژيم جریانی و افزایش فشار جریانی سرچاهی مطالعه شده است.

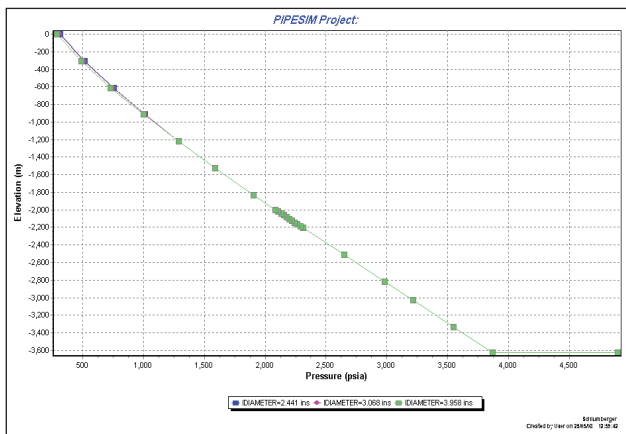
۲-۱- حساسیت سنجی نسبت به اندازه لوله مغزی و تأثیر آن بر فشار جریانی سرچاهی

در این قسمت تأثیر طول و قطر های مختلف لوله مغزی بر فشار جریانی سرچاهی و دبی توليد، بررسی می شود و نتایج بر منحنی رسم شده است. با استفاده از نتایج بدست آمده محدوده مناسب انتخاب قطر و طول لوله مغزی که می تواند بیشترین فشار جریانی سرچاهی را فراهم کند، تعیین شده است. ضمناً همه محاسبات در مدل Black Oil انجام شده است.

قطر ها به ترتیب ۲/۴۴۱، ۳/۰۶۸، ۳/۹۵۸ اینچ و طول ها، ۱۶۰۰، ۲۰۰۰ و ۲۵۰۰ متر حفار هستند. بعد از شبیه سازی ها، مشخص شد راندن لوله مغزی تا

عمق ۲۰۰۰ متر و قطر ۲/۴۴۱ اینچ بهترین انتخاب است که به ایجاد فشار جریانی سرچاهی ۳۱۲ psia منجر می شود، اما بازم قادر به تأمین حداقل فشار جریانی سرچاهی ۵۰۰ psia برای ارسال نفت به مرحله اول تفکیک واحد بهره برداری نیست. بنابراین گزینه فراز آوری مصنوعی باید در دستور کار قرار گیرد. نتایج حاصل از تغییر قطر لوله مغزی به طول ۲۰۰۰ متر حفار در چاه در شکل ۱ و جدول ۳ بیان شده است.

همچنین شکل ۲ (منحنی عملکرد inflow و outflow که برای پیش بینی دبی توليد استفاده می شود) و جدول ۴ اثر بکار گیری لوله مغزی به طول ۲۰۰۰ متر و قطر های مختلف را در فشار جریانی سرچاهی ۵۰۰ psia بر دبی توليد نشان می دهند. در این حالت چاه می تواند ۴۱۸ بشکه مايع در روز توليد کند که کمتر از ۷۰۰ بشکه دبی توليدي مورد نظر خواهد بود و بنابراین استفاده از فراز آوری مصنوعی ضروری است.



شکل ۱ | بررسی اثر تغییرات قطر لوله مغزی با طول ۲۰۰۰ متر بر عملکرد فشار سرچاهی

جدول ۳ نتایج حاصل از تغییر قطر و طول لوله مغزی بر فشار جریانی سرچاهی			
قطر مغزی ins	۲/۴۴۱	۳/۰۶۸	۳/۹۵۸
طول مغزی m	فشار psia	فشار psia	فشار psia
۱۶۰۰	۳۰۱/۲	۲۹۹/۲	۲۷۹
۲۰۰۰	۳۱۲/۲	۳۰۸/۷	۲۸۶/۹
۲۵۰۰	۱۹۱/۷	۱۹۲/۱	۱۹۱/۹

جدول ۴ اثر بکار گیری لوله مغزی به طول ۲۰۰۰ متر و قطر ۲/۴۴۱ اینچ در فشار جریانی سرچاهی ۵۰۰ psia بر دبی توليد	
قطر لوله مغزی inch	دبی توليد مايع STB/d
۲/۴۴۱	۴۱۸
۳/۰۶۸	۳۹۷
۳/۹۵۸	۳۶۱

جدول ۱ | مشخصات تکمیل چاه

عمق آستری (متر حفار)	عمق جداري (متر حفار)
۵"	۹۵/۸"
۲۲۰۶/۵	۳۶۲۵
۳۰۲۸	

جدول ۲ | مشخصات سیال تولیدی چاه

دمای مخزن °F	۲۵۰
دمای سطحی °F	۵۰
نسبت گاز به نفت scf/stb	۴۲۸
درجه سبکی نفت API°	۲۳
وزن مخصوص گاز	/۷۵
شاخص بهره دهی tb/d/psia	/۶۸
فشار جریانی سرچاهی psia	۱۹۵
آب همراه %	۱
وزن مخصوص آب	۱/۱
دبی توليد stb/d	۷۰۰
ضریب حجمی نفت rbbl/stb	۱/۳۵

۳-۱- مزایای فراز آوری با گاز

- این سیستم در مقابل هر دبی تولیدی و هر عمقی انعطاف دارد که این امر مهم ترین مزیت استفاده از سیستم فراز آوری با گاز است.
- کم بودن تعداد اجزای مکانیکی و قابلیت کاربرد در نواحی ساحلی.
- لوله / سیستم تولید می تواند مواد جامد را با مشکلات کمتری جابه جا کند.
- سیستم (فراز آوری پیوسته) می تواند دبی سیال تولیدی زیادی را در جاهایی با شاخص بهره وری بالا جابه جا کند.
- سیستم معمولاً با خوردگی ناسازگار نیست [۴].
- برای تکمیل کردن چاه، آسان ترند (ساده تر) و سیم رانی (wire line)، تعمیر پذیر است.

۳-۲- محدودیت ها و معایب استفاده از فراز آوری با گاز

- نیاز به منبع گاز و تراکم پذیری احتمالی.
- نیاز به تعویض یا سرویس مکرر شیرهای فراز آوری با گاز.
- مشکل بودن تخلیه کامل چاه های با فشار و بهره وری پایین.
- گاز فراز آوری همیشه با حجم یا فشار مورد نیاز، در دسترس نیست.
- برای میداین کوچک و یا بکارگیری آن برای یک چاه سودمند نیست (مخصوصاً اگر به تجهیزات تراکم سازی نیاز باشد).
- سودمند نبودن بکارگیری آن برای نفت های ویسکوز و امولسیون ها.
- تحت شرایط خاص، گاز یخ می زند و هیدرات ها ممکن است مشکلات در پی داشته باشند.

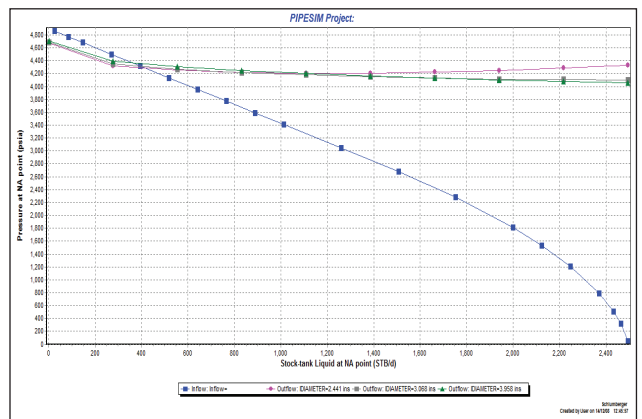
۳-۳- شبیه سازی فراز آوری با گاز

در این قسمت ابتدا تعیین مقادیر بهینه دبی و فشار گاز تزریقی، شبیه سازی؛ سپس در ادامه مراحل شبیه سازی به تعیین مکان قرارگیری شیرهای فراز آوری با گاز، ویژگی های هر شیر، تعیین میزان دبی تولیدی و میزان فشار جریان سیال سرچاهی اقدام شد. بعد از شبیه سازی ها، میزان دبی بهینه گاز تزریقی حدود ۴ mmscf/d،

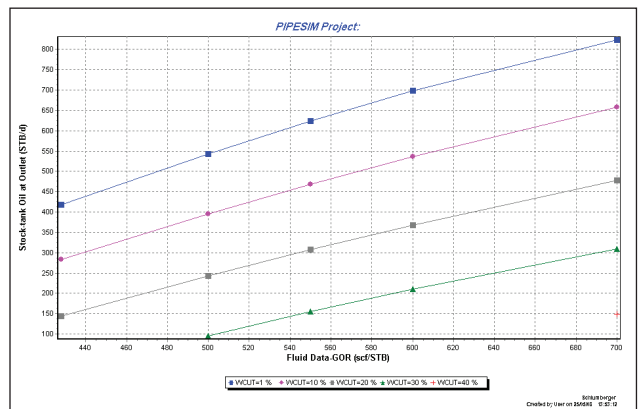
در صورتی که چاه مورد مطالعه بالوله مغزی به طول ۲۰۰۰ متر و قطر ۲/۴۴۱ اینچ تکمیل شود و با توجه به اینکه بر اثر افزایش تولید و با گذشت زمان میزان آب همراه نفت و میزان نسبت گاز به نفت تولیدی افزایش می یابد، بنابراین به بررسی اثر تغییرات این دو پارامتر بر میزان دبی تولید نفت چاه مورد مطالعه می پردازیم. شکل ۳ و جدول ۵ تغییرات میزان دبی تولیدی حاصل از راندن لوله مغزی به طول ۲۰۰۰ متر و قطر ۲/۴۴۱ اینچ را در نسبت گاز به نفت تولیدی و درصد آب همراه مختلف نشان می دهند. چنانکه مشخص است، با افزایش میزان نسبت گاز به نفت تولیدی، دبی تولید افزایش، اما با افزایش میزان آب همراه نفت، دبی تولید نفت کاهش می یابد.

۳-۳-۱- فراز آوری با گاز

فراز آوری با گاز، روش فراز آوری مصنوعی است که با آن گاز خارجی متراکم شده از سطح، به درون لوله جریان تولیدی در چند عمق در دهانه چاه تزریق می شود. گاز تزریقی به گاز سازند، افزوده و با کاهش فشار جریانی ته چاهی و کاهش فشار هیدرواستاتیک ستون سیال داخل چاه، باعث افزایش inflow سیال تولیدی می شود و در نتیجه سیال تولیدی با فشار بیشتری می تواند به سر چاه برسد یا اینکه تولید از چاه در فشار ثابت سرچاهی افزایش یابد [۳].



شکل ۱ | اثر بکارگیری لوله مغزی به طول ۲۰۰۰ متر و قطر ۲/۴۴۱ اینچ در فشار جریانی سرچاهی ۵۰۰ psia بر دبی تولید



شکل ۲ | اثر تغییرات نسبت گاز به نفت و درصد آب همراه بر میزان دبی تولید نفت

۵ | اثر تغییرات نسبت گاز به نفت و درصد آب همراه بر میزان دبی تولید نفت

نسبت گاز به نفت (Scf/stb)	دبی تولید نفت (Stb/d)	دبی تولید نفت (Stb/d)	دبی تولید نفت (Stb/d)	دبی تولید نفت (Stb/d)	دبی تولید نفت (Stb/d)
-	آب همراه=۱%	آب همراه=۱۰%	آب همراه=۲۰%	آب همراه=۳۰%	آب همراه=۴۰%
۴۲۸	۴۱۸	۲۸۳	۱۴۴	-	-
۵۰۰	۵۴۲	۳۹۵	۲۴۲	۹۵	-
۵۵۰	۶۲۳	۴۶۷	۳۰۷	۱۵۶	-
۶۰۰	۶۹۸	۵۳۶	۳۶۷	۲۱۰	-
۷۰۰	۸۲۳	۶۵۷	۴۷۸	۳۰۸	۱۴۹



تولیدی و تغییرات آن را شامل می شود.

۴-۲- مزایای استفاده از پمپ الکتریکی شناور

مزایای استفاده از پمپ‌های الکتریکی به قرار ذیل است:

- * هزینه‌های فراز‌آوری به کمک این پمپ‌ها برای دی‌های بالا (دلار به ازای بشکه)، معمولاً خیلی پایین است.
- * ظرفیت و عمق استخراج بالا.
- * قابلیت نصب در چاه‌های انحرافی (زاویه انحراف بیش از ۸۰ درجه).
- * مناسب بودن برای چاه‌های با تولید آب بالا.
- * راندمان بالا در ظرفیت‌های زیاد و تجهیزات سطحی کم.
- * قابل تغییر بودن سرعت رانش پمپ‌ها، باعث افزایش دی‌ی تولیدی‌شان می‌شود.

۴-۳- محدودیت‌ها و معایب پمپ الکتریکی شناور

- * معمولاً با تکمیل‌های چند گانه سازگار نیستند.
- * مناسب نبودن برای چاه‌هایی با دی‌ی کم (کمتر از ۲۰۰ بشکه در روز).
- * در نسبت‌های گاز به نفت بالا، عملکرد پمپ با مشکل مواجه می‌شود.
- * فقط جایی که نیروی الکتریکی در دسترس باشد، کاربرد دارد.

فشار تزریق گاز ۱۶۰۰ psia و بهترین گزینه تزریق گاز در لوله مغزی به طول ۳۰۰۰ متر و قطر ۳/۰۶۸ اینچ مشخص شدند. با این اطلاعات و دیگر پارامترهای موجود سیال و چاه، سیستم فراز‌آوری با گاز، طراحی و مکان قرارگیری شیرهای فراز‌آوری، عمیق‌ترین نقطه تزریق و همچنین دی‌ی تولیدی تعیین گردید.

شکل ۴ شرایط مختلف جهت تعیین دی‌ی بهینه گاز تزریقی و فشار بهینه تزریق گاز را نشان می‌دهد.

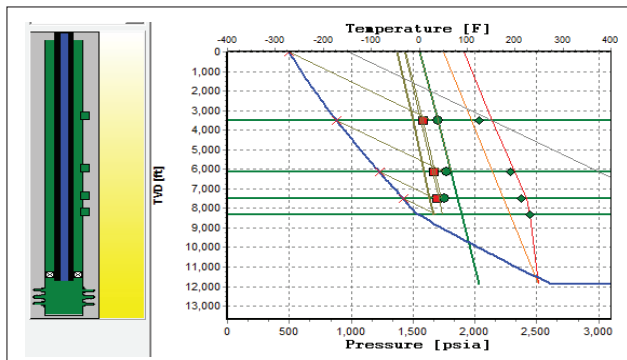
نتایج طراحی شیرهای فراز‌آوری با گاز در جدول ۶ و شکل ۵ ارائه شده‌اند. دی‌ی تولید موردنظر در دی‌ی تزریق گاز انجام شده، برابر ۱۵۴۷ بشکه در روز است.

شکل ۶ اثر فراز‌آوری با گاز را بر فشار جریان سرچاهی در لوله مغزی، به طول ۳۰۰۰ متر و قطرهای مختلف نشان می‌دهد که مشخص می‌شود، در لوله مغزی ۳/۰۶۸ اینچی فشار جریان سرچاهی به ۷۲۶ psia افزایش می‌یابد.

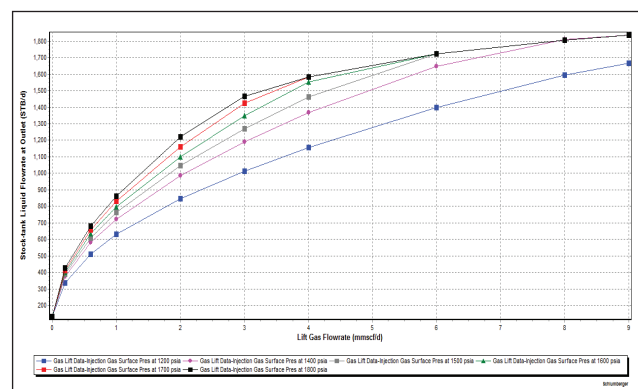
۴-۱- عوامل تأثیرگذار در طراحی پمپ الکتریکی شناور (ESP)

۱-۱- عوامل مؤثر در طراحی پمپ الکتریکی شناور، شاخص بهره‌دهی،

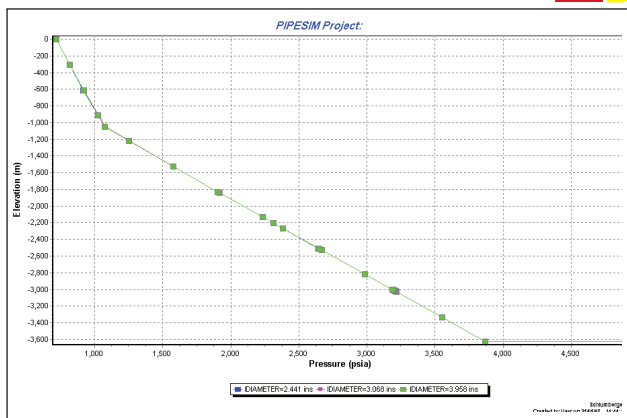
انسداد لوله جداري و لوله مغزی، وجود یا عدم وجود گاز در شرایط ورودی تلمبه، سطح مایع استاتیک، نسبت گاز به نفت، ویسکوزیته سیال، فشار مخزن و میزان تغییرات آن، دما، سیال حاوی پارافین، میزان آب



شکل ۵ طراحی شیرهای فراز‌آوری با گاز



شکل ۶ مقایسه شرایط مختلف برای یافتن بهینه فشار و دی‌ی گاز تزریقی



شکل ۷ اثر فراز‌آوری با گاز روی فشار جریانی سرچاهی، نسبت به تغییرات قطر لوله مغزی، به طول ۳۰۰۰ متر

عمق شیر	سری شیر	اندازه درجه	دی‌ی تزریق گاز	دی‌ی تخلیه مایع	دمای شیر	فشار باز شدن در سطح	فشار بسته شدن در سطح
ft			mmscf/d	stb/d	F	psig	psig
۳۴۸۰	R۲۰	۳/۸	۴	۱۶۸۱	۱۲۵	۱۴۳۰	۱۵۳۵
۶۱۳۱	R۲۰	۷/۱۶	۳,۶۲	۱۵۵۷	۱۹۱	۱۴۰۵	۱۴۹۱
۷۵۰۰	R۲۰	۷/۱۶	۳,۸۹	۱۶۰۰	۲۱۲	۱۳۸۰	۱۴۲۹
۸۳۲۲	RDO	۱/۲	۴	۱۵۴۷	۲۳۱	-	-

* نفت‌های ویسکوز، بازدهی پمپ را کاهش می‌دهند.
 * برای نصب پمپ باید لوله مغزی را بیرون کشید.
 * این پمپ‌ها هنگام تکمیل چاه، مستعد آسیب دیدگی هستند.
 * به دلیل افزایش دما و حساس بودن موتور الکتریکی به این مسئله، این پمپ‌ها در عمق‌های زیاد محدودیت نصب دارند.

۴-۴- شبیه‌سازی چاه با استفاده از پمپ الکتریکی شناور

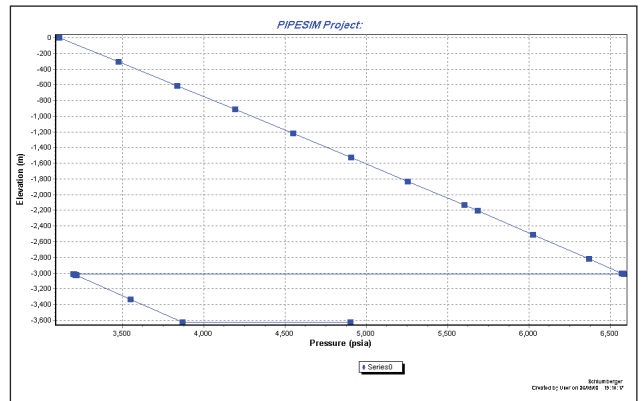
در این قسمت تأثیر نصب پمپ الکتریکی شناور بر میزان فشار جریان سرچاهی و میزان دبی تولید شبیه‌سازی شده و برخی از ویژگی‌های پمپ برگزیده بیان می‌شوند. براساس مقایسه‌ها، راندن لوله مغزی به طول ۳۰۰ متر و قطر ۱۲/۸۷۵ اینچ (قطر داخلی ۱۲/۴۴۱ اینچ) برای پمپ انتخاب شده، بهترین گزینه است. شکل ۷ میزان تغییرات فشار را از ته چاه تا سر چاه نشان می‌دهد. مشخصات و عملکرد پمپ طراحی شده در شکل ۸ و جدول ۷ بیان شده‌اند. عمق نصب پمپ ۳۰۰۰ متر حفار است.

نتیجه‌گیری

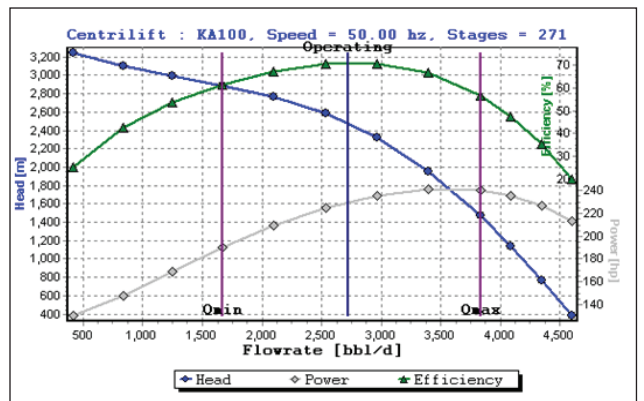
۱- نتایج حاصل از شبیه‌سازی چاه، با تغییر در طول و قطر لوله مغزی، اگرچه باعث افزایش فشار جریان سرچاهی ۷۰۰ stb/d سیال تولیدی تا ۷۲۶ psia می‌شود (حداقل فشار جریان سرچاهی لازم ۵۰۰ psia)، اما باعث جریان یافتن طبیعی این میزان سیال تولیدی به مرحله اول تفکیک نمی‌شود؛ بنابراین گزینه فراز آوری مصنوعی باید در دستور کار قرار گیرد.

۲- نتایج حاصل از شبیه‌سازی فراز آوری با گاز، بیانگر این موضوع است که براساس شبیه‌سازی‌ها و نتایج حاصل شده آنها، می‌توان با راندن لوله مغزی به طول ۳۰۰۰ متر و قطر ۱۲/۰۶۸ اینچ باعث افزایش دبی تولید به ۱۵۴۷ بشکه در روز در فشار جریان سرچاهی ۵۰۰ psia یا افزایش فشار جریان سرچاهی به ۷۲۶ psia در دبی تولید ۷۰۰ بشکه در روز شد.

۳- نتایج حاصل از شبیه‌سازی با پمپ الکتریکی شناور نشان می‌دهد، براساس پارامترهای طراحی، همچنین بهترین پمپ انتخاب شده و فشار جریان سرچاهی ۵۰۰ psia و راندن لوله مغزی به طول ۳۰۰۰ متر و قطر ۱۲/۴۴۱ اینچ، می‌توان در چاه مورد مطالعه دبی تولیدی ۲۰۰۰ stb/d (۲۷۱۳ bbl/d) رسید یا اینکه در دبی تولیدی ۷۰۰ stb/d به فشار جریان سرچاهی ۳۱۱۰ psia دست یافت.



شکل ۷ | اثر پمپ الکتریکی شناور روی فشار جریان سرچاهی نسبت به تغییرات قطر لوله مغزی



شکل ۸ | مشخصات پمپ الکتریکی شناور

جدول ۷ | مشخصات پمپ الکتریکی شناور طراحی شده

پمپ	تعداد مراحل	بازده پمپ	توان پمپ	فشار ورودی پمپ	فشار تخلیه پمپ	هد مورد نیاز
		%	hp	psia	psia	m
Centrilift: KA100	۲۷۱	۷۰/۱۴	۱۷۸/۸	۱۰۸۱	۴۰۵۶	۲۶۰۱

¹ sajadpeydayesh@yahoo.com

² j.moghadasiptu@gmail.com

[1] Schlumberger, pipesim user manual, "well design, drilling and production, 2009.
 [2] Brown K.E., Beggs H. D, the Technology of Artificial Lift Methods, 1977, Vol.2
 [3] Trammel, P., and Praisnar, A., "Continuous Removal of

Liquids from Gas Wells by Use of Gas Lift," SWPSC, Lubbock, TX, 1976, p. 139.
 [4] Brown, K.E. The Technology of Artificial Lift Methods, Vol. 1. Tulsa, OK: PennWell Books, 1977.