

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

مهدی گلچین^۱، رضا صاحبی^۱، محمدرضا توکلی‌زاده^۲

۱- دانشجوی کارشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هیئت علمی، دانشگاه فردوسی مشهد

mg_ferdowsiuniversity@yahoo.com

reza_azer85@yahoo.com

drt@um.ac.ir

خلاصه

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 مدول 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، مدول ارتجاعی، ضریب نرم‌شوندگی

مقدمه

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، نگهداشت آب و هزینه استفاده از آن را بهبود می‌بخشد [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 سالیان اخیر در کشور ملموس است) و همچنین کاهش چشمگیر هزینه‌ها می‌شود. به عنوان مثال برای درست کردن 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 خواص تاثیر 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 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 تحقیقات بر حسب ۴ نسبت مختلف بیان شده است، که در پژوهش پیش رو این ویژگی به طور جامع‌تر و با ۹ نسبت مختلف بررسی گردید.

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 مدول ارتجاعی ملات ماسه-سیمان-آهک پرداخته شد. لازم به ذکر است 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، مدول 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 مدول ارتجاعی نمونه‌هایی با ابعاد $5 \times 5 \times 5$ سانتیمتر مکعبی 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 گشت. آزمایش‌های بیان شده در بالا بر روی ملات‌هایی با ۹ نسبت مختلف وزنی که در جدول ۱ نشان داده شده اجرا شد.

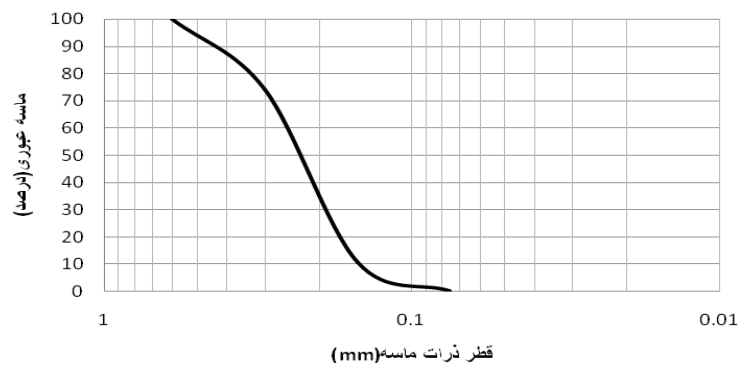
آهک	سیمان	ماسه
8	0	16
7	1	16
6	2	16
5	3	16
4	4	16
3	5	16
2	6	16
1	7	16
0	8	16

- مصالح مصرفی:

سیمان پرتلند نوع ۱ (سیمان قائن). علت انتخاب این سیمان بدون پوزولان بودن آن و نزدیک‌تر بودن ویژگی‌های این سیمان به سیمان‌های استاندارد 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 دو الک با دانه بندی مناسب مطابق نمودار شکل شماره ۱ تهیه و مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۱- نمودار دانه‌بندی ماسه

- تعیین مقدار 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 (قطر بالایی مخروط ۴ سانتی‌متر، قطر پایینی ۹ سانتی‌متر و ارتفاع آن ۷ سانتی‌متر) ریخته شد و پس از ۱ دقیقه مخروط را در زمانی حدود ۱ ثانیه بلند کرده و میزان حداکثر افزایش قطر اندازه‌گیری شد (شکل ۲). درصد آبی که افزایش قطر ۱ سانتی‌متر را ایجاد می‌کرد به عنوان آب مطلوب در نظر گرفته شد. با رسم نمودارها و درون‌یابی نتایج این آزمایش میزان افزایش قطر هر نسبت برحسب درصد آب و همچنین میزان آب مورد نیاز برای هر نسبت آهک به دست آمد. لازم به ذکر است که می‌توان مقدار آب را از آزمایش‌های دیگری مانند میز روانی و استفاده از دستگاه مخروط استاندارد اندازه‌گیری کرد [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 نزدیکی 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 ریخته شد. 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 تا روز بیست‌وهفتم در هوای آزاد نگهداری شدند. در روز بیست‌وهفتم 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 در روز بیست‌وهفتم در 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 نمونه شکسته

- شکست نمونه‌ها
دستگاه بارگذاری متشکل از یک فنر کالیبره شده و یک گیج قرائت جابجایی می‌باشد که فک بالایی آن ثابت و فک پایینی آن با سرعت ۰/۹ میلی‌متر بر ثانیه به سمت بالا حرکت می‌کند که بدین ترتیب به طور متوسط با سرعت ۳/۲۵ کیلو نیوتن بر ثانیه عمل بارگذاری انجام می‌شود (شکل ۴). برای محاسبه نیرو، قرائت گیج را در تابع فنر دستگاه بارگذاری قرار داده و میزان نیرو اعمالی در لحظه شکست بر حسب کیلو نیوتن محاسبه می‌گردد. نمونه‌های آماده شده با نسبت‌های مختلف پس از ۲۸ روز شکسته شدند و مقاومت فشاری آنها اندازه‌گیری شد. برای به دست آوردن ضریب نرم‌شوندگی نمونه‌ها در هر نسبت، ۵ نمونه خشک و ۵ نمونه اشباع شکسته شد و نسبت مقاومت اشباع به خشک محاسبه گردید.

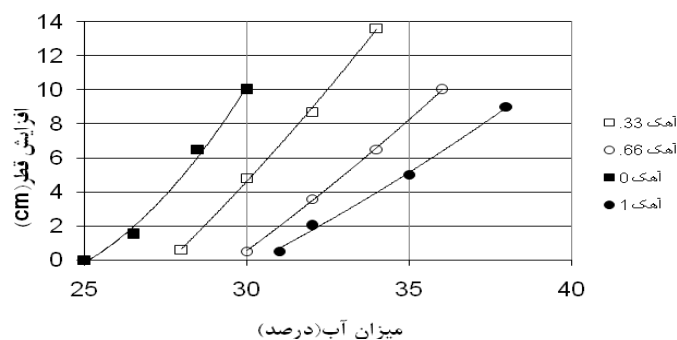
برای به دست آوردن مدول ارتجاعی علاوه بر میزان تنش وارد بر نمونه‌ها، که با استفاده از قرائت گیج دستگاه به دست می‌آید، نیاز به پیدا کردن مقدار بالا آمدن فک پایینی دستگاه (مقدار تغییر شکل نمونه) بود. برای به دست آوردن تغییر شکل، اندیکاتوری بر روی دستگاه نصب کردیم و به وسیله آن مقدار بالا آمدن فک دستگاه را اندازه گرفتیم. به این ترتیب با به دست آوردن نمودار میزان تغییر شکل بر حسب قرائت گیج و محاسبه کرنش، مدول ارتجاعی به دست آورده شد.



شکل ۴- دستگاه بارگذاری

- نتیجه آزمایش‌ها

نمودارهای شکل زیر نتایج به دست آمده از آزمایش روانی را نشان می‌دهند. هر یک از این نمودارها افزایش قطر ملات، بعد از بلند کردن مخروط را بر حسب میزان آب به کار رفته در ملات نشان می‌دهند (شکل ۵).



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

جدول (۲) مقاومت فشاری خشک و اشباع و همچنین ضریب نرم‌شوندگی نمونه‌های آزمایش شده را برای مقادیر متفاوت آهک نشان می‌دهد. هر یک از این اعداد میانگین مقاومت فشاری و ضریب نرم‌شوندگی به دست آمده از ۵ نمونه است.

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

مقدار آهک (درصد)	مقاومت فشاری خشک (Mpa)	مقاومت فشاری اشباع (Mpa)	ضریب نرم‌شوندگی
0.00	11.64	9.82	0.84
0.13	6.49	7.54	1.16
0.25	4.73	5.11	1.08
0.38	3.03	3.34	1.10
0.50	3.35	2.78	0.83
0.63	2.51	1.71	0.68
0.75	1.48	0.99	0.67
0.88	0.89	0.50	0.56
1.00	0.81	0.46	0.57

جدول (۳) مدول ارتجاعی و جدول (۴) جرم حجمی ملات ماسه - سیمان - آهک را به ازای مقادیر متفاوت آهک نشان می‌دهد.

جدول ۳- مدول ارتجاعی ملات با نسبت های وزنی آهک مختلف

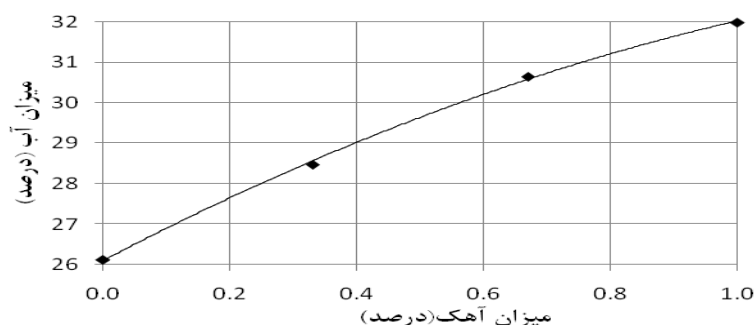
میزان آهک(درصد)	مدول ارتجاعی(Gpa)
0.00	4.48
0.13	2.34
0.25	1.77
0.38	1.18
0.50	1.30
0.63	0.99
0.75	0.60
0.88	0.37
1.00	0.34

جدول ۴- جرم حجمی ملات با نسبت های وزنی آهک متفاوت

میزان آهک(درصد)	جرم حجمی(Kg/m ³)
0	1816
0.125	1783
0.25	1719
0.375	1655
0.5	1628
0.625	1584
0.75	1547
0.875	1526
1	1525

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، بیشتر می‌شود. به طور مثال در 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 حدود ۲ درصد افزایش پیدا می‌کند.

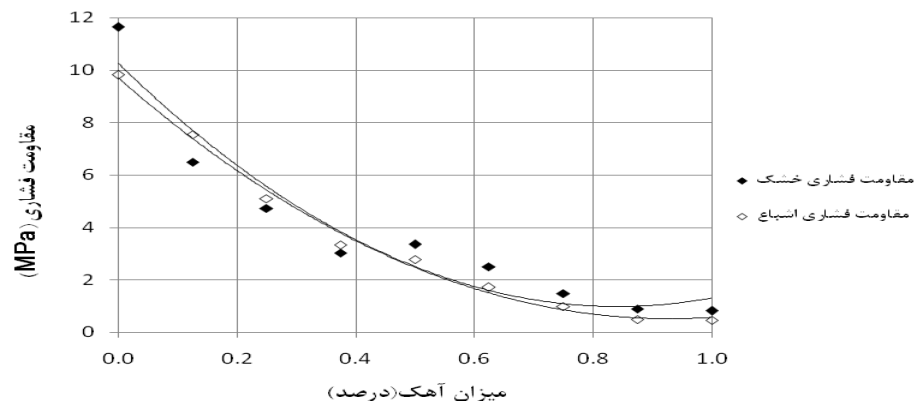


شکل ۶- تغییرات میزان آب مطلوب به ازای درصد وزنی آهک

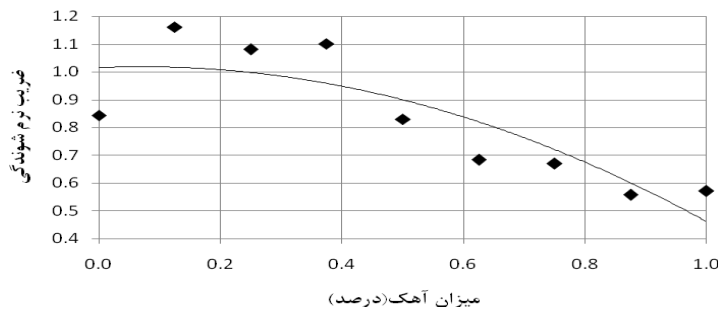
در نمودار شکل ۷ تغییرات مقاومت در حالت‌های خشک و اشباع رسم شده است. همانگونه که دیده می‌شود با افزایش مقدار آهک، مقاومت کم می‌شود و همپنین میزان کاهش مقاومت به ازای افزایش مقادیر کم آهک چشمگیر است ولی با افزایش مقدار آهک میزان کاهش کوچکتر می‌شود. شیب نمودار مقاومت صحت مطلب ذکر شده را نشان می‌دهد.

در نمودار شکل ۸ نیز تغییرات ضریب نرم‌شوندگی بر اثر تغییر مقدار آهک به‌خوبی دیده می‌شود. همانگونه که از نمودارها پیدا است میزان حساسیت به آب در ملات‌هایی که حاوی مقادیر کمتر از ۳۰ درصد آهک هستند، ناچیز و ضریب نرم‌شوندگی در حدود یک است. ولی به ازای مقادیر آهک بیشتر از ۳۰

درصد، تاثیر آب و رطوبت به مقاومت بیشتر و مقاومت اشباع نسبت به مقاومت خشک کمتر و ضریب نرم‌شوندگی کوچکتر می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در محیط‌های مرطوب نباید از مقدار زیاد آهک استفاده کرد.

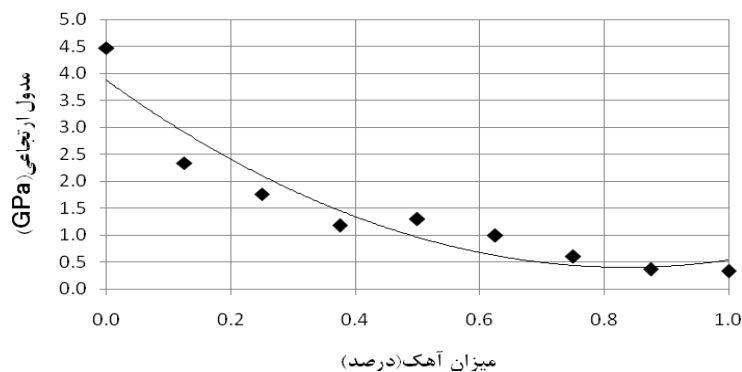


شکل ۷- تغییرات مقاومت فشاری در ۲ حالت خشک و اشباع بر حسب درصد وزنی آهک



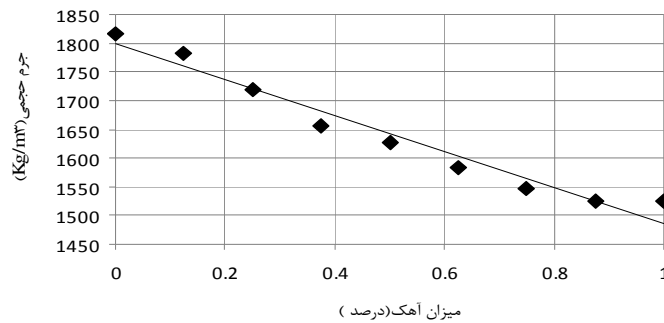
شکل ۸- تغییرات ضریب نرم‌شوندگی بر حسب درصد وزنی آهک

مدول ارتجاعی نیز با افزایش مقدار آهک کاهش می‌یابد که نمودار شکل زیر این کاهش را نشان می‌دهد. بنابراین در ملات‌های که میزان آهک بیشتری در آنها به کار رفته به ازای نیروی برابر تغییر شکل بیشتری مشاهده می‌گردد.



شکل ۹- تغییرات مدول 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 آن کم می‌شود.



شکل ۱۰- تغییرات جرم حجمی ملات بر حسب درصد آهک

نتیجه گیری

- با اجرای آزمایش‌ها و بحث و بررسی داده‌ها نتایج زیر حاصل می‌گردد:
- برای رسیدن به روانی مطلوب به ازای افزایش آهک آب بیشتری مورد نیاز است.
 - مقاومت فشاری ملات (در حالت خشک و در حالت اشباع) با افزایش آهک کم می‌شود.
 - به طور کلی با افزایش آهک حساسیت به آب زیاد و ضریب نرم‌شوندگی کم می‌شود. اما در مقادیر کمتر از ۳۰ درصد آهک این تاثیر ناچیز است.
 - مدول ارتجاعی با افزایش آهک کاهش می‌یابد، یعنی به ازای نیروی یکسان تغییر شکل ملات‌های آهک‌دار زیادتر است.
 - بار مرده در سازه با افزایش آهک درملات به واسطه کاهش جرم حجمی کم می‌شود.

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 "