

بهینه‌سازی تولید چاه‌های نفت و گاز با نرم‌افزارهای

Pipesim و Pipephase

نویسندگان

مهندس میلاد کاندمی و مهندس میلاد شبستری شیرازی

تحت نظارت علمی

دکتر مجتبی قائدی (هیأت علمی بخش مهندسی نفت دانشگاه شیراز)

با همکاری

مهندس امین فیضی، مهندس میلاد رستگاری و مهندس محمد زارع

سال ۱۳۹۵



مرکز اسناد و کتابخانه ملی جمهوری اسلامی ایران



انجمن ملی بین‌رشته‌ای انرژی و محیط زیست

دانشگاه شیراز



کرده آموزشی ترم اول

سرشناسه:

عنوان و نام پدیدآورندگان:

کاظمی، میلاد،

بهینه‌سازی تولید چاه‌های نفت و گاز با نرم‌افزارهای Pipephase و Pipesim / نویسندگان میلاد کاظمی، میلاد شبستری شیرازی، با هم آقاییان امین فیضی، میلاد رستگاری، محمد زارع؛ تحت نظارت مجتبی قائدی.

شیراز: ارم شیراز، ۱۳۹۵.

۳۲۵ ص.: مصور، جدول؛ ۲۹×۲۲ سم.

۹۷۸-۶۰۰-۷۸۹۷-۸۷-۴

فیفا

کتابنامه: ص. ۳۱۰ - ۳۱۱.

چاه‌های نفت -- حفاری -- نرم‌افزار

Oil well drilling -- Software

چاه‌های نفت -- نمودارگیری -- نرم‌افزار

Oil well logging -- Software

چاه‌های گاز -- حفاری -- نرم‌افزار

Gas well drilling -- Software

چاه‌های گاز -- نمودارگیری -- نرم‌افزار

Gas well logging -- Software*

شبستری شیرازی، میلاد،

فیضی، امین،

رستگاری، میلاد،

زارع، محمد،

قائدی، مجتبی

TN ۸۷۱/۲/ک۲ب۹ ۱۳۹۵

۶۲۲/۳۳۸

۴۳۷۵۶۱۴

مشخصات نشر:

مشخصات ظاهری:

شابک:

وضعیت فهرست نویسی:

یادداشت:

موضوع:

موضوع:

موضوع:

موضوع:

موضوع:

موضوع:

موضوع:

موضوع:

شناسه افزوده:

شناسه افزوده:

شناسه افزوده:

شناسه افزوده:

شناسه افزوده:

بند کنگره:

ردیف ملی:

شماره شناسی ملی:

Pipephase و Pipesim

بهینه‌سازی تولید چاه‌های نفت و گاز با نرم‌افزارهای Pipephase و Pipesim / نویسندگان میلاد کاظمی، میلاد شبستری شیرازی، با هم آقاییان امین فیضی، میلاد رستگاری، محمد زارع؛ تحت نظارت مجتبی قائدی.

میلاد کاظمی، میلاد شبستری شیرازی، با هم آقاییان امین فیضی، میلاد رستگاری، محمد زارع؛ تحت نظارت مجتبی قائدی.

۳۲۵ ص.

۲۹×۲۲ سم.

۹۷۸-۶۰۰-۷۸۹۷-۸۷-۴

۶۲۲/۳۳۸

۴۳۷۵۶۱۴

۱۳۹۵

۲۵۰۰۰ ریال

۷۱-۳۶۴۶۲۰۷۷

۷۱-۳۶۴۶۲۰۵۸

www.erampub.ir

طریق قانون حمایت از آثار مؤلفین و مترجمین، تمامی حقوق برای مؤلف و ناشر براساس قرارداد فی‌مابین محفوظ است هرگونه کپی‌برداری ممنوع و پیگرد قانونی دارد.

نام کتاب

نویسندگان

طراح جلد و صفحه آرا

تیتراژ

قطع

تعداد صفحات

ناشر

نوبت چاپ

لیتوگرافی، چاپ، صحافی

قیمت

شابک

مدیر مسئول انتشارات

آدرس

تلفن

فکس

وب سایت

پیشگفتار مؤلفین

معرفی گروه آموزشی پتروآرک

مقدمه: معرفی روش‌های بهبود تولید

۲	□ مقدمه
۲	□ معرفی روش‌های بهبود تولید
۳	□ روش‌های مخزن محور
۳	□ روش‌های تاسیسات محور
۴	□ روش‌های چاه محور
۵	□ رویکرد اول (رو بردنشی)
۶	□ رویکرد دوم
۸	□ شیوه انتخاب چاه‌ها برای بهینه‌سازی روش‌های افزایش تولید چاه محور
	فصل اول: روش‌های فراز آوری مصنوعی
۱۴	روش‌های فراز آوری مصنوعی (روش چاه محور)
۱۵	□ پمپ الکتریکی شناور درون چاهی (ESP: ELECTRICAL SUBMERSIBLE PUMP)
۱۵	□ پمپ‌های میله‌ای مکشی: (Sucker Rod Pump)
۱۶	□ پمپ‌های خلا پیشرو (Progressive Cavity Pump)
۱۶	□ پمپ‌های درون چاهی هیدرولیکی (Surface Hydraulic Pump)
۱۶	□ فراز آوری با گاز (Gas Lift)
۱۷	□ عوامل مؤثر در انتخاب روش‌های فراز آوری مصنوعی
۱۷	□ مشخصات مخزن و چاه
۱۸	□ انواع مخازن نفتی
۱۸	□ یاد آوری در مورد انواع مکانیسم‌های رانش مخازن
۱۸	□ مکانیسم رانش گاز محلول (Dissolved Gas Drive)
۱۹	□ مکانیسم رانش آبی (Water Drive)
۲۱	□ مکانیسم رانش کلاهک گازی (Gas Cap Drive)
۲۲	□ موقعیت چاه

۲۲	❑ مشکلات عملیاتی
۲۳	❑ هزینه
۲۳	❑ مروری بر تاریخچه سیستم فرازآوری با گاز
	فصل دوم: فرازآوری با گاز (Gas Lift)
۲۶	❑ مباحث اولیه
۲۶	❑ استفاده از هوا در فرازآوری
۲۷	❑ عوامل تاثیرگذار در طراحی Gas Lift
۲۷	❑ انواع روش‌های Gas Lift
۲۹	❑ تجهیزات سیستم Gas Lift
۳۱	❑ فرازآوری به روش پیوسته
۳۳	❑ روش متناوب فرازآوری با گاز
۳۶	❑ طراحی تاسیسات فرازآوری به روش جریان پیوسته
۳۷	❑ مراحل تخلیه (UNLOADING) سیستم فرازآوری با گاز بصورت پیوسته
۴۰	❑ دلایل محبوبیت و استفاده از فرازآوری با گاز در صنعت
۴۰	❑ معایب سیستم فرازآوری با گاز
۴۱	❑ پیشرفت‌های تکنیکی در سیستم فرازآوری با گاز
۴۱	❑ شیر فرازآوری با گاز
۴۱	❑ انواع شیرهای متداول فرازآوری با گاز
۴۲	❑ جنبه‌های مثبت و منفی شیرهای IPO
۴۳	❑ جنبه‌های مثبت و منفی شیرهای PPO
۴۳	❑ ایستگاه تقویت فشار گاز در سیستم فرازآوری با گاز
۴۴	❑ انواع ایستگاه‌های تقویت فشار
۴۴	❑ طراحی سیستم کمپرسور
۴۴	❑ عوامل مؤثر در طراحی ایستگاه‌های تقویت فشار
۴۷	❑ بهینه‌سازی سیستم فرازآوری با گاز
۴۷	❑ آشنایی با نمای کلی سیستم
۴۸	❑ مراحل بهینه‌سازی

۴۹	□ نصب شیرهای تزریق
۵۳	□ تعیین محل و فشار و دمای تزریق گاز
۵۴	□ تعیین فاصله بین شیرهای تزریقی
	فصل سوم: کنترل پدیده ناپایداری در فرازآوری مصنوعی نفت با گاز
۵۸	□ کنترل پدیده ناپایداری در فرازآوری مصنوعی نفت با گاز
۵۸	□ تاریخچه تحقیق در بحث مقابله با ناپایداری
۵۹	□ پدیده ناپایداری
۵۹	□ تاثیر پدیده ناپایداری جریان
۶۱	□ تاثیر فشار سر چاهی بر پایداری
۶۲	□ تاثیر عمق تزریق بر پایداری
۶۲	□ تاثیر قطر داخلی و له مغزی بر پایداری
۶۲	□ تاثیر اندازه روزنه‌ی تزریق بر پایداری
۶۳	□ تاثیر نرخ تزریق بر پایداری
۶۴	□ نتیجه گیری
	فصل چهارم: انواع پمپ‌های فرازآوری مصنوعی
۶۶	□ انواع پمپ‌های فرازآوری مصنوعی
۶۶	□ پمپ‌های الکتریکی شناور درون چاهی (ESP)
۶۷	□ اجزاء تشکیل دهنده ESP و عملکرد آنها
۶۹	□ اندازه پمپ
۷۴	□ استفاده از ESP در چاه‌های افقی و انحرافی
۷۴	□ ابزار Y
۷۶	□ انتخاب پمپ اولیه
۷۷	□ استفاده از لوله مغزی سیار به همراه پمپ الکتریکی شناور
۷۹	□ عملکرد پمپ الکتریکی شناور
۸۱	□ طراحی ساده‌ای از پمپ الکتریکی شناور
۸۵	□ عوامل مؤثر بر کارایی ESP
۸۶	□ روش دیگر انتخاب یک پمپ ESP مناسب

۸۸	□ مزایا و معایب استفاده از سیستم ESP
۸۹	□ پمپ‌های میله‌ای مکشی (Sucker Rod Pumps)
۸۹	□ تجهیزات پمپاژ
۹۱	□ مزایا و معایب این پمپ‌ها
۹۱	□ پمپ‌های خلا پیشرو (PCP: PROGRESSING CAVITY PUMP)
۹۲	□ مزایا و معایب استفاده از این نوع پمپ‌ها
۹۳	□ پمپ‌های هیدرولیکی درون چاهی (Hydraulic Pump)
۹۴	□ مزایا و معایب این پمپ‌ها
۹۵	□ روش‌های کاربردی برای انتخاب سیستم فرازآوری

فصل پنجم: بهینه‌سازی بهره‌برداری از چاه‌های نفت و گاز با استفاده از روش آنالیز گره‌ای

۱۰۲	□ بهینه‌سازی بهره‌برداری از چاه‌های نفت و گاز با استفاده از روش آنالیز گره‌ای
۱۰۳	□ سیستم بهره‌برداری
۱۰۳	□ تجزیه و تحلیل سیستم بهره‌برداری
۱۰۴	□ عملکرد مخزن
۱۰۵	□ عملکرد چاه
۱۰۶	□ عملکرد کاهنده
۱۰۶	□ عملکرد جریان ورودی از مخزن به چاه
۱۰۸	□ عملکرد جریان خروجی
۱۰۸	□ محاسبات افت فشار در لوله‌ها
۱۰۹	□ معادلات جریان قائم
۱۱۲	□ نتیجه‌گیری

فصل ششم: بهینه‌سازی عملیات تمیز سازی ماسه‌ی درون چاه با استفاده از لوله مغزی

۱۱۴	□ بهینه‌سازی عملیات تمیز سازی ماسه‌ی درون چاه با استفاده از لوله مغزی (بهینه‌سازی تولید)
۱۱۴	□ عوامل مؤثر بر تولید ماسه
۱۱۵	□ طبقه‌بندی چاه‌ها از نظر تولید ماسه
۱۱۵	□ تمیز سازی چاه با استفاده از لوله مغزی سیار
۱۱۶	□ متغیرهای مؤثر بر انجام عملیات

۱۱۶	□ شرایط فیزیکی چاه
۱۱۷	□ خواص سیال و شرایط عملیاتی آن
۱۱۸	□ ابزار درون چاهی
۱۱۹	□ اجرای عملیات تمیز سازی ماسه‌ی درون چاهی در میادین فراساحلی
۱۱۹	□ چاه‌های تولیدی
۱۲۰	□ چاه‌های فاقد جریان

فصل هفتم: بهینه‌سازی رشته تکمیلی چاه با مشکل تولید ذرات سازندی

۱۲۴	□ بهینه سازی رشته تکمیلی چاه با مشکل تولید ذرات سازندی (بهینه سازی تولید)
۱۲۶	□ معرفی روش اصلی تکمیل چاه‌های دارای مشکل سازندی
۱۲۶	□ آستری شکافدار
۱۲۷	□ روش Wire-Wrapped Screens
۱۲۸	□ روش Pre-Packed Screen
۱۲۸	□ روش گراول پک (Gravel Pack)

فصل هشتم: شبیه‌سازی فراز آوری مصنوعی با نرم‌افزارهای PIPEPHASE و PIPESIM

۱۳۲	□ شبیه‌سازی فراز آوری مصنوعی با نرم‌افزارهای Pipephase و Pipesim
۱۳۲	□ مقدمه
۱۳۲	□ طراحی سیستم فراز آوری با گاز
۱۳۲	□ پروژه اول
۱۳۴	□ نکته مهم
۱۳۶	□ حالت اول: تزریق گاز از آنالوس و تولید از لوله مغزی
۱۵۲	□ پیش بینی پارامترهای مؤثر در طراحی
۱۵۴	□ حالت دوم: تزریق گاز از لوله مغزی و تولید نفت از فضای آنالوس
۱۶۰	□ مقایسه نتایج حالت اول و دوم
۱۶۱	□ پروژه دوم
۱۷۳	□ آنالیز حساسیت نسبت به قطر لوله مغزی، مقدار گاز تزریقی و فشار گاز تزریقی
۱۷۶	□ پروژه سوم

۲۰۱	□ پروژه چهارم
۲۰۱	□ شبیه سازی فراز آوری مصنوعی در یکی از مخازن جنوب غرب ایران
۲۲۱	□ پروژه پنجم
۲۳۲	□ پروژه ششم
۲۳۲	□ ارزیابی اقتصادی فراز آوری با گاز در یکی از میداین جنوب ایران
۲۳۴	□ شرایط انتخاب چاه ها
۲۳۴	□ تاثیر راندن لوله مغزی در چاه
۲۳۹	□ تاثیر استفاده از فراز آوری با گاز
۲۴۴	□ یاد آوری
۲۴۵	□ برآورد هزینه
۲۴۶	□ نتیجه گیری
۲۴۶	□ پروژه هفتم
۲۴۶	□ طراحی سیستم فراز آوری با نرم افزار PIPEPHASE
۲۶۳	□ پروژه هشتم
۲۶۳	□ طراحی پمپ های الکتریکی شناور دون پمپی (ESP)
۲۶۴	□ راه های جلوگیری از ورود گاز بیش از حد به پمپ
۲۷۳	□ منحنی های عملکرد پمپ
۲۷۷	□ پروژه نهم
۲۹۱	□ پروژه دهم
۲۹۱	□ طراحی پمپ ESP با استفاده از نرم افزار PIPEPHASE
۳۰۹	منابع

پیشگفتار مؤلفین

با توجه به غنی بودن ایران از ذخایر نفت و گاز و توسعه این منابع به عنوان منبع اصلی درآمد و ارز آوری کشور، لزوم استفاده بیشتر و بهینه‌تر از این منابع و جلوگیری از هدر رفت آن از اصول اساسی مورد توجه در سیاست‌های شرکت ملی نفت ایران است. معمولاً وقتی چاهی در مخزنی دست نخورده حفر می‌شود هیدروکربن‌ها به طور طبیعی به سطح جریان می‌یابند. اما بر اثر تولید به طور 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. یکی از وظایف اصلی مهندس نفت و بهره‌بردار شناخت منشأ مشکلات چاه‌ها و بررسی راهکارهای ممکن برای رفع مشکل و بازگرداندن چاه به مدار تولید می‌باشد. یکی از روش‌هایی که برای حفظ و تقویت تولید استفاده می‌شود فراآوری مصنوعی است. هدف از به کارگیری سیستم فراآوری مصنوعی تثبیت فشار جریان چاه برای استمرار یا افزایش تولید بوده و این مستقل از نوع روش فراآوری مصنوعی است. با توجه به تفاوت‌های فاحش در خصوصیات سیالات مخازن مختلف، تسهیلات فراورشی موجود و شرایط جغرافیایی حاکم بر هر میدان روش یا روش‌های مشخصی از تکنولوژی فراآوری مصنوعی و بهینه‌سازی تولید قابلیت کالایی خواهد داشت.

در انتخاب تجهیزات فراآوری برای چاه توجه به اقتصادی بودن ابزار انتخاب شده برای دستیابی به نرخ تولید مطلوب و ضروری است. در واقع هدف اصلی تخلیه مخزن با حداقل هزینه است که این هزینه شامل هزینه استهلاک و هزینه عملیات می‌باشد. امروزه به دلیل افزایش بهای نفت، کار ایجاد تغییر در شرایط فیزیکی چاه و توقف تولید در حین تعمیر به حدی دشوار شده که پس از اتمام عملیات حمل و شویج تولید، تا زمانی که چاه در مدار تولید است تفکر ایجاد تغییر یا بهینه‌سازی شرایط تولید کمتر به مرز عمل و اجرا می‌رسد. از این رو بهتر است مهندسان به جای تغییر در ساختار فیزیکی چاه و تجربه عملی گزینه‌های مد نظر با استفاده از نرم‌افزارهای شبیه‌سازی چاه که هر روز در حال توسعه و تکمیل هستند شرایطی را که باید در عمل با صرف نظر هزینه‌های فراوان روی چاه پیاده نمود شبیه‌سازی کرده و با مقایسه نتایج مختلف بدست آمده بهترین گزینه را انتخاب و اجرا کنند.

از نرم افزارهای موجود جهت شبیه‌سازی چاه PIPESIM, PIPEPHASE هستند که امروزه در بخش تولید و بهره‌برداری امکان شبیه‌سازی سامانه تولید از چاه تا واحد بهره‌برداری و نیز امکان طراحی و شبیه‌سازی سیستم‌های فراآوری مصنوعی را مهیا می‌سازند که کمک بسیار زیادی در ارتقاء سطح دانش و فن‌آوری کرده‌اند. اما در این سال‌ها صحت اطلاعات ورودی و انتخاب روش و الگوی مناسب برای شبیه‌سازی می‌تواند نقش بسیار تعیین کننده‌ای در دستیابی به نتایج مطلوب ایفا کند.

این کتاب که به گونه‌ای جلد دوم کتاب جامع طراحی و بهینه‌سازی خطوط لوله و چاه‌های نفت و گاز با نرم‌افزارهای کاربردی می‌باشد حاصل تلاش و زحمات گروه آموزشی پتروارک بوده و تا آنجایی که ممکن بوده سعی شده این اثر به زبان ساده و روان نگاشته شود تا بتواند مرجع مناسبی برای دانشجویان رشته‌های مختلف مهندسی نفت و شیمی به ویژه گرایش بهره‌برداری و سایر رشته‌های وابسته در مقاطع تحصیلات عالی و همچنین مرجع خوبی برای دانشگاه‌ها و مراکز علمی و تحقیقاتی کشور باشد.

جلد اول کتاب جامع طراحی و بهینه‌سازی با عنوان شبیه‌سازی خطوط لوله و چاه‌های نفت و گاز با نرم‌افزارهای PIPESIM, PIPEPHASE, PIPESYS بوده که در آن اصول و نحوه طراحی و شبیه‌سازی خطوط لوله و چاه‌های نفت و گاز با مثال‌های کاربردی و صنعتی شرح داده شده است. در واقع جلد اول کتاب پیش نیاز کتاب پیش رو یعنی بهینه‌سازی

تولید می‌باشد و فرض بر این است که خوانندگان گرامی جلد اول کتاب جامع طراحی و بهینه‌سازی را کامل و مرحله به مرحله مطالعه کرده‌اند. در غیر اینصورت هیچ گونه بازدهی و توفیقی در کار خود کسب نمی‌کنند زیرا هر دو کتاب به هم پیوسته و مرتبط بوده و نمی‌توان به صورت سلیقه‌ای به مطالعه هریک پرداخت. در این کتاب یعنی بهینه‌سازی تولید چاه‌های نفت و گاز با نرم‌افزارهای PIPESIM, PIPEPHASE در مورد اصول و تئوری‌های مباحث فراآوری مصنوعی و روش‌های محاسباتی برای طراحی پمپ‌ها، تعیین فشار، عمق، مقدار گاز تزریقی، تعداد و فواصل شیرهای تزریقی، انواع روش‌های فراآوری و کاربردهای آن به صورت مفصل بحث شده است. در واقع این کتاب از دو بخش تشکیل شده است: یکی بخش تئوری و اصول مباحث فراآوری و دیگری بخش نرم‌افزاری و عملیاتی.

همچنین خواننده و مخاطب با مطالعه این کتاب پیچیدگی روابط ریاضی و حجم بالای محاسبات در حالت تئوری را با حالتی که طراحی و شبیه‌سازی و تمامی مراحل محاسبات توسط نرم‌افزار انجام می‌شود مقایسه کرده و به خوبی کاربرد دو نرم‌افزار PIPESIM, PIPEPHASE را در بهینه‌سازی تولید با مشاهده مثال‌ها و پروژه‌های صنعتی درک می‌کند.

نا گفته نماند که در بازار عموماً نسخه‌ی کراک شده‌ی نرم‌افزارها موجود می‌باشد، هنگامی که کاربر با نسخه‌ی قفل شکسته‌ی نرم‌افزار کار می‌کند برای مشاهده نتایج شبیه‌سازی ممکن است نرم‌افزار نتیجه دقیق و قابل اطمینانی ارائه ننماید و همواره با درصد خرابی نسبت به نسخه اصلی نرم‌افزار مواجه شود. لذا پیشنهاد می‌شود کاربران گرامی نحوه طراحی و مراحل شبیه‌سازی مثال‌ها و پروژه‌ها را همراه با کتاب آموزش دیده تا در هر زمانی که از نسخه‌ی اصلی نرم‌افزار استفاده می‌کنند با مهارتی که به طور مبالغه‌آمیز می‌توان گفت در کتاب فرا گرفته‌اند طراحی مورد نظر خود را انجام دهند.

در اینجا لازم است که مراتب تشکر را از انار فای دکتر تانندی عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی نفت و شیمی دانشگاه شیراز و از نخبگان دانشگاه صنعتی شریف که همواره ما را مورد حمایت همه جانبه خویش قرار داده، همچنین مشوق و راهنمای ما در تألیف این کتاب بوده و زحمات و ویراستاری علمی کتاب را با توجه به مشغله کاری بسیار عهده دارد بودند اعلام کرده و کمال تشکر و امتنان را از ایشان بریم.

با تشکر از حمایت دفتر امور فرهنگی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، وزارت پژوهشی دانشگاه شیراز، مدیریت امور علمی دانشجویان دانشگاه شیراز و همچنین انجمن علمی بین رشته‌ای انرژی و محیط زیست دانشگاه شیراز.

امید است که کتاب حاضر عاری از اشکال باشد چه در واژه‌یابی و چه در ارائه مطالب. اما نیک می‌دانیم که بر عتب می‌باییم. مستعدی است، اشکالات موجود را به دیده گذشت بنگرید و ما را از یادآوری آن، بی‌نصیب نگذارید.

گروه آموزشی پتروآرک

بهار ۱۳۹۵



گروه آموزشی پتروآرک PETRO-RACH

گروه آموزشی پتروآرک متشکل از چندی از متخصصان علمی و فنی کشور می باشد که توانسته با تکیه بر تجربه و دانش نیرو های متخصص و برخورداری از نیروهای نخبه، خدمات ارزنده ای را در زمینه های مختلف آموزشی و مشاوره ای ارائه نماید. این گروه که فعالیت خود را از سال ۱۳۹۲ در شیراز آغاز کرده و توانسته دوره های جامع، علمی و نرم افزاری مهندسی از جمله دوره های

مهندسی نفت را با روشی کاملاً متفاوت و نوین و فارغ از کلیشه های پیشین به دو شیوه ی فشرده و مبسوط در دانشگاه شیراز و موسسات عالی دیگر برگزار نماید. آموزش های کاربردی و تکنیک های منحصر به فرد در قالب پروژه های اجرایی در بازار کار با ارائه مدارک معتبر آموزشی و آکادمی های بین المللی. ما در تلاشیم تا با استعانت از خداوند متعال به عنوان اولین مرکز آموزش های تخصصی فنی و مهندسی به خصوص صنایع نفت و گاز تا سال ۱۴۰۴ مطرح شویم و خدمات ارزنده و گامی موثر در جهت ارتقا دانش و سطح علمی کشور برداریم. ماموریت ما همراهی تک تک شما دوستان جهت تربیت افراد شایسته در صنعت کشور است. در این مسیر، همیاری دوستان در داخل و خارج از کشور جهت گسترش عدالت آموزشی و توانمند سازی نیروی انسانی متخصص و شایسته در حوزه های مختلف صنعت کشور به خصوص صنایع نفت و گاز پشتوانه محکمی می باشد.

خدمات آموزشی، مشاوره و تحقیقاتی

- ✓ مجری دوره های تخصصی مهندسی نفت و گاز، عمران، معماری و ...
- ✓ مبتکر آموزش های مجازی نرم افزار های تخصصی فنی و مهندسی با شیوه ای متفاوت
- ✓ مشاور در زمینه پروژه های علمی، تحقیقاتی، پژوهشی
- ✓ مشاور در زمینه ی چاپ کتاب های علمی و تخصصی فنی و مهندسی و چاپ مقالات داخلی، ISI، کنفرانسی و ...
- ✓ و ...

اعضای دپارتمان مهندسی نفت

مهندس میلاد کاظمی (مدیریت دپارتمان مهندسی نفت و گاز و پتروشیمی)

مهندس میلاد رستگاری

مهندس محمد زارع

مهندس امین فیضی

مهندس میلاد شبستری شیرازی

مهندس محمد رضا سامانیان



بهینه سازی تولید یکی از اهداف اصلی شرکت‌های نفت و گاز است. در حالت کلی بهینه سازی شامل یک یا چند تابع هدف است و کاربر تلاش می‌کند مجموعه‌ای از مجهولات با متغیرها را که بر مقدار آن تابع هدف تاثیر گذار است، حداقل سازی یا حداکثر سازی نماید، همچنین همواره محدودیت‌هایی وجود دارند که باعث می‌شوند مجهولات تنها بتوانند مقادیر خاصی را شامل شود و دیگر مقادیر از بازه انتخاب آنها حذف شود. بنابراین مسئله موجود در بهینه سازی، یافتن مقادیری برای متغیرهاست که باعث حداقل یا حداکثر شدن تابع هدف با توجه به محدودیت‌های اعمالی می‌شود. عمر عملیات بهره‌برداری در ایران در حدود ۱۰۰ سال است. اگر این بهره‌برداری بر پایه شناخت مناسب سیستم باشد، مطمئناً می‌توان به صورت بهینه و مداوم ضمن حفاظت و صیانت از مخزن میزان تولید را افزایش داد، افزایش تولید و بهره‌مندی از حداکثر کارکرد چاه و تسهیلات آن می‌باشد. داشتن و استفاده از اطلاعات جامع مخزن بهره‌برداری، تکمیل چاه، زمین شناسی، تاسیسات سطح الارضی، چاه آزمایی (تراوایی، ضریب پوسته، ناحیه ریزش و...) سیالات مخزن، تاریخچه تولید، حفاری و... یکی از مهمترین موضوعات در بهینه‌سازی تولید است. فرایند بهینه سازی تولید در مرحله اول شامل درک صحیح از پارامترهای بهره‌برداری و سیال مخزن و در مرحله‌ی بعد هرکدام از اجزا چاه به صورت مجزا بهینه سازی می‌شوند. اهداف تجزیه و تحلیل سیستم شامل: بهینه سازی سیستم، تکمیل چاه، شناسایی فاکتورهای محدود کننده تولید و شناسایی اهداف افزایش تولید است. برای تولید سیال از سنگ مخزن سیال باید از درون چاه انتقال یابد، سپس از طریق لوله مغزی چاه به سمت پمپ چاه حرکت و از طریق کاهنده سطحی به طرف لوله‌های سطحی انتقال یافته و بعد از خطوط جمع آوری به تفکیک‌گر برسد. پس از آن نفت به مخازن ذخیره و گاز به نقطه صادرات و فروش انتقال می‌یابد. مخزن چاه، لوله مغزی، تجهیزات فرازاوری با خطوط لوله جمع‌آوری و دیگر اجزا مرتبط که سیستم بهره‌برداری نامیده می‌شوند هریک دارای عملکرد مجزایی هستند. هر کدام از آنها به نوبه خود بر دیگر اجزا سیستم بهره‌برداری تاثیر می‌گذارند، در این بخش با به بررسی انواع روش‌های بهینه سازی تولید می‌پردازیم.

معرفی روش‌های بهبود تولید

انرژی مخزن در اثر فرایند تولید به تدریج کاهش یافته و معمولاً مکانیزم‌های تولید طبیعی قابلیت بازیافت قسمت عمده هیدروکربن‌های موجود در مخازن را دارا نمی‌باشند. در طول سالیان اخیر نیاز به استفاده از روش‌های بهبود تولید که اغلب در مخازن بلوغ یافته و تخلیه شده استفاده می‌شوند، افزایش یافته است.

روش‌های بهبود تولید به سه دسته کلی شامل: ۱- روش‌های مخزن محور ۲- تاسیسات محور و ۳- چاه محور تقسیم بندی می‌شوند. این روش‌ها به لحاظ مدت زمان اجرا برای دستیابی به تولید بیشتر از میادین نفتی، به ترتیب به عنوان روش‌های بلندمدت (۳ تا ۵ سال)، میان مدت (۲ تا ۳ سال) و کوتاه مدت (۶ ماه تا یکسال) شناخته می‌شوند. همچنین هزینه اجرای این روش‌ها با یکدیگر متفاوت بوده به نحوی که روش‌های مخزن محور به عنوان پرهزینه‌ترین و روش‌های چاه محور به عنوان کم هزینه‌ترین روش بهبود تولید شناخته می‌شوند. در جدول زیر دسته‌بندی این روش‌ها نشان داده شده است.



مخزن محور	تاسیسات محور	چاه محور	زمان اجرا
تزریق امتزاجی / غیرامتزاجی گاز / تزریق آب سیلابزنی با مواد شیمیایی مخزن هوشمند			بلند مدت (۳-۵ سال)
	بهینه سازی واحدهای بهره برداری، تفکیک گرها، نمکزدایی و... استفاده از تجهیزات تولیدی زیر سطح دریا		میان مدت (۲-۳ سال)
		تکنولوژی حفاری تکنولوژی تکمیل چاه فراز آوری مصنوعی تزریق مواد شیمیایی	کوتاه مدت (۶ ماه تا ۱ سال)

یکی از موضوعات بسیار مهم در بخش مدیریت مخزن تشخیص گلوگاه‌های تولیدی و اولویت‌بندی ترتیب استفاده از روش‌های بهبود بازیافت نفت براساس پارامترهای فنی، اقتصادی در هر مخزن می‌باشد که این بررسی‌ها معمولاً در قالب مطالعات مخازن صورت می‌گیرد. باید توجه داشت همیشه افزایش دبی تولیدی از مخزن لزوماً در گرو استفاده از روش‌های مخزن محور نمی‌باشد بلکه روش‌های چاه محور و تاسیسات محور نیز می‌توانند موجب افزایش دبی تولیدی گردند.

روش‌های مخزن محور

در این روش‌ها که به طور عمده روش‌های ازدیاد برداشت، همچنین حفظ فشار مخزن از طریق تزریق آب و گاز را شامل می‌شود، هدف مورد نظر خود مخزن بوده و در آن‌ها تلاش می‌شود تا حرکت نفت از گستره مخزن تا پایین چاه تولیدی تقویت و میزان نفت باقیمانده در مخزن کاهش یابد. این امر در روش‌های ازدیاد برداشت از طریق بهبود مشخصه‌های جابه جایی نفت در مقیاس حفره و یا در گستره و عمق مخزن تحقق می‌یابد.

در روش‌های افزایش برداشت، افزایش تولید به دلیل تغییر در ویسکوزیته آب و نفت، تغییر در کشش سطحی بین فازها در محیط متخلخل و یا تغییر اشباع آب و نفت در محیط و به تبع آن تراوایی نسبی فازها صورت می‌گیرد. از جمله روش‌های ازدیاد برداشت می‌توان به سیلاب زنی آب، تزریق امتزاجی و غیر امتزاجی گاز، روش‌های بازیافت حرارتی (تزریق بخار، احتراق درجا و تزریق آب داغ)، ازدیاد برداشت میکروبی، روش‌های شیمیایی (تزریق پلیمر، مواد فعال کننده سطحی و آلکالین) و... اشاره کرد.

روش‌های تاسیسات محور

در این دسته از روش‌های بهبود تولید، هدف ارتقای عملکرد تاسیسات سطح الارضی جهت انتقال و فراورش نفت خام می‌باشد که تحت عنوان روش‌های بهبود تاسیسات محور شناخته می‌شوند که در آن با بکارگیری تکنولوژی‌های نوین، ضمن افزایش توان انتقال و فراورش نفت تولیدی، کیفیت نفت خام نیز بهبود یافته و محدودیت‌هایی که به واسطه کمبود ظرفیت موجب کاهش تولید از مخزن می‌گردند نیز رفع می‌گردند.



روش‌های چاه محور

روش‌های چاه محور به روش‌هایی اطلاق می‌شود که در آن بهبود تولید از طریق برطرف کردن مشکلات و بهینه‌سازی مسایل مربوط به چاه صورت می‌پذیرد. تولید آب و گاز اضافی، تولید رسوبات معدنی، رسوب آسفالتین، تولید شن و... از جمله مهمترین مشکلات مربوط به چاه می‌باشند که قابلیت حل مشکل به کمک روش‌های چاه محور وجود دارد.

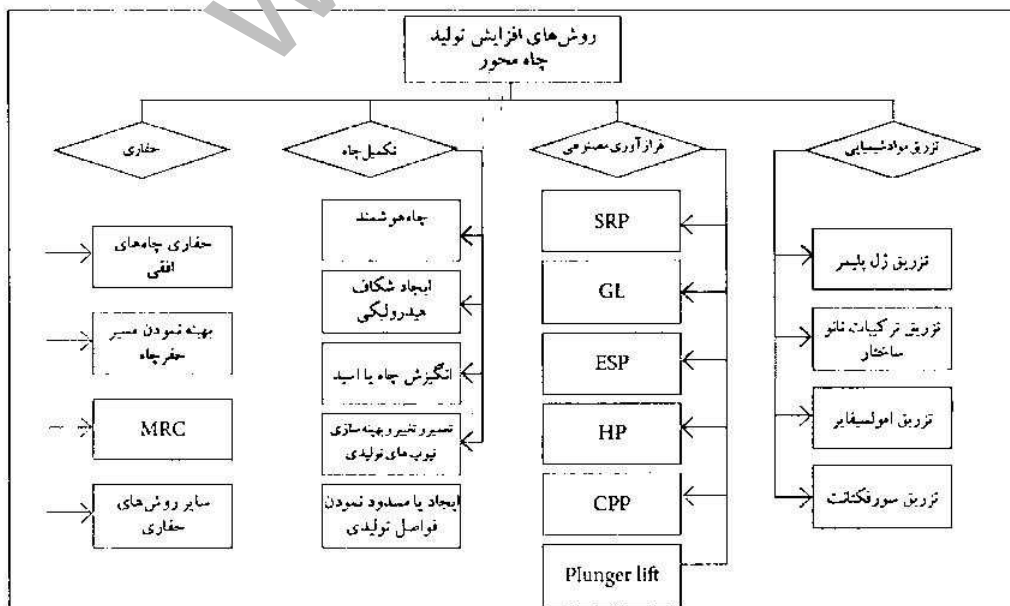
در جدول زیر نتایج مطالعه‌ای که در سال ۲۰۱۰ در بیش از ۸۰ میدان و حدود ۴۰۰ مخزن نفتی در آب‌های عمیق (بیش از ۱۰۰۰ فوت) و خیلی عمیق (بیش از ۵۰۰۰ فوت) در خلیج مکزیک در خصوص روش مناسب بهبود بازیافت تولید صورت پذیرفته است، ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد که میزان افزایش ضریب بازیافت تولید حاصل از به کارگیری روش‌های چاه محور در حد قابل قبولی (بین ۲ تا ۱۵ درصد) نسبت به روش‌های مخزن محور (بین ۲ تا ۲۲ درصد) قرار گرفته است. بنابراین روش‌های چاه محور با توجه به زمان کوتاه برای دستیابی به تولید بیشتر از جایگاه ویژه‌ای برخوردار هستند.

Process Number	IOR Category	IOR Process	Technical IOR Recovery Factor	
			Low	High
1	WATER INJECTION	Conventional Water Injection	2	22
		Seafloor Water Injection	2	22
2	WATER-BASED EOR	Low Salinity Water Injection	2	15
3	GAS INJECTION	Seafloor Water Injection	3	7
4	GAS INJECTION	Conventional Hydrocarbon Gas Injection	3	8
5	GAS-BASED EOR	Nitrogen Injection	3	12
6	DIVERTING AGENTS	MEOR Water Injection	3	7.5
7	PUMPING and	Subsea Multi-phase pumping	5	10
8	ARTIFICIAL LIFT	In-well ESP	3	15
9	WELL	Hydraulic Fracturing	5	10
10	TECHNOLOGY	Deviated, Horizontal Wells	2	5

EOR

WPE

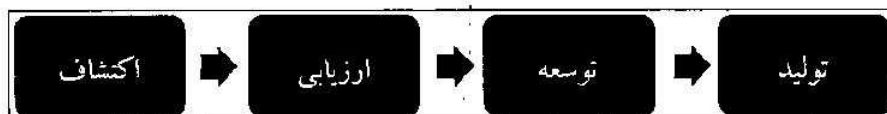
روش‌های افزایش تولید چاه محور در چهار دسته تزریق مواد شیمیایی، تکمیل چاه، تکنولوژی حفاری و فراآوری مصنوعی دسته بندی می‌شوند که زیر مجموعه هر کدام در شکل زیر نشان داده شده است.





در این کتاب سعی شده است با تبیین و تعریف نظام‌مند، استدلال شود که برای دستیابی به اهداف از پیش تعیین شده، روش‌های چاه محور در اولویت می‌باشند. این روش‌ها که مغزافزایی و مدیریتی هستند، با استفاده از منابع موجود و با اثر بخشی قابل توجه در کوتاه مدت منجر به افزایش تولید می‌شوند، برای به کارگیری این روش‌ها که مستلزم تغییر نگرش و روش تولید می‌باشد راهکاری علمی و اجرایی ارائه شده است.

زنجیره ارزش در بخش بالادستی صنعت نفت شامل چهار مرحله: اکتشاف، ارزیابی، توسعه و تولید است. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود نتیجه نهایی تمام فعالیت‌ها در این چهار مرحله، در تولید نفت و گاز خود را نشان می‌دهد.



در حوزه اکتشاف، به جز استفاده از فناوری‌های نو در روش‌های معمول، یکی از روش‌هایی که در بلند مدت می‌تواند منجر به افزایش ذخایر و در نهایت تولید قابل توجه و پایدار شود، مطالعه و مدل سازی حوضه‌های رسوبی و سیستم‌های نفتی است که ریسک اکتشاف را به شدت پایین آورده و با دقت بیشتری اهداف اکتشافی را مشخص می‌کند. از دیگر روش‌های موجود در این حوزه می‌توان به اکتشاف و تولید از منابع غیرمتعارف از جمله: شیل‌های گازی، شیل‌های نفتی، مخازن گازی با سنگ‌های متراکم و هیدرات‌های گازی اشاره کرد.

در حوزه ارزیابی و توسعه، برای ایجاد اثر بخشی بیشتر در مطالعات جامع مخزن باید بر اساس مدل مفهومی مخزن با بهینه‌سازی و تحلیل مناسب اطلاعات برای هر مقطع از عمر میدان در حداقل زمان ممکن، سریعاً طرح توسعه اولیه را با هدف شناخت مکان چاه‌های جدید به منظور کسب اطلاعات بیشتر و کم کردن عدم قطعیت‌ها تهیه نمود و مدل‌های استاتیک، دینامیک و طرح توسعه را بر اساس اطلاعات به دست آمده به روز رسانی کرد. به عبارت دیگر، به جای اختصاص زمان حدود دو سال برای انجام مطالعات جامع و تهیه طرح توسعه مخزن، در شش ماه یک طرح توسعه‌ای ارائه شود که مبنای عمل قرار گیرد، در نتیجه طی دو سال، چهار طرح توسعه‌ای تهیه و ارائه شد که با این روش فرآیند توسعه با سرعت و دقت به پیش می‌رود.

در حوزه تولید باید از روش‌های بهبود بازیافت نفت برای افزایش تولید استفاده کرد. در افزایش تولید به روش چاه محور دو رویکرد واکنشی و پیش گیرانه را می‌توان متصور شد.

رویکرد اول (رویکرد واکنشی)

فرض کنید تولید روزانه یک چاه نفت سه هزار بشکه است ولی به واسطه بروز مشکلاتی، تولید آن به دو هزار بشکه در روز کاهش یافته است. در این وضعیت هر اقدامی که بتواند مشکل کاهش هزار بشکه‌ای تولید در این چاه را برطرف نموده و تولید را به میزان قبلی سه هزار بشکه برساند، منجر به افزایش تولید شده است. پس در این رویکرد به طور واکنشی، می‌توان با برطرف کردن مشکلی که منجر به کاهش تولید نفت شده، تولید را افزایش داد. با اتخاذ این رویکرد



می‌توان کاهش تولید سالیانه نفت را که به واسطه گذشت عمر مخازن و بروز مشکلات تولیدی شکل می‌گیرد، جبران نمود. در جدول زیر، فهرستی از مشکلاتی که منجر به کاهش تولید شده و برخی روش‌های مقابله با آن، نشان داده شده است.

ردیف	عوامل کاهش تولید	روش‌های مقابله با مشکلات
۱	کاهش فشار مخزن	تزریق آب یا گاز برای حفظ یا افزایش فشار مخزن
۲	کاهش ضریب جاروب شدگی	سیلاب زنی با مواد شیمیایی
۳	تشکیل رسوبات در اطراف چاه	روش‌های انگیزش چاه از جمله ایجاد شکاف هیدرولیکی و اسیدکاری
۴	سنگین شدن وزن ستون سیال در چاه و نرسیدن آب به سطح	برای کاهش ضریب صدمه دیدگی در اطراف چاه و تزریق مواد بازدارنده روش‌های فراآوری و پمپ‌های الکتریکی در انتهای چاه
۵	تولید آب و گاز ناخواسته زیاد از چاه	تزریق ژل پلیمر
۶	تشکیل میانات گازی در مخزن	ایجاد تغییر در ترشوندگی مخزن
۷	محدودیت تاسیسات سطح الارضی	استفاده از مواد شیمیایی، باز طراحی تاسیسات

☑ رویکرد دوم

رویکرد دوم، رویکردی پیش‌گیرانه است، به غیر از برطرف کردن مشکلات فعلی میدان و چاه، برخی از راهکارها که منجر به افزایش تولید می‌شوند (قبل از این که مشکلی برای چاه ایجاد شود) اتخاذ می‌گردند. بعضی از این راهکارها عبارتند از: ایجاد حداکثر سطح تماس بین حاکم مخزن (MRC: Maximum Reservoir Contact)، بهبود فرآیندهای مدیریت مخازن و به کارگیری تکنولوژی چاه / مخزن، پوشش دادن سطح تماس چاه با مخزن، از طریق حفر چاه‌های افقی و چند شاخه می‌توان ضریب بهره‌وری در نتیجه تولید از مخزن را افزایش داد. این راهبرد (استراتژی) امروزه از سوی کشور عربستان به عنوان بزرگترین تولیدکننده نفت اتخاذ شده که بسیار هم اثر بخش بوده است. بهبود فرآیندهای مدیریت مخزن، از طریق تشکیل تیم‌های یک، بازرسی و چند تخصصی، کاهش چرخه زمانی تصمیم‌گیری برای مخزن و بهینه‌سازی مکان چاه‌ها، مسیر حفر چاه‌ها و زمان تولید از آن‌ها از دیگر راه‌های افزایش تولید است.

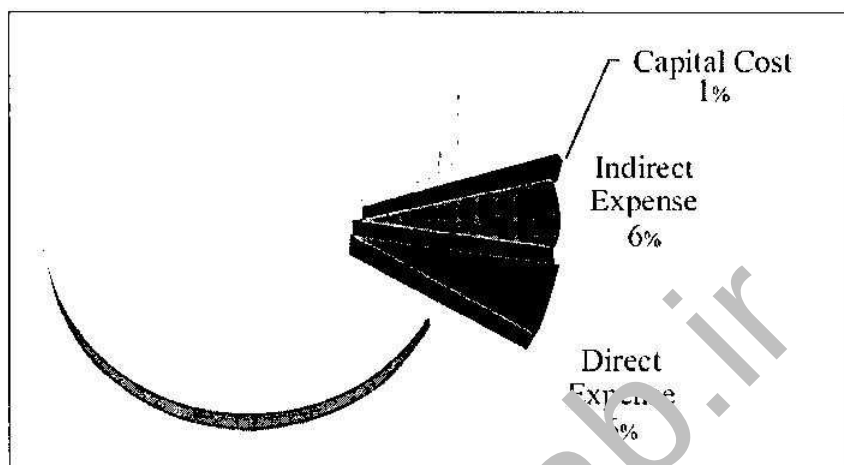
با بررسی روش‌های افزایش تولید که در قسمت قبل به آن اشاره شد، این نتیجه به دست می‌آید که بهبود تولید می‌تواند در برطرف کردن مشکلات مربوط به چاه و یا بهینه‌سازی آن، تاسیسات سطح الارضی و یا مخزن باشد. این نتیجه در رابطه زیر نشان داده شده است:

$$\text{IOR (Improved Oil Recovery)} = \text{EOR (Enhanced Oil Recovery)} + \text{SFI (Surface Facilities Improvement)} + \text{WPE (Well Production Enhancement)}$$

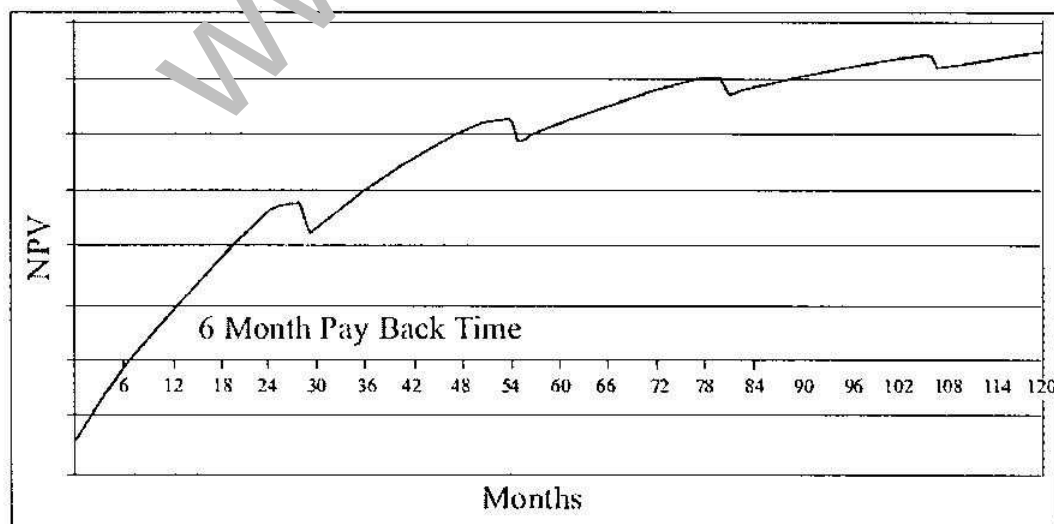
همانطور که در قسمت‌های قبل نیز گفته شد بر این اساس، روش‌های ازدیاد تولید چاه محور با برطرف کردن مشکلات یا بهینه کردن موضوعات مرتبط با چاه از جمله مسیر حفر چاه، منجر به ازدیاد تولید می‌شوند. در حالی که روش‌های مخزن محور به دنبال برطرف کردن مشکلات مخزن از جمله: کاهش فشار مخزن یا بهینه‌سازی در مدیریت مخزن هستند. وجه تمایز دیگر روش‌های ازدیاد تولید چاه محور و مخزن محور، مدت زمان و هزینه دست‌یابی به تولید بیشتر



است. در روش‌های ازدیاد تولید چاه محور، در مقایسه با روش‌های مخزن محور، در مدت زمان کمتر و با هزینه بسیار پایین‌تر، به جواب می‌رسند. استفاده از روش‌های تولیدی چاه محور، به همراه مدل‌های اقتصادی، سرمایه‌گذاری برای استفاده از این روش‌ها را توجیه پذیر می‌نماید. در یکی از مطالعات موردی که به منظور بررسی اقتصادی روش‌های چاه محور انجام شده، سهم هزینه‌ها و درآمدها در یک بازه زمانی ۱۵ ماهه برای یک چاه از مدار خارج شده محاسبه شده که در شکل زیر نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود، میزان درآمد حاصله در مقایسه با هزینه‌ها بسیار بالا می‌باشد.



با توجه به لزوم سرمایه‌گذاری اولیه مناسب برای استفاده از این روش‌ها و همچنین امکان وجود هزینه‌های تعمیر و نگهداری در طول زمان بهره‌برداری، محاسبه سود خالص فعلی (NPV: Net Present Value) با استفاده از این روش‌ها نتایج جالبی را به همراه دارد. در نمودار زیر زمان بازگشت سرمایه به بیان استفاده از پمپ درون چاهی در یک بازه زمانی ده ساله نشان داده است. بازگشت سرمایه با نرخ ۲۰ درصد و در یک فاصله زمانی ۶ ماهه، امکان برنامه‌ریزی برای تولید با استفاده از این تجهیزات را توجیه پذیر می‌نماید. شایان ذکر است که مدل‌های فوق تنها ضرورت توجه به روش‌های چاه محور را نشان می‌دهد. به منظور استفاده بهینه از روش‌های چاه محور، اعتنا به نقشه راهی است که در ادامه ارائه می‌شود.





🔍 شیوه انتخاب چاه‌ها برای به کارگیری روش‌های افزایش تولید چاه محور

با توجه به تعداد زیاد چاه‌ها و محدودیت منابع، انتخاب چاه‌ها برای به کارگیری روش‌های افزایش تولید چاه محور، باید به نحوی باشد که حداکثر ارزش افزوده به دست آید. برای این منظور، باید سببی از روش‌های چاه محور به همراه مناسب ترین چاه‌های کاندید مشخص شوند. انتخاب روش مناسب به منظور ارائه یک نقشه راه کاربردی و نیز انتخاب بهترین روش افزایش تولید چاه محور متناسب با شرایط و محدودیت‌های چاه، تأسیسات و مخزن و همچنین توجه به ارزیابی‌های فنی، اقتصادی و مطالعات ریسک، امکان توسعه و بهبود شرایط افزایش تولید را در قالب برنامه‌های مدون فراهم می‌سازد. بر این اساس، درگاه‌های تصمیم‌گیری مختلفی برای تبیین این متدولوژی می‌توان تعریف نمود که عبارتند از:

۱- شناسایی علت مشکلات در هر چاه

۲- ارایه راه حل (یکی از روش‌های افزایش تولید چاه محور) برای مقابله با علت به وجود آورنده مشکل در هر چاه

۳- تعیین اولویت بندی چاه‌ها در هر یک از روش‌های افزایش تولید چاه محور

۴- تحلیل فنی - اقتصادی با به کارگیری نرم‌افزارهای مدل سازی چاه با رویکرد آنالیز ریسک در مورد چاه‌های اولویت‌دار

۵- تشکیل سبد بهینه‌ای از روش‌های افزایش تولید چاه محور

۶- تهیه بسته‌های اجرایی برای واکاوی چاه، به منظور پیاده سازی روش‌های افزایش تولید چاه محور.

هما‌نطور که در شکل صفحه بعد نشان داده شده است، با مشاهده یکی از چهار عارضه: بهره‌دهی کم، برش آب بالا، نسبت گاز به نفت بالا و تولید ماسه در هر چاه، می‌توان در آن چاه احراز می‌شود. این مشکلات در سمت چپ شکل نشان داده شده است (ستون اول). در اولین درگاه تصمیم‌گیری باید این مشکلات علت‌یابی شوند (ستون دوم). به این منظور، از تست‌های تشخیصی از جمله چاه آزمایی، تحلیل داده‌های تولیدی و نظرات کارشناسان مرتبط با مخزن نفتی استفاده می‌شود. به عنوان نمونه از علل افزایش برش آب می‌توان به: شستی، از لوله مغزی، لوله جدار و یا توپک، وجود لایه با تراوایی بالا بدون جریان متقاطع، وجود درزها و شکاف‌ها از چاه رریقی به تولیدی، وجود درزها و شکاف‌ها از آبده به چاه تولیدی و مخروطی شدن یا تیغه‌ای شدن اشاره کرد. پس از شناسایی علت مشکل در هر چاه، باید راه حلی برای آن ارایه داد (ستون سوم). به عنوان نمونه در صورتی که راه حل، استفاده از برس‌های فراآوری باشد، باید یکی از آن روش‌ها انتخاب شود.

به این منظور باید از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مثل تحلیل سلسله مراتبی استفاده کرد. به کارگیری این روش‌های تصمیم‌گیری مبتنی بر شناسایی پارامترهای غربالگری است. بخشی از پارامترهای غربالگری برای انتخاب یکی از روش‌های فراآوری در جدول زیر نشان داده شده است. روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر امتیاز دهی به دو دسته ماتریس است.