



## تأثیر به کارگیری فناوری حفاری جهت دار و افقی در مخازن نفت کشور به منظور افزایش راندمان تولید ذخایر هیدروکربوری با در نظر گرفتن روند مصرف انرژی در ایران



نویسنده: رضا ارجمند نسیمی کارشناس ارشد مهندسی اکتشاف معدن  
با نظارت: دکتر بیژن اسفندیاری و دکتر سید تقی نعیمی

### چکیده

افزایش رشد اقتصادی جهان در دهه‌های اخیر مدیون بهره‌گیری از حامل‌های انرژی به‌ویژه سوخت‌های فسیلی می‌باشد. مصرف جهانی انرژی سالیانه ۲ درصد افزایش می‌یابد و این تقاضای روزافزون انرژی در دهه‌های اخیر نشانگر برخی شاخص‌های توسعه اقتصادی و انسانی کشورهای در حال توسعه می‌باشد. استفاده صحیح از منابع نفتی کشور، به منظور افزایش طول عمر آنها و برخورداری نسل‌های آینده از این ذخایر خدادادی، ایجاب می‌نماید تا با مدیریت صحیح این منابع و اتخاذ روش‌هایی برای حفظ و صیانت مخازن نفت، بالا بردن راندمان تولید و سعی بر نگه داشتن سطح تولید در حد مطلوب در طول زمان بهره‌برداری، از این ثروت ملی برای آیندگان در حد بهینه نگهداری گردد. از آنجا که بیشتر مخازن تولیدی کشور در نیمه دوم عمر خود به سر می‌برند، بدیهی است با گذشت زمان و ادامه تولید، برداشت از آنها دشوارتر می‌شود. امروزه می‌توان با روش‌های خاصی با توجه به شرایط مخزن، برداشت از آن را آسانتر و بیشتر کرد، این مهم را نباید از خاطر دور داشت که در روش‌های ازدیاد برداشت باید از بین روش‌های مختلف ممکن و قابل کاربرد، روشی را از لحاظ عملی و اقتصادی انتخاب کرد که مناسب‌ترین بهره‌وری را سبب شود. در این مقاله سعی شده است فناوری حفاری جهت‌دار و حفر چاه‌های افقی را که در افزایش ضریب برداشت از مخازن هیدروکربوری نقش موثری دارند، را معرفی و کاربرد آن‌ها را مورد تحلیل و ارزیابی قرار داد.

و گاز از آنها استفاده می‌شود. روش‌هایی که استفاده از آنها نیازمند عوامل مختلفی از جمله برنامه‌ریزی فنی و مهندسی بهره‌برداری، در نظر گرفتن پارامترهای موثر در طراحی، آگاهی کامل از نحوه تولید، و لزوم بررسی شناخت معایب و محاسن آنها می‌باشد. با توجه به رعایت نکات فوق می‌توان راندمان و کارایی اینگونه روش‌ها را تجزیه و تحلیل نمود.

یکی از این فناوری‌هایی که امروزه در صنعت حفاری نفت و گاز در سطح جهانی به آن بیشتر پرداخته می‌شود، حفاری جهت‌دار و حفر چاه‌های افقی است که در این تحقیق سعی به بررسی ضرورت‌ها و عوامل تاثیر گذار در طراحی، اجرا و تاثیر مستقیم آن در میزان افزایش ضریب برداشت از مخازن نفت و گاز پرداخته شده است.

### بررسی مهم‌ترین شاخص‌های انرژی در ایران و جهان

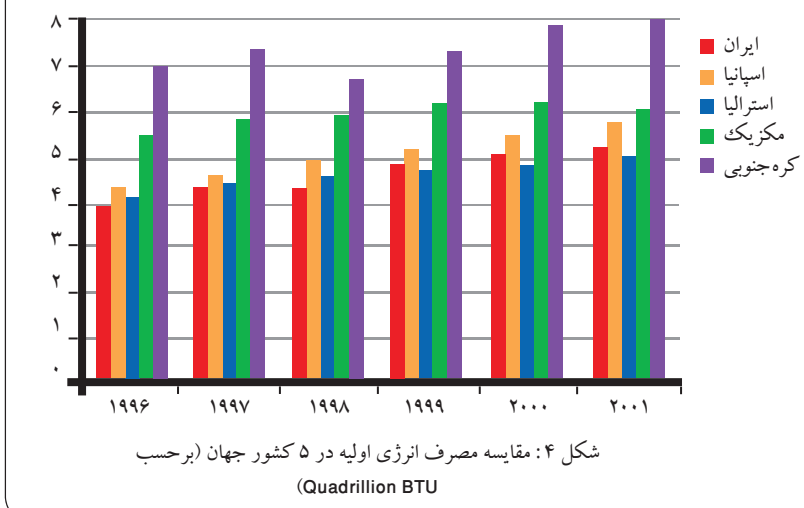
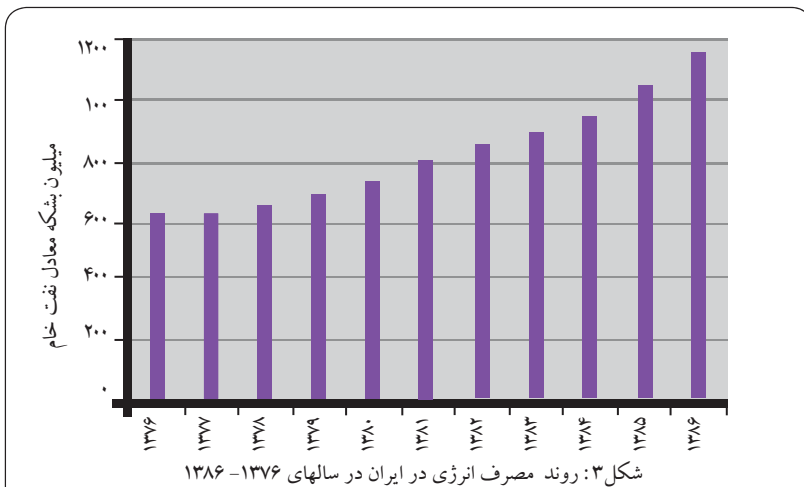
افزایش رشد اقتصادی جهان در دهه‌های اخیر مدیون بهره‌گیری از حامل‌های انرژی به‌ویژه سوخت‌های فسیلی می‌باشد. مصرف جهانی انرژی سالیانه ۲ درصد افزایش می‌یابد، رشد مصرف انرژی بیشتر از رشد جمعیت (۱/۲ درصد) می‌باشد. رشد مصرف انرژی در کشورهای در حال توسعه ۲/۵ برابر کشورهای توسعه یافته می‌باشد و این تقاضای روزافزون انرژی در دهه‌های اخیر نشانگر برخی شاخص‌های توسعه اقتصادی و انسانی کشورهای در حال توسعه می‌باشد. ایران در رتبه‌بندی سرانه مصرف انرژی در میان ۶۴ کشور جهان در جایگاه چهلیمین کشور است. شکل ۳، روند مصرف انرژی در ایران را طی دهه سال‌های ۷۶ تا ۸۶ نشان می‌دهد. طبق آمارها مصرف جهانی انرژی نسبت به سال ۱۹۹۸ میلادی، در سال ۲۰۳۵ میلادی دو برابر و در سال ۲۰۵۵

مقدمه

انرژی، همواره به عنوان یکی از مهم‌ترین نیازهای امروزی بشر مطرح بوده و بسیاری از مسائل اقتصادی، اجرایی و سیاست‌گذاری‌های یک کشور تحت تاثیر آن قرار داشته و برای تنظیم عرضه و تقاضای بازار انرژی از برنامه‌ریزی‌های مدون استفاده می‌شود؛ لذا دست‌اندرکاران و برنامه‌ریزان اقتصادی تلاش می‌کنند تا در قالب برنامه‌ریزی‌های مدون، ضمن برآورد میزان عرضه و تقاضای انرژی کشوره زیر ساخت‌های لازم به منظور جهت‌دهی برنامه طرح شده را فراهم آورند. امروزه به منظور استخراج نفت از مخازنی که به دلایل مختلف؛ بهره‌برداری از آنها توجه فنی و اقتصادی ندارند، از روش‌های جایگزین استفاده می‌شود. هرچند این روش‌ها غالباً پرهزینه می‌باشند، ولی در جهت افزایش تولید بهینه و مدیریت بهتر مخازن نفت

ادامه این وضعیت و عدم سرمایه‌گذاری بیشتر، ایران تا هشت سال دیگر به واردکننده نفت تبدیل می‌شود. بنابر همین گزارش پیش‌بینی می‌گردد با توجه به روند مصرف فعلی در کشور و عمر نیمی از میادین نفتی کشور که در نیمه دوم عمر تولید نفت می‌باشند، افت سالیانه تولید این مخازن به عددی در حدود ده درصد خواهد رسید. تولید نفت ایران به طور متوسط چهار میلیون بشکه در روز است که میزان کاهش تولید سالانه حدود ۴۰۰ هزار بشکه خواهد شد. در نتیجه برای حفظ سطح تولید باید سالانه حدود ۴/۵ میلیارد دلار سرمایه‌گذاری در بخش تولید نفت انجام شود تا بتواند وضعیت تولید فعلی را حفظ کند. یکی از دلایل مهم در خصوص افت مخازن کشور به دلیل استفاده از تکنولوژی‌های قدیمی در استخراج و بهره‌برداری می‌باشد. علاوه بر آن درصد باز یافت اولیه نفت به دلیل کربناته بودن ۹۰ تا ۹۵ درصد مخازن نفتی ایران، در حدود ۱۲ درصد می‌باشد، و این عدد نسبت به سایر کشورهای منطقه رقمی پایینی می‌باشد.

میلادی سه برابر خواهد شد و مصرف انرژی در کشورهای در حال توسعه به میزان ۱۰ برابر کشورهای توسعه یافته خواهد رسید. منابع عمده تامین انرژی ایران شامل ۵۵ درصد نفت، ۴۳ درصد گاز طبیعی و به میزان جزئی زغال سنگ می‌باشند. شکل ۴ مقایسه‌ای از وضعیت مصرف انرژی اولیه در ۵ کشور جهان را نمایش می‌دهد. طبق پیش‌بینی‌ها در مباحث اقتصاد انرژی برآورد می‌شود، جمعیت ایران در سال ۱۴۰۰ هجری به ۸۷



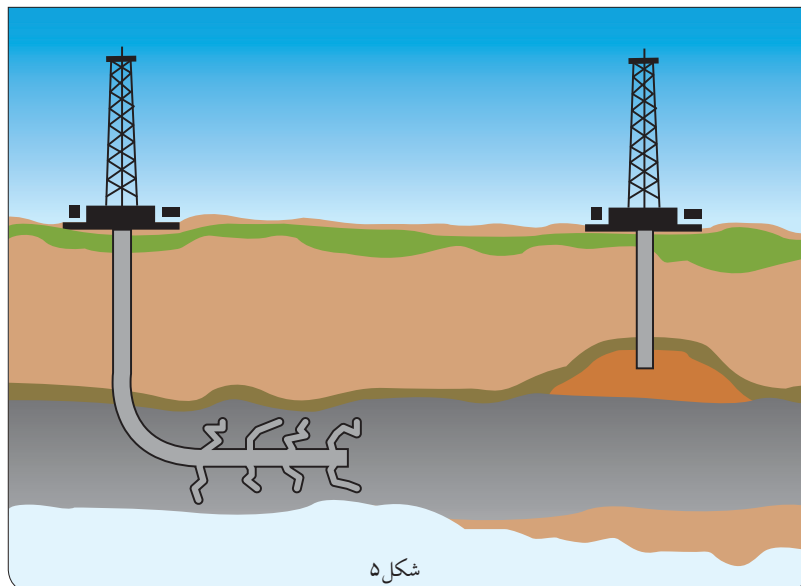
میلیون نفر برسد که در این صورت باید ظرفیت تولید روزانه نفت خام از ۴ میلیون بشکه در روز در حال حاضر، به ۴/۷ میلیون بشکه در روز افزایش یابد که در این صورت مبلغ مصرف کل انرژی از رقم ۲۰ میلیارد دلار در حال حاضر به ۴۰ میلیارد دلار خواهد رسید. رشد مصرف فرآورده‌های نفتی ایران طی سالهای ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۰ به میزان ۱/۹ درصد بوده است.

### وضعیت ذخایر هیدروکربوری ایران و جهان

مجموع ذخایر اولیه و ثانویه کشور، شامل ذخایر نفت و مایعات گازی ۲۰۷ میلیارد بشکه بوده که در حدود ۸۰ درصد از آن در مناطق خشکی و ۲۰ درصد دیگر در مناطق دریایی واقع شده است. میزان ذخایر نفت قابل استحصال تا اول سال ۱۳۸۷ هجری در حدود ۱۳۸ میلیارد بشکه بوده است. میزان ذخایر باقیمانده گاز قابل استحصال کشور نیز تا اول سال ۱۳۸۷ هجری، در حدود ۲۹ تریلیون متر مکعب بوده است. شکل‌های ۱ و ۲ میزان ذخایر نفت و گاز ایران و سایر کشورها را نمایش می‌دهند.

### مهم‌ترین چالش‌ها در حوزه انرژی ایران

طبق گزارشات مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی از میادین نفت کشور، به دلیل استهلاک مخازن نفتی و وارد شدن چاه‌های تولید نفت به نیمه دوم عمر خود، این مخازن دچار افت فشار و کاهش تولید شده‌اند. همزمان نیز مصرف انرژی در کشور در حال افزایش است، که در صورت



گچساران (۱۴۲) و مارون (۱۹۹) مورد استفاده قرار گرفت. و از آن تاریخ تاکنون در حال توسعه و گسترش می باشد و از پیشرفت چشمگیری نیز برخوردار گردیده است. به عنوان مثال طولانی ترین عملیات حفاری افقی در میدانی خشکی ایران به طول ۷۵۰ متر در منطقه چشمه خوش انجام گردیده است. طی سالهای ۱۳۷۱ تا ۱۳۸۶ هجری تعداد ۷۳۷ مورد عملیات حفاری جهت دار و افقی در شرکت ملی حفاری ایران انجام شده است.

#### کاربردهای چاههای افقی

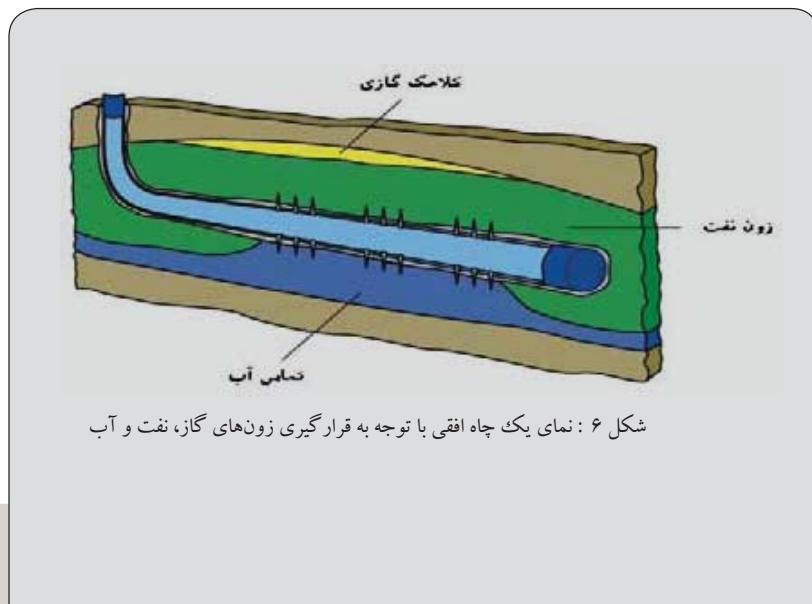
الف- جلوگیری از پدیده مخروطی شدن گاز و آب

یکی از کاربردهای اصلی چاههای افقی کم کردن و به تاخیر انداختن پدیده مخروطی شدن گاز و آب در اطراف لایه تولیدی می باشد. معنی این عبارت این است که این پدیده سبب می شود گاز موجود در بالای لایه تولیدی به سمت پایین حرکت کرده و همچنین آب موجود در پایین لایه تولیدی به سمت بالا حرکت نماید که این موارد، مشکلات خاص خود را ایجاد می نمایند. با استفاده از حفاری افقی این مشکل حل شده و موجب تولید بیشتر از مخازن نیز می گردد. دلیل این امر این است که چاه افقی در محیط مخزن حفر شده و پیشروی نموده و با تماس بیشتر چاه با لایه تولیدی مخزن، اجازه افزایش سرعت تولید را در فشار پایین تر به مخزن می دهد، شکل ۶.

ب- استخراج نفت سنگین

بیش از دو سوم ذخایر باقیمانده نفت در دنیا، گونه ای از انواع نفت سنگین هستند. در حالیکه نفت سنگین در نقاط مختلف دنیا یافت می شود، چالش عمده در این مورد، یافتن روش تولید با کمترین مقدار هزینه و اقتصادی بودن تولید، در عین حال مطابق استانداردهای زیست محیطی می باشد.

ذخایر نفت باقیمانده درجا، در دنیا در حدود ۲۱۰۰ میلیارد بشکه تخمین زده می شود. در حالی که بیش از ۸۰۰



بازیابی اولیه برای مخازن نفت ایران حدود ۱۵ تا ۲۰ درصد است (در ترازنامه انرژی سال ۱۳۸۷ مرکز مطالعات انرژی عدد ۲۲ درصد ذکر شده است)، این در حالی است که بخش اعظم منابع هیدروکربوری هنوز در داخل حفره های مخازن باقی مانده است و ۸۰ تا ۸۵ درصد نفت مخزن در سازند باقی مانده است. با اتخاذ استراتژی جامع در تنظیم سیاست های مدیریت انرژی و به کارگیری روش های نوین در صنعت حفاری و استخراج نفت و گاز، مانند حفاری افقی در میدانی کشور می توان از هزینه های سنگینی که در آینده به جهت انجام روش های افزایش بازیافت الزامی خواهد بود، جلوگیری کرد و درصد بهره برداری را از همان ابتدای تولید افزایش داد.

#### حفاری جهت دار

حفاری جهت دار عبارت است از فن خاصی که در آن چاه براساس برنامه پیش بینی شده غیر از حالت عمودی، برای رسیدن به ناحیه هدف (Target Area) حفاری می گردد. حفاری جهت دار برای اولین بار در سال ۱۹۲۹ میلادی با ساخت دستگاه های دقیق اندازه گیری زاویه چاه (Inclination Measurement) مورد توجه قرار گرفت. در اوائل دهه ۱۹۳۰ میلادی اولین چاه جهت دار در خلیج هانتینگتون کالیفرنیا حفاری شد. به تدریج با توسعه میدان نفتی خلیج هانتینگتون و حفر دو حلقه چاه جهت دار دیگر، چاه هایی حفر گردیدند که میزان تولید بیشتری داشتند ولی بدلیل مسایل اقتصادی و فنی تا سال ۱۹۳۴ میلادی این فناوری طرفداران چندانی نداشت.

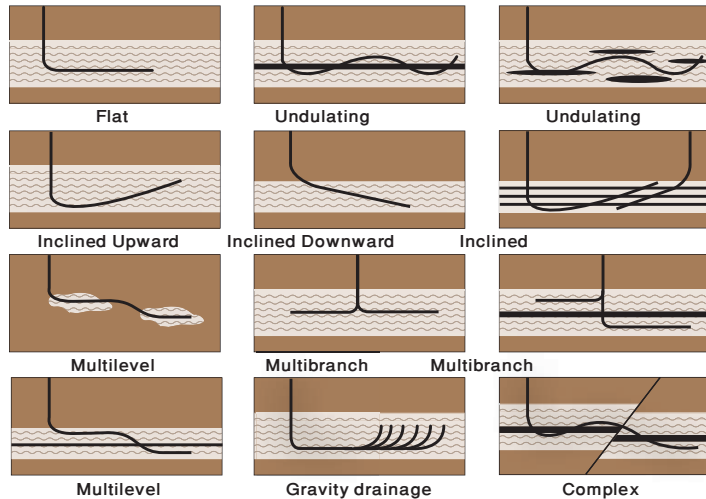
#### تاریخچه به کارگیری حفاری افقی

ابزار حفاری افقی با شعاع کوچک (۲۰ تا ۴۰ فوت) به طور گسترده در دهه ۱۹۴۰ و ۱۹۵۰ میلادی مورد استفاده قرار گرفت و این ابزار در دهه ۱۹۵۰ با پیدایش روش بازیافت با شکاف هیدرولیکی (Hydraulic Fracturing)، کم رنگ گردید. حفاری افقی در اواخر دهه ۱۹۷۰ میلادی دوباره از سر گرفته شد و در سال ۱۹۸۵ میلادی توسعه ابزارهای حفاری افقی با شعاع متوسط (۲۰۰ تا ۶۰۰ فوت) به دلیل افزایش ۳ تا ۱۰ برابری تولید با استفاده از حفر چاه های افقی منجر به پیشرفت این نوع حفاری شد. آمار تعداد چاه های افقی جهان از ۵۰ حلقه در سال ۱۹۸۵ میلادی به بیش از ۱۰۰۰ حلقه در سال ۱۹۹۰ میلادی افزایش یافت و طبق برآوردهای انجام شده تا سال ۲۰۰۷ میلادی این تعداد از چاه های افقی به عنوان جایگزینی برای چاه های عمودی در اکثر مخازن جهان خواهند بود.

حفاری افقی در ایران اولین بار در جنوب غربی کشور به منظور برخورد بیشتر با شکستگی های طبیعی مخازن و افزایش تولید سیال در سال ۱۳۷۱ هجری در چاه های

در حفاری چاه‌های افقی، در مخازنی که شکستگی‌های طبیعی دارند، چاه‌های افقی معمولاً عمود بر جهت شکستگی‌های قائم حفر می‌شوند. در مخازنی که شکستگی‌های طبیعی به عنوان مجرای برای مخروطی شدن آب عمل می‌کنند، چاه‌های افقی غالباً موازی با شکستگی‌های طبیعی به منظور بهینه کردن زهکشی نفت خام و گاز طبیعی، حفر می‌شوند. در مواردی که در مخزن شکست هیدرولیکی (Hydraulic fracturing) ایجاد شده است، چاه‌های افقی بسته به نوع وضعیت ساختار سازند تشکیل یافته معمولاً در جهت حداقل تنش موثر حفر می‌شوند، بطوری که شکستگی‌های هیدرولیکی عمود بر چاه باشند. با افزایش طول چاه، ریسک از دست رفتن چاه نیز بالا می‌رود و در بسیاری موارد به علت تغییرات غیرقابل پیش بینی مخزن یا برخورد به شکستگی‌های بزرگ و مقادیر بالای تولید، چاه‌های افقی کوتاه‌تری نسبت به طول طراحی شده اولیه حفر می‌شود.

یک جنبه منحصر به فرد از فناوری حفاری افقی، قابلیت جانمایی بهینه چاه در درون مخزن برای کم کردن تاثیر تنش‌های افقی و جانبی در مخزن است که این موضوع نیاز به شناخت خصوصیات زمین شناسی و مخزن دارد. شکل چاه یک فاکتور مهم دیگر در طراحی چاه‌های افقی است و باید با بالابری تولید به طریق مصنوعی، تکمیل و افزایش بازدهی نفت مطابقت داشته باشد. انواع شکل‌های چاه‌های افقی که در شکل ۷ نمایش داده شده‌اند، عبارتند از: صاف (Flat wells)، موجی (Undulating wells)، انحرافی رو به بالا (Upward inclined wells)، انحرافی رو به پایین (Downward inclined wells)، چند سطحی (Multilevel wells)، چند شاخه (Multibranch wells)، زهکشی ثقلی (Gravity drainage wells) و مختلط (Complex well).



شکل ۷: انواع شکل‌های چاه‌های افقی

میلیارد بشکه آنرا اقسام گوناگون نفت‌های سنگین تشکیل می‌دهد. با توجه به ارقام بالا، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حتی افزایش کمی در مقدار درصد بازدهی مخازن می‌تواند میلیاردها بشکه به ذخایر نفت دنیا اضافه کند. حفاری افقی در این گونه مخازن علاوه بر اینکه باعث آسان گردیدن تزریق گاز یا بخار به درون مخزن می‌گردد، میزان تراوایی مخزن را افزایش داده و راندمان تولید را نیز بسیار بالا می‌برد.

#### موقعیت چاه افقی

یکی از موارد مهم در طراحی چاه‌های افقی موقعیت قرارگیری چاه نسبت به مخزن و قراردادن چاه درون لایه بهره‌ده نفتی است. دو نکته اساسی در موقعیت قرارگیری چاه افقی عبارتند از:

الف) توانایی زمین‌شناس و مهندس مخزن در تشخیص هدف.

ب) توانایی گروه حفاری در کنترل و مونیورینگ مسیر چاه در منطقه مورد نظر.

#### ۶- نتیجه‌گیری

۱. در صورت استفاده از تکنولوژیهای مدرن در امور اکتشاف و افزایش ضریب برداشت از مخازن هیدروکربوری، پیش‌بینی می‌شود میزان ذخایر ایران طی سالهای آینده به میزان ۲۰ تا ۳۰ میلیارد بشکه افزایش یابد.
۲. ایران باید ضریب بازیافت خود را از محدوده ۲۴ تا ۲۷ درصد به بالاتر از این میزان افزایش دهد تا در آینده نزدیک بتواند ۱۰ درصد اختلاف کاهش خود را نسبت به رقم متوسط جهانی پوشش دهد.
۳. با توجه به کاربردهای مثبت حفاری جهت‌دار، حفاری چاه‌های افقی و عوامل مهم و تاثیر گذار در افزایش راندمان و کاهش هزینه‌ها و همچنین سابقه بهره‌گیری از این چاه‌ها در دنیای امروز، استفاده از حفاری چاه‌های افقی یک امر لازم و مقرون به صرفه منظور شده است. البته اینکه از لحاظ اقتصادی و کاهش هزینه‌های حفاری به چه میزان تاثیر دارد، به عوامل مختلفی از قبیل برنامه‌ریزی و طراحی صحیح مسیر حفاری، محل شروع حفاری، طراحی لوله جداری و لاینرها، نوع سیمانکاری چاه و غیره بستگی دارد.
۴. از طریق تکنیک حفر چاه‌های افقی می‌توان به مخازنی که در گذشته دسترسی به آن امکان‌پذیر نبوده است، دست یافت و حتی می‌توان تولید مخزن را به حدود ۲ برابر در حالت حفاری چاه‌های عمودی رساند.

#### منابع:

- ۱- اصلاح الگوی مصرف و سیستم‌های هوشمند ساختمانی، شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت، ۱۳۸۶.
  - ۲- ارجمند نسیمی، رضا گلزاده، حامد محمدی‌زاده عزیز، مقاله در دست چاپ " بررسی فناوری نوین تولید پراکنده انرژی بر اساس یک مورد کاربردی اجرا شده در خصوص تولید برق در منطقه پارس جنوبی"، ۱۳۸۹.
  - ۳- مقالات نشریه فنی تخصصی اکتشاف و تولید، شرکت ملی نفت ایران، شماره ۵۶، ۱۳۸۸.
  - ۴- مقالات نشریه فنی تخصصی اکتشاف و تولید، شرکت ملی نفت ایران، شماره ۵۷، ۱۳۸۸.
- 5-Jorgens R. and others, Horizontal Drilling and Completions: A Review of Available Technology, Petroleum Engineer International, pp. 18-20, 1991.
- 6-Advanced exploration technology manual, Maurer engineering Inc, January 2000.
- 7-Baker Hughes INTEQ, Directional Surveying, Drilling & Evaluation Technologies, 750-500-096 Rev. A, July 1998.