بررسی تجربی تاثیر آهک شکفته بر روی مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای و مکعبی ملات ماسه و خمیر سیمان و رابطه آن با نسبت‌های مختلف آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته

میلاد نصیری راد[1]، جاوید چاخرلو[2]*، بهمن شروانی تبار[3]

۱- فارغ التحصیل کارشناسی مهندسی عمران-عمران، دانشگاه دولتی شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

۲- کارشناس ارشد مهندسی عمران-سازه، هنرآموز رسمی آموزش و پرورش، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، ایران

۳- عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

javid.chakherlou@gmail.com

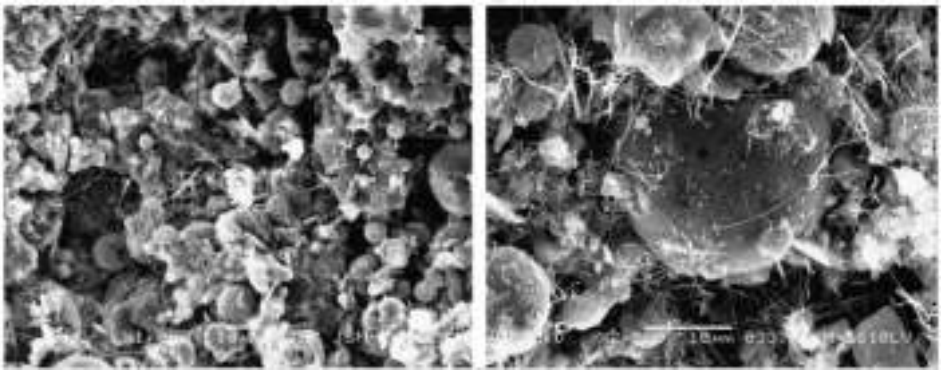
چکیده

ملات یکی از اجزای پرکاربرد در ساختمان‌سازی می‌باشد از این رو داشتن ملاتی مقاوم‌تر باعث داشتن ساختمان مقاوم‌تر می‌شود. پس دانستن مشخصات مختلف ملات برای ساختن ساختمانی مقاوم‌تر لازم است. همچنین یکی از سیمان‌هایی که بشر از قدیم بکار می‌گرفته، آهک است و بدلیل خصوصیت ذاتی و قابلیت قلیایی شدید و ارزانی آن در مقایسه با سایر قلیاها کاربرد زیادی در صنایع مختلف دارد. در این مطالعه آزمایشگاهی به بررسی و ارزیابی مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای ملات ماسه، آهک و سیمان پوزولانی صوفیان با دو نسبت وزنی ماسه به سیمان و آهک شکفته و بررسی مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی خمیر سیمان و آهک شکفته و رابطه آن با نسبت‌های متفاوت آب به سیمان و آهک شکفته در آزمایشگاه بتن دانشگاه شهید مدنی آذربایجان تبریز می‌پردازیم. بدین منظور در این تحقیق نمونه‌هایی با چهار نسبت آب به سیمان ۰/۳۳، ۰/۳۵، ۰/۳۷ و ۰/۳۹ برای نمونه‌های مکعبی با نسبت وزنی سیمان به آهک شکفته ۲ به ۱و همچنین با چهار نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته ۰/۶۶، ۰/۷، ۰/۷۴ و ۰/۷۸ با نسبت وزنی ۳ و ۴ (نسبت وزن ماسه به مجموع وزن سیمان و آهک شکفته)، در دو آزمایش متفاوت برای ساختن نمونه‌های استوانه‌ای استفاده گردید. به ملات حاصل که با نسبت‌های مختلف از سیمان، آهک و ماسه تهیه شده است، ملات باتارد گفته می‌شود و در برابر سرما و یخزدگی عملکرد بهتری دارد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد که مقاومت ملات باتارد با نسبت ماسه به مجموعه سیمان و آهک شکفته ۳ به ۱ بیشتر است از مقاومت ملات باتارد با نسبت ماسه به مجموعه سیمان و آهک شکفته ۴ به ۱، همچنین هر چه نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته افزایش یابد، مقاومت فشاری نمونه ساخته شده کاهش می‌یابد و این کاهش در مقاومت در نمونه‌های ۹۰ روزه بیشتر از نمونه‌های ۷ روزه و ۲۸ روزه می باشد لذا در کارهایی مانند آجرچینی و سنگ‌چینی ملات باتارد نباید شل باشد بلکه باید حالت خمیری مناسبی داشته باشد.

کلمات کلیدی: سیمان پوزولانی صوفیان، آهک شکفته آذرشهر، ملات باتارد، نسبت آب به سیمان، مقاومت فشاری

۱. مقدمه

ملات ماسه سیمان و آهک که در ایران به آن ملات باتارد نیز گفته می‌شود یکی از ملات‌های پرکاربرد در کارهای ساختمانی است. ماده چسباننده در این ملات مخلوط سیمان، آهک و ماده پرکننده آن ماسه است. این ملات که در واقع نوع اصلاح شده ملات ماسه سیمان است، بسیاری از کاستی‌های این ملات از جمله ترک‌خوردگی، نفوذپذیری، خمیرایی و نگه-داشت آب را بهبود بخشیده و هزینه آن را کاهش میدهد [۱]. سیمان یکی از اساسی‌ترین اجزای تشکیل دهنده بتن به‌شمار می‌رود و به همین دلیل حجم تولیدی قابل توجهی در سراسر دنیا دارد. تولید سیمان معضلات زیست محیطی متعددی به همراه دارد. لذا ضروری است که به نحو مناسبی آنها را مرتفع نمود تا از شدت تخریبات زیست محیطی ناشی از تولید بیرویه آن کاسته شود. فرآیند تولید سیمان انرژی بسیار زیادی مصرف می‌کند، تا آن‌جایی که تولید کلینکر سیمان در دمایی نزدیک ۱۴۵۰ درجه سانتیگراد اتفاق می‌افتد [۲]. در تولید صنعتی آهک به منظور آزادسازی آب و دی اکسید کربن از سنگ آهک می‌بایست انرژی حرارتی در دمای بین ۶۰۰ تا ۹۵۰ درجه سانتی گراد حرارت استفاده شود. ولی در روند تولید سیمان صنعتی حداقل ۱۱۰۰ تا ۱۴۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت لازم است. لذا در تولید سیمان صنعتی برخلاف آهک یک ونیم تا دو برابر انرژی سوختی مصرف می شود و افزایش آلایندگی در محیط به همین ترتیب توسعه خواهد یافت. اگرچه مقاومت زودهنگام بتن ساخته شده با سیمان صنعتی طی ۲۸ روز به کفایت لازم می‌رسد، ولی مقاومت دیرهنگام مصالح ساخته شده با آهک طی ۴۸ روز بادوام‌تر می‌باشد. به لحاظ پایداری، پایایی و مانایی نیز در ساختمان‌های کهن و بناهای تاریخی ارزشمند این موضوع به سبب ثبات کیفیت ظاهری از نظر رنگ و شفافیت سطوح و بـــراق بودن آن ها نسبت به ساختمان های صنعتی نوین معاصر به وضوح قابل تشخیص می‌باشد. در مورد امکان فرسایش ملات‌های آهکی دارای خاکستر و ماسه بادی تحقیقات نشان داده است که ترکیب عوامل درونی مانند اکسید کلسیم (CaO)، با پودر ریزدانه خاکسترهای سیلیسی (SiO_2) و عوامل محیطی همچون انقباض و حرارت و کربناته شدن در اثر جذب دی اکسید کربن (CO_2) از طرف محیط می‌توانند خمیر شل قلیایی آهکی را به خوبی مستحکم نموده و منافذ آن را کاهش دهد. لذا هوازدگی و فرسایش شیمیایی هوا در ملات‌های آهکی پوزولانی کاهش شدیدی می‌یابد. پس عامل کربناته شدن موجبات دوام آن‌ها را فراهم می سازد [۳]. در زمینه تردشکنی و خرابی ملات‌های دارای سیمان آهکی یعنی ملات ساروج دارنده مواد ریزدانه می‌توان گفت، شکست تحت شرایط تنش های ترکیبی یعنی ترکیب بارهای کششی و برشی رخ می‌دهد. در ضمن به سبب همگونی رفتار سه جهته این گونه مواد، استحکام و ظرفیت باربری خوبی در تحمل تنش های منفی کششی در هنگام ترد شکنی و گسیختگی از خود نشان می دهند [۴]. در سال‌های اخیر در ایران میزان استفاده از ملات باتارد، به علت انجام واکنش شیمیایی آهک با مصالح فلزی ساختمان مانند لوله‌های آب و مقاومت پایین‌تر آن نسبت به ملات ماسه سیمان، کاهش یافته است [۵]. مطالعات صورت گرفته بر روی ملات‌های آهکی پوزولانی (خاکستردار) در چین نشان داده است که به منظور تولید ملات های آهکی قوی در لایه های زیرین جاده‌های محلی با استحکام بالا، می توان از خاکسترها و خاک های ریزدانه درون ملات های آهکی گچ دار استفاده نمود. این عمل موجب کاهش عمل انقباض حجمی در هنگام گیرش ملات گردیده، ساختار منافذ داخلی ملات را در نهایت ظرافت قرار می‌دهد. لذا عمل نفوذپذیری ملات‌های آهکی با مصرف خاکسترهای سیلیسی بسیار کاهش می یابد. این کاهش امکان نفوذ پذیری در شکل ۱ قابل مشاهده می باشد [۶].



شکل ۱- نمایش میکروسکوپیک وضعیت توپرشدگی فضاهای خالی و کاهش نفوذپذیری ملات های آهکی خاکستردار

از عملکرد اساسی ملات این است که مصالح بنایی را بصورت توده‌ای یکپارچه به یکدیگر بچسباند. از دیدگاه دیگر ملات مصالح جدا از یکدیگر را به هم می‌پیوندد. تمام شکاف‌ها و ترک‌ها را پر می‌کند و بستر یکنواختی را فراهم می‌سازد. به طور کلی عملکرد ملات‌ها را ویژگی‌های فنی آن‌ها مانند کارایی، دوام، نفوذپذیری، مقاومت فشاری و کششی تعیین می‌کند. در ملات ماسه-سیمان-آهک، نسبت آهک به سیمان بر این ویژگی‌ها اثر می‌گذارد [۷]. که در این پژوهش به بررسی میزان تاثیر این نسبت بر برخی از این ویژگی‌ها پرداخته شده است. هدف از این تحقیق بررسی تجربی و مشاهده عینی قدرت چسبندگی خمیر سیمان، آهک شکفته با استفاده از سیمان و آهک شکفته‌ی مورد نظر، با نسبت های مختلف آب به مجموعه آهک شکفته و سیمان در بازه زمان‌های ۷روزه، ۲۸ روزه و ۹۰روزه می‌باشد. البته با توجه به اینکه آهک این خمیر را کندگیرتر می‌کند در تحقیق های آینده بهتر است برای بازه زمانی ۱ یا ۲ ساله نیز این کار را انجام داد. همچنین در این تحقیق ملات باتارد با نسبت‌های مختلف آب به مجموعه آهک شکفته و سیمان مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته است.

۲. آزمایش‌های انجام شده و مواد مصرفی

در تحقیق حاضر از سیمان پوزولانی صوفیان تبریز، ماسه (گذرنده از الک ۴/۷۵ میلی‌متر با دانه بندی مناسب) و آهک شکفته به کار رفته برای ساخت نمونه‌ها از کارخانه شرکت اسپندار واقع در نزدیکی آذرشهر تهیه شده و از نوع کلسیم هیدروکسید می‌باشد. وزن مخصوص آن برابر با ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد. آزمایش‌های انجام شده در آزمایشگاه بتن دانشگاه شهید مدنی آذربایجان-تبریز، به شرح زیر صورت گرفته است.

۲-۱. نسبت آب به سیمان خمیر استاندارد سیمان + آهک شکفته (با نسبت وزنی سیمان به آهک شکفته ۲ به ۱) و درست کردن نمونه های مکعبی (۵×۵×۵ سانتی متری)

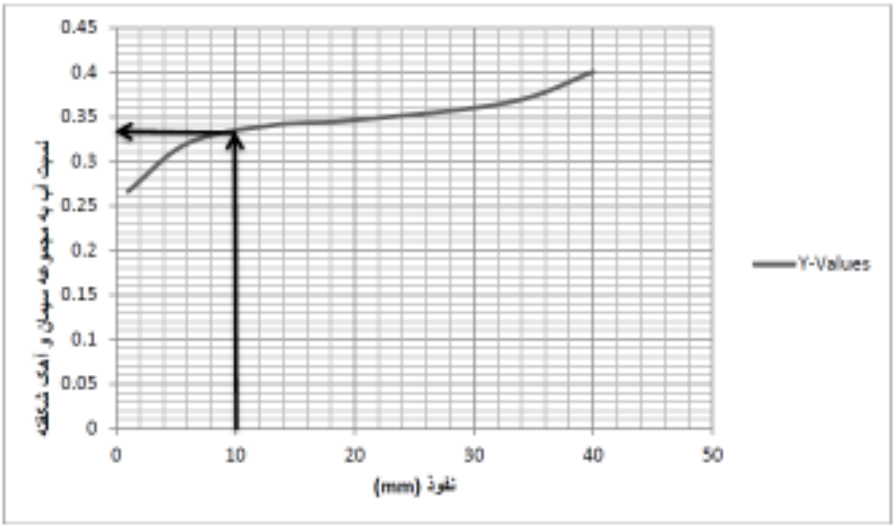
هدف از این آزمایش تعیین درصد رطوبت (قوام) نرمال سیمان و آهک شکفته جهت انجام آزمایش ها می باشد. جهت انجام آن از سیمان، آهک شکفته، آب، تراز و یا به عبارت دیگر وسایل اندازه گیری جرم (در این آزمایش ترازوی دیجیتالی با دقت ۰/۰۱گرم جهت اندازه گیری جرم آب و جرم سیمان استفاده شده است)، استوانه ی مدرج، دستگاه ویکات، تیغه‌ی فولادی جهت صاف کردن روی مواد، قالب نمونه، صفحه پایه مربعی شیشه‌ای، دستگاه میکسر جهت هم زدن مواد می باشد.

این آزمایش را با درصدهای مختلف آب انجام می‌دهیم تا به درصد مناسب برسیم. ابتدا ۲۰۰ گرم سیمان برداشته و در ظرفی می ریزیم و با ۱۰۰ گرم آهک شکفته ترکیب می‌کنیم. حال آب را به اندازه‌ی ۴۰٪ وزن (مجموعه سیمان و آهک شکفته) سیمان به آن اضافه می‌کنیم و سپس آن را با دستگاه مخلوط کن به مدت ۳۰ ثانیه مخلوط می‌کنیم. بعد دستگاه را

خاموش کرده و مواد را که به اطراف ظرف پخش شده، و به تیغه ی همزن چسبیده، با یک قاشق تمیز کرده و به وسط ظرف جمع می کنیم. حال دستگاه را یک درجه با سرعت بیشتر روشن کرده و دوباره به مدت ۳۰ ثانیه مواد را در دستگاه مخلوط می‌کنیم، پس از اتمام ۳۰ ثانیه دستگاه را خاموش کرده و مواد را در یک قالب که به صورت مخروط ناقص است، می ریزیم. سپس روی آن را با تیغه‌ی فولادی صاف و پرداخت می‌کنیم و قالب را زیر دستگاه و یکات قرار می‌دهیم، در حالیکه روی صفحه شیشه ای قرار دارد. سپس میله‌ی روی دستگاه را آنقدر پایین می آوریم تا بر روی مواد داخل نمونه مماس شود. پیچ میله را باز می‌کنیم تا داخل مواد نفوذ کند. به مدت ۳۰ ثانیه منتظر می‌مانیم تا میله به نفوذ خود ادامه دهد. پس از اتمام ۳۰ ثانیه، پیچ میله را می بندیم تا میله ثابت شود. سپس درجه روی دستگاه را قرائت کرده و نفوذ سیمان را یادداشت می کنیم. طبق استاندارد ASTM، برای خمیر استاندارد سیمان، باید مقدار نفوذ ۱۰ میلی‌متر باشد و در استاندارد انگلستان، باید مقدار نفوذ ۱۵ میلی‌متر باشد. مقدار نفوذ به دست آمده را در جدول نوشته و با نسبت‌های آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته مختلف این آزمایش را تکرار می کنیم. سپس نمودار میزان نفوذ را با نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته رسم کرده و میزان نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته متناظر با نفوذ ۱±۱۰میلی‌متر همان رطوبت خمیر استاندارد است.

جدول ۱- نسبت آب به مواد سیمانی و میزان نفوذ سوزن ویکات

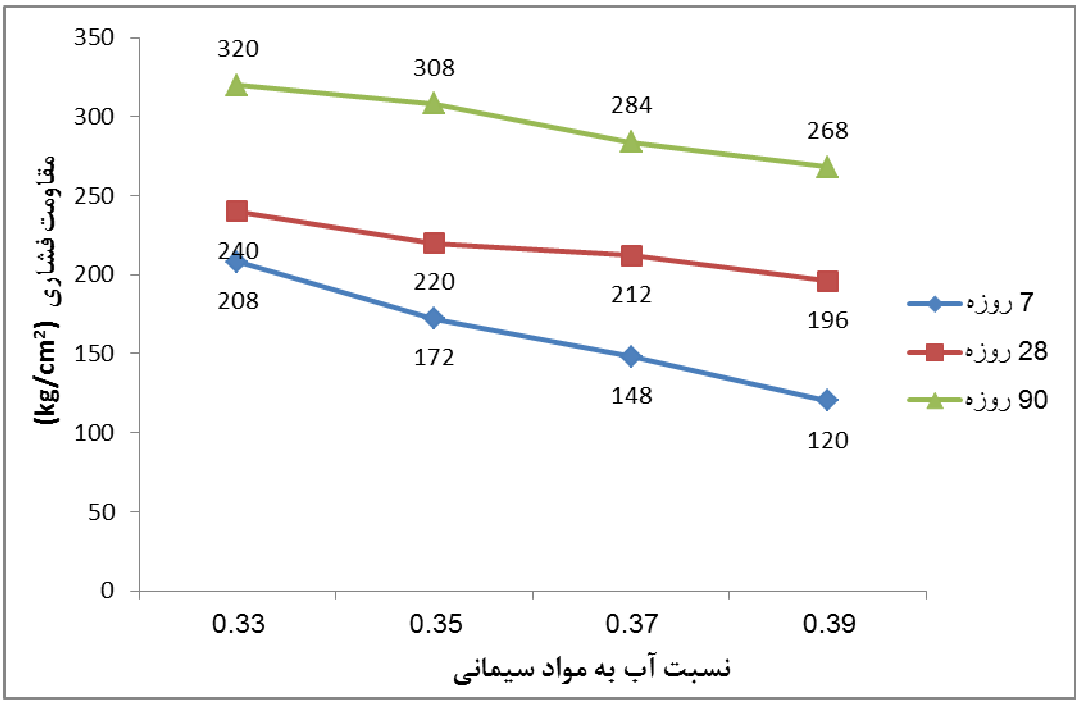
نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته (w/c)	نفوذ (میلی‌متر)	نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته (w/c)	نفوذ (میلی‌متر)
۰/۲۶۶	۱	۰/۳۴۶	۲۰
۰/۳۲	۶	۰/۳۶۶	۳۳
۰/۳۴	۱۳	۰/۴	۴۰



شکل ۲- منحنی نسبت آب به مواد سیمانی و میزان نفوذ سوزن ویکات بر حسب میلی‌متر

تاثیر میزان نفوذ بر اساس نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته در نمودار شکل ۲ قابل مشاهده است. با توجه نمودار شکل ۲، نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته متناظر با نفوذ ۱±۱۰ میلی‌متر برابر است با ۰/۳۳ و نمونه های مکعبی را با چهار نسبت آب به سیمان ۰/۳۳ و ۰/۳۵ و ۰/۳۷ و ۰/۳۹ از هر کدام ۹ نمونه (۳ نمونه برای بدست آوردن مقاومت

فشاری ۷ روزه، ۳ نمونه برای بدست آوردن مقاومت فشاری ۲۸ روزه و ۳ نمونه برای بدست آوردن مقاومت فشاری ۹۰ روزه) درست می‌کنیم. پس از ۲۴ ساعت قالب ها را باز کرده و نمونه ها را برای عمل آوری در داخل آب قرار می دهیم تا در زمان-های مقرر شده مقاومت آن‌ها را با قرار دادن آن ها در دستگاه بدست آوریم. نمودار مقاومت فشاری نمونه‌های مکعبی (۵×۵×۵ سانتی‌متری)، در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه خمیر سیمان-آهک شکفته با نسبت ۲ به ۱ و با نسبت‌های مختلف آب به مواد سیمانی (مجموعه سیمان و آهک شکفته)، بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نمودار شکل ۳ آورده شده است.



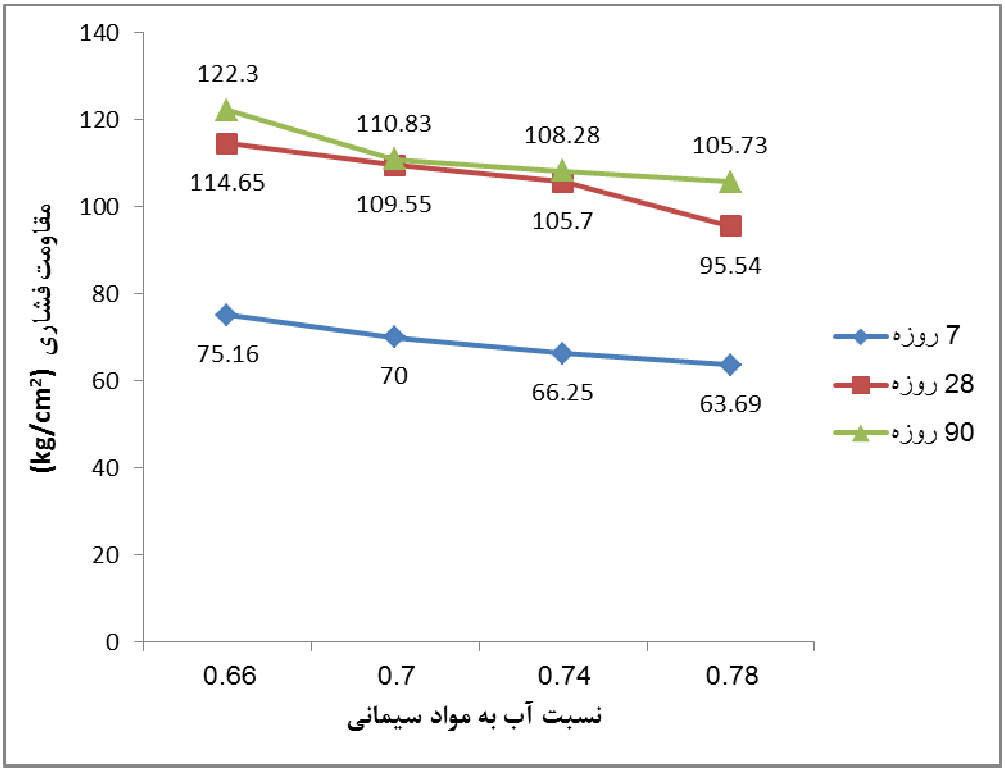
شکل ۳- مقاومت فشاری ترکیبات بر حسب نسبت‌های آب به مواد سیمانی در سنین مختلف

۲-۲. ساخت ملات باتارد با نسبت وزنی ۳ (نسبت وزن ماسه به مجموع وزن سیمان + آهک شکفته) برای ساختن نمونه‌های استوانه‌ای

مواد و وسایل به کار رفته عبارتند از: سیمان (۱۴۰۰ گرم)، ماسه (۶۳۰۰ گرم)، آهک (۷۰۰ گرم)، آب (به مقدارهای مختلف برای ۴ نسبت آب به سیمان مختلف)، قالب، ترازو، روغن (جهت روغن کاری قالبها)، پارچ مدرج، ظرف برای مخلوط کردن مواد، تیغه ی فولادی جهت صافکردن روی مواد.

برای ساخت نمونه‌ها، ابتدا قالب ها را تمیز کرده و روغن کاری می کنیم. سپس ۶۳۰۰ گرم ماسه، ۱۴۰۰ گرم سیمان، ۷۰۰ گرم آهک شکفته را توسط ترازو وزن کرده و در ظرفی می‌ریزیم. سیمان و ماسه و آهک شکفته را مخلوط کرده و ۶۶٪ وزن مجموعه سیمان و آهک شکفته آب ریخته و مخلوط می کنیم. البته ابتدا مقدار آب ملات را کمتر در نظر گرفتیم (نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته ۴۰٪) ولی به علت وجود آهک که ریزدانه است ملات هیچگونه کارایی نداشت). سپس ملات به دست آمده را داخل قالب ها ریخته و با چکش ویبره می دهیم تا داخل قالب ها قرار بگیرد. در نهایت با تیغه ی فلزی اضافه ی ملات را که از قالب بیرون زده جمع می کنیم ابتدا به حالت عمودی‌تر و وقتی ملات کمتر بیرون زده بود زاویه تیغه کشیدن را کمتر می‌کنیم و تیغه را به صورت شیب‌دار و به صورت زیگ زاگ روی ملات می کشیم، رویش را صاف می‌کنیم.

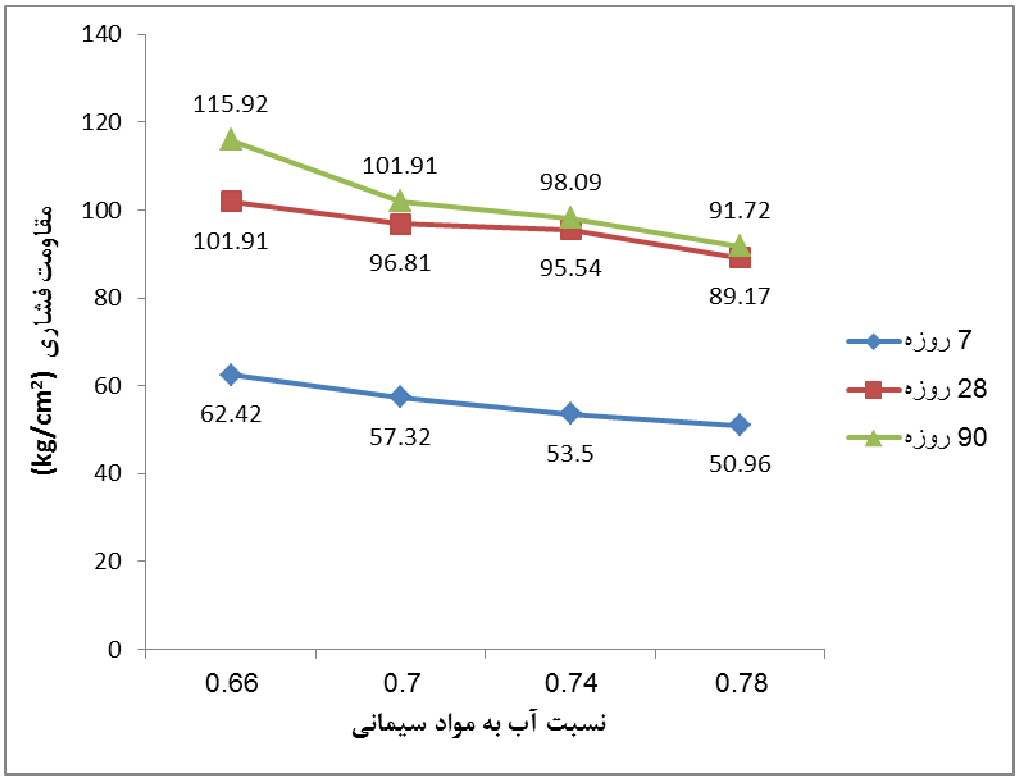
این کار را برای ۴ نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته ۰/۶۶و ۰/۷ و ۰/۷۴ و ۰/۷۸ انجام می‌دهیم. و برای هر کدام از این نسبت ها سه قالب استوانه ای پر میکنیم تا مقاومت های ۷روزه و ۲۸ روزه و ۹۰ روزه آن ها را اندازه بگیریم. پس از ۲۴ ساعت آمده و قالب ها را باز می کنیم و نمونه ها را خارج کرده و با احتیاط درون استخر آب قرار می دهیم. پس از زمان های مقرر شده نمونه ها را از استخر آب خارج کرده و بیرون می گذاریم تا آب نمونه‌ها خشک شود. سپس با استفاده از دستگاه‌های مربوطه مقاومت فشاری آن ها را تعیین می کنیم. نمودار مربوط به مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه ملات باتارد بانسبت وزنی ماسه به (سیمان و آهک شکفته) ۳ به ۱ و نسبت سیمان به آهک شکفته ۲ و با نسبت‌های مختلف آب به مواد سیمانی (مجموعه سیمان و آهک شکفته)، بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نمودار شکل ۴ آورده شده است.



شکل ۴- مقاومت فشاری ترکیبات بر حسب نسبت‌های آب به مواد سیمانی در سنین مختلف

۳-۲. ساخت ملات باتارد با نسبت وزنی ۴ (نسبت وزن ماسه بر مجموع جرم سیمان و آهک شکفته) برای ساختن نمونه‌های استوانه‌ای

در آزمایش سوم برای ساخت ملات از نسبت‌های مخلوط نمونه‌ها ابتدا سیمان (۱۰۰۰ گرم)، ماسه (۶۰۰۰ گرم)، آهک (۵۰۰ گرم) و آب (به مقادیر مختلف برای ۴ نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته به میزان ۰/۶۶، ۰/۷، ۰/۷۴ و ۰/۷۸)، اندازه‌گیری و همانند آزمایش‌های قبلی مقاومت نمونه‌ها را ثبت می‌کنیم. نمودار مقاومت فشاری نمونه‌های استوانه‌ای در سنین ۷، ۲۸ و ۹۰ روزه ملات باتارد با نسبت وزنی ماسه به (سیمان و آهک شکفته) ۴ به ۱ و نسبت سیمان به آهک شکفته ۲ و با نسبت‌های مختلف آب به مواد سیمانی (مجموعه سیمان و آهک شکفته)، بر حسب کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع در نمودار شکل ۵ آورده شده است.



شکل ۵- مقاومت فشاری ترکیبات بر حسب نسبت‌های آب به مواد سیمانی در سنین مختلف

۳. نتیجه‌گیری

بخش مهم و قابل استفاده هر تحقیقی، بخش نتایج به‌دست آمده است که اگر تمام موارد به‌طور دقیق بیان شده باشد، مسلماً نتایج مفید و قابل استناد خواهند بود. در این قسمت به جمع‌بندی نتایج حاصل از آزمایشات می‌پردازیم.

۱. در این آزمایش‌ها مشاهده کردیم که هر چه مدت عمل آوری (Curing) طولانی‌تر باشد مقاومت فشاری نمونه افزایش می یابد لذا قدرت چسبندگی خمیر سیمان و آهک شکفته در داخل خمیر پا در داخل ملات باتارد افزایش می یابد.

۲. هر چه نسبت آب به مجموعه سیمان و آهک شکفته افزایش یابد، مقاومت فشاری نمونه ساخته شده کاهش می یابد و این کاهش در مقاومت در نمونه‌های ۹۰ روزه بیشتر از نمونه‌های ۷ روزه و ۲۸ روزه می باشد لذا در کار هایی مانند آجر چینی و سنگ چینی ملات باتارد نباید شل باشد بلکه باید حالت خمیری مناسبی داشته باشد.

۳. مقاومت ملات باتارد با نسبت ماسه به مجموعه سیمان و آهک شکفته ۳ به ۱ بیشتر است از مقاومت ملات باتارد با نسبت ماسه به مجموعه سیمان و آهک شکفته ۴ به ۱.

۴. مراجع

[۱] مصالح ساختمانی، مولف: دکتر حسن رحیمی (۱۳۸۵)، انتشارات دانشگاه تهران.

[۲] De Brito, J., & Saikia, N. (۲۰۱۲). “Recycled aggregate in concrete: use of industrial”, construction and demolition waste, Springer Science & Business Media.

[۳] Shiqun Li, Jishan Hu, Lui Biao, Xinguo Li. (۲۰۰۴). “Study on the weathering resistance of fly ash–lime compacts”.

[۴] محمدرضا محمدعلی‌ها، مجیدرضا آیت‌اللهی، (۱۳۸۸). "تخمین استحکام شکست مود ترکیبی یک نوع سیمان ساروجی ریز دانه"، هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.

[۵] مصالح شناسی، مولف: مهندس سیاوش کباری(۱۳۷۸)، ناشر دانش و فن.

[۶] Weiguo Shen, Mingkai Zhou, Qinglin Zhao, (۲۰۰۷). “Study on lime–fly ash–phosphogypsum binder”.

[۷] استاندارد ملی ایران ، شماره ۱۹۰۳ (تهیه و بکاربردن ملاتهای بنایی بخش اول ملاتهای ماسه سیمان– باتارد) " موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران چاپ پنجم "

[۸] ASTM C۲۳۰/C۲۳۰M–۰۳, (۲۰۰۳). “Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement”, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

[۹] ASTM C۶۴۲-۰6, (2006), “Standard Test Method for Density, Absorption,and Voids in Hardened Concrete”, ASTM International, West Conshohocken, PA, USA.

[۱۰] ASTM C۲۳۰/C۲۳۰M–03, (2003). Flow Table for Use in Tests of Hydraulic Cement, ASTM International, West Conshohocken, p. ۶.

[۱۱] ASTM Standard C ۱۰۹/C ۱۰۹M-۰8, Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using ۲-in. or [۵۰-mm] cube specimens), American society of testing and materials, West Conshohocken, Pennsylvania, USA.