

## شناسایی مواد سبک‌کننده‌ی دوغاب سیمان چاه‌های نفت و گاز و بررسی خواص آنها

حمیدرضا همتی‌نیک<sup>\*</sup>، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دماوند

## چکیده

در این مطالعه با انتخاب سیمان‌های رایج کلاس A و D و نیز سیمان کلاس G اثر افزودنی‌های سبک‌کننده‌ی سیمان با درصدهای وزنی مختلف و در حضور سایر افزودنی‌های مورد نیاز برای سازگاری دوغاب با شرایط طراحی چاه‌های نفت و گاز ایران آزمایش‌هایی برای سبک‌سازی دوغاب و اندازه‌گیری مقاومت فشاری ۲۴ ساعته و زمان نیم‌بندش و آب آزاد دوغاب سیمان انجام شد. با به‌کارگیری بنتونایت، گیلسونایت، میکروبلاک، میکروسیلیکا، LW6 و D124 علاوه بر امکان ساخت دوغاب در محدوده‌ی وزنی ۹۰-۱۱۰ Pcf به‌عنوان سیمان‌های سبک، ساخت دوغاب‌های سبک‌تر در محدوده‌ی ۷۰-۹۰ Pcf نیز در شرایط دما و فشار چاه‌های ایران قابل‌انجام است. دوغاب فوق‌العاده سبک (۷۰ Pcf) با استفاده از میکروبلاک و سیمان کلاس G در دمای ۳۲°C و فشار ۲۲۵psi و مقاومت فشاری ۵۶۶psi را کسب کرده که با استفاده از میکروسیلیکا تا ۶۵۰psi هم قابل‌افزایش است. همچنین جهت بهبود مقاومت سنگ سیمان، روش بهینه‌سازی دانه‌بندی مواد جامد به‌صورت غیرمستقیم با استفاده از میکروسیلیکا به‌عنوان مواد افزودنی سبک‌کننده‌ی ریزدانه انجام شد. این ترکیب ضمن ایجاد مقاومت بیشتر، با کاهش نفوذپذیری، دست‌یابی به مقاومت در برابر خوردگی بیشتری را نیز امکان‌پذیر می‌کند. هدف این مطالعه بررسی خواص مواد سبک‌کننده و تأثیر آن بر رفتار دوغاب با اندازه‌گیری مقاومت و زمان بندش و استفاده از موادی برای کاهش نسبت آب به سیمان در دوغاب است. بنابراین در مطالعه‌ی حاضر شناسایی مواد اولیه و تأثیر آنها بر رفتار دوغاب و سنگ سیمان حاصل از سیمان‌های سبک مورد نظر است.

## اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۰۲/۰۵

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۰۲/۱۲

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۶/۲۷

## واژگان کلیدی:

مقاومت سنگ سیمان، افزودنی‌های سبک، بنتونایت، میکروبلاک، گیلسونایت

## مقدمه

نوع سیمان و سه نوع افزودنی را تجربه کرد و پس از آن سایر شرکت‌های اسیدکاری و سیمان‌کاری نظیر داول، بی‌جی و ... به‌عنوان رقیب تولید ارائه‌ی سیمان و افزودنی وارد عرصه شدند [۳].

در ۱۹۸۳ چند نوع سیمان و بیش از چهل نوع افزودنی در صنعت نفت رایج شد. از این سال به بعد علاوه بر احداث کارخانه‌های سازنده‌ی تجهیزات سیمان‌کاری و وسایل آزمایشگاهی و واحدهای تحقیق و توسعه، انجام آزمایش‌های سیمان و روش‌های طراحی و ارزیابی دوغاب پس از راندن برای چاه‌ها در آزمایشگاه رایج گردید. همچنین انجام آزمایش پایلوت سرچاهی برای حصول نتایج بهتر در سر چاه مرسوم شد [۲].

امروزه با توجه به هزینه‌ی زیاد چاه‌های نفت و گاز و افزایش عمق چاه‌ها و شرایط دما و فشار در اعماق زیاد نیاز به استفاده از انواع افزودنی‌ها و سیمان‌های متنوع بر حسب عمق و حرارت چاه است. همچنین با توجه به وزن لوله‌های جداری به تناسب ضخامت برای تحمل فشارهای متفاوت باید روش‌هایی برای کاهش وزن لوله و سیمان همراه آن که از سطح یا انتهای لوله‌های جداری قبلی آویزان می‌شوند طراحی گردد. در حال حاضر علاوه بر استفاده از نرم‌افزارهایی برای طراحی دوغاب‌های متناسب با شرایط چاه در آزمایشگاه‌ها سعی بر ساخت دوغاب‌های متنوع در شرایط دما و فشار و سایر عوامل مؤثر درون چاه است.

امروزه تنها به‌کارگیری روش‌های بهینه برای راندن دوغاب به چاه‌های نفت کافی نیست و باید برای جداسازی منطقه‌ای طبقات زمین در

سیمان‌کاری چاه‌های نفت و گاز به‌عنوان تکمیل یک مرحله‌ی حفاری و آماده‌سازی چاه برای حفاری بخش‌های بعدی یا آماده‌سازی چاه برای آزمایش و در نهایت نصب تجهیزات تولید در اعماق و شرایط زمین‌شناسی روش‌های متنوعی دارد. از زمانی که در ۱۹۰۳ بشر نخستین چاه نفت را سیمان‌کاری کرد بیش از یک قرن می‌گذرد. طی این مدت با افزایش عمق چاه باید جداری چاه را پوشاند و سیمان‌کاری کرد. برای رفع این نیاز، روش‌های گوناگون و دستگاه‌های مختلف و مواد شیمیایی متنوعی به‌عنوان افزودنی سیمان به‌کاربرده می‌شود. با گذشت زمان این روش‌ها تغییر کرده و به‌تدریج تکامل یافته‌اند. اما انگیزه‌ها همچنان به‌قوت خود باقی مانده‌اند [۱]. اولین مورد استفاده از سیمان‌کاری در چاه‌های نفت به ۱۹۰۳ برمی‌گردد که شرکت نفت Union جهت مهار لایه‌ای حاوی آب، دوغاب حاصل از پنجاه پاکت سیمان را به درون یکی از چاه‌های کالیفرنیا فرستاد و پس از ۲۸ روز انتظار برای بندش سیمان، حفاری جهت رسیدن به لایه نفتی پایین‌تر ادامه یافت [۲]. روش سیمان‌کاری دوتوپیکی در ۱۹۱۰ توسط پرکینز در کالیفرنیا معرفی گردید. توپک‌های با قالب آهنی و حاوی مواد خم‌شونده برای جداسازی گل از لوله‌ی جداری بودند. در این روش توپک بالا توسط فشار بخار رانده می‌شد و هنگامی که توپک بالا به ته چاه می‌رسید در نتیجه‌ی افزایش فشار، پمپ بخار خاموش می‌شد. در ۱۹۲۰ فردی به‌نام هالیبرتون در اوکلاهاما سیمان‌کاری را معرفی کرد و تا ده سال بعد تنها یک نوع سیمان بدون هیچ‌گونه افزودنی استفاده می‌شد. در ۱۹۴۰ شرکت نفت هالیبرتون دو

\* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (hemmatihamidreza89@yahoo.com)

مناسب‌ترین ترکیب و مقدار مصرف مواد برای رسیدن به یک وزن دوغاب دلخواه در آزمایشگاه می‌توان آزمایش مربوطه را با بیش از دو ماده‌ی آزمایشی در مقادیر مختلف انجام داد. این به معنی تغییر درصد‌های وزنی مختلف مواد و بررسی اثر آن بر خواص دوغاب است. برای تعیین خواص و مقایسه‌ی کیفیت دوغاب حاصله سعی شده شرایط واقعی چاه‌های نفت و گاز ایران به‌عنوان معیار در نظر گرفته شده و خواص دوغاب جدید با مصرف ماده‌ی مورد نظر در این شرایط با سایر مواد و افزودنی‌ها مقایسه شود. در نهایت هدف آزمایش جستجوی بهترین گزینه‌های مواد اولیه و مقدار مناسب مصرف این مواد یا تعیین برتری دوغاب تهیه شده نسبت به مواد مصرفی متداول یا تعیین رفتار ماده در دوغاب و سنگ سیمان حاصله به صورت عام است. در این مطالعه طی انجام آزمایش‌هایی برای کاهش و حذف خطاهای باقیمانده سعی شده از طریق تکرار در مقاطع مختلف زمانی، صحت آزمایش کنترل گردد تا به نوعی خطای قرائت، ثبت و توزین نیز کنترل شوند. انتخاب دما و فشار منطبق با شرایط چاه برای انجام آزمایش روی نمونه‌ها از لحاظ تمایل بر کاربردی کردن نتایج آزمایش‌ها و دوری از انجام آزمایش‌های صرفاً مطالعاتی انجام شده است. بدین ترتیب در صورت موفقیت آزمایش‌ها می‌توان پیشنهاد‌های عملی جهت کاربرد را به‌عنوان نتیجه‌ی این مطالعه به صنعت ارائه کرد.

## ۲-۱- انتخاب متغیرهای آزمایش

برای تعیین رفتار مواد سبک‌کننده، تعیین کلاس سیمان، نسبت آب به سیمان و درصد وزنی ماده‌ی مورد نظر، نوع آب مصرفی و املاح موجود در آن، دما و فشار آزمایش و نیز حضور سایر افزودنی‌ها برای طراحی دوغاب مناسب شرایط چاه ضروری است. کلاس‌های سیمان متناسب با تغییر عمق و دمای چاه تغییر می‌کنند و نیز نوعاً به دلیل دسترسی به کلاسی خاص برای سیمان شرایط ایجاب می‌کند که از کلاس سیمان غیرمرتبط با عمق مورد نظر استفاده شود. در این موارد سعی می‌شود که خواص سیمان با استفاده از بعضی افزودنی‌ها با شرایط مورد نظر سازگار گردد. به دلیل تنوع متغیرهای مورد آزمایش و تعداد آزمایش‌های مورد نیاز و با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود، جهت رسیدن به الگویی توصیفی رفتار مواد سبک‌کننده‌ی دوغاب‌های سیمان سعی شده رفتار ماده در کلاس‌های مختلف سیمان با تغییرات دما و نیز تغییر افزودنی‌های دیگر در شرایط موجود چاه‌های ایران آزمایش شود. در این آزمایش‌ها هدف اولیه دستیابی به حداقل مقاومت قابل قبول یا زمان نیم‌بندش عملیاتی برای دوغاب‌های حاصل است. جهت تعیین محدوده‌ی کاربردی ماده‌ی سبک‌کننده در اعماق مختلف باید از یک کلاس سیمان پایه استفاده کرد یا با توجه به تغییر عمق و دما، سیمان متناسب با آن محدوده را به کار برد.

با در نظر گرفتن روند افزایش مقاومت فشاری با دما و محدودیت زمانی اندازه‌گیری مقاومت فشاری، مقاومت فشاری ۲۴ ساعته به‌عنوان مبنای

درازمدت که در طول عمر چاه اثر زیادی دارد از قن‌آوری جدید بهینه‌سازی ساخت و نشانیدن دوغاب به‌طور همزمان و هماهنگ استفاده کرد. از آنجا که چاه سیمان شده بدون نشستی می‌تواند هدایت درست سیال از مخزن به سطح را انجام دهد. انجام سیمان کاری با کیفیت مناسب در هر چاهی ضروری است. کیفیت سیمان کاری تعیین‌کننده‌ی مدت پایداری چاه است و نیز نشان می‌دهد که چاه چه مدت می‌تواند مولد و بدون نیاز به تعمیر باقی بماند. علاوه بر مسأله‌ی ایمنی و کاهش هزینه، مسائل زیست‌محیطی مربوط به مواد شیمیایی نیز با سیمان کاری مرتبط است که حفاظت سفره‌ی آبها در حین و پس از حفاری از جمله‌ی آنهاست [۳]. از آنجا که حفاری نتیجه‌ی ماه‌ها تلاش پرهزینه شامل جمع‌آوری داده‌های لرزه‌ای و طراحی چاه است، موفقیت سیمان کاری چاه نیز اهمیت زیادی دارد [۴].

## ۱- آزمایش اثر افزودنی‌های سبک‌کننده بر خواص دوغاب و سنگ سیمان

### ۱-۱- کلیات

سؤال نخست این مطالعه آنست که آیا مصرف ماده‌ی سبک‌کننده موجب بهبود خواص مورد نظر در خصوص رفتار سیمان در عملیات سیمان کاری می‌شود یا خیر؟ پاسخ به این پرسش نیازمند انجام آزمایشی است که در آن دو عضو حاوی ماده‌ی مورد نظر و فاقد ماده‌ی افزوده شده با هم مقایسه شوند. همچنین می‌توان اثر متقابل افزودن ماده را روی کلاس‌های مختلف سیمان سنجید تا نتیجه‌ی آن منحصر به یک کلاس و تنها در تقابل با یک ترکیب شیمیایی نباشد. و درجه‌ی دقت این آزمایش‌ها بیشتر از آزمایش‌های جدا از هم است. همچنین برای تعیین

۱ | نتایج مقاومت فشاری و زمان بندش دوغاب‌های حاوی بتونایت  
کلاس‌های مختلف سیمان

مقاومت ۲۴ ساعته Psi	بندش Min	فشار Mpa	دما °C	کلاس سیمان	وزن دوغاب PCF
۴۵۰	۲۲۰	۳۰/۷۳	۷۱	D	۸۰
۶۵۰	۲۴۰	۴۶/۵۵	۱۲۱	D	۸۰
۸۰۰	۲۴۰	۴۰	۸۷	D	۹۰
۶۰۰	۹۰	۷۰/۳۴	۱۱۸	D	۹۰
۱۰۵۰	۳۰۰	۵۷/۲۴	۱۳۵	E	۹۵
۱۰۰۰	۲۸۰	۵۷/۲۴	۱۳۵	D	۹۵
۸۰۰	۳۶۰	۱۶/۵	۶۰	D	۹۵
۶۰۰	۲۵۸	۱۶/۵	۶۰	A	۹۵
-	۲۵۸	۱۳/۰۲	۴۹	A	۹۵
۷۰۰	۲۱۷	۴۸/۲۷	۸۵	D	۹۵
۸۰۰	۲۵۰	۲۵/۹	۷۶	D	۹۵
۹۰۰	۲۱۷	۴۶/۷۷	۱۰۵	D	۹۵
۸۵۰	۲۱۵	۷۴/۱۷	۱۴۳	E	۱۰۰
۱۰۰۰	۱۸۰	۲/۰۴	۳۲	A	۱۱۵
۱۵۰۰	۱۸۰	۱/۵۵	۳۰	A	۱۱۵
۲۴۰۰	۲۶۰	۲۵/۹۳	۷۶	D	۱۱۵

ضمن اینکه از لحاظ رایج بودن سیمان کلاس G در حفاری چاه‌های دریایی، نتایج این ماده برای شرایط مشابه چاه‌ها قابل مطالعه و انتخاب است. انتخاب دمای آزمایش‌ها جهت بررسی انعطاف‌پذیری کاربرد ماده‌ی سبک‌کننده بر اساس کلاس سیمان مورد استفاده انجام شده است. گرچه در برخی موارد سیمان کلاس D در اعماق کم و به‌جای سیمان کلاس A نیز مصرف شده است. نظر به اینکه نتایج در دسترس مربوط به افزودنی‌ها بیشتر در چند محدوده‌ی دمای خاصی و در فشار اتمسفر توسط شرکت‌های سیمان‌کاری نظیر هالیبرتون گزارش شده جهت انتخاب ماده‌ی مناسب جهت استفاده در ایران، شرایط آزمایش طبق شرایط چاه‌های کشور تنظیم شده است. همچنین با توجه به نتایج موفق دوغاب‌های بهینه‌سازی شده توسط انتخاب ابعاد ذرات جامد دوغاب، برای دو نوع ماده‌ی جامد سبک و آب‌خواه، به‌جای مطالعه‌ی اثر استفاده از مواد ریزدانه‌ی آب‌خواه، آزمایش‌هایی جهت کاهش وزن دوغاب در نظر گرفته شده است.

### ۱-۳- نتیجه‌ی استفاده از دوغاب حاوی پومیس و لیکا

برای ساخت دوغاب سبک به وزن ۱/۱۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب درصدهای وزنی سیمان اندازه‌گیری شد. پومیس و لیکا ابتدا آسیاب و سپس از الک ۳۰ مش عبور داده شد [۵]. در مرحله‌ی بعد مواد خرد شده از الک ۵۰ و ۱۰۰ مش عبور داده شدند که پودر حاصله نیز در دوغاب به وزن ۸۲pcf ضمن رسوب شدید موجب کاهش گرانی و ته‌نشست زیاد شد [۶]. از آنجا که دوغاب‌های ساخته شده با این مواد هیچ‌کدام از نظر خواص اولیه‌ی دوغاب نظیر یکنواختی ذرات در آن، عدم ته‌نشست و نیز کاهش وزن با افزودن مواد، دوغاب مناسبی نبودند، با توجه به ترکیب مواد و نیز عدم دسترسی به ماده‌ای یکنواخت چه در معدن و چه در کارخانه، ادامه‌ی آزمایش‌ها برای تعیین مقاومت و بندش دوغاب‌های حاصل متوقف شد.

### ۱-۴- دوغاب حاوی دیاتومه

عملکرد دیاتومه و بنتونایت در بسیاری از موارد شبیه به هم است اما به‌دلیل در دسترس بودن بنتونایت به‌صورت انبوه، استفاده از آن بر دیاتومه مقدم است. اگرچه دیاتومه به‌عنوان عامل کاهش وزن معرفی می‌شود اما کاهش استحکام سنگ سیمان را به‌همراه خواهد داشت که رفع این مشکل، نیازمند مواد افزودنی دیگر یا حذف آن به‌عنوان ماده‌ی سبک‌کننده است. جهت رفع مشکل استحکام، به‌دلیل نزدیکی خواص دیاتومه با بنتونایت، اثر افزودنی‌های دیگر به‌همراه بنتونایت آزمایش شد که نتایج آن در ادامه ارائه گردیده است.

### ۱-۵- بررسی اثر بنتونایت

وزن دوغاب خالص سیمان کلاس D بدون بنتونایت را می‌توان با افزودن

مقایسه‌ی مقاومت فشاری و نفوذپذیری برای کلاس‌های مختلف سیمان انتخاب گردید. مطالعه‌ی آزمایشگاهی مواد سبک‌کننده در مرحله‌ی اول با تأکید بر رسیدن به وزن دوغاب در محدوده‌ی ۹۰-۱۱۰pcf و سپس ساخت دوغاب‌های سبک‌تر از ۹۰pcf انجام شد تا اثر ماده در کاهش وزن دوغاب و ایجاد دوغابی با رئولوژی و آب آزاد مناسب مشخص شود و در صورت رسیدن به نتایج مناسب، دوغاب با وزن مورد نظر در شرایط دما و فشار چاه برای اندازه‌گیری زمان نیم‌بندش و مقاومت فشاری تحت آزمایش قرار گیرد. برای انتخاب محدوده‌ی دمای و فشاری آزمایش‌ها پس از مطالعه‌ی نتایج آزمایشگاهی بنتونایت و گیلسونایت در فشار ثابت ۳۰۰۰psi و دمای متغیر متناسب با کلاس سیمان سعی شد محدوده‌ی تغییرات دمای و فشاری برای استفاده از بنتونایت و گیلسونایت همان محدوده‌ی شرایط چاه‌های نفت و گاز کشور باشد تا نتایج آزمایشگاهی بنتونایت و گیلسونایت با آب منطقه و در شرایط دماهای خارج از محدوده‌ی آزمایش‌های قبلی بررسی شود. سبک‌سازی دوغاب بنتونایتی تا وزن ۸۰pcf انجام شده و تأثیر هم‌زمان دو یا چند افزودنی و اثر آب منطقه روی خواص دوغاب نیز آزمایش شده است.

جهت بررسی اثر میکروبولاک آزمایش‌ها با سیمان کلاس G انجام شد تا ضمن حذف اثر تداخلی احتمالی سایر افزودنی‌ها تأثیر ماده بر متغیرهای زمان نیم‌بندش، مقاومت فشاری و آب آزاد مشخص شود. شرایط آزمایش دوغاب‌های حاوی میکروبولاک مشابه شرایط دوغاب‌های بنتونایتی و گیلسونایتی انتخاب گردید تا ضمن مطالعه‌ی اثر ماده‌ی سبک‌کننده، امکان مقایسه و مزیت نسبی میکروبولاک بر متغیرهای اصلی رفتار دوغاب اندازه‌گیری شود. کلاس سیمان‌های استفاده شده در آزمایش، از انواع متفاوت بوده و مقایسه‌ی نتایج آنها به‌صورت مستقیم چندان منطقی نیست. اما برای تولید دوغابی با مقاومت زیاد می‌توان از نتایج این آزمایش‌ها بهره برد.

۲ | اثر بنتونایت بر مقاومت فشاری سیمان کلاس D، دمای ۱۴۰°F [۷]

درصد بنتونایت	۸	۶	۴	۲	۰
مقاومت ۲۴ ساعته Psi	۷۵۰	۷۰۰	۹۰۰	۱۰۵۰	-
مقاومت ۴۸ ساعته Psi	۱۰۰۰	۱۰۰۰	۱۵۰۰	۲۰۰۰	۲۷۳۰
مقاومت ۷۲ ساعته Psi	۱۰۶۸	۱۰۹۹	۱۷۱۰	۲۱۹۰	-

۳ | تأثیر بنتونایت بر زمان نیم‌بندش و مقاومت فشاری دوغاب حاوی میکروسیلیکا در فشار ۲۵۰۰ psi و دمای ۱۷۶°F

بنتونایت gr	وزن (PCF)	آب آزاد (CC)	کلرو کلسیم gr	مقاومت فشاری (PSI)	میکروسیلیکا gr	گیلسونایت gr	آب CC	سیمان کلاس A
۱۰	۲۲۰	۸۰	۴۰	۵۶۱	۴۰۰	۵۰	۲۷۴۰	۱۰۰۰
-	۲۱۶	۷۹/۵	۴۰	۵۸۴	۴۰۰	۵۰	۲۷۴۰	۱۰۰۰

دوغاب ضروری است. ماده‌ی رایج صنعت تا کنون بنتونایت بوده است. همراهی بنتونایت، گیلسونایت و میکروسیلیکا جهت ایجاد دوغابی با پراکندگی یکنواخت و بدون جدایش گیلسونایت هم از نظر بندش و هم از نظر مقاومت تراکمی و آب آزاد نتایج خوبی به همراه داشته است. جهت کاهش وزن دوغاب با گیلسونایت، به همراه مواد جامد سبک دیگر برای وزن ۱/۲۸ گرم بر سانتی مترمکعب آزمایش‌هایی انجام شد که نتایج آن به صورت خلاصه در جدول ۴-۴ ارائه شده است.

#### ۱-۷- بررسی اثر LW6 و میکروسیلیکا

آخرین فن آوری ساخت دوغاب‌های با نفوذپذیری کم استفاده از دانه‌بندی بهینه شده‌ی ذرات دوغاب برای کاهش فضای خالی بین ذرات است [۹]. استفاده از دانه‌های با تنوع ابعاد ذرات در دوغاب سیمان باعث ایجاد بافتی مستحکم و با تخلخل کمتر خواهد شد که در برابر نفوذ سیالات مقاوم است و محصول آن دوام بیشتری دارد. با استفاده از ماده‌ای بسیار دانه‌ریز نظیر میکروسیلیکا می‌توان فضای بین دانه‌های سیمان و LW6 را پر کرد و نفوذپذیری و تخلخل سنگ سیمان حاصل را کاهش داد. مقدار کاهش نفوذپذیری در آزمایشگاه با اندازه‌گیری مقاومت فشاری سیمان‌های حاصل و نیز در صورت امکان اندازه‌گیری نفوذپذیری روی مغزه‌ی سنگ سیمان در آزمایشگاه قابل مطالعه است.

#### ۲- بررسی و تحلیل نتایج آزمایش‌ها

##### ۱-۲- کلیات

راندن دوغابی با خواص مناسب هم از نظر اجرای عملیات و هم از نظر استحکام مناسب در درازمدت برای کاهش هزینه‌ی تعمیرات و عمر مفید لوله‌ها و چاه ضروری است. راندن دوغاب با مقاومت اولیه‌ی زیاد، نتایج موقت و عملیاتی خوبی دارد اما هزینه‌های اجرا نیز باید در انتخاب دوغاب مناسب چاه در نظر گرفته شود و قیمت افزودنی‌ها جهت کاهش هزینه‌های حفاری برای تولید دراز مدت چاه بررسی شود. دما، فشار، کلاس سیمان و افزودنی‌های سیمان از عوامل مؤثر بر زمان بندش هستند که دما و فشار توسط چاه دیکته می‌شوند و تنظیم نسبت آب به سیمان و انتخاب کلاس با توجه به عمق و امکان تهیه و دسترسی افزودنی‌های سیمان قابل کنترل هستند و متناسب با زمان پمپاژ دوغاب

بنتونایت ۸-۳ درصد وزنی سیمان، از ۲ به ۱/۶ گرم بر سانتی مترمکعب کاهش داد. استفاده‌ی بیش از ۸ درصد به دلیل افزایش گرانش دوغاب، نیازمند رقیق کننده است و نیز با توجه به روند کاهش مقاومت فشاری در دوغاب‌های سبک‌تر، مقاومت فشاری مناسبی حاصل نمی‌شود. ضمن آنکه این دوغاب‌ها در درازمدت سنگ سیمان مناسب و مستحکمی نخواهند داشت. برای مطالعه‌ی دقیق‌تر تأثیر افزودنی‌های دیگر سیمان و به کارگیری نتایج اثر بنتونایت جهت کاهش وزن دوغاب‌ها، در قسمت بعدی این دوغاب‌ها با اثر میکروبلاک در شرایط چاه‌های ایران مقایسه شده‌اند. افزودن بنتونایت به دوغاب در کاهش و افزایش زمان بندش در دماهای مختلف رفتار متفاوتی دارد. به طوری که در بعضی دماها افزودن بنتونایت به دوغاب باعث کاهش زمان بندش و در بعضی دماها باعث افزایش زمان بندش می‌شود و گاهی با درصد‌های وزنی مختلف، تغییرات زمان بندش مشاهده می‌شود در جدول ۱-۱ اثر این تغییرات به‌طور خلاصه قابل مشاهده خواهد بود.

با توجه به جدول ۳-۳ افزودن ۱۰ گرم بنتونایت به دوغاب باعث کاهش مقاومت فشاری و افزایش زمان بندش می‌گردد.

#### ۱-۶- اثر گیلسونایت بر خواص دوغاب

گیلسونایت به‌عنوان ماده‌ای سبک وزن برای کاهش وزن دوغاب مفید است. هرچند با افزایش مصرف گیلسونایت وزن دوغاب کاهش می‌یابد اما برای مصرف بیش از ۲۶ درصد اختلاط آن با سیمان و آب، موجب جدایش ذرات و شناوری قسمتی از ذرات روی سطح دوغاب می‌گردد [۸]. از این رو استفاده از مواد افزودنی دیگر برای معلق نگه‌داشتن آن در

مقاومت ۲۴ ساعته Psi	بندش Min	فشار Mpa	دما °C	کلاس سیمان	وزن دوغاب PCF
۶۰۰	۲۳۵	۵۲/۷۵	۱۱۰	E	۸۰
۶۵۰	۲۲۰	۴۶/۵۵	۱۲۱	D	۸۰
۴۵۰	۲۲۰	۳۰/۷۳	۷۱	D	۸۰
۴۰۰	۲۵۶	۱۳/۹	۴۶	A	۸۰
۵۶۰	۲۷۵	۱/۹۸	۶۰	A	۸۰
۶۵۰	۵۶۰	۱/۹۸	۶۰	A	۸۰
۵۶۱	۲۲۰	۱۷/۲۴	۸۰	A	۸۰
۵۲۲	۲۴۳	۳۲/۴۱۹	۱۰۲	D	۸۰
۵۶۲	۱۲۴	۴۲/۷۵	۱۴۲	D	۸۱
۵۱۷	۹۵	۵۱	۱۶۵	D	۸۰/۵
۶۲۸	۲۳۵	۱۱/۹۶	۷۲	A	۸۰
۹۰۰	۲۱۷	۴۶/۷۷	۱۰۵	D	۹۵
۸۵۰	۲۱۵	۷۴/۱۷	۱۴۳	E	۱۰۰
۱۰۰۰	۱۸۰	۲/۰۴	۳۲	A	۱۱۵
۱۵۰۰	۱۸۰	۱/۵۵	۳۰	A	۱۱۵
۲۴۰۰	۲۶۰	۲۵/۹۳	۷۶	D	۱۱۵

#### ۵- اثر بنتونایت و میکروسیلیکا بر آب آزاد سیمان کلاس D در فشار

دمای °F ۲۱۶ ، ۴۷۰ psi

بنتونایت gr	میکروسیلیکا gr	وزن (PCF)	آب آزاد (CC)	کلرور کلسیم gr	بنتونایت gr	آب cc	سیمان کلاس D
-	۳۰۰	۸۰	۲۲	۳۰۰	-	۲۶۰۰	۱۰۰۰
۲۰	۴۰۰	۸۰	۰	۱۰۰	۲۰	۲۶۰۰	۱۰۰۰
۳۰	۴۰۰	۸۰/۵	۷	۱۰۰	۳۰	۲۶۰۰	۱۰۰۰

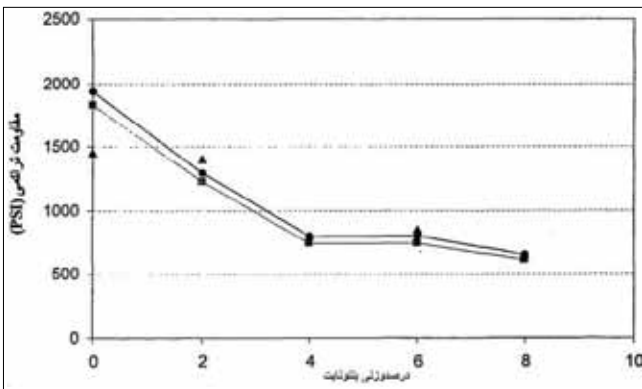
و این جدایش آب باعث اتصال سیمان به سازند و لوله‌ی جداری و کاهش فاصله بین جداری و دیواره‌ی چاه می‌شود که مشکلاتی را برای سیمان کاری بوجود می‌آورد. افزایش غلظت در اثر جدایش آب نیز مشکلاتی برای پمپاژ به‌همراه دارد. از این‌رو ساخت دوغاب با موادی که ضمن حفظ آب، گرانیوی مناسب داشته باشند ضروری است. افزودن مواد جامد بیشتر ضمن حفظ گرانیوی مناسب به‌نوعی WCR را کاهش می‌دهد که می‌تواند افزایش مقاومت فشاری را به‌دنبال داشته باشد. این موضوع گاه کاهش WCR به‌صورت خطی و افزایش لگاریتمی مقاومت فشاری را به‌همراه دارد.

### ۲-۲- اثر بنتونایت بر خواص دوغاب

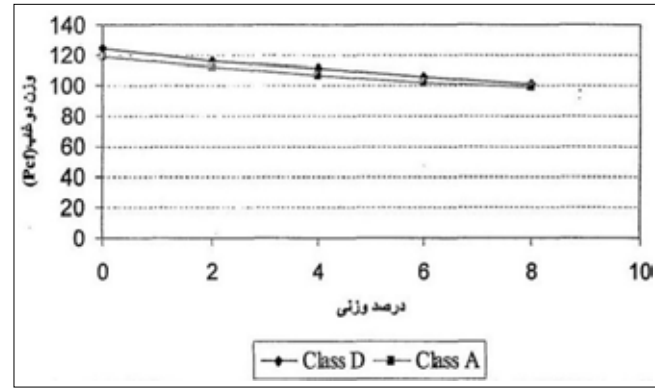
کاهش وزن دوغاب از طریق افزودن بنتونایت به دوغاب موجب نفوذپذیری بیشتر سنگ سیمان و تضعیف سیمان در برابر حملات آبهای سولفاته می‌شود [۱۰]. کاهش مقاومت فشاری در اثر افزایش مصرف بنتونایت در دوغاب اثر غیرمستقیمی بر افزایش نفوذپذیری دارد. با افزایش بنتونایت، مقاومت فشاری سنگ سیمان حاوی بنتونایت کاهش می‌یابد اما در دمای بیشتر و با گذشت زمان، افزایش مقاومت قابل مشاهده است (شکل-۱). به‌دلیل افزایش نسبت آب به سیمان، از لحاظ ماهیت آب‌خواهی بنتونایت، جدایش آب دوغاب چه به‌صورت آزاد

سیمان، دما و فشار چاه انتخاب می‌شوند. به‌علاوه از آنجا که در اعماق بیشتر اغلب قطر حفاری و لوله‌ی جداری کاهش یافته و فاصله‌ی بین جداری و دیواره‌ی چاه برای سیمان کاری ناچیز است دوغابی با رئولوژی مناسب برای افزایش کیفیت سیمان کاری اهمیت زیادی دارد.

برای معرفی اثر میکروبلاک بر افزایش مقاومت، از سیمان کلاس G که مقاومت حد واسط تمام کلاس‌ها را دارد استفاده شده تا علاوه بر اعماق سطحی، در اعماق زیاد نیز اثر ماده مشخص شود. بنابراین با توجه به رایج بودن سیمان G در سکوها نتایج آزمایش میکروبلاک پس از آزمایش آب مورد استفاده در دوغاب برای حفاری دریایی می‌تواند در انتخاب سیمان سبک مناسب باشد. آلودگی دوغاب و گل، نسبت زیاد آب به سیمان و تبلور کانی‌های سیمان از جمله عوامل کاهش استحکام سنگ سیمان هستند. رفع آلودگی دوغاب و گل حفاری باید در هنگام عملیات انجام شود. اگر برای ساخت دوغاب مجبور به استفاده از WCR زیاد باشیم باید آرایش جامد دانه‌های دوغاب طوری تنظیم شود که ضعف ناشی از نفوذپذیری بیش از حد در تبلور کانی‌های سیمان را به‌نوعی برطرف شود. کسب مقاومت فشاری بیشتر با مواد سبک‌کننده‌ی جدید می‌تواند اثرات کاهش مقاومت در کوتاه‌مدت و درازمدت به‌دلیل استفاده از افزودنی‌های دیگر در دوغاب را کاهش دهد. دوغاب سیمان در مجاورت سازندهای نفوذپذیر مقداری از آب خود را از دست می‌دهد



شکل ۱ | ۲ | اثر بنتونایت بر مقاومت فشاری سیمان در دماهای مختلف



شکل ۱ | ۱ | کاهش وزن دوغاب سیمان کلاس A و D با بنتونایت

شکل ۶ | ۶ | تأثیر میکروسیلیکا بر مقاومت تراکمی سیمان، لوله‌ی جداری "۳۰، دما ۳۲°C و فشار ۲۲۵psi

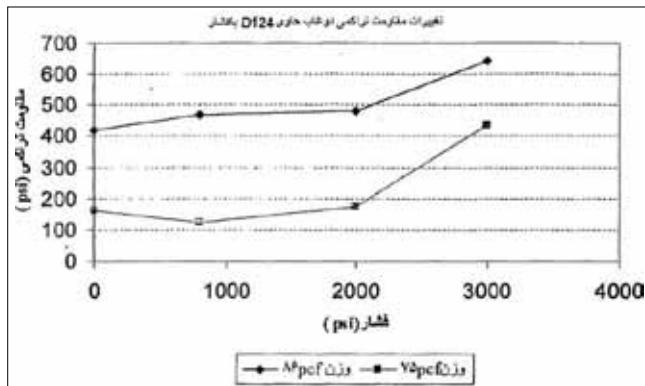
مقاومت ۲۴ ساعته psi	بندش min	آب آزاد cc	گیلسونایت gr	میکروبلاک cc	FL-19 gr	کلروکسیم gr	میکروسیلیکا gr	آب منطقه cc	سیمان مصرفی gr	کلاس سیمان	وزن دوغاب PCF
۴۵۰	۹۰	۱	-	۲۰	۲	۱۵	۸۰	۵۵۰	۳۰۰	A	۷۰
۶۵۰	۱۲۰	۰	-	۲۰	۲	۱۵	۸۰	۵۵۰	۳۰۰	G	۷۰
۳۶۰	۱۸۰	۰	-	۲۰	۲	۱۵	۸۰	۵۵۰	۳۰۰	D	۶۸
۵۶۶	۱۰۰	۰	-	-	۴	۱۵	۸۰	۵۵۰	۳۰۰	G	۷۰
۶۶۶	۱۴۰	۰	۳۰	۲۰	۲	۱۵	۸۰	۵۵۰	۳۰۰	G	۷۰

شتاب‌دهنده‌ی ایجاد مقاومت اولیه‌ی زیاد تهیه کرد.

میکروسیلیکا در درون سیمان و به‌عنوان عامل روان‌سازی LW6 و بهبود گرانی، مثل کره‌های بلبرینگ بین سایر ذرات، رئولوژی مناسبی را در دوغاب ایجاد می‌کند. میکرواسفرها در اثر افزایش فشار، مستعد شکست هستند که فروپاشی آنها تحت فشار، افزایش چگالی دوغاب را به‌دنبال دارد. بنابراین در محاسبات باید اثر افزایش وزن مخصوص تحت فشار آزمایش نیز مد نظر قرار گیرد.

#### ۴-۲- نتایج اثر گیلسونایت بر خواص دوغاب

در گروه مواد جامد سبک‌کننده، دوغاب گیلسونایتی به‌دلیل وزن مخصوص کم و کاهش نسبت آب به سیمان در کاهش وزن دوغاب عملکرد خوبی دارد و می‌توان وزن دوغاب را تا ۷۷pcf هم کاهش دهد. از طرفی برای ایجاد گرانی مناسب دوغاب، مقداری بنتونایت برای جلوگیری از شناوری دانه‌ها به‌همراه گیلسونایت استفاده می‌شود. در راستای بهبود خواص دوغاب‌های گیلسونایتی، استفاده از میکروسیلیکا در وزن ۸۰pcf نتایج خوبی داشته است. به‌دلیل یکنواختی توزیع ذرات، کاهش آب آزاد و مقاومت تراکمی مناسب، دوغاب‌های اصلاح‌شده‌ی گیلسونایتی نتایج بهتری در مقایسه با دوغاب‌های بنتونایتی دارند.

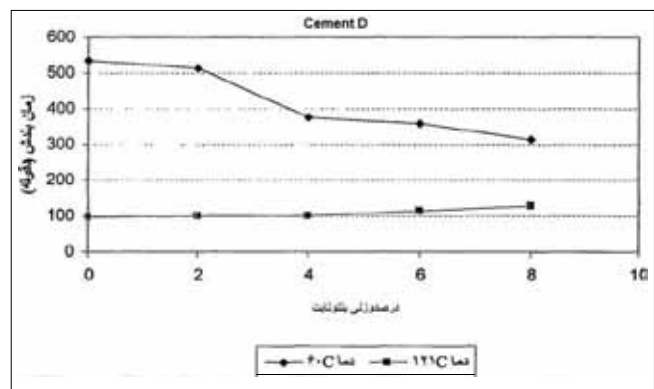


شکل ۵ | تغییرات مقاومت فشاری دوغاب حاوی D124

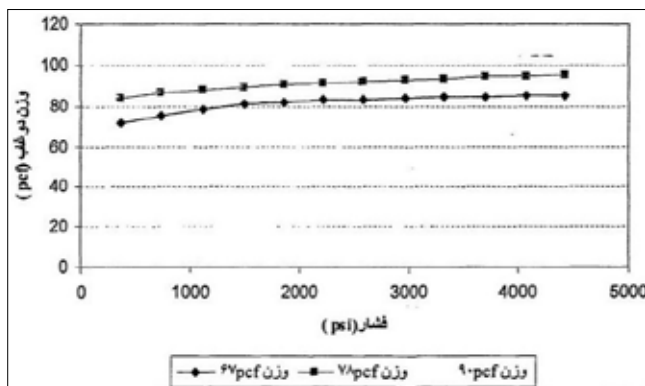
و چه در شرایط دما و فشار کاهش می‌یابد و بسته به دما، فشار و کلاس سیمان کاهش زمان نیم‌بندش توسط بنتونایت نیز اتفاق می‌افتد که در شکل ۱- دیده می‌شود.

#### ۳-۲- نتایج دوغاب حاوی LW6

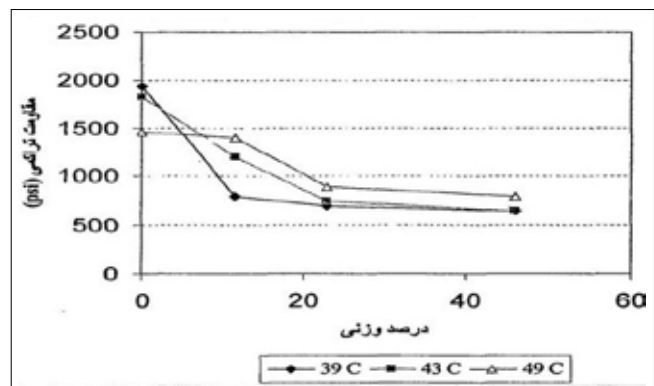
استفاده از کره‌های شیشه‌ای سبک‌تر از آب، نیازمند استفاده از ماده‌ای برای جلوگیری از شناور شدن ذرات است که این ماده‌ی مکمل به‌دلیل وزن مخصوص بیشتر، وزن را افزایش می‌دهد [۱۱]. همچنین به‌دلیل محدودیت استفاده از LW6 در فشار بیشتر از ۴۵۰۰psi مسلماً استفاده از آن به سیمان کاری لوله‌ی جداری سطحی و گذاشتن پلاگ و مهار هرزروی در دما و فشار کم محدود می‌شود و برای رسیدن به زمان بندش کوتاه در چاه‌های کم‌عمق، نیازمند ماده‌ی مکمل آن یعنی کلسیت است. با توجه به نتایج آزمایش‌ها و حصول حداقل مقاومت فشاری مقبول جهت ادامه‌ی حفاری برای ساخت دوغاب فوق‌العاده سبک وزن استفاده از این ماده به‌همراه درصد وزنی مشخص از سیمان زودبند ویژه امکان‌پذیر است و با استفاده از کلرید سدیم می‌توان محدوده‌ی زمان بندش آنرا در حد دلخواه تنظیم کرد. دوغاب‌های فوق‌العاده سبک جهت مهار هرزروی با مقاومت اولیه‌ی زیاد را می‌توان با LW6، D124، میکروسیلیکا و عامل



شکل ۳ | اثر بنتونایت بر زمان نیم‌بندش



شکل ۶ | افزایش وزن دوغاب در اثر شکست میکرواسفر



شکل ۴ | اثر بنتونایت بر مقاومت فشاری ۲۴ ساعته سیمان در فشار ۳۰۰۰ psi

سنگ بدون میکروسیلیکاست. با توجه به حداقل مقاومت فشاری قابل قبول برای عملیات حفاری و نتایج حاصل از دوغاب‌های حاوی بنتونایت و گیلسونایت که امکان ساخت آنها برای وزن کمتر از ۸۵pcf وجود نداشته، رسیدن به مقاومت تراکمی مطلوب با افزودن این ماده امکان پذیر شده که بهبودی در رکورد کاهش وزن با ماده‌ای جدید است. افزایش بنتونایت به دوغاب تا ۸ درصد وزنی سیمان، گرانی‌تری را افزایش می‌دهد و درصدهای بیشتر نیازمند رقیق کننده یا پراکنده ساز است. اما میکروسیلیکا را می‌توان با درصدهای وزنی بیشتر به کار برد و تنها مشکل، افزایش زمان نیم‌بندش دوغاب است که استفاده از ماده‌ای مکمل جهت بندش سیمان برای میکروسیلیکا نتایج میکروبلاک را به دنبال خواهد داشت. در حالت کلی اثر کاهش آب آزاد دوغاب توسط میکروسیلیکا شبیه بنتونایت است. افزودن میکروسیلیکا به بتن، خاصیت تراوایی و انتشار یونی را کاهش داده و بتنی مقاوم در برابر نفوذ مواد مضر (مانند کلر، سولفات، دی‌اکسید کربن، اسیدها) و در مجموع سیمان مقاوم در مقابل خوردگی حاصل می‌شود.

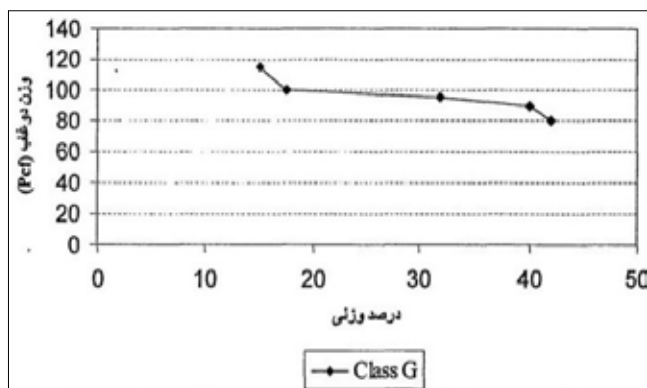
#### ۲-۶- بررسی اثر میکروبلاک بر خواص دوغاب سبک

در حضور مقادیر مساوی آب و سیمان و سایر افزودنی‌ها، ترکیب

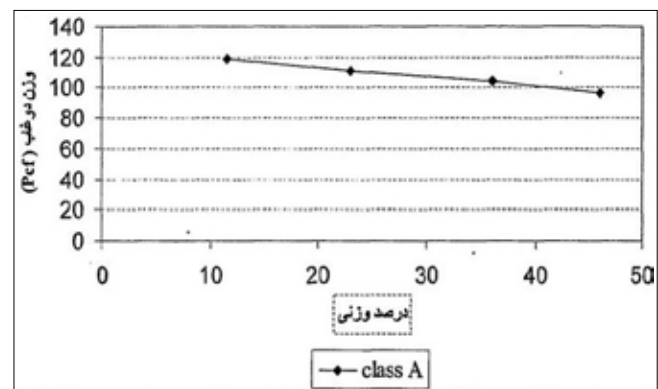
در شرایط چاه‌های ایران اکثر دوغاب‌های سبک با کلاس‌های مختلف سیمان حداقل مقاومت را در زمان مورد نظر کسب کرده‌اند. این امر در کنار آشنا بودن خواص گیلسونایت محدوددهی کاربرد این ماده را برای وزن کمتر از ۸۵pcf وسیع‌تر می‌کند. با توجه به نتایج با افزودن گیلسونایت وزن دوغاب کاهش می‌یابد (شکل-۵) و با افزایش درصد وزنی زمان نیم‌بندش اضافه می‌شود که این روند برای دماهای مختلف صعودی است (شکل-۷).

#### ۲-۵- بررسی نقش میکروسیلیکا در دوغاب سیمان

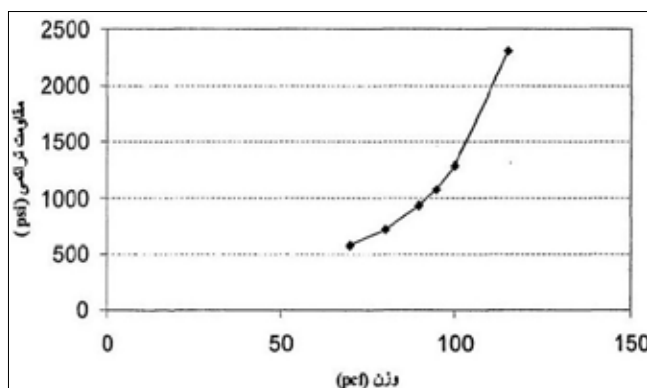
با توجه به خاصیت جذب آب مناسب توسط میکروسیلیکا به دلیل ریز بودن دانه‌ها، افزودن آن به دوغاب، سبب جذب آب بیشتر و کاهش وزن دوغاب می‌شود. ضمن اینکه آب مصرفی، دوغاب آب آزاد ایجاد نمی‌کند. جهت بهینه‌سازی معلق نگه‌داشتن ذرات گیلسونایت در دوغاب‌های گیلسونایتی، آزمایش‌هایی با استفاده از میکروسیلیکا به همراه بنتونایت و بدون حضور بنتونایت انجام شد. در مقادیر مساوی میکروسیلیکا و گیلسونایت، افزودن بنتونایت باعث کاهش مقاومت فشاری می‌شود اما روی زمان بندش تأثیری ندارد. مقاومت فشاری سنگ سیمان سبک با میکروسیلیکا، دو یا سه برابر مقاومت فشاری



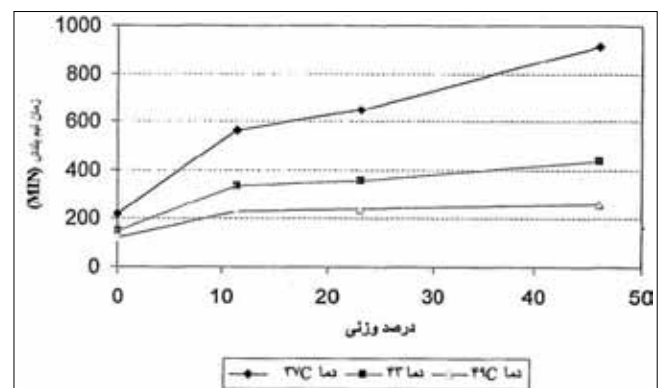
شکل ۹ | کاهش وزن دوغاب سیمان کلاس G با میکروبلاک



شکل ۷ | کاهش وزن دوغاب سیمان کلاس A با گیلسونایت



شکل ۱۰ | اثر وزن دوغاب‌های حاوی میکروبلاک بر مقاومت فشاری سیمان



شکل ۸ | تغییرات زمان نیم‌بندش دوغاب‌های گیلسونایتی

جداسازی و ته‌نشینی ذرات می‌تواند دوغاب سیمانی مناسب با اوزان کمتر تولید کرد.

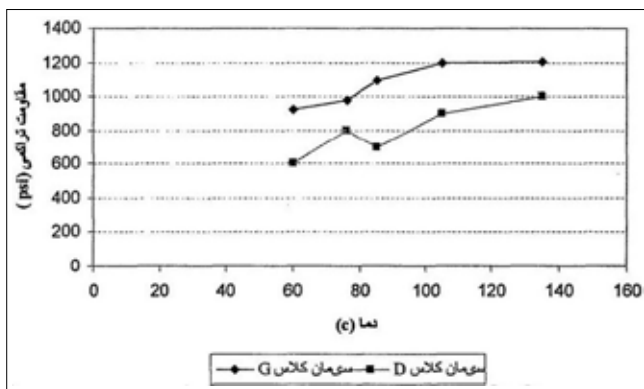
■ یکی از راه‌های متداول در تولید سیمان‌های سبک استفاده از بنتونایت است که با توجه به آب‌خواهی این ماده و افزایش چشم‌گیر آب مصرفی در دوغاب می‌توان سیمان‌های سبک تهیه کرد. مشکل اصلی این نوع دوغاب‌ها (بنتونایتی)، تخلخل به‌جامانده پس از بندش سیمان و نفوذپذیری و امکان ایجاد خوردگی شدید در زمان‌های طولانی است. به‌علاوه مقاومت این دوغاب‌ها نیز کمتر از سایر دوغاب‌هاست اما در شرایطی می‌تواند به حداقل مقاومت فشاری مناسب دست یابد.

■ برای رفع نواقص سیمان‌های بنتونایتی، افزایش میکروسیلیکا به دوغاب سیمان (با توجه به کاهش آب آزاد دوغاب و توانایی رسیدن به حالت ژله‌ای مناسب به‌دلیل حجم زیاد آب) دوغابی یکنواخت ایجاد می‌کند و مانع از ایجاد چندفازی ستون دوغاب پشت لوله‌ی جداری جلوگیری می‌شود. این پدیده هم آب اضافی دوغاب را حفظ می‌کند و هم ذرات جامد را معلق نگه‌می‌دارد.

■ به‌کارگیری گیلسونایت در دوغاب باعث کاهش وزن آن و افزایش زمان نیم‌بندش در دماهای مختلف می‌شود که در مقادیر بیش از ۴۶ درصد وزنی سیمان، کاهش مقاومت فشاری از حداقل مقدار تعیین شده کمتر خواهد بود. اکثر دوغاب‌های سبک وزن گیلسونایتی به وزن ۸۰ Pcf در محدوده‌ی دمایی ۱۶۵-۴۶ درجه‌ی سانتی‌گراد با سیمان‌های کلاس A و D حداقل مقاومت فشاری به‌کارگیری در چاه را کسب کرده‌اند.

■ با سیمان کلاس G به‌عنوان سیمان پایه و با استفاده از یک افزودنی چندمنظوره مثل میکروبلاک نتایج مناسب‌تری نسبت به سایر کلاس‌ها ایجاد شد که می‌تواند در صورت نیاز در چاه‌های خشکی نیز استفاده گردد.

■ انتخاب کلاس سیمان G در آزمایش‌های میکروبلاک برای یافتن خواص اثر افزودنی سبک‌کننده به‌طور مجزا، انعطاف‌پذیری میکروبلاک را در وزن‌های مختلف به‌خوبی نشان می‌دهد؛ به‌طوری که می‌توان میکروبلاک را برای ساختن دوغاب‌های با اوزان ۱۱۵pcf-۷۰ به‌کار برد.



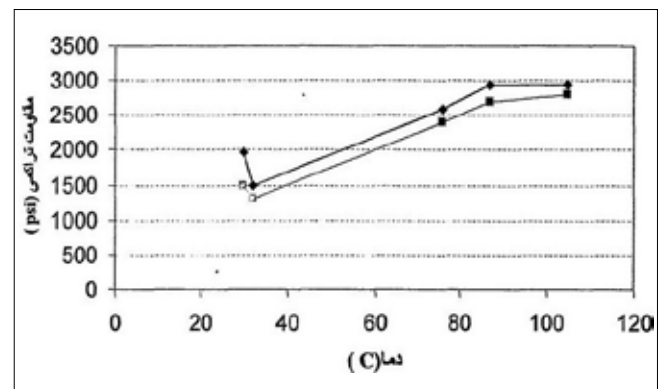
شکل ۱۱ | اثر میکروبلاک بر مقاومت فشاری دوغاب با وزن ۹۵pcf

میکروبلاک و سیمان G مقاوت فشاری بیشتری را نسبت به کلاس A و D به‌همراه داشته و زمان نیم‌بندش آن بین زمان نیم‌بندش حاصل از سیمان A و D است که هم برای لوله‌های جداری سطحی و هم برای اعماق بیشتر مفید واقع می‌شود [۱۲]. برای دوغاب‌هایی که جهت لوله‌های جداری تولیدی تهیه می‌شوند، استفاده از سیلیکافلور برای جلوگیری از تنزل مقاومت فشاری ضروری و رایج است که همراهی میکروبلاک در این دوغاب‌ها، آب آزاد دوغاب را به صفر می‌رساند و نیز باعث ایجاد مقاومت فشاری بیشتر می‌شود. در این دوغاب‌ها افزایش میکروبلاک، کاهش وزن دوغاب و زمان نیم‌بندش را به‌همراه دارد (شکل-۹). در دوغابی فوق‌العاده سبک با وزن ۱/۱۲ گرم بر سانتی‌مترمکعب حاوی سیلیکافلور با سیمان کلاس A، افزایش میکروبلاک در واقع افزایش مقاومت فشاری و زمان نیم‌بندش را به‌دنبال داشته است. گرچه افزودن کلرید کلسیم به دوغاب باعث کاهش زمان نیم‌بندش و افزایش مقاومت فشاری می‌شود اما دوغاب سبک سیمان کلاس G بدون افزودن کلرید کلسیم، مقاومت فشاری بیشتر و زمان بندش کوتاه‌تری ایجاد کرده است. همچنین حذف اثر استفاده از کلرید کلسیم و ریتارد به‌طور هم‌زمان با استفاده از میکروبلاک امکان‌پذیر است. با تغییرات وزن دوغاب متناسب با تغییر نسبت میکروبلاک، در دوغاب‌هایی با اوزان مختلف، نسبت آب به سیمان از ۳۳ تا ۲۵۰ درصد متغیر است که شکل-۹ اثر کاهش مقاوت فشاری متناسب با تغییر وزن دوغاب را نشان می‌دهد.

## نتایج

با توجه به نتایج آزمایش‌ها برای روش‌ها و مواد مختلف جهت تهیه‌ی سیمان سبک و تحلیل و مقایسه‌ی این نتایج موارد زیر قابل‌ارائه است:

■ برای کاهش وزن دوغاب سیمان مصرفی در صنعت نفت و مراحل تکمیلی حفاری، می‌توان با استفاده از مواد آب‌خواه، نسبت آب به سیمان بیشتر و کاهش درصد مواد جامد به نتایج مطلوبی دست یافت. همچنین با به‌کارگیری مواد جامد و مواد افزودنی برای ایجاد تعلیق بهتر و کاهش



شکل ۱۲ | اثر میکروبلاک بر مقاومت سیمان با وزن ۱۱۵pcf



فشاری آن تأثیر زیادی بر مشبک کاری مطلوب لوله‌ی جداری دارد. در مقاومت فشاری بیشتر، کمترین آسیب به لوله‌ی جداری و غلاف سیمان وارد می‌شود. اگرچه عمق نفوذ گلوله‌ها کمتر است و نیاز به شلیک بیشتر دارد. همچنین به دلیل حساسیت پاشنه‌ی جداری و نیاز به راندن دوغاب در مقابل مقاومت زیاد، می‌توان به جای سیمان راهنما و دنباله، نوعی دوغاب سبک با مقاومت زیاد برای مقطع پاشنه‌ی جداری و مقاطع بالاتر به پشت لوله‌های جداری ارسال کرد.

■ در مجموع لوله‌های تولید سیمان‌های سبک مناسب برای چاه‌های ایران استفاده از میکروسیلیکا به همراه سیمان‌های بنتونایتی برای افزایش مقاومت و کاهش نفوذپذیری توصیه می‌گردد.

#### پیشنهادها

با در نظر گرفتن محدودیت‌های آزمایش‌ها و همچنین مواد مورد استفاده و با بررسی اولیه‌ی نتایج موارد زیر به عنوان توصیه‌های اصلی جهت ادامه‌ی مطالعات ارائه می‌شود:

■ آزمایش نفوذپذیری مغزه به عنوان عامل مستقیم اندازه‌گیری نفوذپذیری سنگ سیمان‌های حاصل از سیمان‌های فوق، تأثیر مواد جامد ریزدانه روی نفوذپذیری سنگ سیمان را نشان خواهد داد. استفاده از این آزمایش به عنوان مرحله‌ی تکمیلی مطالعات در ارزیابی سنگ سیمان حاصل از دوغاب‌های مختلف توصیه می‌گردد.

■ تحقیق در مورد رئولوژی دوغاب‌های حاوی میکروسیلیکا با رئومتر و کلاس‌های مختلف سیمان می‌تواند امکان به کارگیری مؤثرتر این سیمان‌ها (که در مراحل آزمایشی خواص مناسبی از خود نشان داده‌اند) را در عملیات اجرایی به خصوص در شرایط عملی چاه‌های ایران نشان دهد. این امر با توجه به پیچیدگی مراحل عملیات سیمان کاری در بهینه‌سازی مجموعه عملیات اعم از محاسبه‌ی احجام، ظرفیت و توان پمپ‌ها و زمان اجرای عملیات مؤثر بوده و تا حدی الزامی است.

■ بررسی به کارگیری روش اختلاط مناسب خشک با کنترل دقیق نسبت درصد وزنی ذرات جامد با اندازه‌ی متفاوت برای ایجاد دوغاب یکنواخت و چگالی مطلوب. ■

دوغاب فوق‌العاده سبک با استفاده از میکروبلاک و سیمان کلاس G در دمای ۳۲ درجه‌ی سانتی‌گراد و فشار ۲۲۵psi مقاومت فشاری ۵۶۶psi را کسب کرد که با استفاده از میکروسیلیکا تا ۶۵۰ psi هم قابل افزایش است اما زمان بندش آن افزایش می‌یابد.

■ استفاده از میکروسیلیکا برای کلاس‌های سیمان A و D به همراه بنتونایت و گیلسونایت در وزن‌های کمتر از ۹۰ pcf هم مقاومت فشاری قابل قبولی ارائه می‌کند. میکروسیلیکا به دلیل در دسترس بودن و خواص مشابهش با میکروبلاک، افزودنی مناسبی برای بهبود خواص دوغاب در سیمان کاری چاه‌های کشور است و استفاده از آن در تهیه‌ی دوغاب‌های سبک در محدوده‌ی وزنی ۱۱۵pcf - ۸۰ توصیه می‌شود. آزمایش‌ها نشان می‌دهند که سیمان سبک تهیه‌شده به همراه میکروسیلیکا در دمای ۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و فشار ۲۸۸psi و ۵۵ درصد وزنی، طی ۲۴ ساعت به مقاومت فشاری ۶۵۰ psi خواهد رسید.

■ به علت جذب مناسب آب و کاهش زمان نیم‌بندش می‌توان از بنتونایت به عنوان مکمل برای میکروسیلیکا استفاده کرد و آنرا به عنوان یک افزودنی اصلی برای افزایش مقاومت فشاری و کاهش نفوذپذیری و نیز بهبود گرانیروی دوغاب به کار برد.

■ کاهش وزن دوغاب برای سهولت راندن آن در احجام زیاد و ستون‌های طویل سیمان کاری با استفاده از LW6 امکان‌پذیر است.

■ به کارگیری ذرات جامد با تنوع اندازه و دانه‌بندی بهینه (به ویژه با ذرات کروی ریز بین ذرات درشت‌تر به عنوان عامل روان‌سازی دوغاب) علاوه بر کاهش تخلخل و تراوایی و افزایش مقاومت فشاری کمک زیادی به مخلوط شدن و پمپاژ دوغاب می‌کند. در دوغاب‌های سنگین وزن با محتوای آب کمتر، گرانیروی می‌تواند ثابت باقی بماند که عامل این امر همین ذرات ریز جامد هستند. اثر مثبت استفاده از میکروسیلیکا در دوغاب‌ها قابل توجیه است.

■ تأکید بر دست‌یابی به مقاومت فشاری بیشتر برای تمامی اوزان دوغاب به ویژه سیمان‌های سبک جهت جلوگیری از مهاجرت سیالات پشت لوله‌ی جداری بسیار مهم است؛ زیرا ضخامت غلاف سیمان و مقاومت

#### منابع

- [۱] بیژن اسدی، اصول برنامه‌ریزی و سیمان کاری چاه‌های نفت، انتشارات شرکت ملی نفت ایران، اهواز ۱۳۶۲
- [2] Dowell Schlumberger 1984, Cementing Technology
- [3] J.M.Boisnault & C.Dahl & R.Romer, "Concrete Development in Cementing Technology", oilfield review, spring 1999.
- [4] ultra light weight cement- litecrete, schlumberger
- [۵] فریبرز محمدی تهرانی، راهنمای جامع لیکا، شرکت لیکا، ۱۳۷۷
- [۶] خسرو خسرو تهرانی، میکرو پالونولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران
- [۷] محمدقاسم خیراندیش، سید محمدجواد مجتهدی، مطالعه و بررسی اثربنتونایت و گیلسونایت در سیمان‌های سبک وزن جهت پیشگیری از بروز هرزروی در دوغاب سیمان‌ها، فصل‌نامه‌ی تحقیق شماره‌ی ۸- بهار ۱۳۷۲، انتشارات پژوهشگاه صنعت نفت، واحد پژوهش گل و سیمان
- [۸] محمد طالبی مزرعه‌ی شاهی، سیمان کاری لوله‌های جداری و تزریق، گزارش دوره‌ی آموزشی، ۱۳۸۱
- [۹] تهیه و اختلاط پوزولان مصنوعی با سیمان جهت تولید سیمان‌های مختلط به طور عام و در مورد صوفیان به طور خاص وزارت صنایع، گزارش نهایی سازمان پژوهش‌های علمی صنعتی ایران، شهریور ۱۳۷۵
- [10] "New Technique provides better low density cement", SPE, 24050, 1992
- [11] Catalogue north -c, Aubin Corporation, "cemfil"
- [12] "Outline of oil well cementing", Halliburton publication Department of Energy office