



مقایسه آماری و تحلیل عملکرد ادوات حفاری انحرافی مورد استفاده در عملیات ویژه حفاری به منظور دستیابی به یک الگوی مناسب هزینه‌ای در میادین نفتی ایران

مصطفی صدقات زاده^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تهران

احسان کریمی^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه تهران

چکیده

Section Mill و Whip Stock دو ابزار ویژه و اصلی برای ایجاد پنجره در لوله جداری هستند. این ابزار که در عملیات حفاری انحرافی^۳ مورد استفاده قرار می‌گیرند، در صنعت حفاری ایران نیز به کار گرفته می‌شوند. استفاده از این ابزارها نیازمند داشتن دانش و شناخت کافی از عملکرد آن‌ها و ارزیابی شرایط مختلف حفاری (نوع و سایز لوله جداری، عمق پنجره، وزن گل حفاری و ...) می‌باشد. با شناخت عملکرد هر ابزار و ترکیب آن با شرایط موجود حفاری، می‌توان برای استفاده از آن‌ها در عملیات حفاری انحرافی، بهترین گزینه را انتخاب نمود.

این مقاله عملکرد Whip stock و Section mill مورد استفاده در چاه‌های ایران را بر اساس هزینه تمام شده عملیات و زمان انجام عملیات بررسی می‌کند. بعد هزینه‌ای شامل مواردی چون نرخ هزینه دکل حفاری، هزینه نهایی ابزار، هزینه راندن نمودارهای CCL^۴ و CBL^۵، هزینه گل حفاری و نصب پلاگ سیمانی است. همچنین معیار زمان نیز در بر گیرنده کل زمان مورد نیاز برای ایجاد پنجره می‌باشد. صرف نظر از موارد یاد شده، اثر گل حفاری سبک ($MW < 1.00 \text{ pcf}$) و گل حفاری سنگین ($MW > 1.00 \text{ pcf}$) نیز بر این دو معیار مورد بحث قرار می‌گیرد.

برای انجام این پژوهش، ۲۳ چاه از ۹ میدان نفتی بزرگ ایران شامل میادین اهواز، مارون، گچساران، منصور، نفت سفید، بی بی حکیمه، آب تیمور، رگ سفید و آزادگان، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. اطلاعات استخراج شده از هر چاه شامل عمق پنجره^۶، ارتفاع سطح مقطع آسیاب شده از لوله جداری^۷، KOP^۸، وزن گل حفاری، سایز و نوع لوله جداری، تعداد تیغه استفاده شده، زمان صرف شده در عملیات و هزینه نهایی است. در این مقاله سعی شده است تا با استفاده از نتایج به دست آمده از نمودارها و تحلیل‌های مهندسی حفاری در میادین مختلف نفتی ایران، یک الگوی پیشنهادی مناسب برای استفاده بهینه از هر یک از ابزارهای Whip Stock و Section Mill در شرایط مختلف عملیاتی ارائه گردد.

واژه‌های کلیدی اتصال یاب لوله جداری، نمودار باند سیمان، وزن گل حفاری، نقطه پنجره، موتورهای درون چاهی

واژه‌های کلیدی

مقدمه

۱. آشنایی با ابزار Whip stock در عملیات ویژه حفاری

Whip stock یکی از قدیمی‌ترین و در عین حال مطلوب‌ترین ابزار برای ایجاد پنجره می‌باشد. این وسیله قابلیت نصب و رانش در هر عمق و شرایط لوله جداری و حفره باز را داراست. Whip stock شامل یک گوه واژگون از جنس فولاد است که سطح مورب آن با زاویه 30° - 1° رشته حفاری را در جهت جدید هدایت می‌کند. قبل از راندن این ابزار باید در قسمت مورد نظر در لوله جداری یک پلاگ سیمانی کار گذاشته شود تا مته در جهت جدید هدایت شود. عملکرد این دستگاه به این گونه است که پس از قرار گرفتن در عمق مورد نظر و تنظیم جهت، با اعمال وزن و نیرو، از حرکت گوه و دوران آن جلوگیری می‌کند و آسیاب‌کننده از Whip stock جدا و در جهت و زاویه جدید شروع به آسیاب می‌نماید. عمل آسیاب معمولاً ۱۲ الی ۱۶ فوت پایین قسمت انگشتی^۹ ادامه پیدا می‌کند تا Rat hole تشکیل شود و مجموعه گوه انحراف و قسمتی از رشته حفاری از چاه اصلی خارج شود. پس از این مرحله در صورتی که Whip stock از نوع قابل بازگشت^۹ باشد، به همراه رشته

ایران یکی از پنج کشور اصلی تولیدکننده و صادرکننده نفت در جهان است؛ به همین دلیل یکی از بزرگ‌ترین مصرف‌کننده ابزارهای حفاری انحرافی می‌باشد. موارد مختلفی هم‌چون وجود گنبدی‌های نمکی، گسل‌ها، نزدیکی به ساحل و حفاری چاه‌های چند شاخه، ضرورت انحراف چاه از حالت عمودی به حالت انحرافی و حفاری افقی را به وجود می‌آورد. برای انجام این عملیات و تغییر مسیر چاه، روش‌های مختلفی به کار گرفته می‌شود. یکی از روش‌های متداول که در چاه‌های حفره باز استفاده می‌شود، استفاده از موتورهای درون چاهی PDM همراه با Bend Sub و استفاده از مته‌های PDC یا مته‌های Tri-cone است. در بعضی موارد نیز، در شرایط حفره‌باز به جای موتورهای درون چاهی از توربین همراه با Bent Sub استفاده می‌شود. از دیگر وسایلی که برای ایجاد نقطه پنجره در چاه‌های حفره باز و چاه‌های دارای لوله جداری به کار می‌رود، Whip stock است. علاوه بر سه مورد یاد شده، Section mill نیز که تنها در چاه‌های دارای لوله جداری کاربرد دارد، قابل استفاده می‌باشد.

توربین به عنوان اولین ابزار حفاری انحرافی در ایران مورد استفاده قرار گرفت، اما پس از چندین سال، موتورهای PDM جای آن را گرفت. شرکت ملی حفاری ایران (NIDC) به عنوان بزرگ‌ترین و اصلی‌ترین شرکت حفاری کشور، برای ایجاد پنجره و آغاز حفاری انحرافی از دو ابزار ویژه استفاده می‌کند. این دو ابزار عبارتند از: Whip stock و Section mill.

¹ Mtf_sedaghatzadeh@yahoo.com

⁶ Window interval

² Directional drilling

⁷ Kick of Point

³ Casing Color Locator

⁸ Toe

⁴ Cement Bonding Log

⁹ Retrievable

⁵ Window depth



حفرة باز در چاه‌های دارای لوله جداري و ایجاد پنجره می‌شود. این ابزار دارای ۶ تیغه مثلثی با پوششی از جنس تنگستن کارباید است. پس از پمپاژ گل، با اعمال فشار سیال، ۳ تیغه از ۶ تیغه باز شده و برش سطح لوله جداري آغاز می‌گردد. هنگامی که سطح جداري لوله بریده شد، ۳ تیغه دیگر نیز باز شده و با پایین فرستادن رشته حفاری، سایش رشته حفاری شروع می‌شود.

به‌طور کلی استفاده از ۲ ابزار یاد شده، فرآیندی وقت‌گیر است (به‌ویژه زمانی که دیواره چاه با استفاده از چند لایه لوله جداري پوشیده شده باشد). بنابراین در به‌کارگیری هر یک از این ابزارها، زمان که پایه و اساس محاسبه هزینه عملیات است، از اهمیت خاصی برخوردار می‌باشد. در ادامه این مقاله، مقایسه جامعی در ارتباط با استفاده از ابزارهای ذکر شده برای انحراف چاه در میادین ایران در قالب دو عامل اصلی زمان و هزینه انجام می‌شود.

۳. چگونگی اجرا و طراحی پروژه

برای انجام این مطالعه، تعداد ۲۳ حلقه چاه^{۱۱} از ۹ میدان نفتی اصلی و بزرگ ایران شامل گچساران، اهواز، آزادگان، مارون، آب تیمور، نفت سفید، منصور، بی‌بی حکیمه و رگ سفید انتخاب شد. برای ۱۳ مورد از این چاه‌ها از Whip stock و برای ۱۰ مورد دیگر از Section mill استفاده گردید.

از آن‌جا که یکی از مهم‌ترین عوامل در مدت زمان اجرای هر دو عملیات (با Whip stock و Section)، وزن گل موجود در چاه است، بنابراین برای مقایسه تأثیر وزن گل بر نتایج نهایی، وزن بالای ۱۰۰ pcf به‌عنوان گل سنگین و وزن کم‌تر از ۱۰۰ pcf به‌عنوان گل سبک در نظر گرفته شد؛ به این ترتیب، حفاری ۱۱ چاه با گل سبک و ۱۲ چاه با گل سنگین صورت پذیرفت.

پایه و اساس محاسبه هزینه تمام شده برای راندن هر ابزار، حاصل جمعی از تمامی عملیات جانبی و عوامل محیطی حاکم بر اجرای طرح است. به‌همین منظور رابطه ۱ برای ابزار Whip stock و رابطه ۲ برای ابزار Section mill ارائه گردیده است. این روابط شامل حاصل جمعی از پارامترهای مختلف هزینه‌ای است. برای محاسبه هزینه نهایی ایجاد یک پنجره در هر دو عملیات، مواردی هم‌چون هزینه روزانه دکل، قیمت تمام شده ابزار، هزینه اجرای نمودارهای CCL و CBL برای تشخیص مکان مناسب عملیات و نصب Packer، هزینه تعویض تیغه‌های Section mill، هزینه نصب پلاگ سیمانی و هزینه سیالات حفاری به‌کار رفته در ضمن عملیات در نظر گرفته شد. در جدول ۱ متوسط قیمت عوامل یاد شده و هزینه تمام شده ارائه گردیده است.

$$C_{\text{Total cost for Whipstock}} = C_{\text{Rig}} + C_{\text{Tool}} + C_{\text{Log}} + C_{\text{Plug}} + C_{\text{Mud}} \quad (1)$$

$$C_{\text{Total cost for Section mill}} = C_{\text{Rig}} + C_{\text{Tool}} + C_{\text{Log}} + C_{\text{blaid}} + C_{\text{Mud}} \quad (2)$$

در شکل‌های ۳ و ۴، زمان صرف شده برای راندن، نصب و تکمیل حفاری پنجره و هزینه نهایی اجرای پروژه برای هر چاه با توجه به وزن گل استفاده شده در حفاری نشان داده شده است.

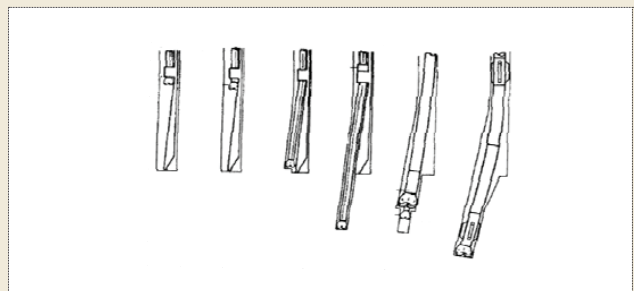
۴. مقایسه عملکرد Whip stock و Section mill در شرایط حفاری با گل سبک (MW < 100 pcf)

در شکل A-۳، عملکرد Whip stock در شرایط حفاری با گل سبک نمایش داده شده است. در این شکل، اطلاعات ۴ حلقه چاه با لوله جداري ۷ اینچ از ۳ میدان نفتی آزادگان، گچساران و اهواز دیده می‌شود. متوسط طول لوله جداري

حفاری بالا آورده می‌شود و در غیر این‌صورت درون چاه باقی می‌ماند. مراحل عملکرد این ابزار در شکل ۱ آمده است. در ایران از این ابزار معمولاً در لوله جداري استفاده می‌شود؛ چرا که نصب Packer موجود در Whip stock در شرایط حفرة باز به‌دلیل وجود Wash-out یا Tight-hole با ریسک بالایی صورت می‌گیرد و با توجه به ارزش و قیمت تقریبی هر Whip stock، استفاده از این ابزار در صورت از دست دادن آن در شرایط حفرة باز، مقرون به صرفه نیست. در ایران بیش‌تر از Permanent Whip stock با قطرهای ۴/۵، ۵، ۷، ۸/۵ و ۱۳ ۳/۸ اینچ استفاده می‌شود؛ به همین خاطر پس از اتمام عملیات، درون چاه باقی می‌ماند. از آن‌جا که اکثر عملیات ایجاد پنجره در ایران بر سازند گچساران انجام می‌شود، بنابراین استفاده از قطرهای ۹ ۵/۸ و ۷ اینچ بسیار متداول‌تر از اندازه‌های دیگر است. هم‌چنین در این عمق، فشار نصب Packer برای Whip stock بالاست، به‌همین دلیل اکثر عملیات نصب Whip stock در ایران با فشارهایی بالاتر از ۲۵۰۰ psi انجام می‌گیرد. برخی از کاربردهای Whip stock در ایران عبارتند از: حفاری و ایجاد پنجره برای چاه‌های چند شاخه، ایجاد Sidetrack در مواجهه با مانده^{۱۰} و بهره‌برداری از مخازن چند لایه.

۲. آشنایی با ابزار Section mill در عملیات ویژه حفاری

Section mill نیز یکی دیگر از ابزارهای ویژه برای ایجاد پنجره است. این ابزار که در شکل ۲ نشان داده شده است، دارای تیغه‌هایی است که با استفاده از فشار گل به طرفین باز شده و با گردش رشته حفاری، شروع به تراش و ساییدگی جداره داخلی لوله می‌نماید؛ این کار منجر به بریدن لوله جداري و فراهم آوردن شرایط



شکل ۱ | مراحل عملکرد ابزار Whipstock [۳]



شکل ۲ | Section Mill [۳]

¹⁰ Fish

^{۱۱} اطلاعات تمامی چاه‌های استفاده شده در این مقاله در جداول ۲ تا ۵ آمده است.



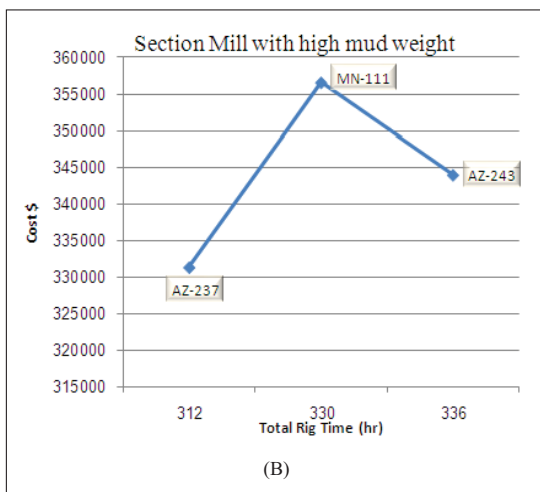
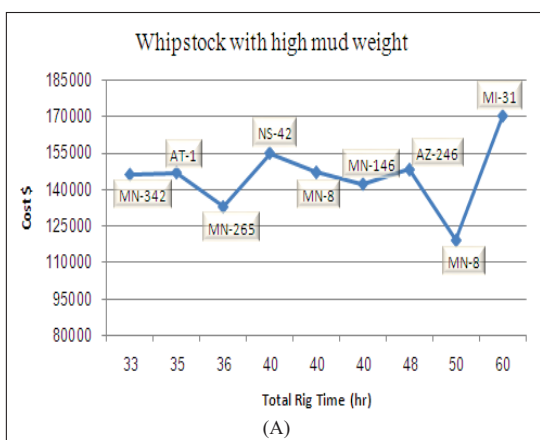
برش داده شده توسط Whip stock حدود ۳/۷ متر و میانگین زمان ایجاد پنجره

۵. مقایسه عملکرد Whip stock و Section mill در شرایط حفاری با گل سنگین (MW>1.0 pcf)

شکل A-۴، عملکرد ۹ حلقه چاه با لوله جداری ۵/۸ و ۹ اینچ را در ۵ میدان نفتی مارون، آب تیمور، نفت سفید، اهواز و منصوری در شرایط استفاده از Whip stock و حفاری با گل سنگین نشان می‌دهد. در این مورد، متوسط طول لوله جداری برش داده شده حدود ۴/۳۴ متر و میانگین زمان صرف شده در دکل برای

۱ | متوسط قیمت فاکتورهای مختلف در هزینه حفاری پنجره در سال ۲۰۰۷ [۲]

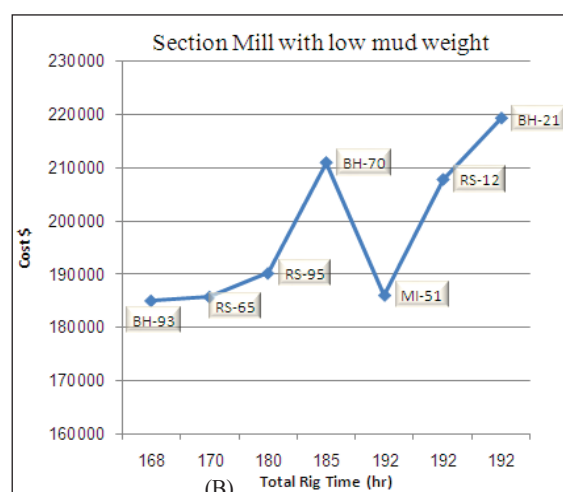
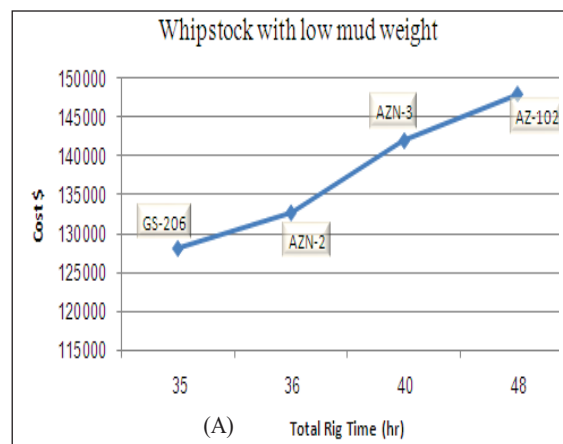
ابزار و عملیات (واحد)	قیمت میانگین (\$)
Daily rig rent	۱۹۲۶۵
Whip stock 7'	۷۰۰۰
Whip stock 9 5/8'	۸۰۰۰
Section mill blade	۲۰۰۰
CCL/CBL logging	۳۰۰۰



۴ | نمودار هزینه-زمان دکل مربوط به حفاری پنجره با گل سنگین [۱]

در این شرایط، ۴۰ ساعت به دست می‌آید. با توجه به فاکتورهای هزینه‌ای یاد شده، میانگین هزینه ایجاد پنجره با Whip stock در شرایط حفاری با گل سبک حدود ۱۳۷۶۹۸ دلار محاسبه می‌گردد.

در نقطه مقابل، در شکل B-۳، عملکرد Section mill در همان شرایط حفاری با گل سبک، برای ۷ چاه مختلف و با همان قطر لوله جداری از ۳ میدان نفتی بی بی حکیمه، رگ سفید و مارون آورده شده است. در این مورد، متوسط طول لوله جداری برش داده شده حدود ۱۷ متر و کل زمان حفاری هر پنجره معادل ۱۹۰ ساعت برآورد می‌گردد. با توجه به رابطه مربوطه، هزینه نهایی رقمی معادل ۱۹۷۰۰۰ دلار خواهد بود. بر مبنای اطلاعات به دست آمده، سرعت حفاری پنجره توسط Whip stock در ایران تقریباً ۴/۷۵ برابر سرعت اجرای این عملیات با Section mill است. با مقایسه مدت زمان صرف شده برای اجرای عملیات که در مورد Whip stock حدود ۴۰ ساعت و برای Section mill معادل ۱۹۰ ساعت به دست آمد، می‌توان گفت که در شرایط حفاری با گل سبک، استفاده از Whip stock برای ایجاد پنجره حدود ۶ روز کاری صرفه‌جویی زمانی در بر دارد. مقایسه متوسط هزینه نهایی و تمام شده اجرای هر پروژه با شرایط یاد شده نشان می‌دهد که بهره‌گیری از Whip stock نسبت به



۳ | نمودار هزینه-زمان دکل در حفاری پنجره با گل سبک [۱]



با مقایسه آمارهای به دست آمده در عملیات ایجاد پنجره توسط Whip stock و Section mill در شرایط حفاری با گل سنگین در ایران، می توان گفت که سرعت ایجاد پنجره در صورت استفاده از Whip stock حدود ۷/۵۲ برابر سرعت استفاده از Section mill می باشد. از نظر هزینه های نیز، قیمت تمام شده برای عملیات یاد شده در صورت استفاده از Whip stock معادل ۲۳۷ درصد ارزان تر از Section mill است.

نتیجه گیری

۱. در حفاری با گل سبک ($MW < 100$ pcf)، استفاده از Whip stock به جای Section mill برای ایجاد پنجره به منظور آغاز عملیات حفاری انحرافی در لوله جداری، منجر به افزایش سرعت اجرای پروژه به میزان ۴/۷۵ برابر می گردد که این میزان افزایش سرعت، ۶ روز کاری صرفه جویی زمانی در بر دارد. این مقایسه زمانی، منجر به صرفه جویی اقتصادی به میزان ۴۳ درصد خواهد شد.

۲. در عملیات ایجاد پنجره در لوله جداری، در صورت حفاری با گل سنگین ($MW > 100$ pcf)، سرعت اجرای کار با بهره گیری از Whip stock معادل ۷/۵۲ برابر ایجاد پنجره با استفاده از Section mill می باشد. این میزان افزایش سرعت، ۱/۵ روز کاری دکل صرفه جویی زمانی دارد. علاوه بر این، از نظر هزینه های نیز در شرایط حفاری با گل سنگین، استفاده از Whip stock در مقایسه با Section mill، ۲۳۷ درصد صرفه اقتصادی خواهد داشت.

۳. استفاده از Whip stock به جای Section mill در حفاری ۷ حلقه چاه مورد مطالعه در محیط گل سبک، منجر به ۲۲ روز جلوفتادگی از برنامه پیش بینی شده می گردد. این مقایسه در شرایط حفاری با گل سنگین بسیار خوش بینانه تر بوده و معادل ۳۱ روز جلو افتادگی از برنامه حفاری در ۳ حلقه چاهی می شود که در آنها از Section mill برای ایجاد پنجره استفاده شده است.

۴. علاوه بر موارد یاد شده، به دلیل محدودیت استفاده از Section mill برای ایجاد پنجره در چاه های با زاویه انحرافی بالا، در Multi-lateral-well، استفاده از Whip stock نسبت به Section mill، با توجه به مقایسه هزینه های انجام شده، دارای ریسک کمتری خواهد بود.

۲ | اطلاعات مربوط به چاه های حفاری شده با گل سبک توسط Section mill [۲]

شماره چاه	عمق پنجره (MT)	بخش پنجره (MT)	KOP (MT)	وزن گل (pcf)	نوع لوله جداری	تعداد برش های استفاده شده (Set)	زمان دکل (hr)	هزینه (\$)
MI-۵۱	۲۹۹۵-۳۰۱۴	۱۹	۳۰۰۱	۷۰	۷",۲۹#N-۸۰	۲	۱۹۲	۱۸۶۱۱۱
RS-۱۲	۲۲۲۲-۲۲۴۲	۲۰	۲۲۲۸	۶۷	۷",۲۹#N-۸۰	۳	۱۹۲	۲۰۷۷۵۴
BH-۹۳	۱۹۹۷-۲۰۱۲	۱۵	۲۰۰۳	۶۷	۷",۲۹#N-۸۰	۳	۱۶۸	۱۸۵۰۷۳
BH-۲۱	۱۹۰۴-۱۹۲۱	۱۷	۱۹۰۵	۶۷	۷",۲۹#N-۸۰	۳	۱۹۲	۲۱۹۲۰۹
BH-۷۰	۲۰۳۵-۲۰۵۳	۱۸	۲۰۳۹	۶۵	۷",۲۹#N-۸۰	۴	۱۸۵	۲۱۰۹۰۹
RS-۹۵	۲۲۱۵-۲۲۲۸	۱۳	۲۱۲۶	۷۰	۷",۲۹#N-۸۰	۳	۱۸۰	۱۹۰۲۰۹
RS-۶۵	۲۳۴۳-۲۳۶۱	۱۸	۲۳۴۵	۶۷	۷",۲۹#N-۸۰	۲	۱۷۰	۱۸۵۸۰۹

۳ | اطلاعات مربوط به چاه های حفاری شده با گل سنگین توسط Section mill [۲]

شماره چاه	عمق پنجره (MT)	بخش پنجره (MT)	KOP (MT)	وزن گل (pcf)	نوع لوله جداری	تعداد برش های استفاده شده (Set)	زمان دکل (hr)	هزینه (\$)
AZ-۲۳۷	۲۲۷۳-۲۲۸۸	۱۵	۲۲۸۱	۱۴۵	۷",۳۵#N-۸۰	۳	۳۱۲	۳۳۱۳۳۹
AZ-۲۴۳	۲۴۰۲-۲۴۱۹	۱۷	۲۴۰۶	۱۳۵	۹",۵۳/۵#P-۱۱۰	۵	۳۳۶	۳۵۶۵۹۰
MN-۱۱۱	۲۳۲۵-۲۳۷۴	۲۱	۲۳۵۶	۱۳۸	۷",۳۵#N-۸۰	۳	۳۳۰	۳۴۳۹۶۵

۴ | اطلاعات مربوط به چاه های حفاری شده با گل سنگین توسط Whip stock [۲]

شماره چاه	عمق پنجره (MT)	بخش پنجره (MT)	KOP (MT)	وزن گل (pcf)	نوع لوله جداری	زمان دکل (hr)	هزینه (\$)
NS-۴۲	۹۹۰-۹۹۴	۴	۹۹۳	۱۳۲	۹",۵/۸",۵۳/۵#N-۸۰	۴۰	۱۵۴۷۶۹
AZ-۲۴۶	۲۱۱۱-۲۱۱۵/۵	۴/۵۵	۲۱۱۴	۱۴۱	۹",۵/۸",۵۳/۵#P-۱۱۰	۴۸	۱۴۸۰۰۰
AT-۱	۱۹۷۴-۱۹۷۹	۵	۱۹۷۶	۱۴۰	۹",۵/۸",۵۳/۵#P-۱۱۰	۳۵	۱۴۶۷۵۴
MN-۳۴۲	۱۹۸۶-۱۹۹۱	۵	۱۹۹۰	۱۴۵	۹",۵/۸",۵۳/۵#P-۱۱۰	۳۳	۱۴۶۰۰۰
MI-۳۱	۲۱۰۸-۲۱۱۳	۵	۲۱۱۲	۱۵۰	۹",۵/۸",۵۳/۵#P-۱۱۰	۶۰	۱۷۰۰۰۰
MN-۲۶۵	۲۵۱۲-۲۵۱۸	۴	۲۵۱۷	۱۵۰	۷",۳۵#N-۸۰	۳۶	۱۳۲۷۰۰
MN-۸	۲۹۲۶-۲۹۳۰	۴	۲۹۲۸	۱۴۰	۷",۳۵#P-۱۱۰	۴۰	۱۴۶۸۶۰
MN-۸	۲۸۹۶-۲۹۰۰	۴	۲۸۹۸	۱۴۷	۷",۳۵#P-۱۱۰	۵۰	۱۱۹۰۱۰
MN-۱۴۶	۲۲۰۵-۲۲۰۸/۲	۳/۲	۲۲۰۶/۶	۱۳۷	۹",۵/۸",۵۳/۵#V-۱۵۰	۴۰	۱۴۲۱۰۸

۵ | اطلاعات مربوط به چاه های حفاری شده با گل سبک توسط Whip stock [۲]

شماره چاه	عمق پنجره (MT)	بخش پنجره (MT)	KOP (MT)	وزن گل (pcf)	نوع لوله جداری	زمان دکل (hr)	هزینه (\$)
GS-۲۰۶	۲۵۸۷/۴-۲۵۸۵/۵	۱/۸۴	۲۵۸۶/۳	۶۳/۶	۷",۲۹#L-۸۰	۳۵	۱۳۲۱۰۸
AZN-۲	۲۶۷۳-۲۶۶۹	۴	۲۶۷۲	۸۲	۷",۲۹#N-۸۰	۳۶	۱۳۳۷۰۰
AZN-۳	۲۶۹۵-۲۶۹۱	۴	۲۶۹۳	۸۲	۷",۲۹#N-۸۰	۴۰	۱۴۲۰۰۰
AZ-۱۰۲	۲۵۷۶-۲۵۷۱	۵	۲۵۷۵	۶۶	۷",۲۹#N-۸۰	۴۸	۱۴۸۰۰۰

ایجاد و تکمیل پنجره تا رسیدن به نقطه KOP معادل ۴۲/۵ ساعت به دست می آید. با توجه به فاکتورهای هزینه ای یاد شده، متوسط هزینه هر بار رانش Whip stock در حفاری با گل سنگین در ایران معادل ۱۴۵۱۳۳ دلار محاسبه می گردد.

در ادامه، شکل B-۴ در بر گیرنده فاکتور زمان و هزینه برای ۳ چاه مختلف از ۲ میدان نفتی اهواز و مارون است. برای ایجاد پنجره در این چاه ها از Section mill در شرایط حفاری با گل سنگین و لوله های جداری ۹",۵/۸" و ۷" اینچ استفاده شده است. در این مورد نیز میانگین طول لوله جداری برش داده شده توسط Section mill معادل ۱۸ متر و کل زمان حفاری لوله جداری و ایجاد پنجره معادل ۳۲۰ ساعت می باشد. با در نظر گرفتن فاکتورهای قبلی، متوسط هزینه نهایی استفاده از Section mill و حفاری با گل سنگین حدود ۳۴۴۰۰۰ دلار بر آورد می شود.

منابع

- [1] Mustafa Sedaghat zadeh, "The Study of Deflection Tools Used in Iranian drilling Industry", Petroleum University of Technology, 2008.
- [2] عبدالمجید حیدری، بررسی فنی و اقتصادی استفاده از Whip stock به جای Section mill، ۱۳۸۶.
- [3] Bourgoyne A.T, Millheim K, Chenevert M.E, "Applied Drilling Engineering", SPE textbook, second print, 1991.