



ترکیب ملات گوگردی برای کلاهیگذاری استوانه‌های بتنی

محمدرضا توکلی زاده^۱، علیرضا رضانی^۲، مریم سلطانی^۲، الهام میرافضلی^۲

۱- استادیار مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد

۲- دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد

drt@um.ac.ir

خلاصه:

در آزمایش مقاومت فشاری نمونه‌های بتنی استوانه‌ای شکل، به دلیل نیاز به یکنواخت اعمال شدن نیروی وارد بر دو سطح تماس و جلوگیری از شکست زود هنگام نمونه، دو انتهای نمونه به وسیله ملاتی زودگیر کلاهیگذاری می‌شود. ملات کلاهیگذاری (Capping) از ترکیب گوگرد و ماده‌ی پرکننده تشکیل می‌شود. در این پژوهش، هدف یافتن مناسبترین ماده‌ی پرکننده در دسترس و نسبت اختلاط آن برای رسیدن به مقاومت فشاری مطلوب می‌باشد. با ذوب کردن مخلوط گوگرد و پرکننده در ظرف مناسب و تهیه بیش از ۱۰۰ نمونه و انجام آزمایش‌های مقاومت فشاری و کششی، مخلوط‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شده و بهترین ترکیب ارائه می‌گردد.

کلمات کلیدی: کلاهیگذاری، ملات گوگردی، مقاومت فشاری، مصالح پرکننده، کپیگ

۱. پیشگفتار:

در نمونه‌های استوانه‌ای بتنی، بر خلاف نمونه‌های مکعبی که دارای پنج وجه مسطح هستند، قبل از بارگذاری در آزمایشگاه نیاز به ایجاد دو وجه مقابل مسطح می‌باشد. این سطوح صاف برای جلوگیری از تمرکز تنش در هنگام بارگذاری لازم است. همچنین ممکن است به دلیل ناهمواری سطح و ایجاد یک شکست موضعی، دستگاه نمونه را شکسته فرض کرده و بارگذاری متوقف شود که در این صورت نتایج آزمایش درست نخواهد بود. برای این منظور از کلاهیگذاری دو سطح انتهایی نمونه‌ی بتنی که با فک دستگاه بتن شکن در تماس است، با ملاتی زودگیر، چسبده و مقاوم استفاده می‌شود. چنین ملاتی باید حداقل مقاومتی برابر با مقاومت نمونه‌ی بتنی داشته باشد تا قبل از نمونه منهدم نشده و نیز به راحتی به بتن چسبند تا پیوستگی آن با بتن حفظ شود. متأسفانه در بازار ایران بیشتر مخلوط‌های کلاهیگذاری مقاومت کششی و فشاری لازم را ندارند. افزون بر این، طبق مقررات انجمن بتن آمریکا (American Concrete Institute-ACI) ضخامت لایه‌ی کلاهی باید حداقل ۲ میلیمتر باشد که به دلیل افزودن مقدار زیادی ماسه در پودرهای کلاهیگذاری موجود، این ضخامت گاهی به ۵ میلیمتر نیز می‌رسد که در نتایج آزمایش تأثیر منفی می‌گذارد [۱]. لذا انجام یک پژوهش برای یافتن ترکیب مناسبی برای ملات‌های کلاهیگذاری لازم به نظر می‌رسد. ملات مطلوب می‌بایست تمام خصوصیات ذکر شده در بالا را دارا بوده و همچنین به راحتی و با مواد اولیه در دسترس، بتوان آن را تهیه نمود. در شکل ۱ چند نمونه‌ی استوانه‌ای کلاهیگذاری شده نشان داده شده است.

با توجه به تعریف انجمن آزمایش و مصالح آمریکا (American Society for Testing and Materials-ASTM)، گوگرد ماده‌ی اصلی ترکیب ملات‌های کلاهیگذاری است که نسبت وزنی آن در یک ملات بین ۵۵٪ تا ۷۰٪ در نظر گرفته می‌شود [۲]. گوگرد نافلزی جامد، ترد و به رنگ زرد روشن است که در طبیعت به صورت آزاد نیز یافت می‌شود. گوگرد در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد ذوب شده و به سیال زرد رنگی تبدیل می‌گردد. در ایران و کشورهای نفت خیز، میلیون‌ها تن گوگرد به عنوان یک محصول جانبی از پالایش نفت و گاز خام تولید شده و در فضای باز انباشته می‌گردد. از آنجاییکه ASTM C267-82 دمای ملات کلاهیگذاری را بین ۱۲۰ تا ۱۴۵ درجه سانتیگراد تعیین نموده و هیچکدام از مواد پرکننده در این پژوهش در این دما ذوب نمی‌شوند و واکنش شیمیایی بین آنها رخ نمی‌دهد، تنها واکنش فیزیکی چسبیدن بین گوگرد و مواد پرکننده وجود خواهد داشت. بنابراین برای یافتن پرکننده‌های مناسب نیاز به انجام آزمایش برای تعیین ویژگی‌های مکانیکی ملات است. در این پژوهش مقاومت کششی و فشاری چنین ملات‌هایی بررسی می‌شوند.

۲. پژوهش پیش رو:

پس از جمع‌آوری اطلاعات و استانداردهای موجود در رابطه با نحوه‌ی انجام آزمایشات، قالب‌ها و مصالح مورد نیاز (گوگرد و پرکننده‌ها) فراهم شد. به منظور بدست آوردن ترکیب بهینه با مقاومت فشاری و کششی مطلوب، بر اساس استاندارد ASTM C267-82 مصالح پرکننده انتخابی به همراه گوگرد با نسبت وزنی ۳۵٪ پرکننده و ۶۵٪ گوگرد ترکیب شدند [۳]. مواد پرکننده مورد بررسی در این پژوهش عبارت بودند از: ماسه، خاک رس، پودر سنگ، آهک، گچ، سیمان، زغال و میکروسیلیس. نخست، دمای ذوب هر ترکیب به صورت مجزا توسط دستگاه الکتروترمال بدست آمد. سپس، مخلوط ملات گوگردی در دستگاه گرمکن مجهز به سامانه کنترل دما، ذوب و پس از تهیه نمونه‌ها و گذشت حداقل ۴۸ ساعت مورد آزمایش قرار گرفتند. در پایان، به مقایسه‌ی ویژگی‌های دو پودر کلاهدک‌گذاری موجود در بازار و ترکیبات آزمایش شده در این طرح پژوهشی پرداخته شد. نکته مهم این است که، برای میزان نسبت وزنی گوگرد و مواد پرکننده طبق استاندارد نسبت ۶۵ به ۳۵ انتخاب شد ولی برای مواد پرکننده‌ی زغال و میکروسیلیس، به دلیل چگالی بسیار پایین، نسبت کمتری استفاده شد تا کارایی مشابهی با ترکیب‌های دیگر داشته باشد. در جدول ۱ نسبت ترکیب مصالح و نشانه‌ی بکار رفته برای آنها در این پژوهش بیان شده است.

جدول ۱- نسبت‌های مخلوط گوگردی

نشانه	ماده‌ی پرکننده	وزن گوگرد (%)
SM1	گوگرد	۱۰۰٪
SM2	ماسه بادی	۶۵٪
SM3	خاک رس	۶۵٪
SM4	پودر سنگ آهکی	۶۵٪
SM5	آهک شکفته	۶۵٪
SM6	گچ	۶۵٪
SM7	سیمان	۶۵٪
SM8	میکروسیلیس	۹۰٪
SM9	زغال	۸۰٪
SM10	پودر کلاهدک‌گذاری ۱	-
SM11	پودر کلاهدک‌گذاری ۲	-



شکل ۱- نمونه‌های بتنی کلاهدک‌گذاری شده

۲-۱. مصالح:

مصالح مصرفی شامل گوگرد و تعدادی ماده‌ی پرکننده می‌باشد که به معرفی آنها پرداخته می‌شود.

گوگرد: پودر گوگرد زرد رنگ در دمای ۱۲۰ درجه سانتیگراد ذوب می‌شود و در دمای ۱۹۰ درجه سانتیگراد خود به خود آتش می‌گیرد. پودر گوگردی که از الک شماره‌ی ۱۶ رد شده است، مورد استفاده قرار گرفت.

خاک رس: خاک رس مورد استفاده در این پژوهش، خاک کاشی می‌باشد که از الک شماره‌ی ۵۰ عبور داده شده است. این خاک دارای ویژگی‌های $LL=26/55$ ، $PL=1/67$ و $PI=24/88$ بوده و می‌توان نتیجه گرفت که نوع خاک رس با پلاستیسیته کم، CL ، می‌باشد.

ماسه سیلیسی استاندارد: این ماسه نباید بیش از ۵ درصد خاک رس داشته باشد [۴]. بنابراین ماسه بادی سیلیسی موجود نخست از الک‌های شماره‌ی ۳۰ و ۱۰۰ گذرانده شد و سپس بخش مانده بین دو الک با دانه‌بندی مناسب مطابق نمودار شکل ۲ تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.

زغال: ماده‌ی اصلی زغال کربن می‌باشد. زغال انواع مختلفی داشته که یکی از آنها با نام گرافیت نوعی زغال با درصد کربن بالا می‌باشد. نوع دیگری از زغال که به صورت عمومی در بازار یافت می‌شود، زغالی است که علاوه بر کربن دارای مواد فرار بسیاری است. پودر زغال استفاده شده در این پژوهش از این نوع می‌باشد که از الک شماره‌ی ۱۶ عبور داده شده است. از آنجاییکه زغال زود تر از گوگرد با اکسیژن واکنش می‌دهد، می‌تواند تا حدودی از ترکیب شدن گوگرد با هوا جلوگیری کند.

گچ: گچ مورد استفاده در ساختمان از سنگ گچ طبیعی که متشکل از سولفات کلسیم آبدار ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) به همراه ناخالصی‌های معدنی می‌باشد، بدست می‌آید. این مصالح ساختمانی از حرارت دادن سنگ گچ و تبخیر بخش وسیعی از آب تبلور آن و سپس آسیاب کردن آن حاصل می‌شود. از جمله ویژگی‌های گچ می‌توان به خاصیت شکل پذیری، گیرش سریع، سبکی، ارزانی و فراوانی آن اشاره کرد [۵].

آهک: سنگ آهک خالص، بی‌رنگ و بلوری است و دارای وزن مخصوص 0.71 کیلوگرم بر سانتیمتر مکعب و ترکیب حدود 60% اکسید کلسیم و 40% سنگ آهک خالص می‌باشد. در درجه حرارت 2400 تا 3000 درجه سانتیگراد یا کربن ترکیب شده و به کاربید کلسیم CaC_2 تبدیل می‌شود. آهک زنده در تماس با آب به آهک شکفته تبدیل می‌شود [۵]. در این پژوهش از آهک شکفته استفاده شده است.

سیمان: سیمان استفاده شده در این پژوهش از پرتلند نوع ۲ می‌باشد. هر جا احتیاج به اقدامات احتیاطی در برابر حمله سولفات‌ها می‌باشد از این نوع سیمان استفاده می‌شود و همچنین سیمان نوع ۲ گرمای کمتری را با سرعت کمتری نسبت به سیمان نوع ۱ تولید می‌کند [۶].

پودر سنگ آهکی: پودر سنگ آهکی CaCO_3 می‌باشد که به عنوان پرکننده در بتن و آسفالت استفاده می‌شود و در ترکیب با میکروسیلیس باعث افزایش دوام آنها می‌شود.

میکروسیلیس: از پودر میکروسیلیس برای بهبود خواص مکانیکی و افزایش دوام بتن در کشورهای پیشرفته استفاده می‌شود. این ماده با داشتن بیش از 90% سیلیس، به شکل ذرات بسیار ریز، شدیداً پوزولانی است و به عنوان یک ماده افزودنی در بتن بسیار مناسب است.

پودر کلاهیگ گذاری ۱ و ۲: این دو ماده‌ی کلاهیگ گذاری در بازار یافت می‌شوند، پودر شماره ۱ متشکل از گوگرد و ماسه استاندارد به رنگ ظاهری زرد و دیگری به صورت شمش‌هایی سیاه رنگ می‌باشد که دارای مقادیری از کربن است.

۲-۲. آزمایش دمای ذوب:

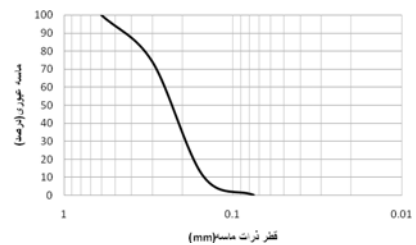
گام نخست در این پژوهش، بدست آوردن دمای ذوب مخلوط‌های گوگردی می‌باشد. برای تعیین نقطه ذوب هر ترکیب، گوگرد و پرکننده‌ی مورد نظر را بصورت جداگانه با نسبت‌های معین که در جدول ۱ آمده است، مخلوط کرده و مقدار کمی از آن را ساییده و درون لوله‌ی آزمایش ریخته می‌شود. سپس لوله در داخل دستگاه الکتروترمال قرار داده‌شد و دمای ذوب نمونه اندازه‌گیری و یادداشت شد. از آن جا که ظرفیت لوله‌ها به اندازه چند صدم گرم می‌باشد با تغییر اندکی در نسبت گوگرد به پرکننده این نقطه ذوب نوسان می‌یابد. در جدول ۲ دمای ذوب مخلوط‌های مختلف داده شده است. شکل ۳ دستگاه ذوب الکتروترمال را نشان می‌دهد.

جدول ۲- دمای ذوب مخلوط‌ها

ملاط	دمای ذوب ملاط(سانتیگراد)
SM1	۱۲۰
SM2	۱۱۹
SM3	۱۲۱
SM4	۱۳۰
SM5	۱۲۹
SM6	۱۳۲
SM7	۱۲۲
SM8	۱۲۴
SM9	۱۲۷



شکل ۳- دستگاه تعیین نقطه ذوب الکتروترمال



شکل ۲- نمودار دانه‌بندی ماسه بادی

۳-۲. تجهیزات و تهیه نمونه‌ها:

دستگاه ذوب‌کننده ملات گوگردی، بوسیله یک ترموستات دیجیتالی در یک دمای ثابت قرار می‌گیرد که برای ترکیب‌های مختلف این دما قابل تغییر است. شکل ۴ نشان‌دهنده این دستگاه به همراه ترموستات آن می‌باشد. با تنظیم دمای ظرف توسط ترموستات ذوب شدن ملات به آرامی صورت می‌گیرد. در حین ذوب با استفاده از ملاقه، مخلوط را هم زده تا مایعی همگن بوجود آید. در این پژوهش به منظور اندازه‌گیری مقاومت فشاری و مقاومت کششی به ترتیب از نمونه‌های استوانه‌ای و لویبایی استفاده می‌شود. ابعاد قالب‌ها بر اساس استاندارد ASTM C579-82 انتخاب شده‌اند. قالب‌های فولادی شش‌قلوی تراشکاری شده، دارای ۶ استوانه با قطر و ارتفاع ۲۵ میلیمتر و دارای سطوحی صیقلی می‌باشند [۷]. روغن کاری قالب‌ها به صورت کشیدن غشایی نازک در سطح داخلی قالب‌ها موجب سهولت خروج نمونه‌ها از داخل آن می‌شود. شکل ۵ نشان‌دهنده قالب‌های فشاری استوانه‌ای می‌باشد. از قالب‌های فولادی سه‌قلوی کششی لویبایی شکل برای تهیه نمونه‌های کششی با سطح مقطع ۲۵×۲۵ میلی‌متر مربع، طبق استاندارد ASTM C307-83 استفاده شد [۸]. در شکل ۶ این قالب‌ها نشان داده شده‌اند.



شکل ۶- قالب‌های سه‌قلوی نمونه‌های کششی



شکل ۵- قالب شش‌قلوی نمونه‌های فشاری



شکل ۴- ظرف ذوب‌کننده ملات گوگردی

برای تهیه نمونه‌های فشاری و کششی، نخست قالب‌های استوانه‌ای و لویبایی آماده‌شد. سپس، مخلوط کلاهیگ گذاری در ظرف ذوب کن ریخته شده و تا ذوب شدن کامل آن و رسیدن به تعادل حرارتی صبر می‌شود. دمای ذوب بر اساس استاندارد ASTM C267-82 بین ۱۲۰ تا ۱۴۵ درجه سانتیگراد تعیین شده است. در هنگام ذوب برای جلوگیری از به‌وجود آمدن حباب هوای اضافی از یک درپوش استفاده گردید [۳]. عمل ذوب باید کمتر از ۱ ساعت به طول بی‌انجامد. پس از ذوب کامل بر اساس استاندارد، حداقل به مدت ۱۵ دقیقه در همان دما صبر کرده تا مخلوط ذوب شده یکنواخت گردد. پس از آن برای نمونه‌های فشاری، ۶ استوانه به طور همزمان پرشد. سرد شدن ملات با کاهش حجم بسیار زیادی همراه است و علاوه بر آن سرد شدن غیر یکنواخت ملات نیز موجب ایجاد حفره‌ای در مرکز نمونه‌ها می‌شود. برای رفع این مشکل راه حلی پیشنهادی ASTM دنبال شد. در این روش با قرار دادن یک ورق یا لوله‌ی پلاستیکی با سوراخی به قطر ۲۵ میلی‌متر، بر روی قالب استوانه‌ای مخزنی از ملات مذاب تشکیل می‌شود که در هنگام سرد شدن ملات در قالب فولادی، ملات مذاب را در اختیار قرار داده و از تشکیل حفره در نمونه جلوگیری می‌کند [۷]. کاستی این روش، ناهموار شدن سطح روی نمونه‌ها است که در گام بعدی می‌بایست تراشیده شود. در شکل ۷ لوله‌های پلاستیکی دیده می‌شوند و در شکل ۸، تعدادی از نمونه‌ها پس از درآوردن از قالب نشان داده شده‌اند.



شکل ۹- دستگاه سنباده زنی



شکل ۸- نمونه‌های کششی و فشاری



شکل ۷- لوله‌های پلاستیکی

پس از این مرحله احتیاج است سطح انتهایی نمونه‌ها صاف شود تا بارگذاری به صورت یکنواخت انجام شود. بنابراین از دستگاه سنباده نواری و دیسکی استفاده شد. این دستگاه به منظور ساییدن و صاف کردن سطوح و اطراف نمونه‌ها جهت قرارگیری مناسب داخل گیره (نمونه‌های کششی) و بین دو فنک دستگاه فشاری مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۹، دستگاه سنباده زنی مشاهده می‌شود. شکل ۱۰، نمونه‌ها را پس از سنباده زدن نشان

می‌دهد. بعضی از نمونه‌ها از جمله گوگرد خالص، به دلیل ترد بودن قابل سمباده زدن نبودند و برای این دسته از نمونه‌ها، صفحه‌ی داغ برای ذوب نمودن بخش اضافی بکار رفت. شکل ۱۱، نشان دهنده‌ی این عملیات می‌باشد. در مورد نمونه‌های کششی در محل گلوگاه یک ورق فولادی نازک قرارداد شده و ملات مذاب درون قالب ریخته شد. به این ترتیب گلوگاه که محل شکست نمونه در آزمایش کششی است مسطح و بدون حفره باقی می‌ماند. در شکل ۱۲ نمونه‌های کششی خارج شده از قالب‌ها همراه با ورق‌های فولادی مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰- نمونه‌های سمباده زده شده شکل ۱۱- ذوب نمودن سطح بارگذاری با صفحه داغ شکل ۱۲- نمونه‌ها و قالب‌های کششی

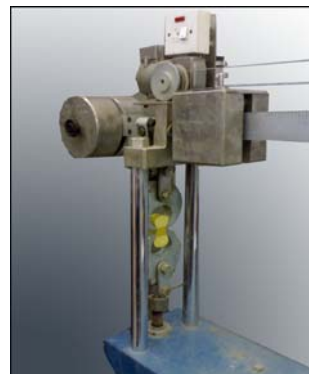
در مجموع ۱۱ مخلوط مختلف در نظر گرفته شد و برای هر کدام نمونه‌های کششی و فشاری تهیه شدند. همانطور که قبلاً ذکر شد، مخلوط زغال و میکروسیلیس به دلیل چگالی پایین این دو ماده، دارای نسبت‌هایی متفاوت با دیگر مخلوط‌ها می‌باشند. نسبت وزنی زغال در مخلوط ۲۰٪ و نسبت وزنی میکروسیلیس در مخلوط ۱۰٪ انتخاب شد تا ترکیب به راحتی ذوب شده و روانی مشابه با دیگر مخلوط‌ها به دست آید. در هنگام ذوب شدن ترکیب‌های مختلف گوگردی، بخش کمی از گوگرد به صورت گاز متصاعد می‌شود که سمی است و می‌بایست اقدامات ایمنی در هنگام کار رعایت شوند. افزودن مواد پرکننده میزان گازهای متصاعد شونده را تا حدی کاهش می‌دهد. استانداردهای رایج برای مقاومت‌های کششی و فشاری ملات کلاهیگ گذاری به ترتیب مقادیر ۲/۸ و ۲۸/۰ مگاپاسکال را پیشنهاد می‌نمایند.

۴-۲ روش انجام آزمایش‌ها:

پس از گذشت ۴۸ ساعت از زمان قالب‌گیری، با فرض اینکه نمونه‌ها در این مدت به مقاومت نهایی خود رسیده‌اند، اقدام به شکستن نمونه‌ها شد. **آزمایش کششی:** نمونه‌های کششی پس از سنباده زنی بین دو گیره دستگاه قرار گرفته و با نرخ میانگین ۴۰ نیوتن بر ثانیه بارگذاری شدند. پس از گسیختگی نمونه، نیروی پیشینه و ابعاد دقیق نمونه در محل گلوگاه اندازه‌گیری و یادداشت گردید. تعدادی از نمونه‌ها در هنگام سنباده‌زنی به علت تردی و مقاومت بسیار پایین خرد شدند و تعداد معدودی نیز به علت وجود حباب در بخش بیرون از گلوگاه شکستند. به این ترتیب برای ترکیب‌های SM6، SM7، SM9 تنها دو نمونه‌ی کششی سالم باقی ماند، و برای ترکیب‌های SM5 و SM8 هیچ نمونه‌ی کششی سالمی باقی نماند. نتایج بدست آمده از آزمایش‌های کششی به همراه میانگین و انحراف معیار داده‌ها در جدول ۳ ارائه شده است. شکل ۱۳ نشان‌دهنده‌ی دستگاه آزمایش کششی و نمونه‌ی کششی قرار گرفته درون گیره‌های این دستگاه می‌باشد و در شکل ۱۴، نمونه‌ی کششی پس از شکستن را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴- نمونه‌ی کششی پس از شکسته شدن



شکل ۱۳- نمونه‌ی کششی پیش از شروع آزمایش



جدول ۳- نتایج آزمایش‌های کششی ملات‌های گوگردی (مگاپاسکال)

مخلوط‌ها	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵	نمونه ۶	میانگین	انحراف معیار
SM1	0.88	0.82	0.83	-	-	-	0.84	0.03
SM2	3.32	2.65	3.17	2.73	-	-	2.97	0.28
SM3	0.41	1.18	1.99	0.75	1.79	-	1.22	0.61
SM4	0.89	0.9	0.96	0.60	1.09	-	0.83	0.20
SM5	-	-	-	-	-	-	-	-
SM6	0.63	1.27	-	-	-	-	0.95	-
SM7	0.08	0.08	-	-	-	-	0.07	-
SM8	-	-	-	-	-	-	-	-
SM9	0.73	1.02	-	-	-	-	0.87	-
SM10	1.43	1.32	1.39	1.2	1.14	1.41	1.33	0.10
SM11	4.73	4.22	4.29	4.05	4.09	-	4.27	0.24

آزمایش فشاری: نمونه‌های استوانه‌ای بر اساس استاندارد ASTM C579-82 با نرخ بارگذاری ۳۵ نیوتن بر ثانیه معادل نرخ پیشنهادی استاندارد ۴۰ مگاپاسکال در دقیقه تحت فشار قرار گرفتند [۷]. برای جلوگیری از بارگذاری خارج از مرکز و حذف تمرکز تنش در سطوح بارگذاری، همانطور که در شکل ۱۵ نشان داده شده، از دو صفحه فولادی تراشکاری شده و یک ساچمه که به عنوان تکیه‌گاه گوی و کاسه شناخته می‌شود، استفاده شد. سپس نمونه بر روی این مجموعه قرار گرفت و بارگذاری با نرخ یکنواخت توسط جک دستی انجام شد. دستگاه داده‌پرداز دیجیتالی بیشترین نیرویی که نمونه پیش از فروپاشی تحمل نموده را ثبت می‌نماید. مجموعه بارگذاری و ثبت داده‌ها در شکل ۱۶ نمایش داده شده است. در جدول ۴ مقادیر مقاومت‌های فشاری بدست آمده برای هر نمونه فشاری به همراه میانگین و انحراف معیار هر دسته مشاهده می‌شود. لازم به ذکر است که تنها یک نمونه سالم برای ترکیب SM8 باقی ماند که دلالت بر مقاومت بسیار پایین آن مخلوط دارد.



شکل ۱۶- مجموعه بارگذاری فشاری با جک دستی و داده نگار



شکل ۱۵- نمونه‌ی فشاری بر روی تکیه‌گاه گوی و کاسه

جدول ۴- نتایج آزمایش‌های فشاری ملات‌های گوگردی (مگاپاسکال)

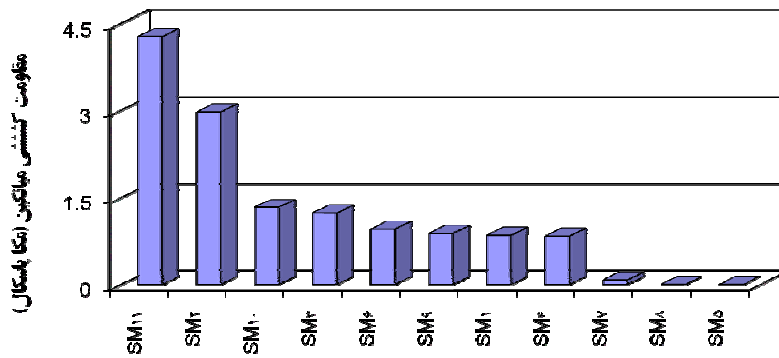
مخلوط‌ها	نمونه ۱	نمونه ۲	نمونه ۳	نمونه ۴	نمونه ۵	نمونه ۶	میانگین	انحراف معیار
SM1	3.45	1.13	4.99	-	-	-	3.20	1.59
SM2	21.13	27.29	36.77	52.30	20.21	32.49	30.11	8.04
SM3	5.76	43.95	26.8	11.42	-	-	34.49	16.83
SM4	20.85	21.87	26.17	33.93	9.90	21.61	22.39	7.22
SM5	11.29	19.38	11.21	-	-	-	13.96	3.83
SM6	14.1	23.15	33.33	1.86	26.33	-	22.60	6.96
SM7	16.20	10.89	19.98	15.07	15.66	12.32	15.02	2.91
SM8	4.39	-	-	-	-	-	4.39	-
SM9	24.81	34.29	20.32	26.99	20.72	28.36	2.91	4.77
SM10	9.53	10.04	9.79	7.85	6.96	8.27	8.74	1.13
SM11	19.00	25.02	33.02	56.73	32.55	35.92	33.71	11.75



۳. بررسی و تحلیل نتایج:

نتایج بدست آمده از آزمایش‌های کششی و فشاری بر روی نمونه‌ها ترکیب‌های مناسب را برای رسیدن به یک ترکیب کلاهیگ‌گذاری مناسب با ویژگی‌های قابل قبول مشخص می‌نماید.

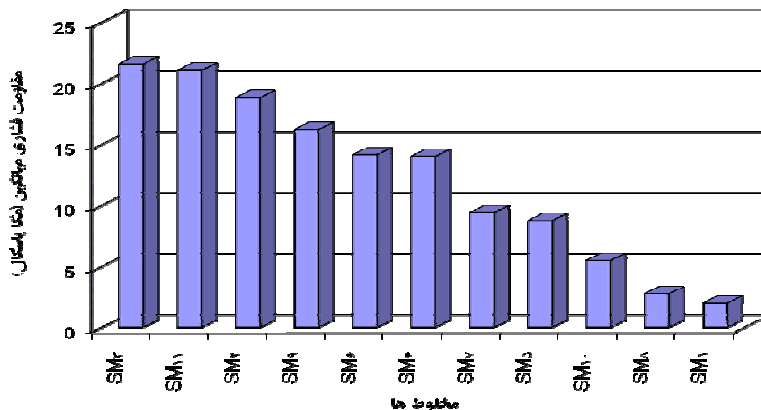
مقاومت کششی: نمودار رسم شده در شکل ۱۷ مقادیر میانگین مقاومت‌های کششی ترکیب‌های مختلف ملات‌های گویگردی را به نمایش گذاشته است. همانطور که در نمودار آشکار است، نمونه‌های SM2 و SM11 دارای مقاومت کششی مورد پذیرش از نظر ASTM می‌باشند. مقاومت کششی ترکیبات دیگر کمتر از نصف مقاومت پیشنهادی در استاندارد بودند. لازم به ذکر است که ترکیب SM10 که در بازار ایران به عنوان پودر کلاهیگ‌گذاری خرید و فروش می‌شود، مقاومت کششی لازم را دارا نیست. نمونه‌هایی که در هنگام آماده‌سازی خرد شده‌اند، هیچکدام دارای مقاومت کششی کافی نخواهند بود. این مواد پرکننده آهکی (سیمان، میکروسیلیس و آهک شکفته) با نسبت‌های مصرف شده در این پژوهش به همراه گویگرد خالص نتایج بسیار ضعیفی از خود نشان داده و برای استفاده در ملات‌های گویگردی مناسب نیستند. در حالیکه با انجام آزمایش‌های بیشتر بر روی پرکننده‌هایی چون خاک رس، گچ، پودر سنگ و زغال می‌توان به ملات‌هایی با مقاومت کششی مناسب رسید.



مخلوط ها

شکل ۱۷ - میانگین مقاومت کششی ملات‌های گویگردی (مگاپاسکال)

مقاومت فشاری: نمودار رسم شده در شکل ۱۸ مقادیر میانگین مقاومت‌های کششی ترکیب‌های مختلف ملات‌های گویگردی را به نمایش گذاشته است. مقاومت فشاری ترکیب‌های SM3، SM2، SM11 مقاومت فشاری بالاتر از استاندارد را دارا می‌باشند. این بدان معنی است که پرکننده‌هایی چون رس و ماسه بادی با مقدار در نظر گرفته شده برای عملیات کلاهیگ‌گذاری مناسب هستند. ترکیب‌های SM9، SM6، SM4 دارای مقاومت فشاری نسبتاً مناسبی هستند که با تحقیقات بیشتر در تغییر نسبت اختلاط می‌توانند به مقاومت‌های لازم برسند. مشابه آنچه در قسمت قبل ذکر شد، مواد پرکننده آهکی (سیمان، میکروسیلیس و آهک شکفته) با نسبت‌های مصرف شده در این پژوهش به همراه گویگرد خالص نتایج بسیار ضعیفی از خود نشان داده و برای استفاده در ملات‌های گویگردی مناسب نیستند. به طور کلی، پرکننده‌های آهکی و بسیار ریز چون سیمان و میکروسیلیس نیاز به پوشش کامل سطح‌شان توسط گویگرد مذاب دارند و سبب کاهش شدید روانگرایی ملات مذاب شده و در نهایت مقاومت ترکیب را نیز بهبود نمی‌بخشند.



شکل ۱۸ - میانگین مقاومت فشاری ملات‌های گویگردی (مگاپاسکال)



۴. نتیجه گیری:

برای کلاهدک گذاری نمونه های استوانه ای بتنی نیاز به ترکیب های ویژه ی ملات های زودگیر می باشد. تهیه چنین ترکیباتی با مصالح بازیافتی چون گوگرد، می تواند از هدر رفتن منابع و زیان رسیدن به محیط زیست جلوگیری نماید. نتایج بدست آمده از این پژوهش آزمایشگاهی را می توان به صورت زیر خلاصه نمود.

- پرکننده ماسه بادی با نسبت اختلاط ۳۵٪، ویژگی های مکانیکی مناسب برای ملات کلاهدک گذاری را داراست.
- پرکننده ی رس با نسبت اختلاط ۳۵٪ مقاومت فشاری لازم را دارا می باشد. اما برای بدست آوردن نسبتی مناسب برای نمونه های کششی به آزمایش های بیشتری نیاز است.
- پرکننده های پودر سنگ، گچ و زغال با نسبت اختلاط ۳۵٪ به تنهایی مقاومت هایی کمتر از مقادیر مطلوب داشته و با ادامه پژوهش، می توان به نسبت اختلاط مناسب برای آنها رسید.
- پرکننده های بسیار ریزدانه و آهکی مانند سیمان، میکروسیلیس، آهک شکفته برای تهیه ملات کلاهدک گذاری مناسب نیستند.
- گوگرد خالص به تنهایی دارای ویژگی های مطلوب برای کلاهدک گذاری نیست.
- نقطه ذوب ترکیبات مختلف با توجه به عدم وجود واکنش شیمیایی خاص در بازه ۱۲۰ تا ۱۳۵ درجه سانتیگراد می باشد.

۵. قدردانی:

با سپاس فراوان از حمایت گروه عمران و گروه شیمی دانشگاه فردوسی مشهد و همکاری مسئولان آزمایشگاه های سازه، مصالح ساختمانی، مکانیک خاک و شیمی فیزیک که بدون آن انجام این پژوهش میسر نبود. همچنین از کمک دوستانی که در طول این پژوهش ما را یاری نمودند سپاسگزاریم.

۶. مراجع:

۱. "آزمایش مغزه گیری بتن و ارزیابی نتایج"، اصلانی، حسین، مهندس عمران
2. American Society for Testing and Materials, ASTM C287-82, "Standard Specification for Chemical-Resistant Sulfur Mortar"
3. American Society for Testing and Materials, ASTM C267-82, "Standard Test Methods for Chemical Resistance Mortars, Grouts and Monolithic Surfacing"
۴. "مصالح ساختمانی"، میر محمد طباطبائی (۱۳۸۰)، دانشگاه صنعتی امیر کبیر
۵. "مصالح ساختمانی"، دکتر حسن رحیمی (۱۳۷۵)، انتشارات دانشگاه تهران
6. Portland Cement Association, "Design and Control of Concrete Mixtures", By: Steven H. Kosmatka and William C. Panares (2006)
7. American Society for Testing and Materials, ASTM C579-82, "Standard Test Methods for Compressive Strength of Chemical-Resistant Mortars, Grouts and Monolithic Surfacing"
8. American Society for Testing and Materials, ASTM C307-83, "Standard Test Methods for Tensile Strength of Chemical-Resistant Mortars, Grouts and Monolithic Surfacing"