سومین کنفرانس ملی ژئومکانیک نفت
مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران
تهران، ۲ الی ۳ بهمن ۱۳۹۷

بررسی پارامترهای حفاری جهت جلوگیری از توپی شدن مته حفاری در حفره ۱/۲-۱۷ اینچ میدان نفتی رامشیر

پدرام اجتماعی[۱]؛ رسول خسروانیان[۲]

چکیده

گلی شدن مته پدیده ای است که در عملیات حفاری به عنوان یک مشکل بزرگ شناخته می شود و عوامل مختلفی به خصوص خواص لیتولوژی سازند در حال حفاری به ایجاد آن کمک می کند مانند شیل، رس های حساس به آب و یا سازندهای نرم و چسبناک مانند انواع مارن ها. در این مقاله به عنوان مطالعه موردی، چاهی در میدان رامشیر مورد بررسی واقع شده و احتمال توپی شدن مته در حال حفاری حفره ۱/۲-۱۷ اینچ که عمدتا شامل لیتولوژی مارن قرمز و خاکستری است مورد بحث قرار میگیرد. میزان توپی شدن مته رنج های متفاوتی دارد، ممکن است از بسیار کم تا بسیار شدید و غیرقابل برگشت باشد و منجر به تعویض مته شود. تشخیص احتمال گلی شدن مته می تواند باعث جلوگیری از آن و یا تصحیح پارامترهای حفاری قبل از برگشت ناپذیر شدن این پدیده شود. نسبت گشتاور به وزن روی مته می تواند معیار خوبی برای تشخیص احتمال توپی شدن مته باشد. توپی شدن مته علاوه بر تاثیر مستقیم به روی ROP به طور غیرمستقیم هزینه های حفاری را بالا می برد، از این رو پیش بینی احتمال این پدیده برای صنعت بسیار حائز اهمیت است.

کلیدواژه‌ها: مته، توپی شدن مته، حفاری، سازند، لیتولوژی، وزن روی مته

۱- مقدمه

با توجه به شرایط زمین شناسی ایران به خصوص در مناطق نفتخیز جنوب (خوزستان) در حفره ۱/۲-۱۷ اینچ که شامل متراژ زیادی حفاری شامل لیتولوژی نرم و چسبناک مارن قرمز و خاکستری می باشد، این حفره تا وقتی که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد جهت ROP بهتر با مته های کاج دار حفاری می شود و سپس در ادامه حفاری حفره تا نقطه جداره گذاری با مته PDC ادامه می یابد. یکی از مهمترین مشکلاتی که حفاری Hole Top در این منطقه دارد احتمال گلی شدن مته حفاری می باشد که این امر رابطه مستقیم با نوع سازند و لیتولوژی، RPM، WOB، GPM، Torque، Mud Density دارد. در واقع بسته به شرایط، هریک از پارامترهای ذکر شده اگر قابل کنترل باشد می تواند بر احتمال توپی شدن مته تاثیر بگذارد. در این مقاله به بررسی اثر وزن

[۱] نویسنده مسوول: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی نفت-حفاری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر،مهندس ناظر عملیات مناطق نفتخیز جنوب
pedram.ejtemaie@gmail.com
[۲] نویسنده دوم: استادیار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، Khosravanian@aut.ac.ir

گل،WOB و Torque بر یکدیگر و بر احتمال گلی شدن مته میپردازیم. در صنعت حفاری روش های مختلفی برای مقابله با توپی شدن مته انجام گرفته و یا در حال انجام شدن است مانند کار روی خواص گل با افزودن افزایه های خاص وقتی با رس های حساس به آب روبرو هستیم و یا بازنگری در طراحی مته های حفاری، اما راه دیگر تعیین وزن گل و پارامترهای حفاری مناسب می باشد[۲].

۱-۱- توپی شدن مته

در هنگام حفاری سازند توسط مته حفاری، علل مختلفی می تواند سبب توپی شدن مته شود از جمله:

- طراحی نامناسب هیدرولیک مته (سایز نازل)
- نوع لیتولوژی سازند
- دبی نا مناسب گردش گل
- سرعت دالیزی کم
- نرخ رسوخ حفاری
- خارج نشدن کامل خرده های حفاری از زیر مته
- خواص نامناسب سیال حفاری
- نوع مته

تمام موارد بالا باعث چسبیدن خرده های حفاری به دور مته حفاری شده، از نشانه های توپی شدن می توان به موارد ذیل اشاره کرد:

کم شدن نرخ رسوخ مته در سازند (ROP)

- افزایش فشار استندپایپ بدون تغییر دبی پمپاژ گل

۱-۲- سازند میشیگان

نام این سازند از دهکده میشان در ۵۰ کیلومتری جنوب شرقی گچساران گرفته شده است. در مناطق نفتخیز جنوب ایران (خوزستان) این سازند بعد از سازند بختیاری و آغاجاری سطحی ترین سازند می باشد و جزء سازندهای کم فشار طبقه بندی می شود و قبل از سازند پرفشار گچساران واقع شده است و لیتولوژی آن اغلب شامل مارن خاکستری و در لابلای آن آهک رسی می باشد.

دو مشکل مهم در حفاری این سازند شامل Wash Out (سوراخ شدگی) رشته حفاری و همچنین گلی شدن مته می باشد که در اینجا به گلی شدن مته پرداخته می شود. مارن خاکستری حاوی رس های آهکی می باشد و گرچه نرم اما به شدت چسبناک می باشد، با کاهش ناچیز GPM و یا افزایش نادرست WOB سبب چسبیدن کنده های مارن به مته شده و در این شرایط اگر سریعا متوجه نشده ممکن است منجر به توپی شدن برگشت ناپذیر و اجبار به تعویض مته شود. در چاه رامشیر مورد نظر از سطح تا ۲۰۹۰ متری سازند آغاجاری و میشان واقع شده است که از حدود ۲۶۰ تا ۲۰۹۰ متری شامل لیتولوژی مارن خاکستری بوده و مورد بحث قرار خواهد گرفت. ترتیب لیتولوژی سازندهای قبل از مخزن آسماری در جدول شماره(۱) آورده شده است[۵].

۱-۳- خواص و وزن گل

حفاری سازند آغاجاری و میشان از سطح شروع می شود و در این مقاله در مورد حفاری حفره دوم بحث می شود که با گل بنتونایتی ۶۵ PCF شروع شده و به تدریج با توجه به شرایط چاه افزایش وزن خواهیم داشت تا وزن

۶۸ PCFو سپس با افزایش نمک تا ۷۵ PCF افزایش می یابد و اگر به وزن بالاتر نیاز باشد با افزودن مواد وزن افزا مانند باریت وزن گل افزایش می یابد که در چاه مذکور تا وزن ۱۰۳ PCF افزایش وزن گل خواهیم داشت. خواص گل مورد استفاده در این چاه در جدول شماره(۲) آمده است.

جدول شماره(۱): ترتیب لیتولوژی از سطح تا پوش سنگ

Formation Name	Formation Top(m)	Lithology
	0	
Aj	14	MARL
Mn	1813	MARL
Gs7	2088	Anhydratic marl
Gs6	2178	Anhydratic marl
Gs5	2338	Anhydratic marl
Gs4	2554	Salt, marl
Gs3	2677	Anhydratic marl
Gs2	2775	Salt
CR	2813.75	Anhydratic marl

جدول شماره(۲): نوع سیال حفاری

DepthH(m)	Mw max PCF	Mw min PCF	Mud Type	Vis	Pv	Yp	Gel 0	Gel10	PH	FILTER(CC)	Salt(PPM)	Ca
0-0	65	65	W.B.M	67	15	30	10	15	10.2	NC	0	0
19-90	65	65	W.B.M	68	16	31	12	16	10.2	NC	0	0
90-177	65	67	W.B.M	72	17	32	14	17	10.4	NC	120000	0
187-253	65	67	W.B.M	70	19	35	14	17	10.4	NC	125000	0
253-263	67	67	W.B.M	34	4	10	3	4	10.5	NC	130000	0
263-396	67	67	W.B.M	35	5	10	3	4	10.4	NC	130000	0
396-568	67	75	W.B.M	35	5	10	1	2	9.5	NC	130000	0
568-670	76	77	W.B.M	38	9	10	2	3	9.5	15	320000	680
670-731	77	78	W.B.M	39	8	9	2	3	9.6	15	320000	680

731-844	78	82	W.B.M	40	11	10	2	3	9.7	15	320000	720
844-934	82	83	W.B.M	40	11	10	3	4	9.7	15	320000	680
934-957	83	83	W.B.M	40	11	10	2	3	9.8	15	320000	680
957-962	83	83	W.B.M	43	11	10	3	5	9.8	15	320000	680
962-1100	83	83	W.B.M	43	13	11	3	5	9.8	15	320000	680
1100-1310	85	89	W.B.M	45	17	15	4	6	9.8	10	320000	680
1310-1490	86	89	W.B.M	45	14	16	6	8	9.8	9	320000	680
1490-1585	89	92	W.B.M	50	12	25	15	17	9.8	22	320000	960
1585-1612	92	92	W.B.M	38	13	18	11	12	9.9	22	320000	800
1612-1665	92	92	W.B.M	38	13	10	3	4	9.9	7	320000	720
1665-1757	92	94	W.B.M	38	12	10	5	7	9.9	7	320000	800
1757-1831	94	95	W.B.M	39	17	12	5	7	9.9	9	320000	840
1831-1899	96	97	W.B.M	45	16	12	5	7	9.9	7	320000	840
1899-1976	97	97	W.B.M	44	19	12	5	7	9.9	7	320000	1000
1976-1985	97	97	W.B.M	46	19	12	3	5	10	7	320000	1000
1985-1996	98	98	W.B.M	47	20	11	2	3	9.8	4	315000	1000
1996-2038	99	99	W.B.M	48	20	11	2	3	9.8	3	312000	1440
2038-2099	99	103	W.B.M	50	20	11	2	3	9.8	3	312000	1440
2099-2122	103	103	W.B.M	50	24	11	2	3	9.8	3	312000	1520

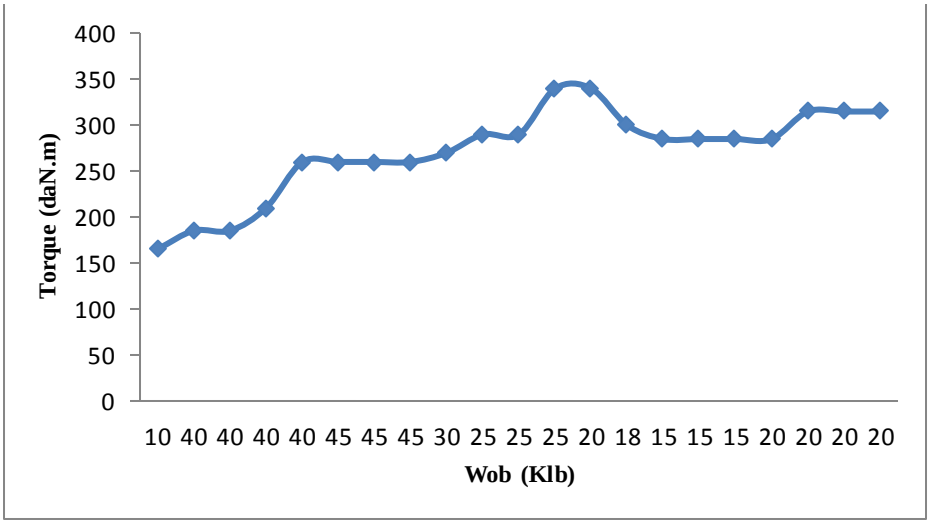
۱-۴- نوع مته

این حفره طبق برنامه با مته سایز۱/۲-۱۷ اینچ حفاری شده، در ابتدا از مته های کاج دار نوع ۱۱۱ و ۱۲۱ جهت افزایش ROP استفاده شده و در نهایت از عمق مشخصی به بعد از مته PDC استفاده می شود ،گرچه به علت استفاده از مته PDC میزان ROP کاهش پیدا خواهد کرد اما به علت حذف زمان لوله بالا و پایین در کل باعث کاهش هزینه حفاری خواهد شد.WOB و گشتاور حاصل از حفاری میتواند احتمال توپی شدن مته را کم یا

زیاد کند ،در واقع هرچه وزن بیشتری روی مته اعمال شود باعث بالا رفتن گشتاور می شود از یک نقطه به بعد Torque افزایش بیشتری پیدا کرده و ROP روند نزولی پیدا خواهد کرد که این اتفاق می تواند نقطه شروع گلی شدن مته باشد. مته های مورد استفاده و پارامترهای اعمال شده در جدول شماره(۳) قابل مشاهده است. با توجه به جدول در شروع حفره از مته کاج دار نوع۱۱۱ استفاده شده که به مرور با افزایش عمق به علت افزایش Overburden Stress میزان ROP از حدود ۸/۵ متر در ساعت به ۴ متر در ساعت کاهش می یابد اما به علت داشتن حداکثر GPM حداکثر وزن روی مته اعمال شده است و از طرفی وجود آب نمک به عنوان گل و پمپ گل غلیظ بنتونایتی به صورت دوره ای باعث جلوگیری از توپی شدن مته شده است.در ادامه حفاری دو مته PDC مورد استفاده قرار گرفته است که به طور میانگین ROP کاهش پیدا کرده است، اما به علت حذف زمان لوله بالا و پایین این نوع مته در ارجحیت بوده است. در هنگام استفاده از مته هایPDC احتمال توپی شدن بیشتر است به خصوص که از جدول مشاهده می شود به علت محدودیت توان پمپ های گل کمی GPM کاهش یافته است اما به علت افزایش تدریجی وزن گل،کاهش WOB، وجود نمک در گل پدیده توپی شدن مشاهده نمی شود. ROP حد مجاز و بهینه ای دارد اما در کل افزایش وزن گل سبب افزایش پایداری دیواره چاه شده و حداکثر WOB را قبل از گلی شدن مته در حال حفاری مارن افزایش می دهد [۳]، [۴].

جدول شماره(۳): مته های مورد استفاده

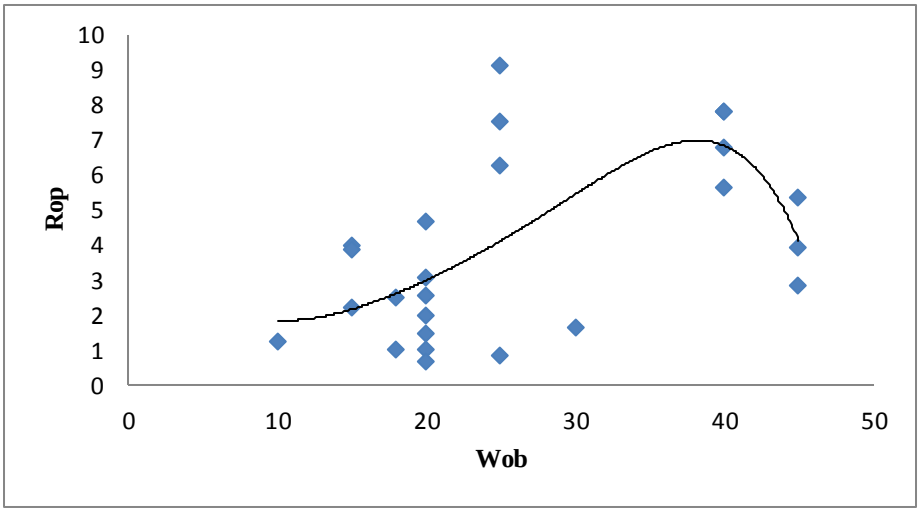
Bit no.	Bit Size	Type	Jet Size	Depth in (m)	Depth out (m)	MTR	BIT HRS	ROP(m/hr)	WOB max	WOB min	RPM max	GPM max	SPP(psi)	SOLID
1	17-1/2"	DTJ	3*16	253	568	417	48	8.69	45	8	150	950	2800	13%
2	17-1/2"	DTJ	3*16	670	957	287	79	3.63	45	30	140	900	2900	18%
3	17-1/2"	CK606XL	8*13	957	1985	1028	244	4.21	35	10	200	950	2800	24%
4	17-1/2"	MKS76DG	5*13+4*OPEN	1985	2122	137	108	1.27	30	15	200	870	2450	25%



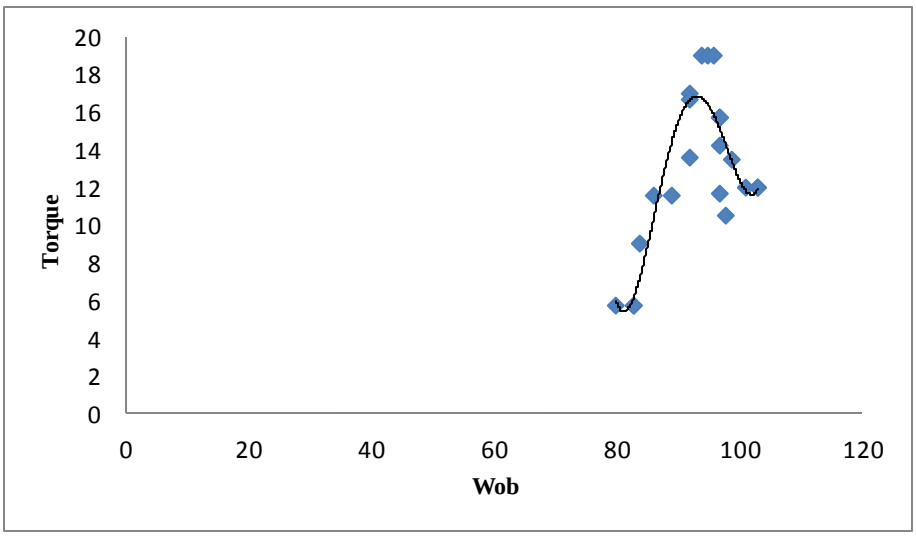
شکل (۱): روند تغییر گشتاور با افزایش وزن روی مته

۱-۵- پارامترهای حفاری

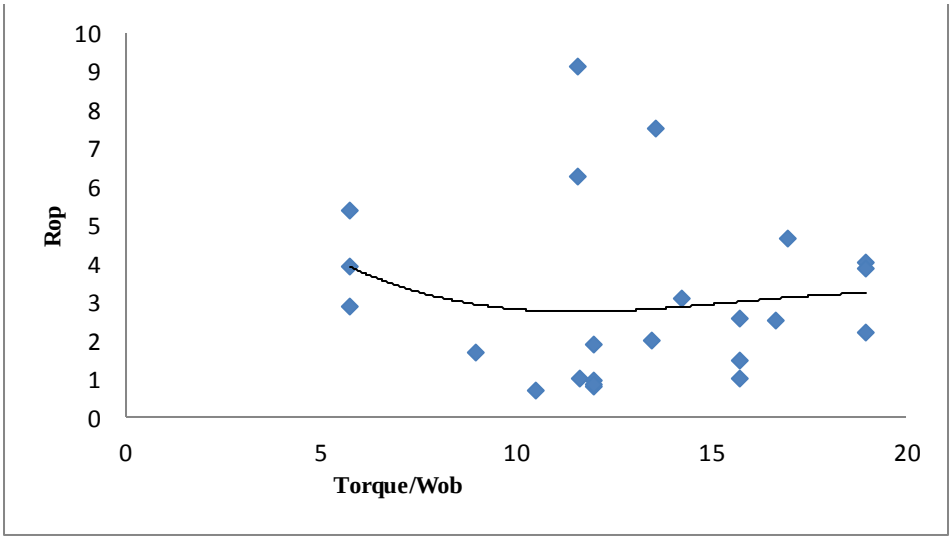
وزن گل از مهمترین پارامترهای حفاری می باشد که تاثیر زیادی روی افزایش و کاهش ROP و در نتیجه هزینه حفاری خواهد داشت، همانطور که وزن کم باعث کاهش اختلاف فشار بین فشار سازند و فشار هیدرواستاتیک ستون گل می شود و ROP را افزایش می دهد می تواند باعث تنگی چاه ، عدم پایداری دیواره و عدم تمیزسازی کافی شده وROP را کاهش دهد. در چاه مورد نظر در مقطعی که در حال حفاری مارن بوده است وزن گل از ۶۵ PCF تا ۱۰۳ PCF افزایش داشته است که در سه وزن متفاوت رابطه بین وزن گل و میزان گلی شدن مته (Torque/WOB)بررسی شده است و نمودارهای مربوطه در ادامه مقاله آورده شده است که نشان دهنده این است که در صورت افزایش وزن گل تا بیشترین حد مجاز به علت افزایش پایداری دیواره چاه و تمیزسازی بهتر می توان WOB را افزایش داد و در نتیجهROP افزایش خواهد یافت که این امر در ادامه توسط روش بهینه سازی (AHP) نشان داده خواهد شد. مقدار افزایش وزن گل با توجه به فشار شکست سازند و همچنین ROP حد مجاز و بهینه ای دارد اما در کل افزایش وزن گل سبب افزایش پایداری دیواره چاه شده و حداکثر WOB را قبل از گلی شدن مته در حال حفاری مارن افزایش می دهد.



شکل (۲): روند تغییر نرخ حفاری با افزایش وزن روی مته



شکل (۳): روند احتمال توپی شدن گل با افزایش وزن گل



شکل (۴): روند تغییر نرخ حفاری با افزایش احتمال گلی شدن مته

۱-۶- روش AHP

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) یکی از معروفترین فنون تصمیم گیری چند منظوره است که اولین بار توسط توماس. ال. ساعتی عراقی الاصل در دهه ۱۹۷۰ ابداع گردید. این روش در هنگامی که عمل تصمیم گیری با چند گزینه رقیب و معیار تصمیم گیری روبرو است می تواند استفاده گردد. معیارهای مطرح شده می توانند کمّی و کیفی باشند. اساس این روش تصمیم گیری بر مقایسات زوجی نهفته است. تصمیم گیرنده با فراهم آوردن درخت سلسله مراتب تصمیم، آغاز می کند. درخت سلسله مراتب تصمیم، عوامل مورد مقایسه و گزینه های رقیب مورد ارزیابی در تصمیم را نشان می دهد. سپس یک سری مقایسات زوجی انجام می گیرد. این مقیسات وزن هر یک از فاکتورها را در راستای گزینه های رقیب مشخص می سازد. در نهایت منطق AHP به گونه ای ماتریس های حاصل از مقایسات زوجی را با همدیگر تلفیق می سازد که تصمیم بهینه حاصل آید[۶].

جدول (۴): مقایسه زوجی در روش تحلیلی AHP

ارزش	الویت ها	توضیح
1	ترجیح یکسان	گزینه یا شاخص i نسبت به j اهمیت برابر دارد و یا ارجحیتی نسبت به هم ندارند.
3	کمی مرجح	گزینه یا شاخص i نسبت به j کمی مهمتر است.
5	خیلی مرجح	گزینه یا شاخص i نسبت به j مهمتر است.
7	خیلی زیاد مرجح	گزینه i دارای ارجحیت خیلی بیشتری ازj است.
9	کاملا مرجح	گزینه iاز j مطلقا مهمتر و قابل مقایسه با j نیست.
2,4,6,8	بینابین	ارزشهای بین ارزشهای ترجیحی را نشان می دهد.

جدول (۵): ماتریس مقایسه زوجی معیارهای انتخاب

	ROP	عدم توپی شدن مته	هزینه
ROP	۱	۱/۴	۴
عدم توپی شدن مته	۴	۱	۳
هزینه	۱/۴	۱/۳	۱

جدول (۶): ماتریس مقایسه زوجی معیار برحسب ROP

	PCF۸۳	PCF ۹۲	PCF ۱۰۳
PCF۸۳	۱	۲	۳
PCF ۹۲	۱/۲	۱	۲
PCF ۱۰۳	۱/۳	۱/۲	۱

جدول (۷): ماتریس مقایسه زوجی معیار برحسب عدم توپی شدن مته

	PCF۸۳	PCF ۹۲	PCF ۱۰۳
PCF۸۳	۱	۱/۳	۱/۴
PCF ۹۲	۳	۱	۱/۳
PCF ۱۰۳	۴	۳	۱

جدول (۸): ماتریس مقایسه زوجی معیار برحسب هزینه

	PCF۸۳	PCF ۹۲	PCF ۱۰۳
PCF۸۳	۱	۱	۲
PCF ۹۲	۱	۱	۱
PCF ۱۰۳	۱/۲	۱	۱

جدول (۹): محاسبات بر حسب روش AHP

وزن نهایی گل ۸۳ PCF	(۰/۲۷*۰/۵۳۷) +(۰/۶۱*۰/۱۱۹)+(۰/۱۲*۰/۴۱۲) =	۰/۲۶۷
وزن نهایی گل ۹۲ PCF	(۰/۲۷*۰/۲۹۸) +(۰/۶۱*۰/۲۶۹)+(۰/۱۲*۰/۳۲۶) =	۰/۲۸۴
وزن نهایی گل ۱۰۳ PCF	(۰/۲۷*۰/۱۶۵) +(۰/۶۱*۰/۶۱)+(۰/۱۲*۰/۲۶۰) =	۰/۴۴۸

باتوجه به وزن های نهایی الویت انتخاب با گل ۱۰۳ PCF می باشد.

۲- نتیجه گیری

۱. افزایش وزن گل در محدوده مجاز باعث افزایش پایداری دیواره چاه شده و اجازه می دهد وزن بیشتری روی مته اعمال شود قبل از خطر گلی شدن مته

۲. نسبت گشتاور به وزن روی مته میتواند به عنوان نشانگر گلی شدن مته استفاده شود که هرچه اندازه آن بیشتر شود احتمال توپی شدن مته بیشتر است و در نتیجه ROP کاهش می یابد.

۳. مته های کاج دار برای حفاری سازندهای نرم و چسبناک نسبت به مته های PDC عملکرد بهتری خواهند داشت و زمان لوله بالا و پایین است که باعث استفاده از مته های PDC در این نوع سازند می شود.

۴. رابطه ROP با میزان WOB اعمالی رابطه خطی نمی باشد و مقدار بهینه ای دارد که بستگی به نوع سازند، وزن گل و دیگر پارامترها دارد و معمولا با کمی آزمون و خطا به شکل تجربی در هنگام حفاری بدست می آید.

۳- مراجع

[1]C,A.Cheatham, Sperry-SuDnrilli Snegrvicesa and J.J.Nahm, Shell Developmen Co." Bit Balling in Water-Reactive Shale During Full-Scale Drilling Rate test", Texas, February27-Mamh2, 1990.IADC/SPE19926
[2]Sanjit Roy and G.A. Cooper, SPE, U. of Califomia"Prevention of Bit Balling in Shales Preliminary Results"
[3]S.R.Radford, S.G.Patel and K.C.Dee, Baker Hughes "Durable Bit Coating Reduces Shale Balling in Field Test and Contributes to longer Runs" United Kingdom, 17-19 march 2015, IADC/SPE-173113-MS

[4]Reza Rahmani, NOV Wellbore Technologies; John Rogers Smith, Louisiana state University "New Quantative, Analytical Approach Provides Rapid Identification and Diagnosis of Dysfunctional Bit Performance" United Kingdom, 17-19March 2015

[۵] حسین غلامعلیان، رویا فناطی رشیدی و سید هادی سجادی "مطالعه خاردارن میوسن(سازند میشان)در برش گهره، شمال بندرعباس، استان هرمزگان"مجله علوم زمین، زمستان۹۴ ، سال بیست و پنجم، شماره۹۸ ، صفحه ۷۳ تا ۸۲

[۶] سید علی دلبری، سید علیرضا داودی"کاربرد تکنیک فرآیند تحلیل سلسله مراتبی(AHP) در رتبه بندی شاخصهای ارزیابی جاذبه های توریستی"

3rd National Conference on Petroleum Geomechanics
National Iranian Oil Company Exploration Directorate
Tehran, Jan,22-23,2019

Study drilling parameters due to prevent bit balling in 17-1/2" hole in RAMSHIR field

Pedram Ejtemaei[1]; Rasoul Khosravanian[2]

Extended Abstract: Drill bit balling is recognized as a major difficulty in drilling operations. Various factors, including formation lithology (including shale, water-sensitive clays, and soft and sticky rocks such as marls) contribute to this problem. This paper explores a case study in Ramshir filed, and discusses the probability of this phenomenon. The bit is drilling a 17-1/2 hole and the lithology is predominantly red and gray marl. There are degrees to balling. It can be small to very sever to the point of irreversibility, where the bit needs to be replaced. If the probability of balling is predicted, one can modify drilling parameters to prevent it before the bit is damaged and needs to be replaced. The ratio of torque to weight on bit can be considered as a good predictor of balling. Balling not only bears adverse effects on ROP, but it can also indirectly induce increased drilling costs. Therefore, it is essential to foresee and prevent it.

Keywords : Drill bit, balling, drilling, formation, lithology, weight on bit.

[1]Student MSc., Amirkabir University Of Technology, pedram.ejtemaie@gmail.com
2 Assistant Prof., Amirkabir University Of Technology, Khosravanian@aut.ac.ir