Archive of SID



# مروری بر فناوری جداسازی آب از نفت در ته چاه

**محمدحسین سریخانی[1]، فروغ عاملی[2*]**

۱- دانشجوی کارشناسی ارشدمهندسی نفت، دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- استادیار مهندسی نفت، دانشگاه علم و صنعت ایران

**پیام‌نگار: ameli@iust.ac.ir**

**چکیده**

*فناوری جداسازی ته چاهی در دهه ۱۹۹۰ ظهور کرد که به‌وسیلهٔ آن جریانی غنی از گاز و نفت در سطح تولید می‌شود، در حالی‌که جریانی غنی از آب به سازندهای زیرین تزریق شده، هرگز به سطح منتقل نمی‌شود و در صورتی‌که به تولید آن نیاز باشد، می‌توان آن‌را به‌صورت مجزا تولید کرد. در صنعت این ابزار با عنوان جداسازهای آب و نفت[1] و آب و گاز[2] شناخته می‌شود. چرخه‌های آبی مایع- مایع جزء اصلی سامانهٔ جداسازی آب و نفت ته‌چاهی است. در این مطالعه، بررسی جامعی در ارتباط با فناوری جداسازی ته‌چاهی ارائه و برتری‌ها، پیش‌نیازها و کاستی‌های این فناوری معرفی شده‌اند. این‌مطالعه همچنین داده‌هایی مفید از مطالعات انجام‌شده بر روی تعدادی از میدان‌ها و مناطق عملیاتی و شرکت‌های دارای این فناوری در اختیار محققان قرار می‌دهد. طبق بررسی‌های انجام‌شده در این‌مطالعه، نصب موفقیت‌آمیز سامانهٔ DOWS از نظر فنی و اقتصادی زمانی امکان‌پذیر است که همهٔ مؤلفه‌های مورد نیاز به‌طور دقیق ارزیابی شوند؛ در این‌صورت از هزینه‌های کنترل آب، تولید و پالایش آن و از حجم تسهیلات سر چاهی کاسته می‌شود که برای مناطق دریایی و دور از دسترس بسیار مناسب است. افزون براین، فن DOWS برای جداسازی نفت‌های سنگین بسیار دشوار است؛ چرا که اختلاف چگالی بالایی بین آب و نفت در این‌حالت وجود خواهد داشت. نسبت آب به نفت باید بالا باشد به‌طوری‌که فاز غالب آب باشد. سازندگان جداسازهای چرخهٔ آبی پیشنهاد می‌کنند که کسر آب بیش از ۷۵٪ باشد.*

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۲/۰۶

شماره صفحات: ۶ تا ۱۷

**کلیدواژه‌ها:** جداسازی ته چاهی، جداسازهای آب و نفت، چرخهٔ آبی

## ۱. مقدمه

در سازندهای زیرزمینی، سیالاتی چون آب و نفت و گاز به سنگ‌ها هجوم می‌برند. می‌دانیم که سنگ‌های موجود در سازندهای مملو از نفت، در ابتدا و قبل از هجوم و به تله‌افتادن نفت، حاوی آب بوده‌اند. در حین مهاجرت و رسیدن مواد هیدروکربوری به تله‌های نفتی، این مواد هیدروکربوری آب ذاتی مخزن را نیز با خود حمل کرده‌اند؛ بدین‌ترتیب سنگ‌های مخزن حاوی مواد هیدروکربوری و آب هستند. این آب می‌تواند ناشی از جریان آب از نواحی بالا و پایین

* تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی شیمی

1. Downhole Oil Water Separation (DOWS)
2. Downhole Oil Gas Separation (DOGS)



www.SID.ir

e of SID



سازند نفتی، داخل خود ناحیه نفتی یا ناشی از سیالات تزریقی یا سیالات افزودنی حاصل از عملیات تولیدی باشد. در عملیات بهره‌برداری از میدان‌های هیدروکربوری، آب مازاد به‌منظور حفظ فشار و رسیدن به سطوح بازیافتی بالاتر دوباره به مخزن تزریق می‌شود. هر دو آب سازندی و تزریقی به‌همراه مواد هیدروکربوری تولید و در سطح از فرآیندهایی برای جداسازی هیدروکربن‌ها از آب تولیدی استفاده می‌شود[۲و۱]. مشخصه‌های تأثیرگذار بر حجم آب تولیدی از چاه تأثیر عبارت‌است از:

۱) برای چاه حفرشده ۲) مکان چاه در مخزن ۳) نوع تکمیل چاه ۴) نوع و کیفیت تجهیزات مورد استفاده برای عملیات جداسازی و پالایش آب ۵) سیلاب‌زنی به‌منظور افزایش برداشت ۶) میزان آب در دسترس برای عملیات سیلاب‌زنی ۷) ارتباط بین لایه‌ها در سازند ۸) میزان استحکام مکانیکی[۳].

## ۲. جداسازی آب و نفت در ته چاه

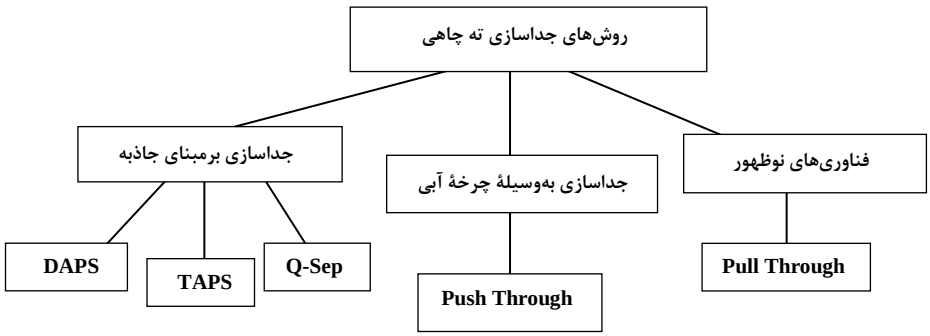
فناوری جداسازی ته چاهی در طول دهۀ ۱۹۹۰ با هدف کاهش هزینه‌های فرازآوری آب و تخلیۀآن در سطح یا تزریق مجدد آن و افزایش ضریب بازیافت نفت از محبوبیت زیادی برخوردار شد. در این فناوری آب و نفت در چاه از هم جدا می‌شوند و کنترل حجم آب به‌وسیلۀ جداسازی آن از نفت در ته چاه و تزریق همزمان آن به چاه انجام می‌شود. این سامانه قطعات مکانیکی زیادی دارد ولی اصلی‌ترین اجزاء آن یک سامانۀ جداسازی و حداقل یک پمپ برای فرازآوری نفت به سطح و تزریق آب به ته سازند است. اخیراً دو نوع اساسی از سامانۀ جداسازی ته چاهی توسعه یافته‌است، در یک‌نوع از آن برای جداسازی مکانیکی از چرخۀ آبی استفاده می‌شود و در نوع دیگر از جداسازی بر مبنای گرانش که در چاه رخ می‌دهد، استفاده می‌شود. جداکننده‌های چرخۀ آبی در مقایسه با نوع ثقلی، ظرفیت حجمی بیشتری برای کنترل سیال دارند، در حالی‌که گران‌تر هستند. نوعی دیگر از سامانۀ جداسازی با عنوان جداسازی غشایی هم وجود دارد که البته به‌دلیل اینکه کارکرد دو سامانۀ قبلی از نظر فنی و اقتصادی اثبات شده، از این سامانه استقبالی نشده‌است[۴]. رایج‌ترین کاربرد جداسازی ته چاهی آب و نفت، تزریق آب در مخزن به‌منظور بهبود برداشت (سیلاب‌زنی یا سیلاب‌زنی تناوبی آب و گاز (WAG)) در یک‌ناحیۀ تخلیه‌ای مشخص است که ممکن است در بالا یا پایین ناحیۀ تولیدی باشد. در شکل (۱) انواع مختلف جداسازهای ته چاهی براساس متد جداسازی و ملاحظات طراحی آورده شده‌است. از جمله فواید این فناوری عبارت است از[۶و۵]:

- کاهش خطرهای زیست‌محیطی نسبت به متدهای مرسوم، که از راه‌های زیر امکان‌پذیر است:
  - ❖ کاهش خطر آلودگی منابع آبی زیر زمینی در حین تولید (به‌واسطۀ نشتی آب از لولۀ جداری در حین تولید)
  - ❖ کاهش آلودگی‌های سطحی ناشی از نشتی آب آلوده به‌واسطۀ کاهش ۸۵ الی ۹۵ درصدی در حجم آب تولیدی
  - ❖ کاهش آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از نشتی از چاه‌های تزریقی آب شور
  - ❖ کاهش خطرات زیست‌محیطی مزمن به‌واسطۀ کاهش حجم آب تخلیه‌شده در دریا
  - ❖ کاهش انتشار $CO_2$
- بهبود اقتصاد میدان از طریق:
  - ❖ تسریع در تولید نفت ( بهبود NPV)
  - ❖ تبدیل چاه تزریقی به چاه تولیدی
  - ❖ کاهش چاه‌های لازم برای توسعۀ میدان نفتی
  - ❖ تزریق آب برای ازدیاد برداشت با کمترین هزینه و کمترشدن مشکلات تزریقی ناشی از ناسازگاری خواص آب تزریقی با آب سازندی
  - ❖ کاهش تقاضا برای جداسازی سطح‌الارضی (مخصوصاً در محیط‌هایی با کمبود فضا)
  - ❖ افزایش قابلیت در کنترل پدیدۀ مخروطی شدن
  - ❖ کاهش در حجم و هزینه‌های مرتبط با استفاده از مواد شیمیایی (برای جلوگیری از هیدراته‌شدن، لخته‌شدن، خوردگی و ایجاد امولسیون)
  - ❖ کاهش هزینه‌های مرتبط با انرژی (برای پمپاژ و فرازآوری آب مازاد همراه نفت و در نهایت تزریق مجدد آن)
  - ❖ کاهش هزینه‌های مرتبط با عملیات حفظ و نگهداری (تماس قطعات با آب کمشده، در نتیجه احتمال خوردگی کمتر می‌شود)
  - ❖ کاهش یا حذف تعمیر چاه‌های تزریقی
  - ❖ کاهش در هزینۀ سرمایه‌گذاری اولیه به‌واسطۀ کاهش حفر چاه‌های تزریقی


www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۱. انواع مختلف جداسازهای ته چاهی براساس سبک جداسازی و ملاحظات طراحی**[۷].

### ۲-۱ کاستی‌های نصب سامانهٔ DOWS

باوجود ویژگی‌های مثبت این فناوری، کاستی‌های این سامانه عبارت‌است از:

۱) فضای محدود چاه: چرخه‌های آبی که برای این منظور استفاده می‌شود، بسیار نازک و البته طویل‌اند. بنابراین کمترین قطر لولهٔ جداری باید ۵/۵ اینچ باشد. این موجب می‌شود برخی از وسایل و تجهیزات در زیر زمین دچار لطمه و خوردگی شوند.

۲) موتورپمپ‌های ESP که در سامانه‌های جداسازی چرخهٔ آبی قرار می‌گیرند، باید خنک شوند؛ در صورتی‌که سامانهٔ پمپاژ و جداسازی، بالای ناحیهٔ تولیدی باشد، به هدایت‌کنندهٔ جریان[1] برای خنک‌سازی نیاز خواهد شد که به‌دلیل فضای محدود چاه ممکن نیست. بنابراین سامانهٔ DOWS باید زیر ناحیهٔ تولیدی و به‌منظور خنک‌سازی موتور نصب شود.

۳) براساس تجربه‌های گذشته، کارکرد این سامانه در مخازن کربناته نسبت به مخازن ماسه‌ای بیشتر است؛ بنابراین تأکیدمی‌شود که نصب در سازندهای ماسه‌ای صورت نگیرد، زیرا وجود شن و ماسه سبب خوردگی شدید پمپ‌ها و شیرها می‌شود.

۴) این سامانه فقط در چاه‌هایی که نسبت آب به نفت بالایی دارند، قابلیت نصب دارد.

۵) درجهٔ API نفت باید بیش از ۱۲ باشد.

۶) کمترین اختلاف در گرانش مخصوص میان آب و نفت باید ۰/۰۵ باشد.

۷) محتوای نفت در آب تزریقی نباید از ۱۰-۲۰۰ppm فراتر رود، زیرا باعث آسیب‌رساندن به ناحیهٔ تزریقی خواهدشد.

۸) برای عملیات تحریک چاه نیاز است که پمپ‌ها از چاه خارج شود.

۹) ترجیحاً نباید این سامانه را در چاه‌های انحرافی به‌ویژهبا اشباع نفت پایین نصب‌کرد. محققان فناوری DOWS را براساس نوع سامانهٔ جداساز و موقعیت نسبی سامانهٔ جداساز و پمپ در چاه دسته‌بندی می‌کنند. شکل (۲) توسعهٔ تدریجی این فناوری را نشان می‌دهد. همان‌سان که در این شکل روشن است، نخستین ثبت اختراع در مورد این فناوری در سال ۱۹۹۲ انجام شد و در سال ۱۹۹۴ نخستین نصب انجام گرفت. طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۶ واحد نیمه صنعتی برای تولید نفت سنگین و شن مورد استفاده قرار گرفت. سپس به‌دلیل ملاحظات اقتصادی تا سال ۲۰۱۰ هیچ نصبی انجام نشد. در همان‌سال در میدانی در چین فناوری ESP و چرخهٔ آبی بر روی نفت سبک پیاده سازی شد. در سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۵ این فناوری در میدان داکینگ چین به‌مدت ۴۰۰ روز بهره‌برداری شد.

در شکل (۳) تعداد اختراع‌های ثبت‌شده در هر شرکت، دانشگاه و مؤسسهٔ تحقیقاتی، با تمرکز بر کارهای تحقیقاتی و توسعه‌یافته در آمریکا آورده شده‌است. داده ها در بازه سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۳ جمع‌آوری شده‌اند[۴]. باتوجه به شکل (۳) در زمینهٔ جداسازی ته چاهی، فناوری‌هایی که بیشتر مورد استقبال قرار گرفته‌اند، عبارتند از جداکننده‌های چرخهٔ آبی، ثقلی و گریزانه‌ای. ولی در بیشتر اوقات آنها را با فناوری‌هایی همچون مسدودکننده‌های مکانیکی (پکرها و پلاگ‌ها) و مواد شیمیایی ویژهٔ انسداد (ژل‌های بَسپاری) ترکیب می‌کنند تا تولید آب را کمینه کنند.

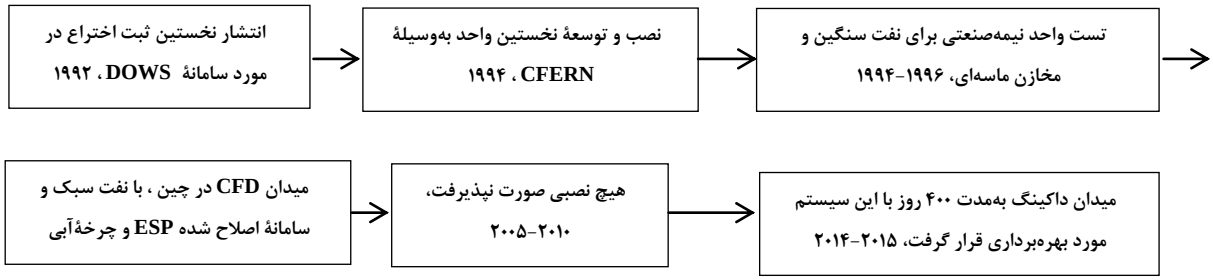
1. Shroud



www.SID.ir

e of SID



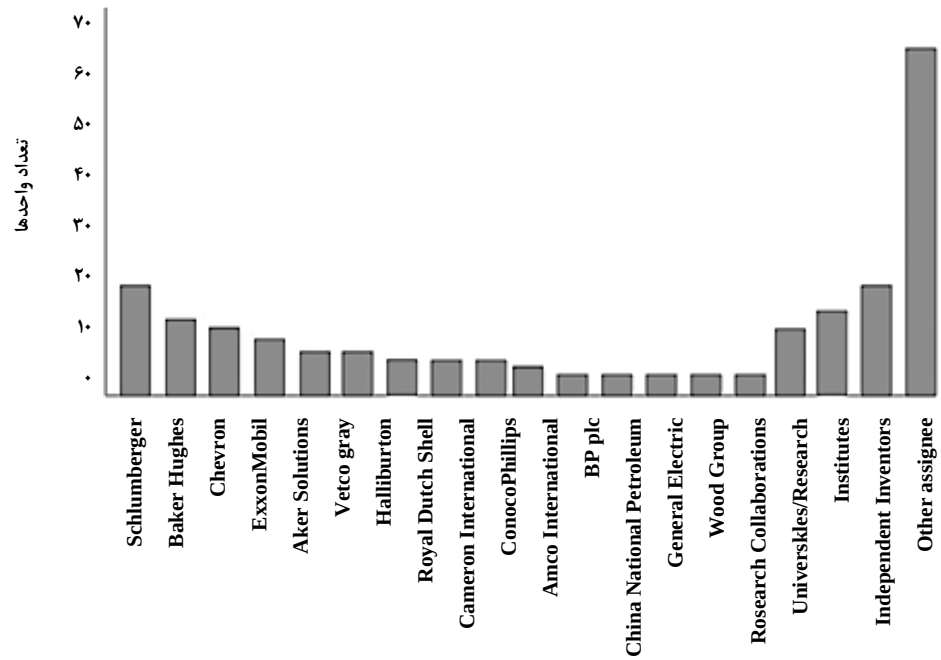



**شکل ۲. توسعهٔ تدریجی فناوری DOWS در طول زمان[۷].**

## ۳. نگاهی به آمار شرکت‌های اصلی مخترع فناوری DOWS

نخستین توسعه‌دهندهٔ جداسازهای چرخهٔ آبی ته چاهی شرکت C-FER Technology آلبرتا بود؛ مطالعات اولیهٔ این شرکت در اوایل دههٔ ۱۹۹۰ نشان‌داد که جداسازی ته چاهی آب و نفت به‌وسیلهٔ ترکیب پمپ‌های قدیمی چاه‌های نفتی با چرخهٔ آبی میسر می‌شود. این شرکت با کمک‌گرفتن از شرکت‌های فعال دیگر در این‌عرصه، در قالب یک پروژهٔ صنعتی مشترک، توسعه و آزمایش میدانی الگوهای آزمایشی سامانه‌های جداسازی را با استفاده از انواع پمپ‌های ESP، PCP و RP سازماندهی کرد[۸].

حق بهره‌برداری از سامانه‌های جداسازی چرخهٔ آبی پمپ ESP شرکت C-FER به شرکتREDA Pumps، یکی از شرکت‌های بین‌المللی کامکو و Centrilift، یکی از شرکت‌های Baker Hughes داده شد. این شرکت همچنین به شرکت‌های BMW Pump برای پمپ PCP و Quinn Oil Field Supply ltd برای پمپ کله‌اسبی مجوزهایی برای بهره‌برداری داده بود.




**شکل ۳. تعداد اختراع‌های ثبت‌شده از شرکت‌های نفتی در زمینه فناوری جداسازهای ته چاهی[۴].**


www.SID.ir

Archive of SID



شرکت REDA سامانهٔ جداسازش را با اسم AQWANOT روانهٔ بازار کرد و شرکت Centrilift نـام تجـاری سـامانه راHydrosep گذاشـت. سامانهٔHedro Sep در سال ۱۹۹۸ حداقل در چهار چـاه نصـب‌شـده بود، ولی شوربختانه آمـاری از نصـب‌هـای آن‌هـا در دسـت نیسـت. شرکت BMW Pump که در حال حاضر زیرمجموعـهٔ Weatherford است، با شرکت C-FER بـه‌منظـور توسـعهٔ یـک سـامانهٔ جداسـازی چرخهٔ آبی که از پمپ PCP بهره می‌بـرد، همکـاری کـرد. داده‌هـای طراحی مربوط بـه ایـن سـامانه در دسـترس نیسـت، ولـی پچـی و همکارانش در سال ۱۹۹۷ نشـان دادنـد کـه از میانـهٔ سـال ۱۹۹۷، ۴ مورد آزمایشی سامانهٔ DOWS با PCP انجام شده بـود. اطلاعـاتی در ارتباط با یکی از نصب‌های انجام‌شده از این سـامانه کـه از اکتبـر ۹۷ تا مارس ۹۸ در حال کار بـوده ، در دسـترس اسـت، کـه در آن سامانه به‌دلیل بروز مشکل در لولهٔ انتقـال از چـاه خـارج شـد. ایـن سامانه تولید آب را ۷۵٪ کـاهش داد، ولـی بـر تولیـد نفـت تـأثیری نداشت. متصدی خاطرنشان کرد که پروژه موفقیت‌آمیـز بـوده‌اسـت، ولی اطلاعـاتی در ارتبـاط بـا سـود اقتصـادی حاصـل از آن منتشـر نکرد[۹]. سوبی و متیوس[۱۰] در سال۱۹۹۷ گزارشی در ارتباط بـا سامانهٔ DOWS با پمپ PCP ارائه کردند؛ چـاه بـه مـدت سـه‌سـال به‌دلیل نبود ظرفیت برای کنترل آب در سطح بسته شده‌بود. هـر دو سامانهٔ پمپ یگانه و دوگانه در این چاه امتحان شد. پـس از ۱۸ مـاه میزان آب تولیدی به‌شدت کاهش‌یافت[۲].

### ۳-۱ شرکت C-FER Technologies

فناوری جداسازی ته چاهی ثبت‌شده به‌نام این شرکت ابـزاری اسـت که از چرخهٔ آبـی‌هـای مـایع-مـایع و نـوعی از فـرازآوری مصـنوعی به‌منظور جداسازی آب و نفت در ته چاه و تولید نفت (با کسر کمـی از آب) و تزریـق ۹۰٪ از آب تولیـدی از راه همـان چـاه، اسـتفاده می‌کند. این شرکت در سال ۱۹۹۴، ۱۸ مورد نصب از این فناوری را در غرب کانادا انجام داد. ۳ مورد آزمایشی و ۱۵ مورد دیگر با هـدف ایجاد صرفهٔ اقتصادی بود. در این نصب‌ها برای فرازآوری از پمپ‌های PCP[1]، ESP[2]، RP[3] و GLP[4] استفاده شد.

این شـرکت در سـال۱۹۹۰ فنـاوری DOWS را توسـط یـک پـروژهٔ صنعتی مشترک که متشکل از ۳۹ شرکت عملیـاتی و تـأمین‌کننـده بود، توسعه داد. نتیجهٔ این پروژه تشـخیص اقتصـادی‌بـودن ترکیـب پمپESP با چرخهٔ آبی است. مجوز اسـتفاده از آن بـه شـرکت‌هـای Baker HughesInc. /Centrilift و Schlumberger / REDA داده شده‌است[۴].

### ۳-۲ شرکت Baker Hughes

جداکننده‌های ته‌چاهی چرخهٔ آبی و ثقلی جزء محصولات ارائه‌شـده به‌وسیلهٔ این شـرکت اسـت. از ایـن فنـاوری در منطقـهٔ Bohai Bay کشور چین استفاده شده‌اسـت. جزئیـات ایـن‌پـروژه در مرجـع[۱۱] موجود است. در این‌پروژه به‌منظور ارتقا عملکرد سامانه برای کمـک به بازدهی جداسازی مواد شیمیایی تزریق شد[۱۱].

### ۳-۳ شرکت Halliburton

سامانهٔ جدید کنترل آب این شرکت از نوعی بَسپار بـرای جداسـازی آب و نفت در مخزن و جلوگیری از جریان آب و افزایش جریان نفت به چاه استفاده می‌کنـد؛ بازیافـت نفـت و گـاز بهبودیافتـه ناشـی از کاهش آب، منجربه بهبود فرازآوری طبیعی نفت و گاز می‌شود.

### ۳-۴ شرکت Chevron

در همکاری با شرکت Eriez Flotation، شرکت Chevron دستگاهی به اسم VOSCELL flotation column را ساخت. این سامانه بازدهی بالایی در جداسازی آب و نفت و در حجم کم در سـکوهای دریـایی کاربرد دارد.

### ۳-۵ شرکت نفت ملی چین

کشور چین در سال ۲۰۱۰ یک عملیات جداسـازی تـه چـاهی را در میدان دریایی Bohai Bay چین انجام داد. در ایـن‌پـروژه چـاهی بـا ۹۷٪ درصد آب انتخاب و بـرای آن یـک تکمیـل تـه چـاهی جدیـد طراحی‌شد[۴]. خلاصهٔ نتایج اسـتفاده از ایـن فنـاوری در هریـک از شرکت‌های مذکور در جدول (۱) آورده شده‌است.

1. Progressive Cavity Pump
2. Electric Submergible Pump
3. Rod Pump
4. Gas Lift Pump



www.SID.ir

e of SID



**جدول ۱. خلاصهٔ نتایج استفاده از فناوری DOWS در شرکت‌های مطرح دنیا.**

| نام شرکت | نتایج استفاده از فناوری DOWS |
|---|---|
| C-FER Technologies | • افزایش ۱۰ الی ۲۰ درصدی در تولید نفت<br>• کاهش ۸۵ الی ۹۷ درصدی در تولید آب<br>• کاهش ۱۰ الی ۲۵ درصدی در هزینه‌های مربوطبه کنترل آب<br>• میانگین طول عمر اجرایی در حدود ۸ ماه<br>• کاهش ۳۰٪ در انرژی لازم برای پمپاژ حجم مشابهی از سیال تولیدی در قیاس با سامانه‌های مرسوم<br>• اختلاف پایدار بین فشار تزریقی و تولیدی |
| Baker Hughes | • بازدهی جداسازی زیر ۵۰۰ppm<br>• پایداری سامانه<br>• انعطاف عملیاتی |
| Halliburton | • جذب سطحی بر روی سطح سنگ انجام می‌گیرد.<br>• تراوایی نسبی آب حدود ۹۰ درصد کاهش یافته<br>• موجب کاهش خطر برای تراوایی نسبت به نفت می‌شود. |
| Chevron | • با یک‌بار عبور سیال از این دستگاه، غلظت نفت در آب تولیدی به کمتر از ۲۰ppm می‌رسد.<br>• این دستگاه قادر به پالایش مجدد جریان‌های خروجی از دیگر جداکننده‌های نفت و آب به‌منظور رساندن محتوی آب به کمتر از ۱۰٪ می‌باشد. |
| شرکت نفت ملی چین | • پمپ ESP بالایی بعد از ۴۹۱ روز به‌دلیل نفوذ ذرات خراب شد.<br>• پمپ ESP پایینی فشار مناسبی برای رساندن نفت به سطح داشت، ولی به‌دلیل کاستی در توزیع انرژی ناچار به خاموش‌کردن آن شدند.<br>• کاهش آب ۸۰۰۰ الی ۹۰۰۰ بشکه در روز رخ داد.<br>• تولید نفت ۵۰۰ بشکه در روز افزایش یافت.<br>• به‌منظور برنامه‌ریزی برای نصب‌های آتی مشخص گردید،<br>• چاهی مناسب برای نصب انتخاب شود، چرا که این سامانه در هر چاهی قابل استفاده نیست.<br>• شناخت از ناحیهٔ تزریقی یا تخلیه‌ای و بررسی نحوهٔ تغییر خصوصیات آن با زمان ضروری است.<br>• نصب صحیح سامانهٔ جداسازی باید مدنظر قرار گیرد.<br>• طراحی صحیح سامانهٔ تکمیل چاه بسیار حائز اهمیت است. |

## ۴. بررسی اجزای سامانهٔ DOWS (Push-Through)

براساس کاستی‌هایی که سامانهٔ DOWS داشت، این سامانه با ساختاری متفاوت عرضه شد؛ هدف طراحی این سامانه کاستن پیچیدگی‌های مربوط به طراحی بود. به‌طور کلی یک سامانهٔ DOWS دارای مؤلفه‌های زیر است که می‌توان به‌طور مجزا آن‌ها را مورد بررسی قرار داد[۱۲]:

۱) نواحی تزریقی و تولیدی: هر چند برای این بخش از طراحی کار خاصی نمی‌توان انجام داد، ولی ویژگی‌های این نواحی تأثیر بسیاری بر طراحی خواهند داشت. موقعیت نسبی این نواحی نوع سامانهٔ انتخابی DOWS را برای نصب تعیین می‌کند. خواص ناحیهٔ تولیدی تعیین می‌کند. خواص سیال، تعیین‌کننده بازده جداسازی است. دمای ته‌چاهی نوع سامانهٔ ESP را تعیین می‌نماید. نواحی تزریقی نیز نقشی مهم در بخش تزریقی طراحی DOWS برعهده دارند. تزریق، در


www.SID.ir

Archive of SID



سامانهٔ DOWS، یگانه هدف از طراحی آن است. بنابراین بسیار مهم است که ناحیهٔ تزریقی دارای تزریق‌پذیری مناسبی باشد و سیال دو ناحیهٔ تولیدی و تزریقی با هم سازگار باشند. سایز پمپ ESP بسیار وابسته به تزریق‌پذیری سازند تزریقی است؛ هرچه شاخص تزریق‌پذیری کمتر باشد، مصرف انرژی پمپ ESP بیشتر خواهدشد. با افزایش مصرف انرژی پمپ ESP دوام آن کمتر می‌شود. همچنین فاصلهٔ بین این دو ناحیه و مجزاسازی مناسب این‌نواحی بر روی نوع پکر انتخابی تأثیرگذار خواهد بود.

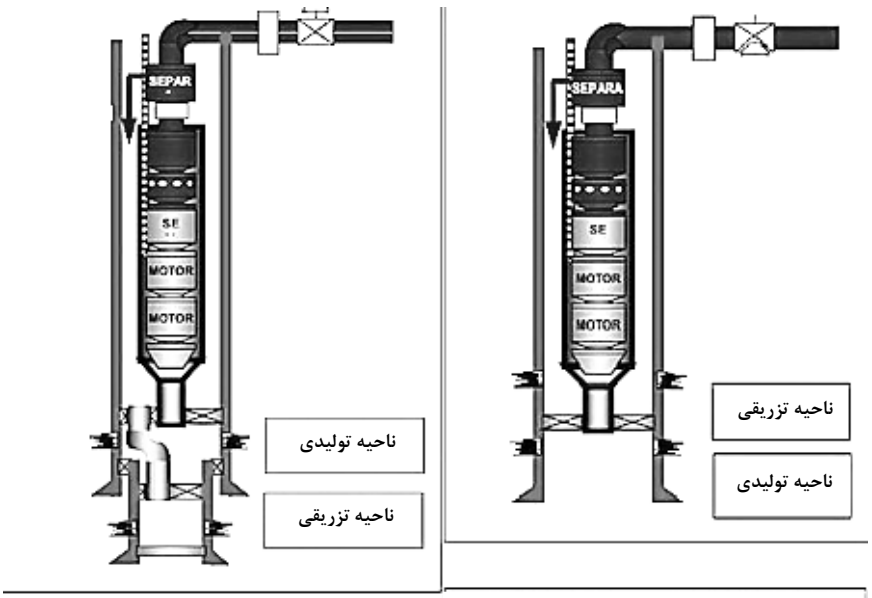
۲) سامانهٔ پمپ ESP : ESP یکی دیگر از ارکان اصلی سامانهٔ DOWS است؛ بسته به نوع کاربری، سامانهٔ ESP درجه‌های پیچیدگی طراحی مختلفی خواهد داشت. سامانهٔ DOWS را می‌توان با یک‌جداساز و یک پمپ طراحی و یا با دو پمپ مجزا که در دو طرف جداساز قرار دارند، طراحی نمود. طراحی دو سامانهٔ مجزا برای تزریق و تولید برتری بیشتری دارد. کاستی این‌کار نیز این است که احتمال خرابی پمپ ESP دو برابر خواهدشد. بنابراین به‌کاربردن آن در چاه کمی پیچیده است. پکرها برای جداسازی نواحی مختلف از یکدیگر استفاده شده‌اند. در انتهای پمپ ESP، از استینگر[1] (نوعی لولهٔ هدایت‌کننده) استفاده می‌شود تا رابطهٔ میان ناحیهٔ تولیدی از میان پکر (در حالتی که پمپ در بالای ناحیهٔ تولیدی قرار گرفته باشد)، برقرار شود (شکل (۴)). در طراحی این سامانه، سیال باید به‌نحوی هدایت شود که موتور پمپ را خنک سازد و در صورتی‌که ناحیهٔ تولیدی در زیر تشکیلات سامانه قرار داشت، به استفاده از نوعی پوشش نیاز است. سیال عبوری از پمپ با فشار وارد جداساز می‌شود. به‌وسیلهٔ احاطه‌کردن استرینگ[2]، پمپ ESP درون پوشش و با قراردادن پکرها در جایی مناسب، جریان‌های تولیدی و تزریقی از هم جدا خواهندشد[۱۳].

لولهٔ خاصی برای انتقال جریان استفاده نشده است. استفاده از لوله‌های هدایت‌کننده، طراحی را به طرق زیر محدود می‌کند:

۱) افت فشاری که لوله‌های نازک ایجاد می‌کنند، باعث افزایش انرژی مصرفی در سامانه خواهد شد.

۲) نصب سامانه به‌طور خاص در چاه‌های انحرافی مشکل است.

۳) لوله‌هایی که برای تزریق استفاده می‌شوند، بیشتر اوقات به‌وسیلهٔ جامدات مسدود می‌شوند.




**شکل ۴. سامانهٔpush-through در حالتی‌که جداساز در بالای پمپ قراردارد[۱۴].**

1. Stinger
2. String



www.SID.ir

e of SID

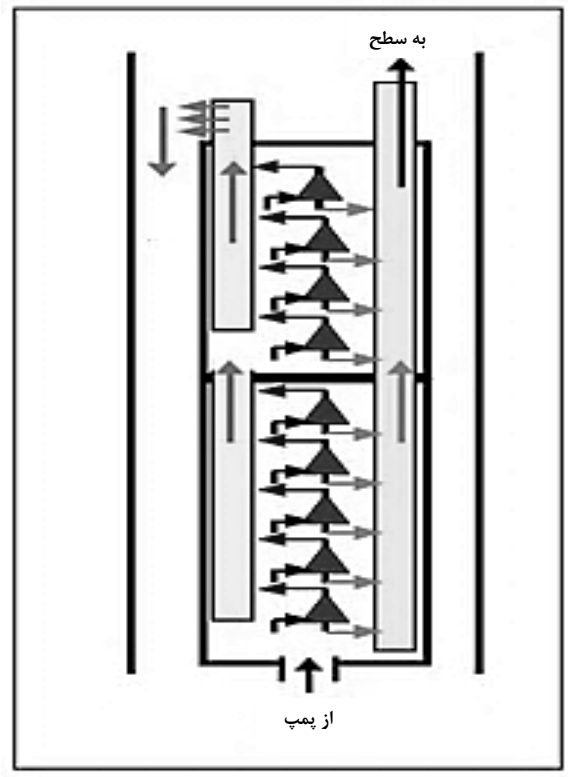


نکتهٔ دیگر حائز در این سامانه این است که حتی در صورتی‌که موقعیت نسبی نواحی تولیدی و تزریقی جابه‌جا شود، از همان ساختار Push-Through می‌توان استفاده کرد؛ تنها با تغییر موقعیت پکرها می‌توان هر دو حالت را با یک ساختار مدیریت کرد.

۳) جداکننده‌های چرخهٔ آبی: چرخهٔ آبی‌ها یکی دیگر از ارکان مهم در سامانهٔ جداسازی ته چاهی به‌شمار می‌روند. برای افزایش نرخ بده تولیدی می‌توان آن‌ها را به‌طور موازی و یا به‌منظور افزایش بازدهی می‌توان آن‌ها را به‌صورت سری پشت‌سرهم قرارداد. چرخهٔ آبی‌های تک‌لوله ظرفیتی در محدودهٔ 2000BFPD-۵۰۰ دارند. برای چاه‌هایی که بده بالایی دارند، چندین چرخهٔ آبی را می‌توان با هم ترکیب نمود، به‌طوری‌که خروجی هر کدام وارد لوله[1] شود (شکل (۵)). در حالت سری عمدهٔ عملیات جداسازی در مرحلهٔ اول رخ خواهد داد و در این‌مرحله به‌طور خاص از یک هسته‌یاب یا گرداب‌یاب استفاده می‌شود. کنترل فشارهای ورودی و خروجی از چرخهٔ آبی، جدایش بین آب و نفت را کنترل می‌کند. به مرحلهٔ دوم، نفت‌زدایی گفته می‌شود. این‌مرحله به‌منظور پالایش بهتر آب خروجی از مرحله اول است. به‌طور کلی ۲٪ از جریان ورودی از خروجی نفت خارج می‌شود و ۹۸٪ مابقی از خروجی آب خارج می‌شود. جریان‌های جداشدهٔ آب و نفت هریک از راه لوله‌ای مجزا به‌سمت لوله‌های تولیدی و تزریقی هدایت می‌شوند. در چرخهٔ آبی افت فشار ایجاد خواهد شد که باید به نحوی جبران شود.

۴) کنترل‌ها: تزریق ته چاهی یک‌موقعیت حساس و پویایی‌شناختی است. برای عملکرد مناسب سامانه، بازخورد قابل اتکایی بر روی مؤلفه‌های سامانه نیاز است. از این بازخورد برای کنترل سامانه استفاده می‌شود. سامانه باید به‌گونه ای طراحی‌شود که هرگونه تغییر در مؤلفه‌های مربوط به چاه (مثل تزریق‌پذیری) بدون نیاز به تغییر در سامانه قابل کنترل باشد. سامانه جداسازی چرخهٔ آبی pull-through یا push-through از یک سامانهٔ کنترل پیشرفته بهره می‌برد. این سامانه را می‌توان با اتصالات لوله‌ای استاندارد به مجموعهٔ جداساز و پمپاژ (ESP) متصل‌کرد. این سامانه قطعهٔ دوار ندارد و از این‌رو بسیار با دوام است. این سامانه کنترل پیشرفتهٔ قابلیت کنترل ۵ فشار، یک بده و یک دما را دارد.

۵) پکرها: سامانهٔ DOWS از مجموعهٔ محافظ و پکر برای ایزوله‌کردن نواحی تولیدی و تزریقی استفاده می‌کند. انواع مختلفی از پکرها در صنعت وجود دارد که می‌توان از آن‌ها بدین منظور استفاده‌کرد. پکرها باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که به‌راحتی به هدف اصلی که ایزوله‌سازی است، برسند. هرگونه نشتی در پکرها منجر به جریان چرخه‌ای بین نواحی تولیدی و تزریقی می‌شود، که این پدیده کارایی سامانه را ضعیف می‌کند.




**شکل ۵. جداکنندهٔ چرخهٔ آبی دومرحله‌ای- سری[۱۲].**

### ۵. داده‌های DOWS

اغلب سامانه‌های DOWS در آمریکای شمالی اجرا شده‌اند که اطلاعات آن به‌طور خلاصه در جدول (۲) آورده شده است.

1. Manifold


www.SID.ir

Archive of SID



**جدول ۲. اطلاعات مربوط به سامانه‌های پیاده‌سازی شده DOWS.**

| | |
|---|---|
| **کشورهای استفاده‌کننده از فناوری** | کانادا (۳۴ مورد)، امریکا (۱۴ مورد)، آمریکای لاتین (۶ مورد)، اروپا (۲ مورد) آسیا (۲ مورد)، خاورمیانه (۱ مورد) |
| **نوع سازند مورد استفاده در فناوری DOWS** | ۲۴ مورد کربناته، ۳۰ مورد ماسه‌ای |
| **نوع سازند تزریقی** | سازند کربناته (۱۹ مورد)، سازندهای ماسه‌ای (۳۲ مورد) |

### ۵-۱ آنالیز داده‌های DOWS

در جدول (۳) به عملکرد کیفی سامانه‌های نصب‌شده نمره‌دهی شده‌است. این نمره‌دهی براساس کیفیت عملکرد هر سامانه در زمینهٔ افزایش تولید نفت، کاهش تولید آب و میزان طول عمر آن است. براساس معیارهای مشخص‌شده در هریک از زمینه‌ها یک نمرهٔ کیفی در نظر گرفته می‌شود.

نمرهٔ کیفی کل براساس ارزیابی هریک از نمره‌های معیارهای در نظر گرفته شده‌است. از آن‌جایی‌که برخی از داده‌های در دسترس تاریخ آغاز به‌کار یا پایان کارشان مشخص نیست، تعیین میزان طول عمرشان امکان پذیر نمی‌باشد. مشکل دیگر این‌است که داده‌ها عملکرد سامانه را قبل از نصب و بعد از آن نشان می‌دهند، درحالی‌که باید در طول زمان کارکرد سامانه نیز داده‌ها در دسترس باشد، چراکه در حین کارکرد سامانه، تولید آب و نفت با توجه به تغییر در مشخصه‌های مکانیکی سامانهٔ پمپ، مثل نرخ پمپ و فشار آن تغییر می‌کند. بنابراین، این اعداد عملکردی نشان‌دهندهٔ کارکرد طولانی‌مدت سامانه نخواهند بود.

**جدول ۳. عملکرد کیفی سامانه‌های DOWS.**

| معیار/ نمره کیفی | خوب | خنثی | ضعیف |
|---|---|---|---|
| افزایش در تولید نفت | >٪۲۰ | ٪۰-٪۲۰ | ٪۰ |
| کاهش در تولید آب | >٪۳۰ | ٪۰-٪۳۰ | - |
| طول عمر( ماه ) | > ۳ | ۰-۳ | - |

براساس نتایج داده‌های به‌دست‌آمده تنها با شناخت جنس سازندهای تولیدی/تزریقی نمی‌توان بر نرخ موفقیت یا عدم آن صحه گذارد[۱۵]. مطابق جدول (۴) مشخصه‌های دیگری نیز وجود دارند که بر موفقیت نصب این سامانه‌ها تأثیر می‌گذارند[۱۶]. مهمترین مشخصه این است که سازند تزریقی، تزریق‌پذیری بالایی داشته‌باشد. یک آزمایش مهم تزریق گام به‌گام به‌منظور تعیین بده و فشار تزریقی است که باعث انسداد یا شکاف‌خوردگی می‌شود. مقدار کمی نفت در آب تولیدی جداشده ممکن است به‌دلیل نیروهای مویینگی، منجر به انسداد حفره‌ها شود. بنابراین بازدهی جداسازی باید به‌حدی باشد که ذرات کلوییدی ۵ تا ۵۰ میکرومتری موجود در آب تزریقی کمینه شوند. مؤلفهٔ مهم دیگر فاصله عمودی و مکانیکی مناسب بین نواحی تولیدی و تزریقی است. نصب DOWS باید در مخازنی انجام‌شود که حاوی مقادیر قابل قبولی از ذخیرهٔ نفتی باشد، به‌طوری‌که بتوان به‌سرعت هزینه‌های انجام‌شده را برگرداند و به سوددهی رسید.

## ۶. مطالعاتی میدانی[۱۸]

به‌عنوان یک‌مطالعهٔ موردی، فناوری جداسازی آب از نفت در میدان‌های داکینگ و جیدانگ[1] شرکت نفت چین (پترو چین) را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در میدان داکینگ، سه‌چاه از پمپ‌های اسکرو[2] برای تزریق و سه‌چاه دیگر از پمپ گریزانهٔ غوطه‌ور[3] به‌این منظور استفاده می‌شود. به‌وسیلهٔ این فناوری، تولید آب به‌طور میانگین ٪۷۰ کاهش یافت، در حالی‌که تولید نفت بدون تغییر ماند. تا ژوئن ۲۰۱۵ دوام این فناوری بیش از ۵۰۰ روز بود. چاه B2-D4-53 میدان داکینگ[4] چاهی عمودی با لولهٔ جداری به قطر $5^{1/2}$ اینچ است؛ عمق حقیقی این چاه ۱۲۲۰m و کسر آب آن ٪۹۷/۲ و تولید روزانهٔ آن $98/6\ m^3/d$ بود که ٪۹۵/۸۴ آن مربوط به تولید آب و ٪۲/۷۶ آن مربوط به تولید نفت بود.

در ماه می سال ۲۰۱۳، تجهیزات جداسازی ته چاهی نصب شدند. بر این اساس، کسر آب تولیدی به ٪۸۹/۶ کاهش یافت و میزان تولید سیال به $26/5\ m^3/d$ رسید و همچنین تولید روزانهٔ آب به میزان ٪۷۵ کاهش یافت. تولید نفت به $2/75\ m^3/d$ رسیده‌بود که کاهش ۰/۳۶ درصدی را نشان می‌دهد. از آنجایی که مصرف انرژی مسأله‌ای مهم است، با فرض اینکه تولیدپذیری مخزن ثابت بماند، مصرف کل

1. Daqing and Jidong
2. Screw Pump
3. Submergible Centrifugal Pump
4. Daqing



www.SID.ir

e of SID



جدول ۴. داده‌های عملکردی DOWS و نمره‌دهی کیفی به آن[۱۷].

| Lithology | Pre-DOWS Oil (bpd) | Post-DOWS Oil (bpd) | % Increase in Oil | Oil Rating* | Pre-DOWS Water (bpd) | Post-DOWS Water (bpd) | % Decrease in Water | Water Rating* | Trial Starting Date | Trial Ending Date | Longevity Rating* | Overall Performance Rating |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Carbonate/ carbonate | 19 | 24 | 26 | Good | 1,780 | 59 | 97 | Good | Jul-94 | Jan-95 | Good | Good |
| Sandstone/ sandstone | 44 | 100 | 127 | Good | 380 | 95 | 75 | Good | Jul-95 | | | Good |
| Sandstone/ sandstone | 25 | 100 | 300 | Good | 820 | 160 | 80 | Good | Aug-95 | | | Good |
| Sandstone/ sandstone | 38 | 37 | -3 | Poor | 1,200 | 220 | 82 | Good | Sep-95 | | | Neutral |
| Sandstone/ sandstone | 3 | 10 | 233 | Good | 184 | 126 | 32 | Good | Oct-95 | | | Good |
| Sandstone/ sandstone | 21 | 17 | -19 | Poor | 690 | | | | Dec-95 | | | Poor |
| Sandstone/ sandstone | 34 | 14 | -59 | Poor | 979 | | | | Dec-95 | | | Poor |
| Sandstone/ sandstone | 9.4 | 16 | 70 | Good | 546 | | | | Jan-96 | | | Neutral |
| Sandstone | | | | | | | | | Feb-96 | | | Poor |
| Carbonate/ carbonate | 13 | 164 | 1162 | Good | 428 | 239 | 44 | Good | May-96 | | | Good |
| Carbonate/ carbonate | 6 | 39 | 550 | Good | 629 | 21 | 97 | Good | May-96 | | | Good |
| Carbonate/ carbonate | 16 | 33 | 106 | Good | 252 | 139 | 45 | Good | Jul-96 | May-97 | Good | Good |
| Carbonate/ carbonate | 176 | 264 | 50 | Good | 3,648 | 264 | 93 | Good | Jul-96 | | | Good |
| Carbonate/ carbonate | 113 | 277 | 145 | Good | 2,516 | 126 | 95 | Good | Aug-96 | | | Good |
| Carbonate/ unknown | 6 | 6 | 0 | Neutral | 655 | 150 | 77 | Good | Aug-96 | Apr-97 | Good | Good |
| Sandstone/ sandstone | 45 | 32 | -29 | Poor | 1,400 | 500 | 64 | Good | Aug-96 | | | Poor |
| Sandstone/ sandstone | 7 | 16.5 | 136 | Good | 269 | 127 | 53 | Good | Sep-96 | | | Good |
| Carbonate/ carbonate | 20 | 15 | -25 | Poor | 220 | 190 | 14 | Neutral | Jan-97 | | | Poor |
| Sandstone | 25 | 32 | 28 | Good | 250 | 25 | 90 | Good | Feb-97 | | | Good |
| Sandstone/ sandstone | 5 | 10 | 100 | Good | 190 | 38 | 80 | Good | Feb-97 | Mar-97 | Neutral | Good |
| Carbonate/ sandstone | 88 | 50 | -43 | Poor | 1,700 | 189 | 89 | Good | Apr-97 | | | Poor |
| Carbonate/ carbonate | 75 | 84 | 12 | Neutral | 517 | 14 | 97 | Good | May-97 | Aug-97 | Neutral | Good |
| Carbonate/ carbonate | 27 | 26 | -4 | Poor | 932 | 179 | 81 | Good | May-97 | | | Neutral |
| Sandstone/ sandstone | 30 | 38 | 27 | Good | 470 | 61 | 87 | Good | May-97 | Nov-97 | Good | Good |
| Sandstone/ sandstone | 631 | 14 | -98 | Poor | 7,060 | 1,153 | 84 | Good | May-97 | Jun-97 | Neutral | Poor |
| Sandstone/ sandstone | 76 | 0 | -100 | Poor | 2,450 | 380 | 84 | Good | May-97 | Nov-97 | Good | Poor |
| Carbonate/ carbonate | 70 | 78 | 11 | Neutral | 4,000 | 320 | 92 | Good | Jun-97 | | | Good |
| Sandstone/ sandstone | 8 | 10 | 25 | Good | 451 | 63 | 86 | Good | Jun-97 | Oct-97 | Good | Good |



www.SID.ir

Archive of SID



انرژی برای تولید مرسوم $22/42 kwh/m^3$ بود، در حالی‌که بعد از نصب سامانهٔ داوز این‌مقدار به $4/68 kwh/m^3$ کاهش یافت. همان‌گونه که مشخص است، مصرف انرژی سامانهٔ داوز ۲۱/۸٪ حالت مرسوم است. به‌علاوه با استفاده از این فن، فضای مورد نیاز برای پالایش و گندزدایی آب تولیدی کمتر می‌شود (شکل (۶)).

چاه L102X3 میدان جیدانگ چاهی شیب‌دار است که قطر لولهٔ جداری آن ۷ اینچ است. عمق حقیقی این چاه ۲/۴۸۰m است و چاه در عمق ۱/۸۷۷m بیشترین شیب را به اندازهٔ ۴۷/۲ درجه دارد. تجهیزات جداسازی آب از نفت ته چاهی در عمق ۹۵۰m در بازه‌ای عمودی نصب شد. با کسر آبی در حدود ۹۹/۵٪، چاه بسته‌شده بود. طبق نتایج، قبل از نصب، تولید روزانهٔ چاه در حدود $253 m^3/d$ و تولید نفت آن $1/26 m^3/d$ بود. به‌محض نصب سامانهٔ DOWS در اکتبر ۲۰۱۳ تولید سیال در سطح ۷۹/۴٪ کاهش یافت و به $52 m^3/d$ رسید و تولید روزانهٔ نفت با ۶/۹٪ افزایش به $1/35 m^3/d$ رسید. در کل با توجه به این نتایج، تولید به‌طور چشمگیری بهبودیافت.

## ۷. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

با توجه به مطالب ارائه‌شده در این‌مقاله می‌توان چنین نتیجه‌گرفت که::

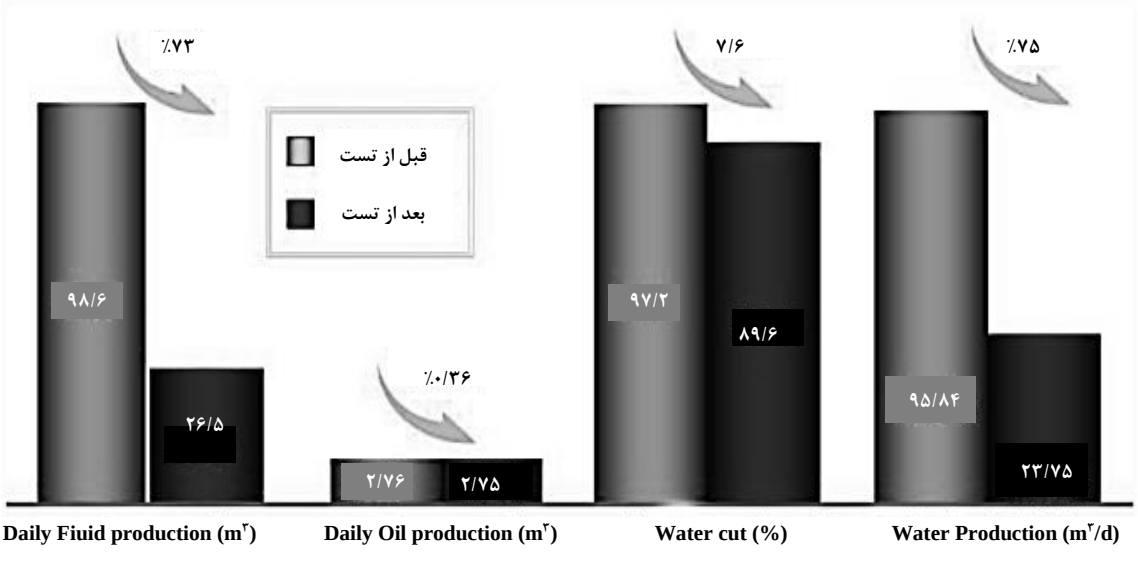
۱) نصب موفقیت‌آمیز سامانهٔ DOWS از نظر فنی و اقتصادی زمانی امکان‌پذیر است که همهٔ مؤلفه‌های مورد نیاز به‌طور دقیق ارزیابی شوند.

۲) جداسازی ته چاهی نسبت به جداسازی سطحی مرسوم بسیار اقتصادی‌تر است؛ زیرا از هزینه‌های کنترل آب، تولید و پالایش آن می‌کاهد. تجهیزات ته چاهی از حجم تسهیلات سر چاهی کم می‌کند که برای مناطق دریایی و دور از دسترس بسیار مناسب است.

۳) بیشتر نصب‌های انجام‌شده موفق نبوده‌اند، به‌این‌دلیل که چاه مناسبی برای نصب انتخاب نشده بود. شرکت‌ها به‌جای آنکه چاه‌هایی را که احتمال موفقیتشان بالاتر باشد انتخاب کنند، بیشتر چاه‌هایی را که در اواخر عمر تولیدی خود بودند، به‌عنوان کاندید انتخاب کرده‌بودند.

۴) جداسازی برای نفت‌های سنگین بسیار دشوار است؛ زیرا اختلاف چگالی بالایی میان آب و نفت در این حالت وجود دارد. کمترین اختلاف در چگالی باید API2 باشد. اگر قطره‌های نفت بسیار ریز باشند، قطره‌های کوچک بیشتر تحت تأثیر نیروهای گرانرَوی قرار خواهند گرفت که بدین شکل جدایش به تأخیر خواهد افتاد.

۵) نسبت آب به نفت باید بالا باشد؛ به‌طوری‌که فاز غالب آب باشد. اصولاً نسبت آب به نفت باید بیشتر از ۵۰٪ باشد. سازندگان جداسازهای چرخهٔ آبی پیشنهاد می‌کنند که کسر آب بیش از ۷۵٪ باشد.




**شکل ۶. عملکرد چاه B2-D4-53 میدان داکینگ چین[۱۹].**



www.SID.ir

e of SID



## مراجع


[1] Fakhru'l-Razi, A., Pendashteh, A., Abdullah, L. C., Biak, D. R. A., Madaeni, S. S., Abidin, Z. Z. "Review of technologies for oil and gas produced water treatment", J. Hazard. Mater. 170, pp. 551-530, (2009).

[2] De, A. K., Pal, S., Sivaramakrishnan, S., "System and method for a centrifugal downhole oil-water separator", U.S. Patent Application 15/476,406, (2018).

[3] Reynolds, R. R. and Kiker, R. D. "Produced water and associated issues." Oklahoma Geological Survey, (2003).

[4] Chachula, R. C., Solanki, S. C., U.S. Patent No. 6,189,613. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, (2001).

[5] Schrenkel, P. J., "Joint Industry Development of the Downhole Oil Water Separation System-Field Case Study", Society of Petroleum Engineers, (1997).

[6] Roth, B. A., Busfar, W. A., "Downhole oil/water separation system for improved injectivity and reservoir recovery", United States patent US, 10,253,610, (2019).

[7] Muktadir G, Amro M. D., Schramm A., "Review and applicability of downhole separation technology". In SPE Middle East Artificial Lift Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, (2016).

[8] Matthews C. M., Chachula, R., Peachey, B. R., Solanki, S. C., "Application of downhole oil/water separation systems in the alliance field", In SPE Health, Safety and Environment in Oil and Gas Exploration and Production Conference, Society of Petroleum Engineers, (1996).

[9] Browning, B., "faxed data sheet and personal communication between Browning", Tri Link Resources Ltd. Calgary, Alberta, and J. Veil, Argonne National Laboratory, Washington, DC, May., (1998).

[10] Sobie, S, Matthews, C. T., "Application Experience with Downhole Oil/Water Separation Systems", in Southeast Saskatchewan. In Canadian Section Society of Petroleum Engineers/Petroleum Society of CIM One-Day Conference of Horizontal Well Technology, (1997).

[11] Dellarole, E., Tealdi, S., Ciandri, P., Di Renzo, D., Maliardi, A., Del Gaudio, L., Pedretti, M., "A New Downhole Oil-Water Separation System", In Offshore Mediterranean Conference and Exhibition ,Offshore Mediterranean Conference, (2015).

[12] Denney, D., "Downhole oil/water separation systems in high-volume/high-horsepower application", J. pet. tech. 56, pp.48-49, (2004).

[13] Li, F., Li, X., Zou, X., Duan, Z., Liao, T., Lu, X., Ren, Y., "The First Successful Deployment of Downhole Oil-Water Separation Technology in South China Sea: Lessons Learned and Way Ahead.", In Offshore Technology Conference, Asia, (2018).

[14] Bowers, B. E., Brownlee, R. F., Schrenkel, P. J., "Development of a Downhole Oil/Water Separation and Reinjection System for Offshore Application", (1998).

[15] Alhanati F., Zahacy, T., Peachey, B., "Sharing the Risk in DHOWS Technology Development", In a meeting of the International Downhole Processing Group, Milan, Italy, (2002).

[16] Veil, J. A., Langhus, B. G., Belieu, S., "Feasibility evaluation of downhole oil/water separator (DOWS) technology", United States, (1999).

[17] Veil, J. A., Quinn, J., "Performance of downhole separation technology and its relationship to geologic conditions", In SPE/EPA/DOE Exploration and Production Environmental Conference Society of Petroleum Engineers ,(2005).

[18] Yang, G., He, L., Feng, L., Yong, Z., Bo Y., Haoyu, L., "Application of DOWS (Downhole Oil Water Separation) Technology Used in High Water-Cut Oilfield: Case Study", In SPE/IATMI Asia Pacific Oil & Gas Conference and Exhibition, Society of Petroleum Engineers, (2015).




www.SID.ir