

# بررسی تاثیر نسبت آهک به سیمان در ملات‌های ماسه-سیمان-آهک

مهدی گلچین<sup>۱</sup>، رضا صاحبی<sup>۱</sup>، محمدرضا توکلی‌زاده<sup>۲</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هیئت علمی، دانشگاه فردوسی مشهد

mg\_ferdowsiuniversity@yahoo.com

## چکیده

در این پژوهش به بررسی تاثیر مقدار آهک بر عملکرد ملات‌های ماسه-سیمان-آهک پرداخته شده است. در ابتدا آب مورد نیاز برای تهیه ملاتی با روانی مناسب برای نسبت‌های مختلف وزنی ملات به دست آورده شد. سپس تغییرات مقاومت فشاری و ضریب ارتجاعی ملات بر اثر جایگزینی آهک با سیمان مورد مطالعه قرار داده شد و با محاسبه ضریب نرم‌شوندگی، حساسیت چنین ملات‌هایی به آب بررسی گردید.

کلمات کلیدی: ملات ماسه-سیمان-آهک، روانی، مقاومت فشاری، ضریب ارتجاعی، ضریب نرم‌شوندگی

## پیشگفتار

ملات ماسه-سیمان-آهک که در ایران به آن ملات باتارد و یا حرام‌زاده 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، خمیریایی و نگهداشت آب را بهبود بخشیده و هزینه آن را کاهش می‌دهد [۱]. در سال‌های اخیر در ایران میزان استفاده از این ملات، 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 [۲]. در صورتی که استفاده از آن منجر به صرفه‌جویی در مصرف سیمان (که کمبود آن در سال‌های اخیر در کشور ملموس است) و همچنین کاهش چشمگیر هزینه‌ها می‌شود. به عنوان مثال برای تهیه یک متر مکعب ملات ماسه-سیمان با نسبت وزنی ۱:۲ به ۱۸۰۰ کیلوگرم سیمان نیاز است که قیمت تمام شده آن حدود ۶۰۰۰۰۰ ریال می‌گردد. در حالی که برای ملات‌های ماسه-سیمان-آهک با نسبت‌های وزنی ۲:۶:۱۶ و ۳:۵:۱۶ به ترتیب به ۱۷۰۰ کیلوگرم و ۱۶۰۰ کیلوگرم سیمان نیاز است که هزینه آنها به ۵۰۰۰۰۰ و ۴۸۰۰۰۰ ریال کاهش می‌یابد. با استفاده از چنین ملات‌هایی، علاوه بر کاهش مصرف سیمان امکان دستیابی به مزایای دیگر اشاره شده در بالا فراهم می‌گردد. بنابراین می‌توان با توجه به کاربرد ملات در مکان‌های مختلف و میزان مقاومت و کارایی مورد نیاز در هر مورد، از مقادیر مناسب آهک برای جایگزین کردن با سیمان استفاده نمود.

## پژوهش‌های پیشین

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 [۳]، که در این پژوهش به بررسی میزان تاثیر این نسبت بر برخی از این ویژگی‌ها پرداخته شده است.

یکی از عوامل موثر بر عملکرد ملات‌ها، میزان آب مورد نیاز برای به دست آوردن ملاتی با کارایی و روانی مناسب است. به طور کلی آب در ملات دو نقش مهم را ایفا می‌کند. نقش اول شرکت در واکنش‌های شیمیایی فرآیند گیرش است که در ملات‌های حاوی سیمان پرتلند و آهک به علت آبی بودن فرآیند گیرش، برجسته‌تر می‌باشد و دیگری ایجاد خمیریایی در ملات است. خمیریایی در ملات برای داشتن کارایی و روانی مناسب، مهم می‌باشد. خمیر ملات باید روانی مناسب داشته باشد تا به آسانی پخش شده، به قطعات سازه بچسبد و اتصالی یکپارچه بوجود آورد [۴].

مقاومت فشاری ملات از دیگر ویژگی‌هایی است که عملکرد ملات را مشخص می‌کند. بر اساس نتایج پژوهش‌های موجود، افزایش مقدار آهک در ملات ماسه-سیمان-آهک موجب کاهش مقاومت فشاری و افزایش نگهداشت آب می‌شود [۱]. تغییرات مقاومت فشاری در این مطالعه‌ها بر حسب ۴ نسبت مختلف بیان شده است، که در پژوهش پیش رو این ویژگی به طور جامع‌تر و با ۹ نسبت مختلف بررسی گردیده است.

ضریب نرم‌شوندگی درحقیقت تاثیر رطوبت را بر مقاومت ملات نشان می‌دهد. این ویژگی نشان دهنده کاهش مقاومت در اثر جذب آب تا حد اشباع شدن است. بنابراین ضریب نرم‌شوندگی متناسب با حساسیت مصالح نسبت به آب می‌باشد. بر اساس مطالعات پیشین مواد حساس‌تر به آب مانند رس، گچ و

آهک دارای ضریب نرم‌شوندگی نزدیک به صفر هستند، در حالی که ضریب نرم‌شوندگی مواد غیرحساس به آب مانند شیشه و آهن، در حدود یک است. از آنجا که رطوبت عامل ایجاد هوازدگی می‌باشد، ضریب نرم‌شوندگی علاوه بر تاثیر رطوبت بر مقاومت فشاری، نشان دهنده مقاومت در برابر هوازدگی نیز می‌باشد [۵].

با توجه به توضیحات داده شده برای بررسی عملکرد و خصوصیات مکانیکی ملات ماسه-سیمان-آهک، در این پژوهش به مطالعه تاثیر نسبت آهک به سیمان، بر آب مورد نیاز جهت ایجاد روانی مناسب، مقاومت فشاری، ضریب نرم‌شوندگی و ضریب ارتجاعی ملات ماسه-سیمان-آهک پرداخته شد. لازم به ذکر است که علاوه بر موارد فوق، عوامل بسیار دیگری بر عملکرد این گونه ملات‌ها تاثیر می‌گذارد که در گام‌های تکمیلی این پژوهش مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

#### پژوهش پیش رو

در این پژوهش تاثیر نسبت آهک به سیمان بر روانی، مقاومت فشاری، ضریب نرم‌شوندگی، ضریب ارتجاعی و جرم حجمی ملات ماسه-سیمان-آهک مطالعه گردید. آب مورد نیاز برای تهیه ملات‌هایی با روانی مطلوب و یکسان تعیین شد. تاثیر میزان آهک بر مقاومت فشاری ۲۸ روزه و ضریب ارتجاعی نمونه‌های مکعبی به ابعاد ۵ سانتیمتر اندازه‌گیری و با یکدیگر مقایسه گردید. ضریب نرم‌شوندگی که تاثیر رطوبت را در ملات نشان می‌دهد با به دست آوردن نسبت مقاومت اشباع به خشک نمونه‌ها تعیین شد. آزمایش‌های بیان شده در بالا بر روی ملات‌هایی با ۹ نسبت مختلف وزنی که در جدول ۱ نشان داده شده اجرا شد.

جدول ۱- نسبت های وزنی ملات های مورد آزمایش

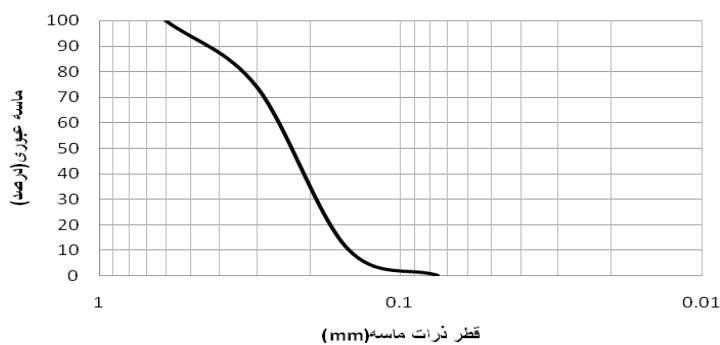
آهک	سیمان	ماسه
۸	۰	۱۶
۷	۱	۱۶
۶	۲	۱۶
۵	۳	۱۶
۴	۴	۱۶
۳	۵	۱۶
۲	۶	۱۶
۱	۷	۱۶
۰	۸	۱۶

- مصالح مصرفی:

سیمان پرتلند نوع ۱ (سیمان قانن): علت انتخاب این سیمان نزدیک‌تر بودن ویژگی‌های آن به سیمان‌های استاندارد و نداشتن مواد پوزالانی در ترکیب آن است [۶].

آهک هیدراته شده (آهک طوس خراسان): برای اطمینان بیشتر از عدم وجود ناخالصی و داشتن آهک مرغوب‌تر تمامی آهک‌های مورد استفاده توسط الک شماره ۳۰ غربال شد.

ماسه سیلیسی استاندارد: این ماسه نباید بیشتر از ۵ درصد خاک رس داشته باشد [۴]. بنابر این ماسه بادی سیلیسی موجود نخست از الک‌های شماره ۳۰ و ۱۰۰ گذرانده شد و سپس بخش مانده بین آن دو الک مورد استفاده قرار گرفت. شکل ۱ منحنی دانه‌بندی ماسه مصرفی را نمایش می‌دهد که نیاز این پژوهش را برآورده می‌نماید.



شکل ۱- منحنی دانه‌بندی ماسه استاندارد

- آب اختلاط برای به دست آوردن روانی مناسب و یکسان:

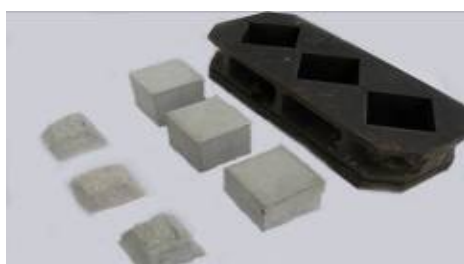
برای تعیین میزان آب مورد نیاز جهت ایجاد ملات با روانی مناسب، ملات‌های ماسه-سیمان-آهک با ۴ نسبت گوناگون و هر نسبت با ۴ میزان آب مختلف تهیه گردید. برای آماده کردن ملات‌ها پس از مخلوط کردن مصالح خشک، آب توزین شده به مخلوط اضافه و به مدت ۳۰ ثانیه خیس‌انده و سپس به مدت ۱ دقیقه هم زده شد. بعد از آن در مخروط ناقصی به ارتفاع ۷ سانتیمتر و قطر بالا و پایین به ترتیب ۴ و ۹ سانتی‌متر ریخته شد و پس از ۱ دقیقه مخروط را در مدت ۱ ثانیه بلند کرده و میزان حداکثر افزایش قطر اندازه‌گیری شد (شکل ۲). درصد آبی که افزایش قطری برابر ۱ سانتیمتر را ایجاد می‌کرد به عنوان آب مطلوب در نظر گرفته‌شد. با درون‌یابی نتایج این آزمایش برای هر مخلوط با میزان آب اختلاط گوناگون، میزان آب مورد نیاز برای رسیدن به روانی مورد نظر بدست می‌آید. لازم به ذکر است که می‌توان مقدار آب را از آزمایش‌های دیگری مانند میز سیلان نیز تعیین نمود [۷]، که در آینده نتایج به دست آمده از این آزمایش با نتایج به دست آمده از آزمایش‌های نام برده مقایسه خواهد شد و میزان همخوانی نتایج بررسی خواهد شد.



شکل ۲- ملات بعد از برداشتن مخروط

- آماده سازی، ملات‌ریزی و عمل‌آوری نمونه‌ها:

برای درست کردن نمونه‌های مورد نیاز ابتدا مصالح خشک کاملاً مخلوط گردیدند، سپس این مصالح توسط آبی که مقدار آن از آزمایش روانی به دست آمده بود به مدت ۱ دقیقه خیس‌انده و به مدت ۲ دقیقه هم‌زده شد. برای قالب‌ریزی، ملات در سه لایه درون قالب‌هایی که قبلاً آماده و روغن‌کاری شده بودند ریخته‌شد. در هر لایه، به ملات با کوبه فلزی استاندارد ۳۲ ضربه وارد گردید و قالب مدت ناچیزی روی لرزاننده جهت خارج کردن حباب‌های هوا نگه داشته شد. برای عمل‌آوری، تمام نمونه‌ها ابتدا به مدت ۲۴ ساعت در گرمخانه مرطوب با رطوبت ۹۰ درصد و سپس ۲۶ روز در هوای آزاد نگه‌داری شدند. در ۲۷ امین روز نمونه‌هایی که مقاومت خشک آنها مورد بررسی قرار می‌گرفت در گرمخانه خشک در دمای ۷۵ درجه سلسیوس و نمونه‌های که مقاومت آنها در حالت اشباع مورد بررسی قرار می‌گرفت درون آب خالص قرار داده شد [۸]. نکته حائز اهمیت این مطلب است که تمام ۹۰ نمونه در یک هفته ملات‌ریزی شد بنابراین تاثیر عوامل محیطی بر نمونه‌ها تقریباً یکسان است (شکل ۳).



شکل ۳- تصویر قالب، نمونه‌های سالم و نمونه‌های شکسته

- آزمایش فشاری:

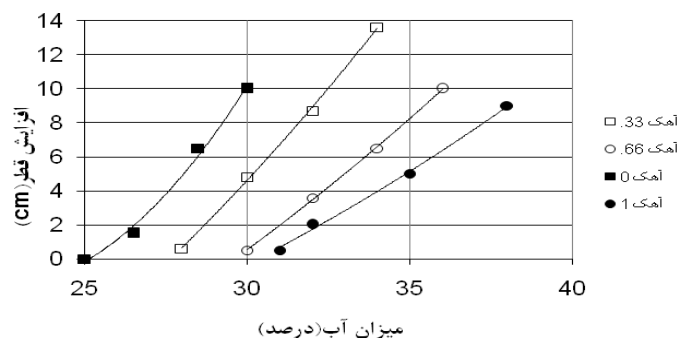
دستگاه بارگذاری متشکل از یک فنر کالیبره شده و یک گیج قرائت جابجایی می‌باشد که فک بالایی آن ثابت و فک پایینی آن با میانگین سرعت ۱ میلی‌متر بر ثانیه به سمت بالا حرکت می‌کند. این جابجایی نرخ بارگذاری ۳/۲۵ کیلونیوتن بر ثانیه را به صورت میانگین فراهم می‌سازد (شکل ۴). قبل از شکستن نمونه‌ها سطح بارگذاری مشخص و با کولیس به دقت اندازه‌گیری شد و سپس نمونه‌ها وزن شدند. شکستن نمونه‌ها با قرار دادن نمونه‌ها در دستگاه بارگذاری و اعمال بار با نرخ ثابت تا فروپاشی نمونه‌ها انجام شد. با قرائت نیروی متناظر با فروپاشی نمونه و تقسیم این نیرو بر سطح بارگذاری مقاومت فشاری نمونه‌ها بدست آمد. برای به دست آوردن ضریب نرم‌شوندگی نمونه‌ها در هر نسبت، ۵ نمونه اشباع به روش توصیف شده در بالا شکسته شد و نسبت مقاومت اشباع به خشک محاسبه گردید. برای به دست آوردن ضریب ارتجاعی علاوه بر میزان تنش وارد بر نمونه‌ها، نیاز به اندازه‌گیری

مقدار جابجایی بین دو فک دستگاه (مقدار تغییر شکل نمونه) بود. به این ترتیب با داشتن میزان تغییر شکل نمونه پیش از فروپاشی، کرنش فروپاشی و سپس با فرض خطی بودن رفتار ضریب ارتجاعی تعیین شد. برای بدست آوردن مقادیر مقاومت فشاری، ضریب نرم شوندگی و ضریب ارتجاعی، میانگین ۵ مقادیر بدست آمده را محاسبه و چنانچه نتیجه هر نمونه‌ای بیشتر از ۱۵ درصد با میانگین اختلاف داشته، نتایج آن نمونه حذف شده، و میانگین باقیمانده نمونه‌ها در نظر گرفته شد [۹].



شکل ۴- دستگاه بارگذاری

- نتایج آزمایش‌ها  
نمودارهای رسم شده در شکل ۵، نتایج به دست آمده از آزمایش روانی را نشان می‌دهند. هر یک از این منحنی‌ها میزان افزایش قطر ملات، بعد از بلند کردن مخروط را برحسب میزان آب به کار رفته در ملات نشان می‌دهند.



شکل ۵- تغییرات افزایش قطر بر حسب مقدار آب در ملات‌ها با ۴ نسبت متفاوت آهک

جدول ۲ مقاومت فشاری نمونه‌های خشک و اشباع و همچنین ضریب نرم‌شوندگی آنها را برای نسبت‌های متفاوت آهک نشان می‌دهد. هر یک از این اعداد میانگین مقاومت فشاری و ضریب نرم‌شوندگی به دست آمده از ۵ نمونه می‌باشند.

جدول ۲- مقاومت فشاری نمونه‌های خشک و اشباع و ضریب نرم‌شوندگی بر حسب درصد آهک

مقدار آهک (درصد)	مقاومت فشاری خشک (مگا پاسکال)	مقاومت فشاری اشباع (مگا پاسکال)	ضریب نرم‌شوندگی (درصد)
۰	۱۱.۶۴	۹.۸۲	۸۴
۱۳	۶.۴۹	۷.۵۴	۱۱۶
۲۵	۴.۷۳	۵.۱۱	۱۰۸
۳۸	۳.۰۳	۳.۳۴	۱۱۰
۵۰	۳.۳۵	۲.۷۸	۸۳
۶۳	۲.۵۱	۱.۷۱	۶۸
۷۵	۱.۴۸	۰.۹۹	۶۷
۸۸	۰.۸۹	۰.۵۰	۵۶
۱۰۰	۰.۸۱	۰.۴۶	۵۷

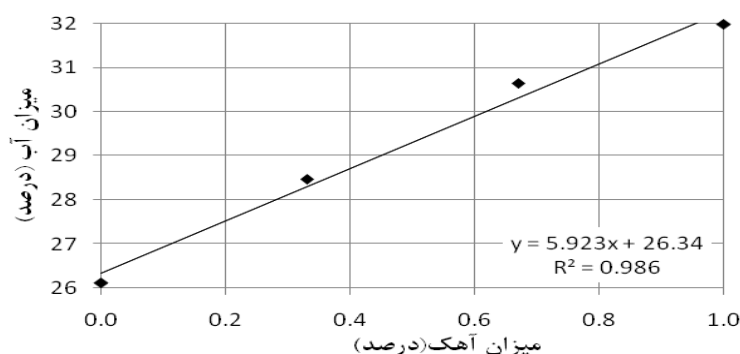
جدول ۳ ضریب ارتجاعی و جرم حجمی ملات‌های ماسه - سیمان - آهک را به ازای مقادیر متفاوت آهک نشان می‌دهد.

جدول ۳- ضریب ارتجاعی و جرم حجمی ملات‌ها با نسبت‌های وزنی آهک مختلف

میزان آهک (درصد)	جرم حجمی (کیلوگرم بر متر مکعب)	ضریب ارتجاعی (گیگاپاسکال)
۰	۱۸۱۶	۴.۴۸
۱۳	۱۷۸۳	۲.۳۴
۲۵	۱۷۱۹	۱.۷۷
۳۸	۱۶۵۵	۱.۱۸
۵۰	۱۶۲۸	۱.۳۰
۶۳	۱۵۸۴	۰.۹۹
۷۵	۱۵۴۷	۰.۶۰
۸۸	۱۵۲۶	۰.۳۷
۱۰۰	۱۵۲۵	۰.۳۴

#### تحلیل و بررسی

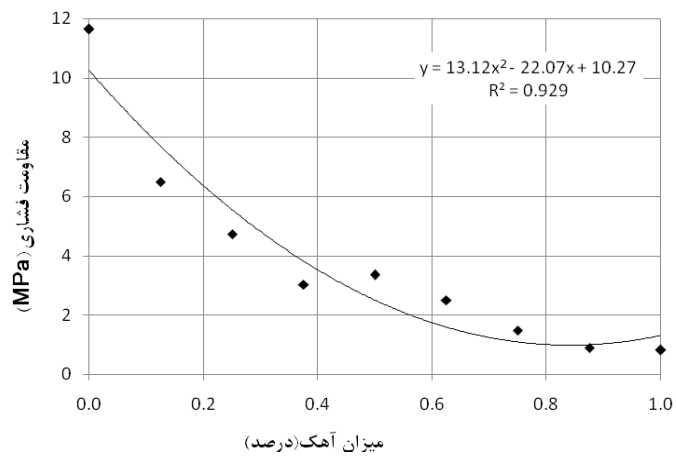
نمودار شکل ۶ مربوط به میزان آب مورد نیاز برای روانی مناسب است. همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد. میزان آب مورد نیاز برای به دست آوردن روانی مطلوب به ازای افزایش آهک به صورت خطی افزایش می‌یابد، ولی این افزایش چشمگیر نمی‌باشد. برای نمونه، ملات بدون آهک میزان آب مورد نیاز تقریباً برابر با ۲۶ درصد وزن ملات است در حالیکه اگر ۲۵ درصد سیمان را با آهک جایگزین کنیم میزان آب فقط حدود ۲ درصد افزایش پیدا می‌کند.



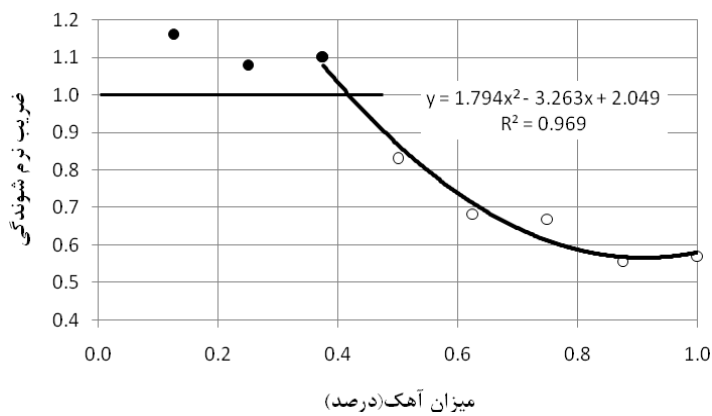
شکل ۶- تغییرات میزان آب مورد نیاز برای روانی مطلوب به ازای درصد وزنی آهک

در نمودار شکل ۷ تغییرات مقاومت در حالت خشک رسم شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود با افزایش مقدار آهک، مقاومت کم می‌شود و همچنین میزان کاهش مقاومت به ازای افزایش مقادیر کم آهک چشمگیر است ولی با افزایش مقدار آهک میزان کاهش کوچکتر می‌شود. شیب نمودار مقاومت صحت مطلب ذکر شده را نشان می‌دهد.

در نمودارهای شکل ۸ نیز تغییرات ضریب نرم‌شوندگی بر اثر تغییر مقدار آهک دیده می‌شود. همان‌گونه که از نمودارها پیدا است، میزان حساسیت به آب در ملات‌هایی که حاوی مقادیر کمتر از ۴۰ درصد آهک هستند، ناچیز و ضریب نرم‌شوندگی در حدود ۱ است. ولی به ازای مقادیر آهک بیشتر از ۴۰ درصد، تاثیر آب و رطوبت به مقاومت بیشتر و مقاومت اشباع نسبت به مقاومت خشک کمتر و ضریب نرم‌شوندگی کوچکتر می‌شود. نکته مهم این است که این ضریب در هیچ یک از نسبت‌ها کوچکتر از ۰/۵ نمی‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در محیط‌های مرطوب نباید از مقادیر زیاد آهک استفاده کرد.

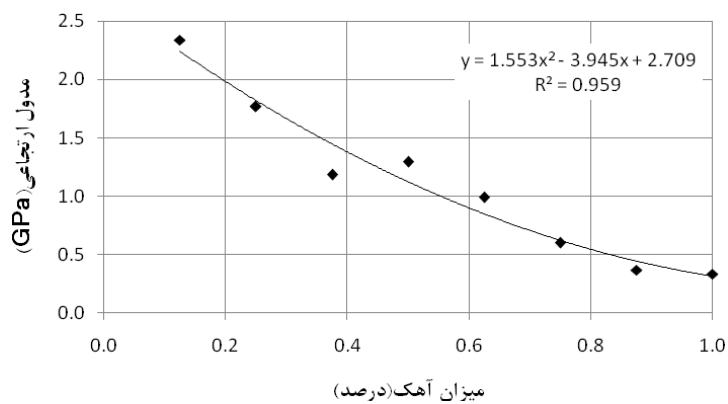


شکل ۷- تغییرات مقاومت فشاری در حالت خشک به درصد وزنی آهک



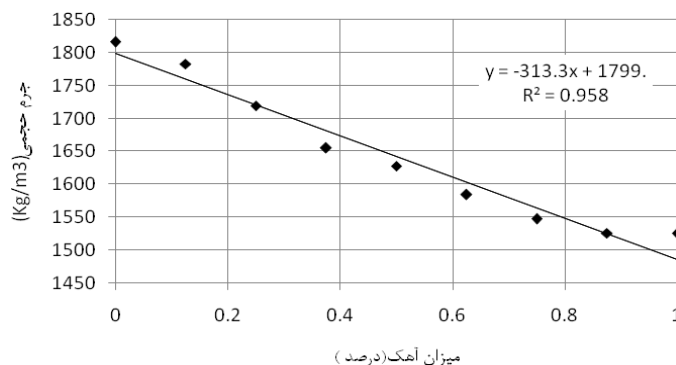
شکل ۸- تغییرات ضریب نرم شوندگی بر حسب درصد وزنی آهک

ضریب ارتجاعی نیز با افزایش مقدار آهک کاهش می‌یابد که نمودار شکل ۹ این کاهش را نشان می‌دهد.



شکل ۹- تغییرات ضریب ارتجاعی بر حسب درصد آهک

با توجه به نمودار شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که با افزایش مقدار آهک جرم حجمی ملات کاهش می‌یابد. جرم حجمی ملات ماسه-سیمان با نسبت ۱:۲ وزنی و با تراکم استاندارد در حدود ۱۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد که با جایگزینی تمام سیمان با آهک، این جرم حجمی به حدود ۱۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب می‌رسد. بنابراین با افزایش مقدار آهک وزن سازه و در نتیجه بار مرده طراحی برای آن کاهش می‌یابد.



شکل ۱۰- تغییرات جرم حجمی ملات بر حسب درصد آهک

#### نتیجه‌گیری

- با اجرای آزمایش‌ها و بحث و بررسی نتایج آنها، نکته‌های زیر حاصل می‌گردد:
- برای رسیدن به روانی مطلوب با افزایش آهک به آب بیشتری مورد نیاز است.
- مقاومت فشاری ملات (در حالت خشک و در حالت اشباع) با افزایش آهک کاهش می‌یابد.
- با افزایش آهک حساسیت به آب زیاد و ضریب نرم‌شوندگی کم می‌شود. اما در عبارات پایین آهک (مقادیر کمتر از ۳۰ درصد آهک) این تاثیر ناچیز است.
- ضریب ارتجاعی با افزایش آهک کاهش می‌یابد یا ملات‌های آهک‌دار سختی کمتری دارند.
- به واسطه کاهش جرم حجمی ملات‌های آهکی، بار مرده طراحی کاهش پیدا می‌نماید.

#### سپاسگزاری:

با سپاس فراوان از مدیریت گروه عمران و دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد و همچنین مسئولین آزمایشگاه‌های مصالح ساختمانی و مکانیک خاک برای همکاری آنها زیرا که بدون آن کمک‌ها این پژوهش میسر نبود. همچنین از کمک دوستانی که در طول این پژوهش ما را یاری نمودند سپاسگزاریم.

#### مراجع

- ۱- "مصالح ساختمانی"، مولف: دکتر حسن رحیمی (۱۳۸۵)، انتشارات دانشگاه تهران
- ۲- "مصالح شناسی"، مولف: مهندس سیاوش کباری (۱۳۷۸)، ناشر دانش و فن
- ۳- استاندارد ملی ایران، شماره ۱۹۰۳ (تهیه و بکاربردن ملات‌های بنایی بخش اول ملات‌های ماسه سیمان - باتارد) "موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران چاپ پنجم"
- ۴- "مصالح ساختمانی"، مولف: میر محمد کریم طباطبایی (۱۳۸۰)، ناشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- 5- Shackelford, J.F, (1996), "Introduction to materials science for engineers", 4ed, Prentice-Hall, London
- 6- American society for testing and materials A.S.T.M C 150-89 "standard specification for Portland cement"
- ۷- استاندارد ملی ایران، شماره ۳-۹۱۵۰ (ملات‌های بنایی قسمت سوم ملات‌های بنایی قسمت سوم تعیین مقاومت تعیین روانی ملات تازه به‌وسیله میز روانی) "موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران چاپ اول"
- ۸- استاندارد ملی ایران، شماره ۱۱-۹۱۵۰ (ملات‌های بنایی قسمت یازدهم تعیین مقاومت خمشی و فشاری ملات سخت شده) "موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران چاپ اول"
- 9- American society for testing and materials A.S.T.M C 780-90 "standard test method for preconstruction and construction evaluation of mortar for plain and reinforced unit masonry"