Archive of SID

مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
۷ خرداد ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: اهم اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۰۲۱
www.Reservoir.ir

# بررسی موردی هزینه‌حفاری واحد طول و انرژی ویژه بر اساس مته

**حسن داروئی[۱]، محمد آبدیده[۲]، حکیمه امانی پور[۳]**
*hasandarouie@yahoo.com*

## چکیده

اهمیت و آشنایی با نحوه عملکرد و انتخاب صحیح مته‌های حفاری بر کسی پوشیده نیست، به طوری که در طول تاریخ حفاری، فناوری ساخت مته نسبت به ساخت سایر ابزار حفاری پیشرفت چشم‌گیری داشته است. مطالعات آماری نشان می‌دهد که حدود ۴ درصد هزینه حفر هر چاه نفت به هزینه مته‌های حفاری آن چاه اختصاص دارد و در صورتیکه مته‌های حفاری به درستی انتخاب و استفاده شوند، می‌توان زمان حفاری و هزینه تکمیل چاه را به میزان قابل ملاحظه‌ای کاهش داد.در این تحقیق که توسط یک چاه اکتشافی و یک چاه انحرافی در میدان آزادگان جنوبی انجام گردیده در واقع تحلیل روش هزینه حفاری واحد طول و روش انرژی ویژه می‌باشد که بر اساس پارامترهای مته‌های به کار برده شده در ابتدا هزینه‌های هر مته که در حفاری دخیل بوده‌اند را محاسبه سپس انرژی ویژه بکار رفته در بازه‌ی حفر شده توسط هر مته را به دست می‌آوریم. می‌توان گفت که این دو روش در واقع مکمل یکدیگر در بهینه‌سازی انتخاب مته و به کار بردن مته مناسب جهت افزایش راندمان و کاهش هزینه‌های مربوط به حفاری و همچنین کاهش زمان حفاری می‌باشد. در نهایت با به دست آمدن نتایج حاصل از محاسبات و مشاهده و تطبیق آنها به هدف مورد نظر نزدیک خواهیم شد.

**واژه‌های کلیدی:** انتخاب مته، هزینه تکمیل چاه، میدان آزادگان جنوبی، هزینه حفاری واحد طول، انرژی ویژه

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت، امیدیه، ایران
۲- عضو هیأت علمی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد امیدیه، گروه مهندسی نفت، امیدیه، ایران
۳- عضو هیأت علمی، گروه محیط زیست، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
۷ خرداد ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: اهم اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۰۲۱
www.Reservoir.ir

## مقدمه

مته مهم‌ترین و اصلی‌ترین ابزار مورد استفاده توسط مهندسین حفار در حفاری چاه‌های هیدروکربوری می‌باشد. انتخاب بهترین مته و شرایط حفاری متناظر با آن، یکی از اساسی‌ترین مشکلاتی است که حفاران با آن مواجه می‌باشند. انتخاب مته مناسب برای شرایط حفاری خاص، نیازمند ارزیابی عوامل مؤثر می‌باشد.در روش‌های انتخاب مته، هر روش تا حدودی در تعیین و انتخاب مته کاربردی می‌باشد. در این تحقیق با تحلیل و بررسی روش‌ها همچنین مقایسه روش هزینه حفاری واحد طول و روش انرژی ویژه به نتایجی جهت انتخاب صحیح مته دست خواهیم یافت.

## روش هزینه حفاری واحد طول

معتبرترین معیار مقایسه عملکرد مته‌های مختلف روش هزینه حفاری واحد طول می‌باشد که بر حسب دلار بر متر بیان می‌گردد. تجزیه و تحلیل پارامترها و اطلاعات مختلف چاه و عملیات حفاری در نرم افزار اکسل صورت می‌پذیرد که در پایان تحلیل می‌توان به نمودارهایی در بعد زمان دست یابیم و با تجزیه و تحلیل و مقایسه موردی آن‌ها به هدف مورد نظر برسیم [۱].

با استفاده از اطلاعات مربوط به مته‌ها نظیر بازه حفاری شده و در زمان حفاری برای هر مته‌ی مشخص، زمان بالا و پایین شدن مته، قیمت مته، هزینه‌ی روزانه دکل حفاری، میزان حفاری واحد طول توسط روابط زیر که برای چاه‌های عمودی و چاه‌های انحرافی که در حفاری آن‌ها از موتور درون چاهی استفاده می‌شود برای هر مته و در دو چاه مورد بررسی محاسبه گردیده و نمودارهای مرتبط رسم شد. کل زمانی که برای حفاری بازه‌ی مورد نظر $(\Delta D)$ لازم است شامل مجموع زمان حفاری $(t_b)$، زمان توقف مته $(t_c)$ و زمان بالا و پایین بردن رشته‌ی حفاری و تعویض مته $(t_c)$ و قیمت موتور درون چاهی $(C_m)$ است [۲]. رابطه‌ی هزینه‌ی حفاری به صورت زیر ارائه شده که در آن $C_f$ هزینه‌ی حفاری واحد طول، $C_b$ قیمت مته و $C_r$ هزینه‌های ثابت عملیاتی دکل حفاری در واحد زمان و مستقل از دیگر عوامل مورد ارزیابی است [۳].

$$C_f = \frac{C_b + C_r(t_b + t_c + t_t)}{\Delta D} \qquad (۱)$$

$$C_f = \frac{C_b + C_r(t_b + t_c + t_t) + C_m t_b}{\Delta D} \qquad (۲)$$

رابطه (۱) برای محاسبه هزینه حفاری واحد طول جهت چاه‌های عمودی و رابطه (۲) برای محاسبه هزینه حفاری واحد طول جهت چاه‌های انحرافی که در حفاری آنها از موتور درون چاهی استفاده خواهد شد، می‌باشد.

در جدول(۱) سازندهای حفاری شده و ضخامت آنها در هر چاه آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول (۱): سازندها و ضخامت حفاری شده هر چاه**

| سازند | چاه اکتشافی | چاه انحرافی |
|---|---|---|
| | ضخامت (متر) | ضخامت (متر) |
| آغاجاری | ۱۳۹۳ | ۱۲۳۴ |
| گچساران | ۴۷۱ | ۴۴۵ |
| آسماری | ۳۰۶ | ۳۳۶ |
| پابده | ۱۹۰ | ۲۸۹ |
| گورپی-۱ | ۱۲۳ | ۱۲۳ |
| تربور | ۵۲ | ۷۲ |
| گورپی-۲ | ۱۰۵ | ۱۲۵ |
| ایلام | ۸۰ | ۱۳۸ |
| لافان | ۸ | ۱۰ |
| سروک | ۵۷۳ | ۸۴۹ |
| گژدمی | ۲۳۶ | - |
| داریان | ۵۰ | - |

## روش انرژی ویژه مته‌ها

با توجه به مشکلات موجود در ارزیابی مته به روش هزینه حفاری واحد طول به نظر می‌رسد روشی ساده و عملی که بتواند کارکرد یک مته را در هر بازه حفاری یا هر سازند اندازه‌گیری نماید، کمک بزرگی برای مهندس حفار باشد به‌طوری‌که نتایج آن بایستی قابلیت همبستگی با هزینه حفاری واحد طول را برای انتخاب مته داشته باشد [۴]. لذادراین‌ارتباطوبه‌عنوانروشیمکملکهبتواندبهکمکروشهزینههحفاریواحدطولانتخابهینهمتهراممکنسازد،از روشانرژیویژهاستفادهمی-شود [۵]

مفهوم انرژی ویژه درحفاریسنگبرایاولینبارتوسطتیله [۶]به‌عنوانشاخصیجهتاندازه‌گیریکارآییمکانیکیکارهایانجام شدهبررویسنگپیشنهادگردید. انرژیویژهبه‌عنوانانرژیمورد نیازبرای حفرحجمواحدسنگمعرفیمی‌شودکهاینمفهومتاکنونبه‌طوربسیارگستردهدرمطالعاتوکارهایانجام شدهبررویسنگ،همبه‌عنوانشاخصکارآییوهمبه‌عنوانمقیاسقابلیتحفاری،مورداستفادهقرار گرفتهاست.برایحفاریحجممشخصیازسنگیکحداقلانرژی،کهبه‌طورتئوریقابل‌محاسبهاست،مورد نیازاستکهاینمقدارکاملاًوابستهبهطبیعتوویژگی‌های سنگاستوعملاًمقدارآندرطیحفاریاینحجمسنگبرابرویابیشترازحداقلآنبرآوردهخواهدبود.

درحفاریدورانیکارانجام‌شدهرامی‌توانبهدو بخشکارانجام‌شدهتوسطنیرویمحوری(وزنرویمته W) وکارانجام‌شدهتوسطمؤلفهدورانی(گشتاور T) تقسیم نمود.تعاددوران N، نرخ نفوذ R، قطر مشخص Dباصرف‌نظرکردنازانرژیازدست‌رفتهیاصرفکارهاییغیرازحفاری‌شده،می‌توانبه‌صورترابطه زیر نوشتهشود. رابطه میدانی زیر که اگر در آن وزن روی مته برحسب $lbf$، گشتاور برحسب $ft-lbf$، سرعت دوران برحسب $1/min$، نرخ نفوذ مته بر حسب $ft/hr$ و قطر مته بر حسب $inch$ باشد، انرژی ویژه بر حسب $psi$ بدست خواهد آمد [۴].

$$SE = \frac{4WR + 480\,\pi\,NT}{\pi D^2 R} \qquad (۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID



رابطه(۳)نشانمی‌دهدکهبرایمتهایمعیندرسازندیبامقاومتمشخص،انرژیویژهدرهرترکیبیازوزنرویمتهوسرعتدوران،ثابتخواهد بود. ازطرفیانرژیویژهاندازه‌گیریمستقیمیازکارکردمتهدرسازندیمشخصبودهوشاخصیرابرایارزیابی اثرمتقابلمتهوسنگفراهممی‌نماید[۵].

درصورتی‌کهانرژیویژهبه‌طورصحیحدربررسیکارکردمتهاستفادهشود،می‌تواندبه‌عنوانابزاریمناسب درانتخابمتهمورداستفادهقرارگیرد.ازآنجائیکهحفاریبهینهبامقدارپایینانرژیویژهشناختهمی‌شود درنتیجهمته‌هاییکهکمترینمقدارانرژیویژهرابرایسنگمعلومتولیدنمایند،درشرایطبرابر، متهمناسب برایاستفاده‌هایبعدیدرهمانسازندبه‌حساب می‌آیند [۷].

## ۱- ارزیابی هزینه‌ی حفاری واحد طول

در بررسی حاضر هزینه‌ی حفاری واحد طول بر اساس روابط (۱) و (۲) برای دو چاه حفاری شده در میدان نفتی مشترک آزادگان جنوبی شامل یک چاه اکتشافی و چاهی انحرافی می‌باشد محاسبه گردیده است. زمان رفت و برگشت و تعویض مته به منظور حذف خطاهای اندازه‌گیری و همچنین جلوگیری از ورود عوامل غیر مرتبط با کارکرد مته که در زمان‌های ثبت شده در گزارش روزانه حفاری وجود دارد، به صورت تئوری و با توجه به تجربه کاری با در نظر گرفتن یک ساعت به ازای هر ۱۰۰۰ فوت و معادل ۳۰۵ متر عمق محاسبه گردید [۸]. قیمت مته‌ها و همچنین موتور استفاده شده جهت انحراف در چاه انحرافی نیز از شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب و ناظرین عملیات حفاری بر حسب دلار دریافت گردید. موتور PDM استفاده شده در چاه انحرافی قیمتی معادل ۲۰۰۰۰۰ دلار دارد. برای چاه‌های مورد مطالعه در این تحقیق هزینه‌ی روزانه‌ی دکل معادل ۸۰۰ دلار در ساعت در نظر گرفته شده است. نوع و مشخصات مته‌ها و عمق‌های شروع و خاتمه‌ی حفاری توسط آن‌ها نیز از جداول رکورد مته‌های به کار رفته در چاه‌ها، استخراج و بر اساس این داده‌های هزینه‌ی حفاری واحد طول در این دو چاه محاسبه گردید. پس از محاسبه‌ی هزینه‌ی حفاری واحد طول، مته‌های مورد استفاده در هر چاه به صورت جداگانه مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند.

### ۱-۲- چاه اکتشافی میدان آزادگان جنوبی

مته‌هایی که در این چاه مورد استفاده قرار گرفته‌اند در جدول (۲) بیان گردیده‌اند. همانگونه که مشخص می‌باشد بیشترین هزینه‌ی حفاری واحد طول مربوط به مته‌ی شماره‌ی ۵ با ۱۴۰۳ دلار بر متر و سپس مته‌ی شماره‌ی ۴ با ۹۹۰ دلار بر متر، سپس مته‌ی شماره‌ی ۲ با ۱۹۶ دلار بر متر می‌باشد که این مته‌ها در حفاری سازندهای آغاجاری و گچساران مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

**جدول (۲): هزینه‌ی حفاری واحد طول مته‌های چاه اکتشافی**

| شماره مته | سایز مته (اینچ) | نوع مته | کد IADC | زمان حفاری (ساعت) | طول حفاری (متر) | هزینه حفاری واحد طول (دلار بر متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۶ | Rock bit | ۱۳۵ | ۱۸,۸ | ۱۳۸ | ۱۹۹ |
| ۲ | ۱۷ ۱/۲ | Rock bit | ۱۱۵ | ۶۳,۱ | ۳۶۸ | ۱۹۶ |
| ۳ | ۱۷ ۱/۲ | PDC bit | ۱۱۱S | ۱۶۸ | ۷۰۲ | ۲۸۳ |
| ۴ | ۱۷ ۱/۲ | Rock bit | ۴۲۵ | ۵۴,۵ | ۸۳ | ۹۹۰ |
| ۵ | ۱۷ ۱/۲ | PDC bit | ۱۱۱S | ۱۱۰,۸ | ۱۱۱ | ۱۴۰۳ |
| ۶ | ۱۲ ۱/۴ | PDC bit | ۳۲۳M | ۲۸۵,۶ | ۴۴۵ | ۶۷۸ |
| ۷ | ۸ ۱/۲ | PDC bit | ۲۳۲M | ۳۵۵,۱ | ۹۸۵ | ۳۴۶ |
| ۸ | ۸ ۱/۲ | PDC bit | ۴۳۲M | ۵۴۳,۷ | ۷۵۵ | ۶۶۰ |

www.SID.ir

Archive of SID



همانطور که در جدول فوق مشاهده می‌گردد مته با کدهای M۲۳۲، M۴۳۲ و S۱۱۱ (مته‌ی شماره ۳) دارای بیشترین نرخ طول حفاری در این چاه می‌باشند که سه مته‌ی اشاره شده از نوع PDC می‌باشند و کمترین نرخ طول حفاری مربوط به مته‌ی شماره‌ی ۴ با کد ۴۲۵ می‌باشد و همانطور که مشاهده می‌گردد بعد از مته‌ی شماره‌ی ۳ مورد استفاده قرار گرفته است و دارای نرخ طول حفاری ۸۳ متر می‌باشد که نسبت به مته‌ی شماره‌ی ۳ دارای نرخ طول حفاری بسیار کمتری می‌باشد و به دلیل اینکه هر دو مته در سازند آغاجاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند و هزینه‌ی حفاری واحد طول این مته به شدت افزایش یافته است، بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که انتخاب و استفاده این مته اشتباه بوده است. در چاه مورد مطالعه کمترین هزینه‌ی حفاری واحد طول مربوط به مته‌ی شماره‌ی ۲ و ۱ و هر دو مته در سازند آغاجاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند.

### ۲-۲- چاه انحرافی میدان آزادگان جنوبی

از این چاه به علت استفاده از موتور PDM جهت انحراف چاه، هزینه‌ی حفاری واحد طول در بخش‌هایی که از موتور استفاده شده به شدت افزایش یافته است. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌گردد مته‌هایی که در حفاری این چاه مورد استفاده قرار گرفته‌اند، ذکر شده‌اند.

**جدول (۳): هزینه‌ی حفاریواحدطولمته‌هایچاهانحرافی**

| شماره مته | سایز مته (اینچ) | نوع مته | کد IADC | زمان حفاری (ساعت) | طول حفاری (متر) | هزینه حفاری واحد طول (دلار بر متر) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۶ | Rock bit | ۱۱۵S | ۱۹,۲ | ۱۳۹ | ۲۷۱ |
| ۲ | ۱۷ ۱/۲ | Rock bit | ۱۱۵ | ۱۳۵,۸ | ۴۶۲ | ۲۸۲ |
| ۳ | ۱۷ ۱/۲ | PDC bit | S۱۱۱ | ۳۸۸,۶ | ۷۱۸ | ۵۲۳ |
| ۴ | ۱۲ ۱/۴ | Rock bit | ۴۴۷X | ۶,۲ | ۴ | ۲۰۴۹۲ |
| ۵ | ۱۲ ۱/۴ | PDC bit | M۳۲۳ | ۱۲۹,۳ | ۳۵۴ | ۴۹۸ |
| ۶ | ۸ ۱/۲ | PDC bit | M۴۳۳ | ۱۰۶,۹ | ۳۴۹ | ۴۱۶ |
| ۷ | ۸ ۱/۲ | PDC bit | M۴۳۲ | ۵۱۵,۶ | ۸۳۶ | ۱۲۳۹۱۴ |
| ۸ | ۶ | Rock bit | ۱۵۳ | ۲,۵ | ۷ | ۷۵۵۸۷ |
| ۹ | ۶ | PDC bit | M۴۳۳ | ۱۸۷,۲ | ۷۵۲ | ۵۰۰۶۸ |

بیشترین هزینه‌ی حفاری واحد طول مربوط به مته‌ی شماره‌ی ۷ با ۱۲۳۹۱۴ دلار بر متر که البته همراه با این مته از موتور PDMجهت انحراف استفاده شده است.

کمترین هزینه‌ی حفاری واحد طول به دلیل استفاده از موتور PDM مربوط به مته‌های شماره‌ی ۱ و ۲ می‌باشند که در سازند آغاجاری استفاده شده‌اند.درنمودار (۲) نتایجهزینه‌یحفاریواحدطولبرایمته‌هایمورداستفادهبهطورکلیبیانگردیده‌اند.

همانطور که در جدول (۴) بیان شده است با مقایسه و مشاهده‌ی مته‌های مورد استفاده در دو چاه در خواهیم یافت که از تعداد کل مته‌های مورد استفاده، ۴ مته جداگانه با مشخصات یکسان در هر دو چاه استفاده شده‌اند که با مقایسه‌ی هزینه‌ی حفاری واحد طول برای مته‌ها با مشخصات یکسان و رسیدن به این موضوع که هزینه‌ها یکسان نمی‌باشند و با توجه به آنچه در مورد عملکرد مته‌ها در این دو چاه به دست آمده، مشخص گردید که بررسی مته‌های مورد استفاده در یک چاه به تنهایی نمی‌تواند روش مناسبی برای ارزیابی مته‌های استفاده شده در یک میدان باشد زیرا در حفاری مته در تقابل با سنگ متعلق به سازندی خاص قرار دارد.

**جدول (۴): مقایسه‌ی هزینه‌ی حفاری واحد طول مته‌های مشترک چاه‌های مورد بررسی**

| ردیف | سایز مته (اینچ) | نوع مته | کد IADC | هزینه حفاری واحد طول مته در چاه اکتشافی (دلار بر متر) | هزینه حفاری واحد طول مته در چاه انحرافی (دلار بر متر) |
|---|---|---|---|---|---|

www.SID.ir

Archive of SID



| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۱۷ ۱/۲ | Rock bit | ۱۱۵ | ۱۹۶ | ۲۸۲ |
| ۲ | ۱۷ ۱/۲ | PDC bit | S۱۱۱ | ۲۸۳ | ۵۲۳ |
| ۳ | ۱۲ ۱/۴ | PDC bit | M۳۲۳ | ۶۷۸ | ۴۹۸ |
| ۴ | ۸ ۱/۲ | PDC bit | M۴۳۲ | ۶۶۰ | ۱۲۳۹۱۴ |

در بررسی چاه‌های مختلف مشخص شده که مته‌های دارای کد یکسان دارای هزینه‌ی حفاری واحد طول متفاوتی در سازندهای مختلف می‌باشند. این اختلاف گاه تا چندین برابر هزینه‌ی حفاری واحد طول می‌رسد. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که عوامل زمین‌شناسی و ژئومکانیکی که در اغلب بررسی‌های کارکرد مته نادیده گرفته می‌شود دارای تأثیر قابل توجهی بر عملکرد حفاری می‌باشند. در کل می‌توان گفت که اوج کارایی انتخاب مته بر اساس هزینه‌ی حفاری واحد طول انتخاب بهینه مته‌ای است که کمترین هزینه‌ی حفاری را در سازندی با مشخصات زمین‌شناسی و ژئومکانیکی خاص ارائه نماید.

## ۲- ارزیابی انرژی ویژه در چاه اکتشافی و انحرافی میدان آزادگان جنوبی

هر چند روش انرژی ویژه عوامل زمین‌شناسی و ژئومکانیکی را به طور مستقیم بررسی نمی‌کند، اما با در نظر گرفتن عوامل و مشخصه‌های عملیاتی حفاری همچون نرخ نفوذ و گشتاور، این پارامترها را به طور غیرمستقیم در فرآیند بررسی وارد می‌نماید. استفاده از انرژی ویژه به دو صورت ارزیابی هم زمان با حفاری مته به منظور تعیین زمان تعویض مته و ارزیابی پس از حفاری به منظور ارزیابی کارکرد مته انجام می‌شود [۸].

در بررسی حاضر انرژی ویژه حفاری بر طبق رابطه (۳) برای چاه‌های مورد مطالعه که در آن‌ها پارامترهای حفاری، نرخ نفوذ و گشتاور لحظه‌ای اندازه‌گیری شده، محاسبه گردید. نتایج این محاسبات برای مته‌های هر کدام از چاه‌ها به صورت جدول ارائه شده است. در جدول‌های شماره‌ی (۵) و (۶) متوسط وزن روی مته، متوسط تعداد دور مته، متوسط گشتاور، متوسط نرخ نفوذ، متوسط انرژی ویژه و هزینه‌ی حفاری واحد طول برای مته‌ها و سازندها در هر چاه آورده شده است.

**جدول (۵): پارامترهای حفاری، انرژی ویژه و هزینه‌ی حفاری واحد طول مته‌ها در چاه اکتشافی**

| شماره مته | سایز مته (اینچ) | نوع مته | کد IADC | طول حفاری (متر) | نرخ نفوذ (متربرساعت) | وزن روی مته (کیلوپوند) | دور مته (دور بر دقیقه) | هزینه حفاری واحد طول مته (دلار بر متر) | انرژی ویژه (مگاپاسکال) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۶ | MSDGH | ۱۳۵ | ۱۳۸ | ۷,۴ | ۷,۳ | ۸۲ | ۱۹۹ | ۳۳ |
| ۲ | ۱۷ ۱/۲ | CR1GJMRS | ۱۱۵ | ۳۶۸ | ۵,۸ | ۹,۵ | ۸۴ | ۱۹۶ | ۸۵ |
| ۳ | ۱۷ ۱/۲ | SKS76D | S۱۱۱ | ۷۰۲ | ۴,۲ | ۱۱,۱ | ۱۰,۵ | ۲۸۳ | ۲۵۸ |
| ۴ | ۱۷ ۱/۲ | MGS05BC | ۴۲۵ | ۸۳ | ۱,۵ | ۱۹,۷ | ۹۵ | ۹۹۰ | ۶۵۳ |
| ۵ | ۱۷ ۱/۲ | SKS76D | S۱۱۱ | ۱۱۱ | ۱ | ۲۴ | ۹۳ | ۱۴۰۳ | ۹۸۸ |
| ۶ | ۱۲ ۱/۴ | MKS67DG1 | M۳۲۳ | ۴۴۵ | ۱,۵ | ۲۴,۷ | ۱۰۳ | ۶۷۸ | ۱۳۰۰ |
| ۷ | ۸ ۱/۲ | RSX613M | M۲۳۲ | ۹۸۵ | ۲,۸ | ۱۱,۵ | ۱۰۰ | ۳۴۶ | ۱۶۲۸ |
| ۸ | ۸ ۱/۲ | RSX713M | M۴۳۲ | ۷۵۵ | ۱,۳ | ۱۹,۲ | ۱۰۰ | ۶۶۰ | ۳۱۸۹ |

**جدول (۶): پارامترهای حفاری، انرژی ویژه و هزینه‌ی حفاری واحد طول مته‌ها در چاه انحرافی**

| شماره مته | سایز مته (اینچ) | نوع مته | کد IADC | طول حفاری (متر) | نرخ نفوذ (متربرساعت) | وزن روی مته (کیلو پوند) | دور مته (دور بر دقیقه) | هزینه حفاری واحد طول مته (دلار بر متر) | انرژی ویژه (مگاپاسکال) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۶ | L115 | ۱۱۵S | ۱۳۹ | ۷,۳ | ۱۰,۴ | ۷۱ | ۲۷۱ | ۲۸ |
| ۲ | ۱۷ ۱/۲ | CR1GJMRS | ۱۱۵ | ۴۶۲ | ۳,۴ | ۶,۴ | ۷۷ | ۲۸۲ | ۱۱۷ |
| ۳ | ۱۷ ۱/۲ | SKS76D | S۱۱۱ | ۷۱۸ | ۱,۹ | ۸,۷ | ۹۱ | ۵۲۳ | ۴۳۲ |

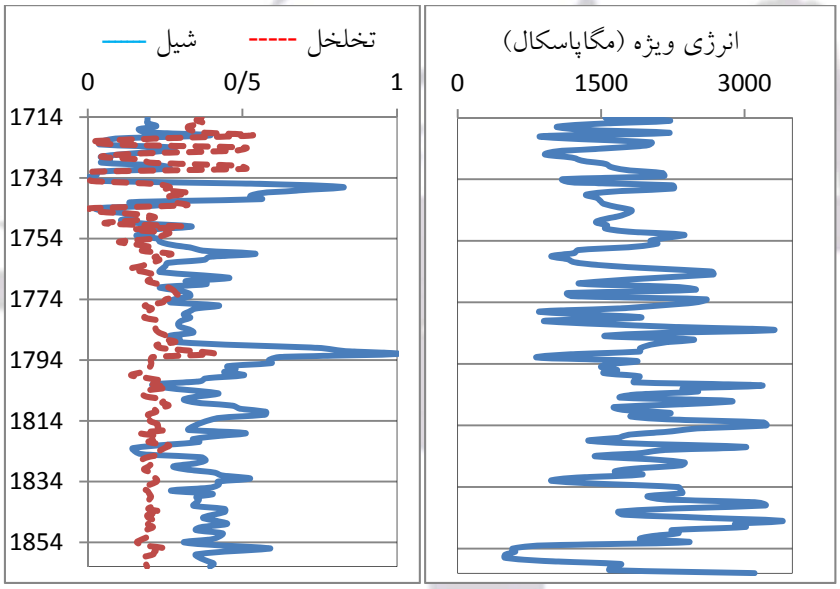
www.SID.ir

Archive of SID



| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۴ | ۱۲ ۱/۴ | GFS15BV | ۴۴۷X | ۴ | ۰,۶۴ | ۹,۴ | ۶۱ | ۲۰۴۹۲ | ۱۱۰۶ |
| ۵ | ۱۲ ۱/۴ | MKS67DG1 | M۳۲۳ | ۳۵۴ | ۲,۷ | ۸,۷ | ۸۷ | ۴۹۸ | ۶۰۵ |
| ۶ | ۸ ۱/۲ | DSX613M | M۴۳۳ | ۳۴۹ | ۳,۲ | ۹ | ۹۲ | ۴۱۶ | ۱۰۴۹ |
| ۷ | ۸ ۱/۲ | MA913PX | M۴۳۲ | ۸۳۶ | ۲,۳ | ۱۰,۱ | ۱۱۷,۸ | ۱۲۳۹۱۴ | ۹۸۱ |
| ۸ | ۶ | S153A | ۱۵۳ | ۷ | ۲,۸ | ۱۰,۶ | ۵۱ | ۷۵۵۸۷ | ۱۳۸۸ |
| ۹ | ۶ | CK406HD | M۴۳۳ | ۷۵۲ | ۴,۸۴ | ۵,۲ | ۱۷۶,۶ | ۵۰۰۶۸ | ۲۷۴۲ |

نتایج نشان می‌دهد که روش انرژی ویژه به شدت وابسته به تغییرات خواص زمین‌شناسی و ژئومکانیکی سازند است. به عنوان مثال در ناحیه‌ی مخزنی وابستگی انرژی ویژه به تغییرات سنگ‌شناسی در نمودار انرژی ویژه در برابر عمق برای مته‌ی شماره‌ی ۶ از چاه اکتشافی در نمودار (۳) و مته‌ی شماره‌ی ۶ از چاه انحرافی در نمودار (۴) نشان داده شده است. همانطور که از این نمودارها قابل مشاهده می‌باشد با کاهش میزان شیل و یا کاهش میزان تخلخل، انرژی ویژه نیز افزایش یافته است؛ در نتیجه هنگام ارزیابی مته توسط روش انرژی ویژه بایستی تغییرات زمین‌شناسی را نیز لحاظ نمود زیرا که تغییرات ناگهانی مشخصه‌های زمین‌شناسی و ژئومکانیکی، به عنوان مثال در هنگام حفاری یک میان لایه با نرخ نفوذ کمتر، انرژی ویژه را به یک باره افزایش داده و پس از حفاری آن لایه به سطح قبلی خود باز می‌گردد. بنابراین با در نظر گرفتن این تغییرات از تعویض زود هنگام مته جلوگیری خواهد شد.

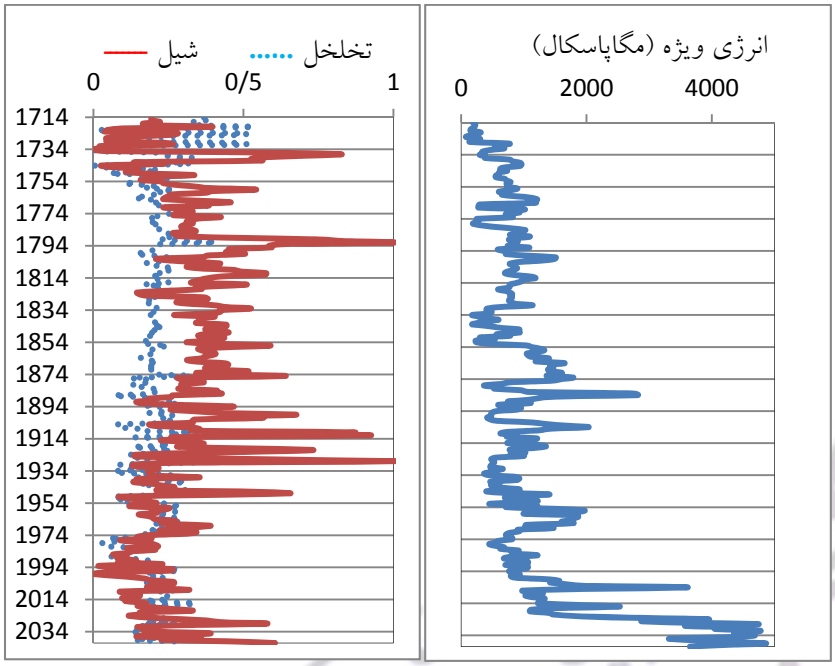



**نمودار (۳): نمودار انرژی ویژه (راست) و نمودار درصد شیل و تخلخل (چپ) در برابر عمق برای مته‌ی شماره‌ی ۶ از چاه اکتشافی**

www.SID.ir

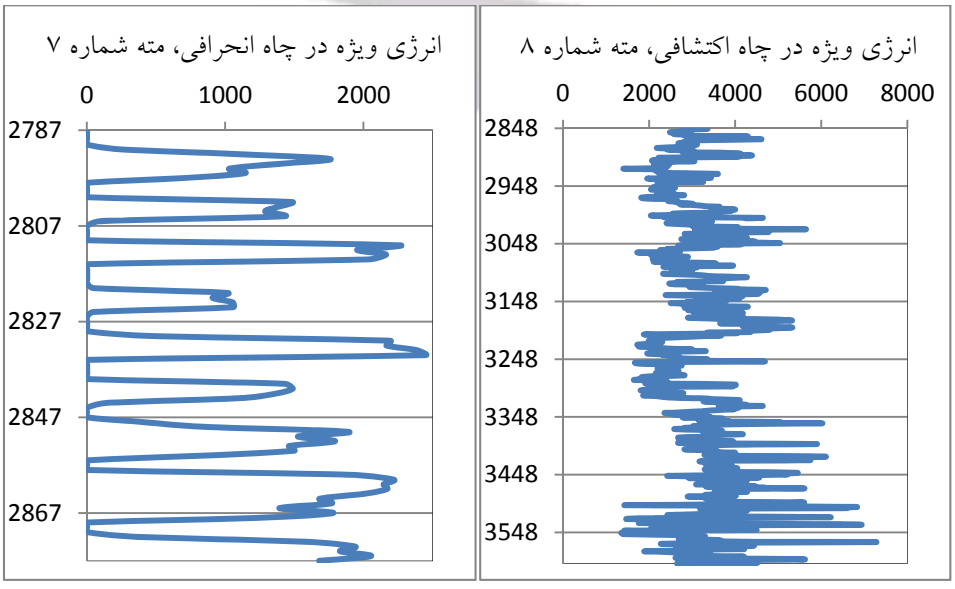
Archive of SID






**نمودار (۴): نمودار انرژی ویژه (راست) و نمودار درصد شیل و تخلخل (چپ) در برابر عمق برای مته‌ی شماره‌ی ۶ از چاه انحرافی**

از دیگر مشکلات عمده‌ی ارزیابی کارایی مته با روش انرژی ویژه، حساسیت بالای این روش به عوامل عملیاتی حفاری است که منجر به تغییرات بسیار زیاد انرژی ویژه در بازه‌ای محدود می‌شود به طوری که در برخی مواقع ارزیابی مته را با این روش ناممکن می‌سازد. به عنوان مثال نمودار تغییرات انرژی ویژه در برابر عمق در سازند سروک برای مته‌ی شماره‌ی ۸ از چاه اکتشافی و در همان سازند برای مته‌ی شماره‌ی ۷ از چاه انحرافی در نمودار (۵) نشان می‌دهند که انرژی ویژه در یک سازند و در اعماق یکسان با مشخصات زمین‌شناسی و ژئومکانیکی مشابه به دلیل تغییر پارامترهای عملیاتی حفاری دارای تغییرات وسیعی است.




**نمودار (۵): انرژی ویژه در سازند سروک، مته‌ی شماره‌ی ۸ از چاه اکتشافی (راست) مته‌ی شماره‌ی ۷ از چاه انحرافی (چپ)**

www.SID.ir

Archive of SID



متوسط انرژی ویژه برای مته‌های مورد استفاده در دو چاه مورد بررسی از میدان آزادگان جنوبی و متوسط انرژی ویژه مصرف شده برای هر مته محاسبه و با نتایج هزینه‌ی حفاری واحد طول مقایسه گردید. به طور خلاصه می‌توان گفت که انرژی ویژه به دلیل وابستگی به پارامترهای غیرمرتبط با کارکرد مته، تغییرات بسیار در بازه‌ای با خواص زمین‌شناسی و ژئومکانیکی نسبتاً پایدار و همچنین نیاز به اندازه‌گیری گشتاور در تمام طول چاه، نمی‌تواند به عنوان مکملی آرمانی برای هزینه‌ی حفاری واحد طول به کار گرفته شود (جدول (۷) و جدول (۸)).

**جدول (۷): مقایسه‌ی هزینه‌ی حفاری واحد طول با انرژی ویژه بر اساس مته در چاه اکتشافی**

| شماره مته | سایز مته (اینچ) | نوع مته | کد IADC | هزینه حفاری واحد طول مته (دلار بر متر) | انرژی ویژه (مگاپاسکال) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۶ | MSDGH | ۱۳۵ | ۱۹۹ | ۳۳ |
| ۲ | ۱۷ ۱/۲ | CR1GJMRS | ۱۱۵ | ۱۹۶ | ۸۵ |
| ۳ | ۱۷ ۱/۲ | SKS76D | S۱۱۱ | ۲۸۳ | ۲۵۸ |
| ۴ | ۱۷ ۱/۲ | MGS05BC | ۴۲۵ | ۹۹۰ | ۶۵۳ |
| ۵ | ۱۷ ۱/۲ | SKS76D | S۱۱۱ | ۱۴۰۳ | ۹۸۸ |
| ۶ | ۱۲ ۱/۴ | MKS67DG1 | M۳۲۳ | ۶۷۸ | ۱۳۰۰ |
| ۷ | ۸ ۱/۲ | RSX613M | M۲۳۲ | ۳۴۶ | ۱۶۲۸ |
| ۸ | ۸ ۱/۲ | RSX713M | M۴۳۲ | ۶۶۰ | ۳۱۸۹ |

**جدول (۸): مقایسه‌ی هزینه‌ی حفاری واحد طول با انرژی ویژه بر اساس مته در چاه انحرافی**

| شماره مته | سایز مته (اینچ) | نوع مته | کد IADC | هزینه حفاری واحد طول مته (دلار بر متر) | انرژی ویژه (مگاپاسکال) |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۲۶ | L115 | ۱۱۵S | ۲۷۱ | ۲۸ |
| ۲ | ۱۷ ۱/۲ | CR1GJMRS | ۱۱۵ | ۲۸۲ | ۱۱۷ |
| ۳ | ۱۷ ۱/۲ | SKS76D | S۱۱۱ | ۵۲۳ | ۴۳۲ |
| ۴ | ۱۲ ۱/۴ | GFS15BV | ۴۴۷X | ۲۰۴۹۲ | ۱۱۰۶ |
| ۵ | ۱۲ ۱/۴ | MKS67DG1 | M۳۲۳ | ۴۹۸ | ۶۰۵ |
| ۶ | ۸ ۱/۲ | DSX613M | M۴۳۳ | ۴۱۶ | ۱۰۴۹ |
| ۷ | ۸ ۱/۲ | MA913PX | M۴۳۲ | ۱۲۳۹۱۴ | ۹۸۱ |
| ۸ | ۶ | S153A | ۱۵۳ | ۷۵۵۸۷ | ۱۳۸۸ |
| ۹ | ۶ | CK406HD | M۴۳۳ | ۵۰۰۶۸ | ۲۷۴۲ |

## نتیجه گیری

۱-هزینه‌ی مته در مقایسه با سایر هزینه‌های حفر یک چاه خیلی کم می‌باشد.

۲-انتخاب صحیح مته و اعمال درست پارامترهای دخیل در کاهش هزینه‌ی حفاری یک چاه مؤثر می‌باشد.

۳-برای کاهش هزینه‌ی حفاری، شرکت‌های سازنده مته در طول سالیان متمادی سعی در طراحی جدید و بهینه‌سازی عملکرد و رفع کاستی‌ها و نواقص مته‌ها داشتند و جهت حل این مشکلات سعی در بررسی متالوژی مته‌ها و بهبود آن شدند. این کار باعث تکامل عملکرد مته‌ها و همچنین پدید آمدن مته‌های جدیدتر با کارایی بسیار بیشتر شد که در نهایت منجر به تولید مته‌های PDC و همچنین مته‌های هیبریدی شد.

www.SID.ir

Archive of SID



۴-به دلیل قابلیت دوگانه‌ی مته‌های هیبریدی و عملکرد بهتر آن‌ها نسبت به مته‌های PDC و مته‌های سه کاجی، عملیات لوله بالا لوله پایین کاهش و بنابراین باعث افزایش سرعت اتمام حفاری چاه و کاهش هزینه‌ها گردید.

۵-در طراحی مته‌های کاجی با توجه به سازند و سایز مته، عواملی همچون زاویه‌ی ژورنال، برون مرکزی کاج، ساختار بیرینگ، هیدرولیک مته و ساختار دندانه‌ها اهمیت دارد.

۶-در طراحی مته‌های PDC با در نظر گرفتن نوع سازند عواملی چون جنس بدنه، سبک پروفیل، هیدرولیک مته، اندازه دندانه‌ها و شیب تکیه‌گاهی جانبی آن‌ها نقش مهمی دارند.

## تشکر و قدردانی

در پایان لازم است از دانشگاه آزاد اسلامی واحد امیدیه و تمامی اساتید ارجمند که در پیشرفت علمی اینجانب تلاش کرده‌اند تشکر و قدردانی نمایم. قابل ذکر است که مقاله حاضر از پایان نامه کارشناسی ارشد اینجانب با موضوع"تحلیل موردی روش‌های بهینه انتخاب مته در حفاری میدان نفتی مشترک آزادگان" استخراج شده است.

## منابع

1- Thomas, J. M. (1989). Case History: PC Analysis of Bit Records Enhance Drilling Operations in Souther Alabama, SPE 18632.

2- Adams, N. J. and Charrier, T. (1985). Drilling Engineering, Penn Well Books, USA.

3- Bourgoyne, Jr. A. T., Millheim, K. K., Chenevert, M. E. and Young Jr, F. S. (1991). Applied Drilling Engineering, SPE, USA.

4- Rabia, H., Farrelly, M. and Barr, M. V. (1986). A New Approach to Drill Bit Selection, SPE15894.

5- Azizi, V. (2006). lection and bit life estimation in Iranian oil and gas fields. MSc thesis, Faculty of Engineering, University of Tehran.

6- Teale, R. (1965). "The concept of specific energy in drilling." Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Vol. 2, PP. 57-73.

7- Farrelly, M. and Rabia, H. (1987). Bit Performance and Selection: A Novel Approach, SPE 161638

۸- بهادری ابوذر و برادران سیدابوالفضل، "بهینه سازی هزینه های حفاری در میدان گازی خانگیران"، اولین کنگره ملی صنعت حفاری ایران، اهواز، ۱۳۸۹

www.SID.ir