



## بزرگ‌ترین پروژه تزریق نیتروژن دنیا؛ موفق یا ناموفق؟!\*

وحید مثنایخی زاده<sup>۱</sup>، شاهین کرد<sup>۲</sup>، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب

چکیده

یکی از روش‌های ازدیاد برداشت مبتنی بر تزریق گاز، تزریق غیرامتزاجی نیتروژن در کلاهیگ گازی مخازن نفتی است. تاکنون به‌جز چند پروژه اندک در آمریکا، کانادا و مکزیک، این روش ازدیاد برداشت در مقیاس میدانی کاربرد فراوانی نداشته است. در سال ۲۰۰۰ میلادی، بزرگ‌ترین و در عین حال مهم‌ترین پروژه تزریق نیتروژن تاریخ صنعت نفت در میدان کانتارل<sup>۱</sup> مکزیک آغاز شد. از آنجا که میدان کانتارل ششمین میدان نفتی بزرگ دنیا بوده و میزان تولید نفت آن نه تنها در مکزیک بلکه برای آمریکا نیز از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار است (مکزیک همواره جزء سه کشور برتر صادر کننده نفت به آمریکا بوده)، عملکرد پروژه تزریق نیتروژن در این میدان با حساسیت‌های فراوانی همراه بوده و در مسیر اجرای آن، چالش‌هایی رخ داده که ارزیابی میزان موفقیت آمیز بودن آن را دشوار کرده است. شکی نیست که برای ارزیابی دقیق میزان موفقیت یک پروژه ازدیاد برداشت باید هر دو جنبه فنی و اقتصادی را در نظر گرفت. علاوه بر آن می‌توان آثار سیاسی، مدیریتی، ژئوپلیتیکی و حتی امنیتی را نیز در ارزیابی برخی پروژه‌های خاص مورد نظر قرار داد. پروژه میدان کانتارل نیز به دلیل بزرگی این میدان، نقش محوری تولید نفت آن در اقتصاد مکزیک، تأثیر مهم آن در تأمین واردات نفت آمریکا، معطوف شدن نگاه ایالات متحده به میداین خاورمیانه به دلیل افت تولید کانتارل و سایر دلایل، حائز تمام جنبه‌های اشاره شده می‌باشد.

رویکرد مقاله حاضر بیشتر بررسی جنبه‌های فنی پروژه مذکور بوده و بررسی سایر جنبه‌های آن مد نظر نیست. در عین حال اشاراتی نیز به مسائل اقتصادی، سیاسی و مدیریتی این پروژه صورت گرفته که بررسی این موارد نیازمند مطالعه مستندات غیر فنی است. مستنداتی که خوشبختانه برخی از آنها در اختیار عموم قرار گرفته است.

واژگان کلیدی | تزریق نیتروژن، میدان کانتارل، شرکت پمکس، افت تولید، مدیریت مخزن

### مقدمه

میدان دریایی کانتارل بزرگ‌ترین میدان نفتی مکزیک [۱]، ششمین میدان نفتی بزرگ دنیا [۳] و دومین میدان بزرگ شکاف‌دار دنیا است [۲].

این میدان از پنج مخزن عمده به نام‌های Akal, Nohoch, Chac, Kutz, Sihil تشکیل شده است [۴]. مخزن آکال<sup>۳</sup> مهم‌ترین مخزن میدان کانتارل است که حدود ۹۱ درصد نفت در جای میدان را به خود اختصاص داده است [۳]. آکال

یک مخزن کربناته شکاف‌دار با تراوایی زیاد است که حاوی واگ<sup>۴</sup> می‌باشد [۱]. مکانیزم‌های عمده عمل کننده در این مخزن به ترتیب عبارتند از: ریزش ثقلی، همرفت حرارتی طبیعی و نفوذ مولکولی [۵]. سیال اولیه این میدان زیراشباع بوده که پس از اندک زمانی، فشار آن به زیر نقطه حباب افت کرده و کلاهیگ گازی ثانویه در میدان تشکیل شده است [۴]. آبد میدان کانتارل با میدان‌های مجاور مشترک است [۶]. گزینه ازدیاد برداشت اعمال شده در میدان کانتارل، تزریق

غیرامتزاجی گاز نیتروژن در کلاهیگ گازی با هدف تثبیت فشار بوده است [۷]. شرکت پمکس (PEMEX)<sup>۵</sup> متولی اکتشاف، تولید، فرآورش، انتقال و توزیع محصولات خام و پالایش شده نفت و گاز میدان کانتارل و سایر میداین کشور مکزیک است [۸]. شماتیکی از تاریخچه این میدان در شکل ۱- نشان داده شده است.

پروژه تزریق نیتروژن در میدان کانتارل همواره مورد توجه کارشناسان داخلی بوده و از آن به‌عنوان یکی از پروژه‌های موفق ازدیاد برداشت یاد می‌شود.

\* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات (mashayekhizadeh.v@nisoc.ir)



مقاله حاضر به بررسی مستندات فنی و غیر فنی این پروژه پرداخته و تلاش می‌کند موفقیت آنرا بر پایه مستندات مذکور ارزیابی کند.

۱- آمار مربوط به ذخیره و تولید میدان در جدول ۱- آمار و اطلاعات مربوط به حجم ذخیره و تولید نفت و گاز طبیعی میدان کانتارل ارائه شده است.

به ادعای یکی از کارشناسان شرکت پمکس، پروژه تزریق نیتروژن، ضریب بازیافت از میدان کانتارل را ۲۰ درصد افزایش می‌دهد [۹]. در برخی منابع دیگر نیز یکی از اهداف این پروژه، افزایش ذخیره میدان بیان شده است [۳ و ۸].

این در حالی است که به عقیده برخی دیگر، رقم ۱۷ میلیارد بشکه به‌عنوان ذخیره میدان با در نظر گرفتن پروژه تثبیت فشار بوده و در صورت عدم اجرای پروژه، بازیافت اضافی حاصل از تزریق نیتروژن (۲/۳۲۴ میلیارد بشکه) باید از ذخیره اثبات شده میدان کسر گردد [۱۰]. در شکل ۲- نمودار نرخ تولید، تولید انباشتی نفت، فشار مخزن، تعداد چاه‌های تولیدی و نرخ تزریق نیتروژن در طول تاریخچه تولید میدان کانتارل نشان داده شده است. در جدول ۲- کمیت‌های مربوط به سنگ و سیال میدان کانتارل ارائه شده‌اند.

شما تیکت از میدان کانتارل و نحوه تزریق نیتروژن به آن نیز در شکل ۳- نشان داده شده است.

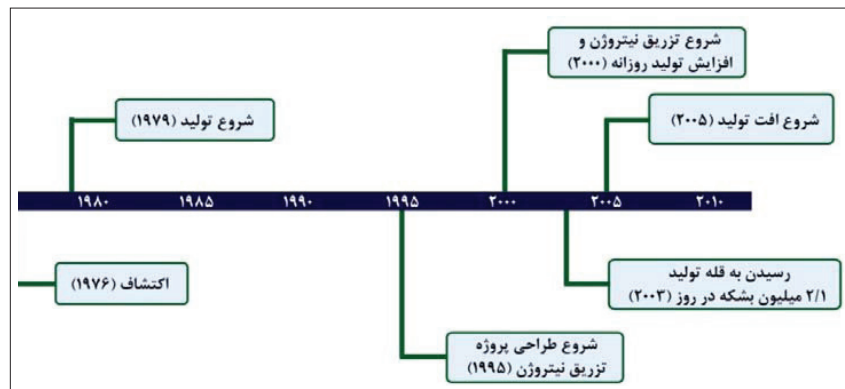
## ۲- فعالیت‌های شرکت پمکس در راستای امکان‌سنجی و پیش‌بینی عملکرد تزریق نیتروژن در میدان

پمکس برای توجیه لزوم استفاده از یک منبع خارجی جهت تأمین انرژی مورد نیاز میدان، با استفاده از شبیه‌سازی، پیش‌بینی خود از ادامه روند تخلیه طبیعی میدان کانتارل را به‌صورت زیر بیان کرد [۱۱]:

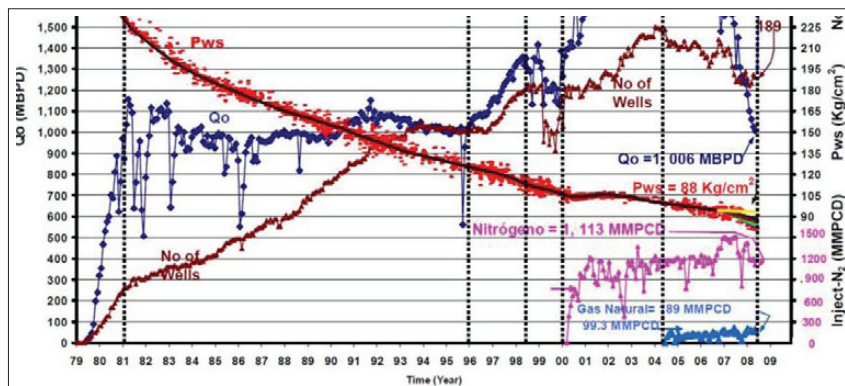
- روند کاهشی فشار میدان ادامه خواهد داشت.
- بهره‌دهی چاه‌ها کاسته شده و نرخ متوسط تولید آنها تا سال ۲۰۰۴ به ۳۲۰۰ بشکه در روز کاهش خواهد یافت.
- حفر چاه‌های جدید برای حفظ نرخ تولید از میدان توجیه اقتصادی نخواهد داشت.
- حجم کلاهک گازی افزایش می‌یابد؛ هر چند این مسئله سبب افزایش بازده فرآیند ریزش ثقلی خواهد شد اما چون سطح تماس آب و نفت نیز مرتباً بالا می‌آید، قسمت عمده‌ای از ستون نفت به اشغال آب درآمده و بازده به‌شدت کاهش خواهد یافت.
- برش آب در چاه‌های تولیدی افزایش یافته و این مسئله سبب بسته شدن زود هنگام آنها

جدول ۱ | حجم ذخیره و تولید نفت و گاز طبیعی میدان کانتارل [۱۳ و ۱۲ و ۱۱]

کمیت	مقدار	واحد
حجم نفت درجا	۳۵	میلیارد بشکه
ذخیره اثبات شده	۱۷	میلیارد بشکه
سهم میدان از مجموع ذخایر نفتی مکزیک	۲۵/۷	درصد
سهم میدان از تولید روزانه نفت مکزیک تا قبل از شروع پروژه تزریق نیتروژن	۴۲	درصد
سهم میدان از تولید روزانه نفت مکزیک در قله تولید (۲/۱ میلیون بشکه در روز)	۵۹	درصد
بازیافت اضافی برآورد شده نفت پس از تزریق نیتروژن	۲/۳۲۴	میلیارد بشکه
بازیافت اضافی برآورد شده گاز پس از تزریق نیتروژن	۸۷۰	میلیارد فوت مکعب
متوسط نرخ تولید نفت هر چاه در ابتدای تولید از میدان	۳۱	هزار بشکه در روز
متوسط نرخ تولید نفت هر چاه در شروع تزریق نیتروژن	۷	هزار بشکه در روز



شکل ۱ | شما تیکت تاریخچه تولید و تزریق میدان کانتارل



شکل ۲ | نمودار تاریخچه تولید و تزریق میدان کانتارل [۲]

خواهد شد.

تولید ذخیره مخزن ۸۰ سال به طول خواهد انجامید.

نرخ تولید چاه‌ها پس از ۳-۲ سال با افت شدیدی مواجه خواهد شد.

در شرایط فشاری نامطلوب باید تأسیسات جدید

ساخته و چاه‌های جدید حفر شوند.

شرکت پمکس به منظور تأمین انرژی مورد نیاز مخزن، بررسی فرآیندهای مختلف تزریق گاز را در دستور کار خود قرار داد. گازهایی مانند گاز

طبیعی، دی‌اکسید کربن، گاز خروجی کارخانجات و نیتروژن از لحاظ فنی و اقتصادی بررسی شده و در نهایت به منظور تثبیت فشار گزینه تزریق غیرامتزاجی نیتروژن در کلاهک گازی مورد تأیید قرار گرفت [۱].

مشکلات و مسائل احتمالی زیر جهت بررسی اولیه پروژه تزریق نیتروژن توسط پمکس مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار گرفت:

- کانال زدن نیتروژن<sup>۶</sup>
- تشکیل تجمعات آسفالتینی<sup>۷</sup>
- تعداد چاه‌های تزریقی مورد نیاز
- زمان میان‌شکنی<sup>۸</sup> نیتروژن و تغییر پروفایل اشباع آن با زمان
- پایش تزریق نیتروژن
- تأثیر تزریق نیتروژن بر میدان‌های مجاور در صورت وجود ارتباط هیدرولیکی (این مسئله در مورد میدان کانتارل وجود دارد)

کارشناسان پمکس ریسک کانال زدن نیتروژن را رد کردند. به عقیده آنها اولاً مطالعات شبیه‌سازی چنین مسأله‌ای را تأیید نمی‌کرد و ثانیاً شواهد میدانی در طول سالیان متمادی نشان می‌داد که ریزش تفرقی در مخزن آکال بسیار فعال بوده است. علاوه بر آن، تزریق نیتروژن در رأس مخزن و به دور از سطح تماس گاز و نفت نمی‌توانست خطر چندانی ایجاد کند. هم‌چنین مشخص شد که تأثیر نیتروژن تزریقی بر تشکیل آسفالتین تقریباً ناچیز خواهد بود.

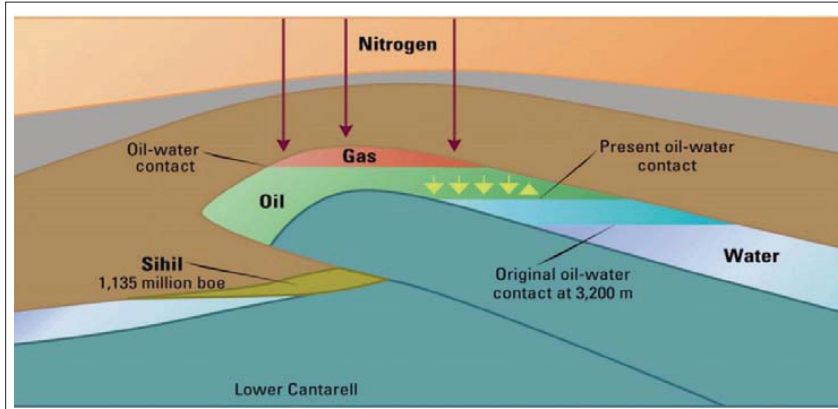
نتایج کار تیم شبیه‌سازی میدان نشان می‌داد که غلظت نیتروژن در نفت تولیدی پس از گذشت سه سال از آغاز تزریق قابل توجه خواهد بود. هم‌چنین غلظت نیتروژن در سال ۲۰۱۰ به ۱۰ درصد خواهد رسید و در همین سطح باقی خواهد ماند.

نتایج پایش نشان می‌داد که تقریباً بلافاصله پس از تزریق نیتروژن، فشار در چاه‌های تولیدی گازی، نفتی و هم‌چنین چاه‌های منطقه مورد تهاجم آب افزایش می‌یابد که این نشان‌دهنده قابلیت انتقال‌پذیری<sup>۹</sup> زیاد مخزن است [۱].

در نهایت پیشنهاد تیم شبیه‌سازی پمکس برای تولید از میدان به این صورت بود که بهترین سناریو برای بازیافت نفت، تولید روزانه ۲ میلیون بشکه به مدت چهار سال است که برای این منظور به تزریق ۱/۲ میلیارد فوت مکعب نیتروژن در روز نیاز

۲ | کمیت‌های مخزنی میدان کانتارل [۱۹۹۱]

کمیت	مقدار	واحد
شاخص سبکی نفت تانک ذخیره	۲۲	API°
دمای مخزن	۱۱۰-۱۲۰	درجه سانتی‌گراد
تراوایی ماتریس	۰/۳	میلی‌داریسی
تراوایی شکاف	۵۰۰۰	میلی‌داریسی
تخلخل کل	۸	درصد
تخلخل ثانویه (شکاف‌ها، میکروشکاف‌ها و واگ‌ها)	۲۵	درصد از میزان تخلخل کل
اشباع اولیه آب	۲۱	درصد
گرانروی	۲/۶	سانتی‌پویز
فشار اولیه	۳۸۴۰	پام
فشار اشباع	۲۱۳۴	پام
فشار در شروع تزریق گاز	۱۵۲۰	پام
سطح تماس اولیه آب و نفت	۱۰۵۰۰	فوت زیر سطح دریا
سطح تماس آب و نفت در شروع تزریق گاز	۹۰۰۰	فوت زیر سطح دریا
سطح تماس گاز و نفت در شروع تزریق گاز	۶۳۷۰	فوت زیر سطح دریا
حجم کلاهک گازی در مقایسه با کل مخزن در آغاز تزریق گاز	۲۰	درصد
حجم منطقه مورد تهاجم آب در مقایسه با کل مخزن در آغاز تزریق گاز	۲۲	درصد



۳ | شماتیک نحوه تزریق نیتروژن به میدان کانتارل

خواهیم داشت. پس از آن نرخ تولید نفت و تزریق نیتروژن کاهش یافته و نیتروژن اضافی در مخازن دیگر تزریق خواهد شد [۶].

پمکس از آزمایش‌های زیر نیز جهت ارزیابی موارد فوق بهره گرفت [۱]:

■ آنالیز ویژه مغزه<sup>۱</sup>

■ آنالیز خواص سیال<sup>۱۱</sup> مخزن و نیتروژن

■ آزمایش نفوذپذیری-انتشار<sup>۱۲</sup> در سلول PVT و مغزه

■ آزمایش ردیابی<sup>۱۳</sup>

پس از جمع‌بندی موارد بالا و تحلیل اقتصادی پروژه، پمکس اعلام کرد که امکان اجرای آزمایش پایلوت در میدان وجود ندارد؛ چرا که هیچ منطقه محفوظی که شرایط مخزن آکال را داشته باشد یافت نمی‌شود [۱]. از این رو اجرای مستقیم پروژه در ابعاد مخزن در دستور کار قرار گرفت و بدین ترتیب بود که بزرگ‌ترین پروژه تزریق نیتروژن (از لحاظ میزان نفت اضافی تولیدشده، نرخ تولید نفت، نرخ تزریق نیتروژن و میزان سرمایه‌گذاری) در میدان کانتارل کلید خورد [۶].

### ۳- اجرای پروژه تزریق نیتروژن و پیامدهای آن

پس از آغاز پروژه یکی از دغدغه‌های اصلی متولیان آن، فرآیند پایش ابعاد مختلف داشته است. پمکس عملیات پایش را در سه سطح مختلف انجام داده است [۶]:

الف) پایش فشار (از طریق سه گروه چاه مشاهده‌ای در کلاهدک گازی، ستون نفت و آبد)

ب) پایش غلظت نیتروژن (با استفاده از کروماتوگراف گازی سیال تولیدی از چاه)

ج) پایش حرکت سطوح سیالات

می‌توان گفت مهم‌ترین چالش پمکس در تولید از میدان کانتارل، پایش حرکت سطوح سیالات در چاه‌ها و کنترل میان‌شکن غیرمترقبه آنها بوده است [۲]. پس از آغاز پروژه، سرعت پایین آمدن سطح تماس گاز و نفت افزایش یافته و به ۲۳۰ فوت در سال رسید. البته تا چهار سال پس از شروع پروژه، کانال‌زدن نیتروژن مشاهده نشد. ضمناً مخروطی شدن گاز<sup>۱۴</sup> نیز به دلیل تراوایی زیاد شکاف‌ها دیده نشد [۶]. اما این پایان کار نبود

و پس از گذشت حدود پنج سال از آغاز تزریق، غلظت نیتروژن در نفت تولیدی شروع به افزایش کرد. به‌زودی مشخص شد که پدیده‌هایی مانند مخروطی شدن گاز، انگشتی شدن<sup>۱۵</sup> و کانال‌زدن نیتروژن فعال بوده و ادامه روند موفقیت‌آمیز پروژه را تهدید می‌کنند [۱۳]. پمکس اعلام کرد که غیرهمگنی کوچک مقیاس و بزرگ مقیاس یکی از دلایل بروز این پدیده‌ها بوده است. برای غلبه بر میان‌شکنی گاز و کنترل حرکت سطح تماس گاز و نفت، پمکس استراتژی کاهش نرخ تولید نفت را در دستور کار قرار داد؛ چرا که با توجه به ظرفیت تأسیسات سطح‌الارضی امکان تفکیک حجم عظیم گاز تولیدی در سطح وجود نداشت. غیر از میان‌شکنی گاز، یکی دیگر از مشکلات میدان کانتارل، میان‌شکنی آب بود که برای پیش‌گیری از این پدیده، چاه‌ها یا بسته شد و یا نرخ تولید آنها کاهش یافت.

خط‌مشی کنونی پمکس در مدیریت میدان کانتارل به شرح زیر است:

- پایش حرکت سطوح سیالات در شبکه شکاف‌ها
- یافتن منشأ و علت میان‌شکنی زود هنگام سیالات
- طراحی یک استراتژی مؤثر برای مدیریت چاه [۲]

با آغاز پروژه تزریق نیتروژن، میدان کانتارل سریع‌ترین افزایش نرخ تولید را در بین همه میادین جهان (به استثنای میدان قوار<sup>۱۶</sup> در عربستان) تجربه کرده است. از سوی دیگر، پس از گذشت پنج سال از آغاز پروژه، یکی از سریع‌ترین افت تولیدهای تاریخ صنعت نفت نیز در این میدان به وقوع پیوسته؛ به‌طوری که این مسئله آثار نامطلوبی بر اقتصاد مکزیک داشته است. هم‌اکنون نرخ تولید از این میدان به ۴۰۰ هزار بشکه در روز تنزل یافته است [۱۴].

### ۴- مسائل مربوط به مدیریت مخزن

همان‌گونه که عملکرد میدان کانتارل و تکامل استراتژی‌های مدیریت آن در شکل-۲ نشان داده شده، این میدان در شش مرحله مختلف مدیریت شده است. در اولین مرحله که دو سال به طول انجامیده، طراحی و اجرا با هدف رسیدن به نرخ تولیدی یک میلیون بشکه نفت در روز

انجام گردیده که در مرحله دوم تا سال ۱۹۹۶ همین رقم تثبیت شده است. در مرحله سوم برای افزایش نرخ تولید و رساندن آن به ۱/۳۵ میلیون بشکه در روز، استراتژی حفر چاه‌های متعدد مبنای کار قرار گرفته که این مرحله تا سال ۱۹۹۸ ادامه داشته است. تا آن زمان انرژی مخزن تحت کنترل کلاهدک گازی ثانویه بود اما افزایش مجدد نرخ تولید نیازمند وجود منبعی خارجی برای تأمین انرژی مورد نیاز بود که برای طراحی و تأمین این منبع انرژی مرحله چهارم برنامه‌ریزی شد. در ابتدای سال ۲۰۰۰، مرحله پنجم یعنی عملیات تزریق نیتروژن آغاز شد و در ابتدای سال ۲۰۰۴، امکان رسیدن به قله تولید ۲/۱۵ میلیون بشکه نفت در روز فراهم شد. پس از اندک زمانی، نرخ تولید نفت سقوط کرده و مسأله مدیریت چاه جهت مقابله با پدیده میان‌شکنی گاز و آب در رأس امور قرار گرفت (مرحله ششم). در این مرحله به دلیل فقدان ظرفیت مناسب در تأسیسات سطح‌الارضی، بسیاری از چاه‌ها پس از افزایش برش آب و گاز در آنها، بسته یا تعمیر شد و یا نرخ تولید آنها به شدت کاهش داده شد [۲]. شکل-۴ سهم تولید طبیعی بدون حفر چاه‌های جدید، با حفر چاه‌های جدید و در حالت تزریق نیتروژن را در تاریخچه تولید از میدان تا سال ۲۰۰۴ نشان می‌دهد.

### ۵- حاشیه‌های مربوط به پروژه تزریق نیتروژن

تا قبل از سال ۲۰۰۵ میلادی و تا زمان رسیدن به قله تولید ۲/۱ میلیون بشکه در روز، مقالات ارائه شده توسط کارشناسان شرکت پمکس [۱۰ و ۱۱ و ۱۲ و ۱۳]، گزارش رسمی این شرکت [۱۲] و سایر منابع صراحتاً بر موفقیت‌آمیز بودن پروژه تزریق نیتروژن در میدان کانتارل اذعان داشته‌اند. اما هم‌زمان با شروع دوره افت تولید اتفاقات و حاشیه‌هایی پیرامون این پروژه ایجاد شده که در ادامه به آنها اشاره خواهد شد.

از آنجا که در سال ۲۰۰۹ حدود ۴۰ درصد بودجه سالانه مکزیک از صادرات نفت تأمین می‌شد [۱۵]، افت تولید میدان کانتارل برای این کشور تبعاتی به‌دنبال داشته است [۱۴]. کاهش درآمد حاصل از صادرات نفت مکزیک به‌واسطه افت تولید میدان کانتارل در حدود ۱۴ میلیارد دلار در سال برآورد شده است. بر همین اساس

فیلیپه کالدرون<sup>۱۴</sup> رئیس جمهور وقت مکزیک، در سال ۲۰۰۹ طی مصاحبه‌ای رادیویی خواستار بازنگری در بخش انرژی شده و علاوه بر آن، پمکس مدیر اجرایی پروژه تزریق نیتروژن را برکنار کرده است. مدیر اکتشاف و تولید شرکت پمکس اعلام کرده که قسمتی از نفت تولید این میدان با افزایش تولید از میادین دیگر (به خصوص میدان Ku-Maloob-Zaap که در حال حاضر با تولید ۸۰۰ هزار بشکه نفت خام در روز از لحاظ نرخ تولید بزرگ‌ترین میدان مکزیک است) جبران شود. به گفته‌ی وی در سال‌های آتی و به دنبال افت تولید از میدان Ku-Maloob-Zaap احتمالاً پروژه‌های جدید خواهند توانست تولید نفت مکزیک را اندکی افزایش دهند. به عقیده وی تاکنون وابستگی به میدان کانتارل بسیاری زیاد بوده که از این پس باید زمین بازی را به میادین کوچک‌تر اختصاص داد. لازم به ذکر است برخی کارشناسان و مشاوران مستقل، سال‌ها قبل افت شدید تولید میدان کانتارل را هشدار داده و نسبت به عدم پاسخ‌گویی فنی شرکت پمکس در شرایط کنونی انتقاد کرده‌اند. دولت مکزیک با پذیرش تلویحی ضعف پمکس قوانین جدیدی وضع کرده تا شرکت‌های خارجی آسان‌تر بتوانند در اکتشاف و تولید میادین جدید و تقریباً نامتعارف این کشور مشارکت کنند؛ چراکه به زعم دولت مکزیک، این کشور فن آوری لازم برای این کار را در اختیار ندارد. لازم به ذکر است

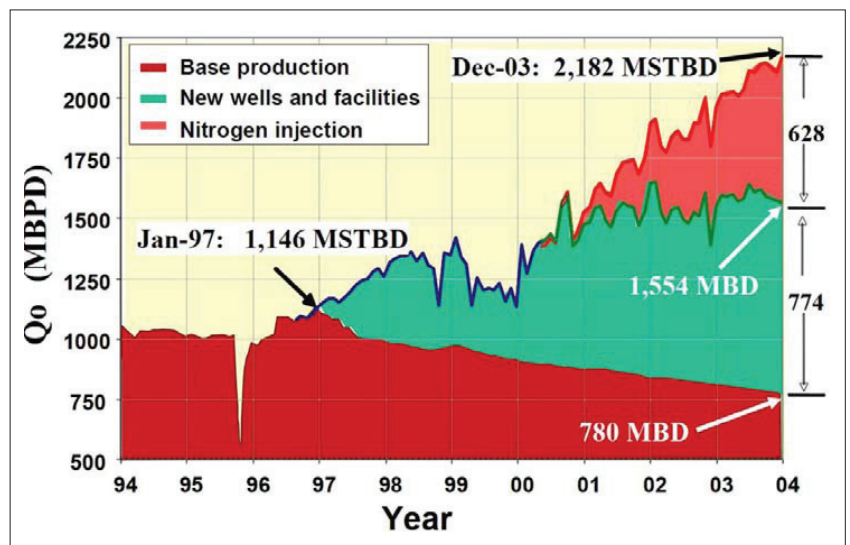
از نظر ایالات متحده کاهش تولید نفت مکزیک به معنی کاهش واردات نفت آمریکا از یک کشور دوست (و از لحاظ سیاسی پایدار) می‌باشد؛ کشوری که همواره جزء سه کشور برتر صادرکننده نفت به آمریکا بوده است. این مسئله به معنای افزایش وابستگی ایالات متحده به میادین خاورمیانه خواهد بود [۱۵].

### نتیجه‌گیری

به نظر می‌رسد در شرایط کنونی اراده‌ای جهت اظهار نظر صریح و قطعی در خصوص موفقیت یا عدم موفقیت پروژه تزریق نیتروژن به میدان کانتارل توسط دست‌اندرکاران این پروژه وجود ندارد. سؤالی که در اینجا مطرح می‌شود اینست که آیا شرکت پمکس افت تولید کانتارل را پیش‌بینی کرده است؟ همان‌گونه که اشاره شد پاسخ این سؤال مثبت است. پمکس در یک مطالعه داخلی که در سال ۲۰۰۵ (پنج سال پس از آغاز پروژه) آنرا منتشر کرده [۱۲]، پیش‌بینی خود از افت تولید میدان را ارائه نموده و نرخ تولید در سال ۲۰۰۸ را در حدود ۱/۴۳ میلیون بشکه در روز تخمین زده است. این در حالی است که در سال ۲۰۰۸ مقدار واقعی تولید (با خطای حدود ۴۳ درصدی) به حدود یک میلیون بشکه در روز رسیده است [۲]. اما سؤال اساسی‌تر اینست که آیا شرکت پمکس مشکلات مخروطی شدن گاز و بروز پدیده‌های انگشتی شدن، نیتروژن دنیا کمک خواهد کرد.

مسئله دیگر اینست که اگر پمکس شدت افت تولید کانتارل را پیش‌بینی کرده بود آیا اساساً چنین پروژه‌ای را انجام می‌داد یا خیر و اگر شدت افت تولید میدان پیش‌بینی شده بود، چرا بودجه سالیانه مکزیک را تحت الشعاع قرار داده است؟ [۱۴ و ۱۵] چرا رئیس جمهور مکزیک به این مسئله واکنش نشان داده و چرا دولت برای استفاده از تجارب و فن آوری سایر کشورهای پیشرو در دانش مهندسی نفت خواستار وضع قوانین جدید شده است؟ چرا مدیر اجرایی پروژه برکنار شده است؟ [۱۵] چرا آخرین گزارش فنی شرکت پمکس درباره کانتارل در وب‌سایت رسمی این شرکت مربوط به سال ۲۰۰۵ (سالی که تولید نفت به قله ۲/۱ میلیون بشکه در روز رسیده بود) می‌باشد؟ [۱۲] چرا در آمار رسمی ارائه شده در منبع [۱۶] این مقاله، در مورد ارزیابی پروژه کانتارل اطلاعاتی منتشر نشده است؟ پاسخ این سؤالات بدون شک ما را در درک موفقیت یا عدم موفقیت بزرگ‌ترین پروژه تزریق نیتروژن دنیا کمک خواهد کرد.

بررسی مستندات مربوط به این پروژه و افت تولید تاریخی این میدان می‌تواند هشدار برای متولیان مطالعه و اجرای پروژه‌های ازدیاد برداشت باشد. از دیدگاه فنی باید توجه داشت که پیچیدگی مخازن شکاف‌دار پیش‌بینی عملکرد آنها را در پروژه‌های تزریق گاز با دشواری روبرو خواهد کرد. تزریق گاز با فشار و نرخ زیاد در چنین مخازنی ریسک بروز پدیده‌های مخربی چون میان‌شکنی زود هنگام سیالات تزریقی را افزایش می‌دهد. با وجود شناسایی این پدیده‌ها در فاز مطالعاتی پروژه و امکان‌سنجی وقوع آنها، گاه طبیعت پیچیده مخزن پیش‌بینی‌ها را با اشکال روبرو کرده و صدمات جبران‌ناپذیری به همراه خواهد داشت. به همین دلیل باید از پیش‌بینی‌های خوش‌بینانه اجتناب کرد. از دیدگاه اقتصادی باید توجه کرد که برداشت



۱۴ سهم تولید طبیعی بدون حفر چاه جدید، با افزودن تعداد چاه‌های جدید و در حالت تزریق نیتروژن در تولید نفت میدان کانتارل [۶]





طریق مطالعه این اسناد با نتایج و تجارب حاصل از این پروژه‌ها آشنا شوند. در کشور ما نیز از دیرباز پروژه‌های تزریق گاز با هدف تثبیت فشار یا فشارافزایی اجرا شده و نتایج موفقیت آمیزی در پی داشته است. انتشار نتایج این پروژه‌ها می‌تواند توانایی مهندسان ایرانی را در طراحی و اجرای عملیات تزریق گاز نشان داده و راهی برای ورود شرکت‌های ایرانی به عرصه رقابت بین‌المللی باز کند که البته اخذ چنین تصمیماتی در حیطه اختیارات مدیران کلان کشور است. ■

شکست پروژه، تبعات اقتصادی چندانی گریبان‌گیر شرکت نخواهد شد.

سرنوشت پروژه تزریق نیتروژن میدان کانتارل نشان می‌دهد که چگونه تصمیمات فنی می‌تواند مباحث کلان ملی را تحت تأثیر قرار دهد. نکته دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد اینست که مقالات، گزارش‌های فنی و اقتصادی و اسناد متعددی از این پروژه و سایر پروژه‌های ازدیاد برداشت دنیا در دسترس عموم قرار گرفته که متخصصان و صاحب‌نظران دنیا می‌توانند از

تهاجمی و غیرصیانتی از یک مخزن بزرگ هر چند می‌تواند در کوتاه مدت نرخ تولید را به صورت جهشی افزایش دهد اما در صورت بروز پدیده‌های مخرب غیرمترقبه، باقی ماندن در قله تولید ممکن است چندان به طول نیانجامد. به‌طور قطع می‌توان گفت که بهتر است اجرای پروژه‌های جدید برای یک شرکت نفتی که فاقد تجارب میدانی در آن زمینه است، با میداین کوچک‌تر آغاز شود. در این صورت هم نتایج پروژه سریع‌تر رصد شده و تجارب لازم اندوخته می‌شود و هم در صورت

## پانویس‌ها

<sup>1</sup>shkord@yahoo.com

<sup>2</sup>Cantarell

<sup>3</sup>Akal

<sup>4</sup>vug

<sup>5</sup>Petróleos Mexicanos

<sup>6</sup>nitrogen channeling

<sup>7</sup>asphaltene aggregation

<sup>8</sup>breakthrough

<sup>9</sup>transmissibility

<sup>10</sup>SCAL

<sup>11</sup>PVT

<sup>12</sup>diffusion-dispersion

<sup>13</sup>tracer test

<sup>14</sup>gas coning

<sup>15</sup>fingering

<sup>16</sup>Ghawar

<sup>17</sup>Felipe Calderon

## منابع

- [1] F. Rodríguez, G. Ortega, J.L. Sánchez, O. Jiménez, "Reservoir Management Issues in the Cantarell Nitrogen Injection Project", OTC 13178, Offshore Technology Conference held in Houston, Texas, U.S.A., 2001.
- [2] T.S. Daltaban, A. Miguel Lozada, P. Antonio Villavicencio, and F. Marcos Torres, "Managing Water and Gas Production Problems in Cantarell: A Giant Carbonate Reservoir in Gulf of Mexico", SPE 117233, Abu Dhabi International Petroleum Exhibition and Conference held in Abu Dhabi, UAE, 2008.
- [3] T. Limón-Hernández, G. De-la-Fuente, G. Garza-Ponce, and M. Monroy-Hernandez, "Overview of the Cantarell Field Development Program", OTC 10860, Offshore Technology Conference held in Houston, Texas, U.S.A., 1999.
- [4] Astudillo-Abundes, N. Miguel-Hernandez, A. Urriza-Vergara, and Jimenez-Bueno, "Methodology to Detect Nitrogen Concentration at Surface Facilities and in the Reservoir Gas Cap in the Akal Field during Nitrogen Injection", SPE International Petroleum Conference in Mexico held in Puebla, Mexico, 2004.
- [5] F. Rodríguez, J.L. Sánchez, and A. Galindo-Nava, "Mechanisms and Main Parameters Affecting Nitrogen Distribution in the Gas Cap of the Supergiant Akal Reservoir in the Cantarell Complex", SPE 90288, SPE Annual Technical Conference and Exhibition held in Houston, Texas, U.S.A., 2004.
- [6] J.L. Sanchez, A. Astudillo, F. Rodriguez, J. Morales, and A. Rodriguez, "Nitrogen Injection in the Cantarell Complex: Results after Four Years of Operation", SPE 97385, SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Rio de Janeiro, Brazil, 2005.
- [7] J.A. Arevalo V., F. Samanico V., F.F. Lopez C., and Urquictas, "On the Exploitation Conditions of the Akal Reservoir Considering Gas Cap Nitrogen Injection", SPE 35319, Petroleum Conference & Exhibition of Mexico held in Villahermosa, Mexico, 1996.
- [8] Jorge Sandoval-Zapotitla, Jesús Cruz Castro, Francisco Montes Angel, "Management of Production Operations at the Akal C Complex in the Cantarell Field", OTC 13179, Offshore Technology Conference held in Houston, Texas, U.S.A., 2001.
- [9] Ron Kettles, J. C. Kuo, and Javier Rubio, "Cantarell's Akal C Complex: the World's Largest Offshore Gas Treating and Lift Gas Generation Platforms", OTC 13177, Offshore Technology Conference held in Houston, Texas, U.S.A., 2001.
- [10] Tom Standing, "Mexico's Cantarell field: how long will it last?", Published by ASPO-USA, 2006.
- [11] T. Limón-Hernández, G. Garza-Ponce and C. Lechuga-Aguñaga, "Status of the Cantarell Field Development Program: An Overview", OTC 13175, Offshore Technology Conference held in Houston, Texas, U.S.A., 2001.
- [12] PEMEX Official Website: <http://www.PEMEX.com/index.cfm?action=news&sectionID=8&catid=40&contentID=3672>.
- [13] F. Rodriguez-de la Garza, R. Ortega-Galindo, and Garcia-Pietri, "Gas Coning and Channeling Management in Naturally Fractured Reservoirs with Applications to the Akal-Cantarell Field", SPE 153393, SPE Latin American and Caribbean Petroleum Engineering Conference held in Mexico City, Mexico, 2012.
- [14] [http://en.wikipedia.org/wiki/Cantarell\\_Field](http://en.wikipedia.org/wiki/Cantarell_Field)
- [15] David Luhnaw, Dow Jones Newswires, "Mexico's Fading Oil Output Squeezes Exports, Spending", Rigzone article 80241, 2009.
- [16] LeenaKootungal, "2012 worldwide EOR survey", Oil & Gas Journal, Apr 2, 2012.