

بررسی مقاومت فشاری و برخی دیگر از ویژگی‌های ملات شفته آهکی

علیرضا رمضانی^۱، دانیال غفاریان^۱، محمدرضا توکلی‌زاده^۲

۱- دانشجوی کارشناسی، دانشگاه فردوسی مشهد

۲- عضو هیئت علمی، دانشگاه فردوسی مشهد

se_gh61@stu-mail.um.ac.ir

al_ra974@stu-mail.um.ac.ir

reza_tavakoli_pe@yahoo.com

چکیده

شفته از ملات‌های قدیمی می‌باشد که از آن برای ساختن پی و اندود کردن استفاده می‌شود. بدست آوردن مقدار بهینه آهک در ملات شفته برای اقتصادی کردن آن امری ضروری است. این کار با اندازه‌گیری مقاومت فشاری ملات‌های ساخته شده و بدست آوردن رابطه‌ای بین مقاومت فشاری و مقدار آهک امکان‌پذیر است. همچنین در شرایط مختلف عمل‌آوری نیز این مقدار بهینه ممکن است متفاوت باشد که در این پژوهش مورد بررسی قرار می‌گیرد. ضریب نرم‌شوندگی و چگالی نیز موارد دیگری است که به ازای مقادیر مختلف آهک بررسی می‌شود.

کلمات کلیدی: شفته آهکی، مقاومت فشاری، ضریب نرم‌شوندگی، چگالی، ضریب کشسانی

پیشگفتار

مردم ایران چند هزار سال است که شفته آهکی را می‌شناسند و در ساختمانها مصرف کرده‌اند. کف، بدنه و پوشش گورهای چمباتمه‌ای که بیش از سه هزار سال پیش در ایران بجا مانده‌اند، با شفته‌ی آهکی ساخته شده‌اند. تا ۲۰ یا ۳۰ سال پیش نیز تقریباً پی‌سازی ۸۰٪ خانه‌های ساخته شده در ایران با شفته آهکی بود و همچنین در اغلب ساختمان‌ها از ملات ماسه آهکی یا ماسه آهک سیمان استفاده می‌نمودند ولی به علت خورندگی شدیدی که بین آهک و فلزات بکار رفته در ساختمان ایجاد می‌گردید، رفته رفته مصرف آهک منسوخ شد و با رواج صنعت سیمان‌سازی در مملکت و همچنین ایجاد ساختمان‌های چندین طبقه رفته رفته بتن مسلح جای شفته آهکی را در پی‌سازی گرفته و ملات ماسه سیمان به جای ملات ماسه آهک مصرف می‌شود. در ملات شفته، آهک و رس نقش چسباننده را دارند و با هم واکنش می‌دهند و ماسه نقش پرکننده را دارد. سنگ آهک خالص بی‌رنگ و بلوری است، با درجه سختی ۳ تا ۴ و وزن مخصوص 2.71 Kg/cm^3 و ترکیب حدود ۶۰٪ اکسید کلسیم و ۴۰٪ سنگ آهک خالص در درجه حرارت ۲۴۰۰ تا ۳۰۰۰ درجه با کربن ترکیب شده و به کاربید کلسیم CaC_2 تبدیل می‌شود [۱]. کانی‌های رس سیلیکات‌های آلومینیوم پیچیده‌ای می‌باشند که از یکی از دو واحد پایه چهاروجهی سیلیکا یا هشت‌وجهی آلومینا تشکیل یافته‌اند. کانی‌های رسی به سه شکل کائولینیت‌ها، ایلیت‌ها و مونت‌مریلونیت‌ها دیده می‌شوند. البته سایر کانی‌های رسی نیز وجود دارند. از جمله کلریت‌ها، هالوسیت‌ها، ورمیکولیت‌ها و آتاپولگیت‌ها. چگالی (G_s) کانی‌های رس معمولاً بین ۲.۶ تا ۲.۸ متغیر است [۲].

گرفتن و سفت و سخت شدن ملات شفته آهک مانند گرفتن و سخت شدن ملات‌های آبی دیگر است. آهک با سیلیس خاک رس ترکیب شده و تبدیل به سیلیکات کلسیم می‌شود و نیازی به کربن‌دی‌اکسید هوا ندارد. در گرفتن این ملات دوغاب آهک کار الکترولیت را می‌کند. هیدروکسید کلسیم به یون کلسیم و یون هیدروکسید تجزیه می‌شود. همزمان با جابجا شدن کاتیون، یون هیدروکسید کار محرک را می‌کند و pH ملات را به بیش از ۱۲ بالا می‌برد. با انبوه شدن یون هیدروکسید همه‌ی کاتیون‌های جابجا شده سیلیکات و آلومینات‌های خاک رس بیشتر حل می‌شوند [۳].

آهک به علت خاصیت خمیری و مقاومت خمشی مطلوب در اغلب کشورها به عنوان بخشی از ملات سیمانی به کار برده می‌شود. همچنین آهک در تماس با خاک‌های رسی فعال به ویژه رس‌های سه لایه‌ای با کاتیون‌های تک ظرفیتی مثل سدیم که دارای نمایه خمیری (PI) زیاد می‌باشند با جایگزینی یون کلسیم بجای یون سدیم، موجب کاهش قابل ملاحظه‌ی پلاستیسیته‌ی خاک و افزایش کارایی در عملیات خاکی (مانند راهسازی) می‌گردد. همچنین باعث کاهش پتانسیل تورم و انقباض پذیری خاک می‌شود [۴]. برای ساختن شفته آهک بهترین خاک، شن و ماسه با دانه‌بندی پیوسته است که ریزدانه‌های آن از ۲۵٪ و خاک رس آن از ۱۵٪ وزن خاک کمتر نباشد. جنس و مقدار آهک، جنس خاک، دانه‌بندی آن، مقدار خاک رس و روش ریختن و عمل‌آوری شفته آهک و عمر آن از عوامل مهم و مؤثر در مقاومت شفته آهک هستند.

ویژگی‌های شفته آهکی:

۱- از ارزان ترین مصالح است.

۲- تقریباً بعد از یک هفته قابل بارگذاری است.

- ۳- نسبت به بتن دیرگیر تر است.
- ۴- آب خیلی کم در آن نفوذ می کند بنابراین کمتر در خطر یخ زدن و متلاشی شدن است.
- ۵- هیچ نوع گیاهی در آن نمی روید و اگر در جاده سازی استفاده شود بستر راه از هجوم گیاهان محفوظ می ماند.
- ۶- با فلزات مانند فولاد و حتی لوله های گالوانیزه میل ترکب شدن دارد.
- ۷- باعث پوسیدگی لایه های قیرگونی می شود [۵].

پژوهش های پیشین:

طبق آزمایش هایی که در مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن ایران انجام گرفته است، ملات شفته تهیه شده با خاک علی آباد جنوب تهران که دارای ۵۲.۳۶٪ سیلیس و ۱۴.۷٪ اکسید آلومینیوم بود، و آهک نسای راه چالوس که شکفته ی آن ۶۲.۷۲٪ اکسید کلسیم داشت، تاب فشاری ۲۸ روزه ملات شفته برای نسبت وزنی آهک به خاک، مطابق جدول شماره ۱ است:

جدول ۱- تاب فشاری بر حسب نسبت وزنی آهک به خاک

نسبت وزنی آهک به خاک	تاب فشاری (MPa)
۱ به ۲	۱.۵
۱ به ۳	۱.۸
۱ به ۴	۱.۰
۱ به ۵	۱.۱

بنابراین در نسبت وزنی ۱ به ۳ تاب فشاری پیشنهاد است.

همچنین تاب فشاری ۲۸ روزه ملات شفته به ازای ملات ساخته شده با روش های مختلف مطابق جدول شماره ۲ است:

جدول ۲- تاب فشاری بر حسب روش ساخت نمونه ها

روش ساخت	تاب فشاری (MPa)
خاک الک نشده با دوغاب آهک	۲.۸
خاک الک شده با دوغاب آهک	۴.۸
در هم کردن آهک شکفته و خاک و افزودن آب	۳.۴

بنابراین ملات شفته، باید یا دوغاب آهک، ساخته شود.

برای پیدا کردن تاب کششی و خمشی و فشاری شفته که دارای یک وزن آهک شکفته + سه وزن خاک است، نمونه های ۵*۵*۱۶ و ۴*۱۶*۱۶ و ۸*۱۶*۱۶ سانتی متر که دو روز در قالب و ۲۶ روز در هوای آزاد آزمایشگاه نگهداری شده اند، ساخته شد. تاب کششی، MPa ۰.۲۰۶ و تاب خمشی MPa ۰.۲۸۷ و تاب فشاری، MPa ۳.۱ اندازه گیری شد.

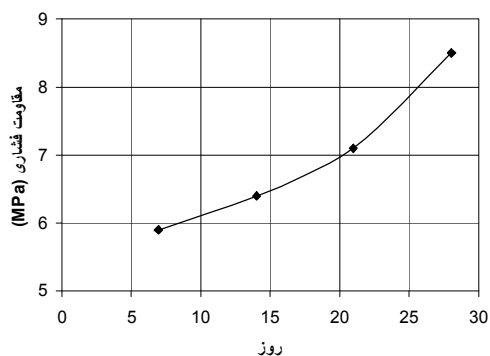
همچنین در این آزمایش ها، نمونه های نگهداری شده در رطوبت ۴۷٪ و دمای ۵۰ درجه سانتیگراد، به تاب فشاری ۷ روزه MPa ۴.۸ رسیدند در حالی که نمونه هایی که در شرایط مشابه ولی بدون رطوبت قرار داشتند، دارای تاب فشاری MPa ۱.۸ بودند.

تغییرات تاب فشاری با دمای محیط نگهداری نیز در جدول شماره ۳ آمده است:

جدول ۳- تاب فشاری بر حسب دمای محیط نگهداری

دمای محیط نگهداری (درجه سانتیگراد)	تاب فشاری (MPa)
۳۵	۲.۶۰
۴۵	۳.۹۵
۵۰	۴.۸۰
۶۰	۵.۹۰

روند رشد مقاومت نیز برای نمونه‌های دارای نسبت وزنی آهک به خاک ۱ به ۳ مطابق شکل ۱ بدست آمد:



شکل ۱- روند رشد مقاومت فشاری

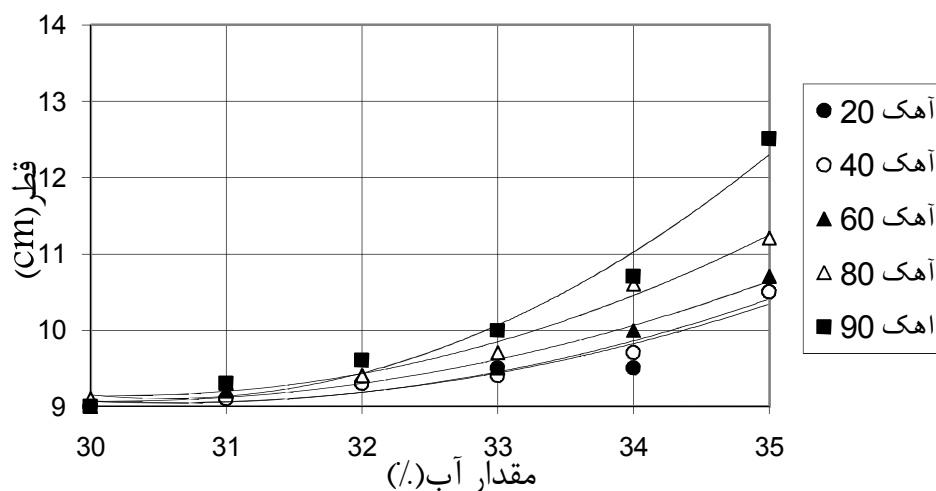
پژوهش پیش رو:

هدف از آزمایش، مقایسه مقاومت فشاری نمونه‌های ۵٪ آهک است که دارای درصد متفاوت و شرایط عمل‌آوری متفاوت هستند. ملات‌های ساخته شده ۲ قسمت وزنی ماسه و ۱ قسمت وزنی مخلوط خاک و آهک است که با درصد‌های متفاوت با هم ترکیب می‌شوند. ترکیبات مختلف به صورت ۲۰٪ آهک و ۸۰٪ خاک می‌باشد که تفاوت مقاومت فشاری درمورد آنها بررسی می‌شود.

از آنجا که شرایط محیطی بر روی خواص آهک و در نتیجه ملات ساخته شده تأثیر زیادی دارد بنابر این باید دقت زیادی در یکنواختی شرایط ساخت ملات‌ها به عمل آید. از آن جمله تمیز بودن ظروف و آب مورد استفاده برای تهیه ملات است که باید حتی‌الامکان عاری از هر گونه آلودگی باشد. به عنوان مثال مرطوب بودن ظرف‌ها می‌تواند نتایج چشمگیری در نتایج آزمایش‌ها داشته باشد. یکنواختی، سرعت و مدت زمان به هم زدن ملات‌ها نیز تأثیراتی بر نتایج آزمایش‌ها دارد که باید به آنها دقت شود.

نمونه‌های ساخته شده، ابتدا ۲۴ ساعت در آون مرطوب قرار می‌گیرند. سپس بسته به شرایط عمل‌آوری به مدت ۲۸ روز در محیط مرطوب یا در شرایط محیطی آزمایشگاه نگهداری می‌شوند. از هر کدام از مخلوط‌ها، ۱۵ نمونه ساخته می‌شود که ۵ نمونه در شرایط مرطوب و ۱۰ نمونه در شرایط محیطی آزمایشگاه قرار می‌گیرند. پس از ۲۸ روز ۵ عدد از نمونه‌های عمل‌آوری شده در محیط آزمایشگاه در داخل آب غوطه‌ور می‌شوند و بقیه نمونه‌ها مورد آزمایش مقاومت فشاری قرار می‌گیرند. پس از ۲۴ ساعت نمونه‌های غوطه‌ور در آب نیز مورد آزمایش قرار می‌گیرند. برای ترکیب‌های مختلف آهک و خاک باید روانی ملات یکسان باشد که برای رسیدن به این روانی باید آزمایش‌های روانی انجام شود که برای اینکار، آزمایشی مطابق زیر طرح ریزی شد.

ملات ساخته شده با درصد آب دلخواه پس از یک دقیقه خیس خوردن داخل مخروط ناقصی به ارتفاع ۷.۰۰ cm و شعاع قاعده‌ی ۹.۰۰ cm و ۴.۰۰ ریخته شده و به وسیله‌ی میله فلزی متراکم شد تا هوای آن خارج شود. پس از ۳۰ ثانیه مخروط به آرامی برداشته می‌شود. بدین ترتیب قطر قاعده آن در دو نقطه اندازه‌گیری شده و میانگین آنها به عنوان افزایش قطر ثبت می‌شود. با انجام مکرر این آزمایش برای درصد آب بین ۳۰ تا ۳۵ درصد برای مخلوط‌های دارای ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ درصد آهک، نمودارهایی به صورت نمودار شکل ۲ به دست آمده است.

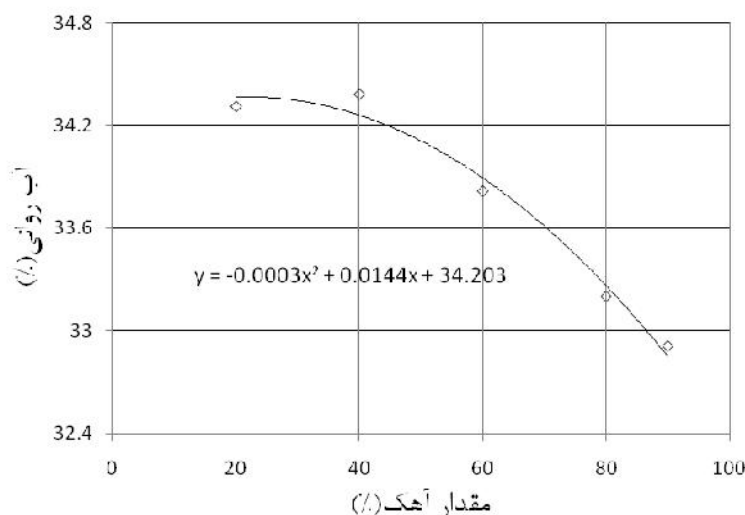


شکل ۲- نمودار افزایش قطر بر حسب درصد آب

در این نمودارها درصد آبی که برای افزایش قطر ۱ cm لازم است را مشخص شد (قطر ۱۰ cm) که توسط آن نمودار دیگری به صورت نمودار شکل ۲ برای افزایش قطر ۱ cm در برابر درصد آهک است. از روی این نمودار درصد آب برای افزایش قطر ۱ cm برای مخلوط های حاوی ۵۰، ۷۰، ۹۰ و ۳۰ درصد آهک نیز مشخص شد. در پایان از روی نمودار شکل ۳ درصد آب برای درصد آهک های مختلف بدست آمده و در جدول ۴ ثبت شده است.

جدول ۴- درصد آهک بر حسب درصد آب برای افزایش قطر ۱ cm

مقدار آب (%)	مقدار آهک (%)
۳۴.۳۷	۲۰
۳۴.۳۶	۳۰
۳۴.۳۰	۴۰
۳۴.۱۷	۵۰
۳۳.۹۹	۶۰
۳۳.۷۴	۷۰
۳۳.۴۳	۸۰
۳۳.۰۷	۹۰



شکل ۳- نمودار درصد آهک بر حسب درصد آب برای افزایش قطر ۱ cm

پس از بدست آوردن درصدهای آب لازم، ملات ها با درصد آهک های متفاوت ساخته شده و در قالب های ۵*۵*۵ ریخته شد. برای خارج شدن هوا، ملات درون قالب ها با میله ی فلزی کوبیده شد. سپس در محیط مورد نظر (محیط آزمایشگاه و محیط مرطوب) عمل آوری شد. پنج عدد از نمونه هایی که در محیط آزمایشگاه عمل آوری شده بودند، یک روز قبل از شکستن اشباع شدند. وزن اجزای ملات برای مخلوط های مختلف در جدول شماره ۵ آمده است:

جدول ۵- وزن اجزای تشکیل دهنده ملات های دارای درصد آهک متفاوت

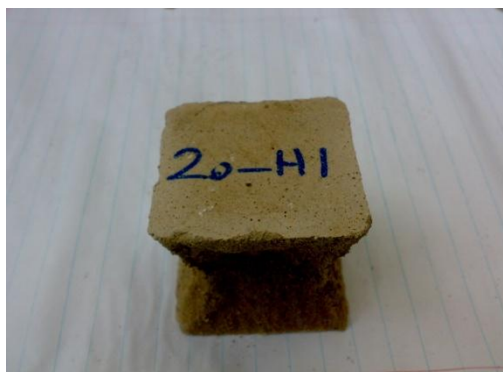
وزن آب (gr)	وزن ماسه (gr)	وزن آهک (gr)	وزن رس (gr)
۱۲۳۷.۳	۲۴۰۰	۲۴۰	۹۶۰
۱۲۳۷.۰	۲۴۰۰	۳۶۰	۸۴۰
۱۲۳۴.۸	۲۴۰۰	۴۸۰	۷۲۰
۱۲۳۰.۱	۲۴۰۰	۶۰۰	۶۰۰
۱۲۲۳.۶	۲۴۰۰	۷۲۰	۴۸۰
۱۲۱۴.۶	۲۴۰۰	۸۴۰	۳۶۰
۱۲۰۳.۵	۲۴۰۰	۹۶۰	۲۴۰
۱۱۹۰.۵	۲۴۰۰	۱۰۸۰	۱۲۰



شکل ۴- دستگاه بارگذاری

قبل از شکستن نمونه ها سطح بارگذاری مشخص و با کولیس اندازه گیری شد و سپس وزن نمونه ها مشخص شد. وزن نمونه هایی که در آب غوطه ور می شدند نیز قبل و بعد از غوطه وری مشخص شد. با شکستن نمونه ها و تبدیل عدد خوانده شده از روی دستگاه و تبدیل آن توسط منحنی کالیبراسیون دستگاه بارگذاری به نیرو و تقسیم کردن این نیرو بر سطح بارگذاری مقاومت فشاری نمونه ها بدست آمده و منحنی آنها رسم شد. سرعت بالا آمدن فک پایینی دستگاه، ۰.۹ mm/s اندازه گیری شد. نتایج حاصل از شکستن نمونه ها در جدول ۶ درج شد و همچنین نمودار آن در اشکال ۶ و ۷ قابل مشاهده است. نمودار نرمالیز شده برای مقایسه مقاومت فشاری نمونه های نگهداری شده در محیط مرطوب و محیط خشک نیز در شکل ۸ آمده است. شکستن نمونه ها توسط دستگاه مقاومت فشاری که در شکل ۴ نشان داده شده است انجام شد.

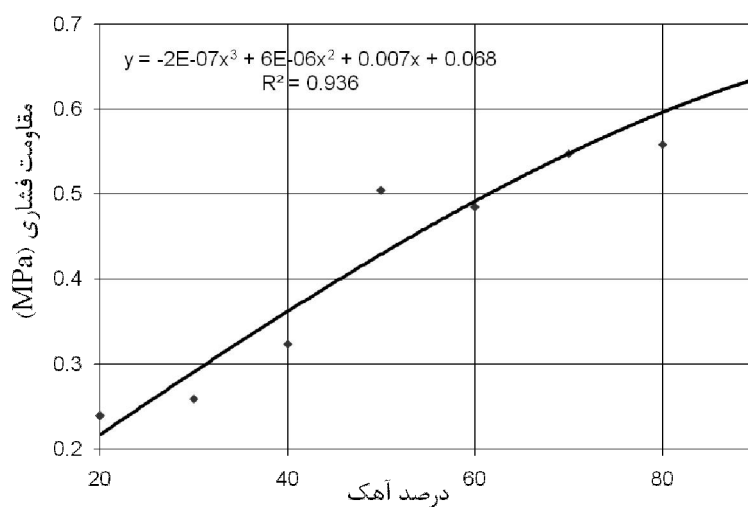
لازم به ذکر است که در مورد مقاومت فشاری اشباع نمونه‌هایی که دارای ۲۰ و ۳۰ و ۴۰ درصد آهک بودند، مدتی پس از قرار گرفتن در آب، از هم پاشیدند و امکان اندازه‌گیری مقاومت فشاری آنها وجود نداشت. در شکل زیر یک نمونه‌ی مرطوب پس از بارگذاری نمایش داده شده است.

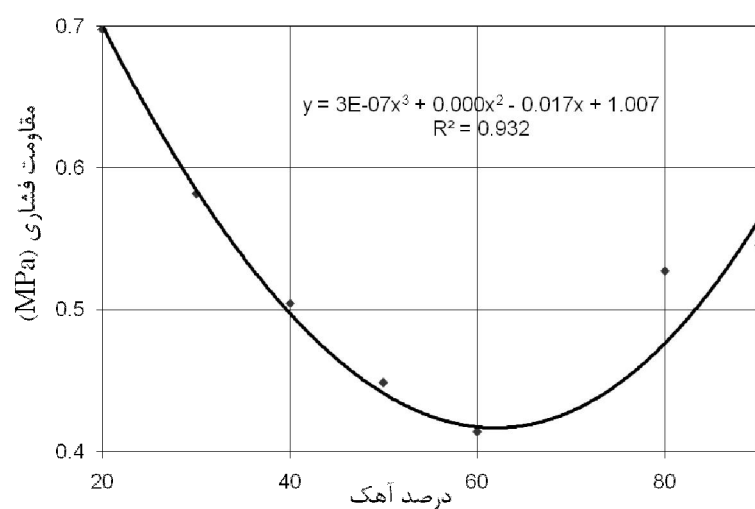


شکل ۵- نمونه پس از بارگذاری

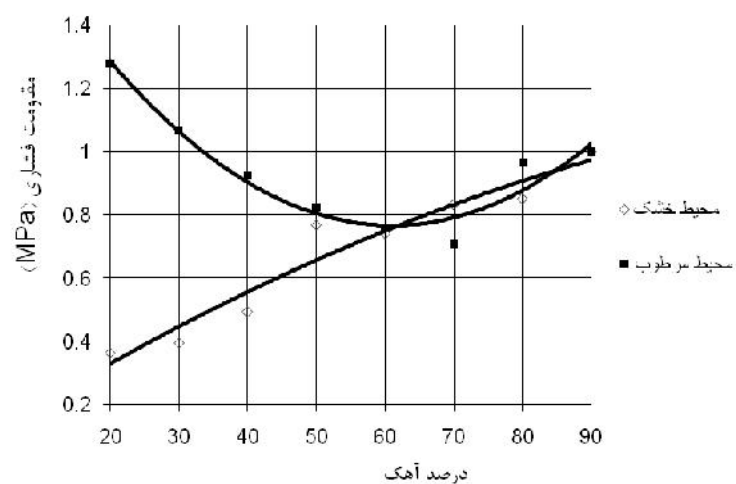
جدول ۶- مقاومت فشاری نمونه‌های عمل‌آوری شده در شرایط مختلف با درصد آهک مختلف

یک روز نگهداری در آب	در محیط مرطوب	در محیط آزمایشگاه	مقدار آهک (%)
–	۰.۶۹۸	۰.۲۳۹	۲۰
–	۰.۵۸۲	۰.۲۵۹	۳۰
–	۰.۵۰۴	۰.۳۲۳	۴۰
۰.۲۰۸	۰.۴۴۸	۰.۵۰۵	۵۰
۰.۲۵۱	۰.۴۱۴	۰.۴۸۵	۶۰
۰.۲۸۰	۰.۳۸۶	۰.۵۴۷	۷۰
۰.۲۹۰	۰.۵۲۷	۰.۵۵۸	۸۰
۰.۲۹۳	۰.۵۴۶	۰.۶۵۶	۹۰

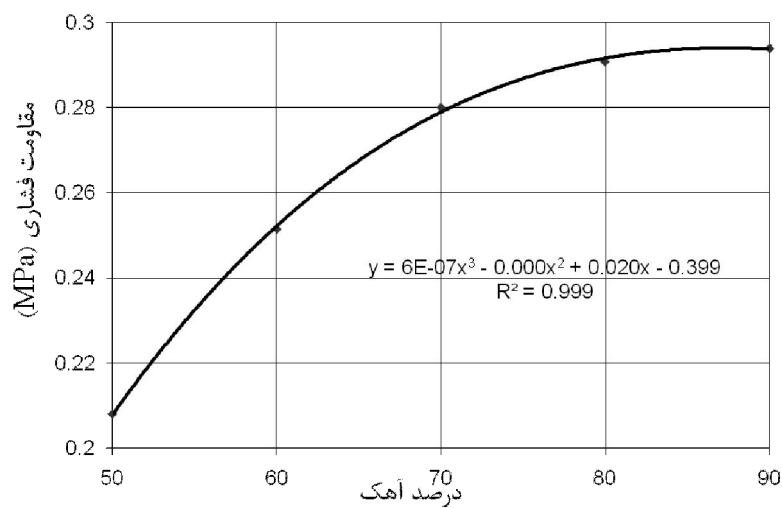




شکل ۷- نمودار مقاومت فشاری نمونه های عمل آوری شده در محیط مرطوب



شکل ۸- نمودار نرمالیز شده برای مقایسه مقاومت فشاری نمونه های نگهداری شده در محیط مرطوب و محیط خشک



شکل ۹- نمودار مقاومت فشاری نمونه های نگهداری شده در آب به مدت یک روز

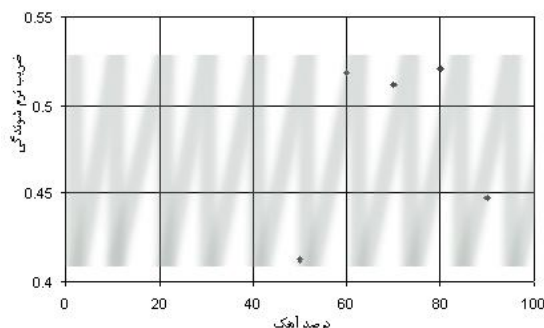
نرم شوندگی یا حساسیت به آب مشخصه‌ای است که در مورد برخی از مصالح ساختمانی حساس به آب مانند خاک رس، ملات گچ، ملات آهک، سنگ و... بکار می‌رود و نشان دهنده کاهش مقاومت ماده بر اثر جذب آب و اشباع شدن است. برای بیان این خاصیت از ضریبی موسوم به ضریب نرم شوندگی که با رابطه ۱ بیان می‌شود، استفاده می‌گردد [۶]:

$$k_s = \frac{f_{sat}}{f_d} \quad (1)$$

در این رابطه f_{sat} مقاومت فشاری ماده در حالت اشباع، f_d مقاومت فشاری ماده در حالت خشک و k_s ضریب نرم شوندگی است. برای نمونه‌های تهیه شده با درصد آهک متفاوت، ضریب نرم شوندگی محاسبه شده و در جدول ۷ و شکل ۱۰ نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که ضریب نرم شوندگی از رابطه خاصی پیروی نمی‌کند و به طور میانگین در این بازه برابر با ۰.۴۸ می‌باشد.

جدول ۷- ضریب نرم شوندگی به ازای آهک متفاوت

ضریب نرم شوندگی	مقدار آهک (%)
۰.۴۱۲	۵۰
۰.۵۱۸	۶۰
۰.۵۱۱	۷۰
۰.۵۲۰	۸۰
۰.۴۴۷	۹۰

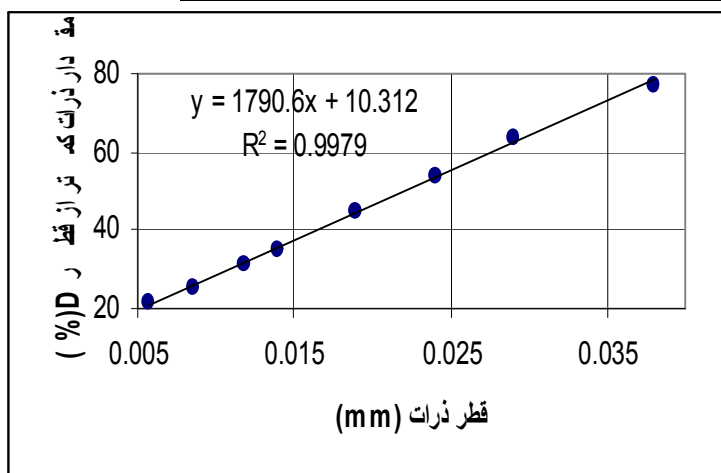


شکل ۱۰- ضریب نرم شوندگی برای درصد آهک متفاوت

با نصب اندیکاتوری بر روی دستگاه، تغییر شکل آن نیز قابل اندازه‌گیری بود که بصورت رابطه‌ای بین قرائت عقربه دستگاه و تغییر شکل قابل بیان است. با تقسیم کردن این تغییر شکل بر ارتفاع نمونه، کرنش بدست می‌آید. می‌توان مدول الاستیسیته نمونه‌ها را با تقسیم کردن تنش بدست آمده برای هر نمونه بر کرنش آن بدست آورد. مدول الاستیسیته برحسب درصد آهک نمونه‌ها در جدول ۸ ارائه گردیده قابل مشاهده است.

جدول ۸- مدول الاستیسیته نمونه‌های عمل‌آوری شده در محیط‌های مختلف با درصد آهک متفاوت

یک روز نگهداری در آب	در محیط مرطوب	در محیط آزمایشگاه	مقدار آهک (%)
-	۱۱۱.۴	۷۰.۵	۲۰
-	۱۰۳	۶۷.۸	۳۰
-	۹۹.۲	۷۹.۵	۴۰
۶۱	۹۱.۷	۹۵.۶	۵۰
۶۷.۵	۹۰	۹۶.۶	۶۰
۷۳.۸	۸۸.۴	۱۰۱.۳	۷۰
۷۳.۴	۹۸	۱۰۰.۱	۸۰
۷۴	۹۹.۱	۱۰۶	۹۰



شکل ۱۱- تغییرات مقدار ذرات کمتر از قطر D بر حسب قطر ذرات

قابل توجه است که در تمامی آزمایشات از آهک توس خراسان استفاده شده. آهک و خاک مورد استفاده از الک شماره ۳۰ عبور کرده و ماسه مورد استفاده نیز بین الک #۳۰ و #۱۰۰ باقی مانده است.

با انجام آزمایش‌های دانه‌بندی و اندازه‌گیری چگالی ذرات خاک در آزمایشگاه خاک، چگالی خاک ۲.۸۱ گرم بر سانتیمتر مکعب و چگالی مخصوص آن $G_s = 2.83$ بدست آمد. نمودار دانه‌بندی خاک استفاده شده در این پروژه با انجام دانه‌بندی با هیدرومتر مشابه شکل ۱۱ به دست می‌آید، که بیانگر دانه‌بندی ریز خاک است.

پس از مشخص شدن ریز دانه بودن خاک، با تعیین حدود اتربرگ نوع آن مشخص شده است. حدود اتربرگ به شرح زیر به دست آمده است.

$$LL = 21.56$$

$$PL = 2.78$$

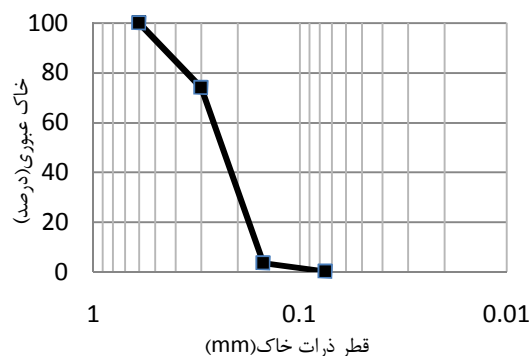
$$PI = LL - PL \rightarrow PI = 18.78$$

با مقایسه مقدار PI با مقدار بدست آمده از معادله تجربی خط A ($PI = 0.73(LL - 20)$) که برابر با ۱۰۱۴ است، نتیجه می گیریم، خاک ما رس با حد روانی پایین است.

درصد عبوری دانه های ماسه از الک های استاندارد مطابق جدول ۹ می باشد. نمودار دانه بندی ماسه مورد استفاده نیز مطابق شکل ۱۲ است. [۷]

جدول ۹- درصد عبوری دانه های ماسه از الک

قطر الک	درصد عبوری
۰.۶	۱۰۰
۰.۳	۷۴.۰۶
۰.۱۵	۳.۵۴
۰.۰۷۵	۰.۲۲



شکل ۱۲- منحنی دانه بندی ماسه مورد استفاده

نتیجه گیری:

با توجه به آزمایشات انجام گرفته، برای ملات های مختلف شفته آهکی در محیط های عمل آوری متفاوت می توان به صورت زیر اظهار نظر کرد:

- نمونه های عمل آوری شده در محیط آزمایشگاه به علت از دست دادن رطوبت، عملاً به ملات ماسه- آهک که یک ملات هوایی است، تبدیل شده و شکل ۶ بیانگر آن است که با افزایش درصد آهک، مقاومت فشاری نمونه های ساخته شده با ملات ماسه آهک افزایش می یابد.
- نمونه های عمل آوری شده در محیط مرطوب، به ازای درصد آهک زیاد نیز همان ملات ماسه - آهک است. زیرا رس کافی برای انجام واکنش وجود ندارد. علت کاهش مقاومت فشاری این نمونه ها نسبت به نمونه هایی که در محیط آزمایشگاه عمل آوری شده اند، نیز کمبود دی اکسید کربن در محفظه مرطوب برای تکمیل واکنش هوایی ماسه - آهک است. ولی هنگامی که درصد رس افزایش می یابد (با کاهش درصد آهک)، ملات به سمت شفته ای شدن پیش می رود که با آهک ۲۰ درصد، بیشترین مقدار را دارد. با کاهش بیشتر درصد آهک، احتمالاً مقاومت فشاری، دوباره کاهش می یابد.
- در نمونه های اشباع مورد آزمایش، مقاومت فشاری تقریباً از همان رویه مقاومت فشاری در مورد نمونه های عمل آوری شده در محیط آزمایشگاه پیروی می کند که مقداری کاهش یافته است.
- نمونه هایی که پس از ۲۸ روز به مدت ۲۴ ساعت در محیط اشباع قرار گرفته اند و درصد آهک کمتر و مساوی ۴۰ داشتند، به سرعت در محیط اشباع از هم پاشیده شدند. این فرآیند به علت کمبود ماده ی سیمانی چسبنده (آهک) نسبت به ماده پر کننده (ماسه) و رس رخ داده است. همچنین مقاومت سایشی نمونه های کم آهک نیز به صورت کیفی بسیار پایین بود.
- ضریب کشسانی برای نمونه های تهیه شده با درصد آهک های مختلف از رویه ای خاص پیروی نمی کند لذا بدست آوردن رابطه ای بین این دو کمیت نیاز به آزمایشات بیشتری دارد.

مراجع

- [۱] مصالح ساختمانی، احمد حامی، ویرایش ۵، تهران، دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ ۱۳۷۶
- [۲] اصول مهندسی ژئوتکنیک، برجا ام داس، انتشارات پارس آیین ۱۳۷۵
- [۳] مصالح ساختمانی، سید محمد کریم طباطبائی، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، مرکز نشر ۱۳۷۹
- [۴] مصالح ساختمانی، حسن رحیمی، تهران، دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ ۱۳۸۵
- [۵] مصالح شناسی، سیاوش کیانی، تهران، دانش و فن ۱۳۷۴
- [6] Introduction to materials science for engineers , shackelford, J.F.
- [۷] استاندارد ملی ایران، شماره ۷۵۱۸، خاک، تعیین دانه بندی خاکها، روش /ازمون، چاپ اول