

بسمه تعالی

مایکرومکس تحولی در دوغاب‌های سنگین سیمان حفاری

اسماعیل اصغرینیا، بابک ولی‌اللهی، نیما رضانی، رسول شیدائی

شرکت دانا اوپل سرویسز کیش

چکیده

اجرای عملیات سیمانکاری در سازند های پر فشار مستلزم بکارگیری دوغاب های سیمان با وزن بالا است. ته‌نشینی ذرات افزایش‌دهنده وزن افزا درون دوغاب‌های سیمان سنگین (که باعث غیرهمگن شدن ستون دوغاب سیمان پشت لوله‌های جداری و امکان ایجاد کانال‌های جریان در فضای حلقوی پشت لوله‌ها می‌شود) از رایج‌ترین مشکلات در این نوع سیمانکاری چاه‌های نفت و گاز محسوب می‌گردد. یکی از روش‌های مناسب برای برطرف کردن این مشکل استفاده از افزایش‌دهنده مایکرومکس (MICROMAX) است. در این گزارش سعی بر آن شده تا مشکلات سیمانکاری لایه‌های پرفشار در میادین نفتی جنوب ایران شناسایی و مزایای استفاده از افزایش‌دهنده مایکرومکس نسبت به دیگر افزایش‌دهنده های وزن افزا بررسی گردد.

مقدمه

یکی از مهمترین و بارزترین مشکلات جاری در حفاری سازندهای پرفشار، نزدیکی فشار حفره‌ای و فشار شکستگی است. اگر در جریان حفاری، از سیال حفاری و همچنین دوغاب سیمان مناسب استفاده نشود، باعث ایجاد هزینه‌های تحمیلی سنگین، در زمان روش‌های ترمیمی چاه می‌گردد [1].

براساس تحقیقات انجام شده بر روی یکی از چاه‌های میادین خلیج مکزیک در سال 2010 مشخص گردید که سیمانکاری نامناسب یکی از اصلی‌ترین دلایل فوران چاه (Blow Out) در این میدان بوده است [2]. طراحی دوغاب مناسب در اینگونه چاه‌ها که دارای شرایط خاص می‌باشند یکی از بزرگترین دغدغه‌های کارفرمایان حفاری می‌باشد.

در مهار اینگونه چاه‌ها در طی حفاری با افزایش تدریجی وزن سیال حفاری میتوان بر فشار بالای چاه غلبه کرد. اما همانطور که پیشتر ذکر شد افزایش بی‌رویه وزن گل باعث ایجاد پدیده شکستگی (Fracturing) در دیواره چاه و سازند آن می‌شود.

وزن افزاها (Weighting Agents)

با کاهش مقدار آب و افزایش مقدار سیمان می‌توان دوغابی تا وزن 16.5 PPG تهیه کرد اما برای وزن‌های بالاتر، این کاهش آب مطلوب نبوده و باعث کاهش مقاومت تراکمی سیمان می‌شود زیرا آب یکی از پارامترهای مهم در واکنش هیدراتاسیون سیمان و

سفت شدن آن است، بنابراین برای تهیه دوغابی با وزن بالاتر از 16.5 PPG باید از افزایش‌های وزن افزا در دوغاب سیمان استفاده نمود [3,4].

وزن‌افزاهای رایج در عملیات سیمانکاری عبارتند از: باریت، گالنا، ایلمنیت، هماتیت، میکرومکس

Material	Specific Gravity	Absolute Volume (gal/lbm)	Color	Additional Water Requirement (gal/lbm)
Ilmentie	4.45	0.027	Black	0.00
Hematite	4.95	0.024	Red	0.0023
Barite	4.33	0.028	White	0.024
Manganese tetraoxide	4.84	0.025	Reddish brown	0.0011

جدول 1: مشخصات ظاهری افزایش‌های وزن افزا مورد استفاده در سیمانکاری [3]

باریت (Barite):

باریت لفظی یونانی است به معنی سنگین، که به وزن مخصوص بالای آن (4.33 SG) اشاره می‌کند. با استفاده از این وزن افزا می‌توان وزن سیمان را تا 19 PPG افزایش داد. اما به دلایل خواص ویژه، در مصرف آن محدودیت‌هایی است. باریت هنگام مخلوط شدن با مواد اولیه سیمان به آب فراوان (بسیار بیشتر از دیگر مواد وزن افزا) نیاز دارد که همین استفاده از آن را محدود می‌کند. باریت برای مخلوط شدن به مقداری در حدود 2.4 گالن بر هر صد پوند باریت (0.22 درصد وزنی) آب نیاز دارد. این مقدار بالای آب از یک طرف وزن مخصوص دوغاب حاصل را کم می‌کند و از طرفی دیگر باعث کاهش مقاومت تراکمی سیمان می‌شود و همچنین اثر مواد وزن‌افزا را در دوغاب کم می‌کند [5].



شکل 1: نمایی از افزایش باریت سفید

گالنا (Galena):

گالنا ریشه لاتین دارد و معمولاً به کانسارهای سرب گفته می‌شود. فرمول شیمیایی آن PbS است که حاوی 86.6 درصد گوگرد و 13.4 درصد سرب می‌باشد [5].

گالنا با رنگ نقره‌ای روشن و دارای وزن مخصوص 7.5 SG است. گالنا با اینکه سنگینتر از دیگر مواد وزن‌افزا است، گرانت‌تر بوده و در درجه حرارت‌های بالا بعنوان یک کندکننده دوغاب عمل کرده و مانع بندش سریع دوغاب سیمان می‌شود. علاوه بر این، مقدار آب مورد نیاز برای این ماده نیز نسبتاً بالاست که موجب کاهش وزن مخصوص موثر دوغاب و نیز کاهش مقاومت تراکمی سنگ سیمان می‌شود [5].



شکل 2: نمایی از سنگ گالن

ایلمنیت (هایدنس – HIDENSE):

این کانی جز گروه اکسیدها است و نام آن از کوه‌های ایلمن در روسیه گرفته شده است. فرمول شیمیایی آن $FeTiO_3$ است که دارای 36.8 درصد آهن و 31.6 درصد تیتانیوم می‌باشد [5].

ایلمنیت یا هایدنس با رنگ سیاه و وزن مخصوص 4.45 SG بصورت Blend در سیمان فله مخلوط شده و در عملیات سیمانکاری استفاده می‌شود. یکی از متداولترین مشکلات استفاده از این افزایه می‌تواند به تهنشست این ماده در زمان ذخیره‌سازی در سیلوهای کشتی‌ها، دکل‌های حفاری و همچنین در دوغاب‌های سیمان اشاره کرد.



شکل 3: نمایی از افزایه ایلمنیت یا هایدنس

هماتیت (Hematite):

نام هماتیت برگرفته از یک لغت یونانی به معنی خون است (به دلیل رنگ قرمز پودر هماتیت). فرمول شیمیایی آن Fe_2O_3 است که دارای 70 درصد آهن و 30 درصد اکسیژن می‌باشد [5].

هماتیت با رنگ قرمز متمایل به قهوه‌ای و وزن مخصوص 4.95 SG بصورت Blend در سیمان مخلوط شده و در عملیات سیمانکاری استفاده می‌شود. برای مخلوط شدن هر صد پوند هماتیت به 0.23 گالن آب نیاز داریم. برای این افزایش همانند افزایش ایلمنیت مشکل ته‌نشست مواد در دوغاب‌های سیمان دارد [5].



شکل 4: نمایی از افزایش هماتیت

مایکرومکس (MICROMAX):

این افزایش از سنگ معدن هاسمانایت (Hausmannite) بدست می‌آید و نام آن از کانی‌شناس آلمانی هاسمان (Hausmann) اخذ شده است.

مایکرومکس یک وزن‌افزا خودپایدار است که بیش از 90 درصد آن را اکسید منگنز (Mn_3O_4) تشکیل می‌دهد و برای محیط زیست ایمن است. این افزایش شامل ذرات کلوییدی با متوسط اندازه 0.4 میکرون و همچنین دارای وزن مخصوص 4.84 SG با سطح ویژه $4 m^2/gr$ می‌باشد [6].



شکل 5: نمایی از افزایش مایکرومکس

1. APPEARANCE: Reddish - brown powder, mainly Mn_3O_4
2. CHEMICAL ANALYSIS:

Major elements	Typical values	Minor elements	Typical values
Mn	69.00 %	P	0.04 %
Fe	2.00 %	Na	< 0.1 %
		Co	0.02 %
		Cu	0.02 %
		S	0.006 %
		Pb	0.075 %
		Zn	0.12 %
		Si	0.09 %
		Ti	0.002 %
		Ni	0.009 %
		Ca	0.006 %
		K	< 0.10 %
		Mg	0.30 %
		Al	0.012 %
		B	0.003 %

جدول 2: مشخصات ظاهری و آنالیز شیمیایی افزایش مایکرومکس [6]

مزایای میکرومکس نسبت به دیگر وزن افزاها:

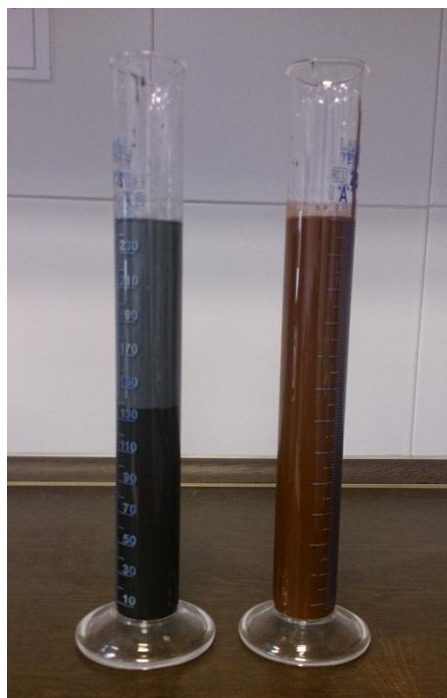
از مزایای بکارگیری میکرومکس میتوان به موارد زیر اشاره کرد:

* وزن افزای بسیار سنگین:

میکرومکس با وزن مخصوص بالایش در مقایسه با دیگر وزن افزاها از نظر ایجاد وزن دوغاب سیمان موثرتر است. دوغاب سیمان حاصل از این وزن افزا براحتی قابل پمپاژ و روان است.

* پایداری دوغاب:

سطح مخصوص زیاد و اندازه بسیار ریز ذرات میکرومکس عامل مهم در پایداری و جلوگیری از نشست ذرات جامد در دوغاب است. به علاوه میکرومکس برای دیگر مواد نیز شرایطی فراهم می آورد که آنها نیز بدون رسوب کردن در دوغاب معلق بمانند.



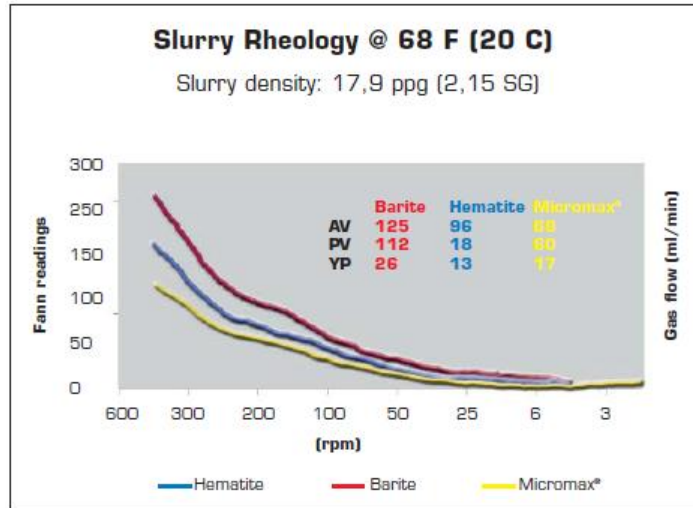
شکل 6: مقایسه ته نشینی افزایه میکرومکس و افزایه های پدنس در دوغاب سیمان

* پیش مخلوط شدن با آب:

میکرومکس یکی از معدود وزن افزاهای مورد استفاده بوده که میتوان به همراه سایر افزایه های سیمان با آب مخلوط گردد. این روش دغدغه های غیرهمگن شدن در مخلوط سیمان فله یا آلوده شدن سیلوهای ذخیره سازی دکل ها و کشتی ها را از بین می برد.

* پایین آوردن رئولوژی:

استفاده از مایکرومکس به عنوان افزودنی سنگین تفاوتی محسوس با دیگر وزن افزاها دارد. شکل کروی ذرات مایکرومکس روان کنندگی دوغاب سیمان را بالا می برد، بنابراین خواص رئولوژیکی و کیفیت دوغاب بالا رفته و یک جداکننده بسیار عالی برای جدا کردن فیلتر کیک های حاصل از سیال حفاری در جریان عملیات سیمانکاری می باشد.



نمودار 1: نمودار رئولوژی افزایه مایکرومکس در مقابل افزایه های باریت و هماتیت [7]

* دارای سایش کم:

به دلیل طبیعت و خواص فیزیکی ذرات مایکرومکس، این ماده کمترین اثر سایشی (Friction) را بر پمپ، وسایل ارتباطی، خطوط لوله و تجهیزات سطحی و درون چاهی اعمال می کند.

* اثر ردیابی مایکرومکس:

علاوه بر خواص فیزیکی ویژه مایکرومکس، این ماده رنگ تیره قرمز قهوه ای دارد که این خاصیت مزیت استفاده از مایکرومکس را به عنوان یک ردیاب رنگی نیز ایجاد می کند که بویژه در ردیابی اشکالات موجود در پلاگ سیمانکاری در زمان برگشت از دالیز یا سیال حفاری برگشتی میتواند مفید باشد.

* خواص غیر مغناطیسی مایکرومکس:

بسیاری از وزن افزاهای مصرفی معمول مقادیری زیاد آهن دارند که می توانند به مغناطیسی کردن رشته حفاری منجر شوند بنابراین وسایل شیب سنج، انحراف سنج و نقشه برداری چاه ممکن است در این مواقع ناهنجاری نشان دهند. درصد پایین آهن موجود در مایکرومکس باعث شده است که این ماده غیرمغناطیسی باشد و آثار سوء فوق را نداشته باشد.

* افزایش مقاومت تراکمی:

افزایه مایکرومکس بدلیل دانه بندی ریز و همگن شدن آن در ساختار دوغاب باعث افزایش مقاومت تراکمی سنگ سیمان می گردد.

سابقه استفاده از افزایه مایکرومکس در ایران:

در جریان حفاری چاه‌های نفت و گاز واقع در میادین خشکی و دریایی ایران با فشار سازندی بالا، غالباً از افزایه هایدنس در دوغاب سیمان استفاده می‌شود، همانطور که پیش‌تر ذکر گردید استفاده از افزایه هایدنس در صورت عدم بهینه‌سازی دوغاب ریسک وقوع مسائلی از قبیل ته‌نشست فراوان در دوغاب سیمان، پدیده مهاجرت سیالات درون چاهی در دالیز، غیر همگن شدن درصد اختلاط آن در سیمان خشک فله در قبل و جریان عملیات سیمانکاری را افزایش می‌دهد.

افزایه وزن‌افزای هایدنس می‌بایستی بصورت خشک با سیمان در سیلوهای نگهداری مواد در درصدهای موردنظر مخلوط گردد، در صورت اشتباه محاسباتی و اختلاط نادرست با سیمان فله، درصد موردنظر هایدنس حاصل نمی‌شود که این موضوع خطری جدی در ناموفق بودن عملیات سیمانکاری است زیرا در اینحالت برای رسیدن به وزن موردنظر دوغاب، باید از سیمان بیشتری استفاده نمود که در اینصورت، قدرت ژلگی دوغاب بسیار زیاد و در مواردی که این اختلاف (درصد هایدنس) زیاد باشد دوغابی غیرقابل پمپاژ و بندش ناگهانی دوغاب حاصل خواهد شد.

در صورتیکه اختلاط هایدنس با سیمان بطور کاملاً دقیق انجام شود همچنان مشکل بالقوه دیگری وجود خواهد داشت و آن ته‌نشست هایدنس در سیمان خشک در حین حمل و نقل به دکل‌های حفاری است. علیرغم مشکل مذکور، مشکل ته‌نشینی ذرات سنگین هایدنس در دوغاب سیمان به عنوان بزرگترین معضل در عملیات سیمانکاری با وزن بالا وجود خواهد داشت.

براساس گزارشات ارسالی از شرکت فلات قاره ایران، عملیات سیمانکاری در برخی از چاه‌های نفتی با فشار سازندی بالا بدلیل مشکلات ذکر شده، موفق نبوده و فشار بالایی در فضای دالیزی چاه بدلیل مهاجرت سیالات درون چاهی که ناشی از ته‌نشینی ذرات سنگین هایدنس در دوغاب سیمان و عدم ایزولاسیون مناسب لایه‌های فعال سازندی مشاهده شده است.

برای اولین بار در ایران با حمایت شرکت نفت فلات قاره ایران، شرکت دانا اوایل سرویسز در دو میدان نفتی واقع در خلیج فارس عملیات سیمانکاری با دوغاب‌هایی به وزن 135 PCF و 140 PCF توسط افزایه مایکرومکس اجرا نموده که نتایج بسیار رضایت‌بخشی حاصل گردید.

پس از مشاهده نتایج بسیار مطلوب در این میادین، بنا به درخواست شرکت نفت فلات قاره ایران، مقرر گردید که از افزایه مایکرومکس در یکی دیگر از چاه‌های میادین نفتی خود با وزن 145 PCF استفاده نماید که دوغاب مذکور در حضور نمایندگان شرکت نفت فلات قاره در آزمایشگاه شرکت دانا اوایل سرویسز طراحی گردید اما با تغییر وضعیت چاه در لحظه آخر حفاری، به ناچار تصمیم به تغییر وزن دوغاب سیمان از 145 PCF به 142 PCF گرفته شد که این عملیات سیمانکاری نیز با موفقیت به پایان رسید.

یکی از مهمترین خواص افزایه مایکرومکس، امکان تغییر درصد وزنی آن در لحظاتی قبل از عملیات سیمانکاری می‌باشد.

پس از حصول نتایج بسیار مطلوب در ساخت دوغاب 145 PCF مایکرومکسی در حضور مهندسین ناظر کارفرمای محترم، امکان‌سنجی ساخت دوغاب‌های سنگینتر تا وزن 160 PCF مورد بررسی قرار گرفت. که دوغاب مورد نظر با خواص رئولوژیکی و زمان بندش مطلوب تهیه و مورد بازبینی قرار گرفته است.



شکل 7: اجرای موفقیت آمیز عملیات سیمانکاری دوغاب PCF 142 مایکرومکسی در یکی از میادین نفتی خلیج فارس

مشخصات دوغاب PCF 145 با استفاده از افزایشه مایکرومکس:

مراحل و نتایج آزمایشگاهی دوغاب PCF 145 در آزمایشگاه این شرکت، در تصاویر زیر نشان داده شده است:



شکل 9: نمایی از دوغاب PCF 145 مایکرومکسی



شکل 8: فرآیند اختلاط و آماده سازی دوغاب PCF 145 مایکرومکسی



شکل 11: بررسی ته‌نشست و تعیین مقدار آب آزاد دوغاب PCF 145 مایکرومکسی

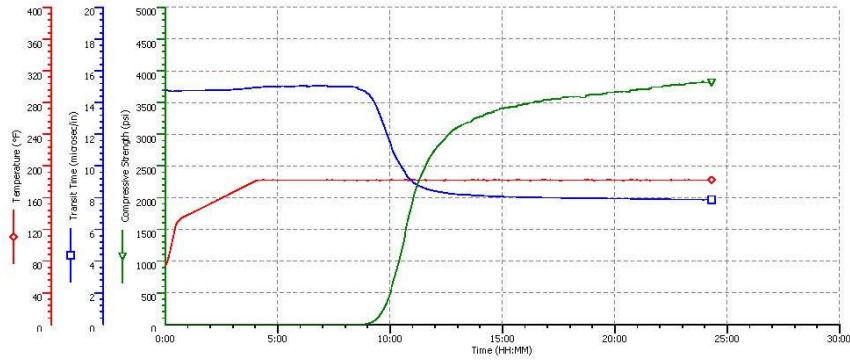


شکل 10: انجام تست مقاومت تراکمی برای دوغاب PCF 145 مایکرومکسی

Well ID: HD-47H
Test Start: 12/2/2015 10:08:43 AM
Test Stop: 12/2/2015 10:22:57 AM

Customer: IOOC
Strength: 3814 psi
Algorithm: Compressive strength type B (more than 14 lb/ft)

BHST: 182F
50 psi @ 9:21:00
500 psi @ 10:00:00



Dana Oil Services Kish

Test File Name: 9 58" Job
Slurry Weight: 145 PCF
Lab Engineers: Nima Ramezani & Rasoul Sheidale

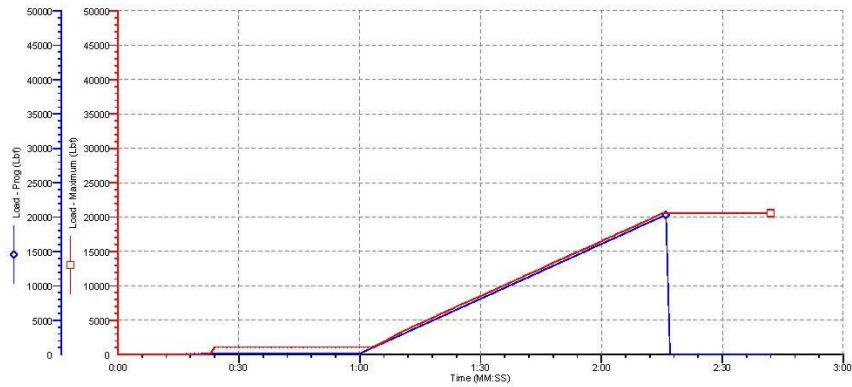
Page 1

نمودار 2: نمودار UCA برای دوغاب 145 PCF مایکرومکسی

Instrument: CS Tester 240
Maximum Sample Load: 20584 Lbf

Test Start: 11/28/2015 10:20:05 AM

Test Stop: 11/29/2015 10:22:46 AM

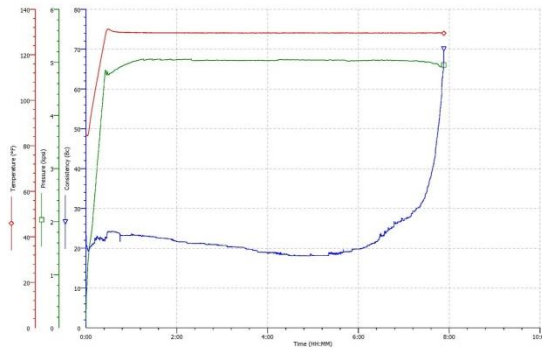


Dana Oil Services Kish

Test File Name: 9 58" Job
Slurry Weight: 145 PCF
Compressive Strength: +5000 psi
Lab Engineers: Nima Ramezani & Rasoul Sheidale

Page 1

نمودار 3: نمودار تست مقاومت تراکمی برای دوغاب 145 PCF مایکرومکسی



نمودار 4: نمودار زمان نیم‌بندش برای دوغاب 145 PCF مایکرومکسی

نتیجه گیری:

1. برخلاف افزایش‌های هماتیت و گالنا، افزایش میکرومکس باعث کاهش رئولوژی دوغاب سیمان می‌شود.
2. افزایش میکرومکس قیمت پایین‌تری نسبت به افزایش گالنا دارد.
3. دوغاب میکرومکسی نسبت به دیگر وزن‌افزاها، کمترین اثر سایشی را بر تجهیزات مورد استفاده در حفاری دارد.
4. برخلاف افزایش‌های باریت، هایدنس و گالنا این افزایش (میکرومکس) دارای خاصیت ردیابی در حین عملیات سیمانکاری و حفاری می‌باشد.
5. برخلاف تمامی وزن‌افزاها، ته‌نشینی ذرات جامد در دوغاب‌های میکرومکسی صورت نمی‌گیرد.
6. قابلیت پیش مخلوط شدن با آب، یکی دیگر از مزایای میکرومکس است که امکان تغییر درصد آن را در Solution فراهم می‌آورد (در صورت تغییرات ناگهانی در وضعیت چاه، لحظاتی قبل از عملیات سیمانکاری قادر به تغییر درصد استفاده از این افزایش می‌باشیم).
7. میکرومکس در قیاس با دیگر وزن‌افزاهای موجود، باعث فراهم‌سازی ساختار همگن‌تر و در نتیجه آن افزایش مقاومت تراکمی سنگ سیمان می‌گردد.

- 1- Johnston N.C. and Senese M.: “New Approach to High-Density Cement Slurries for Cementing High-Pressure, High- Temperature Wells”. SPE 24976 was prepared for presentation at the European Petroleum Conference held in Cannes, France, 16-18 November 1992.
- 2- Prisca Salim & Mahmood Amani: “SPECIAL CONSIDERATIONS IN CEMENTING HIGH PRESSURE HIGH TEMPERATURE WELLS”. International Journal of Engineering and Applied Sciences, January 2013.
- 3- Nelson E.B. and Guillot D.: “Well Cementing” 2nd edition, 2006”
- 4- Frittella F., Babbo M.and Muffo A.I.: “Best Practices and Lesson Learned From 15 Years of Experience of Cementing HPHT Wells in Italy”. SPE/IADC 125175 was prepared for presentation at the SPE/IADC Middle East Drilling Technology Conference & Exhibition held in Manama, Bahrain, 26-28 October 2009.
- 5- H. Soltanian , A. R. Mortazavi & M. J. Mojtahedi : “Fundamentals of Cementing Engineering in Oil and Gas Wells” 1st edition, 2011.
- 6- MicroMax, Technical Data Sheet, Dana Oil Services.
- 7- MicroMax, Technical Data Sheet, Elkem.