بسم الله الرحمن الرحیم

سازمان مجری ساختمانها و تاسیسات دولتی و عمومی

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

بررسی ساخت ملات و اندود سبک با کاربردهای مختلف

گزارش پیشرفت 100 درصد

کارفرما

سازمان مجری ساختمان‌ها و تاسیسات دولتی و عمومی وزارت راه و شهرسازی

مجری

مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی

آبان 1394

اعضای کمیته فنی پروژه‌های پژوهشی سازمان مجری ساختمانهای دولتی و عمومی – وزارت راه و شهرسازی

- مهندس اخباری
- مهندس خالد خیری
- مهندس خسرو شادمهر

کارشناسان مسئول پروژه

- مهندس خسرو شادمهر
- مهندس شهابی

مدیر پروژه

- دکتر سهراب ویسه

اسامی همکاران پروژه به ترتیب حروف الفبا

- محمدرضا امیدظهیر
- دکتر محسن تدین - مشاور
- فاطمه جعفرپور
- مرتضی حبیبی نجفی
- ناهید خدابنده
- امیر مازیار رییس قاسمی
- زهره شهرستانی
- فهیمه فیروزیار
- دکتر بهروز کاری- مشاور
- مهناز مظلومی ثانی

داوران کمیته تخصصی پروژه

- مهندس حسن تابش
- دکتر سپهر گنجه‌ای

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول 7
کلیاتی در مورد ملات و اندود سبک 7
1-1 تاریخچه 8
2-1 استفاده از سبکدانه ها در ملات 9
3-1 وظیفه ملات 11
4-1 خواص ملات 11
1-4-1 ملات تازه 11
2-4-1 ملات سخت شده 12
5-1 ترکیب ملات و اثر آن بر خواص 15
6-1 انواع ملات 18
7-1 مصارف توصیه شده ملات‌ها 18
8-1 انتخاب نوع مناسب ملات 20
9-1 ملات سبکدانه رس منبسط 21
10-1 ملات بنایی 21
11-1 ملات اندود 22
12-1 ملات با جذب آب کم 22
13-1 ملات خشک آماده 23
14-1 سنگدانه 25
فصل دوم 33
منابع سبک‌دانه‌های ایران برای تولید ملات سبک 33
1-2 تولید سبکدانه‌ها 34
1-1-2 سبکدانه رس منبسط 35
2-1-2 پرلیت 36
3-1-2 ورمیکولیت 39
4-1-2 دیاتومیت 41
5-1-2 پوکه‌های معدنی 44

6-1-2 پومیس 45
فصل سوم 50
استانداردهای ملات سبک و ملات لایه نازک و سبکدانه مورد استفاده در آن‌ها 50
1-3 سنگدانه برای ملات سیمانی بنابر استاندارد ASTM 51
2-3 استاندارد سبکدانه و قطعات بنایی سبک، سبکدانه برای بلوک‌های بنایی بتنی (بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 4985) 51
3-3 سبکدانه برای بتن سازه‌ای (بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 4985) 54
4-3 سبکدانه برای بتن عایق حرارتی (بر اساس استاندارد ASTM C332) 55
7-3 ملات سبک، استاندارد DIN 1408- 4 59
2-9-3 ملات مخلوط شده در کارخانه مطابق استاندارد DIN 18557 63
10-3 استاندارد ویژگی برای ملات لایه نازک مورد استفاده در بنایی بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) ASTM C1660 67
فصل چهارم 71
تحقیقات سایر پژوهشگران 71
1-4 کاربرد پومیس در ملات و اندود بلوک‌های سبک ساختمان 71
1-1-4 مواد مورد استفاده 73
2-1-4 سهمبندی مخلوط برای ملات و اندود 78
3-1-4 خواص سنگدانه 80
4-1-4 تحلیل نتایج آزمون ملات‌ها 81
1-2-4 مواد مورد استفاده 104
2-2-4 اندازهگیری ضریب هدایت حرارتی، چگالی و آزمون‌های مقاومت 107
3-2-4 آزمون‌های نفوذپذیری آب، مکش مویینه و نفوذ کلراید 109
4-2-4 نتیجه‌گیری 111
3-4 پاسخ ضربهای ملات‌های سبک حاوی پرلیت منبسط 112
1-3-4 آزمون مقاومت خمشی 118
2-3-4 آزمون ضربه 118
3-3-4 نتیجه گیری 123
4-4 ملات سبک ساخته شده با فوم پلی یورتان بازیافتی 123
1-4-4 آماده سازی نمونه 126
2-4-4 غلظت و کارایی 127
3-4-4 بخش مقدار منافذ هوایی 129

5-4 آجر سبک و ملات سبک 131
6-4 مواد سبک پوزولانی مورد استفاده در ملات: بررسی تاثیر آنها در چگالی، مقاومت مکانیکی و جذب آب 133
1-6-4 روش تجربی 136
ضریب جذب آب مویینه 140
2-6-4 سوسپانسیون سیمان 144
فصل پنجم 147
نتایج آزمون‌های انجام شده در این پژوهش 147
1-5 مواد اولیه مورد استفاده 148
1-1-5 چسباننده‌ها 148
2-1-5 سبکدانه‌ها 150
3-1-5 مواد افزودنی 165
2-5 بررسی‌های آزمایشگاهی انواع ملات با طرح اختلاط مختلف 167
1-2-5 تعیین خواص مخلوط ملات تازه 167
2-2-5 تعیین خواص فیزیکی انواع ملات‌های سخت شده 179
فصل ششم 205
نتیجه‌گیری 205
پیوست 1 ترجمه استاندارد سنگدانه‌ها برای ملات 209
پیوست 2 سبکدانه- قسمت اول: سبکدانه برای بتن، ملات و گروت- ویژگی‌ها 235
مراجع 261

چکیده

ملات مخلوطی است از ماده‌ای چسباننده، ماسه و آب که در صورت لزوم برای رسیدن به کارائی مورد نظر مواد افزودنی به آن اضافه می‌شود. برای کسب بهترین نتیجه هنگام استفاده از آجرها و بلوک‌های سبک، لازم است ملاتی متناسب با آن پیش‌بینی گردد تا از بروز پل‌های حرارتی و افت کیفیت دیوار از بعد انتقال حرارت در حد امکان جلوگیری شود.

با استفاده از ملات‌های بنایی سبک و ملات‌های با بستر نازک مقادیر ضریب هدایت حرارتی خشک را می‌توان از حدود 2W/m.K به حدود 0/19W/m.K تقلیل داد.

در این پژوهش از پومیس، سبک‌دانه رس منبسط و پرلیت به عنوان سنگدانه (سبک‌دانه) به جای سنگ‌دانه سنتی در ملات استفاده شد و به منظور رسیدن به بهترین مخلوط از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات، سهم‌بندی مواد تغییر داده شد. در نهایت خواص ملات شامل: روانی ملات تازه، عمر کارایی، وزن واحد ملات تازه، چگالی خشک انبوهی ملات سخت شده، جذب آب 24 ساعته، ضریب جذب آب موئینه، مقاومت خمشی و مقاومت فشاری اندازه‌گیری شد. همچنین ضریب هدایت حرارتی نمونه‌های ملات‌های ساخته شده با سبکدانه و ملات‌های ساخته شده با ماسه معمولی تعیین شد.

دستاورد این پروژه دستیابی به دانش فنی تولید ملات سبک عایق حرارتی است که با تولید ملات سبک بنایی و اندودکاری سبک عایق حرارتی در هزینه‌های سرمایش و گرمایش صرفه‌جویی شود. بررسی خواص، مشخصات فنی و چگونگی ساخت انواع گوناگون ملات و اندود سبک با کاربردهای مختلف برای مصرف در پروژه‌های ساختمانی از جمله پروژه‌های سازمان مجری ساختمان‌ها و تاسیسات دولتی و عمومی از اهداف این تحقیق است.

فصل اول

کلیاتی در مورد ملات و اندود سبک

مقدمه

ملات یکی از مصالح ساختمانی است که در حالت تازه (سخت نشده) خمیری شکل است و از اختلاط جسم چسباننده مانند خمیر سیمان و جسم پرکننده مانند سنگدانه ریز ساخته شده و در صورت نیاز به مشخصات ویژه کاربری، از مواد افزودنی در آن استفاده می‌شود. از ملات برای چسباندن قطعات مصالح بنایی به یکدیگر، تأمین بستری برای توزیع بار، اندودکاری، نماسازی، بندکشی و ... استفاده می‌شود. از نظر ترکیب، ملات یک بتن ریزدانه است که قوانین بتن در مورد آن صادق است. ملات» ها را می‌توان از جهت چگالی ظاهری، نوع مواد چسباننده، خواص فیزیکی و مکانیکی و نوع کاربرد تقسیم‌بندی کرد.

از دو نوع ملات مهم در ساختمان‌سازی استفاده می‌شود:

1- ملات ماسه و سیمان: مخلوطی از ماسه و سیمان به نسبت‌های مختلف است. ملات ماسه سیمان برای دیوارچینی، آب‌بندی کف و دیوارهای آب انبارها، آب‌گیرها، پی‌ها، ساختمان‌های بتنی و بتن مسلح در زیر زمین، در زیرآب و در روی زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. ملات ماسه سیمان دارای مقاومت خوبی به ویژه در سنین اولیه است.

2- ملات ماسه، سیمان و آهک: این ملات‌ها با نسبت‌های مختلفی از سیمان پرتلند، آهک هیدراته و ماسه ساخته می‌شود. این نوع ملات در برابر یخ زدن و آب شدن عملکرد بهتری دارد. حجم سنگدانه در ملات ماسه سیمان آهک باید بین 2/25 تا 3 برابر مجموع حجم سیمان و آهک باشد.

مواد تشکیل دهنده ملات‌ها عمدتا شامل سیمان پرتلند، سیمان پرتلند پوزولانی، سیمان بنایی، سیمان سرباره‌ای، سیمان پرتلند آهکی، خاکستر بادی و سایر پوزولان‌های مورد استفاده با آهک هیدراته برای مصارف بنایی و بنابر نیاز افزودنی‌ها است.

امروزه با توجه به افزایش بهای انرژی و لزوم صرفه‌جویی در مصرف انرژی از یک سو و توجه به سبک‌سازی و کاهش هزینه‌های ساخت از سوی دیگر، سبب شده است که ملات‌های سبک که نوع

جدیدی از ملات‌های بنایی و اندودکاری هستند در دنیا متداول شود. از مزایای این نوع ملات‌ها و اندودها ایجاد خواص عایق‌کاری حرارتی است. علاوه بر مزایای فوق ملات‌های سبک به لحاظ ساختار ویژه، جزو مصالح سبک محسوب می‌شوند بنابراین از بار مردهٔ ساختمان می‌کاهند و در نتیجه خسارات ناشی از زلزله را کاهش می‌دهند.

پیرو قرارداد فی‌مابین مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی با سازمان مجری ساختمانها و تاسیسات دولتی و عمومی، اجرای پروژه "بررسی ساخت ملات و اندود سبک با کاربردهای مختلف" به این مرکز واگذار شد و گزارش حاضر نتایج به دست آمده از این پروژه است. این پروژه تحقیقاتی در بخش مصالح و فراورده‌های راه و ساختمان مرکز انجام شد. مراحل انجام تحقیق به شرح زیر است:

1. جمع‌آوری و بررسی اطلاعات، اسناد و مدارک فنی مرتبط در زمینه انواع ملات و اندود سبک عایق حرارتی و جمع‌بندی اطلاعات فنی گردآوری شده.
2. تهیه مواد و مصالح مختلف (شامل انواع چسباننده، پرکننده و افزودنی) مورد نیاز برای ساخت نمونه‌های ملات سبک
3. بررسی کیفیت مواد و مصالح مورد استفاده در ساخت ملات از طریق آزمون‌های استاندارد
4. ساخت ملات اندودکاری سبک و عایق حرارتی با مواد و طرح اختلاط مختلف
5. انجام آزمون‌های آزمایشگاهی برای تعیین خواص فیزیکی- مکانیکی و دوام ملات سبک ساخته شده در بند 4 براساس استانداردها
6. بررسی نتایج به دست آمده از آزمون‌ها براساس استانداردهای بین‌المللی و استانداردهای ملی ایران
7. انتخاب طرح اختلاط بهینه و مقایسه مشخصات فنی آن با ملات مشابه وارداتی
8. بررسی اقتصادی ساخت ملات‌های سبک در کشور
9. نتیجه‌گیری و ارائه گزارش نهایی.

1-1 تاریخچه

اولین ملاتی که در ساختمان مصرف می‌شده، گل بوده است. گاهی آن را با کاه مخلوط و مصرف می‌کردند. در مصر و سایر قسمت‌های خاورمیانه گچ به صورت نیمه هیدراته به عنوان ملات در بناهای یادبود، مثل اهرام مصرف شده است.

در زمان‌های باستان، در ساختمان‌سازی در سرتاسر جهان مخلوط‌هایی شامل پرکننده‌ها، سنگ آهک یا آهک پخته استفاده می‌شد (مالینوفسکی1991). یکی از قدیمی‌ترین نمونه‌های چسباننده‌های آبی به 5000 سال قبل از میلاد باز می‌گردد. این مخلوط از آهک و خاک دیاتومه‌ای خلیج فارس تشکیل شده است (مالینوفسکی و فریفلت 1993)[92].

پس از آن قدیمی‌ترین ملاتی که استفاده از آن گزارش شده است، در منطقه مدیترانه قرار دارد. این پوزولان‌ها از خاکستر آتشفشانی و پومیس ساخته شده بودند که حدود 80 درصد شیشه آتشفشانی (پومیس و ابسیدین) را شامل می‌شدند[92].

ملات گچ پخته و ماسه در مصر حداقل از 2690 سال قبل از میلاد استفاده شده بود.

قبل از آن که فناوری جدید به صنایع ساختمانی راه یابد، مهمترین ملاتی که در ساختمان مصرف می‌شد آهک پخته بود. بعدها در یونان و روم باستان، ملات‌ها را از مواد مختلف مانند آهک پخته، توف آتشفشانی و ماسه تولید می‌کردند. وقتی نخستین اسکان بشر در شمال آفریقا پدیدار شد، فرآورده نسبتا ضعیفی از آهک و ماسه ساخته گردید. استفاده متداول از سیمان پرتلند در ملات در اوایل قرن بیستم آغاز شد و هنگامی که سیمان پرتلند به تنهایی یا در ترکیب با آهک مورد استفاده قرار گرفت تا حد زیادی منجر به تقویت ملات شد. ملات‌های نوین هنوز هم با چسباننده سیمان پرتلند، آهک هیدراته و همچنین سیمان بنایی به اضافه مواد افزودنی تولید می‌شوند.

2-1 استفاده از سبکدانه ها در ملات

امروزه مقاومت در برابر زلزله، هزینه کم، کیفیت خوب و مصرف انرژی کم، مهم‌ترین معیارهای طراحی ساختمان هستند. در سال‌های اخیر، پیشرفت‌های به دست آمده در بخش ساختمان باعث استفاده از مصالح ساختمانی سبک با عملکرد فنی برتر در ساخت و ساز شده است. اهمیت استفاده از سبکدانه‌ها در صنعت بتن را می‌توان از نتایج رویداد زلزله بهتر درک کرد. بسیاری از تولیدکنندگان بتن در مورد استفاده از مواد سبک و طبیعی بررسی‌های علمی انجام داده‌اند.

استفاده از سنگ‌دانه‌های سبک و متخلخل در بتن یا ملات به دلایل ایمنی و انرژی به طور قابل ملاحظه‌ای در حال افزایش بوده و در حال تبدیل شدن به عنوان یک عایق حرارتی پرمصرف در جهان است. مصالح ساختمانی استفاده شده و خواص حرارتی آنها، از عوامل مهم برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی از طریق عایق‌کاری حرارتی در ساختمان است.

سازندهای پومیس، سرباره‌های آتشفشانی، دیاتومیت و پرلیت را می‌توان به عنوان سبک‌دانه‌های طبیعی به شمار آورد. با این حال این سبک‌دانه‌های طبیعی لازم است خصوصیات ضروری از نظر فنی، مهندسی و صنعتی را تامین کنند [106].

در این پژوهش از پومیس، سبک‌دانه رس منبسط و پرلیت به عنوان سنگدانه (سبک‌دانه) به جای سنگ‌دانه سنتی در ملات استفاده شد و به منظور رسیدن به بهترین مخلوط از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی محصولات، سهم‌بندی مواد تغییر داده شد. در نهایت خواص ملات شامل: غلظت ملات تازه، عمر کارایی، وزن واحد ملات تازه، وزن واحد ملات سخت شده، جذب آب 24 ساعته، ضریب جذب آب موئینه، مقاومت خمشی و مقاومت فشاری اندازه‌گیری شد. همچنین ضریب هدایت حرارتی نمونه‌های ملات‌های ساخته شده با سبکدانه و ماسه معمولی تعیین شد.

در حال حاضر استفاده از ملات‌های سبک در کشور بسیار محدود است. از آنجایی‌که بخش عمده ترکیبات این نوع ملات‌ها مواد معدنی است، بنابراین ساخت این نوع مصالح در داخل کشور امکان‌پذیر بوده و می‌تواند صرفه اقتصادی را نیز به دنبال داشته باشد.

پومیس ماده اولیه صنعتی مهم، پرمصرف و ارزان به عنوان سبک‌دانه است که عمدتا برای تولید بلوک‌های ساختمانی به‌کار می‌رود. در ایران استفاده از پومیس با شیب‌بندی بام شروع شد. اکنون از بلوک‌های سیمانی با سبکدانه پومیس در کشور استفاده می‌شود. مهندسان ساختمان و معماران پذیرفته‌اند که دیوارهای ساخته شده با بلوک‌های سبک از جمله با سبکدانه معدنی می‌توانند عایقکاری حرارتی را انجام دهد و بار مرده ساختمان را در مقایسه با مصالح سنتی مانند آجر کاهش دهد. این بلوک‌ها را با ملات معمولی به هم پیوند می‌دهند که باعث ایجاد پل‌های حرارتی می‌شود. اندود به کار رفته بر روی این بلوک‌ها از مخلوط ماسه و سیمان ساخته شده است که خاصیت عایقکاری حرارتی خوبی ندارد و می‌توان با اندود سبک با سبکدانه طبیعی یا مصنوعی به این خاصیت رسید.

مقدار زیادی از انرژی مصرفی در کشور برای گرمایش و سرمایش ساختمان‌ها استفاده می‌شود و این وضعیت باعث هزینه‌های زیاد در بعد ملی می‌شود. دیوارهای خارجی از مهم‌ترین اجزای ساختمان در اتلاف حرارت هستند. مقاومت حرارتی زیاد دیوارهای خارجی موجب بهبود آسایش حرارتی در ساختمان می‌شود. ملات سبک پل‌های حرارتی دیوار بلوک سبک را تا حد زیادی از بین می‌برد.

پومیس را می‌توان به عنوان سبک‌دانه ارزان و مهم صنعتی به میزان زیادی در ساخت ساختمان مصرف کرد. استفاده از پومیس در ساخت و ساز، نگهداری دمای فضای بسته داخلی در سطح مورد نظر و صرفه‌جویی انرژی در وسایل گرمایش-سرمایش را در برابر شرایط آب و هوایی بیرونی میسر می‌سازد. حدود 45 درصد از مقدار کل انرژی مصرف شده در ساختمان‌های مسکونی معمولی ، صرف گرمایش و سرمایش می‌شود. با افزایش محبوبیت مصالح طبیعی و متخلخل سبک که دارای خواص عایق‌کاری حرارتی است استفاده از آن در ملات بنایی آغاز شده است. ضریب هدایت حرارتی مهم‌ترین خاصیت یک ماده در توضیح عملکرد عایقکاری حرارتی آن است. ضریب هدایت حرارتی کم‌تر عملکرد بهتر عایقکاری حرارتی یک ماده را نشان می‌دهد. بنابراین در این تحقیق، ضرایب هدایت حرارتی سامانه‌های دیوار تشکیل شده از بلوک بنایی همراه با ملات و اندود مورد بررسی قرار گرفت و مقایسه آن با سامانه‌های دیوار سنتی با آجر رسی به منظور تشخیص تفاوت بین عملکرد عایقکاری حرارتی ملات سبک و سنتی انجام شد.

مطالعات نشان داده است که خواص ملات با سبک‌دانه در مقایسه با ملات با سنگ‌دانه معمولی مقادیر پایین‌تری را بر اساس وزن واحد ملات تازه و وزن واحد ملات سخت شده نشان می‌دهد. از سوی دیگر ملات سبک‌دانه مقادیر بالاتری را در خواص ضریب جذب آب موئینه، جمع‌شدگی خشک شدن و مقادیر کمتری را در مقاومت خمشی و مقاومت فشاری در مقایسه با ملات با سنگ‌دانه معمولی از خود نشان می‌دهد.

3-1 وظیفه ملات

در بنایی ساختمان، با این که ملات تنها بخش کوچکی (تقریبا 7 درصد) از مساحت کل دیوار را تشکیل می‌دهد، اما تاثیر آن بر عملکرد دیوار قابل توجه است. در نگاه اول، ملات ظاهر ساده‌ای برای اتصال واحدهای بنایی به دست می‌دهد. اگر چه هدف اصلی ملات در بنایی پیوند واحدهای بنایی مجموعه است و به عنوان یک عنصر یکپارچه پیونددهنده دارای ویژگی‌های عملکردی مورد نظر است، همچنین برای انجام وظایف زیر نیز به کار می‌رود:

1. واحدهای بنایی را در یک مجموعه سازه‌ای یکپارچه به یکدیگر پیوند می‌دهد.
2. اتصالات را در برابر نفوذ هوا و رطوبت درزبندی می‌کند،
3. امکان جابجایی‌های کوچک در داخل دیوار را فراهم می‌کند.
4. برای کمک به مقاومت در برابر جمع‌شدگی و تنش، بندهای درزها را پیوند می‌دهد و تقویت می‌کند[15].

از آنجا که بتن‌های سیمان پرتلند و ملات‌های بنایی شامل برخی از مواد تشکیل دهنده اصلی یکسان هستند، به غلط تصور می‌شود که اجرای خوب بتن، اجرای خوب ملات نیز است. در واقع ملات با بتن از نظر روانی هنگام اجرا، روش ریختن (اجرا) و شرایط عمل‌آوری متفاوت است[15].

تفاوت اصلی بین این دو مصالح با شیوه‌ای که در طول ساخت و ساز به کار گرفته می‌شوند مشخص می‌گردد. بتن معمولا در قالب‌های فلزی یا چوبی غیرقابل جذب یا به صورت دیگری ریخته می‌شود. به طوری که قسمت عمده آب را حفظ کند. ملات معمولا بین بلوک‌های بنایی قابل جذب قرار می‌گیرد که به محض تماس بلوک با ملات، آب آن را جذب می‌کند. مقاومت فشاری موضوع اصلی در بتن است، اما تنها یکی از چندین عامل مهم در ملات است [15].

4-1 خواص ملات

ملات بنایی دو مجموعه متمایز و مهم از خواص برای ملات خمیری و ملات سخت شده دارد. خواص خمیری ملات، مناسب بودن ملات را در ساخت و ساز تعیین می‌کند که به نوبه خود مربوط به خواص ملات سخت شده و بنابراین عناصر سازه‌ای تکمیل شده است. خواص ملات‌های خمیری که به تعیین مناسب بودن آنها در ساخت و ساز کمک می‌کند شامل کارایی و آب نگهداری است. خواص ملات سخت شده که به تعیین عملکرد بنایی تکمیل شده کمک می‌کند شامل مقاومت فشاری، پیوند و دوام است [15].

1-4-1 ملات تازه

کارایی[1]

1 -Workability

کارایی مهمترین خاصیت ملات خمیری است. ملات کارا را می‌توان به راحتی با ماله به درون درزها و فرورفتگی های واحد بنایی پخش کرد. ملات کارا همچنین وزن واحدهای بنایی را تحمل می‌کند و هم ترازی را تسهیل می‌کند. ملات به سطوح بنایی قائم می‌چسبد و زمانی که بنا برای هم‌ترازی به واحد بنایی فشار اعمال می‌کند، به آسانی از اتصالات ملات بیرون زده می‌شود. کارایی ترکیبی از چند خاصیت از جمله شکل‌پذیری، قوام، پیوستگی و چسبندگی است که با اندازه‌گیری دقیق آزمایشگاهی تعریف شده‌اند. بنا می‌تواند بهترین کارایی را با مشاهده پاسخ ملات به ماله کشیدن ارزیابی کند [15].

آب نگهداری یا قابلیت نگهداری آب[1]

آب نگهداری ملاکی برای توانایی یک ملات تحت مکش برای حفظ آب مخلوط آن است. این ویژگی باعث می‌شود که در زمان کم آب ملات به سنگ، آجر و بلوک پس داده نشود و در نتیجه ملات دچار جمع‌شدگی ناگهانی اولیه نشده و پیوند آنها از اول ضعیف نگردد. علاوه بر این آب نگهداری زیاد به بنا برای قرار دادن واحد بنایی بدون سفت شدن ملات، زمان کافی می‌دهد. قدرت نگه‌داری آب با اضافه کردن ماسه ریزدانه در محدوده دانه‌بندی مجاز و یا استفاده از مواد نگه‌دارنده آب یا از طریق استفاده از آهک یا مقدار هوای بیشتر افزایش می‌یابد [15].

سفت شدن

سفت شدن ملات‌های خمیری به خصوصیات گیرش ملات مربوط می‌شود که با مقاومت در برابر تغییر شکل نشان داده می‌شود. گیرش اولیه اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه برای مواد چسبنده، میزان هیدراته شدن یا مشخصات گیرش خمیر سیمان خالص را نشان می‌دهد. سفت شدن بیش از حد سریع ملات قبل از استفاده مضر است. ملات در بنایی از طریق از دست دادن آب سفت می‌شود و با گیرش سیمان سخت می‌شود. این تبدیل ممکن است توسط حرارت شتاب گیرد یا توسط سرما به تاخیر افتد. نرخ ثابت سفت شدن به بنا در بندکشی درزها کمک می‌کند [15].

2-4-1 ملات سخت شده

مقاومت فشاری

از آنجا که اندازه‌گیری مقاومت فشاری نسبتا آسان است و معمولا با برخی از خواص دیگر مانند مقاومت کششی و جذب آب ملات در ارتباط است، مقاومت فشاری ملات گاهی اوقات به عنوان معیاری اصلی برای انتخاب نوع ملات استفاده می‌شود [15].

مقاومت فشاری ملات تا حد زیادی به مقدار سیمان و نسبت آب به سیمان بستگی دارد. مقاومت فشاری ملات با افزایش مقدار سیمان افزایش و با افزایش آهک، ماسه، آب یا مقدار هوا کاهش می‌یابد. مخلوط کردن دوباره با کاهش در مقاومت فشاری ملات همراه است. با افزودن آب و زیاد شدن فاصله

---

1 -Water Retention

زمانی بین اختلاط و مخلوط کردن دوباره مقاومت فشاری ملات کاهش بیشتری می‌یابد. برای جلوگیری از کاهش شدید مقاومت لازم است مخلوط کردن دوباره در فاصله زمانی کوتاهی انجام شود. غالبا چسبندگی اهمیت بیشتری نسبت به مقاومت فشاری دارد. مقاومت فشاری نباید تنها ملاک برای انتخاب ملات باشد. چرا که مقاومت خمشی (که به طور غیرمستقیم مقاومت کششی را ارزیابی می‌کند) نیز مهم است چون قابلیت یک ملات برای مقاومت در برابر ترک خوردگی را اندازه می‌گیرد. ملات معمولا باید ضعیف‌تر از واحد بنایی باشد، به طوری که هر ترکی در درزهای ملات رخ دهد آن را به راحتی بتوان تعمیر کرد [15].

پیوند

واژه پیوند[1] به دو خاصیت زیر گفته می‌شود:

1- گسترگی پیوند یا میزان ارتباط بین مصالح بنایی و ملات.

2- مقاومت پیوند کششی یا نیروی مورد نیاز برای جدا کردن مصالح از یکدیگر

گسترش زیاد سطح پیوند به معنای ارتباط کامل است که برای آب‌بندی و مقاومت پیوستگی کششی اهمیت دارد. سطح پیوستگی زیاد با ملات توسط عوامل زیر به دست می‌آید:

- ملات با قابلیت آب نگهداری زیاد و کارآیی خوب.
- تبحر کافی بنا.
- درزهای پر[94].
- مصالح بنایی مناسب (با سرعت اولیه متوسط جذب آب دارای اندازهٔ فضاهای خالی و توزیع مناسب آنها).

ملات سفت، پیوند ضعیفی را پدید می‌آورد در حالی که ملات روان‌تر باعث پیوند بهتری می‌شود. هرچند ممکن است مقاومت فشاری کاهش یابد.

وسعت سطح پیوند و مقاومت پیوستگی کششی، هیچ‌کدام به تنهایی معرف خصوصیت نوع ملات نیستند. در ساختمان‌های بنایی، هر دوی این موارد به مهارت کاری در قرار دادن مصالح بنایی و هم‌چنین خصوصیات سطح مصالح بنایی (نظیر ساختمان منافذ، بافت و جذب آب) بستگی دارند[94].

در واقع پیوند بین ملات و واحد بنایی به سه عامل گستردگی تماس بین ملات و واحد بنایی، مقاومت و دوام ملات بستگی دارد. به دلیل آن که چندین متغیر بر پیوند موثر است ارائه یک آزمون آزمایشگاهی برای هر یک از این دسته‌بندی‌ها که نتایج عملکرد تکرارپذیر و نزدیک به نتایج در ساخت را داشته باشد، دشوار است. متغیرهای موثر بر پیوند عبارتند از: مقدار هوا و پیوستگی ملات، زمان سپری شده بین پخش ملات و قرار دادن واحد بنایی، مکش واحد بنایی، آب نگه‌داری ملات، فشار اعمال شده به درز بنایی در طول قرار دادن و بندکشی، بافت سطوح واحد بنایی و شرایط عمل‌آوری [15].

---

1 -Bond

مقاومت کششی و فشاری ملات به مراتب بیش از استحکام پیوند بین ملات و واحدهای بنایی است. بنابراین، درزهای ملات، در معرض شکست پیوند در ترازهای تنش کششی یا برشی هستند. عدم پیوند در سطح مشترک ملات و واحد بنایی ممکن است به نفوذ رطوبت از طریق آن نواحی منجر شود. تماس کامل بین ملات و واحد بنایی برای پیوند خوب، ضروری است. آن را می‌توان از طریق استفاده از ملات با ترکیب مناسب، کارایی خوب و اجرای صحیح به بهترین حالت به دست آورد [15].

طویل شدگی و جریان خمیری[1]

طویل شدگی حداکثر کرنش کششی واحد در گسیختگی است که حداکثر طویل شدگی ممکن تحت نیروهای کششی را نشان می‌دهد. ملات‌های با مقاومت کم که مدول ارتجاعی کمتری دارند، از همتایان مدول بالای خود جریان خمیری بیش‌تری در نسبت‌های خمیر به سنگدانه برابر ارائه می‌دهند. به همین دلیل، ملات‌های با مقاومت بالاتر از حد نیاز نباید استفاده شود. جریان خمیری یا خزش، باعث انعطاف‌پذیری در بنایی می‌شود که اجازه حرکت خفیف بدون باز شدن آشکار درز را خواهد داد [15].

دوام

در نتیجه جان‌پناه، سنگفرش بنایی، دیوار حایل و دیگر سازه‌های بنایی در معرض انجماد هنگام اشباع بودن که بیانگر شرایط جوی سخت است، نیاز به ملات بادوام‌تر دارد [15].

دوام ملات، قابلیت آن در تحمل شرایط جوی است. هر چند محیط خورنده و استفاده از مصالح دارای مواد مضر می‌تواند در تخریب درزهای ملات مؤثر باشد، تخریب اصلی مربوط به ورود آب به دیوار و یخ زدن آن است. به طور کلی، آسیب‌های ناشی از عمل یخبندان در مورد ملات‌های درجه یک مشکلی محسوب نمی‌شود. ملات‌های با مقاومت فشاری بالا معمولاً دوام خوبی دارند[93].

ملات‌های با حباب هوا می‌توانند 100 دوره یخ زدن و آب شدن را تحمل کنند لذا محافظت خوبی در برابر یخبندان ایجاد می‌شود. بنابراین یکی از بهترین راه‌های مقابله با آسیب ناشی از یخ زدن ملات، افزودن مواد هوازا به آن است. در این صورت می‌توان بدون واهمه از کاهش کارآیی، از مقدار سیمان ملات کاست. نسبت سیمان به ماسه در این حالت 1:5 تا 1:6 خواهد بود. وجود حباب‌های هوا در ملات باعث می‌شود که افزایش حجم آب در موقع یخ زدن در فضای این حباب‌ها صورت گرفته و به ملات آسیبی نرسد[93].

برای جلوگیری از یخ زدن ملات نباید از کلسیم کلراید استفاده شود. زیرا باعث زنگ‌زدگی قطعات فولادی سازه و شوره‌زدگی آجرکاری می‌شود[93].

دوام ملات به نوع و طرز پیشرفت ترک‌ها بستگی دارد. عرض ترک‌ها و این که آن‌ها در تمام ملات یا در بخشی از آن پیشرفته‌اند، در دوام ملات مؤثر است. زیرا وجود درز و شکاف گشاد باعث نفوذ آب و محلول‌های دیگر در بنا شده و موجبات تخریب بیشتر را فراهم می‌سازد. حرکات ناشی از بارگذاری و انبساط و انقباض سبب ایجاد ترک در دیوار می‌شود. چنانچه دیوار در معرض باران‌های سنگین یا خاک

---

1 -Extensibility and Plastic Flow

اشباع از آب قرار گیرد، ملات آب را می‌مکد و همین که از آب اشباع گردید، تخریب ناشی از یخبندان حاصل می‌شود[93].

سرعت سخت شدن

سرعت سخت شدن، سرعتی است که مقاومت ملات را در برابر لب‌پریدگی و تغییر شکل تحت فشار افزایش می‌دهد. سخت شدن گاهی با سفت شدن اشتباه می‌شود. سفت شدن در واقع کاهش سریع آب ملات است. برای مثال، در مورد ملات‌هایی که نگهداری آب کمی دارد و با مصالح بنایی شدیداً جاذب آب، مصرف می‌شوند اتفاق می‌افتد[94].

سخت شدن سریع ملات در کار بنایی ایجاد مزاحت می‌کند. سخت شدن تدریجی، پیشرفت کار را به ویژه در زمستان کند می‌کند. این در حالی است که ملات احتمالاً در معرض تخریب زودرس توسط یخبندان قرار می‌گیرد. سرعت ثابت سخت شدن به بنا امکان می‌دهد که با مصرف مصالح بنایی، اجرای درز را در شرایطی سخت انجام دهد. بدین ترتیب رنگ درز یکنواخت می‌گردد[94].

5-1 ترکیب ملات و اثر آن بر خواص

اساسا ملات‌ها حاوی مواد چسباننده، سنگدانه و آب هستند که گاهی مواد افزودنی نیز در آن‌ها استفاده می‌شود. هر یک از اجزای اصلی ملات سهم معینی در عملکرد آن دارد. سیمان پرتلند در مقاومت و دوام مشارکت دارد. آهک هیدراته (شکفته)، کارایی، نگهداری آب و خاصیت ارتجاعی فراهم می‌کند. سیمان پرتلند و آهک هر دو به مقاومت پیوند کمک می‌کنند. به جای ترکیب سیمان پرتلند- آهک، سیمان بنایی یا سیمان ملات استفاده می‌شود. ماسه به عنوان یک پرکننده عمل می‌کند و ملات گیرش نیافته را قادر به حفظ شکل و ضخامت خود تحت وزن لایه‌های بعدی بنایی می‌سازد. آب عامل اختلاط است که سیالیت به وجود می‌آورد و باعث می‌شود هیدراته شدن سیمان رخ دهد. ملات باید از موادی تشکیل شود که بهترین ترکیب از خواص ملات برای شرایط بهره‌برداری مورد نظر را به وجود آورد [15].

1-5-1 مواد چسباننده بر پایه هیدراته شدن

سیمان پرتلند، یک چسب آبی است که ماده چسباننده اصلی در بسیاری از ملات‌های بنایی است. سیمان پرتلند در مقاومت ملات بنایی، به خصوص مقاومت اولیه که برای سرعت ساخت و ساز ضروری است، مشارکت دارد. در کشورهای صنعتی ملات‌های سیمان پرتلند خالص استفاده نمی‌شوند چرا که آنها فاقد شکل‌پذیری هستند، آب نگه‌داری کم دارند، زبر هستند و کارایی کمتری از سیمان پرتلند- آهک یا ملات‌های سیمان بنایی دارند [15].

سیمان بنایی محصولی ویژه معمولا حاوی سیمان پرتلند و سنگ‌دانه ریز، مانند سنگ آهک آسیاب شده و یا مواد دیگر در نسبت‌های مختلف، به علاوه مواد افزودنی مانند مواد هوازا و مواد دافع آب[1] است [15].

2-5-1 مواد چسباننده بر پایه کربناته شدن

آهک هیدراته در کارایی، آب نگه‌داری و خاصیت ارتجاعی[2] مشارکت می‌کند. ملات‌های آهکی به تدریج تحت تاثیر دی اکسید کربن در هوا کربناته می‌شوند. این فرایند با سرما و آب و هوای مرطوب آهسته‌تر می‌شود. به این دلیل، سخت شدن کامل، بسیار به آرامی در طی یک دوره زمانی طولانی‌تر رخ می‌دهد که اجازه ترمیم و پوشاندن مجدد ترک‌های مویی کوچک را می‌دهد. آهک تا حدودی در آب حل می‌شود و در میان بنایی حرکت می‌کند و چنانچه آب تبخیر شود، می‌تواند در داخل ترک‌ها و درزها رسوب کند. رسوب‌گذاری متوالی ممکن است در نهایت ترک‌ها را پر کند. چنین درمان خود به خودی نفوذپذیری آب را کاهش می‌دهد. سیمان پرتلند حدود 25 درصد از وزن خود را به صورت هیدروکسید کلسیم در هیدراته شدن کامل تولید می‌کند. این هیدروکسید کلسیم همانند آهک در طول کربناته شدن، انحلال و رسوب مجدد عمل می‌کند [15].

3-5-1 آب

آب سه وظیفه انجام می‌دهد که مشارکت در کارایی، هیدارته شدن سیمان و تسهیل کربناته شدن آهک است. مقدار آب مورد نیاز در درجه اول به مواد تشکیل دهنده ملات بستگی دارد. آب باید تمیز و از مقادیر مضر هر ماده‌ای که احتمالا باعث تخریب ملات یا فلز در بنایی می‌شود، عاری باشد. معمولا، آب آشامیدنی مورد قبول است [15]. آب غیرآشامیدنی را به شرطی می‌توان استفاده کرد که با ضوابط ارائه شده در آیین‌نامه بتن ایران (آبا) در فصل آب مطابقت داشته باشد.

مقدار آب احتمالا موضوع بیشترین سوء تفاهم در ملات بنایی است که احتمالا به علت ابهام در بین الزامات ملات و بتن است. نیاز به آب برای ملات کاملا متفاوت از آن برای بتن است که در آن یک نسبت کم آب به سیمان مطلوب است. ملات باید حاوی حداکثر مقدار آب سازگار با کارایی بهینه باشد. برای جایگزینی آب تبخیر شده ملات، باید مجددا به آن آب اضافه و مخلوط کرد [15].

4-5-1 مواد افزودنی

مواد افزودنی برای ملات‌های بنایی در تنوع گسترده‌ای در دسترس‌اند و بر خواص فیزیکی و شیمیایی ملات تازه یا سخت اثر می‌گذارند. برخی از مواد شیمیایی افزودنی در تولید ملات‌های خاص ضروری

---

1 - Repellency Agents

2 -Elasticity

است. اضافه کردن یک افزودنی همچنین برای تولید ملات خشک آماده لازم است. همچنین بی‌تردید شرایط خاصی وجود دارد که استفاده از مواد افزودنی هنگامی که در مخلوط‌کن کارگاه ساختمانی اضافه می‌شود می‌تواند سودمند باشد. با این حال به طور کلی، به دلایل اقتصادی استفاده از مواد افزودنی توصیه نمی‌شود. انتخاب دقیق مخلوط ملات، استفاده از مواد با کیفیت و اجرای خوب معمولا منجر به بنایی بی‌عیب خواهد شد. مواد افزودنی ملات از موادی هستند که معمولا در مقادیر کم، برای رسیدن به یک نتیجه خاص به مخلوط ملات اضافه می‌شوند. نتایج ممکن است شامل موارد زیر باشد [15]:

- افزایش کارایی
- رنگ مورد نظر
- پیوند قوی‌تر بین ملات و واحدهای بنایی
- تسریع در زمان گیرش

اطلاعات اندکی در مورد تاثیر مواد افزودنی در پیوند بنایی یا مقاومت ملات وجود دارد. با این وجود، تجربه در کارگاه‌های مختلف نشان داده است که ممکن است نتایج نامطلوبی در بعضی موارد به‌دست آید. به عنوان مثال، افزودنی هوازا، ممکن است دارای اثر بدی بر پیوند بین ملات و واحد بنایی باشد. مواد افزودنی معمولا نباید مورد استفاده قرار گیرند به جز موادی که قطعا در قرارداد مشخص شده باشند و تنها در صورتی که دستورالعمل‌های اختلاط تولیدکننده دقیقا پیروی شود [15].

1-5-5 مواد هوازا

مواد هوازا در ملات سیمان بنایی برای افزایش مقاومت آن در برابر یخ زدن و آب شدن و در نتیجه افزودن به عمر و دوام ملات استفاده می‌شود. مواد افزودنی هوازا حباب‌های هوای میکروسکوپی را در مخلوط محبوس می‌کند. این حباب‌های هوا به ملات امکان می‌دهد که انبساط و انقباض داشته باشد. وقتی یخ زدن و آب شدن اتفاق افتد، کم‌تر احتمال دارد که ملات ترک بخورد و بشکند. همچنین وقتی افزودنی هوازا استفاده می‌شود ملات دارای تمایل به نگهداری آب است، بنابراین کارایی مخلوط افزایش می‌یابد. ملات با مقدار هوای بیش از 12 درصد حجمی معمولا مقاومت پیوند مخلوط ملات را تضعیف خواهد کرد.

1-5-6 رنگ

رنگ را می‌توان با استفاده از سنگدانه‌های انتخاب شده یا رنگدانه‌های معدنی به ملات اضافه کرد. رنگدانه‌های معدنی باید دارای ترکیب اکسید معدنی باشند و نباید از 10 درصد وزنی سیمان پرتلند بیشتر شوند و همچنین نباید دوده کربنی (دوده سیاه)[1] از 2 درصد فراتر رود تا از کاهش شدید مقاومت ملات جلوگیری شود. رنگدانه‌ها باید به دقت انتخاب شوند و کمترین مقداری را که رنگ مورد

1 -Carbon black

نظر را به وجود آورد، به‌کار برد. برای به حداقل رساندن تغییرات از یک پیمانه[1] به پیمانه دیگر توصیه می‌شود مواد چسباننده‌ای خریداری شود که مواد رنگ‌زای آن در کارخانه اضافه شده باشد یا از بسته-های جداگانه از قبل وزن شده برای هر پیمانه ملات استفاده شود. برای یکنواختی رنگ روش‌های کار مخلوط کردن ملات باید ثابت باشد.

6-1 انواع ملات

طبقه‌بندی

دو طبقه اصلی ملات که باید با آن آشنا شد ملات‌های سیمان پرتلند-آهک هیدراته و ملات‌های سیمان بنایی هستند. ملات‌های سیمان پرتلند-آهک هیدراته ترکیبی از سیمان پرتلند، آهک هیدراته، ماسه و آب است. بسته به نسبت مواد در مخلوط، ملات‌ها مقاومت و خواص متفاوت خواهند داشت.

ملات‌های سیمان-آهک هیدراته طیف گسترده‌ای از خواص دارند. در یک سو، سیمان پرتلند خالص و ملات ماسه مقاومت فشاری زیاد و آب نگهداری کم دارند. دیوار حاوی چنین ملاتی، قوی اما آسیب‌پذیر در برابر ترک خوردگی و نفوذ باران خواهد بود. در انتهای دیگر طیف، ملات آهک هیدراته و ماسه مقاومت فشاری کم و آب نگهداری زیاد خواهد داشت. دیوار حاوی چنین ملاتی، مقاومت (به ویژه مقاومت اولیه) کم‌تر دارند، اما مقاومت بیش‌تر در برابر ترک خوردگی و نفوذ باران خواهد داشت. بین دو حالت افراطی، ترکیب‌های مختلف از سیمان و آهک هیدراته است که تعادلی با طیف گسترده‌ای از خواص ایجاد می‌کند. از یک سو سیمان مقاومت زیاد و خصوصیات گیرش اولیه مناسب به وجود می‌آورد. از سوی دیگر آهک کارایی و آب نگه‌داری مناسبی فراهم می‌آورد [15].

ملات‌های سیمان بنایی در ساخت و ساز امروز کشورهای صنعتی متداول است. بنا فقط نیاز به اضافه کردن ماسه و آب در کارگاه دارد. ملات سیمان بنایی به منظور ایجاد کارایی، انعطاف‌پذیری و خواص آب نگهداری دارای مواد افزودنی خاصی است. یکی از شکایت‌های عمده معماران و مهندسان چاپ نشدن نسبت این مواد افزودنی بر روی کیسه‌های سیمان بنایی است. ملات‌های آهک هیدراته -سیمان پرتلند را می‌توان در نسبت‌های دقیق برای پاسخگویی به مشخصات فنی یک کار خاص ، مخلوط کرد. یک ملات لزوما بهتر از دیگران نیست و مناسب بودن به کاربرد مورد نظر بستگی دارد [15].

7-1 مصارف توصیه شده ملات‌ها

نوع N - نوع N رایج‌ترین ملات مورد استفاده، است. ملات نوع N با مقاومت متوسط است که برای استفاده عمومی در بنایی در معرض عوامل جوی بالای سطح زمین و جایی که در آن مقاومت فشاری زیاد یا مقاومت جانبی بنایی مورد نیاز است مناسب می‌باشد. این نوع ملات به خصوص برای موارد زیر استفاده می‌شود [15]:

---

1 -Batch

- § دیوار جان پناه (بخشی از یک دیوار که بالاتر از کف بام ادامه می‌یابد)
- § دودکش‌ها
- § دیوارهای خارجی در معرض شرایط آب و هوایی شدید

ملات نوع N دارای مقاومت فشاری حداقل $5/25\ N/mm^2$ بعد از عمل‌آوری به مدت 28 روز است[15].

نوع M - ملات نوع M دارای مقاومت فشاری بالاتر (حداقل $17/5\ N/mm^2$ در 28 روز) و تا حدودی دوام بیشتر از برخی از انواع دیگر است. این امر به ویژه برای بنایی در زیر سطح زمین و در تماس با خاک، مانند پی‌ها، دیوارهای حائل، پیاده‌روها، کانال‌های فاضلاب و آدم‌روها[1] توصیه می‌شود. این ملات همچنین موجب مقاومت در برابر عمل یخبندان شدید و بارهای زیاد جانبی اعمال شده توسط فشار زمین خواهد شد [15].

نوع S - ملات نوع S برای استفاده در بنایی مسلح و برای بنایی استاندارد جایی که در آن حداکثر مقاومت خمشی مورد نیاز است توصیه می‌شود. این نوع زمانی که ملات تنها عامل اتصال بین واحدهای زیرکار و نما است استفاده می‌شود. ملات نوع S دارای مقاومت فشاری نسبتا بالا حداقل $12/6\ N/mm^2$ در 28 روز است [15].

نوع O- ملات نوع O، ملات با مقاومت کم، مناسب برای استفاده عمومی در دیوارهای داخلی است که بار زیادی را تحمل نمی‌کند. این ملات ممکن است برای دیوار باربر بنایی توپر استفاده شود. با این حال، این ملات فقط باید در دیوارهایی استفاده شود که در آن مقاومت فشاری محوری از $0/7\ N/mm^2$ تجاوز نکند و در معرض هوازدگی یا دماهای انجماد قرار نگیرد. مقاومت فشاری ملات نوع O باید حداقل $2/5\ N/mm^2$ باشد [15].

نسبت‌ها

هر یک از انواع ملات سیمان پرتلند- آهک را باید با نسبت‌های نشان داده شده در جدول 1-1 مخلوط کرد [15].

1 -Manholes

جدول 1-1: انواع ملات، نسبت‌های حجمی[15]

نوع ملات	سیمان پرتلند	آهک هیدراته	ماسه در شرایط غیرمتراکم
M	1	0/25	نباید کمتر از 2/25 و بیشتر از 3 برابر مجموع حجم سیمان و آهک استفاده شده، باشد.
S	1	0/5	
N	1	1	
O	1	2	

در کشورهای پیشرفته برای ساخت ملات، سیمان پرتلند و آهک در کارخانه با نسبت‌های معین مخلوط و در کیسه عرضه می‌شوند. این محصولات تنها نیاز به افزودن ماسه و آب به آن برای ساخت ملات دارند [15].

1-8 انتخاب نوع مناسب ملات

هیچ مخلوط ملات منحصر به فرد مناسبی به تنهایی برای همه کاربردها وجود ندارد. هیچ نوع ملات در تمام زمینه‌های کاربرد بهترین ارزیابی نمی‌شود. هیچ خاصیت ملات واحدی کیفیت ملات را معین نمی‌کند. بنابراین، آگاهی در مورد انتخاب درست نوع ملات به دلیل تاثیر بر هر دو فرآیند ساخت و ساز و کیفیت محصولات پایانی بسیار مهم است. استاندارد ویژگی‌های ASTM روشی برای شناسایی ویژگی‌های مواد و محصولات قابل قبول ارائه می‌کند. ویژگی‌های پروژه باید به ASTMC270 "مشخصات استاندارد برای ملات واحد بنایی" رجوع دهد [15].

انواع مختلف ملات برای گستره‌ای از کاربردهای بنایی استفاده می‌شود. ملات نوع N، ملات برای مصارف عمومی است که کارایی خوب و قابلیت بهره‌برداری[1] را فراهم می‌کند. این نوع ملات معمولا برای دیوارهای داخلی، دیوارهای خارجی بالای سطح زمین تحت شرایط معمول و برای روکش استفاده می‌شود. ملات نوع S برای کاربردهای سازه‌ای باربر و برای کاربردهای خارجی روی سطح زمین یا زیر آن استفاده می‌شود. علاوه بر این، مقاومت زیادی در برابر تخریب ناشی از یخ زدن- آب شدن نیز فراهم می‌کند. ملات نوع M پر مقاومت است که ممکن است برای کاربردهای باربر یا یخ زدن- آب شدن شدید در نظر گرفته شود [15].

نوع O، ملات کم مقاومت است که گاهی اوقات برای بنایی داخلی در بندکشی استفاده می‌شود. زمانی که قرار گرفتن در معرض شرایط جوی شدید مورد انتظار است توجه ویژه لازم است. ملات نوع O در شرایط انجماد اشباع نباید استفاده شود. جدول 1-2 (اقتباس شده از ASTM C270) رهنمودهایی برای انتخاب ملات تقویت نشده (ساده) بنایی ارائه می‌کند [15].

---

1 -Serviceability

جدول 1-2: رهنمودهای انتخاب ملات‌های بنایی [15]

موقعیت	بخش ساختمان	نوع ملات	
		توصیه شده	جایگزین
بیرونی بالای سطح زمین	دیوار باربر	N	S یا M
	دیوار غیرباربر	O	N یا S
	دیوار جان‌پناه	N	S
بیرونی زیر سطح زمین	دیوار پی، دیوار حایل	S	N یا M
	آدم رو، کانال فاضلاب، کفسازی		
	پیاده‌رو و پاسیو		
داخلی	دیوار باربر	N	S یا M
	دیوار غیرباربر	O	N

9-1 ملات سبکدانه رس منبسط

ملات سبکدانه رس منبسط (لیکا) از خوب مخلوط کردن یک جسم چسباننده مانند سیمان یا گچ و یک جسم پرکننده مانند دانه‌های ریز و درشت سبکدانه رس منبسط تهیه می‌شود. ملات سبک خشک تهیه شده با این سبکدانه، معمولا از نوع ملات پایه سیمانی است که از دانه‌های سبک لیکا تهیه شده است. ملات سیمانی لیکا در سه دسته پلاستر (اندودکاری)، بنایی (آجرچینی) و ملات با جذب آب کم تولید می‌شود.

10-1 ملات بنایی

ملات بنایی جهت رج چینی انواع بلوک و آجر به کار می‌رود. یکی از نقاط ضعف در سازه‌های ساخته شده با مصالح بنایی، ملات چسباننده است. ملات‌های تولید شده با شیوه تولید سنتی در کارگاه‌ها فاقد کیفیت لازم بوده و از طرفی به عنوان پل حرارتی با حداقل پوشش 10 درصد از سطح کل ساختمان، شرایط نامناسبی را به جهت هدردهی انرژی فراهم می‌آورد. در حالی که با استفاده از ملات سبک می‌توان علاوه بر داشتن ملاتی با ویژگی‌های مطلوب از هدر رفتن انرژی در ساختمان جلوگیری نمود.

شکل 1-1: ملات بنایی

1-11 ملات اندود

ملات اندود به دو صورت سفید یا خاکستری و همین طور به صورت نرمه و درشت بر اساس سفارش مشتری قابل ارائه است. این ملات با توجه به ترکیبات ممتاز خود در محیط‌های بسیار گرم دچار ترک‌های انقباضی نمی‌شود. بنابراین نمایی یکدست و بدون ترک ایجاد می‌شود.

عدم وجود ترک‌های انقباضی یکی از مشخصه‌های برتر سبک‌دانه لیکا به نام عمل‌آوری داخلی است. بدین صورت که دانه لیکا در زمان ساختن ملات آب اضافی ملات را جذب می‌کند و در طول فعالیت سیمانی شدن به عنوان یک منبع داخلی به بتن باز پس می‌دهد.

1-12 ملات با جذب آب کم

این ملات در تمام مواردی که مقاومت در برابر نفوذ آب یک مزیت است قابل استفاده است. در صورت نفوذ آب به داخل ملات پودر افزودنی آب بند کننده موجود در منافذ موئینه با آن ترکیب شده و تشکیل ژلی را می‌دهد که مانع ورود آب به ملات می‌گردد و در واقع این افزودنی ارتباط بین منافذ موئینه ملات را قطع می‌کند.

ملات با جذب آب کم می‌تواند با گیرش سریع جهت اندود و یا با گیرش معمولی جهت استفاده‌های بنایی عرضه شود. این نوع ملات جهت استفاده در نقاطی است که در معرض رطوبت بوده و نیاز به اندودکاری مناسب و سبکی است که در مقابل رطوبت نیز مقاومت داشته و مانع از انتشار رطوبت در محیط پوشیده شده از ملات گردد. چسبندگی این ملات برای استفاده در اندودکاری و استفاده در موزائیک‌کاری و سرامیک‌کاری مناسب بوده و می‌تواند در کف‌سازی به کار رفته و علاوه بر خواص مناسب عایق‌کاری حرارتی، عایق رطوبت نیز بوده و مانع از نفوذ رطوبت به کف ساختمان گردد.

شکل 1-3: روش اجرا و نصب ملات

1-13 ملات خشک آماده

در ایالات متحده و کشورهای دیگر، عموما پنج نوع ملات استاندارد در دسترس بـه عنـوان محصـولات پیش آمیخته خشک برای ساخت و ساز جدید و همچنین تعمیر استفاده می‌شـود. مقاومـت مـلات بـر اساس نسبت سیمان، آهک و ماسه مورد استفاده تغییر می‌کند. مواد تشکیل دهنـده و نسـبت اخـتلاط برای هر نوع از ملات در استانداردهای ASTM مشخص شده است. این محصولات ملات پیش آمیختـه توسط یکی از چهار حـرف، M، S، N و O نامگـذاری شـده اسـت. نـوع M قـوی‌تـرین مـلات و نـوع O ضعیف‌ترین آن است.

مزایای ملات خشک آماده نسبت به ملات متداول شامل موارد زیر است:

- در تهیه ملات متداول معمولاً از نسبت اختلاط درستی استفاده نمی‌شود و بنا با تجربه خـود و بـدون در نظر داشتن مشخصات مصالح مصرفی و محل بهره‌برداری از یک نسبت مشخص استفاده می‌کند. در تولید ملات خشک آماده کلیه جوانب موضوع با دید علمی و فنی در نظر گرفته می‌شود.

- برای تهیه ملات‌های متداول در کارگاه ساختمانی باید تا حد امکان از ابزار انـدازه‌گیـری دقیـق بـرای پیمانه کردن استفاده شود. روش اندازه‌گیری مواد برای ملات مورد اسـتفاده در سـاختمان بایـد چنـان باشد که نسبت‌های معین شده مواد ملات، کنترل و به دقت حفظ شـود. تجربـه نشـان داده اسـت کـه معمولاً این کار در کشور ما انجام نمی‌شود. در بسیاری موارد از بیل و کمچـه و نظـایر آن بـرای تـأمین نسبت‌های لازم استفاده می‌شود که مجاز نیست و باید حتماً از پیمانه‌ای با حجم معین اسـتفاده شـود. اما در مورد ملات خشک آماده این کار در کارخانه تولید ایـن محصـولات و بـا تجهیـزات دقیـق انجـام می‌شود.

در بعضی موارد در تهیه ملات متداول برای افزایش کارپذیری ملات، خاک به آن اضافه می‌شود که باید از این کار خودداری شود. اما مصرف کننده ملات خشک آماده می‌داند که نباید هیچگاه ماده‌ای به جـز آب به ملات خشک آماده افزود.

- در بعضی موارد و کاربردها لازم است مواد افزودنی شامل: بهبود دهنده چسبندگی، افزاینـده کـارایی، زودگیرکننده‌ها، کندگیرکننده‌ها و مواد دافع آب و مانند اینها به ملات‌هـای بنـایی افـزود. ایـن کـار در

مورد ملات خشک آماده به راحتی و دقت قابل انجام است اما معمولاً در ساخت ملات‌های معمول از افزودنی‌ها استفاده نمی‌شود. مورد دیگر استفاده از ملات‌های رنگی است. در شرایط معمول یافتن نوع مناسب رنگ و افزودن مقدار مناسب آن به ملات مشکل است. اما در کارخانه از اختلاط گرد رنگ، حداکثر تا 10 درصد وزنی مواد چسباننده در ملات‌های خشک، ملات رنگی به دست می‌آید. رنگ‌های انتخاب شده مناسب از نظر شیمیایی بی‌اثر بوده و در برابر نور و قلیاها پایدارند.

- مقدار آب مصرف شده در ساخت ملات سیمان، در مقاومت آن تأثیر می‌گذارد. هرچه آب ملات بیشتر باشد مقاومت آن کمتر و در عوض روان بودن آن زیادتر خواهد بود. در ملات خشک آماده مقدار آب لازم به دقت تعیین شده و بر روی بسته درج گردیده است. به این ترتیب مقدار لازم مقاومت و کارایی به دست می آید.

- از نظر مسایل بهداشتی باید ترتیبی اتخاذ گردد تا از تماس سیمان، آهک یا ملات‌های سیمانی با پوست ممانعت به عمل آید. در ملات خشک آماده تماس با مواد به دلیل مخلوط شدن و آماده شدن در کارخانه و طبق ضوابط بهداشتی خطر بسیار کمتری برای مصرف کننده وجود دارد.

- ملات متداول در ایران ماسه سیمان است. از آنجا که تولید سیمان به دلیل تولید مقدار زیادی CO_2 باعث آسیب زیست محیطی شدیدی می‌شود، بهتر است بجای استفاده از مخلوط تنها سیمان پرتلند و ماسه از مخلوط سیمان پرتلند، ماسه، پرکننده و آهک استفاده شود که ترکیب رایج برای ملات‌های خشک آماده است. به این ترتیب هنگام تولید انرژی کمتری برای ملات مصرف شده و CO_2 کمتری به جو وارد می‌شود.

- ملات ماسه سیمان مقاوم‌ترین نوع ملات در ساختمان‌سازی است. این ملات مخلوطی از ماسه و سیمان پرتلند (انواع آن) به نسبت‌های مختلف از 1:3 تا 1:6 است. ملات ماسه سیمان دارای مقاومت زیاد حتی در روزهای نخست پس از ساخت است. ملات ماسه سیمان جمع می‌شود و در سطوح بزرگ و بندکشی‌ها، ترک‌های ریز مویی و عریض بر می‌دارد. آب برف و باران به داخل اندود سیمانی و بندکشی‌های ترک خورده نفوذ کرده و حتی گاهی به داخل ساختمان نیز راه می‌یابد.

- ملات‌های خشک آماده با نسبت‌های مختلفی از سیمان پرتلند، آهک، پرکننده و ماسه ساخته می‌شود. متداول‌ترین این نوع ملات نسبت 1:1:6 ماسه : آهک : سیمان است. چون مقاومت ملات ماسه سیمان بیش از آن مقداری است که برای کارهای بنایی نیاز است لذا برای مصرف مقدار کمتر سیمان می‌توان مقداری آهک جایگزین سیمان کرد. آهک علاوه بر تأمین کارآیی سبب موارد زیر نیز می‌شود:

الف- نفوذپذیری آب در ملات و اندود کم می‌شود.

ب- خمیری بودن ملات بیشتر شده و از ترک خوردن آن جلوگیری می‌شود.

پ- در مصرف سیمان صرفه‌جویی می‌شود.

ت- قابلیت آب نگه‌داری ملات افزایش می‌یابد.

ث- این نوع ملات در برابر یخ زدن مقاوم است.

- انقباض و حرکت‌های ناشی از تغییر دما، در دیوارهایی که با ملات ماسه سیمان معمول ساخته شده‌اند ترک‌های نسبتاً عریضی که از میان آجرها یا قطعات ساختمانی عبور می‌کنند ایجاد می‌کنند ولی در صورتی که از یک ملات ضعیف‌تر که حاوی آهک است استفاده شود، ترک‌ها به ترک‌های متعدد مویی در بندها تقسیم می‌شوند. ملات‌های خشک آماده چنین خصوصیتی را دارند.

استفاده از آهک مزایای زیادی برای ملات در بر دارد اما متأسفانه در کشور ما در سال‌های اخیر از آهک در ساخت ملات کمتر استفاده می‌شود. هرچه مقدار آهک در ملات ماسه - سیمان - آهک زیادتر شود، قابلیت نگهداری آب و کارآیی ملات افزایش می‌یابد ولی در مقابل مقاومت فشاری آن کم می‌شود. در بعضی موارد از آهک زنده در تهیه ملات استفاده می‌شود. آهک زنده به چشم و پوست آسیب می‌رساند و تنفس بخارات آن هنگام شکفتن مشکل آفرین است. برای جلوگیری از این خطر بهتر است در محل کارگاه ساختمانی از آهک هیدراته استفاده شود. در تولید ملات خشک آماده از آهک هیدراته با مشخصات استاندارد استفاده می‌شود.

14-1 سنگدانه

سنگ‌دانه‌های ملات شامل ماسه طبیعی یا مصنوعی هستند و بزرگترین تشکیل دهنده حجم و وزن ملات می‌باشند. ماسه به عنوان یک پرکننده بی‌اثر عمل می‌کند که باعث صرفه اقتصادی، کارایی و کاهش جمع‌شدگی می‌شود. در عین حال ماسه بر مقاومت فشاری تاثیر دارد. افزایش در مقدار ماسه، زمان گیرش ملات بنایی را افزایش می‌دهد، اما به علت کاهش جمع‌شدگی، پتانسیل ترک خوردگی را در ملات کم می‌کند. ماسه استاندارد مورد نیاز برای برخی از آزمایش‌های ملات آزمایشگاهی ممکن است نتایج آزمون کاملا متفاوت با ماسه‌ای که در ملات ساخت و ساز استفاده می‌شود به وجود آورد [15].

دانه‌بندی خوب سنگدانه جداشدگی مواد را در ملات خمیری کاهش می‌دهد که آب انداختن[1] را کم می‌کند و کارایی را بهبود می‌بخشد. ماسه‌های فاقد ریزدانه، ملات‌های زبر تولید می‌کنند، در حالی که ماسه با ریزدانه بیش از حد، ملات ضعیف به‌وجود می‌آورد و جمع‌شدگی را افزایش می‌دهد. ملات‌های با آهک بالا یا مقدار زیاد هوا حتی با سنگ‌دانه دارای دانه‌بندی ضعیف، را می‌توان با ماسه بیشتری ساخت که دارای کارایی کافی نیز باشد [15].

ماسه‌های با مقادیر اندک ریزدانه ممکن است باعث شوند که مواد چسباننده به عنوان ریزدانه عمل کنند. ریزدانه‌های بیش از حد در ماسه ممکن است باعث پر ماسه شدن شوند، درحالی که کارایی با چنین افزایشی تاثیر عمده‌ای نمی‌پذیرد [15].

متاسفانه، غالبا اساس انتخاب سنگدانه‌ها به جای دانه‌بندی، در دسترس بودن و هزینه آنها است. خواص ملات با برخی تغییرات در دانه‌بندی به طور جدی تحت تاثیر قرار نمی‌گیرد، اما کیفیت با توجه بیشتر

1 -Bleeding

به انتخاب سنگ‌دانه بهبود می‌یابد. دانه‌بندی اغلب می‌تواند به راحتی و گاهی اوقات ارزان با اضافه کردن ماسه ریز یا درشت تغییر یابد. غالبا عملی‌ترین روش به جای تامین ماسه با دانه‌بندی خاص، سهم‌بندی مناسب مخلوط ملات با استفاده از ماسه در دسترس است [15].

ماسه به سنگدانه‌هایی گفته می‌شود که بزرگترین اندازه آنها 2 میلی‌متر و کوچک‌ترین‌شان 0/06 میلی‌متر است. ماسه از نظر دانه‌بندی به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود:

- ماسه نرم از 0/06 تا 0/2 میلی‌متر
- ماسه متوسط از 0/2 تا 0/6 میلی‌متر
- ماسه درشت از 0/6 تا 2 میلی‌متر

کیفیت سنگدانه در دوام و مقاومت ملات سیمانی اهمیت زیادی دارد.

ماسه بهترین کارآیی را زمانی دارا خواهد بود که همه اندازه‌های ذرات را از بسیار ریز گرفته تا درشت دانه داشته باشد. با ماسه‌های فاقد ریزدانه عمدتاً ملات‌های زبر و غیرقابل قبول تولید می‌شود. در حالی که افزایش ریزدانه‌ها (ریزتر از 0/3 میلی‌متر) باعث کارآیی مناسب شده ولی تخلخل را زیاد کرده و مقاومت فشاری پایین‌تری را سبب می‌شود.

- برای کارهای ساختمانی کم اهمیت و یا با حجم زیاد که ضخامت ملات سیمانی باید بیش از 12/5 میلی‌متر باشد، می‌توان از دانه‌های درشت‌تری استفاده کرد. در این حالت ویژگی‌های سنگدانه ریز مطابق استاندارد ملی ایران 302 باید مد نظر قرار گیرد.

- ماسه باید سخت، تمیز و بادوام بوده و از هر گونه پوسیدگی و لایه‌های ورم کننده یا منقبض شونده به‌هنگام مجاورت با هوا، مواد شیمیایی مضر، لایه‌های سست، کلوخه‌های رسی و ذرات میکا عاری باشد.

- ماسه سست، ناپایدار در برابر هوازدگی و حمله مواد شیمیایی و همچنین ماسه واکنش‌زای قلیایی نباید در ملات به مصرف برسد.

- جنس شن و ماسه باید از سنگ‌های سیلیسی، سیلیکاتی یا آهکی سخت باشد.

نتایج آزمایش دانه‌بندی ماسه به منظور تطبیق توزیع اندازه دانه‌ها با مشخصات لازم برای سنگدانه‌ها و همچنین تهیه اطلاعات لازم برای کنترل تولید سنگدانه‌های مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد. متأسفانه بخش بزرگی از سنگدانه مورد مصرف در ملات در کشور ما غیراستاندارد و دارای کیفیت بسیار نازل است. علت دانه‌بندی نامناسب شامل طراحی غلط دستگاه‌های تولید، شستشوی ناکافی، نامناسب بودن سرندهای جداکننده، مستهلک شدن دستگاه‌ها، پاره بودن سرندها، حذف ماسه ریز به علت شستشوی نادرست و غیره است. دانه بندی غیراستاندارد باعث کاهش مقاومت و دوام ملات می شود.

1-14-1 خواص و الزامات سبکدانه‌ها

هر یک از خواص سبک‌دانه ممکن است تاثیراتی بر خواص بتن تازه و سخت شده داشته باشد. با این وجود باید دانست که خواص بتن سبک مشابه بتن با وزن معمول شدیدا تحت تاثیر کیفیت خمیر سیمانی است. خواص سنگدانه که ممکن است بر خواص بتن اثر گذارد به شرح زیر است:

شکل دانه و بافت سطحی: سبکدانه‌های طبیعی یا سبکدانه‌های مصنوعی ممکن است از نظر شکل دانه و بافت به طور قابل ملاحظه‌ای تفاوت داشته باشند. شکل ممکن است مکعبی و نسبتا منظم، کاملا گردگوشه یا کاملاً تیزگوشه و نامنظم باشد. بافت‌های سطحی ممکن است از نسبتاً صاف با منافذ کوچک نمایان تا نامنظم با منافذ کوچک تا بزرگ نمایان تغییر کند. شکل دانه و بافت سطحی سنگدانه‌های ریز و درشت بر سهم‌بندی مخلوط‌ها با عواملی چون کارایی، قابلیت پمپ کردن، نسبت سنگدانه ریز به سنگدانه درشت، مقدار چسباننده و نیاز به آب اثر می‌گذارد[76].

2-14-1 چگالی نسبی

چگالی نسبی: چگالی نسبی دانه‌های سبکدانه به دلیل ساختار سلولی آنها، کمتر از سنگدانه‌های معمولی است. چگالی نسبی دانه‌های سبک نیز با اندازه دانه‌ها تغییر می‌کند که برای دانه‌های ریز بیشترین و برای دانه‌های درشت کمترین است و دامنه اختلاف‌ها به روش‌های تولید بستگی دارد. محدوده عملی چگالی‌های نسبی سنگدانه سبک درشت، تصحیح شده در شرایط خشک، از تقریباً یک سوم تا دو سوم آن برای سنگدانه‌های معمولی است. چگالی دانه‌های زیر این محدوده ممکن است به سیمان بیشتری برای رسیدن به مقاومت مورد نظر نیاز داشته باشد و بنابراین ممکن است الزامات چگالی بتن را برآورده نسازد[76].

3-14-1 چگالی انبوهی

چگالی انبوهی: به دلیل ساختار سلولی چگالی انبوهی سبکدانه نسبت به سنگدانه معمولی بسیار کمتر است. در اصل برای دانه‌بندی و شکل دانه‌های یکسان چگالی انبوهی سنگدانه با چگالی‌های نسبی دانه متناسب است. با این وجود سنگدانه با چگالی دانه یکسان، ممکن است دارای چگالی‌های انبوهی کاملاً متفاوتی باشد چون برای شکل‌های متفاوت دانه‌ها درصدهای متفاوتی از فضاهای خالی در حجم‌های خشک فله‌ای یا خشک میله کوبیده وجود دارد. وضعیت مشابهی برای شن گردگوشه و سنگ شکسته وجود دارد که برای چگالی دانه‌ها و دانه‌بندی یکسان در حالت خشک میله کوبیده ممکن است اختلاف تا حد $160 kg/m^3$ باشد. سبکدانه گردگوشه و تیزگوشه با چگالی دانه یکسان ممکن است چگالی انبوهی‌شان تا $80 kg/m^3$ و بیشتر از آن در شرایط خشک فله‌ای با هم اختلاف داشته باشند اما جرم یکسانی از هر یک حجم یکسانی را در بتن اشغال کند. این باید در ارزیابی کارآیی هنگام استفاده از سنگدانه‌های مختلف مورد نظر قرار گیرد. جدول 1-3 حداکثر چگالی‌ها را برای سبکدانه فهرست شده در استاندارد ASTM C330 و ASTM C331 ارائه می‌دهد[76].

جدول 1-3: الزامات چگالی انبوهی برای سبکدانه‌های فله‌ای خشک ASTM C330 و ASTM C331

اندازه و گروه سنگدانه	حداکثر چگالی (kg/m^3)
سنگدانه ریز	1120
سنگدانه درشت	880
مخلوط سنگدانه ریز و درشت	1040

1-14-4 **مقاومت سبکدانه**: مقاومت سبکدانه با نوع و منبع تغییر می‌کند و تنها به روشی کیفی قابل اندازه‌گیری است. بعضی دانه‌ها ممکن است مستحکم و سخت و برخی دیگر ضعیف و شکننده باشند. برای مقاومت‌های فشاری تا حدود 35MPa، همبستگی معتبری بین مقاومت سنگدانه و مقاومت بتن وجود ندارد[76].

1-14-5 **تخلخل کل**: سهم‌بندی مخلوط‌های بتن و انجام تنظیم‌های میدانی بتن سبک به درک جامع تخلخل، جذب آب و درجه اشباع دانه‌های سبکدانه نیاز دارد. درجه اشباع (نسبت منافذ پر شده با آب) را می‌توان از اندازه‌گیری‌های پیکنومتر ارزیابی کرد. این اندازه‌گیری‌ها چگالی نسبی را در ترازهای مختلف جذب آب تعیین می‌کند بنابراین سهم‌بندی را با روش حجم مطلق امکان‌پذیر می‌کند. به طور معمول، منافذ به صورت فضای هوایی درون یک دانه منفرد سنگدانه تعریف می‌شود و فاصله‌های خالی به صورت فضای بین دانه‌های سنگدانه تعریف می‌گردد. تخلخل کل (درون دانه و بین دانه‌ها) را می‌توان از مقادیر چگالی نسبی دانه و چگالی انبوهی تعیین کرد[76].

1-14-6 **دانه‌بندی**: الزامات دانه‌بندی برای سبکدانه با الزامات سنگدانه با وزن معمول (ASTM C33) متفاوت است. تفاوت در آن است که الزامات دانه‌بندی برای سبک‌دانه الزام می‌کند که جرم بزرگتری از سبکدانه‌ها از اندازه‌های الک ریزتر عبور کند. این تعدیل دانه‌بندی (ASTM C330) مشخص می‌سازد که با کاهش اندازه دانه‌های سبکدانه منبسط شده چگالی افزایش می‌یابد. این تعدیل همان توزیع حجمی سنگدانه‌های باقی‌مانده روی یک سری از الک‌ها را در هر دو سنگدانه با وزن معمول و سبک به دست می‌دهد[76].

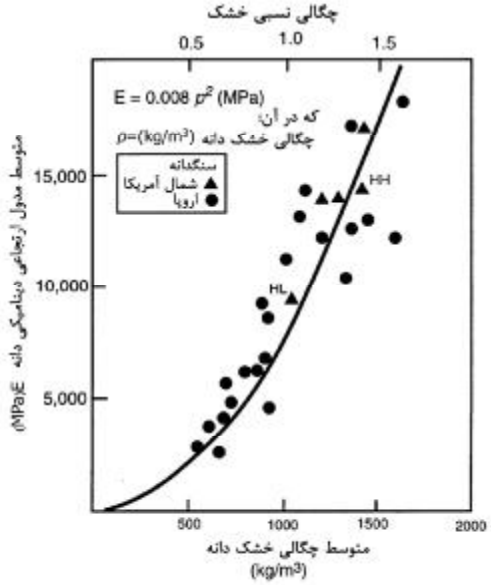
1-14-7 **مقدار رطوبت و جذب آب**: سبکدانه‌ها به دلیل ساختار سلولیشان، قادرند آب بیشتری نسبت به سنگدانه‌های با وزن معمول جذب کنند. بر اساس استاندارد ASTM C127 آزمون جذب آب تعریف شده در 24 ساعت، سبکدانه‌ها بسته به سامانه منافذ سنگدانه معمولاً بین 5 تا 25 درصد جرمی سنگدانه خشک آب جذب می‌کنند. در مقابل، اکثر سنگدانه‌های با وزن معمول کمتر از 2 درصد رطوبت جذب می‌کنند. با این وجود مقدار رطوبت در یک دپوی سنگدانه با وزن معمول ممکن است تا

حد 5 تا 10 درصد یا بیشتر بالا رود. اختلاف مهم آن است که مقدار رطوبت در سبکدانه‌ها به داخل دانه‌ها و همچنین بر روی سطح جذب می‌شود، در حالی که رطوبت در سنگدانه با وزن معمول عمدتاً رطوبت سطحی است. این اختلافات در سهم‌بندی مخلوط، بچینگ و کنترل با اهمیت می‌شوند.
سرعت جذب آب در سبکدانه‌ها نیز عاملی است که بر سهم‌بندی مخلوط، به کار بردن و کنترل مخلوط تأثیر دارد و به خصوصیات منافذ سنگدانه بستگی دارد. آبی که به طور داخلی در سبکدانه جذب می‌شود، بلافاصله در دسترس سیمان قرار نمی‌گیرد و نباید به عنوان آب اختلاط به حساب آید. از سوی دیگر تقریباً همه رطوبت در ماسه طبیعی ممکن است رطوبت سطحی و بنابراین بخشی از آب اختلاط باشد[76].

8-14-1 **مدول ارتجاعی سبکدانه**: مدول ارتجاعی بتن تابعی از مدول اجزای آن است. بتن را می‌توان ماده‌ای دو فازی شامل سنگدانه درشت در بر گرفته شده توسط بخش ملات پیوسته که از سیمان، آب، هوای محبوس شده و سنگدانه ریز تشکیل می‌شود، در نظر گرفت. اندازه‌گیری‌های دینامیکی انجام شده در مورد سنگدانه‌ها به تنهایی دارای رابطه‌ای مطابق تابع $E = 0.008P^2$ است که در آن E مدول ارتجاعی دینامیکی دانه بر حسب MPa و p متوسط چگالی خشک دانه بر حسب kg/m^3 است (شکل 1). مدول دینامیکی برای سنگدانه‌های منبسط شده نمونه‌وار دارای محدوده 10-16GPa است در صورتی که محدوده سنگدانه‌های مستحکم با وزن معمول تقریباً 30-100GPa است (مولر[1] و رچهلز[2] 1979).
مواد تشکیل دهنده: بتن سبک از سیمان، سنگدانه، آب و مواد مضاف شیمیایی و معدنی مشابه بتن با وزن معمول تشکیل می‌شود. مواد مضاف برای ایجاد هوای محبوس، کاهش نیاز به آب و بهبود زمان گیرش یا سایر خواص بتن اضافه می‌شود. آزمون‌های آزمایشگاهی باید بر روی همه اجزا و پیمانه‌های آزمایشی نسبت‌های مخلوط بتن با مواد واقعی پیشنهاد شده برای استفاده انجام شود. مواد سیمانی و پوزولانی باید مطابق ASTM C 150 ،C 595 ،C 618 یا C 1157 باشد[76].
برای بتن سازه‌ای، سبکدانه باید با الزامات ASTM C330 مطابق باشد. به دلیل تفاوت‌ها در مقاومت دانه، مقادیر سیمان لازم برای مقاومت معین بتن با سنگدانه‌های منابع مختلف تغییر خواهد کرد. این به ویژه برای مقاومت‌های بتن بیش از 35MPa اهمیت دارد. نسبت‌های مخلوط توصیه شده توسط تولیدکننده سبکدانه معمولاً مقدار مناسب سیمان و سایر اجزا را ارائه می‌دهد که باید به عنوان اساسی برای پیمانه‌های آزمایشی مورد استفاده قرار گیرد. مواد مضاف باید با ویژگی‌های مناسب ASTM مطابق باشد و راهنما برای استفاده از مواد مضاف را می‌توان در ACI 234R ،233R ،232.2R ،212.3R یافت[76].

1 -Muller
2- Rochholz

بعضی از تولیدکنندگان بلوک، دانه‌های پلی استایرن را با لایه نازکی از بتن پوشش می‌دهند. بتن کمک می‌کند که دانه‌های پلی‌استایرن به هم بچسبند در حالی که یکپارچگی سازه‌ای محدودی بوجود می‌آید. دانه‌های پلی استایرن منبسط مخلوط شده با سیمان پرتلند، ماسه و افزودنی‌های شیمیایی، مواد اولیه بلوک‌های سبک با سنگدانه فوم پلی‌استایرن است[76].



شکل1-4 : رابطه بین متوسط چگالی دانه‌ها و متوسط مدول ارتجاعی دینامیکی دانه‌های سبکدانه (برومنر و هلم 1986) [76]

9-14-1 **واکنش سنگدانه – قلیایی**: ACI201.1R هیچ مورد مستندی را برای تخریب بتن که در عمل از واکنش‌های قلیایی با سبکدانه به وجود آمده باشد، گزارش نکرده است. میلنز[1] (1994) نشان داد که گرچه قابلیت برای واکنش سنگدانه – قلیایی در بعضی سبکدانه‌های طبیعی وجود دارد، تغییر حجم ممکن است وفق یابد بدون آن که ضرورتاً باعث تخریب سازه‌ای شود. مشخص شده است که سطح بخش‌های سنگدانه ریز شیل‌ها، رس‌ها و اسلیت‌های منبسط پوزولانی می‌باشد و ممکن است در جلوگیری از انبساط مخرب کمک کند (بوید[2]، و هلم[3] 2000، هلم و برمنر 2000). هیچ نشانه‌ای از واکنش‌های سنگدانه – قلیایی در آزمون‌های انجام شده در مورد سازه‌های دریایی70 ساله و چندین عرشه پل بتنی سبک با عمر بیش از 30 سال مشاهده نشده است (هلم 1994).

---

1 -Mielenz

2 -Boyd

3 -Holm

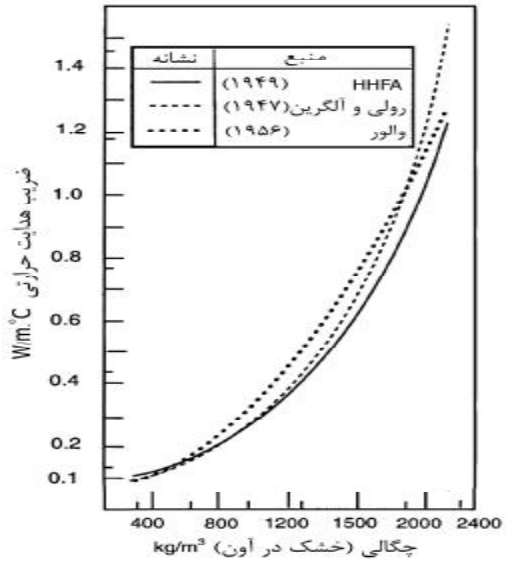
گرچه بررسی‌های آزمایشگاهی و تجربه میدانی هیچ نتیجه انبساط زیان‌آوری از واکنش بین سیمان و سیلیس در بخش سبک سنگدانه نشان نداده است، بخش سنگدانه طبیعی یک مخلوط بتنی ساخته شده از ماسه – سبکدانه باید مطابق با استانداردهای ASTM قابل کاربرد ارزیابی شود[76].
بسیاری مخلوط‌های بتن سبک طراحی شده برای یک چگالی متعادل در محدوده $1760 kg/m^3$ و بیشتر از آن با استفاده از ماسه طبیعی یا سنگدانه درشت طبیعی تولید می‌شوند. در هر یک از این موارد، تا هنگامی که توسط روش آزمون مناسب ASTM یا با سابقه بهره‌برداری مستند نشان داده شود که اثر این سنگدانه‌های طبیعی قابل چشم‌پوشی است، آنها باید منبع بالقوه‌ای برای واکنش‌های سنگدانه – قلیایی در نظر گرفته شوند[76].

10-14-1 **ضریب هدایت حرارتی**: مقدار ضریب هدایت حرارتی k خاصیت ویژه‌ای از ماده و نه ساختمان است و ملاکی است برای نرخی که در آن حرارت (انرژی) عمود بر واحد سطح ماده همگن با ضخامت واحد برای گرادیان دمای یک درجه عبور می‌کند. واحد آن W/mK است. ضریب مقاومت حرارتی، مقاومت بر واحد ضخامت و معادل l/k است[76].
ضریب هدایت حرارتی برای بتن در محدوده چگالی در آون خشک شده کمتر از kg/m^3 3200 -320 تعیین شده است. این ضریب معمولاً از آزمونه‌های لوح گرم محافظت شده (ASTM C177) آزمون شده در شرایط در آون خشک شده به دست می‌آید[76].
چنانچه ضریب هدایت حرارتی بتن دارای یک محدوده وسیع چگالی‌ها در برابر چگالی خشک در آون رسم شود، بهترین انطباق منحنی‌ها وابستگی عمومی k را به چگالی نشان می‌دهد (شکل2). چنانچه دیده می‌شود در این مورد پژوهشگران مختلف وابستگی‌های متفاوتی را یافته‌اند. این تفاوت‌ها به اختلاف‌ها در نوع کانی‌شناسی و ساختار سنگدانه و همچنین دانه‌بندی مربوط است. تفاوت‌ها به دلیل میزان سیمان و همچنین چگالی خمیره و ساختار منافذ نیز به وجود می‌آید. بعضی تفاوت‌ها در روش‌های آزمون و اندازه‌های آزمونه پدید می‌آید[76].
والور[1] (1980) بیش از 400 نتیجه منتشر شده آزمون چگالی، w، را در برابر لگاریتم ضریب هدایت حرارتی k رسم کرد و معادله زیر را پیشنهاد کرد.

$$k = 0.072e^{0.00125w}$$

مقدار دقیق k برای یک بتن تعیین شده به روش آزمون ASTM C177 به مقدار محاسبه شده برتری دارد. با این وجود، برای ساختمان‌سازی معمول، این معادله مبنای خوبی برای تعیین k برای بتن در شرایط خشک شده در آون ارائه می‌دهد. به علاوه آن را به راحتی می‌توان برای شرایط خشک شده در هوا اصلاح کرد[76].

1 -Valore



شکل 1-5 : رابطه چگالی و ضریب هدایت حرارت بتن در شرایط خشک شده در آون (والور 1980)[76]

افزایش مقدار رطوبت آزاد بتن سخت شده افزایشی در ضریب هدایت حرارتی به وجود می‌آورد. والور (1980) بیان کرد که با هر یک درصد وزنی نمو در رطوبت آزاد یا قابل تبخیر نسبت به چگالی خشک شده در آون، ضریب هدایت حرارتی 6 درصد افزایش می‌یابد. ضریب هدایت حرارتی تصحیح شده را می‌توان به صورت زیر محاسبه کرد که در آن W_m و W_o به ترتیب چگالی‌های بتن در شرایط مرطوب و خشک شده در آون است[76].

$$k(\text{corrected}) = k(\text{oven-dry}) \times \left(1 + 6\frac{(w_m - w_o)}{w_o}\right)$$

فصل دوم

منابع سبک‌دانه‌های ایران برای تولید ملات سبک

مقدمه

سبکدانه برای ساختن ملات و اندود سبک استفاده می‌شود. سبکدانه سنگدانه‌ای با چگالی کمتر از 2000 کیلوگرم بر مترمکعب است و شامل: سنگدانه‌های سبک طبیعی مانند پومیس، اسکوریا، خاکسترهای آتشفشانی، توف، دیاتومیت و سنگدانه‌های سبک مصنوعی منبسط مانند رس، شیل، اسلیت، شیل‌های دیاتومه‌ای، پرلیت، ورمیکولیت و سرباره و همچنین محصول نهایی احتراق کک یا زغالسنگ می‌باشد. از مشخصات الزامی سبکدانه‌ها چگالی کم آن‌ها است. بعضی از سبک‌دانه‌ها به صورت طبیعی وجود دارند و بعضی دیگر به صورت مصنوعی تولید می‌شوند. سبک‌دانه‌های طبیعی عبارتند از دیاتومه، پومیس، اسکوریا، خاکستر و توف آتشفشانی که به جز دیاتومه بقیه منشأ آتشفشانی دارند. نظر به این که سبکدانه‌های طبیعی فقط در بعضی محل‌ها یافت می‌شوند لذا این نوع مصالح به میزان وسیعی مصرف نمی‌شوند. پومیس که پوکه معدنی به رنگ روشن از نوع شیشه آتشفشانی با چگالی انبوهی در حدود $500\text{-}900 kg/cm^3$ است، بیش از انواع دیگر مورد مصرف قرار گرفته است. در این فصل ضمن پرداختن به ویژگی‌ها و توزیع مکانی ذخایر طبیعی سبکدانه‌های مختلف در ایران، وضعیت تولید سبکدانه‌های مصنوعی نیز در کشورمان بررسی شده است.

سنگدانه‌های سبک، دانه‌هایی هستند که به دلیل تخلخل دارای وزن فضایی کم می‌باشند. از سبکدانه‌های طبیعی (معدنی) و مصنوعی برای تولید بتن سبک، ملات سبک، بلوک بتنی سبک‌دانه و سایر فرآورده‌های ساختمانی سبک استفاده می‌شود.

در تولید سبکدانه‌های مصنوعی ساختار سلولی درون دانه‌ها معمولاً با حرارت دادن مواد خام معینی تا ذوب اولیه به دست می‌آید. در این دما، بخار آب و گازهایی در جسم گرماخمیر تشکیل می‌شود که باعث انبساطی می‌گردد که پس از سرد شدن باقی می‌ماند.

1-2 تولید سبکدانه‌ها

سبکدانه‌ها ممکن است طبیعی یا مصنوعی باشند. سبک‌دانه‌هایی که به طور طبیعی تشکیل می‌شوند اغلب مانند پومیس[1] (پوکه سنگ)، اسکوریا[2] (سنگ پا)، خاکسترها و توف‌ها، منشأ آتشفشانی دارند ولی برخی دیگر مانند دیاتومیت[3] از نوع رسوبی و برخی نیز مانند ورمیکولیت منشاء دگرگونی دارند[12]. توف‌های زئولیتی نیز به عنوان سبکدانه استفاده شده اند. محدودیت استفاده از این دانه‌ها اغلب به دلیل مشکلات دسترسی به منابع مناسب و مسائل حمل و نقل است. استفاده فزاینده سبکدانه‌های فرآوری شده دلیلی بر برنامه‌ریزی و ملاحظات درست زیست محیطی است. چون این فرآورده‌ها نیاز کمتری به سوخت برای حمل و نقل دارند و از موادی استفاده می‌شود که در حالت طبیعی خود کاربردهای سازه‌ای محدودی دارند، بنابراین تقاضای صنعت ساختمان را برای منابع محدود شن و ماسه طبیعی کاهش می‌دهند.

سنگدانه‌های مصنوعی به چهار روش تولید می‌شوند. در روش اول، سنگدانه‌های مصنوعی از حرارت دادن و انبساط خاک رس، سنگ رسی، سنگ رسی دیاتومه‌ای، سنگ لوح، پرلیت[4]، ورمیکولیت[5] و ابسیدین[6] به دست می‌آیند. در روش دوم، سرباره مذاب کوره‌های آهنگدازی با پاشیدن مقادیر کنترل شده آب به کمک جت آبی منبسط می‌گردد. در روش سوم، از جوش‌های صنعتی حاصل از خاکستر کوره‌های زغال سنگ استفاده می‌شود. سرانجام در چهارمین روش، دانه‌های سبک از ترکیبات آلی نظیر پلی‌استایرن منبسط شده تولید می‌شوند.

سبکدانه‌های رده سازه‌ای در کارخانه‌های تولیدکننده از مواد خام شامل شیل‌ها، رس‌ها، اسلیت‌ها، خاکسترهای بادی یا سرباره‌های کوره آهنگدازی ساخته می‌شوند.

در ایران تنها از روش اول (انبساط حرارتی) برای تولید رس و پرلیت منبسط و ورمیکولیت متورق استفاده می‌شود. از رس منبسط یا لیکا اغلب به عنوان سنگدانه برای ساخت بلوک و بتن سبک استفاده می‌شود و پرلیت منبسط به دلیل وزن و مقاومت کمتر در ساخت ملات دانه سبک به کار می‌رود.

---

1 -Pumice
2 -Scoria
3-Diatomite
4-Perlite
5-Vermiculite
6-Obcidian

2-1-1 سبکدانه رس منبسط

وقتی برخی از انواع رس با دانه‌هایی به ریزی صفر تا دو میکرون در دمای بالاتر از 1000 درجه سلسیوس در کوره‌های افقی حرارت می بینند، گازهای ایجاد شده در داخل آنها منبسط می‌شوند و هزاران سلول هوای ریز تشکیل می‌دهند. با سرد شدن مصالح، این سلول‌ها باقی می‌مانند و سطح آنها سخت می‌شود. خاک رس، سنگ رسی و سنگ لوح منبسط با حرارت دادن مواد خام مناسب در کوره دوار تا نقطه ذوب اولیه (دمای 1000 تا 1200 درجه سلسیوس) تولید می‌شوند. انبساط این مواد در اثر ایجاد و محبوس شدن گازها، در جرمی که در اثر حرارت به حالت خمیری روان درآمده، حاصل می‌شود. این بافت متخلخل در مرحله سرد شدن حفظ می‌گردد به‌طوری که چگالی ظاهری جسم منبسط کمتر از مقدار آن قبل از حرارت دیدن می‌شود. غالبا مواد خام را قبل از حرارت دادن به اندازه‌های مطلوب خرد می‌کنند، اما خرد کردن پس از انبساط نیز ممکن است انجام گیرد. با این مصالح معمولاً بتن‌هایی با چگالی حدود $1800kg/m^3$ -1400 می‌توان به‌دست آورد. معمولاً مقاومت این بتن‌ها بیش از بتن‌های حاوی سایر سبک‌دانه‌ها است. استفاده از کوره گردان تنها یکی از روش‌های تهیه دانه‌های سبک است [106].

امیدبخش‌ترین منابع برای تولید این نوع سبکدانه، شیل‌ها و رس‌های حاوی ایلیت، بیدلیت، رس‌های مونت‌موریلونیت و ورمیکولیت کلریت هستند. این کانی‌ها به ترکیبی نزدیک‌اند که مشخص شده است مذابی با گرانروی بهینه را به دست می‌دهد. در مقایسه با اعضای گروه کائولن، این کانی‌ها حاوی نسبت‌های کم‌تری از آلومینا و نسبت‌های متوسطی از قلیایی‌ها و قلیایی خاکی‌ها هستند که به عنوان کمک‌ذوب در فرآیند پخت عمل می‌کنند. خمیره رس‌ها، شیل‌ها و اسلیت‌های منبسط از آمیخته کاملی از شیشه سیلیسی و بازمانده کانی‌های دانه‌ای است. تجزیه کربنات‌های منیزیم و کلسیم، آهک آزاد و منیزیای آزاد یا هر دو را به وجود می‌آورد که ممکن است سبب انبساط یا بیرون‌پریدگی بتن شود مگر آن که سنگدانه با آب یا بخار آب قبل از مصرف عمل‌آوری شود. پس از این جنبه ترکیب مواد اولیه نیز اهمیت بسیاری دارد تا چنین موادی در محصول وجود نداشته باشد. فاز شیشه‌ای رس‌ها، شیل‌ها و اسلیت‌های منبسط ممکن است واکنش‌زای قلیایی باشند اما انبساط بتن ناشی از این مورد مشاهده نشده است. چون همه ژل‌های سیلیسی ایجاد شده درون حفرات فراوان پر شده از هوا تجمع می‌کنند.

در فرآیند تولید این نوع محصولات سبک گازی با فرآیندهای مختلفی آزاد می‌شود. ظاهراً مهم‌ترین واکنش، احیای بخشی اکسیدفریک با آزادسازی اکسیژن است. اکسید فریک توسط لیمونیت و هماتیت در مواد اولیه یا توسط تجزیه کانی‌های اولیه آهن‌دار که مهم‌ترین آنها رس، میکا و کانی‌های شبه رس است، تأمین می‌شود.

ساختار داخلی رس، شیل یا اسلیت در فرآیند انبساط اهمیت زیادی دارد. مفیدترین حالت، ساختار متراکم نسبتاً نفوذناپذیر است که از جمع‌شدگی در طی حرارت دادن جلوگیری می‌کند و آزاد شدن بخارها و گازها را قبل از ذوب برای درزبندی کردن دانه‌ها به تأخیر می‌اندازد. ساختار به ویژه در پخت

رس‌های کربناتی اهمیت دارد. چون به عنوان ساختار متخلخل باز، سوختن و خارج شدن کربن را امکان‌پذیر می‌کند. در حالی که ساختار متراکم، اکسید شدن توسط اتمسفر کوره را به تأخیر می‌اندازد و CO و CO_2 تولید شده توسط واکنش را با آب بین منفذی یا با آب و اکسیژن آزاد شده توسط ترکیبات هیدراته شده و سیلیکات‌های آب‌دار نگاه می‌دارد.

مهم‌ترین ویژگی‌های لیکا عبارتند از: وزن کم، عایق حرارت، مقاومت در برابر یخ زدگی، تراکم‌ناپذیری تحت فشار ثابت و دائمی، دوام، مقاومت در برابر آتش و PH نزدیک به نرمال. وزن کم این دانه‌ها و در نتیجه هزینه حمل پائین آن باعث شده است تا از لیکا در ساخت ملات‌های سبک ساختمانی استفاده شود. متناسب با کاربرد و روش اجرا از دانه‌بندی‌های مناسب لیکا استفاده می‌شود. در کشور دو کارخانه هریک با دو خط تولید روزانه جمعا حدود 1800 متر مکعب رس منبسط با اندازه‌های مختلف وجود دارد. با توجه به ذخایر مناسب خاک و تقاضای بازار گسترش این صنعت در بسیاری از مناطق کشور امکان پذیر است.

جدول 2-1: تولید رس منبسط در کشور

نام کارخانه	موقعیت کارخانه	تامین ماده اولیه	تعداد خط تولید	ظرفیت اسمی متر مکعب در روز	ظرفیت واقعی متر مکعب در روز	محصولات	اندازه محصول سبکدانه، میلیمتر
لیکا	ساوه- مامونیه	معادن لوله کاب و زاویه	2	1200	1100	سبکدانه لیکا بلوک لیکا ملات لیکا	0تا4 و 4تا10 10تا25 و مخلوط
عمران پارس	منطقه ویژه اقتصادی سیرجان	معادن سیرجان	2	1050	700	سبکدانه	0تا4 و 4تا10 10تا25 و مخلوط

2-1-2 پرلیت

پرلیت سنگ آتشفشانی شیشه‌ای با شکستگی‌های متحدالمرکز یا بدون آن است (شکل2-1راست). این سنگ از آبگیری آهسته شیشه‌های با ترکیب اسیدی حاصل می‌شود و مقدار آب در ساختار آن 2 تا 5 درصد وزنی است [12]. از آنجائی که پرلیت در طول زمان پس از تشکیل، دچار پدیده شیشه‌زدایی می‌شود ذخایر مهم و قابل بهره برداری آن مربوط به دوران سوم و چهارم زمین شناسی هستند. پرلیت در آب تقریبا نامحلول بوده (کمتر از 0/3 درصد) و در اسید سولفوریک حداکثر 1 درصد محلول می‌باشد ولی در هیدروکسید سدیم 50 درصد تا 90 درصد محلول است. هنگامی که پرلیت به سرعت تا دمای ذوب اولیه 900 تا 1000 درجه سلسیوس حرارت داده می‌شود، در اثر ایجاد بخار منبسط می‌گردد و تشکیل ماده متخلخل سفید رنگی با چگالی انبوهی کم در حد $30 - 240 kg/m^3$ می‌دهد

(شکل2-1چپ). این فرآورده معمولاً تنها در اندازه‌های سنگدانه ریز تولید می‌شود. بتنی که با پرلیت ساخته شود دارای مقاومت خیلی کم و جمع شدگی زیاد است و اصولاً به منظور عایق کردن در برابر حرارت به کار برده می‌شود. یک امتیاز این بتن آن است که خیلی سریع خشک می‌شود و بتن‌ریزی به سرعت انجام می‌پذیرد. پرلیت منبسط از نظر شکل، بافت سطحی، تردی و مقدار دانه‌های سنگ آتشفشانی متراکم و بلورهای منفرد تغییر می‌کند. پرلیت منبسط واکنش‌زایی بالقوه با قلیایی سیمان دارد گرچه به دلیل تخلخل دانه‌ها انبساط مهمی اتفاق نمی‌افتد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که پرلیت‌های معینی انبساط زیادی در آزمون ASTM C227 با سیمان‌های پرقلیا یا کم‌قلیا نشان می‌دهند. چنین تغییر حجمی اگر در طراحی سازه یا فرآورده به طور مناسبی در نظر گرفته شود باعث تخریب سازه‌ای نمی‌شود. ملات‌های سیمانی پرلیتی یک سوم وزن ملات‌های سیمانی معمولی را داشته ولی 20 برابر بیشتر ارزش عایق‌کاری حرارتی دارند [106].

پرلیت در ایران برای اولین بار در سال 1350 توسط دکتر افتخارنژاد از نواحی فردوس و میانه گزارش گردید [1]. اغلب ذخایر پرلیت ایران وابستگی نزدیکی با سنگ‌های آتشفشانی اسیدی دوران سوم و چهارم زمین‌شناسی و دگرسانی‌های مرتبط با آنها دارند. بیشترین گسترش و تمرکز پرلیت در منطقه میانه بوده و ذخایر این منطقه بیش از 50 درصد از کل پرلیت‌های ایران را شامل می‌شود [1و 6]. از بین آنها معدن سفیدخانه با حدود 50 میلیون تن ذخیره و شیرین بولاغ مهمترین هستند [1و 2و 3]. پرلیت‌های میانه بیشتر از نوع خاکستری (توده‌ای و بافت دانه‌ای و شکننده) و کمتر سفید ایگنمبرایتی[1] (جریانی و جوش خورده- برشی) می‌باشند. ترکیب سنگی این پرلیت‌ها در حد ریولیت تا داسیت و بندرت تراکی آندزیتی است. در جدول 2 میانگین آنالیز شیمیایی پرلیت‌های میانه و برخی ویژگی‌های فیزیکی آنها آورده شده است.

شکل 2-1: شکستگی‌های متحدالمرکز در مقیاس میکروسکوپی از پرلیت میانه (راست) و نمونه پرلیت خاکستری قزلار گنبدی زنجان قبل از انبساط و بعد از آن (چپ)

1 -Ignimbrite

جدول 2-2: میانگین آنالیز شیمیایی پرلیت‌های منطقه میانه و برخی ویژگی های فیزیکی آنها [1]

چگالی پرلیت منبسط kg/cm^3	ظرفیت انبساط پذیری (برابر حجم اولیه)	L.O.I	MgO	CaO	Fe_2O_3	Na_2O	K_2O	Al_2O_3	SiO_2
48تا119	12تا30	2-7	0/3<	1تا2/5	0/6تا3	5/5تا8	3تا5	12تا16	68تا75

علاوه بر منطقه میانه منابع پراکنده‌ای از پرلیت در استان‌های اردبیل(دوگاه، کری و دکمه داغیل)، زنجان (قیزلار گنبدی)، خراسان(لاخ زرد گناباد، ابراهیم آباد فردوس، نیشتافان تایباد، سه چنگی بیرجند) مطالعه و گزارش شده است [1و 6 و 7]. در حال حاضر از برخی از آنها مثل دوگاه و قیزلار گنبدی بهره برداری می‌شود. از مناطق دیگر کشور که پتانسیل پرلیت دارند می‌توان به طبس، بجستان، نائین، کاشان و مناطقی از استان سیستان و بلوچستان اشاره کرد [1و 6 و 7]. تعداد معادن فعال و نیمه فعال پرلیت کشور 30 معدن است. در جدول 2-3 مهم‌ترین ذخایر پرلیت کشور ذکر شده است.

جدول 2-3: لیست ذخایر مهم پرلیت در ایران [6 و 9]

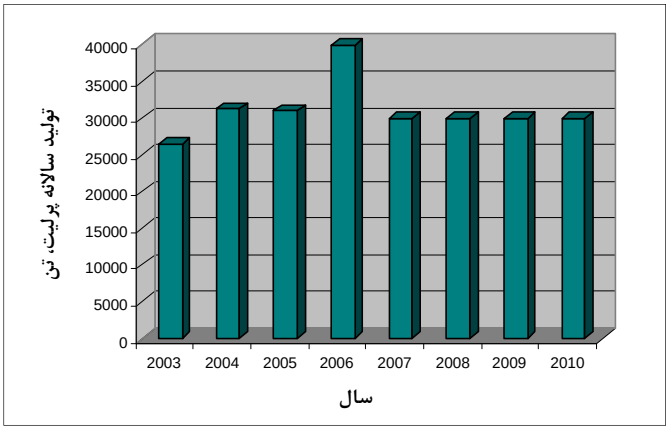
نام معدن	استان	شهرستان	ذخیره(هزارتن)
سفیدخانه	آذربایجان شرقی	میانه	50000
شیرین بلاغ	آذربایجان شرقی	میانه	5000
توشمانلو و سیدلر	آذربایجان شرقی	میانه	138000
عجمی	آذربایجان شرقی	میانه	3800
اشلق چای	آذربایجان شرقی	میانه	11000
اسفنگره	آذربایجان شرقی	تبریز	500
آبک	آذربایجان شرقی	میانه	13000
قیزلار گنبدی	زنجان	ماهنشان	500
دوگاه	اردبیل	کوثر	3500
آج واج	آذربایجان غربی	سلماس	1000

در حال حاضر چندین کارخانه تولید پرلیت منبسط از جمله کارخانه پرلیت صوفیان (شرکت منطقه‌ای معادن آذربایجان)، کارخانه پرلیت میانه و کارخانه پرلیت منبسط زنجان (شرکت عمران مومان چابهار) فعال هستند. درجدول 2-4 اطلاعات بزرگترین تولیدکنندگان پرلیت منبسط در ایران ارائه شده است.

جدول2-4: اطلاعات تولید پرلیت منبسط در ایران

نام شرکت	محل	ظرفیت اسمی تن در سال	ظرفیت واقعی تن در سال
شرکت گسترش پرلیت آذربایجان	بستان‌آباد	5000	4000
شرکت کان آذر	تبریز	2000	1000
شرکت گوهر سهند	هشترود	2500	1800
تعاونی معدنی منطقه ای آذربایجان	صوفیان	2000	700
شرکت خاک و سنگ پرلیت	صوفیان	2700	500
شرکت گوهر کاوش	ارومیه	2000	500
شرکت ژرف یاب	مهاباد	2200	500

تولید سالانه پرلیت خام در کشور حدود 30000 تن گزارش شده است (شکل2-2) که سهم 1/7 درصدی از تولید جهانی پرلیت را دارد [11].



شکل 2-2: شکل تولید سالیانه پرلیت در ایران

تولید جهانی پرلیت در سال 2010 حدود 1/7 میلیون تن گزارش شده است. تولیدکننده‌های عمده پرلیت آمریکا، یونان و ترکیه و ژاپن هستند [14].

2-1-3 ورمیکولیت

ورمیکولیت به گروهی از کانی‌های میکایی گفته می‌شود که از دگرسانی بیوتیت و فلوگوپیت آهن‌دار در شرایط نزدیک به سطح زمین حاصل می‌شوند. این کانی‌ها اولیه نبوده و برون‌زا محسوب می‌شوند [12]. ورمیکولیت برای اولین بار در سال 1824 در امریکا توصیف شد. فرمول میانگین و معرف ورمیکولیت $(Mg,Fe^{+2},Fe^{+3})_3[(Al,Si)_4O_{10}](OH)_2{\cdot}4H_2O$ است [12و 13]. بنابر این ترکیب آن نه تنها از معدنی

به معدن دیگر متغیر بوده بلکه در افق‌های مختلف از یک معدن نیز می‌تواند متفاوت باشد. بنابراین انتظار می‌رود که تغییرات کانی شناسی و عیار از سطح به عمق در کانسارهای ورمیکولیت قابل توجه باشد. تبدیل بیوتیت به ورمیکولیت با افزایش حجمی 10 تا 40 درصدی همراه است. ذخایر این کانی در شرایطی که فشار حاصل از این افزایش حجم بر فشار لیتوستاتیک لایه‌های بالایی (حداکثر 30 متر) غلبه کند تشکیل می‌شود [106].

ورمیکولیت متورق با انبساط و متورق کردن توسط حرارت سریع به عنوان نتیجه‌ای از آزادسازی آب ترکیبی به وجود می‌آید. هنگامی که این سنگ تا دمای 650 الی 1000 درجه سلسیوس حرارت داده می‌شود ورقه‌های آن تا چند برابر حجم اولیه خود (حدود 30 برابر) منبسط می‌شود (شکل 2-3راست) و میزان رسانایی گرمایی نیز کاهش قابل توجهی می یابد. در نتیجه چگالی انبوهی ورمیکولیت منبسط $30\text{-}130 kg/m^3$ خواهد شد. درجه انبساط، ضریب ارتجاعی، تردی و شکنندگی دانه‌ها بسیار تغییر می‌کند که بستگی به ترکیب کانی‌شناسی ورمیکولیت، اندازه بلور، خلوص و شرایط پخت دارد. بتنی که با آن ساخته می‌شود دارای مقاومت خیلی کم و جمع‌شدگی زیاد است اما عایق حرارتی خوبی است.

تاکنون اکتشاف سراسری منابع ورمیکولیت در ایران صورت نگرفته و منابع شناسایی شده فعلی کشور اغلب اندیس تلقی می‌شوند. فرآوری اکثر این اندیس‌ها در شرایط فعلی غیراقتصادی است لذا برداشت از آنها نیز بسیار اندک است. با این حال ذخایری از این ماده معدنی با ارزش در املش گیلان، کلیبر آذربایجان شرقی، شاهین دژ آذربایجان غربی و اسفندقه کرمان (شکل2-3چپ) وجود دارد، که از این میان تنها از دو معدن گوابر املش (شرکت گیلان میکا) و محمدآباد کلیبر (شرکت معادن منطقه‌ای آذربایجان) بهره‌برداری می‌شود [7].

شکل 2-3: ورمیکولیت املش قبل از متورق شدن و پس از آن (راست) و رخنمون رگه ورمیکولیتی در اسفندقه کرمان (چپ)

برداشت از معدن گوابر املش بدون انفجار است و عمل فرآوری علیرغم این که از متوسط بین‌المللی گرانتر تمام می‌شود از سایر اندیس‌ها ارزان‌تر است. میزان برداشت از معدن به دلیل این که در زیر

پوشش جنگلی قرار دارد بیش از 2 هزار تن در سال نیست و در شرایط موجود کشور افزایش آن نیاز به فناوری جدید دارد. مشخصات شیمیایی و فیزیکی ورمیکولیت املش در جدول 2-5 منعکس شده است.

جدول2-5: آنالیز شیمیایی ورمیکولیت متورق املش و برخی ویژگی های فیزیکی آن [10]

SiO_2	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	Fe_2O_3	TiO_2	MgO	H_2O	ضریب هدایت حرارتی	نقطه خمیری
34	18	6/2	0/35	10	6/5	15	8/8	0/057تا 0/063	1250

بر اساس اکتشافات جدید در منطقه اسفندقه رگه‌ها و لایه‌های قابل استخراج ورمیکولیت با ایلیت-مونت موریلونیت یا بدون آن‌ها وجود دارد که بعضی از آنها بیش از دو متر ضخامت داشته و حداکثر روباره‌ای نیم متری دارند (شکل2-3). خلوص آنها بیش از 90 درصد است. بر این اساس پهنه‌های افیولیتی کشور مثل اسفندقه، فاریاب، کهنوج و جیرفت از مناطق امیدبخش کشور محسوب می‌شوند. ترکیبات ورمیکولیت با اسامی تجاری مختلف وارد کشور می‌شوند. هنوز پتانسیل کاربردی این ماده معدنی با ارزش در داخل کمتر شناخته شده است.

تولید جهانی ورمیکولیت در سال 2009 حدود 500 هزار تن از 12 کشور گزارش شده که حدود 80 درصد آن توسط سه کشور آفریقای جنوبی، چین و آمریکا تولید شده است [14].

2-1-4 دیاتومیت

دیاتومیت سنگ رسوبی است که از انباشت اسکلت جانداران تک سلولی به نام دیاتومه‌ها حاصل شده و از این رو منشاء بیوژنیک دارد. ترکیب غالب آن سیلیس آمورف اوپالی(SiO_2, nH_2O) است. اندازهٔ ذرات دیاتومیت از 0/75 تا 1000 میکرومتر تغییر می‌کند، ولی اندازهٔ غالب بین 50 تا 100 میکرومتر است [12]. همراه سیلیس معمولاً مقدار کمی مواد آلی، رس و رسوبات آتشفشانی نیز وجود دارد. سیلیس زیاد، نور کافی (عمق کمتر از 35 متری آب) و نبود عناصر مضر از شرایط مهم برای رشد و تکثیر دیاتومه‌ها است. شکل و اندازه دیاتومه‌ها متنوع و شامل بیش از 300 نوع و 12000 گونه است که در نوع کاربردهای صنعتی آن موثر است [12].

این سنگ ساختار متخلخل میکروسکوپی داشته (شکل4) و سطح ویژه پودر آن 10 تا30 متر مربع بر گرم است. تاریخچه مصرف دیاتومیت به 2000 سال قبل در یونان به عنوان ماده اولیه ساخت آجر سبک بر می‌گردد. از نقطه نظر زمین‌شناسی اقتصادی، واژه دیاتومیت به رسوباتی از تجمع اسکلت سیلیسی دیاتومه‌ها گفته می‌شود که ضخامت و خلوص کافی جهت استفاده داشته باشند. واژه‌های دیگری که به تجمع بقایای دیاتومه‌های دارای ناخالصی بیشتر گفته می‌شود عبارتند از: دیاتومیت رس دار، رس دیاتومیت دار و یا خاک دیاتومیتی. دیاتومیت علاوه بر ناخالصی‌ها می‌تواند تا 15 درصد آب به

صورت آزاد، در ساختمان خود داشته باشد. دیاتومیت خالص خرد شونده و از نظر خصوصیات ظاهری، شبیه به گچ است. معمولاً به رنگ سفید تا خاکستری دیده می‌شود. دیاتومیت به سه فرم تجاری خام (طبیعی)، کلسینه شده معمولی و کلسینه شده با گدازآور عرضه می‌شود [12]. دیاتومیت هم‌جوش[1] سبکدانه‌ای است که از خرد کردن و سرند کردن خاک یا شیل دیاتومه‌ای، اسپری کردن با نفت و پخت در یک کوره دوار تولید می‌شود. تشکیل دهنده‌های اصلی اسکلت‌های اپالین دیاتوم‌ها همراه با نسبت‌های متغیر شیشه سیلیسی تولید شده با فرایند پخت است. سایر تشکیل دهنده‌ها ماسه ریز، سیلت، رس و شیشه آتشفشانی ریز تقسیم شده هستند. بعضی دیاتومیت‌های هم‌جوش که به عنوان سنگدانه برای بتن استفاده می‌شود، انبساط شدیدی با سیمان‌های پرقلیا و کم قلیا به وجود می‌آورند.

دیاتومیت در ایران برای اولین بار در سال 1348 در اطراف تبریز و توسط دکتر افتخار نژاد گزارش شد [5]. ذخایر دیاتومیت ایران عمدتا در شمال غرب کشور و در اطراف آتشفشان‌های سبلان و سهند به سن دوران چهام زمین‌شناسی یعنی جایی که شرایط زیستی مناسبی فراهم بوده متمرکز هستند. تشکیل دیاتومه در دوره‌های مختلف زمین شناسی رخ داده ولی تنها ذخایر دیاتومیتی جوان‌تر (بیشتر متعلق به دوران چهارم و کمتر دوران سوم زمین شناسی) به دلیل مصون ماندن از دگرگونی و تغییر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی قابلیت استخراج، فراوری و کاربرد دارند که در ایران نیز چنین است.

از ذخایر مهم در اطراف سهند می‌توان دیاتومیت‌های ممقان آذرشهر، کامل آباد مراغه (شکل2-5 راست) و اندیس‌های کوچکتر خلعت پوشان، کرگه، ائل گولی و شهرک پرواز را در اطراف شهر تبریز نام برد [5]. میزان SiO_2 در دیاتومیت‌های آذربایجان شرقی از 61 تا 82 درصد گزارش شده است.

شکل 2-4: تصویر میکروسکوپ الکترونی دیاتومه‌ها [106]

1 - Sintered

در اطراف آتشفشان سبلان نیز ذخایر متعد دیاتومیتی در سال‌های اخیر شناسایی شده که از مهمترین آن‌ها می‌توان به بنفشه دره، قاسم قشلاقی، آق گلین، سدر آباد و چای سقرلو اشاره کرد. ضخامت لایه‌های دیاتومیتی در این ذخایر از کمتر از 0/5 متر تا حداکثر 15 متر (کانسار آق قالا) متغیر است. میزان متوسط SiO_2 در دیاتومیت‌های استان اردبیل حدود 60 درصد گزارش شده است. ناخالصی‌های اصلی در دیاتومیت‌های ایران شامل رس، پومیس، توف و کمتر کنگلومرا و سنگ آهک است [4و 5].

شکل 2-5: نمایی از معادن دیاتومیت کامل آباد مراغه (راست) و ممقان آذر شهر (چپ)

کانسار دیاتومیت ممقان (معدن غیرفعال) در 50 کیلومتی جنوب غرب تبریز گسترش سطحی حدود 35 کیلومتر مربع داشته و از 9 افق دیاتومیتی (با مجموع ضخامت 14 متر) با میان لایه‌های مختلف تشکیل شده است (شکل 2-5-چپ). عیار در جهت جانبی و قائم تغییر می‌کند. متوسط SiO_2 دیاتومیت‌های ممقان 82 درصد گزارش شده است[5].

با آن که ذخیره قطعی دیاتومیت‌های ایران افزون بر 500 هزار تن گزارش شده است [11]، به دلیل کیفیت پایین محصولات تولیدی و دست نیافتن به استانداردهای لازم، فرآوری دیاتومیت در ایران موفقیت آمیز نبوده است. تولید دیاتومیت در ایران در دوره 1369 تا 1379 از 2152 تن در سال 1369 به 4250 تن در سال 1378 افزایش یافته ولیکن در سال 1379 این مقدار کاهش یافته و به 2000 تن در سال رسیده است. تولید در ایران روند خاصی را نشان نمی‌دهد و امکان این که بتوان مقدار تولید را در سال‌های آینده پیش‌بینی کرد عملاً ممکن نیست. تولیدکننده عمده دیاتومیت در ایران شرکت منطقه‌ای معادن آذربایجان است که عملیات استخراج از معدن کامل آباد مراغه را بر عهده دارد. معدن کامل آباد تنها معدن فعال دیاتومیت در کشور با ذخیره‌ای در حدود 243000 تن است (شکل3). مشخصات نمونه دیاتومیت خام معدن کامل آباد مراغه در جدول 6 آورده شده است.

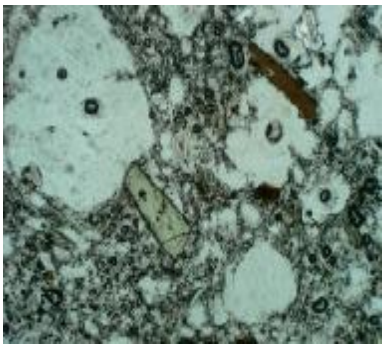
جدول 2-6: مشخصات دیاتومیت خام معدن کامل آباد مراغه[9]

SiO_2 %	MgO %	Al_2O_3 %	H_2O %	چگالی، kg/cm^3
73 تا 81	0/2 تا 1/3	3/4 تا 5/5	8 تا 13	0/7 تا 1/15

تولید جهانی دیاتومیت در سال 2010 حدود 1/8 میلیون تن بوده که حدود یک میلیون تن آن به آمریکا و چین مربوط است. تولید ایران در آمارهای جهانی 2000 تن در سال گزارش شده است [14].

2-1-5 پوکه‌های معدنی

پوکه‌های معدنی سبکدانه‌های طبیعی شامل پومیس، پومیسیت، اسکوریا و برخی خاکسترهای آتشفشانی هستند. این مواد معدنی سبک خاستگاه آذرین داشته و محصول فوران‌های آتشفشانی انفجاری هستند. در این میان پومیس (سفید تا قهوه‌ای رنگ، شکل 2-6) و در مرتبه بعدی اسکوریا (قهوه‌ای تا سیاه رنگ) بیشترین مصرف را به عنوان سبکدانه معدنی دارند [1 و 12و 13]. در پومیس و اسکوریا هر سلول از سلول دیگر توسط دیواره‌های نازک جدا شده و نفوذپذیری ناچیزی دارد (شکل4). مقدار سیلیس گدازه‌های سازنده پومیس70 تا 75 درصد بوده که در مقایسه با اسکوریا (50 تا60 درصد) بالاست [12و 1]. وزن خشک اسکوریا در مقایسه با پومیس بالاتر (تقریبا دو برابر) ولی در مقابل میانگین درصد تخلخل آن کمتر است (حدود 15 تا 30 درصد در دانه بندی‌های مختلف) [106].
ویژگی‌هایی مانند چگالی ظاهری کم (اغلب کمتر از 1)، ساختار سلولی و متخلخل، ضریب هدایت حرارتی کم و نفوذپذیری پایین پوکه‌های معدنی باعث شده است که کاربردهای متنوعی به ویژه در صنعت ساختمان داشته باشد. از جمله این کاربردها می‌توان به ساخت بتن سبک غیرسازه‌ای، تولید فرآورده‌های سبک مختلف سازه‌ای و غیرسازه‌ای، دیوارهای جداکننده غیرسازه‌ای به صورت پیش ساخته به منظور کاهش اتلاف حرارت، مصالح پرکننده درکفسازی طبقات ساختمان، مصالح پرکننده پشت دیوارهای حائل، مصالح پرکننده پشت آستر بتنی تونل‌های متروی شهری اشاره کرد [8]. بر اساس پژوهش‌های انجام شده [8] استفاده از پوکه معدنی اسکوری جهت ساخت اعضای سازه‌ای و پوکه معدنی پومیس در تولید اعضای غیرسازه‌ای و یا به عنوان مصالح پرکننده ترجیح داده می‌شود.



شکل 2-6: نمونه پوکه معدنی تبریز از نوع پومیس (راست) و تصویر میکروسکوپی از آن(چپ)

مانند اغلب سبکدانه‌های طبیعی به دلیل عملکرد فرایندهای دگرسانی و دگرگونی، تنها در نواحی دارای فعالیت‌های آتشفشانی جدید (دوران چهارم و عهد حاضر)، انباشته‌های اقتصادی قابل استخراج از پوکه‌های معدنی موجود هستند. این ذخایر به صورت روباز و بدون نیاز به آتشباری بهره‌برداری می‌شوند. سبکی، هزینه‌های حمل و نقل و نزدیکی به بازار مصرف پارامترهای مهم اقتصادی محسوب می‌شوند. ذخایر پوکه‌های معدنی ایران بیشتر در اطراف دهانه‌های آتشفشانی جوان جای دارند که از مهمترین آنها می‌توان مناطق زیر را نام برد [1]:

- منطقه آتشفشانی دماوند در البرز مرکزی(مانند معادن رینه، کرف، گزانه، ملار از نوع پومیس و اسکوریا)
- منطقه آتشفشانی سهند در آذربایجان شرقی (مثل معادن بستان آباد، ایرانق و قرونه تبریز، بیشتر از نوع پومیس)
- منطقه آتشفشانی سبلان در آذربایجان شرقی و اردبیل (مثل معادن ولهریز و سرعین، از نوع پومیس و اسکوریا)
- منطقه آتشفشانی قروه- بیجار- تکاب (مثل معدن قروه بیشتر از نوع اسکوریا)
- منطقه آتشفشانی تفتان- بزمان- شاهسواران در سیستان و بلوچستان

ارزیابی جامعی در مورد تعیین میزان ذخایر پوکه معدنی ایران وجود ندارد ولی بر اساس گزارش‌های پراکنده موجود و گسترش قابل توجه سنگ‌های آتشفشانی جوان انفجاری در کشور می‌توان آن را بیش از 10 میلیون تن برآورد کرد. در سال 2010 تولید پوکه‌های معدنی در جهان در مجموع حدود 17/3 میلیون تن گزارش شده است که نزدیک به 2 میلیون تن آن از نوع پومیس بوده است. کشورهای ایتالیا، ترکیه، یونان پیشرو بوده‌اند[106].

6-1-2 پومیس

پومیس یک ماده طبیعی با منشاء آتشفشانی است. واژه‌شناسی فنی پومیس به عنوان سنگدانه‌های سبک طبیعی شناخته شده است. با توجه به استاندارد TS 3234 پومیس به صورت زیر تعریف می‌شود [15]:

- سبک‌دانه طبیعی با منشا آتشفشانی
- حاوی تا 80 درصد حفرات هوا
- حفرات بدون ارتباط با یکدیگر
- ظاهر اسفنجی
- پایه سیلیکاتی
- وزن واحد معمولا کمتر از $1\ g/cm^3$
- وزن مخصوص عموما بیش از $2/1\ g/cm^3$
- مقیاس سختی موس در حدود 5/5 تا 6/0

- بافت شیشه‌ای
- بدون آب بلورین

پومیس توسط انتشار گازها در طول انجماد ماگمای آتشفشانی تشکیل شده است. ساختار سلولی پومیس توسط تشکیل حباب‌ها یا حفرات هوا هنگامی ایجاد می‌شود که ماگماهای مذاب جاری شده از آتشفشان‌ها سرد شوند و گازهای موجود در آن محبوس گردند. سلول‌ها، طویل و به موازات یکدیگر و گاهی اوقات به هم پیوسته‌اند. به دلیل فرآیند تشکیل، سنگ پومیس شامل تا 80 درصد حفرات هوا است. پومیس دارای تخلخل بسیار بالا است و همچنین از آن می‌توان به عنوان سنگ آتشفشانی شیشه‌ای نام برد. پومیس در ترکیب شیمیایی حاوی تا 75 درصد دی اکسید سیلیسیوم (SiO_2) است. به طور کلی ترکیب شیمیایی نوعی پومیس به شرح جدول 2-8 است [15].

ترکیب SiO_2 در سنگ باعث ایجاد خاصیت ساینده‌گی می‌شود. این در حالی است که ترکیب Al_2O_3 موجب به دست آوردن خاصیت مقاومت در برابر حرارت و آتش در سنگ می‌شود.

جدول 2-8 : ترکیب شیمیایی نوعی پومیس

ترکیب شیمیایی	حداکثر (درصد)	حداقل (درصد)
SiO_2	75	45
Al_2O_3	21	13
Fe_2O_3	7	1
CaO	11	1
Na_2O- K_2O	9	7

سنگ پومیس با توجه به سازوکار تشکیل در طول فعالیت آتشفشانی به دو دسته مختلف تقسیم می‌شود که عبارتند از:

- پومیس با مشخصه اسیدی
- پومیس با مشخصه بازالتی

در هر دو دسته پومیس حاوی محدوده بسیار بالایی از تخلخل است. چگالی سنگ پومیس اسیدی در حدود kg/m^3 1000-500 و چگالی سنگ پومیس بازالتی معمولا در محدوده kg/m^3 2000-1000 است. این نشان می‌دهد که چگالی ماگمای اسیدی در مقایسه با ماگمای بازالتی پائین‌تر است. علاوه بر این، اغلب منابع در دسترس سنگ پومیس در جهان از نظر نوع سنگ، پومیس اسیدی هستند. ترکیب شیمیایی سنگ پومیس اسیدی و بازالتی در جدول 2-9 نشان داده شده است [106].

جدول 2-9: ترکیب شیمیایی متوسط سنگ پومیس اسیدی و بازالتی

ترکیب شیمیایی	پومیس اسیدی درصد	پومیس بازالتی درصد
SiO_2	70	45
Al_2O_3	14	21
Fe_2O_3	2,50	7
CaO	0,90	11
MgO	0,60	7
Na_2O- K_2O	9,00	8

همان طور که در ترکیب شیمیایی سنگ پومیس اسیدی و بازالتی می‌توان دید، پومیس اسیدی حاوی سیلیسیم بالاتر در مقایسه با سنگ پومیس بازالتی است. به همین دلیل پومیس اسیدی بسیار مناسب‌تر و دارای مواد خام مطلوب برای استفاده در مصالح ساختمانی با توجه به تمایل بسیار به فعالیت پوزولانی است [15].

وزن مخصوص سنگ پومیس به طور کلی بیش از $2/1 g/cm^3$ است. افزایش اندازه ذرات این سنگدانه باعث کاهش چگالی است. به عبارت دیگر، اندازه کوچک‌تر ذرات باعث افزایش چگالی می‌شود. از طرف دیگر افزایش اندازه ذرات سنگ‌دانه‌ها باعث افزایش درصد تخلخل در سنگ‌دانه می‌شود [15].

جدول 2-10: وزن واحد خشک پومیس با توجه به اندازه ذرات

محدوده اندازه ذرات (mm)	وزن واحد خشک (kg/m^3)
≥32	319±%5
16-32	408±%5
8-16	502±%5
4-8	594±%5
2-4	688±%5
1-2	780±%5
0,5-1	873±%5
0,25-0,5	966±%5

جدول 2-11: درصد تخلخل واقعی پومیس با توجه به اندازه ذرات

محدوده اندازه ذرات (mm)	تخلخل واقعی (kg/m^3)
≥32	86٫3±%5
16-32	82٫5±%5
8-16	78٫4±%5
4-8	74٫5±%5
2-4	70٫4±%5
1-2	66٫5±%5
0٫5-1	62٫5±%5
0٫25-0٫5	58٫5±%5

شکل 2-7: سنگ پومیس

منابع و ذخایر پومیس: در مجموع 18 میلیارد متر مکعب سنگ پومیس در جهان موجود است. مهم‌ترین کشورهای دارنده ذخایر پومیس را می‌توان ایتالیا، اسپانیا، ترکیه، آلمان، ایالات متحده آمریکا، یونان، ایران، گوادلوپ، مارتینیک و جمهوری دومینیک به شمار آورد. به ویژه ترکیه دارای ذخایر بسیار بزرگی از پومیس است [15].

شکل 2-8: سنگ‌دانه پومیس

کاربردهای پومیس: پومیس به عنوان یک ماده خام در بسیاری از بخش‌های صنعتی استفاده می‌شود. بخش ساختمانی بخش اصلی مصرف کننده پومیس به عنوان ماده اولیه در جهان است. کاربردهای پومیس عبارت هستند از [15]:

- بخش ساخت و ساز
- بخش نساجی
- بخش کشاورزی
- بخش شیمیایی
- سایر بخش‌های صنعتی و فنی

در ترکیه هر ساله 1/250/000 تن پومیس در بخش ساختمان به منظور تولید مصالح ساختمانی سبک استفاده می‌شود. در این کشور بخش بسیار کوچکی در سایر بخش‌ها مصرف می‌گردد[15].

کاربرد پومیس در بخش ساختمان: موارد استفاده گسترده پومیس در بخش ساخت و ساز وجود دارد که به خواص مشخصه پومیس بستگی دارد. دلایل برتری استفاده از پومیس به عنوان یک ماده خام در بخش ساخت و ساز به شرح زیر است [15]:

- وزن واحد حجم کم
- عایق حرارتی مناسب
- مقاومت زیاد در برابر آتش
- مقاومت زیاد در برابر اثرات یخ زدن-آب شدن
- مقاومت زیاد در برابر اثر آب و هوایی

فصل سوم

استانداردهای ملات سبک و ملات لایه نازک و سبکدانه مورد استفاده در آن‌ها

مقدمه

با توجه به خواص مطلوب سبکدانه‌ها در تولید ملات سبک برای اهداف سبک‌سازی و عایق حرارتی، آشنایی با استانداردهای مربوط به هدف بهبود کیفیت ملات الزامی است. در این فصل استانداردهای مربوط به سبک‌دانه‌ها و ملات سبک برای اهداف بنایی و عایق‌کاری حرارتی مورد بررسی قرار گرفته و ویژگی‌های کاربردی هر یک به تفکیک بیان شده است. آزمون‌هایی که در مورد سبکدانه‌ها انجام می‌شود عبارتست از: ناخالصی‌های آلی، لکه شدگی، کلوخه‌های رسی و ذرات خرد شونده، افت وزن در اثر سرخ شدن، دانه‌بندی و چگالی انبوهی.

مزایای عملی استفاده از سبک‌دانه‌ها در ساخت ملات بنایی سبک در زمینه کاهش وزن ساختمان، زمان ساخت، کاهش هزینه در مراحل حمل و نصب سبب شده است که کاربرد انواع آن افزایش یابد. در ملات سبک نسبت به ملات معمولی پیوند بین سنگدانه و ماتریس قوی‌تر است. خمیر سیمان به خاطر طبیعت متخلخل سبک‌دانه‌ها به داخل آن نفوذ می‌کند، بنابراین ناحیه انتقالی واسط بین سنگدانه و ماتریس وجود ندارد و یا در صورت وجود بسیار کوچک است. این موضوع از حیث پایایی ملات دارای اهمیت است، چون این ناحیه در ملات معمولی ضعیف‌ترین ناحیه است.

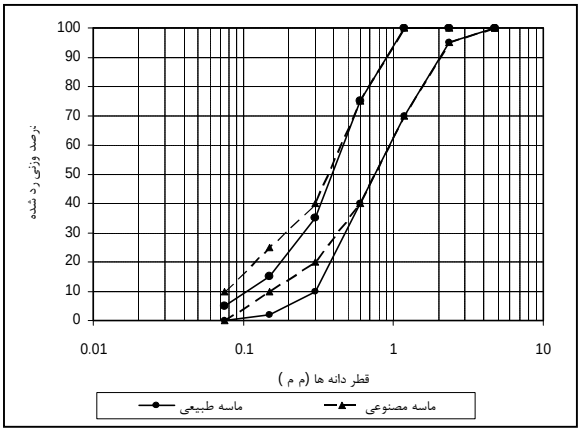
سبکدانه‌ها، بادوام و مستحکم، سامانه فضاهای خالی به طور یکنواخت توزیع شده‌ای را در بر دارند که دارای محدوده اندازه حدود 5 تا 300 میکرومتر است و در یک فاز شیشه‌ای پیوسته پرمقاومت و تقریباً عاری از ترک توسعه می‌یابد. منافذ نزدیک به سطح به سهولت نفوذپذیرند و در اولین ساعات رویارویی با رطوبت با آب پر می‌شوند. اگر چه منافذ داخلی در طی چندین ماه غوطه‌وری مورد نیاز برای رسیدن به اشباع بسیار آهسته پر می‌گردند. بخش کوچکی از منافذ داخلی واقعا به یکدیگر متصل نیستند و پس از سال‌ها غوطه‌وری پر نشده باقی می‌مانند.

3-1 سنگدانه برای ملات سیمانی بنابر استاندارد ASTM

ماسه مورد استفاده در ملات باید تمیز بوده و ویژگی‌های آن مطابق استاندارد ASTMC144 باشد. محدوده دانه بندی سنگدانه برای ملات بر طبق این استاندارد در جدول شماره 1 ارائه شده است.

جدول 3-1: محدوده دانه بندی سنگدانه برای ملات سیمانی بر طبق استاندارد ASTM C144

الک‌های استاندارد (با چشمه های مربع)		درصد وزنی رد شده مطابق استاندارد	
نمره	اندازه چشمه (mm)	ماسه طبیعی	ماسه شکسته
نمره 4	4.75	100	100
نمره 8	2.36	95 تا 100	95 تا 100
نمره 16	1.18	70 تا 100	70 تا 100
نمره 30	0.60	40 تا 75	40 تا 75
نمره 50	0.30	10 تا 35	20 تا 40
نمره 100	0.15	2 تا 15	10 تا 25
نمره 200	0.075	0 تا 5	0 تا 10



شکل 3-1: محدوده مجاز دانه‌بندی سنگدانه برای ملات

3-2 استاندارد سبکدانه و قطعات بنایی سبک، سبکدانه برای بلوک‌های بنـایی بتنـی (بـر اساس استاندارد ملی ایران شماره 4985)

این استاندارد در مورد تعیین ویژگی‌های سبکدانه مورد نظر برای استفاده در بلوک‌های بنـایی بتنـی بـا هدف اصلی کاهش چگالی بلوک‌ها است و برای انواع سبکدانه‌ها به‌شرح زیر کاربرد دارد: 1-سبکدانه‌های تهیه شده از انبساط، اماج[1] یا هم‌جوش کردن فراورده‌هایی ماننـد سـرباره کـوره بلنـد آهنگـدازی، رس،

1- Pelletizing

پرلیت، دیاتومیت، خاکستر بادی، شیل یا اسلیت، 2- سبکدانه‌های تهیه شده از فرآوری مواد طبیعی مانند پومیس، اسکوریا یا توف، 3- سبکدانه‌های تشکیل شده از سوزاندن فراورده‌های ذغال‌سنگ یا کک.

ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی: در جدول‌های 3-2 و 3-3 به ترتیب ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی سبکدانه‌ها برای بلوک‌های بنایی بتنی ارائه شده است.

جدول 3-2: ویژگی‌های شیمیایی سبکدانه‌ها برای بلوک‌های بنایی بتنی

مواد زیان‌آور	حدود ویژگی‌ها	استاندارد روش آزمون مربوط
ناخالصی‌های آلی	نباید رنگی‌تیره‌تر از رنگ استاندارد ایجاد کند	استاندارد ملی ایران شماره 4979
لک شدگی	شاخص لکه شدگی[1]: کمتر از 60	ASTM C641
افت وزن در اثر سرخ شدن[2]	سنگدانه‌های حاوی فراورده‌های نهایی ناشی از سوختن ذغال‌سنگ یا کک: حداکثر 12 درصد	استاندارد ملی ایران شماره 1692
	سایر سنگدانه‌ها: حداکثر 5 درصد	

1: در صورتی که در تجزیه شیمیایی مشخص شود لکه ایجاد شده به دلیل وجود آهن بیان شده به صورت Fe_2O_3، معادل یا بیش‌تر از 1/5 میلی‌گرم بر 200 گرم نمونه است.

2: بعضی سنگدانه‌ها ممکن است حاوی کربنات‌ها یا آب هیدراسیون باشند که در افت سرخ شدن مشارکت می‌کنند اما ممکن است بر کیفیت محصول اثری نداشته باشند. پس، در ارزیابی یک سنگدانه باید به خصوصیات موادی که باعث افت سرخ شدن می‌شوند توجه شود.

جدول 3-3: ویژگی‌های فیزیکی سبکدانه‌ها برای بلوک‌های بنایی بتنی

مشخصات فیزیکی		حدود ویژگی‌ها	استاندارد روش آزمون
کلوخه‌های رسی و ذرات خرد شونده		حداکثر: 2 درصد جرم خشک	استاندارد ملی ایران شماره 4978
دانه‌بندی		بر اساس توافق طرفین ذینفع	بر اساس پیوست الف استاندارد ملی ایران شماره 7657
یکنواختی دانه‌بندی		اختلاف مدول نرمی سنگدانه با مدول نرمی ارائه شده برای آزمون پذیرش: حداکثر ٪ 7	
چگالی انبوهی فله‌ای حداکثر - kg/m^3	سبکدانه ریز: 0 تا 4/75 mm	1120	استاندارد ملی ایران شماره 4981
	سبکدانه درشت: 2/36 تا 9/50 mm	880	
	مخلوط سبکدانه ریز و درشت	1040	
یکنواختی چگالی انبوهی فله‌ای		اختلاف چگالی انبوهی فله‌ای خشک آزمون شده با آن که برای آزمون پذیرش ارائه شده حداکثر: $50kg/m^3$ ± یا 7 درصد	

از آنجا که سنگدانه‌های مخلوط شده ممکن است از چندین منبع متفاوت آورده شده باشد، دانه‌بندی مناسب سنگدانه مخلوط شده یکی از اجزاء اصلی در کیفیت بلوک‌های بنایی بتنی تولید شده است. محدوده دانه‌بندی نشان داده شده برای مخلوط سنگدانه، توزیع اندازه دانه را بهینه می‌کند که در ارتقای کیفیت بلوک بنایی بتنی به‌شرح زیر موثر است:

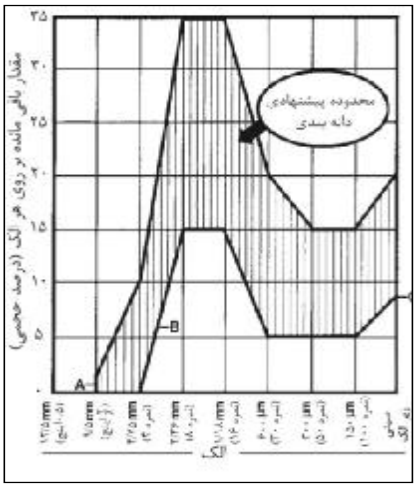
1- تراکم‌پذیری و مقاومت‌های زیاد، بدون استفاده از مقادیر بیش از اندازه مواد چسباننده

2- کاهش جمع‌شدگی با به حداکثر رساندن تراکم سنگدانه

3- کاهش جذب آب و نفوذپذیری به دلیل تراکم بهتر

4- بهبود مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن با تراکم بهتر که باعث فضاهای خالی به هم پیوسته کم‌تر می‌شود.

دانه‌بندی سبک‌دانه برای بلوک‌های بنایی بتنی با چگالی‌های کمتر در شکل 3-2 ارائه شده است.



شکل3-2: دانه‌بندی کل سنگدانه پیشنهاد شده

در جدول 3-4 ویژگی‌های فیزیکی مخلوط بتنی سبکدانه‌ای برای بلوک‌های بتنی بنایی آمده است.

جدول 3-4: ویژگی‌های فیزیکی مخلوط بتنی سبکدانه‌ای برای بلوک‌های بنایی بتنی

مشخصات فیزیکی	حدود ویژگی‌ها	استاندارد روش آزمون
بیرون‌پریدگی‌ها	بدون هیچگونه بیرون‌پریدگی سطحی	آماده‌سازی و عمل‌آوری بر اساس روش استاندارد
مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن	مقاومت لازم در برابر یخ زدن و آب شدن بر اساس توافق طرفین ذینفع	ارزیابی پس از چرخه‌های یخزدگی بر اساس استاندارد ASTM C1262
جمع‌شدگی در اثر خشک شدن	حداکثر: 0/10 درصد	آماده‌سازی و عمل‌آوری بر اساس روش‌های آزمون استاندارد ملی ایران شماره 7657 و 1692

3-3 سبکدانه برای بتن سازه‌ای (بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 4985)

این استاندارد درخصوص تعیین ویژگی سبکدانه‌های مورد نظر برای استفاده در بتن سازه‌ای با هدف اصلی، کاهش چگالی بتن همراه با حفظ مقاومت فشاری آن است و برای انواع سبکدانه‌ها سنگدانه‌های تهیه شده از انبساط، اماج یا هم‌جوش کردن فراورده‌هایی مانند سرباره کوره آهن‌گدازی، رس، دیاتومیت، خاکستر بادی، شیل یا سنگ لوح و سنگدانه‌های تهیه شده از فرآوری مواد طبیعی مانند پومیس، اسکوریا یا توف کاربرد دارد.

ویژگی‌های شیمیایی- ویژگی‌های مواد زیان‌آور سبکدانه‌ها در جدول 3-5 ارائه شده است.

جدول3-5: ویژگی‌های شیمیایی سبکدانه‌ها برای بتن سازه‌ای مطابق استاندارد ملی ایران شماره 4985

مواد زیان‌آور	حدود ویژگی‌ها	استاندارد روش آزمون
ناخالصی‌های آلی	نباید رنگی‌تیره‌تر از رنگ استاندارد ایجاد کند	استاندارد ملی ایران شماره 4979
لکه شدگی	شاخص لکه شدگی: زیر 60 [1]	ASTM C-641
افت وزن در اثر سرخ شدن [2]	حداکثر: 5 درصد	استاندارد ملی ایران شماره 1692

1: در صورتی که در تجزیه شیمیایی مشخص شود لکه ایجاد شده حاوی مقدار آهن بیان شده به صورت Fe_2O_3، معادل یا بیش‌تر از 1/5 میلی‌گرم بر 200 گرم نمونه است.

2: بعضی سنگدانه‌ها ممکن است حاوی کربنات‌ها یا آب هیدراسیون باشند که در افت سرخ شدن مشارکت می‌کنند اما ممکن است بر کیفیت محصول اثری نداشته باشد. بنابراین، هنگام ارزیابی یک سنگدانه باید به خصوصیات موادی که باعث افت سرخ شدن می‌شوند، توجه شود.

ویژگی‌های فیزیکی سبکدانه‌های مورد مصرف در ساخت بتن سازه‌ای درجدول 3-6 ارائه شده است.

جدول 3-6: ویژگی‌های فیزیکی سبکدانه‌ها برای بتن سازه‌ای مطابق استاندارد ملی ایران شماره 4985

مشخصات فیزیکی		حدود ویژگی‌ها	استاندارد روش آزمون
کلوخه‌های رسی و ذرات خرد شونده		حداکثر: 2 درصد جرم خشک	استاندارد ملی ایران شماره 4978
دانه‌بندی		مطابق جدول دانه‌بندی استاندارد 4985	استاندارد ملی ایران شماره 4977
یکنواختی دانه‌بندی		اختلاف مدول نرمی سنگدانه با مدول نرمی ارائه شده حداکثر : 7 درصد	
چگالی انبوهی فله‌ای حداکثر- kg/m^3	سبکدانه ریز	1120	استاندارد ملی ایران شماره 4981
	سبکدانه درشت	880	
	مخلوط سبکدانه ریز و درشت	1040	
یکنواختی چگالی انبوهی فله‌ای		اختلاف چگالی انبوهی فله‌ای خشک سبکدانه نمونه‌برداری و آزمون شده حداکثر: 10 درصد	
ضریب چگالی (وزن مخصوص)		در صورت نیاز	ACI 211.2

ویژگی‌های مکانیکی و فیزیکی مخلوط بتنی سبکدانه‌ای برای بتن سازه‌ای در جدول‌های 3-7 و 3-8 ارائه شده است. شایان ذکر است که ویژگی‌های مقاومت مکانیکی بر اساس چگالی تعیین می‌شود.

جدول 3-7: ویژگی‌های مقاومت فشاری و مقاومت کششی دو نیم‌کردن

چگالی معادل محاسبه شده حداکثر - kg/m^3	میانگین مقاومت کششی دو نیم‌کردن حداقل - MPa	میانگین مقاومت فشاری 28 روزه حداقل - MPa
تمام سبکدانه‌ها		
1760	2/2	28
1680	½	21
1600	2/0	17
ماسه/ سبکدانه		
1840	2/3	28
1760	½	21
1680	½	17
آزمون بر اساس استاندارد ASTM C- 567	آزمون بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 6047	آزمون بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 6048

جدول 3-8: ویژگی‌های فیزیکی مخلوط بتنی سبکدانه‌ای برای بتن سازه‌ای

مشخصات فیزیکی	حدود ویژگی‌ها	استاندارد روش آزمون
بیرون‌پریدگی‌ها	نباید هیچ‌گونه بیرون پریدگی سطحی نشان دهند	آماده‌سازی و عمل‌آوری بر اساس روش‌های آزمون استاندارد ملی ایران شماره 4985 و 1692
مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن	مقاومت لازم در برابر یخ زدن و آب شدن بر اساس توافق طرفین ذینفع	بر اساس استاندارد ASTM C-666
جمع‌شدگی در اثر خشک‌شدن	حداکثر: 0/07 درصد	آماده‌سازی و عمل‌آوری بر اساس روش‌های آزمون استاندارد ملی ایران شماره 4985 و 1692

ویژگی‌های سنگدانه طبیعی جانشین بخشی از سبکدانه‌ها درساخت بتن سازه‌ای، در استاندارد ملی ایران شماره 302 ارائه شده است.

3-4 سبکدانه برای بتن عایق حرارتی (بر اساس استاندارد ASTM C332)

این استاندارد درخصوص تعیین ویژگی‌های سبکدانه مورد استفاده در بتن‌های عایق حرارتی است که در معرض عوامل جوی قرار نمی‌گیرد و برای انواع سبکدانه‌ها به شرح زیر کاربرد دارد:

گروه 1: سنگدانه‌های تهیه شده از منبسط کردن محصولات، مانند پرلیت یا ورمیکولیت. این نوع سنگدانه‌ها برای تولید بتن‌های با چگالی 240 تا 800 کیلوگرم بر متر مکعب مورد استفاده قرار می‌گیرند. ضریب هدایت حرارتی مورد انتظار برای این نوع بتن‌ها در محدوده W/m.K 0/065 تا 0/22 است.

گروه 2: سنگدانه‌های تهیه شده از انبساط، اماج یا همجوش کردن محصولات، مانند سرباره کوره آهن‌گدازی، رس، دیاتومیت، خاکستر صنعتی، شیل یا سنگ لوح و همچنین سنگدانه‌های تهیه شده از فرآوری مواد طبیعی مانند پومیس، اسکوریا یا توف. این نوع سنگدانه‌ها برای تولید بتن‌های با چگالی 720 تا 1440 کیلوگرم بر متر مکعب مورد استفاده قرار می‌گیرند. ضریب هدایت حرارتی مورد انتظار برای این نوع بتن‌ها در محدوده W/m.K 0/15 تا 0/43 است.

ویژگی‌های عایق حرارتی بتن ساخته شده با سبکدانه‌ها درجدول 3-9 ارائه شده است.

جدول 3-9: ویژگی‌های هدایت حرارتی بتن عایق حرارتی ساخته شده با سبکدانه

چگالی خشک (بتن با عمر 28 روز) حداکثر، kg/m^3	ضریب هدایت حرارتی حداکثر، W/m.K	استاندارد روش آزمون
800	0/22	استاندارد ملی ایران شماره 8621
1440	0/43	

ویژگی‌های فیزیکی و الزامات دانه‌بندی سبکدانه مورد استفاده در ساخت بتن عایق حرارتی در جدول 3-10 آمده است.

جدول 3-10: ویژگی‌های فیزیکی سبکدانه‌ها برای بتن عایق حرارتی

مشخصات فیزیکی			حدود ویژگی‌ها	استاندارد روش آزمون
دانه‌بندی			مطابق ASTM C332	مطابق استاندارد ملی ایران شماره 4977
یکنواختی دانه‌بندی			اختلاف مدول نرمی سنگدانه با مدول نرمی ارائه شده، حداکثر : 7 درصد	
چگالی انبوهی فله‌ای kg/m^3	گروه 1	پرلیت	حداقل: 120 حداکثر: 196	استاندارد ملی ایران شماره 4981
		ورمیکولیت	حداقل: 88 حداکثر: 160	
	گروه 2	سبکدانه ریز	حداکثر: 1120	
		سبکدانه درشت	حداکثر: 880	
		مخلوط سبکدانه ریز و درشت	حداکثر: 1040	
یکنواختی چگالی انبوهی فله‌ای			اختلاف چگالی انبوهی فله‌ای خشک سبکدانه نمونه‌برداری و آزمون شده حداکثر: 10 درصد	

5-3 ویژگی‌های استاندارد برای ملات سیمانی سبک

ملات سیمانی سبک در صورتی عملکردی مناسب و قابل قبولی خواهد داشت که مواردی مانند میزان تاب فشاری، چگالی، جذب آب مؤئینه، ضریب نفوذپذیری بخار آب، جرم حجمی و میزان هوای موجود ملات تازه، ضریب هدایت حرارتی و واکنش در برابر آتش در آن رعایت شده باشد. بنابراین لازم است مشخصات ملات سیمانی سبک تولیدی با ضوابط استاندارد انطباق داشته باشد. الزامات فنی لازم برای این فرآورده مطابق استاندارد ملی ایران شماره 2-706 در زیر ارائه شده است.

شایان ذکر است که ملات سیمانی سبک در زمینه خصوصیات فیزیکی و مکانیکی مانند تاب فشاری، چگالی، جذب آب مؤئینه، ضریب نفوذپذیری بخار آب، جرم حجمی و میزان هوای موجود ملات تازه، ضریب هدایت حرارتی و واکنش در برابر آتش بر اساس روش‌های آزمون استاندارد ملی ایران شماره‌های 10-9150، 11-9150، 3-9150، 6-9150، 18-9150 ، 19-9150، 7-9150، 1-7271، 2-7271 و 8621 ، مورد بررسی قرار گرفته است.

مقاومت فشاری

برای ملات‌های طراحی شده، مقاومت فشاری ملات بنایی باید توسط تولیدکننده اظهار شود. تولیدکننده ممکن است رده مقاومت فشاری را مطابق جدول 3-11 اظهار کند که در آن مقاومت فشاری با علامت "M" و حداقل رده مربوط نیز به دنبال آن برحسب نیوتن بر میلی‌متر مربع مشخص شده است.

جدول 3-11 : رده‌بندی مقاومت فشاری ملات

رده	M 1	M 2/5	M 5	M 10	M 15	M 20	M_d
مقاومت فشاری- حداقل (نیوتن بر میلی‌مترمربع)	1	2/5	5	10	15	20	d
d : مقاومت فشاری بیشتر از 25 نیوتن بر میلی‌مترمربع که توسط تولید کننده اظهارمی‌شود و مضربی از 5 است.							

جذب آب

برای ملات‌های بنایی که در اجزای بیرونی مورد استفاده قرار می‌گیرند و به طور مستقیم در معرض عوامل جوی است، جذب آب باید توسط تولید کننده اظهار شود. هنگامی که ملات بنایی مطابق استاندارد ملی ایران شماره 18-9150 مورد آزمون قرار می‌گیرد، جذب آب نباید بیشتر از مقدار اظهار شده باشد.

نفوذپذیری بخار آب

برای ملات‌های بنایی که در اجزای بیرونی مورد استفاده قرار می‌گیرند، نفوذپذیری بخار آب باید توسط تولید کننده، مطابق استاندارد EN1745، اظهار شود. مقادیر ضریب نفوذ بخار آب در این استاندارد ارائه شده است.

چگالی (ملات سخت شده خشک)

چگالی ملات سخت شده خشک باید توسط تولیدکننده اظهار شود. هنگـامی کـه مـلات بنـایی مطـابق استاندارد ملی ایران شماره 10-9150 مورد آزمون قرار می‌گیرد، چگالی آن باید در محدوده اظهار شده باشد. برای ملات‌های بنایی سبک، چگالی باید برابر یا کمتر از 1300 کیلوگرم بر مترمکعب باشد.

6-3 ویژگی‌های ملات سیمانی بنابر استاندارد DIN

ملات معمولی، ملاتی است که در محل یا در کارخانه مخلوط و با حداقل چگالی خشک $1/5\ g/cm^3$ حاوی سنگ‌دانه‌های با مشخصات DIN 1053-1:1996 تولید می‌شود. این چگالی را به طور معمول می‌توان برای ملات مطابق جدول 4-1 فرض کرد. ولی تحقیق (یعنی آزمایش مناسب بودن لازم) در مورد ملات طراحی شده ضرورت دارد. ملات معمولی به گروه‌های ملات I , II , IIa , III , IIIa و ملات سبک به گروه‌های ملات LM21 و LM36 تقسیم می‌شوند. ملات با بستر نازک به ملات گروه III نسبت داده می‌شود.

جدول 3-12: نسبت‌های مخلوط ملات معمولی (نسبت حجمی) [13]

گروه ملات	آهک هوایی[1]		آهک نیمه آبی (HL2)	آهک کاملاً آبی (HL5) و سیمان بنایی (MC5)	سیمان	ماسه طبیعی[(1)]
	دوغاب آهک	آهک هیدراته				
I	1	-	-	-	-	4
	-	1	-	-	-	3
	-	-	1	-	-	3
	-	-	-	1	-	4/5
II	1/5	-	-	-	1	8
	-	2	-	-	1	8
	-	-	2	-	1	8
	-	-	-	1	-	3
IIa	-	1	-	-	1	6
	-	-	-	2	1	8
III	-	-	-	-	1	4
IIIa	-	-	-	-	1	4

(1) سهم‌بندی‌های ماسه مربوط به شرایط رطوبت طبیعی آن است.

1 -Hydraulic

3-7 ملات سبک، استاندارد DIN 1408- 4

ملات آماده تر یا خشک با چگالی خشک کمتر از $1/5g/cm^3$، حاوی سنگدانه‌های با مشخصات DIN 4226-1 , 4226-2 و سنگدانه سبک با اثبات مناسب بودن مانند تأییدیه فنی است.

ملات بستر نازک: ملات با بستر نازک، ملات خشک آماده است که حاوی سنگ‌دانه‌های با مشخصات DIN 4226-1 با حداکثر اندازه دانه یک میلی‌متر، سیمان مطابق با مشخصات DIN 1164-1، افزودنی‌ها و مواد مضاف می‌باشد[13].

مقدار مواد آلی نباید در آن از 2 درصد وزنی بیشتر باشد.

سنگدانه برای ملات: ماسه مورد استفاده باید سنگدانه‌ای مطابق استاندارد DIN 4226-1 یا DIN4226-2 یا سنگدانه‌ای با اثبات مناسب بودن مانند تأییدیه فنی باشد. ماسه باید به خوبی دانه‌بندی شده و باید عاری از موادی که احتمالاً به عملکرد ملات یا بنایی آسیب می‌رساند، باشد. نظیر مقادیر زیادی ذرات ریز اگر به شکل مواد رسی یا مواد آلی (برای مثال باقیمانده گیاهان، خاک‌های گیاه‌دار یا قطعات لیگنیت) باشند. ذرات ریز به مواد عبورکرده از الک 0/063 میلی‌متر گفته می‌شود (DIN 4226-1) و باید مطابق روش استاندارد (DIN 4226-3) اندازه‌گیری شود. اگر مقدار ذرات ریز بیش از 8 درصد وزنی باشد یا اگر در آزمایش با محلول سود مطابق با DIN4226-3 رنگ زرد تیره، مایل به قهوه‌ای یا قرمز رنگ نشان دهد کیفیت ماسه برای ملات باید با آزمایش مناسب بودن (که بعداً شرح داده می‌شود) بررسی شود [13].

پرلیت یک محصول طبیعی است که از شیشه آتشفشانی حاوی آب شامل تقریبا 70 درصد SiO2 مثلا اسید سیلیسیک تشکیل می‌شود. اگر پرلیت حرارت داده شود، آب محصور شده، در آن بخار می‌شود و پرلیت به 15 تا 20 برابر حجم اولیه متورم می‌گردد. پرلیت منبسط با دانه‌بندی معین به عنوان یک افزودنی در تولید ملات‌های سبک استفاده می‌شود.

چسبانندهها: تنها چسبانندههای مطابق استاندارد DIN 1060-1، DIN 1164-1 یا DIN 4211 باید مورد استفاده قرار گیرند.

مواد مکمل سیمان: مواد پودر شده ریزی هستند که خواص ملات را بهبود می‌بخشند و بر خلاف مواد افزودنی، به مقادیر قابل ملاحظه‌ای افزوده می‌شوند. آنها نباید اثر عکس بر خواص سخت شدن چسباننده، مقاومت یا دوام ملات یا محافظت در برابر خوردگی آرماتور یا مهارهای فولادی داشته باشند. برای ملات‌های ترکیب شده مطابق با جدول 4-1 مواد مضاف مورد استفاده نباید به عنوان بخشی از چسباننده به حساب آید و مقدار آنها نباید از 15 درصد حجمی مقدار ماسه بیشتر باشد. در این مورد نیازی به انجام آزمایش مناسب بودن ملات نمی‌باشد.

مواد افزودنی: موادی هستند که در مقادیر کم به ملات افزوده می‌شوند و خواص آن را از طریق عمل شیمیایی و فیزیکی بهبود می‌بخشند. مثال‌هایی از این مواد عبارتند از مواد هوازا، روان کننده‌ها، مواد آب‌بندکننده، زودگیرکننده‌ها، کندگیرکننده‌ها و موادی که باعث بهبود اتصال بین ملات و واحد بنایی

می‌شوند. مقدار مواد هوازایی که اضافه می‌شود باید آنچنان باشد که چگالی خشک ملات سبک و ملات معمولی بیشتراز $0/3\ g/cm^3$ کاهش نیابد [13].

مواد افزودنی نباید به عملکرد ملات یا بنایی آسیب رساند یا اثر عکس بر محافظت خوردگی آرماتور یا مهارهای فولادی داشته باشد. این الزام چنانچه مواد افزودنی بتن مشمول تاییدیه فنی باشند باید برآورده شده محسوب شوند. برای سایر مواد افزودنی، مطابقت با این الزام باید با تعیین مقدار هالوژن آنها با آزمایش الکتروشیمیایی بررسی شود. از آنجا که مواد افزودنی ممکن است برخی خواص ملات را در حالیکه اثر عکس بر سایر خواص دارند بهبود بخشند، هر ملات حاوی مواد افزودنی ابتدا باید مورد آزمایش مناسب بودن مطابق استاندارد قرار گیرد [13].

خواص و ترکیب ملات

ملات معمولی

ترکیب ملات معمولی باید مطابق جدول 3-12 باشد. گروه ملات IIIa همان ترکیب گروه ملات III است، که ترجیحاً با استفاده از ماسه مناسب مقاومت زیادتری به دست می‌آید. برای گروه ملات II، IIa و III آزمایش مناسب بودن ملات باید برطبق استاندارد آلمان انجام شده و با الزامات مقاومت جدول 3-13 مطابقت داشته باشد.

جدول3-13 : الزامات مقاومت فشاری و مقاومت برشی اتصال ملات معمولی در عمر 28 روز [13]

گروه ملات	حداقل میانگین مقاومت فشاری[1] N/mm^2		حداقل میانگین مقاومت برشی اتصال[4] N/mm^2 برای آزمایش مناسب بودن
	آزمایش مناسب بودن[2]	آزمایش کیفیت[3]	
I	-	-	-
II	3/5	2/5	0/10
IIa	7	5	0/20
III	14	10	0/25
IIIa	25	20	0/30

(1) میانگین6 آزمونه (برداشته از 3 نمونه) است، مقادیر هر آزمونه نباید بیش از 10 درصد با میانگین اختلاف داشته باشد.

(2) مقاومت فشاری ملات در اتصال هم باید تعیین شود.

(3) مقادیر راهنما برای ملات ساخت کارخانه.

(4) آجرهای سیلیکات کلسیم DIN 106-KS12-2.0-NF بدون سوراخ و دستگیره با رطوبت 3 تا 5 درصد وزنی باید به عنوان مصالح مرجع برای بررسی مقاومت برشی اتصال مورد استفاده قرار گیرند.

مقاومت برشی اتصال مربوط با ضرب نتیجه آزمایش در ضریب 1/2 به دست می‌آید.

ملات سبک

ملات سبک باید مطابق جدول 3-14 که خواص آن بر اساس آزمایش‌های مناسب بودن تعیین می‌شود باشد.

جدول3-14: الزامات برای ملات سبک مورد آزمایش‌های کیفیت و مناسب بودن [13]

خواص فیزیکی	الزامات آزمایش مناسب بودن/ آزمایش کیفیت				آزمایش مطابق با
	ملات نوع LM21	ملات نوع LM36	ملات نوع LM21	ملات نوع LM36	
مقاومت فشاری 28 روزه، N/mm^2، حداقل	7 (1) (2)	7 (1) (2)	5	5	DIN 18555-3
مدول کرنش عرضی 28 روزه، E_q, N/mm^2، حداقل	$7/5\times10^3$	15×10^3	(3)	(3)	DIN 18555-4
مدول کرنش خطی 28 روزه، E_p N/mm^2، حداقل	2×10^3	3×10^3	-	-	DIN 18555-4
مقاومت برشی اتصال ، 28 روزه، N/mm^2 ، حداقل	0/20	0/20	-	-	DIN 18555-5
چگالی خشک،28 روزه g/cm^3 ، حداکثر	0/7	1/0	(5)	(5)	DIN 18555-3
ضریب هدایت حرارتی (6)، W/(m.K)، حداکثر	0/18	0/27	-	-	DIN 52612-1

(1) مقاومت فشاری ملات در اتصال باید اندازه‌گیری شود.

(2) مقدار راهنما

(3) به جای آن می‌توان چگالی خشک را با روش DIN 18555-3 اندازه‌گیری کرد.

(4) آجرهای سیلیکات کلسیم DIN 106-KS12-2.0-NF بدون سوراخ و دستگیره با رطوبت 3 تا 5 درصد وزنی باید به عنوان مصالح مرجع برای بررسی مقاومت برشی اتصال مورد استفاده قرار گیرند.

مقاومت برشی اتصال مربوط با ضرب نتیجه آزمایش در ضریب 1/2 به دست می‌آید.

(5) مقادیر مربوط نباید بیشتر از 10 درصد با مقادیر به دست آمده در آزمایش مناسب بودن تفاوت داشته باشد.

(6) اگر چگالی خشک مطابق مقادیر داده شده باشد الزامات هدایت حرارتی برآورده شده است. چنانچه چگالی خشک برای ملات نوع LM21 بیشتر از 0/7 گرم بر سانتی‌متر مکعب و برای ملات نوع LM36 بیشتر از 1 گرم بر سانتی‌متر مکعب باشد یا اگر از ماسه سیلیسی به عنوان سنگدانه استفاده شده باشد، مطابقت با الزامات باید مورد تأیید قرار گیرد.

سنگدانه مطابق با DIN 4226-1 و DIN 4226-2 و سنگدانه مورد قبول در آزمایش مناسب بودن (برای مثال به صورت تأییدیه فنی) باید با الزامات زیر مطابقت داشته باشد. سنگدانه سبک باید با الزامات مشخص شده در DIN 4226-2 از نظر افت وزن در اثر حرارت، سلامت و چگالی انبوهی مطابقت داشته باشد. برای چنین سنگدانه‌ای با چگالی انبوهی کمتر از $0/3\ g/cm^3$، مقدار به دست آمده از آزمایش نباید بیشتر از 20 درصد از مقدار مشخص شده بر اساس آزمایش مناسب بودن اختلاف داشته باشد [13]. وقتی که ارزیابی ملات قرار است بر اساس مدول کرنش باشد، کرنش عرضی باید بر کرنش خطی ارجحیت داده شود.

3-8 ملات با بستر نازک

ملات خشک آماده پیش آمیخته مخلوطی از سیمان پرتلند، پرکننده، ماسه (خالص و خشک) و مواد افزودنی، فرموله شده برای تولید یک ماده چسبنده با کارایی سازگار و مقاومت برای کاهش ترک خوردگی سطح است. در مقایسه با ملات متداول، ماسه و پرکننده در ملات خشک آماده قبل از این که برای تولید مورد استفاده قرار گیرد، تمیز و خشک می‌شود. همچنین برخی از مواد افزودنی به خوبی مخلوط می‌شوند. بنابراین، ملات خشک آماده فاقد ناخالصی است و به ساخت و ساز زیبایی می‌بخشد و همچنین سطوح با ملات خشک صاف‌تر از ملات متداول است. ملات خشک آماده تحت استانداردهای فراروده تولید و به طور کامل کنترل کیفیت می‌شود. یکی از انواع آن ملات لایه نازک است.

ملات با بستر نازک که خواص آن بر اساس آزمایش‌های مناسب بودن تعیین شده است باید با الزامات جدول 3-15 مطابقت داشته باشد.

جدول 3-15: الزامات برای ملات با بستر نازک مورد آزمایش‌های کیفیت و مناسب بودن [13]

خواص فیزیکی	الزامات		روش آزمایش
	آزمایش مناسب بودن	آزمایش کیفیت	
مقاومت فشاری[1] 28 روزه، N/mm^2، حداقل	14 [4]	10	DIN 18555-3
مقاومت فشاری[1] 28 روزه، با غوطه‌ورنمودن در آب، N/mm^2	نباید از 70 درصد مقدار واقعی مقاومت فشاری داده شده در بالا کمتر باشد		DIN 18555-3 با غوطه‌ور نمودن در آب
مقاومت برشی اتصال [3]،28 روزه N/mm^2، حداقل	0/5	-	DIN 18555-5
عمر کاری، به ساعت، حداقل	4	-	DIN 18555-8
زمان تصحیح به دقیقه، حداقل	7	-	DIN 18555-8

(1) میانگین 6 آزمونه (برداشته شده از 3 نمونه) است، مقادیر هر نمونه نباید بیشتر از 10 درصد با میانگین اختلاف داشته باشد.

(2) آزمونه‌ها باید به مدت 1هفته در دمای 20 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 95 درصد مطابق DIN18555-3 تنظیم شرایط شوند سپس برای 1 هفته در شرایط استاندارد DIN 50014 در دمای 20 درجه سلسیوس و رطوبت نسبی 65 درصد و نهایتاً 2 هفته غوطه‌وری در آب در دمای 20 درجه سلیسوس قرار داده شوند.

(3) آجرهای سیلیکات کلسیم DIN 106-KS12-2.0-NF بدون سوراخ و دستگیره با رطوبت 3 تا 5 درصد وزنی باید به عنوان مصالح مرجع برای بررسی مقاومت برشی اتصال مورد استفاده قرار گیرند.

مقاومت برشی اتصال مربوط با ضرب نتیجه آزمایش در ضریب 1/2 به دست می‌آید.

(4)مقدار راهنما

کارپذیری

ملات باید تا به دست آمدن غلظت کارپذیر مخلوط شود. مواد افزودنی را می‌توان برای بهبود بخشیدن به کارآیی ملات و قابلیت نگهداری آب اضافه نمود. در این حالت لازم است آزمایش مناسب بودن انجام شود.

3-9 مخلوط کردن ملات

3-9-1 ملات مخلوط شده در کارگاه ساختمانی

برای مخلوط کردن ملات در کارگاه ساختمانی، باید تمهیداتی به کار برده شود تا از خشک بودن و آب‌بند بودن انبار مواد چسباننده، افزودنی‌ها و مواد مضاف و جلوگیری از آلوده شدن سنگدانه به خاک اطمینان حاصل شود. پیمانه کردن چسباننده، سنگدانه و هر افزودنی و مواد مضاف از طریق وزن کردن یا وسایل بچینگ به منظور سهم‌بندی صحیح باید انجام شود. به کار بردن بیل به منظور پیمانه مجاز نیست. مواد باید در یک مخلوط کن به مدت طولانی به هم زده شوند تا یک مخلوط یکنواخت به دست آید. دستورالعمل مخلوط کردن باید بر روی مخلوط کن به صورتی نصب شود که به راحتی قابل رؤیت باشد [13].

3-9-2 ملات مخلوط شده در کارخانه مطابق استاندارد DIN 18557

ملات ساخته شده در کارخانه باید مطابق DIN 18557:1997 آماده، بازرسی و عرضه شود. بسته به شرایط حمل، باید بین ملات آماده خشک، از پیش مخلوط شده و ملات تازه (شامل ملات سیلو) تفاوت گذاشته شود. هنگام فرآوری ملات خشک در کارگاه ساختمانی، فقط آب و برای عمل‌آوری ملات پیش آمیخته، فقط آب و سیمان اضافه شود ولی از افزودنی‌ها و مواد مضاف استفاده نشود. ملات خشک آماده که در سیلو نگهداری می‌شود، باید مطابق سهم‌بندی سازنده با افزودن مقدار صحیح آب مخلوط شود[13].

مخلوط کردن ملات خشک آماده و ملات پیش آمیخته باید به طور کامل در محل انجام شود. ملات تازه باید به صورت آماده برای مصرف حمل شود.

آزمایش مناسب بودن برای ملات طرح

آزمایش مناسب بودن برای ملات طراحی شده باید بطریق زیر باشد:

1- اگر مناسب بودن سنگدانه لازم است بررسی شود

2- اگر مناسب بودن افزودنی‌ها یا مواد مضاف باید بررسی شود.

3- برای ملات‌های مخلوط شده در کارگاه ساختمانی، اگر ترکیب آن با آنچه در جدول 3-13 آمده تفاوت داشته باشد یا اگر ملات IIIa استفاده شود.

4- برای ملات‌های ساخته شده در کارخانه شامل ملات سبک و بستر نازک،

5- در جایی که قرار است ملات در ساخت ساختمانی بیش از 6 طبقه مصرف شود [13].

جدول 3-16 و 3-17 شامل خواص دو نوع از این ملات‌ها می‌باشد که توسط تولیدکننده‌ای از کشور ویتنام ارائه شده است.

جدول 3-16 : خواص ملات لایه نازک برای بنایی

خواص	حد مجاز	استاندارد ویتنام
نرمی، بزرگترین اندازه دانه	0.6mm	حداکثر 1.25
نسبت آب به سیمان	26± 1%	26
چگالی انبوهی	~ 1,400 kg/m^3	-
چگالی متراکم	~ 1,830 kg/m^3	-
زمان گیرش	~ 260 min	> 180 min
زمان تصحیح	4-5 min	-
مقاومت فشاری، 28 روزه	12 -15 MPa	2.5 to 12.5 MPa
مقاومت اتصال خمشی روی سطح بتن معمولی	0.8 – 1.2 MPa	> 0.4 MPa

شکل 3-17 : خواص ملات لایه نازک برای اندود

خواص	حد مجاز	استاندارد ویتنام
نرمی، بزرگترین اندازه دانه	0.6mm	حداکثر 1.25
نسبت آب به سیمان	19± 1%	-
جریان	170-180mm	180 – 210mm
چگالی انبوهی	~ 1,450 kg/m^3	-
چگالی متراکم	~ 1,800 kg/m^3	-
زمان گیرش	~240 min	> 180 min
زمان تصحیح	15-17 min	-
مقاومت فشاری، 28 روزه	9 -12 MPa	2.5 to 12.5 MPa
مقاومت اتصال خمشی روی سطح بتن معمولی	0.6 – 1.0 MPa	> 0.4 MPa

مزایای ملات و اندود لایه نازک به شرح زیر است:

- کاهش فضا و زمان ساخت و ساز
- کاهش هزینه‌های ساخت و ساز به دلیل کاستن از ضایعات ملات اضافی
- نگه داری تمیز و مرتب ساختگاه
- حمل و کاربرد آسان
- آسان برای کنترل کیفیت و همچنین کنترل کمیت

مصارف ملات لایه نازک به شرح زیر است:

• ملات برای چسباندن آجرها یا سنگ‌ها به هم
• اندودکاری عمومی
• نصب کاشی
• اهداف تزئینی و پوشش دیوارهای خارجی و دیوارهای داخلی

مجموعه ملات لایه نازک گاهی با لاتکس (پلیمری یا اکریلیک) غنی می‌شود تا به افزایش خواص چسبندگی و انعطاف پذیری مورد نیاز برای ملات منتهی شود.

در استاندارد ملی ایران برای ملات لایه نازک موارد زیر به عنوان الزام عمومی مانند بقیه ملات‌ها آمده است:

خواص ملات تازه

عمر کارایی: عمرکارایی باید توسط تولیدکننده اظهار شود. عمرکارایی نباید کم‌تر از مقدار اظهار شده باشد.

میزان کلراید: در صورت لزوم، میزان کلراید ملات عرضه شده باید توسط تولید کننده اظهار شود. میزان کلراید نباید بیش‌تر از مقدار اظهار شده باشد. میزان کلراید، نباید بیشتر از 0/1 درصد وزنی خشک ملات باشد.

مقدار هوای موجود: در صورت عرضه ملات بنایی به بازار، مقدار هوای موجود، باید توسط تولیدکننده اظهار شده باشد. مقدار هوای موجود در ملات باید در محدوده اظهار شده باشد.

خواص ملات سخت شده

مقاومت فشاری: برای ملات‌های طراحی شده، مقاومت فشاری ملات بنایی باید توسط تولیدکننده اظهار شود. تولیدکننده ممکن است رده مقاومت فشاری را مطابق جدول 1، اظهار کند که در آن مقاومت فشاری با علامت "**M**" و حداقل رده مربوط نیز به دنبال آن برحسب نیوتن بر میلی‌مترمربع مشخص شده است.

جدول 3-18: رده‌بندی مقاومت فشاری ملات

رده	M 1	M 2/5	M 5	M 10	M 15	M 20	M_d
مقاومت فشاری- حداقل (نیوتن بر میلی‌متر مربع)	1	2/5	5	10	15	20	d
d- مقاومت فشاری بیشتر از 20 نیوتن بر میلی‌مترمربع که توسط تولید کننده اظهارمی‌شود و مضربی از 5 است.							

مقاومت فشاری ملات بنایی نباید کمتر از مقاومت فشاری یا رده مقاومت فشاری اظهار شده باشد.

مقاومت چسبندگی: برای ملات‌های بنایی طراحی شده، مورد استفاده در اجزایی که برای آن‌ها انتظارات سازه‌ای وجود دارد، مقاومت چسبندگی ملات با قطعه بنایی باید براساس مقاومت برشی اولیه

مشخصه اظهار شود. مقاومت چسبندگی بستگی به ملات، قطعه بنایی، میزان رطوبت و مهارت کاری دارد. تا زمانی‌که یک روش مستقیم آزمون مقاومت چسبندگی ارائه شود، آزمون مقاومت برشی اولیه مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقاومت برشی اولیه مشخصه ملات‌های بنایی طراحی شده با قطعات بنایی باید به‌شرح زیر باشد:

- 0/15 نیوتن بر میلی‌متر مربع برای "ملات برای کارهای عمومی" و "ملات سبک".
- 0/3 نیوتن بر میلی‌متر مربع برای "ملات لایه نازک".

جذب آب: برای ملات‌های بنایی که در اجزای بیرونی مورد استفاده قرار می‌گیرد و به‌طور مستقیم در معرض عوامل جوی است، جذب آب باید توسط تولیدکننده اظهار شود. جذب آب نباید بیش‌تر از مقدار اظهار شده باشد.

نفوذپذیری بخار آب: برای ملات‌های بنایی که در اجزای بیرونی مورد استفاده قرار می‌گیرد، نفوذپذیری بخارآب باید توسط تولیدکننده اظهار شود.

چگالی (ملات سخت شده خشک): در صورت عرضه ملات بنایی به بازار، میزان محدوده چگالی ملات سخت شده خشک باید توسط تولیدکننده اظهار شده باشد. چگالی باید در محدوده اظهار شده باشد. برای ملات‌های بنایی سبک، چگالی باید برابر یا کمتر از 1300کیلوگرم بر مترمکعب باشد.

ضریب هدایت حرارتی: برای ملات‌های بنایی، مورد استفاده در اجزایی که برای آن‌ها الزامات حرارتی وجود دارد، تولیدکننده باید میانگین مقدار $\lambda_{10,dry,mat}$ را برای ضریب هدایت حرارتی ملات بنایی ارائه کند. همچنین به‌ویژه برای ملات‌های بنایی سبک نیز مقادیر اندازه‌گیری شده مطابق استاندارد مربوط را می‌توان اظهار کرد. ضریب هدایت حرارتی نباید بیش‌تر از مقدار اظهار شده باشد.

دوام: تا زمانی‌که یک روش آزمون استاندارد برای دوام ارائه شود، مقاومت در برابر یخزدگی (یخزدن و آب شدن) باید بر اساس شرایط محل مصرف ملات، مورد ارزیابی قرار گرفته و اظهار شود.

الزامات تکمیلی برای ملات‌های لایه نازک

کلیات: چنان‌چه ملات لایه نازک در درز با ضخامت کم‌تر از یک میلی‌متر مورد استفاده قرار گیرد، در این‌صورت الزامات دیگری مورد نیاز است.

ملات‌های لایه نازک باید الزامات مشروحه در بندهای 1 و 2 و الزامات تکمیلی زیر را برآورده سازند.

سنگدانه‌ها: اندازه سنگدانه نباید بیش‌تر از 2میلی‌متر باشد. تولید کننده باید حداکثر اندازه دانه را اعلام کند.

زمان تصحیح: زمان تصحیح باید توسط تولیدکننده اظهار شود. زمان تصحیح باید بیش‌تر از مقدار اظهار شده باشد.

واکنش در برابر آتش

تولید کننده باید طبقه‌بندی واکنش در برابر آتش ملات بنایی را اعلام کند. ملات‌های بنایی دارای مواد

آلی کمتر یا مساوی یک درصد وزنی یا حجمی (هر کدام که بیشتر است) که به طور یکنواخت پخش شده باشند، بدون نیاز به آزمون، در دسته A1 واکنش در برابر آتش دسته‌بندی می‌شوند.
ملات‌های بنایی دارای مواد آلی بیشتر از یک درصد وزنی یا حجمی (هر کدام که بیشتر است) که به طور یکنواخت پخش شده باشند، باید مطابق "استاندارد ملی ایران 8299: سال 1384، واکنش در برابر آتش برای مصالح و فرآورده‌های ساختمانی- طبقه‌بندی" دسته‌بندی شوند و دسته مناسب واکنش در برابر آتش اظهار شود.

3-10 استاندارد ویژگی برای ملات لایه نازک مورد استفاده در بنایی بتن هوادار اتوکلاو شده (AAC) ASTM C1660

ملات لایه نازک، ملات پیش آمیخته‌ای است که با بلوک‌های AAC با درزهایی به ضخامت حدود 2 تا 3 میلیمتر در ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد. مواد مورد استفاده در تهیه ملات لایه نازک باید با الزامات استاندارد ASTM C1660 مطابقت داشته باشد. سیمان بنایی باید با استاندارد ویژگی مربوط مطابق باشد. سنگدانه ریز باید با استاندارد ویژگی ASTM C144 با عنوان "ویژگی استاندارد سنگدانه برای ملات بنایی" به استثنای الزامات دانه‌بندی مطابقت داشته باشد. حداکثر اندازه سنگدانه باید چنان باشد که از الک استاندارد شماره 6 عبور کند.
سیمان پرتلند باید با استاندارد ویژگی سیمان ASTM C150 با عنوان "استاندارد ویژگی سنگدانه برای سیمان پرتلند" مطابقت داشته باشد. آهک هیدراته باید با استاندارد ویژگی ASTM C207 با عنوان "استاندارد ویژگی آهک هیدراته برای مقاصد بنایی" مطابق باشد. آهک نوع N مجاز است اگر با آزمون یا گزارش عملکرد نشان داده شود که برای سلامت ملات زیان‌آور نیست. سیمان آمیخته باید با استاندارد ویژگی ASTM C595 با عنوان "استاندارد ویژگی سیمان‌های آبی (هیدرولیکی)[1] آمیخته" مطابقت داشته باشد. سیمان آبی باید با استاندارد ویژگی ASTM C1157 با عنوان "استاندارد ویژگی عملکرد برای سیمان آبی" مطابق باشد. سیمان ملات باید با استاندارد ویژگی ASTM C1329 با عنوان "استاندارد ویژگی برای سیمان ملات" مطابقت داشته باشد. سیمان آبی زودسخت شونده باید با الزامات استاندارد ASTM C1600 با عنوان "استاندارد ویژگی برای سیمان آبی زودسخت شونده" مطابق باشد.
چسباننده: در حداکثر مقدار مصرف توصیه شده، افزودنی چسب نباید بیش از 65ppm (0.0065%) کلراید محلول در آب یا 90ppm (0.0090%) کلراید محلول در اسید به مقدار کل کلراید ملات اضافه کند. مقدار کلراید با آزمون ملات‌های مرجع و آمیخته مطابق با استاندارد ویژگی ASTM C1384 (بخش مقدار کلراید محلول) با عنوان "استاندارد ویژگی افزودنی‌ها برای ملات‌های بنایی" تعیین می‌شود. سایر مواد مجاز است به شرطی که آزمون یا گزارش عملکرد نشان دهد که بر دوام ملات یا مصالح دربرگرفته زیان‌آور نیست.

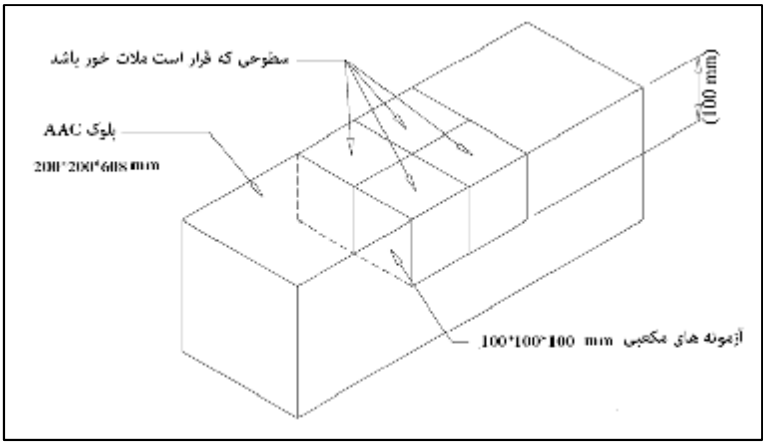
1-Hydraulic cement

روش‌های آزمون

آزمون مقاومت کششی دو نیم شدن: آزمون مقاومت کششی دو نیم شدن را مطابق با روش آزمون ASTMC1006 با عنوان "استاندارد روش آزمون مقاومت کششی دو نیم شدن بلوک‌های بنایی" با اصلاحات زیر انجام دهید.

نمونه‌برداری: از مواد ملات و بلوک AAC مورد استفاده در تهیه آزمونه‌ها به ترتیبی نمونه‌برداری کنید که آنها نماینده بهری[1] باشند که از آن انتخاب شده‌اند.

انتخاب بلوک آزمون: آزمونه‌ها از مصالح AAC مطابق با استاندارد ASTM C1660 با عنوان "استاندارد ویژگی ملات لایه نازک برای بنایی بتن هوادار اتوکلاو شده" به روش خشک ببرید. هر زوج آزمونه باید از یک بلوک با اندازه کامل چنانچه در شکل 3-1 نشان داده شده است، بریده شود. مکعب‌ها را از بلوک به طور خشک ببرید که هر یک دارای اندازه 6 ± (100 × 100 × 100) میلیمتر باشد. گرد و غبار برش را با هوای خشک از مکعب پاک کنید.



شکل 3-3: خارج کردن مکعب‌ها برای تهیه آزمونه

آماده‌سازی نمونه: ملات را مطابق با دستور کار تولیدکننده ملات مخلوط کنید.

زوج‌ها را به ترتیبی قرار دهید که سطحی که قرار است ملات‌خور باشد سطح برش نخورده بلوک باشد.

ملات را به مقدار توصیه شده توسط تولیدکننده ملات به منطقه درز آزمونه اعمال کنید تا یک درز بستر کامل با ضخامت تقریبی 2 تا 3 میلیمتر به وجود آید. زوج آزمونه دیگر را بر روی ملات به ترتیبی قرار دهید که سطوح برش نخورده زوج اکنون هر دو در تماس با ملات قرار گیرد. با دست محکم فشار دهید تا از تماس کامل بین آزمونه‌ها و ملات اطمینان حاصل شود.

---

1 -lot

ملات اضافی را از درز دور تا دور پیرامون آزمونه متصل شده پاک کنید تا سطح صاف یکنواختی در طول درز به وجود آید. آزمونه‌ها را در هوا در دمای ^{o}C(8± 24) و رطوبت نسبی کمتر از 80 درصد برای حداقل 28 روز یا برای زمانی که توسط تولیدکننده ملات تجویز شده است، عمل‌آوری کنید.
هر آزمونه عمل‌آوری شده را اندازه‌گیری کنید تا میانگینی از مساحت سطح مقطع درز ملات‌خور به دست آید.

آزمون

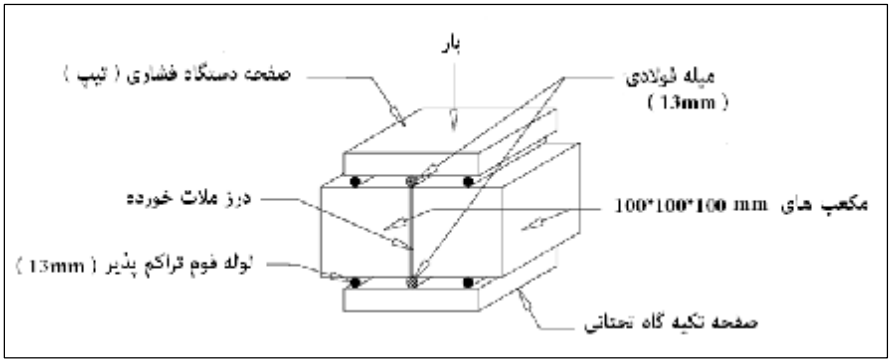
میله‌های فولادی با قطر 13mm با حداقل طول 100mm با استفاده از چسب داغ یا روش مناسب دیگر به ترتیبی به آزمونه متصل می‌شود که میله‌ها لبه‌های بالایی و پائینی را لمس کنند و بین دو نیمه آزمونه در داخل قوس قرار گیرند (شکل 2). آزمونه را در دستگاه آزمون فشاری با استفاده از لوله فوم تراکم‌پذیر به عنوان تکیه‌گاه قرارگیری قرار می‌دهند (شکل 2). بار تا شکست اعمال می‌شود. خواندن‌های بار اوج را پس از آزمایش هر آزمونه، ثبت می‌کنند.

الزامات گزارش

- تولیدکننده بلوک AAC و کلاس مقاومت تعیین شده مطابق با الزامات ASTM C1386
- تولیدکننده، نام تجاری و بهر ملات لایه نازک مورد ارزیابی
- عمر، بار اوج، مقاومت کششی دو نیم شدن متناظر برای هر آزمونه، محاسبه شده مطابق با الزامات استاندارد ASTM C1006

الزامات مقاومت

میانگین مقاومت کششی دو نیم شدن آزمونه‌های AAC ملات خورده باید معادل یا بیشتر از مقدار نشان داده شده در جدول 3-20 برای کلاس مقاومت متناظر AAC باشد.



شکل 3-4: چیدمان آزمون برای اندازه‌گیری مقاومت کششی دو نیم شدن

جدول 3-20: حداقل مقاومت کششی دو نیم شدن آزمونه الف

کلاس مقاومت AAC	مقاومت فشاری مشخصه AAC f'_{AAC}, (MPa)	حداقل مقاومت کششی دو نیم شدن آزمونه $f_{t\,AAC}$, (MPa)
AAC2	2,0	0,28
AAC3	3/0	0/34
AAC4	4/0	0/40
AAC6	6/0	0/49

الف- استاندارد ویژگی ASTM C1386 کلاس‌های متفاوت مقاومت AAC و همچنین حداکثر مقاومت فشاری مشخصه مربوط برای هر کلاس را مشخص می‌کند. جدول 3-20 حداقل مقاومت‌های کششی دو نیم شدن برای هر کلاس مقاومت AAC را معین می‌کند.

ب- مقادیر برای حداقل مقاومت کششی دو نیم شدن جنانچه در جدول 1 نشان داده شده است از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$f_{t\,AAC} = 0.2\sqrt{f'_{AAC}}$$

که در آن $f_{t\,AAC}$ و f'_{AAC} در واحدهای مگاپاسکال بیان شده است.

فصل چهارم

تحقیقات سایر پژوهشگران

1-4 کاربرد پومیس در ملات و اندود بلوک‌های سبک ساختمان

در گزارش تحقیقاتی پروژه‌ای با عنوان "کاربرد پومیس در ملات و اندود بلوک‌های سبک ساختمان" (سال 2010) که توسط ایلتر[1][15] انجام شد، چنین آمده است:

آزمایش‌ها برای تعیین خواص ملات سنتی و سبک‌دانه پومیس انجام شد. نتایج آزمایش‌ها از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی و همچنین ضریب هدایت حرارتی سامانه های مختلف دیوار مورد تحلیل و مقایسه قرار گرفتند. با توجه به اهداف، روش کار به ترتیب زیر بوده است:

1. خواص فیزیکی مانند چگالی انبوهی، وزن مخصوص، درصد جذب آب، توزیع اندازه دانه‌های سنگ‌دانه‌های آهکی و پومیس به دست آمد و با هم مقایسه شد.
2. نسبت اختلاط (طرح اختلاط) ملات /اندود سنتی و سبک‌دانه پومیس تعیین شد. پوشش اول و دوم اندود و همچنین ملات بنایی با استفاده از سبکدانه پومیس و سنگدانه آهکی با پیروی از استانداردهای مربوط و مشخصات فنی مورد استفاده در کارهای عمومی ساختمان در قبرس شمالی اجرا شد. در سال‌های اخیر اندودهای آماده به عنوان اندود لایه سوم (پرداخت) در اندودکاری دیوار استفاده می‌شود. بنابراین اندود مخلوط آماده به عنوان اندود لایه سوم (پرداخت) بر روی نمونه دیوار اجرا شد.
3. مطالعات آزمایشگاهی برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی مخلوط تازه، مخلوط سخت شده ملات /اندود سنتی و سبک‌دانه پومیس انجام شد.
4. ضریب هدایت حرارتی سامانه‌های مختلف دیوار با ملات /اندودهای مختلف و همچنین انواع بلوک‌ها اندازه‌گیری و با دیوارهای ساخته شده با آجر رسی سنتی (اندازه 300×200 ×100 میلی‌متر) مقایسه شد.

---

1 - Ilter

5. در پایان، تمام نتایج به دست آمده از مطالعات آزمایشگاهی با هم مقایسه و تحلیل شد. مقایسه ملات /اندود سنتی با سبک‌دانه پومیس بر اساس خواص فیزیکی و مکانیکی انجام شد و ضریب هدایت حرارتی سامانه دیوارهای مختلف در این مطالعه با هم مقایسه شدند [15].

دستاوردها در این پژوهش به شرح زیر است:

1. یافته‌های پژوهش نشان داد که چگالی انبوهی سنگ‌دانه پومیس مورد استفاده در این تحقیق نسبت به سنگ‌دانه سنگ آهک 2/5 برابر کمتر است. وزن مخصوص سنگ‌دانه پومیس مورد استفاده در این تحقیق حدود 2 برابر کمتر از وزن مخصوص سنگ‌دانه سنگ آهک است. درصد جذب آب سنگ‌دانه پومیس مورد استفاده در این پژوهش، حدود 14 برابر بیشتر از سنگدانه سنگ آهک است. توزیع اندازه دانه‌های سنگدانه سنگ آهک تقریبا همان دانه‌بندی سنگدانه‌های پومیس مورد استفاده در این بررسی است. حداکثر اندازه سنگدانه 2 میلی‌متر در تولید ملات و اندود برای هر دو ملات پومیس و آهک مورد استفاده قرار گرفت.

2. نسبت اختلاط (طرح اختلاط) ملات /اندود سنتی و سبک با توجه به مشخصات فنی تعیین شده برای کارهای ساختمانی توسط اتحادیه مهندسان و معماران قبرس شمالی تهیه شده است. در این تحقیق به منظور ایجاد مقدار مواد مورد استفاده در مخلوط نسبت اختلاط حجمی به نسبت‌های وزنی تبدیل شد. سعی شد غلظت هر دو ملات پومیس و سنتی به جز پوشش اول در محدوده یکسان نگه داشته شود. غلظت برای اولین پوشش هر دو ملات پومیس و سنتی در مقایسه با پوشش و ملات دوم دارای سیالیت بیشتری بود.

3. خواص مخلوط‌های تازه (غلظت ملات تازه، زمان گیرش و وزن واحد ملات‌های تازه) به طور جداگانه برای ملات‌های سنتی و پومیس در شرایط پوشش اول، پوشش دوم و ملات‌های درز تعیین شد. خواص مکانیکی (مقاومت فشاری، مقاومت خمشی، سرعت پالس) به طور جداگانه برای ملات‌های سنتی و پومیس در شرایط پوشش اول، پوشش دوم و ملات‌های درز تعیین شد. خواص مخلوط‌های سخت شده (جذب آب موئینه، جذب آب، وزن واحد ملات سخت شده و جمع شدگی خشک شدن) در مورد پوشش اول، پوشش دوم و ملات‌های درز تعیین شد.

4. یافته‌های پژوهش آزمایشگاهی نشان داد که ضریب هدایت حرارتی سامانه دیوار ساخته شده با بلوک پومیس و ملات/ اندود سنگ آهک در مقایسه با سامانه دیوار ساخته شده با بلوک پومیس و ملات /اندود پومیس در حدود 1/2 برابر بیشتر است. علاوه بر این ضریب هدایت حرارتی سامانه دیوار آجر رسی در مقایسه سامانه دیوار با بلوک پومیس در حدود 1/5 برابر بیشتر است.

5. یافته‌های آزمایشگاهی پژوهش نشان داد که خواص مدت عمر کارایی، زمان گیرش، وزن واحد ملات تازه، وزن واحد ملات سخت شده و سرعت پالس‌های فراصوتی ملات پومیس، مقدار کمتری را در مقایسه با ملات سنگ آهک نشان داد. خواص درصد جذب آب، ضریب جذب آب موئینه، درصد جمع شدگی خشک شدن، مقاومت خمشی و مقاومت فشاری ملات‌های پومیس مقادیر بالاتری را در مقایسه

با ملات‌های سنگ آهک نشان می‌دهد. همچنین یافته‌های آزمایشگاهی نشان داد که سامانه دیوار ساخته شده با ملات /اندود پومیس ضریب هدایت حرارتی پایین‌تری در مقایسه با سامانه دیوار ساخته شده با ملات /اندود سنگ آهک دارد [15].

در این مطالعه، ملات و اندود ساخته شده از سنگ آهک و سنگ‌دانه پومیس از نظر خواص فیزیکی و مکانیکی مورد مطالعه قرار گرفت. خواص فیزیکی سنگ‌دانه پومیس و سنگ‌دانه سنگ آهک عبارتند از توزیع اندازه ذرات، چگالی انبوهی، وزن مخصوص و ظرفیت جذب آب تعیین شد. سهم‌بندی مخلوط وزنی ملات و اندود ساخته شده از سنگ آهک و سنگ‌دانه پومیس مشخص شد. آزمون‌های مختلف و مطالعات آزمایشگاهی در 3 گروه اصلی طبقه‌بندی شد که عبارتند از: خواص مخلوط تازه، خواص مخلوط سخت شده (فیزیکی) و خواص مکانیکی مخلوط‌های سخت شده. آزمایش‌ها برای خواص مخلوط تازه شامل: غلظت ملات تازه (مقدار جریان)، زمان گیرش و وزن واحد ملات تازه به طور جداگانه برای ملات‌های سنتی و پومیس با استفاده از پوشش اول، پوشش دوم و ملات درز انجام شد. در مورد خواص مکانیکی مقاومت فشاری، مقاومت خمشی و سرعت پالس تعیین شد. خواص فیزیکی ملات سخت شده شامل: جذب آب موئینه، جذب آب، وزن واحد ملات سخت شده و جمع شدگی خشک شدن به طور جداگانه برای ملات سنتی و پومیس از طریق پوشش اول، پوشش دوم و ملات درز در این تحقیق تعیین شد. پس از آن، ضریب هدایت حرارتی سامانه‌های مختلف دیوار برای کاربردهای مختلف ملات/اندود با انواع بلوک تعیین شد[15].

4-1-1 مواد مورد استفاده

سنگ‌دانه پومیس: در این بررسی، سنگ‌دانه‌های پومیس عرضه شده توسط اسکون[1] در قبرس شمالی استفاده شد. این شرکت سنگ‌دانه پومیس را از منطقه نوشهیر[2] (ترکیه) به منظور تولید بلوک بنایی پومیس برای صنعت ساخت و ساز در قبرس شمالی وارد می‌کند. ترکیب شیمیایی پومیس مورد استفاده در این تحقیق در جدول 4-1 نشان داده شده است [15].

1 -Escon

2 -Nevşehir

جدول 4-1: ترکیب شیمیایی پومیس نوشهیر [15]

ترکیب شیمیایی	پومیس نوشهیر درصد
SiO_2	74
Al_2O_3	13
Fe_2O_3	1/40
FeO	0/00
CaO	1/17
Na_2O	3/70
K_2O	4/10
MgO	0/07

همان طور که در جدول بالا می‌توان دید، پومیس نوشهیر حاوی SiO_2 بسیار زیاد است که نشان می‌دهد که این پومیس از نوع پومیس اسیدی است. همان طور که قبلا توضیح داده شد، نوع اسیدی پومیس به ویژه در بخش ساخت و ساز بسته به ترکیب شیمیایی آن مطلوب است. علاوه بر این روشن است که پومیس نوشهیر ماده بسیار پوزولانی است که مزایای زیادی برای دوام و کسب مقاومت مخلوط فراهم می‌کند. سنگ‌دانه‌های پومیس استفاده شده در شکل 3-1 نشان داده شده است [15].

شکل 4-1: سنگ‌دانه‌های پومیس تهیه شده توسط شرکت اسکون [15]

بنابر استاندارد EN 998-2، حداکثر اندازه سنگدانه‌ها به منظور استفاده در ملات و اندود باید 2 میلی متر باشد. بنابراین، سنگ‌دانه با الک 2 میلی‌متر سرند شد و ذرات عبور کرده از الک در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. برای افزایش سرعت الک کردن، اندازه بزرگتری از الک ساخته و مورد استفاده قرار گرفت (شکل4-2) [15].

شکل 4-2: الک مورد استفاده برای به‌دست آوردن اندازه مورد نیاز سنگ‌دانه [15]

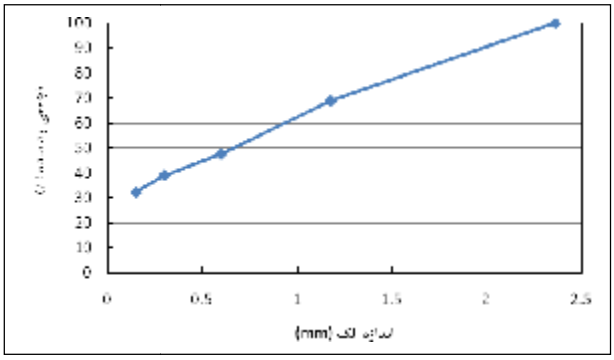
جدول 4-2: تجزیه سرندی سبکدانه پومیس [15]

اندازه الک (mm)	جرم باقی‌مانده (g)	درصد باقی‌مانده درصد	باقی‌مانده تجمعی درصد	رد شده تجمعی درصد
2/36	0/00	0/00	0/00	100/00
1/18	224/00	31/20	31/19	68/81
0/6	153/0	21/31	52/50	47/50
0/3	62/00	8/64	61/13	38/87
0/15	47/00	6/55	67/68	32/32
سینی	232/00	32/31	99/99	0/01

سنگ‌دانه سنگ‌آهک: سنگ‌دانه‌های سنگ آهک از کوه بسپارماک[1] در قبرس تهیه شد. قبرس از نظر منابع سنگ آهک بسیار غنی است. به خصوص تمام کوه بسپارماک در قبرس حاوی سنگ آهک است. سنگ آهک به عنوان سنگدانه در بتن و ملات در بخش ساختمان قبرس استفاده می‌شود. سنگ آهک سنگ رسوبی و دارای حداقل50 درصد کربنات کلسیم ($CaCO_3$) است[15].

توزیع اندازه ذرات (دانه‌بندی) سنگ‌دانه سنگ آهک در جدول 4-3 و شکل 4-4 نشان داده می‌شود.

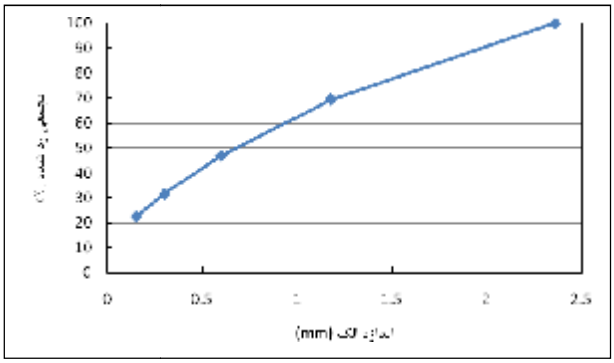
1 -Beşparmak



شکل 4-3: منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه پومیس [15]

جدول 4-3: تجزیه سرندی سنگ‌دانه سنگ آهک [15]

اندازه الک (mm)	جرم باقی‌مانده (g)	باقی‌مانده درصد	باقی‌مانده تجمعی درصد	رد شده تجمعی درصد
2/36	0/00	0/00	0/00	100/00
1/18	387/00	30/71	30/71	69/29
0/6	283/0	22/46	53/17	46/83
0/3	191/00	15/16	68/33	31/67
0/15	116/00	9/21	77/54	22/46
کم‌تر از 0/15	284/00	22/54	100/00	0/00



شکل 4-4: منحنی دانه‌بندی سنگ‌دانه سنگ آهک [15]

توزیع اندازه ذرات سنگ‌دانه‌های سنگ آهک با سنگ‌دانه‌های پومیس مورد استفاده در این تحقیق تقریبا یکسان است [15].

سیمان: سیمان مورد استفاده در تمام تحقیق سیمان پرتلند پوزولانی (کلاس 32/5) مطابق الزامات استاندارد ASTM C150 بود. ترکیب شیمیایی سیمان در جدول 4-4 نشان داده شده است [15].

جدول 4-4: ترکیب شیمیایی سیمان مورد استفاده در این تحقیق [15]

ترکیب شیمیایی	درصد
CaO	38
MgO	4
SO3	3
SiO2	46/8
AL2O3	5/3
Na2O	0/15
Fe2O3	3/46
LOI	3

خواص فیزیکی و مکانیکی سیمان در جدول 4-5 نشان داده شده است.

جدول 4-5: خواص فیزیکی و مکانیکی سیمان مورد استفاده در این تحقیق [15]

خواص فیزیکی	مقدار
نرمی (m^2/kg)	451
گیرش اولیه (دقیقه)	90
گیرش نهایی (دقیقه)	135
وزن مخصوص	3/28
مقاومت فشاری 3 روزه (MPa)	18/3
مقاومت فشاری 28 روزه (MPa)	35/7

آهک[1]: آهک مورد استفاده در این تحقیق پودر آهک هیدراته بود. آهک یک اصطلاح کلی برای مواد معدنی حاوی کلسیم است که در آن کربنات‌ها، اکسیدها و هیدروکسیدهای کلسیم غالب است. به بیان دقیق، آهک اکسید کلسیم یا هیدروکسید کلسیم است. هیدروکسید کلسیم که به طور سنتی آهک کشته، نامیده می‌شود، یک ترکیب شیمیایی با فرمول شیمیایی $Ca(OH)_2$ است. این یک بلور بی‌رنگ یا پودر سفید رنگ است و هنگامی که اکسید کلسیم (که آهک یا آهک زنده نامیده می‌شود) با آب مخلوط شود یا "شکفته شود" به دست می‌آید.

آب: آب مورد استفاده در تمام تحقیق آب آشامیدنی بود [15].

1 -Lime

4-1-2 سهم‌بندی مخلوط برای ملات و اندود

در این تحقیق، دو نوع مختلف ملات و اندود از نظر نوع سنگ‌دانه شامل ملات /اندود سبک ساخته شده از سنگدانه پومیس و ملات /اندود سنتی ساخته شده از سنگدانه سنگ آهک تولید شد. اندود به صورت سه پوشش در ساخت دیوار شامل: برای اولین پوشش، پوشش دوم و پوشش سوم به کار می‌روند. امروزه، اندودهای پیش مخلوط شده آماده به عنوان پوشش سوم در بخش ساخت و ساز (در قبرس شمالی) استفاده می‌شود. در نتیجه اندود تولید شده در این تحقیق به طور معمول به عنوان پوشش اول و پوشش دوم با استفاده از انواع مختلف سنگ‌دانه و دو ملات درز ساخته شده مختلف از سنگ‌دانه پومیس و سنگ آهک ساخته شد. نسبت‌های اختلاط مواد استفاده شده برای ملات و اندود بر اساس پیمانه کردن حجمی انجام می‌شود. نسبت‌های اختلاط حجمی مواد برای ملات و اندود مطابق مشخصات فنی اتحادیه مهندسان و معماران ترک قبرس (KTMMOB[1]) در جدول4-6 نشان داده شده است [15].

جدول 4-6: سهم‌بندی مخلوط به صورت حجمی توسط KTMMOB [15]

نوع	سیمان	آهک	ماسه ≤ 2 میلی‌متر
ملات درز	1	2	8
پوشش اول	1	0	3
پوشش دوم	1	2	8

همان طور که می‌توان در جدول بالا مشاهده کرد نسبت اختلاط و ترکیب ملات درز و ملات پوشش دوم یکسان هستند. بنابراین نسبت‌های اختلاط جدول 4-6 در این تحقیق در نظر گرفته شده است [15].

اگرچه نسبت‌های اختلاط به صورت حجمی نشان داده شده است، به ویژه برای پیمانه‌های مخلوط شده[2] آزمایشگاهی، تعیین مقدار مواد به صورت وزنی مناسب‌تر است. بنابراین نسبت‌های اختلاط به صورت حجمی به منظور تعیین مقدار مواد مورد استفاده در مخلوط به نسبت وزنی تبدیل شد. این فرآیند مطابق با ASTM C270 انجام شد [15]. در این استاندارد بیان شده است که چگونه نسبت‌های حجمی با استفاده از یک ضریب پیمانه که توسط معادله 4-1 و معادله 4-2 محاسبه می‌شود به نسبت وزنی تبدیل می‌گردد [15].

معادله 4-1 ضریب پیمانه = 1440 / مجموع نسبت حجمی مواد برابر 80

تعیین وزن مواد به شرح زیر است:

معادله 4-2 وزن مواد = نسبت حجمی مواد x چگالی انبوهی x ضریب پیمانه

1 -Union of the Chambers of Cyprus Turkish Engineers and Architects (KTMMOB)
2 -Batch

همان طور که در معادلات بالا مشخص است هنگام تبدیل نسبت‌های حجمی به وزن پیمانه، چگالی انبوهی مواد استفاده می‌شود. چگالی‌های انبوهی مواد مورد استفاده در مخلوط‌ها در جدول 4-7 نشان داده شده است [15]:

جدول 4-7: چگالی‌های انبوهی مواد مورد استفاده در مخلوط‌ها [15]

نوع مواد	چگالی انبوهی (kg/m^3)
سنگ‌دانه پومیس	808
سنگ‌دانه سنگ آهک	1777
سیمان	1200
آهک	600

با توجه به روش فوق، نسبت‌های حجمی مخلوط به نسبت‌های وزنی تبدیل و به شرح زیر در جدول 4-8 و 4-9 ارائه شد [15].

جدول 4-8: نسبت‌های وزنی مخلوط برای اندود و ملات سنتی (سنگ آهک) [15]

اندود سنتی (سنگ آهک) و ملات درز				
نوع	سیمان	آهک	سنگ آهک	آب
پوشش اول	1	0	4٫44	1٫12
پوشش دوم	1	1	11٫8	2٫65
ملات درز	1	1	11٫8	2٫65

جدول 4-9: نسبت‌های وزنی مخلوط برای اندود و ملات پومیس [15]

اندود پومیس و ملات درز				
نوع	سیمان	آهک	پومیس	آب
پوشش اول	1	0	2٫02	1٫4
پوشش دوم	1	1	5٫38	3٫2
ملات درز	1	1	5٫38	3٫2

مقدار آب توسط غلظت در نظر گرفته شده برای ملات تازه مشخص شد. غلظت ملات تازه مطابق با استاندارد EN 1015-3 مورد بررسی قرار گرفت [15].

روشن است که مقدار آب در ملات و اندود پومیس در مقایسه با ملات و اندود (سنتی) ساخته شده از سنگدانه سنگ آهک، با توجه به ظرفیت بالاتر جذب آب سنگدانه پومیس خیلی بیشتر است. در این پژوهش سعی شد غلظت هر دو ملات پومیس و سنتی به جز پوشش اول در محدوده یکسان نگه داشته شود. غلظت پوشش اول برای هر دو اندود پومیس و سنتی در مقایسه با پوشش دوم و ملات درز روان‌تر

است. همچنین پوشش اول اندود به دلیل روش استفاده از آن اندود زبر[1] نامیده می‌شود. به همین دلیل غلظت پوشش اول در مقایسه با سایر ملات‌ها روان‌تر است[15].

4-1-3 خواص سنگدانه

چگالی انبوهی

چگالی‌های انبوهی غیرمتراکم (فله‌ای[2]) و چگالی‌های انبوهی متراکم (حالت چگال‌تر) سنگ‌دانه‌های پومیس و سنگ‌دانه سنگ آهک مورد استفاده در این تحقیق، در جدول 4-3 نشان داده شده است [15].

جدول 4-10: چگالی‌های انبوهی سنگ‌دانه‌های پومیس و سنگ آهک [15]

نوع سنگ‌دانه	چگالی انبوهی متراکم (kg/m^3)	چگالی انبوهی غیرمتراکم (kg/m^3)
پومیس	860	808
سنگ آهک	1990	1777

چنانچه در جدول 4-10 نشان داده شده است، چگالی‌های انبوهی سنگ‌دانه‌های پومیس در مقایسه با سنگ‌دانه‌های سنگ آهک با توجه به خواص سنگ‌دانه‌های پومیس بسیار کم است. سنگ‌دانه‌های پومیس حاوی تا 80٪ منافذ هوایی است. بنابراین سنگ‌دانه‌های پومیس دارای مقدار بسیار زیادی از تخلخل است. همان طور که در جدول بالا دیده می‌شود، چگالی‌های انبوهی سنگ‌دانه‌های پومیس در مقایسه با سنگ‌دانه‌های سنگ آهک در هر دو حالت 2/5 برابر کمتر است [15].

وزن مخصوص و درصد جذب آب

وزن مخصوص نسبت وزن یک ماده به وزن حجم معادل آب است. بنابراین بدون واحد است. وزن مخصوص و درصد جذب آب سنگ‌دانه‌های پومیس و سنگ‌دانه‌های سنگ آهک مورد استفاده در این تحقیق در جدول 4-11 آمده است [15]:

جدول 4-11: وزن مخصوص و درصد جذب آب سنگ‌دانه‌های پومیس و سنگ آهک

نوع	وزن مخصوص انبوهی	وزن مخصوص انبوهی (SSD)	وزن مخصوص ظاهری (SSD)	جذب آب درصد
پومیس	1٫151	1٫621	2٫173	40٫84
سنگ آهک	2٫35	2٫43	2٫55	3٫36

1 - Rough Rendering
2 -Loose

همان طور که در جدول 4-11 نشان داده شده است، وزن مخصوص (وزن مخصوص انبوهی، وزن مخصوص انبوهی (SSD) و وزن مخصوص ظاهری) سنگ‌دانه‌های پومیس در مقایسه با سنگ‌دانه‌های سنگ آهک با توجه به خواص مشخصه سنگدانه‌ها کاملا پایین‌تر است. وزن مخصوص سنگدانه‌های پومیس (به ویژه وزن مخصوص انبوهی) حدود نصف وزن مخصوص سنگدانه‌های سنگ آهک است [15].

علاوه بر این ظرفیت جذب آب سنگ‌دانه پومیس در مقایسه با ظرفیت جذب آب سنگدانه سنگ آهک بسیار بالاتر است. این به طور مستقیم ناشی از ساختار سنگدانه پومیس است. همان طور که می‌توان از نتایج دریافت پومیس به دلیل منافذ زیاد هوایی مانند یک اسفنج است. به این دلیل درصد جذب آب سنگدانه‌های پومیس در مقایسه با سنگ آهک حدود 14 بار بیشتر است [15].

4-1-4 تحلیل نتایج آزمون ملات‌ها

آزمون غلظت ملات تازه: نتایج آزمون غلظت ملات تازه برای ملات‌های پومیس و ملات‌های سنگ آهک (سنتی) به ترتیب در جدول 4-12 و 4-13 داده شده است. شکل 4-5 مقایسه ملات اندودکاری پوشش اول ساخته شده از سنگدانه پومیس و سنگدانه سنگ آهک را نشان می‌دهد. شکل 4-6 مقایسه ملات درز و ملات پوشش دوم اندود ساخته شده از سنگدانه پومیس و سنگ آهک را نشان می‌دهد.

از شکل 4-5، موارد زیر را می‌توان بیان کرد [15]:

1. حد کارایی130 میلی‌متر (قطر جریان) مطابق با روش استاندارد آزمون مشخص شده است. کمتر از 130 میلی‌متر به معنی عدم کارایی ملات است. از شکل 4-5، مدت زمان کارایی ملات سنتی و پومیس به ترتیب 5/2 و 4/1 ساعت مشاهده می‌شود.
2. ملات اندودکاری پوشش اول سنتی مدت زمان کارایی بیشتری در مقایسه با ملات اندودکاری پوشش اول پومیس دارد. سرعت سفت شدن ملات پومیس به دلیل جذب آب بالاتر سنگدانه پومیس بیشتر است. بنابراین مقدار آب به طور مستقیم بر کارایی ملات موثر است.
3. قطر جریان اولیه ملات‌ها تقریبا یکسان است. در سهم‌بندی مخلوط، مقدار آب با در نظر گرفتن غلظت اولیه ملات تازه تعیین شد. هر دو ملات ساخته شده از سنگدانه‌های سنگ آهک و پومیس با غلظت یکسان تولید شدند.

از شکل 4-5، موارد زیر را می‌توان بیان کرد [15]:

1. مدت زمان کارایی ملات درز/ اندود پوشش دوم سنتی و ملات درز / اندود پوشش دوم پومیس به ترتیب 4/2 و 3 ساعت است.
2. مدت زمان کارایی ملات درز/ اندود پوشش دوم سنتی در مقایسه با ملات درز /اندود پوشش دوم پومیس بیشتر است. سرعت سفت شدن ملات پومیس به دلیل جذب آب بالاتر سنگدانه پومیس بیشتر است.

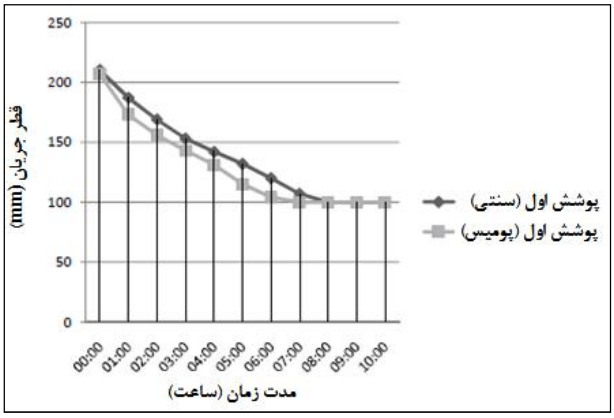
3. قطر جریان اولیه ملات‌ها تقریبا یکسان است. در سهم‌بندی مخلوط، مقدار آب با در نظر گرفتن غلظت اولیه ملات تازه تعیین شد. هر دو ملات ساخته شده از سنگدانه‌های سنگ آهک و پومیس با غلظت یکسان تولید شدند.
4. غلظت اولیه (قطر جریان اولیه) ملات‌های اندودکاری پوشش اول در مقایسه با اندود پوشش دوم / ملات درز که به نوع اجرا بستگی دارد، خیلی بیشتر است. اندود پوشش اول به عنوان اندود زبر نیز شناخته می‌شود و به شکل زبر بر روی دیوار اجرا می‌گردد [15].

جدول 4-12: نتایج آزمون غلظت ملات پومیس [15]

		زمان (ساعت)										
	نوع ملات	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00
قطر جریان (mm)	پوشش اول	210	187	169	153	142	132	120	107	100	100	100
	پوشش دوم/ ملات درز	165	152	150	141	132	125	120	113	100	100	100

جدول 4-13: نتایج آزمون غلظت ملات سنگ آهک (سنتی) [15]

		زمان (ساعت)										
	نوع ملات	00:00	01:00	02:00	03:00	04:00	05:00	06:00	07:00	08:00	09:00	10:00
قطر جریان (mm)	پوشش اول	207	173	156	143	131	115	104	100	100	100	100
	پوشش دوم/ ملات درز	160	139	135	130	118	110	103	100	100	100	100



شکل 4-5: قطر جریان ملات اندودکاری پوشش اول سنتی و پومیس [15]

شکل 4-6: قطر جریان ملات درز و پوشش دوم ملات اندودکاری سنتی و ملات پومیس [15]

زمان گیرش ملات‌ها

نتایج زمان گیرش ملات‌های سنگ آهک (سنتی) و ملات‌های پومیس به ترتیب در جدول 4-14 و جدول 4-15 داده شده است. شکل 4-7 مقایسه زمان گیرش اولیه ملات‌ها را نشان می‌دهد. شکل 4-8 مقایسه زمان گیرش نهایی ملات‌ها را نشان می‌دهد [15].

از شکل 4-8، موارد زیر را می‌توان بیان کرد:

1. زمان‌های گیرش اولیه اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه سنگ آهک به ترتیب 342 و 365 دقیقه است.
2. زمان‌های گیرش اولیه اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه پومیس به ترتیب 256 و 222 دقیقه است.
3. ملات‌های سنگ آهک (سنتی) در مقایسه با ملات‌های پومیس برای هر دو مورد اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز دارای زمان گیرش اولیه بالاتر است.

4. غلظت ملات‌های اندودکاری پوشش اول نسبت به اندود پوشش دوم / ملات درز که بستگی به نحوه اجرا دارد بیشتر است. با این وجود آهک باعث افزایش زمان گیرش، ملات‌های اندودکاری پوشش اول شامل مقدار خیلی زیاد آب در مقایسه با ملات اندودکاری پوشش دوم می‌شود. مشخص است که مقدار بیشتر آب زمان گیرش بالاتری را باعث می‌شود[۱۵].

از شکل 4-8، موارد زیر را می‌توان بیان کرد:

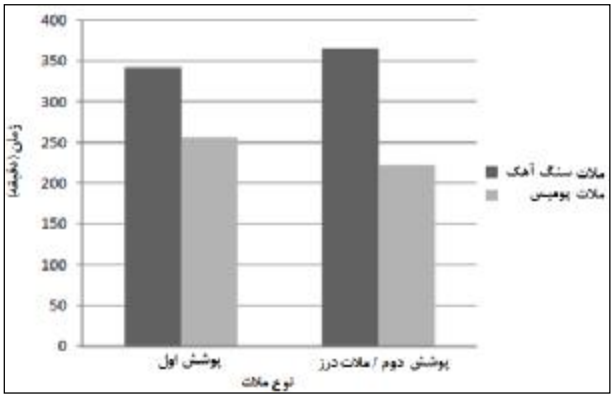
1. زمان‌های گیرش نهایی اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه سنگ آهک به ترتیب 486 و 445 دقیقه است.
2. زمان‌های گیرش نهایی اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه پومیس به ترتیب 345 و 310 دقیقه است.
3. ملات‌های سنگ آهک (سنتی) در مقایسه با ملات‌های پومیس برای هر دو مورد اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز دارای زمان‌های گیرش نهایی بالاتری است.
4. غلظت ملات‌های اندودکاری پوشش اول نسبت به اندود پوشش دوم / ملات درز که بستگی به نحوه اجرا دارد، بیشتر است. با این وجود آهک باعث افزایش زمان گیرش می‌شود. به این ترتیب ملات‌های اندودکاری پوشش دوم شامل مقدار خیلی زیاد آب در مقایسه با ملات اندودکاری پوشش اول است. مشخص است که مقدار بیشتر آب زمان گیرش را بالاتر می‌برد[15].

جدول 4-14: زمان‌های گیرش ملات‌های سنگ آهک (سنتی) [15]

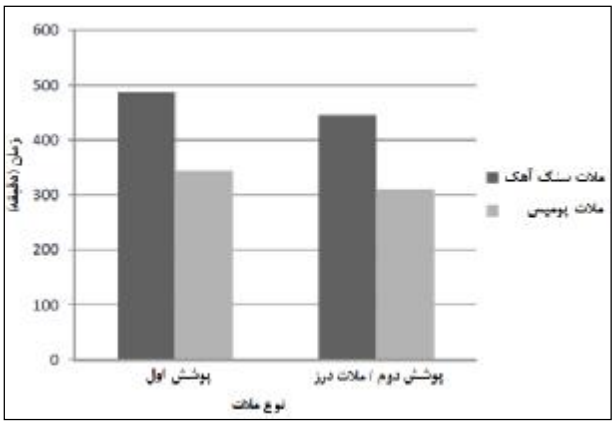
نوع ملات	زمان گیرش اولیه (دقیقه)	زمان گیرش نهایی (دقیقه)
پوشش اول	342	486
پوشش دوم / ملات درز	365	445

جدول 4-15: زمان های گیرش ملات‌های پومیس [15]

نوع ملات	زمان گیرش اولیه (دقیقه)	زمان گیرش نهایی (دقیقه)
پوشش اول	256	345
پوشش دوم / ملات درز	222	310



شکل 4-7 : مقایسه زمان‌های گیرش اولیه ملات‌ها [15]



شکل 4-8 : مقایسه زمان‌های گیرش نهایی ملات‌ها [15]

شکل 4-9: مقایسه وزن واحد ملات‌های سخت شده سنگ آهک و پومیس [15]

آزمون وزن واحد ملات سخت شده

نتایج وزن واحد سخت شده ملات‌های سنگ آهک (سنتی) و ملات‌های پومیس به ترتیب در جدول 4-16 و جدول 4-17 داده شده است. شکل 4-10 مقایسه وزن واحد ملات‌های سخت شده را نشان می‌دهد. از شکل 4-10، موارد زیر را می‌توان بیان کرد [15]:

1. وزن واحد سخت شده اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه سنگ آهک به‌ترتیب $1970/7\ kg/m^3$ و $1901/3\ kg/m^3$ است.
2. وزن واحد سخت شده اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه پومیس به‌ترتیب $1107/3\ kg/m^3$ و $1196/7\ kg/m^3$ است.
3. وزن واحد سخت شده ملات‌های سنگ آهک (سنتی) در مقایسه با ملات‌های پومیس برای هر دو مورد اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز بیشتر است.
4. از آنجا که چگالی انبوهی سنگدانه پومیس در مقایسه با سنگ‌دانه سنگ آهک به طور قابل توجهی پایین‌تر است، وزن واحد سخت شده ملات‌های سنگ آهک نسبت به ملات‌های پومیس 1/65 برابر بیشتر است.

جدول 4-16: وزن واحد ملات‌های سخت شده سنگ آهک [15]

نوع	شماره	وزن واحد سخت شده (kg/m^3)
پوشش اول	1	1981
	2	1948
	3	1983
میانگین		1971
پوشش دوم / ملات درز	1	1877
	2	1909
	3	1918
میانگین		1901

جدول 4-17: وزن واحد ملات‌های سخت شده سنگدانه پومیس [15]

نوع	شماره	وزن واحد سخت شده (kg/m^3)
پوشش اول	1	1085
	2	1170
	3	1067
میانگین		1107
پوشش دوم / ملات درز	1	1224
	2	1187
	3	1179
میانگین		1197

شکل 4-10: مقایسه وزن واحد ملات‌های سخت شده سنگ آهک و پومیس [15]

آزمون جذب آب

نتایج درصد جذب آب ملات‌های سنگ آهک (سنتی) و ملات‌های پومیس در جدول 4-18 و جدول 4-19 داده شده است. شکل 4-11 مقایسه درصد جذب آب ملات‌ها را نشان می‌دهد.

جدول 4-18 : درصد جذب آب ملات‌های سنگ آهک [15]

نوع	شماره	جذب آب (%)
پوشش اول	1	5/0
	2	5/3
	3	4/3
میانگین		4/8
پوشش دوم / ملات درز	1	17/4
	2	17/4
	3	16/8
میانگین		17/2

جدول 4-19 : درصد جذب آب ملات‌های پومیس [15]

نوع	شماره	جذب آب (%)
اندود پوشش اول	1	19/3
	2	14/7
	3	20/1
میانگین		18/0
پوشش دوم / ملات درز	1	22/4
	2	23/8
	3	31/5
میانگین		25/9

شکل 4-11: مقایسه درصد جذب آب ملات‌های سنگ آهک و پومیس [15]

از شکل 4-11 موارد زیر را می‌توان بیان کرد [15]:

1. درصد جذب آب اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه سنگ آهک به‌ترتیب 4/84 و 17/18 است.
2. درصد جذب آب اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه پومیس به ترتیب 18/01 و 25/9 است.
3. ملات‌های پومیس درصد جذب آب بالاتری در مقایسه با ملات‌های سنگ آهک برای هر دو اندود پوشش اول و پوشش دوم / ملات درز دارد.
4. در مورد اندودهای پوشش اول درصد جذب آب ملات‌های پومیس نسبت به ملات‌های سنگ آهک سه برابر بیشتر است.
5. برای اندود پوشش دوم /ملات درز درصد جذب آب ملات‌های پومیس نسبت به ملات‌های سنگ آهک 1/5 برابر بیشتر است.

آزمون ضریب جذب آب موئینه

نتایج ضریب جذب آب موئینه ملات‌های سنگ آهک (سنتی) و ملات‌های پومیس به ترتیب در جدول 4-20 و جدول 4-21 داده شده است

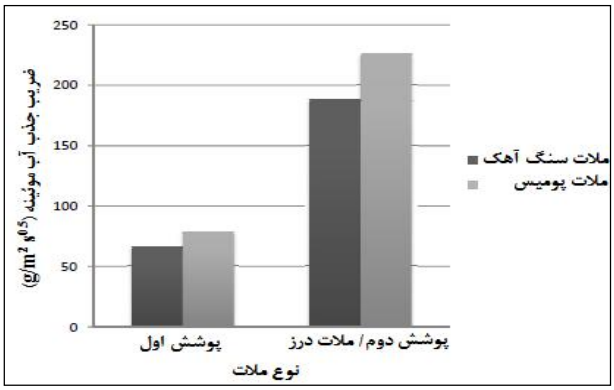
جدول 4-20: ضریب جذب آب موئینه ملات سنگ آهک [15]

نوع	شماره	ضریب جذب آب موئینه ($g/m^2 s^{0.5}$)
پوشش اول	1	68/3
	2	61/8
	3	70/4
میانگین		66/8
پوشش دوم / ملات درز	1	191/9
	2	177/1
	3	196/3
میانگین		188/4

جدول 4-21: ضریب جذب آب موئینه ملات پومیس [15]

نوع	شماره	ضریب جذب آب موئینه ($g/m^2 s^{0.5}$)
پوشش اول	1	83/2
	2	78/9
	3	74/7
میانگین		78/9
پوشش دوم / ملات درز	1	215/4
	2	226/1
	3	236/8
میانگین		226/1

شکل 4-12 مقایسه ضریب جذب آب موئینه ملات‌ها را نشان می‌دهد.



شکل 4-12: مقایسه ضریب جذب آب موئینه ملات‌های سنگ آهک و پومیس [15]

از شکل 4-12 موارد زیر را می‌توان بیان کرد [15]:

1. ضریب جذب آب موئینه اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه سنگ آهک به ترتیب $67\ g/m^2\ s^{0.5}$ و $188\ g/m^2\ s^{0.5}$ است.
2. ضریب جذب آب موئینه اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه پومیس به ترتیب $79\ g/m^2\ s^{0.5}$ و $226\ g/m^2\ s^{0.5}$ است.
3. ملات‌های پومیس در مقایسه با ملات‌های سنگ آهک در هر دو مورد اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ضریب جذب آب موئینه بیشتری دارد.
4. برای اندود پوشش اول ضریب جذب آب موئینه ملات‌های پومیس نسبت به ملات‌های سنگ آهک 1/18 برابر بیشتر است.
5. برای اندود پوشش دوم /ملات درز ضریب جذب آب موئینه ملات‌های پومیس نسبت به ملات‌های سنگ آهک 1/2 برابر بیشتر است.

آزمون درصد جمع‌شدگی خشک شدن

نتایج درصد جمع‌شدگی خشک شدن ملات‌های سنگ آهک (سنتی) و ملات‌های پومیس به ترتیب در جدول 4-22 و جدول 4-23 داده شده است. شکل 4-13 مقایسه درصد جمع‌شدگی خشک شدن ملات‌ها را نشان می‌دهد. از شکل 4-13 موارد زیر را می‌توان بیان کرد [15]:

1. درصد جمع‌شدگی خشک شدن اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه سنگ آهک به‌ترتیب 0/12 و 0/07 است.
2. درصد جمع‌شدگی خشک شدن اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز ساخته شده از سنگدانه پومیس به‌ترتیب 0/25 و 0/17 است.
3. درصد جمع‌شدگی خشک شدن ملات‌های پومیس در مقایسه با ملات‌های سنگ آهک در هر دو مورد اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز بیشتر است.
4. در مورد اندودکاری پوشش اول درصد جمع‌شدگی خشک شدن ملات پومیس نسبت به ملات سنگ آهک 1/3 برابر بیشتر است.
5. در مورد اندود پوشش دوم /ملات درز درصد جمع‌شدگی خشک شدن ملات‌های پومیس نسبت به ملات‌های سنگ آهک 2/4 برابر بیشتر است.

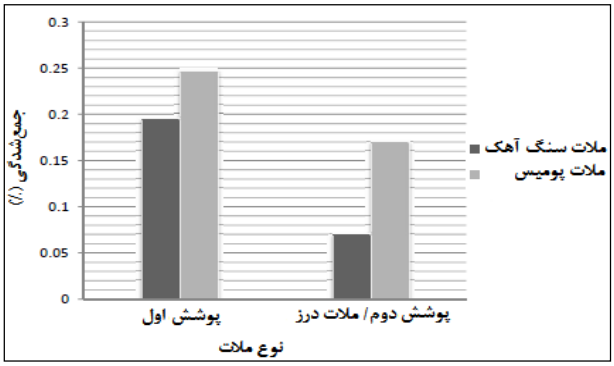
جدول 4-22: درصد جمع‌شدگی خشک شدن ملات سنگ آهک [15]

نوع ملات	شماره	بخش‌ها*					جمع‌شدگی خشک شدن (%)
		اولیه	4 روزه	11 روزه	18 روزه	25 روزه	
پوشش اول	1	1390	1291	1206	1154	1087	0/19
	2	1367	1213	1134	1091	1005	0/22
	3	1421	1357	1298	1231	1139	0/18
میانگین		1393	1287	1213	1159	1077	0/20
پوشش دوم / ملات درز	1	1105	1090	1037	994	949	0/09
	2	1237	1211	1193	1175	1132	0/07
	3	1075	1047	1011	988	965	0/07
میانگین		1139	1116	1080	1053	1015	0/07

* یک بخش برابر 0/001 میلیمتر است.

جدول 4-23: درصد جمع‌شدگی خشک شدن ملات پومیس [15]

نوع ملات	شماره	بخش‌ها					جمع‌شدگی خشک شدن (%)
		اولیه	4 روزه	11 روزه	18 روزه	25 روزه	
پوشش اول	1	1298	1109	1065	997	913	0/24
	2	1393	1226	1154	1035	986	0/25
	3	1206	1032	957	903	810	0/25
میانگین		1299	1122	1059	978	903	0/25
پوشش دوم / ملات درز	1	1253	1245	1160	1130	1005	0/16
	2	1321	1290	1176	1109	1034	0/18
	3	1374	1312	1275	1211	1117	0/16
میانگین		1316	1282	1204	1150	1052	0/17



شکل 4-13: مقایسه درصد جمع‌شدگی خشک شدن ملات سنگ آهک و پومیس [15]

آزمون مقاومت خمشی

نتایج مقاومت خمشی ملات‌های سنگ آهک (سنتی) و ملات‌های پومیس به ترتیب در جدول 4-24 و جدول 4-25 داده شده است. شکل 4-14 مقایسه مقاومت خمشی 7 روزه ملات‌های سنگ آهک و پومیس را نشان می‌دهد. شکل 4-15 مقایسه مقاومت خمشی 28 روزه ملات‌های سنگ آهک و پومیس را نشان می‌دهد. از شکل 4-15 موارد زیر را می‌توان بیان کرد [15]:

1. مقاومت خمشی 7 روزه ملات‌های اندودکاری پوشش اول سنگ آهک و پومیس به‌ترتیب 1/40MPa و 1/45 MPa است.
2. مقاومت خمشی 7 روزه ملات‌های پوشش دوم و ملات درز سنگ آهک و پومیس به‌ترتیب 0/78MPa و 1/06 MPa است.
3. مقاومت خمشی 7 روزه ملات پومیس نسبت به ملات سنگ آهک برای هر دو اندود پوشش اول و پوشش دوم/ملات درز بیشتر است.
4. در مورد اندود پوشش اول، مقاومت خمشی 7 روزه ملات‌های پومیس نسبت به ملات سنگ آهک 1/04 برابر بیشتر است.
5. برای مورد اندود پوشش دوم /ملات درز، مقاومت خمشی 7 روزه ملات‌های پومیس نسبت به ملات سنگ آهک 1/4 برابر بیشتر است.
6. مشاهده می‌شود که آهک به طور قابل توجهی باعث کاهش مقاومت خمشی می‌شود. نتایج نشان داد، برای هر دو ملات‌های سنگ آهک و پومیس مقاومت خمشی 7 روزه اندود پوشش اول نسبت به اندود پوشش دوم /ملات درز 1/4 برابر بیشتر است. از شکل 5-11، موارد زیر را می‌توان بیان کرد [15]:

1. مقاومت خمشی 28 روزه اندود پوشش اول ملات‌های سنگ آهک و پومیس به ترتیب 2/78 MPa و 2/83 MPa است.
2. مقاومت خمشی 28 روزه پوشش دوم و ملات درز ملات‌های سنگ آهک و پومیس به ترتیب 0/98 MPa و 1/79 MPa است.

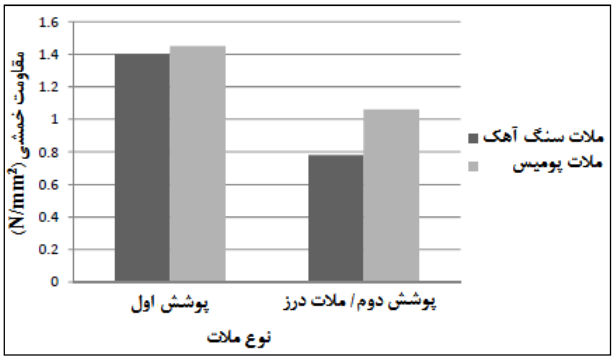
3. مقاومت خمشی ملات پومیس نسبت به ملات سنگ آهک برای هر دو اندود پوشش اول و پوشش دوم بیشتر است.
4. در مورد پوشش اول اندود، مقاومت خمشی 28 روزه ملات پومیس نسبت به ملات سنگ آهک 1/01 برابر بیشتر است.
5. در مورد پوشش دوم اندود، مقاومت خمشی 28 روزه ملات‌های پومیس نسبت به ملات‌های سنگ آهک 1/83 برابر بیشتر است.
6. نتایج نشان داد که مقاومت خمشی 28 روزه ملات پوشش اول سنگ آهک نسبت به ملات پوشش دوم اندود سنگ آهک 2/83 برابر بیشتر است. به همین ترتیب مقاومت خمشی 28 روزه ملات پوشش اول پومیس نسبت به ملات اندود پوشش دوم پومیس 1/58 برابر بیشتر است.

جدول 4-24: نتایج مقاومت خمشی ملات‌های سنگ آهک [15]

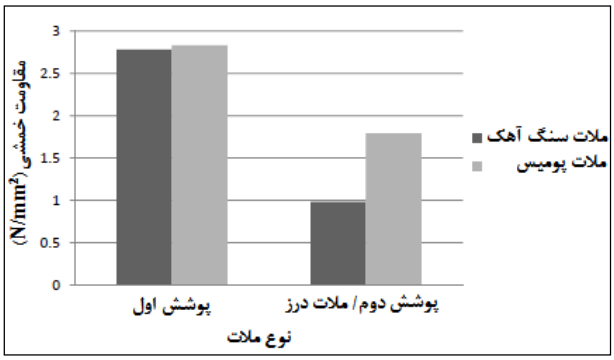
نوع	شماره	7 روزه		28 روزه	
		بار شکست (N)	مقاومت خمشی (MPa)	بار شکست (N)	مقاومت خمشی (MPa)
پوشش اول	1	899	1/40	1782	2/78
	2	921	1/44	1767	2/76
	3	877	1/37	1794	2/80
میانگین		899	1/40	1781	2/78
پوشش دوم / ملات درز	1	350	0/55	640	1/00
	2	560	0/88	623	0/97
	3	578	0/90	611	0/95
میانگین		496	0/78	625	0/98

جدول 4-25: نتایج مقاومت خمشی ملات‌های پومیس [15]

نوع	شماره	7 روزه		28 روزه	
		بار شکست (N)	مقاومت خمشی (MPa)	بار شکست (N)	مقاومت خمشی (MPa)
پوشش اول	1	916	1/43	1798	2/81
	2	934	1/46	1816	2/84
	3	931	1/45	1827	2/85
میانگین		927	1/45	1814	2/83
پوشش دوم / ملات درز	1	690	1/08	1170	1/83
	2	663	1/04	1141	1/78
	3	679	1/06	1127	1/76
میانگین		677	1/06	1146	1/79



شکل 4-14: مقایسه مقاومت خمشی 7 روزه ملات‌های سنگ آهک و پومیس [15]



شکل 4-15: مقایسه مقاومت خمشی 28 روزه ملات‌های سنگ آهک و پومیس [15]

آزمون مقاومت فشاری

نتایج مقاومت فشاری ملات‌های سنگ آهک و ملات‌های پومیس به‌ترتیب در جدول 4-26 و جدول 4-27 داده شده است. شکل 4-16 مقایسه مقاومت فشاری 7 روزه ملات‌های سنگ آهک و پومیس را نشان می‌دهد. شکل 4-17 مقایسه مقاومت فشاری 28 روزه ملات‌های سنگ آهک و پومیس را نشان می‌دهد. از شکل 4-17، موارد زیر را می‌توان بیان کرد [15]:

1. مقاومت فشاری 7 روزه ملات‌های اندود پوشش اول سنگ آهک و پومیس به‌ترتیب 6/02 MPa و 6/55 MPa است.
2. مقاومت فشاری 7 روزه ملات‌های پوشش دوم و ملات درز سنگ آهک و پومیس به‌ترتیب 2/15MPa و 3/21 MPa است.
3. مقاومت فشاری 7 روزه ملات پومیس نسبت به ملات سنگ آهک برای هر دو اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز بیشتر است.
4. مقاومت فشاری 7 روزه ملات اندود پوشش اول پومیس 1/1 برابر بیشتر از ملات سنگ آهک است.
5. مقاومت فشاری 7 روزه ملات‌های اندود پوشش دوم پومیس نسبت به ملات‌های سنگ آهک 1/5 برابر بیشتر است.
6. مشاهده می‌شود که آهک به طور قابل توجهی مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد. نتایج نشان داد که برای هر دو ملات سنگ آهک و پومیس مقاومت فشاری اندود پوشش اول نسبت به اندود پوشش دوم 2/5 برابر بیشتر است.

از شکل 5-13، موارد زیر را می‌توان بیان کرد [15]:

1. مقاومت فشاری 28 روزه ملات‌های اندودکاری پوشش اول سنگ آهک و پومیس به‌ترتیب 8/92 MPa و 9/48 MPa است.
2. مقاومت فشاری 28 روزه ملات‌های پوشش دوم و ملات درز سنگ آهک و پومیس به‌ترتیب 2/83 MPa و 5/20 MPa است.
3. مقاومت فشاری 28 روزه ملات پومیس نسبت به ملات سنگ آهک برای هر دو ملات اندود پوشش اول و پوشش دوم بیشتر است.
4. مقاومت فشاری 28 روزه ملات پوشش اول پومیس نسبت به ملات سنگ آهک 1/06 برابر بیشتر است.
5. مقاومت فشاری 28 روزه ملات پوشش دوم پومیس نسبت به ملات سنگ آهک 1/85 برابر بیشتر است.
6. مشاهده می‌شود که آهک به طور قابل توجهی مقاومت فشاری را کاهش می‌دهد. نتایج نشان داد که مقاومت فشاری 28 روزه پوشش اول ملات سنگ آهک نسبت به ملات اندود پوشش دوم سنگ

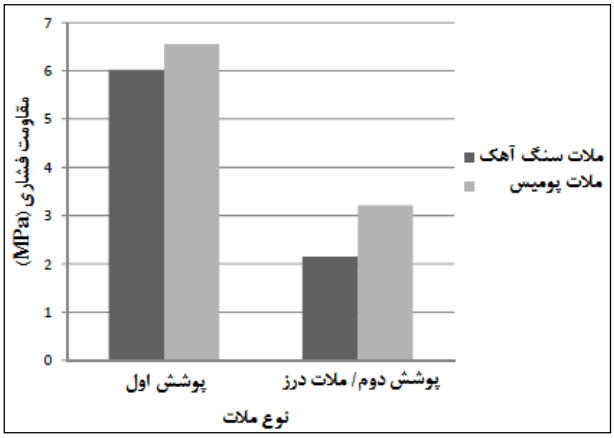
آهک 3/15 برابر بیشتر است. به همین ترتیب مقاومت فشاری 28 روزه اندود پوشش اول ملات پومیس نسبت به اندود پوشش دوم پومیس 1/82 برابر بیشتر است.

جدول 4-26: نتایج مقاومت فشاری ملات‌های سنگ آهک [15]

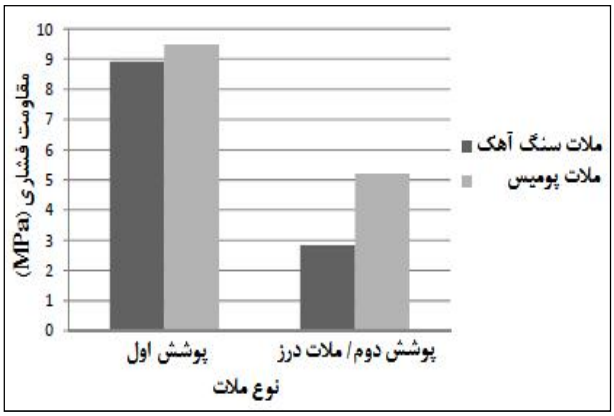
نوع	شماره	7 روزه		28 روزه	
		بار شکست (N)	مقاومت فشاری (MPa)	بار شکست (N)	مقاومت فشاری (MPa)
پوشش اول	1	9470	5/92	14608	9/13
	2	9450	5/91	14078	8/80
	3	9972	6/23	14123	8/83
میانگین		9631	6/02	14270	8/92
پوشش دوم / ملات درز	1	2990	1/87	4460	2/79
	2	3920	2/45	4590	2/87
	3	3430	2/14	4530	2/83
میانگین		3447	2/15	4527	2/83

جدول 4-27: نتایج مقاومت فشاری ملات‌های پومیس [15]

نوع	شماره	7 روزه		28 روزه	
		بار شکست (N)	مقاومت فشاری (MPa)	بار شکست (N)	مقاومت فشاری (MPa)
پوشش اول	1	10128	6/33	15280	9/55
	2	10543	6/59	15352	9/60
	3	10789	6/74	14875	9/30
میانگین		10487	6/55	15169	9/48
پوشش دوم / ملات درز	1	4220	2/64	8060	5/04
	2	5530	3/46	8780	5/49
	3	5680	3/55	8100	5/06
میانگین		5143	3/21	8313	5/20



شکل 4-16: مقایسه مقاومت فشاری 7 روزه ملات‌های سنگ آهک و پومیس [15]



شکل 4-17: مقایسه مقاومت فشاری 28 روزه ملات‌های سنگ آهک و پومیس [15]

آزمون سرعت پالس فراصوت

نتایج سرعت پالس فراصوت ملات‌های سنگ آهک و ملات‌های پومیس به‌ترتیب در جدول 4-28 و جدول 4-29 داده شده است. شکل 4-18 مقایسه سرعت پالس فراصوت ملات‌های سنگ آهک و پومیس را نشان می‌دهد. از شکل 4-18، موارد زیر را می‌توان بیان کرد [15]:

1. سرعت‌های پالس فراصوت ملات‌های اندود پوشش اول و پوشش دوم/درز ساخته شده از سنگدانه سنگ آهک به‌ترتیب 3/32 km/s و 2/51 km/s است.
2. سرعت‌های پالس فراصوت ملات‌های اندود پوشش اول و پوشش دوم/درز ساخته شده از سنگدانه پومیس به‌ترتیب 2/89 km/s و 2/40 km/s است.

3. سرعت‌های پالس فراصوت ملات‌های سنگ آهک نسبت به ملات‌های پومیس برای هر دو ملات اندود پوشش اول و پوشش دوم بیشتر است.

4. سرعت پالس فراصوت به طور مستقیم به چگالی مواد مرتبط است. چگالی بیشتر سرعت پالس فراصوت بالاتری را نتیجه می‌دهد. بنابراین سرعت پالس فراصوتی بالاتر، چگالی بیشتر و تخلخل کمتر در مواد را نشان می‌دهد. سرعت پالس فراصوت ملات سنگ آهک در مقایسه با ملات پومیس به علت تفاوت در وزن واحد سنگدانه‌ها 1/1 برابر بیشتر است.

5. آهک باعث کاهش سرعت پالس فراصوت می‌شود. مشاهده شده است که ملات اندود پوشش اول نسبت به ملات اندود پوشش دوم برای هر دو ملات سنگ آهک و پومیس 1/3 برابر بیشتر است.

جدول 4-28: سرعت‌های پالس فراصوت ملات‌های سنگ آهک [15]

نوع	شماره	زمان انتقال (msec)	سرعت (km/s)
پوشش اول	1	30/3	3/3
	2	30/7	3/26
	3	29/5	3/39
میانگین		30/2	3/32
پوشش دوم / ملات درز	1	39/5	2/53
	2	39/8	2/51
	3	40/2	2/49
میانگین		39/8	2/51

جدول 4-29: سرعت‌های پالس فراصوت ملات‌های پومیس [15]

نوع	شماره	زمان انتقال (msec)	سرعت (km/s)
پوشش اول	1	33/6	2/98
	2	35/4	2/82
	3	34/9	2/87
میانگین		34/6	2/89
پوشش دوم / ملات درز	1	41/2	2/43
	2	41/7	2/4
	3	41/9	2/39
میانگین		41/6	2/4

شکل 4-18: مقایسه سرعت‌های پالس فراصوت ملات‌های سنگ آهک و پومیس [15]

ضریب هدایت حرارتی سیستم‌های دیوار

ضریب هدایت حرارتی، λ ، مقدار حرارت (انرژی) عبور کرده از مساحت $1\ m^2$ مواد همگن به ضخامت یک متر برای اختلاف دمای یک درجه بین دو سطح در واحد زمان است. λ بر حسب W/mK بیان می‌شود. آزمون ضریب هدایت حرارتی با جعبه گرم کالیبره شده در مورد سیستم‌های دیوار ساخته شده از ملات/اندود پومیس و سنگ آهک و انواع متفاوت بلوک بنایی و آجر رسی انجام شد. با استفاده از نتایج آزمون می‌توان بیان کرد [15]:

1. ضریب هدایت حرارتی سیستم‌های دیوار بلوک پومیس ساخته شده با ملات /اندود پومیس در مقایسه با سیستم‌های دیوار بلوک پومیس ساخته شده با ملات /اندود سنگ آهک کمتر است.
2. ضریب هدایت حرارتی سیستم دیوار آجر رسی نسبت به سیستم‌های دیوار بلوک پومیس ساخته شده با ملات /اندود سنگ آهک و ملات /اندود پومیس به‌ترتیب 1/7 و 2 برابر بیشتر است.
3. مشاهده می‌شود که استفاده از ملات /اندود پومیس در سیستم‌های دیوار به جای ملات /اندود سنگ آهک حدود 16% عایق‌کاری حرارتی اضافی در دیوار ایجاد می‌کند. وزن واحد ملات سنگ آهک نسبت به ملات پومیس 1/7 برابر بیشتر است. به‌طور کلی، مهم‌ترین عامل موثر بر ظرفیت عایق‌کاری حرارتی کاهش وزن واحد مواد است. این ناشی از آن است که مواد سبک‌تر خصوصیات عایق‌کاری حرارتی بهتری فراهم می‌کنند. وزن واحد کمتر مواد منجر به ضریب هدایت حرارتی پایین‌تر یعنی عملکرد بهتر عایقکاری حرارتی می‌شود.
4. ضریب هدایت حرارتی مهم‌ترین خاصیت ماده برای بیان عملکرد آن بر اساس عایقکاری حرارتی است. به طور کلی عایقکاری حرارتی به عنوان مقاومت مواد برای کاهش جریان گرما در مواد تعریف می‌شود. ضریب هدایت حرارتی کمتر عایق حرارتی بهتری را نشان می‌دهد. برای مثال، ضریب هدایت حرارتی صفر برای ماده به معنی عدم جریان گرما از درون آن است.

5-1-4 نتیجه‌گیری کلی

یافته‌های پژوهش نشان داد که خواصی از ملات‌های پومیس که مقادیر کمتری را در مقایسه با ملات‌های سنگ آهک نشان می‌دهند عبارتند از: عمر کارایی، زمان گیرش، وزن واحد ملات تازه، وزن واحد ملات سخت شده و سرعت پالس فراصوت. خواص ملات‌های پومیس که مقدار بیشتری را در مقایسه با ملات‌های سنگ آهک نشان می‌دهد، عبارتند از: درصد جذب آب، ضریب جذب مویینه آب، درصد جمع‌شدگی خشک شدن، مقاومت خمشی و مقاومت فشاری. ضریب انتقال حرارتی سیستم دیوار ساخته شده با ملات /اندود پومیس در مقایسه با سیستم دیوار ساخته شده با ملات /اندود سنگ آهک کمتر است[15].

غلظت ملات تازه- عمر کارایی ملات سنگ آهک نسبت به ملات‌های پومیس در مورد هر دو اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز بیشتر است. بنابراین، با توجه به سرعت سفت شدن بیشتر، مدت زمان کارپذیری ملات‌های پومیس در مقایسه با ملات سنگ آهک کم تر است [15].

زمان گیرش- زمان گیرش ملات‌های سنگ آهک در هر دو مورد زمان‌های گیرش اولیه و نهایی نسبت به ملات‌های پومیس بیشتر است. در واقع، زمان گیرش به طور مستقیم به مدت زمان کارایی ملات‌ها بستگی دارد. این بدان معنی است که زمان گیرش بالاتر باعث مدت زمان بیشتر کارایی ملات شده است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد، رابطه مستقیم بین مدت زمان کارایی و زمان گیرش ملات‌ها وجود دارد [15].

وزن واحد ملات تازه- وزن واحد تازه ملات‌های سنگ آهک نسبت به ملات‌های پومیس در هر دو مورد اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز بالاتر است. این بدان معنی است که ملات‌های ساخته شده از سنگدانه سنگ آهک در واحد حجم در مقایسه با ملات ساخته شده از سنگدانه پومیس سنگین تر است. روشن است که خواص سنگدانه‌ها به طور مستقیم بر واحد وزن ملات تاثیرگذار است. بنابراین استفاده از ملات و اندود پومیس در ساخت دیوار باعث کاهش محسوس بار مرده ساختمان خواهد شد [15].

وزن واحد ملات سخت شده- وزن واحد سخت شده ملات‌های سنگ آهک نسبت به ملات‌های پومیس در هر دو مورد اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز بیشتر است. این بدان معنی است که ملات‌های سنگ آهک در واحد حجم در مقایسه با ملات‌های پومیس به علت خواص سنگدانه‌ها سنگین‌تر هستند. بنابراین، استفاده از ملات و اندود پومیس در ساخت دیوار باعث کاهش محسوس بار مرده ساختمان خواهد شد [15].

جذب آب- درصد جذب آب ملات‌های پومیس نسبت به ملات سنگ آهک در هر دو مورد اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز بیشتر است. با توجه به خواص سنگدانه‌ها یافته‌ها نشان می‌دهد ظرفیت جذب آب ملات‌های پومیس، به طور قابل توجهی در مقایسه با ملات‌های سنگ آهک بیشتر است. همان طور که به خوبی شناخته شده است سنگدانه‌های پومیس شامل تا 80٪ حفره‌های هوا

می‌باشند. به این دلیل درصد جذب آب سنگدانه پومیس نسبت به سنگدانه سنگ آهک استفاده شده در این تحقیق حدود 10 برابر بیشتر است. بنابراین استفاده از سنگدانه اشباع پومیس ظرفیت جذب آب ملات‌ها را کاهش خواهد داد [15].

ضریب جذب آب موئینه- ضریب جذب آب موئینه ملات‌های پومیس نسبت به ملات‌های سنگ آهک در هر دو مورد اندود پوشش اول و پوشش دوم / ملات درز بیشتر است. ارتباط مستقیم بین جذب موئینه و تخلخل مصالح ساختمانی وجود دارد. استفاده از سنگدانه پومیس اشباع، ضریب جذب آب موئینه ملات‌های پومیس را کاهش خواهد داد [15].

درصد جمع‌شدگی خشک شدن- درصد جمع‌شدگی خشک شدن ملات‌های پومیس نسبت به ملات‌های سنگ آهک بیشتر است. جمع‌شدگی خشک شدن ملات‌ها در نتیجه از دست دادن آب در فرآیند خشک شدن است که باعث کاهش حجم (جمع‌شدگی) ملات‌ها می‌شود. جمع‌شدگی خشک شدن به طور مستقیم با نسبت آب /سیمان متناسب است. هنگامی که به ملات سخت شده و در آب عمل‌آوری شده، اجازه خشک شدن داده شود ابتدا آب منافذ خود را از دست می‌دهد و شروع به جمع شدن در طول خشک شدن بیشتر می‌کند. بنابراین، منافذ پر از آب سنگدانه‌های پومیس در ملات پومیس منجر به از دست دادن آب بیشتر در خشک شدن می‌شود. این باعث کاهش حجم (جمع-شدگی) بیشتر ملات‌های پومیس می‌شود. در نتیجه می‌توان دریافت خطر ترک خوردگی جمع‌شدن در ملات/اندود پومیس نسبت به ملات/اندود سنگ آهک بیشتر است. بنابراین جمع‌شدگی کمتر و در نتیجه خطر کمتر ترک خوردگی جمع‌شدن ملات/اندود مطلوب است [15].

مقاومت خمشی- مقاومت خمشی (در عمرهای 7 و 28 روز) ملات‌های پومیس نسبت به ملات‌های سنگ آهک در مورد هر دو اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز بیشتر است. همان طور که به خوبی شناخته شده، پومیس یک ماده پوزولانی است. پوزولان‌ها مواد آتشفشانی سیلیسی و آلومینو-سیلیسی[1] هستند. به تنهایی خصوصیات هیدرولیکی از خود نشان نمی‌دهند. این مواد طبیعی هنگامی که بسیار خوب ریز شوند خصوصیات پیوند هیدرولیکی‌شان را به وسیله واکنش شیمیایی با کلسیم هیدروکسید در دمای عادی در شرایط مرطوب نشان می‌دهند. استفاده از پومیس در بتن یا ملات به عنوان پوزولان کمک می‌کند. به ویژه، دانه‌های پودر پومیس (ذرات بسیار ریز) هنگامی که در ملات حضور دارد، باید به روشی فعال به عنوان پوزولان استفاده شوند. بنابراین سنگ‌دانه پومیس بسیار ریز مزایای مهمی برای افزایش مقاومت و دوام مخلوط فراهم می‌کند [15].

مقاومت فشاری- مقاومت فشاری (در عمرهای 7 و 28 روز) ملات‌های پومیس نسبت به ملات‌های سنگ آهک در هر دو مورد اندود پوشش اول و پوشش دوم /ملات درز بیشتر است. این به خاطر فعالیت شدید پوزولانی سنگدانه‌های پومیس است. استفاده از پودر سنگدانه پومیس (ذرات بسیار ریز) در ملات‌ها موجب افزایش مقاومت مخلوط می‌شود [15].

---

1 -Alumino-siliceous volcanic tuffs

ضریب هدایت حرارتی - یافته‌های پژوهش نشان داد که ضریب هدایت حرارتی سیستم دیوار ساخته شده با ملات /اندود پومیس در مقایسه با سیستم‌های دیوار ساخته شده با ملات /اندود آهک کمتر است. به طور کلی مهم‌ترین عامل در ظرفیت عایق‌کاری حرارتی، وزن واحد مواد است. مواد سبک‌تر خواص عایق‌کاری حرارتی بهتری فراهم می‌کنند. وزن واحد کم مواد، ضریب هدایت حرارتی کمتری را نتیجه می‌دهد که به معنی عملکرد بهتر عایق‌کاری حرارتی است. علاوه بر این خصوصیات عایق‌کاری حرارتی سیستم‌های دیوار بلوک پومیس همچنین مرتبط به هندسه بلوک و مشخصه خواص سنگ پومیس است. از طرفی، کیفیت ملات و اندود مورد استفاده در ساخت دیوار می‌تواند به طور قابل توجهی خواص عایق‌کاری حرارتی سیستم دیوار بلوک پومیس را بهبود بخشد. یافته‌های پژوهش همچنین نشان داد که تفاوت قابل توجهی بین ضریب هدایت حرارتی سیستم دیوار بلوک پومیس و سیستم دیوار آجر رسی سنتی وجود دارد. ضریب انتقال حرارتی سیستم دیوار آجر رسی در مقایسه با سیستم‌های دیوار بلوک پومیس حدود 1/5 برابر بیشتر است. در ساختمان‌های مسکونی، استفاده از بلوک پومیس به جای آجر رسی حدود 45-35% صرفه‌جویی در انرژی مورد استفاده در گرمایش و سرمایش فراهم می‌کند. استفاده از ملات/اندود پومیس به جای ملات /اندود سنگ‌آهک (سنتی) در سیستم دیوار بلوک پومیس حدود 16% عملکرد عایق‌کاری حرارتی دیوار را بهتر می‌کند [15].

تحلیل اقتصادی هزینه بین ملات پومیس و ملات سنگ آهک

جدول زیر تجزیه قیمت اولیه ملات ساخته شده از پومیس و سنگ‌دانه‌های سنگ آهک برای ساخت یک متر مربع دیوار را نشان می‌دهد [15].

در ساخت دیوار با مساحت $1m^2$، استفاده از ملات و اندود ساخته شده از سنگ‌دانه پومیس در مقایسه با ملات و اندود سنگ آهک (سنتی) 12% گران‌تر خواهد بود. با این حال می‌توان از نتایج مشاهده کرد که سیستم دیوار ساخته شده با ملات /اندود پومیس در مقایسه با سیستم‌های دیوار ساخته شده با ملات /اندود سنگ آهک حدود 16% عملکرد عایق‌کاری حرارتی بهتری را فراهم می‌کند. این نشان می‌دهد با وجود این که هزینه‌های اولیه ملات پومیس نسبت به ملات سنگ آهک بیشتر است، با استفاده از ملات/اندود پومیس عملکرد عایق‌کاری حرارتی بهتری به دست خواهد آمد. بنابراین انرژی کمتری مصرف شده و در مصرف انرژی بیشتر صرفه‌جویی خواهد شد. علاوه بر این از دیگر مزیت‌های فنی مهم، وزن واحد کمتر ملات پومیس است. ملات/اندود ساخته شده از سنگدانه سنگ آهک 1/65 برابر بیشتر از ملات/اندود ساخته شده از سنگدانه پومیس است. بنابراین، استفاده از ملات و اندود پومیس در ساخت دیوار باعث کاهش قابل توجهی در بار مرده ساختمان خواهد شد. با توجه به نتایج این مطالعه، ملات/اندود سبک پومیس را می‌توان برای به دست آوردن عایق‌کاری حرارتی بهتر و کاهش وزن خود یا بار مرده در ساختمان استفاده کرد.

جدول 4-30: تحلیل اولیه قیمت برای ملات پومیس و سنگ آهک [15]

	نوع سنگ‌دانه	پومیس	سنگ آهک
	هزینه واحد سنگ‌دانه	85	30
اندود پوشش اول	مقدار سنگ‌دانه (kg/m2)	4	10
	هزینه سنگ‌دانه (TL/m2*)	0/34	0/3
	هزینه (TL/m2)	6/8	6
اندود پوشش دوم/ ملات درز	مقدار سنگ‌دانه (kg/m2)	16	40
	هزینه سنگ‌دانه (TL/m2)	1/36	1/2
	هزینه (TL/m2)	25	22
	هزینه کل (TL/m2)	31/8	28

* لیر ترکیه

4-2 توسعه ملات‌های سبک با هدف دستیابی به مقاومت بالا، چگالی کم و نفوذپذیری پائین

مقاله "توسعه ملات‌های سبک با هدف دستیابی به مقاومت بالا، چگالی کم و نفوذپذیری پائین" نوشته پسیسز[1] به معرفی روش‌شناسی طرح اختلاط برای توسعه ملات‌های سبک پایه سیمانی می‌پردازد. سبک‌دانه شیشه منبسط (اسفنجی) در این مطالعه به عنوان مواد سبک استفاده شده است. طرح اختلاط با کاربرد فرضیه تراکم[2] با استفاده از مدل اصلاح شده اندریاسن[3] و اندرسن[4] برای به دست آوردن منحنی بهینه‌ی دانه‌بندی تمام مواد جامد در مخلوط توسعه داده شد. دو ملات خودتراکم و یک ملات لرزانده (ویبره) شده متداول طراحی شد. ملات‌های توسعه یافته دارای ضریب هدایت حرارتی کم با حفظ خواص مکانیکی خوب بودند. نفوذپذیری ملات‌های توسعه یافته بر اساس اندازه‌گیری‌های جذب آب مویین، نفوذ آب تحت فشار و خواص انتقال یون کلراید کمی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که ملات‌های خودتراکم تولیدی بسیار نفوذپذیر هستند در حالی که نفوذپذیری ملات لرزانده شده خیلی پائین است. زمانی که بخش‌های اندازه ریز سبکدانه‌ها مورد استفاده قرار گرفت، کامپوزیت‌های تولیدی بسیار نفوذپذیر بودند. از طرف دیگر، ملات سبک با نفوذپذیری کم توسط ترکیب خمیر سیمان با کیفیت خوب (نسبت آب به سیمان کم) با ماسه دارای چگالی معمول و بخش‌های اندازه درشت سبکدانه‌ها (1-4 mm) توسعه داده شد [14].

تا کنون بتن و ملات، پرمصرف‌ترین مصالح ساختمانی ساخته شده توسط انسان هستند. اگر چه بتن سبکدانه (LWAC)[5] مصالحی شناخته شده است و از دوران باستان (حدود 3000 سال قبل) مواد

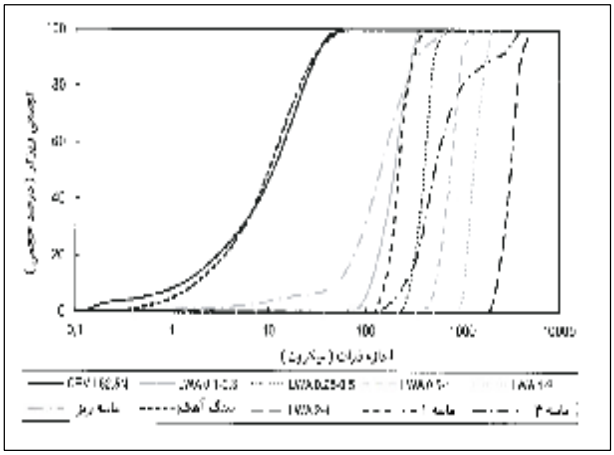
1 - Spisez
2 -Packing
3 -Andreasen
4 -Andersen
5 -Lightweight aggregate concrete

آتشفشانی به عنوان سبک‌دانه مورد استفاده قرار می‌گرفت، اهمیت آن هنوز هم بسیار زیاد است. به دلیل مزایای متعدد از قبیل چگالی کم، عایق حرارتی خوب و مقاومت خوب در برابر آتش اخیرا بتن سبکدانه به طور گسترده‌ای در هر دو کاربرد سازه‌ای و غیرسازه‌ای توسعه یافته و استفاده شده است. با این وجود، هنوز عدم تمایل شدیدی برای استفاده از بتن سبک‌دانه وجود دارد چون انتظار می‌رود در مقایسه با بتن نوع معمولی با چگالی معمول دارای نفوذپذیری بیشتر (دوام کمتر) و مقاومت مکانیکی ضعیف‌تری باشد. تا کنون مطالعات نظام‌مند بر روی روش طراحی اختلاط بتن سبکدانه بر اساس عملکرد چنین بتنی انجام نشده است. معمولا، طراحی بتن سبک‌دانه در فقط یکی از خواص مواد یعنی چگالی پائین (ضریب هدایت حرارتی کم) متمرکز شده است. در این گونه طراحی، خصوصیات دوام گنجانده نمی‌شود. با توجه به تخلخل زیاد، سبک‌دانه‌ها به طور بالقوه می‌توانند بسیار نفوذپذیر باشند، که به طور قابل توجهی نفوذپذیری کلی بتن را افزایش می‌دهند [14].

هدف از این پژوهش ارائه روش‌شناسی طرح اختلاط برای ملات‌های سبک پایه سیمانی دارای توازن مناسبی بین خواص فیزیکی (مقاومت فشاری و خمشی) و چگالی (ضریب هدایت حرارتی) در حالت سخت شده، است. به علاوه، خواص مربوط به دوام ملات‌های تولید شده، خواص انتقال آب (جذب آب مویین، نفوذ آب تحت فشار) و خصوصیات انتقال یون کلراید (نفوذ یون کلراید طبیعی و تسریع شده) مورد بررسی قرار می‌گیرد [14].

4-2-1 مواد مورد استفاده

سیمان استفاده شده در این مطالعه سیمان پرتلند معمولی CEM I 52.5 N تولید شده توسط ENCI کشور هلند است. فوق روان کننده پلی کربوکسیلیک پایه اتری برای تنظیم کارایی مورد استفاده قرار گرفت. سبک‌دانه شیشه منبسط در دسترس تجاری به همراه سنگ‌دانه با چگالی معمول (ماسه شکسته با بخش اندازه‌های 0 تا 1 میلی‌متر و 0 تا 4 میلی‌متر و ماسه ریز با حداکثر اندازه ذرات 1 میلی‌متر) مورد استفاده قرار گرفت. مواد مصرفی در جدول 4-31 و شکل 4-19 آورده شده است [14].



LWA = سبکدانه

شکل 4-19: توزیع اندازه ذرات مواد مصرفی [14]

همان طور که در جدول 4-31 دیده می‌شود 5 بخش اندازه مختلف از سبکدانه در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته است: 0/3-0/1 mm، 0/5-0/25 mm، 1-0/5 mm، 2-1 mm و 4-2 mm. نظر به این که سبکدانه می‌تواند مقدار معینی آب آزاد را از مخلوط قبل از گیرش جذب کند، جذب آب سبک-دانه عامل مهمی در طراحی و فرآیند تولید بتن سبک‌دانه است. با این حال سبک‌دانه مورد استفاده در این مطالعه قابلیت جذب آب پائینی بسته به بخش اندازه آنها دارد. جذب آب اندازه‌گیری شده 1 ساعته بین 0/5 تا 1 درصد وزنی سنگ‌دانه‌ها بود. چنین جذب آب کمی می‌تواند به دلیل ساختار سلولی منحصر به فرد سبک‌دانه مورد استفاده در این پژوهش باشد. چنانچه در شکل 4-20 دیده می‌شود، سنگدانه از پوسته خارجی بسته و تعدادی منافذ هوایی داخلی محصور شده با آن پوسته تشکیل شده است [14].

جدول 4-31: خصوصیات مواد مصرفی [14]

مواد	نوع	چگالی (kg/m^3)
سیمان	CEM I 52.5 N	3180
پرکننده	پودر سنگ آهک	2710
ماسه ریزدانه	ماسه ریز	2720
ماسه ریزدانه	ماسه 0 تا 1 میلی‌متر	2650
ماسه درشت دانه	ماسه 0 تا 4 میلی‌متر	2650
سبک‌دانه	شیشه منبسط	810-310*
فوق روان کننده	اتر پلی کربوکسیلات	1100

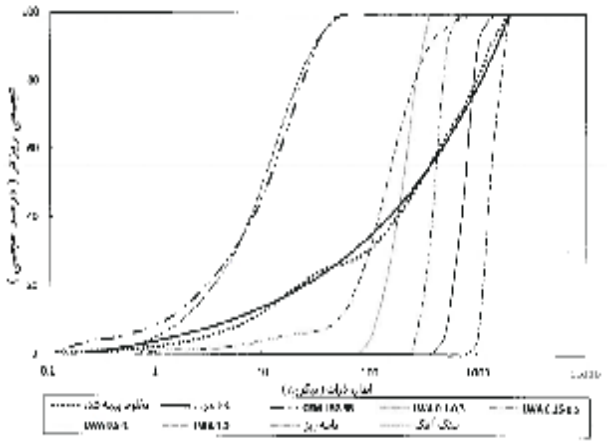
* به بخش اندازه وابسته است

شکل 4-20: تصویر توسط میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) از سطح خارجی
الف) سبک‌دانه 0/3-0/1 mm ب) سبک‌دانه 2-1 mm و ج) ساختار داخلی سبکدانه 2-1 mm

بنابراین، افزایش تخلخل زیاد در مواد به وسیله سبک‌دانه لزوما منجر به نفوذپذیری زیاد ملات‌های سبک تولید شده نمی‌شود، چون منافذ سبک‌دانه بسته باقی می‌ماند [14].

طرح اختلاط: در این مطالعه سه مخلوط ملات، با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی تراکم ذرات بر اساس معادله اصلاح شده اندریاسن و اندرسن برای تراکم ذرات جامد با دانه‌بندی پیوسته توسعه داده شد. دو مورد از این مخلوط‌ها ملات‌های خودتراکم بودند در حالی که سومی ملات لرزانده شده متداول بود. برای تولید ملات‌های خودتراکم مقدار زیاد مواد ریزدانه باید به کار رود و بنابراین علاوه بر سیمان و پودر سنگ آهک، بخش‌های اندازه ریز سبک‌دانه مورد استفاده قرار گرفت [14].

برای ملات لرزانده شده مقدار زیاد ریزدانه‌ها لازم نیست و بنابراین فقط درشت‌ترین بخش اندازه سبک‌دانه (2-1 mm و 4-1 mm) بدون پودر سنگ آهک مورد استفاده قرار گرفت. بهینه‌سازی منحنی دانه‌بندی مخلوط طبق معادله اندریاسن و اندرسن به افزایش چگالی متراکم همه ذرات جامد موجود در مخلوط کمک می‌کند. این بهینه‌سازی مخصوصا از نقطه نظر خصوصیات مکانیکی مواد سخت شده با اهمیت است، تا بخش فضاهای خالی به حداقل برسد که به نوبه خود باعث افزایش مقاومت می‌شود. به طور معمول، افزایش بخش فضاهای خالی در بتن یا ملات سبک معمولا برای کاهش چگالی مواد مورد نیاز است. با این وجود، در روش به کار رفته در این مطالعه، مواد با چگالی کم توسط برنامه سبک‌دانه که قبلا در بخش اندازه‌های مختلف برای بهبود چگالی ملات سبک شرح داده شد به کار رفت. بنابراین، حجم فضاهای خالی هوایی را می‌توان توسط تراکم فشرده جامدها به حداقل رساند که به افزایش مقاومت ملات کمک خواهد کرد. انتظار می‌رود که مواد طراحی شده توسط این روش خواص مکانیکی کافی و همچنین چگالی کم داشته باشند. کاربرد سبکدانه با تخلخل بسته زیاد و تخلخل باز کم چنانچه در شکل 4-21 نشان داده شده است، همچنین به نفوذپذیری کم ملات‌های سخت شده منجر می‌شود، به طوری که سیالات نفوذکننده به ماده نمی‌توانند به داخل سبک‌دانه نفوذ کنند [14].



شکل 4-21: توسعه منحنی ملات خودتراکم نوع یک با منحنی هدف (SCLM1) [14]

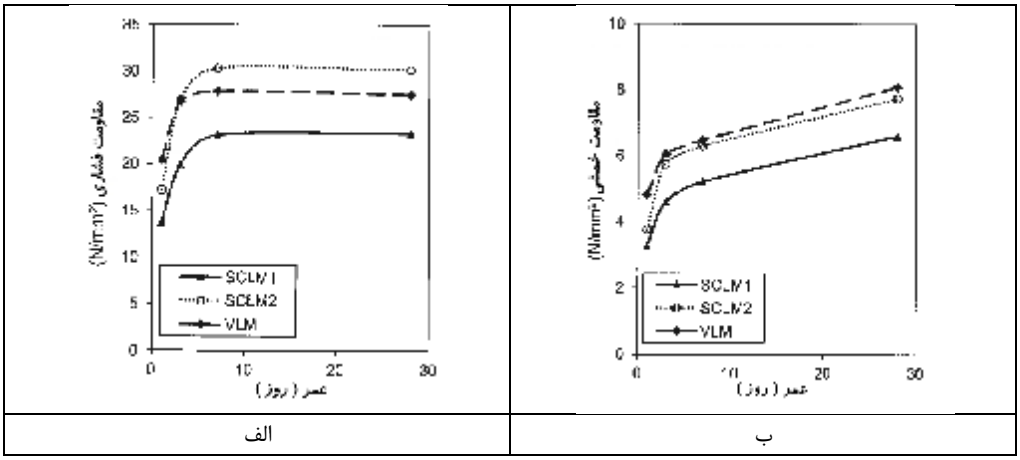
در مرحله طرح اختلاط، منحنی دانه‌بندی مخلوط هدف با استفاده از معادله اصلاح شده اندریاسن و اندرسن تعیین شد. در پی آن، سهم‌بندی مواد استفاده شده در طراحی مخلوط تنظیم شد تا تناسب بهینه بین مخلوط تشکیل شده و منحنی هدف به دست آید. این کار با استفاده از یک الگوریتم بهینه‌سازی بر اساس روش حداقل مربعات انجام شد. به این صورت که انحراف بین منحنی هدف و منحنی مخلوط ترکیب شده کمینه شود. نشان داده شد که بهینه‌سازی منحنی دانه‌بندی مخلوط برای پیروی از منحنی هدف، بخش فضاهای خالی در مخلوط را حداقل خواهد کرد و خصوصیات رفتار حالت تازه را بهبود می‌دهد. به عنوان مثال شکل 4-22 منحنی دانه‌بندی بهینه شده اولین ملات سبک خودتراکم (SCLM) تهیه شده را نشان می‌دهد. سهم‌بندی مخلوط دو ملات سبک خودتراکم بهینه شده (SCLM) و یک ملات سبک لرزانده شده متداول (VLM) در جدول 4-32 نشان داده شده است. مقدار مشابه سیمان در تمامی مخلوط‌ها استفاده شد. دو ملات خودتراکم طراحی شده در مقدار سبکدانه استفاده شده با هم متفاوت بود. چگالی طراحی شده ملات لرزانده شده مشابه چگالی ملات خودتراکم دوم (SCLM2) به منظور مقایسه خصوصیات ملات خودتراکم و ملات لرزانده شده با چگالی مشابه انتخاب شد [14].

4-2-2 اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی، چگالی و آزمون‌های مقاومت

آزمون‌های مقاومت فشاری و خمشی در مورد منشورهای ملات با ابعاد 40x40x160mm در عمرهای 1، 3، 7 و 28 روز مطابق با استاندارد EN 196-1 انجام شد. هر آزمون بر روی سه منشور صورت پذیرفت. مقاومت‌های به دست آمده در شکل 5-18 نشان داده شده است. چگالی و ضریب هدایت حرارتی ملات‌ها در مورد مکعب‌هایی به ابعاد 100x100x100mm در عمرهای 28 روز اندازه‌گیری شد. نتایج این اندازه‌گیری‌ها در جدول 4-33 آورده شده است [14].

جدول 4-32: ترکیب ملات‌های طراحی شده [14]

مواد	SCLM1 (kg/m^3)	SCLM2 (kg/m^3)	VLM (kg/m^3)
CEM I 52.5 N	425/3	423/5	419/7
پودر سنگ آهک	111/9	259/6	-
ماسه 4-0	-	-	407/0
ماسه 1-0	-	95/6	-
ماسه ریز	381/5	424/6	306/0
سبکدانه 0/3-0/1	56/0	68/3	-
سبکدانه 0/5-0/25	44/8	-	-
سبکدانه 1/0-0/5	56/0	54/9	-
سبکدانه 2/0-1/0	44/8	39/4	36/6
سبکدانه 4/0-2/0	-	1	71/6
فوق روان‌کننده (درصد وزنی سیمان)	1/0	1/0	0/8
آب	250/9	230/3	159/4
نسبت آب به سیمان	0/59	0/54	0/38
نسبت آب به پودر	0/35	0/26	0/29
حجم سبکدانه (dm^3/m^3)	404/2	318/7	412/6
تخلخل کل	47/5	38/4	42/0



ب | الف

شکل 4-21: نتایج (الف): آزمون مقاومت فشاری و (ب): آزمون مقاومت خمشی[14]

جدول 4-33: نتیجه اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی و چگالی [14]

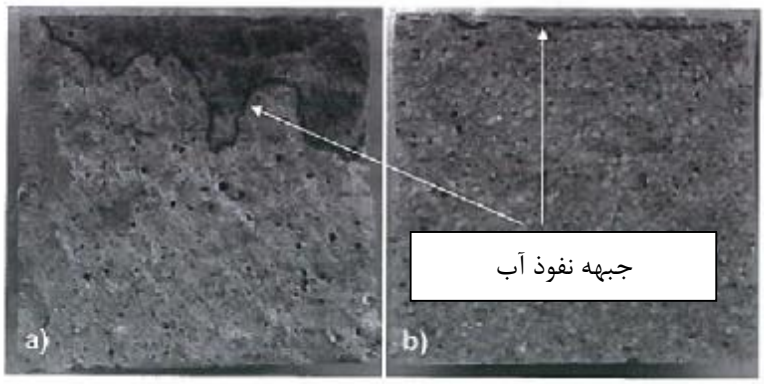
نوع مخلوط	چگالی Kg/m^3	ضریب هدایت حرارتی W/(m.K)
SCLM1	1280	0/485
SCLM1	1460	0/738
VLM	1490	0/847
شاهد	2300	1/700

در شکل 4-21 می‌توان مشاهده کرد مقاومت اندازه‌گیری شده ملات‌های توسعه یافته تابعی از نسبت آب به پودر در مرحله طراحی است. به علاوه می‌توان مشاهده کرد بیشترین مقاومت فشاری در ملات با کمترین حجم سبک‌دانه به دست می‌آید. همه ملات‌های توسعه یافته دارای مقاومت خمشی و فشاری خوب است که اجازه می‌دهد از آن‌ها در کاربری‌های سازه‌های باربر به جای ملات یا بتن‌های معمولی استفاده کرد [14].

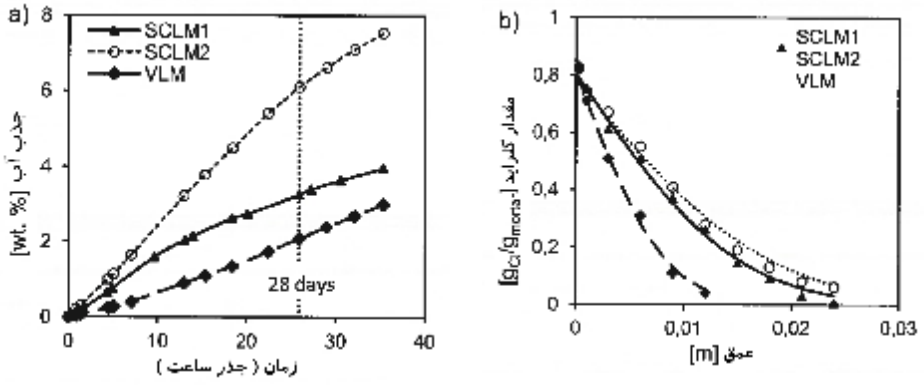
می‌توان در جدول 4-33 مشاهده کرد که با افزیش چگالی، ضریب هدایت حرارتی هر سه ملات توسعه یافته نیز افزایش می‌یابد. با این وجود که ملات‌های به‌دست آمده در این مطالعه خصوصیات مکانیکی بهتری نسبت به ملات‌های سبک دارند، ضریب هدایت حرارتی به دست آمده در محدوده ضریب هدایت حرارتی ملات‌های سبک است. این مورد را می‌توان به روش طرح اختلاط به کار گرفته شده مخلوط نسبت داد که به بهبود چگالی متراکم اجزای جامد کمک می‌کند. ضریب هدایت حرارتی ملات خودتراکم نوع 1 (SCLM1) حدود 4 برابر کمتر از ملات شاهد با چگالی نرمال است. در همان زمان، مقاومت ملات شاهد (حدود N/mm^2 55) حدود 2 برابر بیشتر از ملات خودتراکم نوع 1 (SCLM1) است [14].

4-2-3 آزمون‌های نفوذپذیری آب، مکش مویینه و نفوذ کلراید

آزمون نفوذپذیری آب در مورد آزمونه‌های مکعب شکل با ابعاد mm 150×150×150 در عمر 28 روز مطابق با استاندارد EN 12390-8 انجام شد. سه مکعب برای هر مخلوط ملات آماده شده با اعمال آب تحت فشار 5 بار برای 72 ساعت مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش‌های انجام شده بر روی مکعب‌های ملات خودتراکم نوع 1 و 2 (SCLM1 و SCLM2) تنها بعد از چند ساعت از شروع آزمون با توجه به آن که مقدار زیادی آب جریان یافته در اطراف مکعب مشاهده شد، (چنانچه در شکل 4-22 الف دیده می‌شود) باید خاتمه می‌یافت. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که هر دو نوع ملات خودتراکم دارای نفوذپذیری بسیار بالایی در برابر آب تحت فشار هستند. در مقابل همان طور که در شکل 4-22 ب نشان داده شده است ملات سبک لرزانده شده (VLM) تقریبا غیرقابل نفوذ در برابر آب است [14].



شکل 4-22: آزمون قابلیت نفوذ آب a) SCLM2 و b) VLM [14]



الف ب

شکل 4-23: الف) آزمون جذب آب مویینه و ب) آزمون انتشار کلراید[14]

آزمون جذب آب مویینه مطابق استاندارد BS EN 480-5 بر روی 6 منشور با ابعاد (40×40×160mm) برای هر مخلوط آماده شده انجام شد. در یک دوره 56 روزه نمونه‌های ملات متناوبا وزن شدند. نتایج آزمایش‌ها در شکل 4-22 الف نشان می‌دهد که ملات‌های خودتراکم (SCLM1 و SCLM2) جذب آب مویین بیشتری نسبت به ملات لرزانده شده (VLM) دارند. قابلیت جذب آب مویینه بازتابی از سیستم منافذ در مواد است. یعنی جذب آب بیشتر نتیجه‌ی اتصال بیشتر منافذ در سنگ‌دانه است. بنابراین، نتایج نشان داده شده آزمون نفوذ آب در شکل 4-23 الف را تایید می‌کند که اتصال حفرات در ملات‌های خودتراکم تولیدی خیلی بیشتر از ملات لرزانده شده است [14].

سرعت نفوذ کلراید در ملات‌های طراحی شده نیز در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. هر دو آزمون تسریع شده در مدت زمان 28 روز و درازمدت صورت پذیرفت. برای آزمون درازمدت مطابق با NT Build 493 نمونه برای مدت 91 روز در معرض محلول کلراید قرار گرفت. بعد از این دوره

پروفیل‌های غلظت کلراید در نمونه اندازه‌گیری شد. شکل 4-23 ب بر اساس این پروفیل‌های اندازه‌گیری شده و جدول 4-34 ضریب‌های انتشار یون کلراید (D_{app}) به دست آمده را نشان می‌دهد. برای آزمون‌های کلراید تسریع شده، آزمایش مهاجرت کلراید مطابق با NT Build 492 صورت پذیرفت. در این آزمون، نرخ مهاجرت کلراید در نمونه با استفاده از میدان الکتریکی اندازه‌گیری شد. ضریب نفوذ کلراید (D_{RCM}) به دست آمد و در جدول 4-34 آورده شده است [14].

جدول 4-34: ضریب انتشار یون کلراید[14]

نوع مخلوط	D_{RCM} ($\times 10^{-12}$ m^2/s)	D_{app}($\times 10^{-12}$ m^2/s)
SCLM1	20/63	12/30
SCLM2	>29*	18/00
VLM	4/04	3/76
*- عدم پذیرش نمونه در آزمون (نفوذ بیش از حد کلراید مشاهده شد)		

مقدارهای ضریب انتشار و ضریب نفوذ کلراید نشان داده شده در جدول 4-34 باز هم نشان داد که ملات‌های خودتراکم (SCLM1 و SCLM2) توسعه یافته نفوذپذیری (اتصال منافذ) بسیار بیشتری در مقایسه با ملات لرزانده شده (VLM) دارد. علاوه بر این، شایان توجه است که نفوذپذیری کلرایدها در نمونه‌های ملات SCLC2 به طوری بالا است که در طول 24 ساعت آزمون، کلرایدها در تمام حجم نمونه قادر به نفوذ بود. ضریب نفوذ و ضریب انتشار کلراید برای ملات لرزانده شده (VLM) طراحی شده در مقایسه با هر دو ملات خودتراکم حدود 3 تا 4 برابر کمتر است [14].

4-2-4 نتیجه‌گیری

آزمون‌های مختلف نفوذپذیری انجام شده در این پژوهش روند یکسانی را نشان داد: نفوذپذیری برای هر دو ملات خودتراکم در مقایسه با ملات سبک لرزانده شده خیلی بیشتر است. این تفاوت بزرگ در نفوذپذیری را می‌توان به حضور بخش اندازه ریز سبکدانه‌ها در ملات‌های خودتراکم نسبت داد. ظاهرا، ذرات کوچک سبکدانه در تخلخل مویینه خمیر بتن سخت شده که انتقال مایعات را تسهیل می‌کند، مشارکت دارد. در مورد ملات لرزانده شده توسعه یافته تنها بخش اندازه درشت سبکدانه به‌کار گرفته شد و نتایج به دست آمده نفوذپذیری خیلی کم را در این ملات نشان داد که در حقیقت قابل مقایسه با نفوذپذیری بتن با کیفیت خوب (مخصوصا در مورد ضریب‌های نفوذ آب تحت فشار و ضریب‌های نفوذ کلراید و مهاجرت به‌دست آمده) است. بنابراین بر اساس نتایج به دست آمده در این مطالعه تنها استفاده از بخش اندازه درشت سبکدانه به منظور کاهش نفوذپذیری ملات‌ها توصیه می‌شود [14].

مقاومت به‌دست آمده از ملات‌های ساخته شده تابعی از نسبت آب به پودر و حجم سبکدانه استفاده شده است. تمام ملات‌های تولید شده دارای خصوصیات مکانیکی خوب شامل: مقاومت فشاری 28 روزه در محدوده N/mm^2 31-22 و مقاومت خمشی در محدوده N/mm^2 8-6 است. این مقاومت‌ها با استفاده از حدود 420kg سیمان در یک متر مکعب از ملات به دست آمد. ضریب هدایت حرارتی به دست آمده برای ملات‌ها تابعی از چگالی است. برای ملات با پائین‌ترین چگالی پائین‌ترین ضریب هدایت حرارتی به دست آمد [14].

3-4 پاسخ ضربه‌ای ملات‌های سبک حاوی پرلیت منبسط

کرامار[1] در مقاله‌ای با عنوان "پاسخ ضربه‌ای ملات‌های سبک حاوی پرلیت منبسط" بررسی‌های خود را ارائه است [16]:

این مقاله پاسخ مکانیکی ملات‌های سبک در معرض بارگذاری ضربه‌ای در خمش را شرح می‌دهد. سنگدانه‌های پرلیت منبسط با چگالی انبوهی 64 کیلوگرم بر متر مکعب بین 0 تا 8 برابر حجمی سیمان پرتلند استفاده شد تا دامنه‌ای از ملات‌های با چگالی بین 1000 و 2000 کیلوگرم بر متر مکعب به دست آید. برخی از نمونه‌ها با الیاف ریز[2] پلی پروپیلن در بخش حجمی 0/1% مسلح شدند و چقرمگی شکست دینامیکی با استفاده از سامانه ضربه سقوط وزنه ابزار دقیق مورد بررسی قرار گرفت.

آزمون‌های فشاری در بارگذاری شبه استاتیکی برای استاندارد کردن مخلوط‌ها انجام شد. مقاومت فشاری و مدول ارتجاعی به صورت مکعب چگالی نسبی، به عنوان نسبت چگالی ملات به خمیر سیمان پرتلند، اندازه‌گیری شد[16].

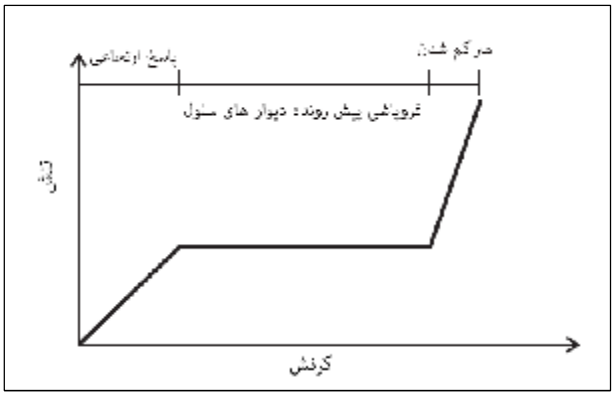
پرلیت صورت بی‌شکل ماگمای ریولیتی و داسیتی است که حاوی 2 تا 5 درصد آب است. وقتی بین 900 تا 1000 درجه سلسیوس حرارت داده شود به مواد سلولی سبک تبدیل می‌شود. استفاده از آن در عناصر سازه‌ای در اعضای به طور دینامیکی بارگذاری شده، در جایی که انتظار می‌رود کاهش حاصل شده در جرم، اثر زلزله را محدود سازد، توسعه یافته است. در اکثر کاربردها، به عنوان جایگزینی برای سیمان پرتلند به عنوان میکروفیلر (ریز پرکننده) یا برای جایگزینی بخشی از ماسه استفاده شده است. اگر چه فعالیت پوزولانی آن شناخته شده است، نقش آن در ملات‌های سبک عموما به عنوان سنگدانه بی‌اثر است [16].

کامپوزیت‌های با چگالی کم بر پایه سیمان را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد: کامپوزیت‌های سیمانی با سبکدانه و کامپوزیت‌های بر پایه سیمان فوم‌دار. کامپوزیت‌های سیمان با سبکدانه را می‌توان باز هم به بتن سبک سازه‌ای و ملات غیرسازه‌ای (که عمدتا برای عایقکاری حرارتی استفاده می‌شود) تقسیم‌بندی کرد. از این‌ها، کامپوزیت‌های سیمانی فوم شده و ملات‌های غیرسازه‌ای به دلیل روشی است که انرژی

---

1 - Kramar
2 -Microfiber

را پراکنده می‌کنند قابلیت بالشتک کوبش[1] دارند. یک مواد جاذب تکانه ایده‌ال باید دارای قابلیت تغییر شکل زیاد باشد در جایی که مقاومت خردشدگی تنها به عنوان حد پایینی ضخامت مانع[2] مهم است. شکل 1 پاسخ تغییر شکل-بار نوعی جامدات سلولی را تشریح می‌کند که در آن مقاومت خردشدگی نسبتا کم است اما کامپوزیت به شدت تغییرشکل پذیر است. مقاومت خردشدگی به مقاومت کمانش[3] دیواره سلول وابسته است که در آن تغییر شکل کلی به چقرمگی شکست مواد در دیواره سلول بستگی دارد. منطقه بدون تغییر در شکل 4-24 ظرفیت جذب انرژی در جامدات را با ریزساختار سلولی قابل توجه شرح می‌دهد [16].



شکل 4-24: پاسخ بار - تغییر شکل برای مواد جاذب انرژی دلخواه

در طراحی تضعیف کننده‌های[4] ضربه‌ای پایه سیمانی، اضافه کردن مواد سلولی سبک مانند پلی استایرن منبسط، ورمیکولیت و حباب‌های هوا با درجه‌های مختلف موفقیت استفاده شده است. اخیرا لی[5] و همکاران آسیب ناشی از آهنگ‌های کرنش زیاد در بتن سبک مقاومت بالا را شرح دادند. در حالی که بتن سبکدانه ساخته شده با پرلیت منبسط و ورمیکولیت برای جذب تکانه از سال‌های 1960 آزمایش شده‌اند، کمی کردن خواص ماده تحت بارگذاری دینامیکی محدود بوده است و هیچ اطلاعاتی در مورد حساسیت آهنگ تنش آنها و پارامترهای شکست دینامیکی مربوط وجود ندارد. علاوه بر این پیشرفت زیادی در طی دهه‌ها در مورد افزودن الیاف کوتاه برای مسلح کردن به وجود آمده است. هم در بتن سنتی و هم در بتن سبک سازه‌ای مشخص شده است چنین مسلح کننده‌های الیاف مجزا در مقاومت تحت بارگذاری ضربه‌ای مشارکت می‌کند. با آن که الیاف فولادی فراوان‌ترین الیاف در بتن سازه‌ای

1 -Crash Cushioning
2 -Barrier
3 -Buckling Strength
4 -Attenuators
5 -Lee

هستند، مشخص شده است که الیافی مانند شیشه، پلی پروپیلن و سلولز در مواد کم مقاومت کنترل شده، به دلیل سازگاری در مقاومت و مدول آنها بهتر عمل می‌کنند [16].

در این پژوهش کامپوزیت‌های پایه سیمانی جذب کننده تکانه کم مقاومت برای کاربردهایی شامل ملات‌های اندود، آسترهای تونل و سازه‌های محافظ مشابه از طریق ترکیب مناسبی از مواد سبک نوین مورد بررسی قرار گرفت. پژوهشگران ملات‌های سبک کم مقاومت کنترل شده حاوی پرکننده‌های سنگدانه منبسط و ریزالیاف پلیمری را مورد تحقیق قرار دادند. به ویژه حساسیت آهنگ تنش محدوده‌ای از ملات‌های سبک از طریق آزمون خمشی تیرهای دندانه‌دار[1] و خواص مکانیکی که به چگالی خمیر سیمان پرتلند مربوط است، بررسی شد.

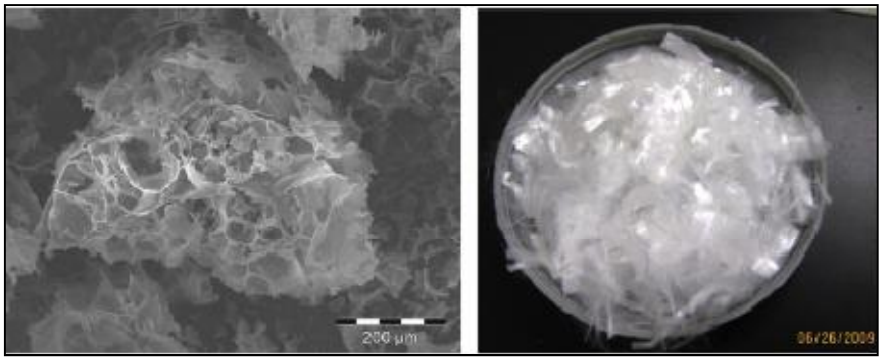
مواد و مخلوط‌ها: مخلوط‌های ساده و تقویت نشده در چهار چگالی برای بررسی محدوده‌ای از ملات‌های سبک بین $1000kg/m^3$ و $2000\ kg/m^3$ قالب‌گیری شد. سنگین‌ترین مخلوط خمیر سیمان بود که به عنوان مرجع در نظر گرفته شد. این مخلوط شامل تنها سیمان پرتلند و نسبت آب به سیمان 0/4 بود. سیمان پرتلند نوع GU که از تامین کنندگان محلی تهیه شد در همه مخلوط‌ها مورد استفاده قرار گرفت. سه چگالی کمتر باقی مانده با مقادیر افزایشی از پرلیت منبسط قالب‌گیری شد. منشا پرلیت منبسط شیشه‌های آتشفشانی حرارت داده شده تا 870^oC بود که حاصل آن مواد سبک دارای سطح ویژه زیاد با خواص نشان داده شده در جدول 4-35 است. چگالی انبوهی آن $64\ kg/m^3$ و حداکثر اندازه ذرات 1/68میلی‌متر بود.

جدول 4-35: مشخصات پرلیت منبسط استفاده شده در این تحقیق

خواص	مقدار
رنگ	سفید
وزن مخصوص	2/34
چگالی انبوهی (kg/m^3)	64
SiO_2 (%)	70-75
Al_2O_3 (%)	12-18
K_2O (%)	4-5
Na_2O (%)	3-4
CaO (%)	0/5-2
Fe_2O_3 (%)	0/5-1/5
MgO (%)	<0/5

1 -Notched

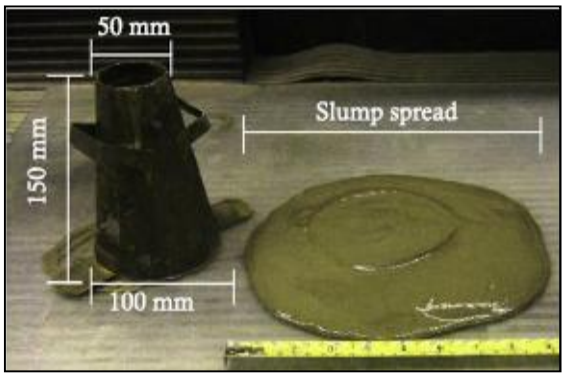
همان طور که در شکل 4-25 الف دیده می‌شود، ریزساختار با منافذ باز (کانال‌های کوچک که یک شبکه انبوه تشکیل می‌دهد) و منافذ بسته (سلول‌ها و سوراخ‌های مجزا) مشخص شده است. حضور همزمان این ویژگی‌های ریخت شناختی به این کانی قدرت نفوذ بسیار بالا، به علت منافذ باز می‌دهد و در همان زمان به علت منافذ بسته، تا حدی مقاومت خردشدگی در مقایسه با دیگر پرکننده‌های سبک مانند پلی استایرن منبسط، ایجاد می‌کند. خاصیت اول (وجود منافذ) به استفاده از آن در عایق‌کاری حرارتی منجر شده است، در حالی که خاصیت دوم (مقاومت خردشدگی) در بتن سبک سازه‌ای کاربرد داشته است[16].



الف) تصویر SEM پرلیت منبسط ب) ریز الیاف پلیمری

شکل 4-25: سنگدانه‌های سبک و الیاف تقویت کننده

در پژوهش حاضر، افزودن دانه‌های سبک وزن پرلیت منبسط (EP) توسط نسبت حجمیEP به سیمان پرتلند (PC) تعریف شد، به طوری‌که با مخلوط مرجع، چهار مخلوط با نسبت های حجمی 0، 0/8، 4 و 8 تولید شد. به منظور رسیدن به غلظت مناسب با نسبت آب به سیمان مربوط، یک مخروط کوچک اسلامپ برای انجام آزمون اسلامپ (شکل 4-26) استفاده شد. مخلوط‌ها برای رسیدن به گستره افت (اسلامپ) بین 130 و 190 میلی‌متر آماده شد. از آنجایی که دانه‌های پرلیت منبسط مقدار زیادی آب اضافه شده به مخلوط را جذب می‌کنند، افزایش مقدار پرلیت با افزایش متناظر آب مخلوط جبران شد. بر این اساس، نسبت آب به سیمان 0/4 برای مخلوط مرجع و همچنین برای مخلوط‌های با نسبت حجمی EP به PC برابر با 0/8و 4 بود. برای سبکترین مخلوط با نسبت حجمی EP به PC برابر 8، نسبت آب به سیمان به 0/8 افزایش یافت.



شکل 4-26: آزمون مخروط اسلامپ کوچک برای اندازه‌گیری جریان اسلامپ

الیاف ریز پلیمری به عنوان تقویت کننده گسسته با توجه به مدول پایین و نسبت شکل زیاد آنها انتخاب شدند. مخلوط‌ها در این بررسی فاقد سنگدانه درشت بودند. چنانچه به خوبی شناخته شده است کامپوزیت‌های سیمانی سبک بیشتر تمایل به شکنندگی دارند. بنابراین، سه مخلوط دیگر با الیاف ریز پلی‌پروپیلن به طول 20 میلی‌متر با حداکثر مقدار 3 دنیر (گرم بر9000 متر) و مدول ارتجاعی3450 مگاپاسکال (شکل 4-27) تقویت شد [16]

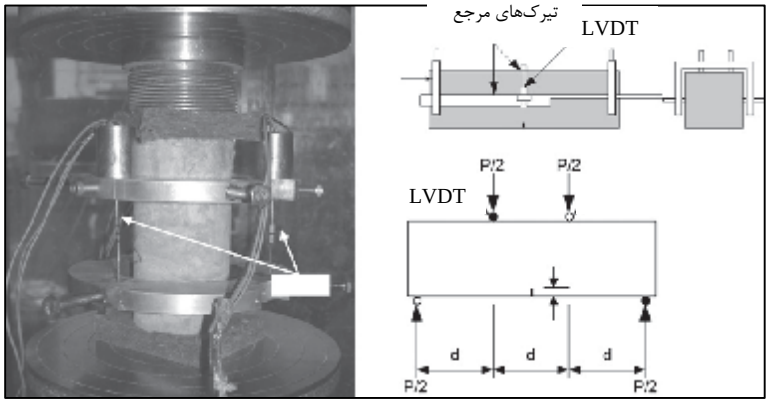
به منظور حفظ کارایی مناسب، بخش حجمی نسبتا کم الیاف 0/1% در نظر گرفته شد. از آن جا که هیچ تغییر قابل توجهی در چگالی برای نسبت حجمی EP به PC برابر 0/8 وجود نداشت، تنها خمیر سیمان مرجع و دو تا از سبکترین مخلوط‌ها با الیاف ریز تقویت شدند. علیرغم مقدار کم الیاف، کارایی همچنان برای مخلوط‌های تقویت شده با الیاف که پرلیت منبسط نیز دارند، با اهمیت است. از این رو، ترکیبی از مواد کاهنده آب و/یا مواد افزودنی هوازا به این مخلوط‌ها اضافه شد. در تمام موارد، مخلوط‌ها برای کارایی یکسان که توسط آزمون مخروط اسلامپ کوچک بیان شد طراحی گردید. در جدول 4-36 طرح‌های اختلاط و سهم‌بندی آنها برای هر هفت مخلوط فهرست شده است. استوانه‌ها به قطر 100mm و ارتفاع 200mm قالب‌گیری شد، در حالی که منشورها در 100mm عرض x 100mm ارتفاع و 400mm طول قالب‌گیری شد تا به عنوان نمونه تیری در آزمون خمش استفاده شود. نمونه‌ها پس از 24 ساعت از قالب خارج شدند و در یک محفظه عمل آوری با دمای کنترل شده ($25 \pm 2\ C^o$) و رطوبت نسبی (5 ±100درصد) قرار داده شد. منشورها برای ایجاد شکاف‌های 2mm عرض و 10mm عمق، جهت مطالعه رشد ترک بریده شدند. در هر مورد، حداقل شش استوانه و تیر جهت ایجاد میانگین داده‌ها برای تحلیل بیشتر مورد آزمایش قرار گرفتند[16].

جدول4-36: طرح اختلاط (وزن‌ها برای هر یک متر مکعب بیان شده است)[16]

مخلوط	سیمان (kg)	پرلیت (kg)	آب (kg)	الیاف (kg)	ماده کاهنده آب ml/kg) سیمان)	ماده هوازا mL/kg) سیمان)	چگالی ملات سخت شده (در آزمون) kg/m3)
EP-0-0	1476	-	590	-	-	-	1970
EP-0.8-0.0	1290	21	572	-	0/26	-	1800
EP-4-0.0	1024	89	423	-	3/19	-	1440
EP-8-0.0	596	101	471	-	2/27	0/25	1030
EP-0-0.1	1472	-	589	0/879	-	-	1980
EP-4-0.1	1015	85	406	0/867	5/13	-	1460
EP-8-0.1	574	97	459	0/844	0/21	2/50	960

آزمون مقاومت فشاری: استوانه‌ها مطابق با ASTMC469 "روش آزمون استاندارد برای مدول استاتیکی ضریب پواسون و ارتجاعی بتن در فشار" برای به دست آوردن پاسخ تنش-کرنش تا شکست مورد آزمایش فشاری قرار گرفتند [16]. هر استوانه داخل یک حلقه که در آن سه مبدل جابجایی متغیر خطی (LVDT) در زاویه 120درجه نسبت به یکدیگر (شکل 4-27 a) قرار داشتند، جای داده شد. طول اندازه‌گیر[1] با قطر استوانه برابر نگه داشته شد. به منظور حصول اطمینان از یک سطح تراز و صاف در تماس با صفحه‌های بارگذارنده، دو انتهای استوانه‌ها ساییده شدند. علاوه بر این در طول آزمون، یک تخته لایه بین نمونه و صفحه بارگذاری، به منظور صافتر کردن هرگونه ناصافی‌های باقی مانده در نمونه، قرار داده شد. آزمون فشاری با آهنگ 0/5 میلی‌متر بر دقیقه انجام شد[16].

1 - Gauge



ب: آزمون خمشی الف: آزمون فشاری

شکل 4-27: چیدمان برای آزمون‌های شبه استاتیکی[16]

4-3-1 آزمون مقاومت خمشی

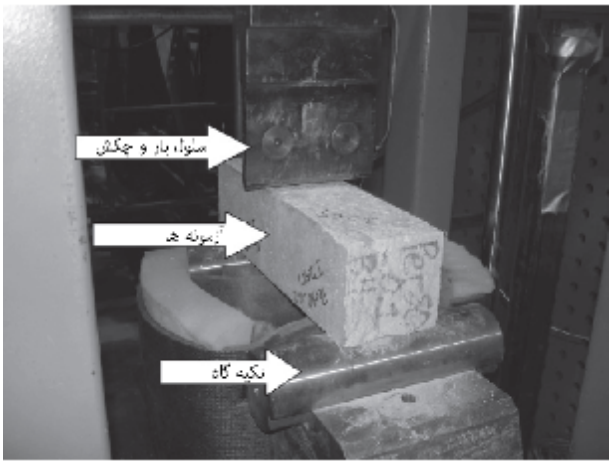
آزمون‌های شبه استاتیک خمشی مطابق با ASTMC1609 "استاندارد روش آزمون عملکرد خمش بتن تقویت شده با الیاف (با استفاده از تیر با بارگذاری سه نقطه‌ای)" برای ایجاد داده‌های بار و خیز[1] انجام شد. این‌ها برای تعیین مقاومت در برابر رشد ترک از طریق منحنی‌های R مورد استفاده قرار گرفت که به نوبه خود چقرمگی شکست مواد را به دست می‌دهد. به منظور ایجاد یک مسیر ترک از پیش تعیین شده، هر میله برای تولید یک شکاف در وسط دهانه برابر 10% کل عمق، بریده شده بود. شکل4-28 به صورت الگووار اندازه و محل شکاف برای هر نمونه را نشان می‌دهد. میله‌ها تحت خمش با یک دهانه مساوی با سه برابر عمق، یعنی 300 میلی‌متر قرار گرفتند. به منظور اندازه‌گیری خیز وسط دهانه LVDT ها بر روی یک اتصال که در استاندارد ژاپنی، JSCE-G 552 توصیف شده است سوار شدند [16]. این اتصال نیاز به ثبت شکست بار نقطه‌ای و هر گونه نشست تکیه‌گاه با اندازه‌گیری واقعی وسط دهانه را به طور مستقیم حذف می‌کند. بار با آهنگ جابجایی 0/05 میلی‌متر بر دقیقه اعمال شد. نمونه‌ها تا زمانی که یکی از سه شرایط یعنی شکست کامل، کاهش بار تدریجی به صفر و یا تا رسیدن به محدوده کامل LVDTها بارگذاری شدند[16].

4-3-2 آزمون ضربه

در نبود روش آزمون استاندارد برای ارزیابی پاسخ دینامیکی مواد پایه سیمانی، مخلوط‌های ملات در خمش تحت ضربه وارد شده از دستگاه سقوط وزنه آزمایش شدند. تیرها در بارگذاری سه نقطه‌ای با دهانه 300 میلی‌متری بارگذاری شدند. این سامانه شامل یک چکش 62 کیلوگرمی است که از یک

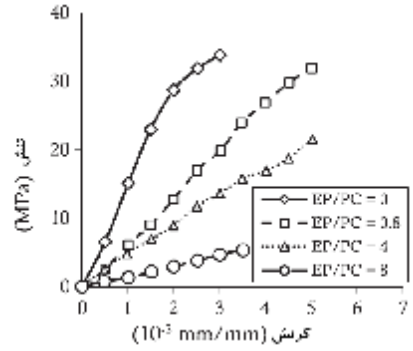
1 -Deflection

ارتفاع حداکثر 2/5 متر بالا برده می‌شود. در این پژوهش دو آهنگ بارگذاری ایجاد شد به این ترتیب که آزمونه‌ها در معرض ارتفاع 250 میلی‌متر و 500 میلی‌متر قرار گرفتند که به ترتیب متناظر با سرعت ضربه 2/20 m/s و 3/10 m/s بود[16].

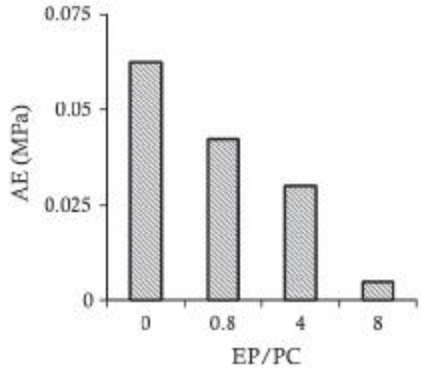


شکل 4-28: دستگاه ضربه سقوط وزنه با ابزار دقیق[16]

شکل 4-29 الف پاسخ تنش – کرنش فشاری برای آزمونه‌های ملات ساده را نشان می‌دهد و دیده می‌شود که جایگزینی متوسطی از سیمان پرتلند با پرلیت منبسط(EP/PC=0.8) به افزایش کم در مقاومت فشاری منتهی شده است. انرژی جذب شده حین فشار در شکل 4-29 الف نشان داده شده است. چنانچه در این شکل دیده می‌شود انرژی جذب شده با افزایش نسبت EP/PC کاهش می یابد.



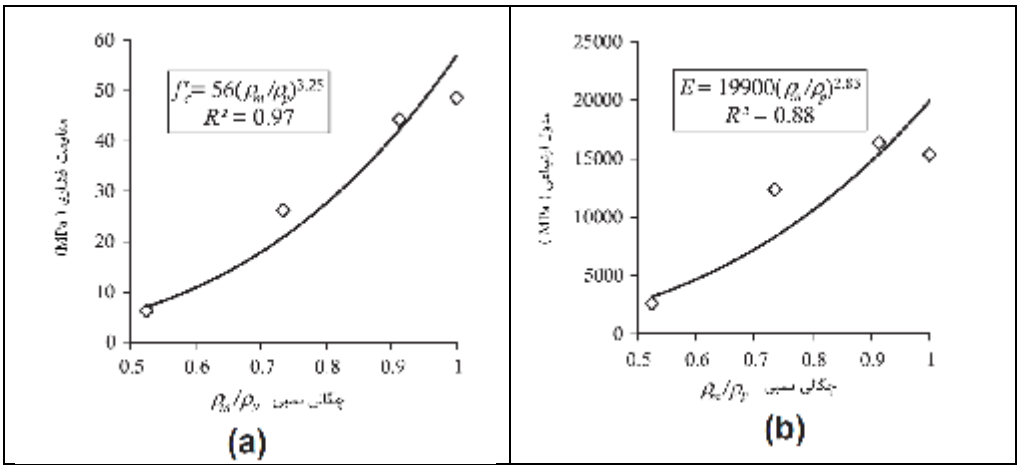
الف: پاسخ تنش- کرنش



ب: انرژی جذب شده در فشار، AE

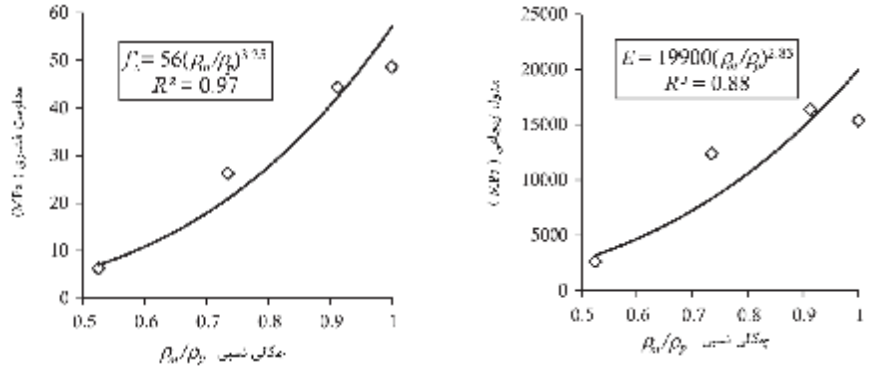
شکل 4-29: پاسخ فشاری ملات‌های سبک ساده تا بار اوج[16]

انرژی جذب شده در واحد حجم (AE) به صورت سطح زیر منحنی تنش – کرنش تا رسیدن به کرنش فشاری یک درصد تعریف می‌شود و ملاکی برای انرژی پراکنده شده توسط ملات است.
به منظور نشان دادن اثر چگالی مخلوط بر عملکرد مکانیکی، مخلوط‌ها با توجه به خمیر سیمان پرتلند نرمالیزه شدند تا پارامتر چگالی نسبی ρ_m / ρ_p به دست آید. مطابق با آن تغییرات مقاومت فشاری و مدول الاستیک در شکل 4-30 برای ملات‌های ساده نشان داده شده است. توجه کنید که مقاومت فشاری و مدول ارتجاعی با مکعب چگالی نسبی افزایش می یابند[16].



شکل 4-30: اثر چگالی نسبی بر الف: مقاومت فشاری و ب: مدول ارتجاعی ملات‌های ساده با مقادیر متفاوت پرلیت[16]

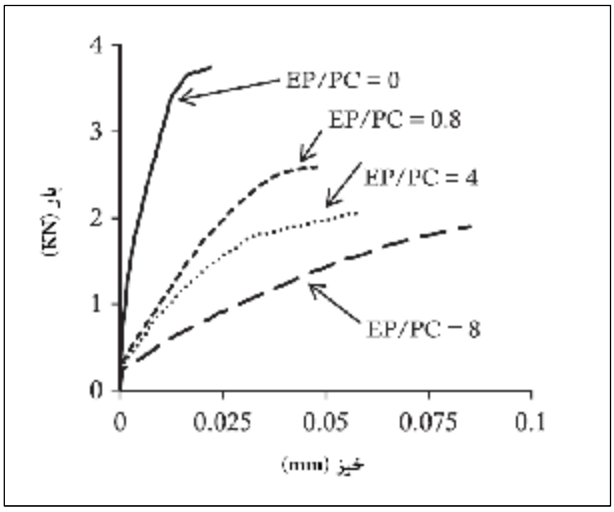
پاسخ خمشی: پاسخ خمشی تیرهای ملات ساده در شرایط بارگذاری شبه استاتیکی در شکل 4-31 و در بارگذاری ضربه ای در شکل 4-32 نشان داده شده است. شکست پس از رسیدن به بار اوج بلافاصله اتفاق افتاد و تنها بخش پایدار پاسخ طی فاز پیش اوج نشان داده شده است. توجه کنید که آزمون‌های شبه استاتیک در خمش چهار نقطه‌ای انجام شد درحالی که تیرهای شکاف دار تحت ضربه در معرض خمش سه نقطه‌ای بودند. پاسخ خمشی ملات‌های تقویت شده با الیاف در بارگذاری شبه استاتیکی در شکل4-33 الف و برای بارگذاری ضربه‌ای در شکل 4-33 ب نشان داده شده است. مقدار الیاف0/1درصد بخش حجمی بود و به دلیل شکست ناگهانی تحت ضربه پاسخ بار- تغییر شکل در شرایط دینامیکی تا بار اوج نشان داده شده است[16].



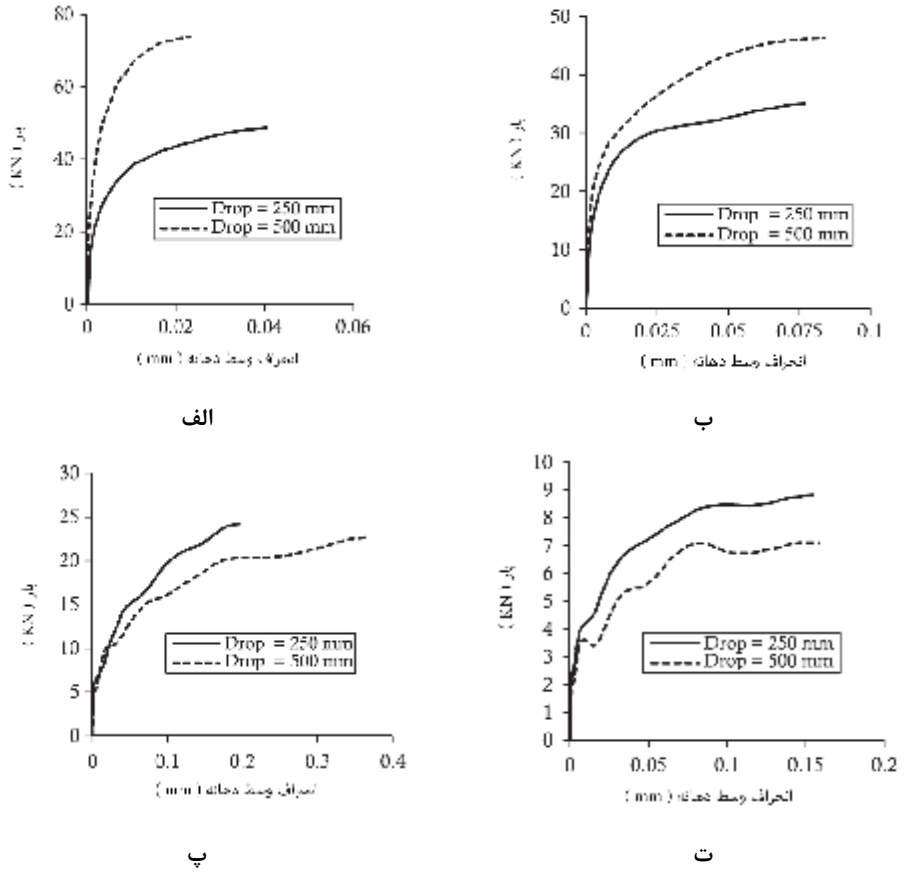
الف ب

راهنما: چگالی هر مخلوط= ρ_m چگالی خمیر سیمان پرتلند $\rho_{p=}$

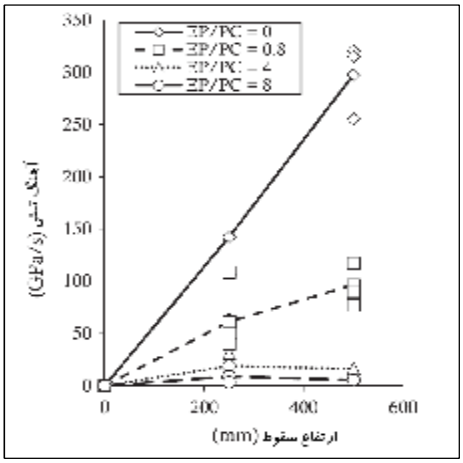
شکل 4-31: اثر چگالی نسبی بر الف: مقاومت فشاری و ب: مدول ارتجاعی ملات‌های ساده با مقادیر متفاوت پرلیت [16]



شکل 4-32: پاسخ شبه استاتیکی در بار قله برای تیرهای ملات سبک ساده حاوی مقادیر متفاوت پرلیت منبسط[16]



شکل 4-33: پاسخ خمشی ملات‌های سبک ساده تحت بارگذاری ضربه‌ای تا اوج برای الف: EP/PC=0 ب: EP/PC=0.8 پ: EP/PC=4 ت: EP/PC=8 [16]



شکل 4-34: آهنگ تنش به عنوان تابعی از ارتفاع سقوط[16]

3-3-4 نتیجه گیری

موارد زیر را می‌توان از این پژوهش نتیجه گرفت:

- در ملات‌های ساده تحت فشار، افزودن پرلیت منبسط به کاهش مقاومت و مدول ارتجاعی منتهی شد. هر دو مقاومت و مدول ارتجاعی با مکعب چگالی نسبی که به صورت نسبت چگالی ملات به چگالی خمیر سیمان پرتلند تعریف می‌شود، متناسب است.
- در حالی که مقاومت خمشی و چقرمگی شکست هر دو تحت بارگذاری شبه استاتیکی به صورت خطی با چگالی نسبی ملات تناسب داشتند، افزایشی در حساسیتشان به چگالی نسبی در سرعت‌های بالاتر بارگذاری، وجود داشت. بر خلاف آنچه که در بتن معمولی دیده می‌شود، تقویت با الیاف منجر به افزایش حساسیت آهنگ - تنش مقاومت خمشی در ملات‌های سبک شد. برای سرعت ضربه یکسان تنش-آهنگ‌های آزمایش شده توسط یک آزمونه به شدت توسط چگالی آن تحت تاثیر بود. در حالی که حساسیت آهنگ تنش-سرعت مقاومت خمشی با کاهش چگالی مخلوط کاهش یافت، در حالی که چقرمگی شکست به صورت پیوسته برای مخلوط سبک‌تر بالاتر بود[16].
- در ملات‌های ساده که درمعرض خمش تحت بارهای شبه استاتیکی قرار گرفتند مقاومت و چغرمگی شکست به طورخطی باچگالی نسبی مخلوط افزایش یافت.
- چقرمگی شکست ملات‌های سیمانی تقویت شده با الیاف به چگالی نسبی حساس تر از مخلوط های ساده تقویت نشده هستند. اختلاف در حساسیت بین ملات‌های تقویت شده با الیاف و ساده در طی پاسخ ضربه ای آنها مشخص تر است.
- در ملات‌های سبک پایه سیمانی آهنگ تنش تجربه شده با سرعت ضربه ی یکسان به چگالی کامپوزیت به شدت وابسته است.
- ملات‌های سبک تقویت شده که حاوی پرلیت منبسط با ریز الیاف پلیمر بر حساسیت آهنگ تنش مقاومت خمشی آنها اثر می گذارد. در حالیکه مقاومت خمشی دارای حساسیت آهنگ بیشتری میشود در مورد آخر حساسیت کمتری به آهنگ تنش درحضور الیاف دیده شد[۱۶].

4-4 ملات سبک ساخته شده با فوم پلی یورتان بازیافتی

گادیا[1] و همکاران در تحقیقی با عنوان "ملات سبک ساخته شده با فوم پلی یورتان بازیافتی" نتایج حاصل از مطالعه تجربی استفاده از ضایعات فوم پلی یورتان صلب با مخلوط‌های پایه-سیمانی را برای تولید ملات سبک بررسی کردند. چندین نوع ملات با مخلوط کردن سیمان با مقادیر متفاوتی از پلی یورتان، سنگدانه و آب به دست آمد[17].

مقادیر مصرف مواد برای جایگزینی سنگدانه‌ها با پلی یورتان بازیافتی تغییر داده شد، در حالی که مقدار آب برای به دست آوردن کارایی خوب بهینه سازی گردید. قبل از استفاده به عنوان جایگزین سنگدانه

1 -Gadea

پلی یورتان صلب تا رسیدن به اندازه ذرات کمتر از 4 میلی‌متر آسیاب شد. خصوصیات آزمونه‌ها تعیین شد. آنها در هر دو حالت تازه و سخت شده مورد آزمایش قرار گرفتند. نتایج نشان می‌دهد که افزایش در مقدار پلی یورتان، ملات را تحت تاثیر قرار می‌دهد. این موارد شامل کاهش چگالی و خواص مکانیکی آن و در همان حال افزایش کارایی، نفوذپذیری و مقدار هوای محبوس است. این نتایج تایید می‌کند که ملات تولید شده با پلی یورتان بازیافتی قابل مقایسه با ملات سبک با مصالح سنتی است[17].

فرآیندهای صنعتی مقادیر زیادی از فراورده‌های ضایعاتی را به وجود می‌آورد. اکثر این مواد هیچ استفاده مشخصی ندارد و در گودال‌های زمین دفن می‌شوند. بنابراین ضروری است که روش‌های کار بازیافت یا راه‌های کاربرد دوباره ضایعات صنعتی به منظور به حداقل رساندن اثر زیست محیطی آن معین شود. این مورد برای ضایعات پلیمری صنایع تولیدکننده و ساخت و ساز وجود دارد. به ویژه صنعت خودروسازی مقدار زیادی ضایعات ناشی از پانل‌های فوم پلی یورتان صلب به وجود می‌آورد. وقتی این مواد خرد و به دانه‌های سبک تبدیل شوند، برای تولید مصالح سبک مفید خواهند بود. افزودن ضایعات فوم پلی یورتان به ملات و بتن سبک گزینه بالقوه مناسبی به جای دفع آنها است.

هدف از این پژوهش بررسی استفاده از محصولات فرعی صنعتی در تولید ملات و مقایسه خواص مفید ملات‌های تولید شده از فوم پلیمری با ملات‌های متداول است. در این پژوهش استفاده عملی فوم پلی یورتان در تولید ملات‌ها برای صنعت ساختمان توسط تدوین معیارهای مصرف و سهم بندی مواد که مقاومت و دوام ملات و همچنین عملکرد و قابلیت اجرای خوب را تضمین کند، بررسی شد [17].

گام‌های این پژوهش شامل موارد زیر بود: تعیین خصوصیات اجزای ملات (ضایعات پلیمری انتخاب شده، سنگدانه و سیمان تجاری مورد استفاده)، مشخص کردن سهم بندی مناسب برای تولید ملات سبک (با جایگزینی درصدهای مختلف سنگدانه متداول با فوم پلی یورتان) و تحلیل خواص مخلوط‌ها در هر دو حالت تازه و سخت شده.

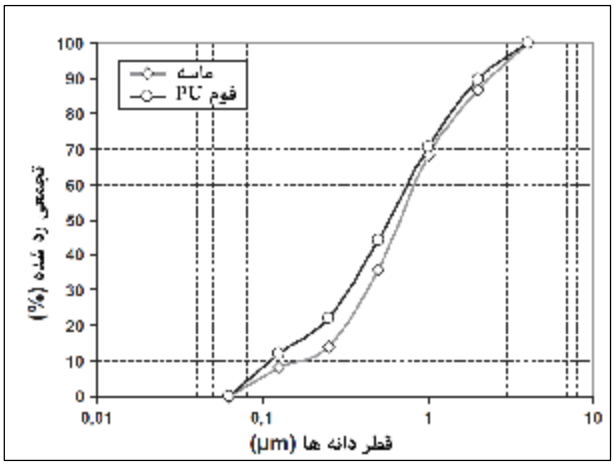
در این پژوهش دو نوع مختلف سیمان تولید شده در کارخانه سیمان پرتلند والدریواس[1] کشور اسپانیا استفاده شد. سیمان‌ها مطابق استاندارد اروپایی EN197-1 شامل: CEM I 42.5 R دارای چگالی $3065kg/m^3$ و CEM IV /B 42.5 N دارای چگالی $3030\ kg/m^3$ بودند. ترکیب شیمیایی هر دو سیمان در جدول 1 نشان داده شده است. ماسه رودخانه‌ای الک شده بین 0 و 4 میلی‌متر (شکل 1) با چگالی $2700kg/m^3$ استفاده شد. توزیع اندازه دانه‌ها مطابق استاندارد EN13139 به دست آمد [17].

1-Valderrivas

جدول4-37: ترکیبات شیمیایی سیمان[17]

ترکیبات	CEMI	CEMIV
CaO	60/40	42/20
SiO_2	21/30	30/30
Al_2O_3	6/10	10/80
Fe_2O_3	4/00	3/00
MgO	1/50	2/50
K_2O	1/30	1/60
Na_2O	0/40	0/80
SO_3	2/30	2/00
مواد دیگر	0/70	1/10
افت سرخ شدن	2/00	5/70

ضایعات فوم پلی یورتان (PFW) از خرد کردن پانل‌های مورد استفاده در صنعت اتومبیل به دست آمد.PFW تا اندازه دانه بین 0 و 4 میلی‌متر قبل از آن که به عنوان جایگزین سنگدانه استفاده شود، خرد شد (شکل 4-35). چگالی ظاهری PFW در سه آزمونه مکعبی اندازه‌گیری شد. این چگالی به میزان $26 \pm 2\ kg/m^3$ به دست آمد که منطبق با مشخصات ارائه شده توسط تولیدکننده ($25 \pm 2\ kg/m^3$) است. ترکیب شیمیایی توسط تجزیه عنصری با CHNS با دستگاه تجزیه LECO CHNS-932 و با پراکنش پرتو X (شکل 4-36) به دست آمد[17].



شکل 4-35: توزیع اندازه ذرات ماسه و ضایعات فوم PU [17]

عناصر	وزن (%)
کربن	65/5
اکسیژن	19/0
نیتروژن	7/2
هیدروژن	6/2
کلسیم	1/0
سایر	1/1
مجموع	100

شکل 4-36: ضایعات فوم پلی یورتان استفاده شده و ترکیب شیمیایی اولیه [17]

4-4-1 آماده سازی نمونه

روش کار برای ساخت ملات سبک، متشکل از تولید ملات سنتی (مخلوطی از سیمان، ماسه و آب) و پس از آن، جایگزینی درصدهای مختلف ماسه با PFW خرد شده، است. نسبت وزنی سنگدانه (مجموع مقدار ماسه و پلی یورتان) به سیمان 3 به 1 بود. اگر چه نسبت‌های اولیه بر حسب وزن محاسبه شد، مقدار ماسه کنار گذاشته شده توسط مقدار معادل پلی‌یورتان در حجم جایگزین شد. مقداری آب برای اطمینان از کارایی بهینه مطابق با استاندارد EN1015-3 به مخلوط اضافه شد. دو سری از ملات سبک، سری I با CEM I 42.5 R و سری II با CEM IV B 42.5 N مطابق با جدول4-38 ساخته شدند[17].

جدول 4-38: نسبت‌های اختلاط و خواص در مخلوط‌های ملات در حالت تازه [17]

شماره سری	شماره مخلوط	ماسه جایگزین شده توسط فوم بر حسب حجم (%)	W/C	نسبت‌های اختلاط (kg/m^3)				چگالی تازه (kg/m^3)	هوای محبوس (%)
				سیمان	آب	ماسه	فوم		
سری I	I-0	0	0/82	436/2	357/8	1310	0	2104	4/8
	I-25	25	0/74	506/6	374/7	1141	3/7	2026	5/1
	I-50	50	0/68	598/3	406/7	898/4	8/6	1912	7/6
	I-75	75	0/64	733/3	469/3	550/5	15/9	1769	9/0
	I-100	100	0/62	910/7	561/9	0	26/4	1499	13/0
سری II	II -0	0	0/75	443/7	332/8	1332/5	0	2109	3/5
	II-25	25	0/72	508/0	367/0	1136/4	3/6	2015	4/2
	II-50	50	0/70	571/8	400/4	858/6	8/2	1839	6/6
	II-75	75	0/67	725/1	485/8	544/4	15/7	1771	8/1
	II-100	100	0/60	677/3	413/2	0	19/5	1110	11/9

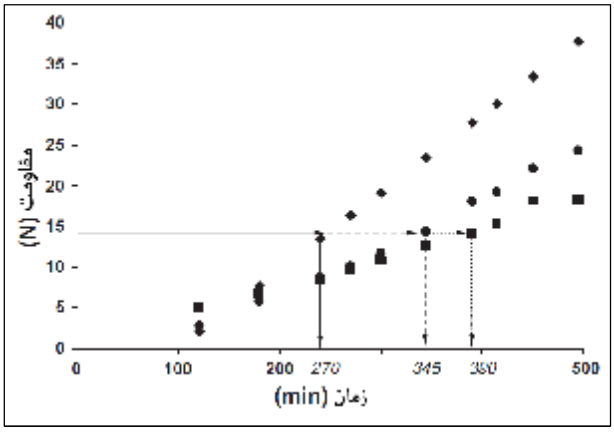
4-4-2 غلظت و کارایی

غلظت مخلوط‌ها که به صورت نسبت آب به سیمان (W/C) تعریف شد، مطابق با استاندارد EN1015-3، محاسبه شده است که مقدار آب مورد نیاز را برای به دست آوردن کارایی خوب و حالت پلاستیکی در مخلوط‌ها با آزمون جریان اسلامپ، با توجه به قطر گسترش متوسط 10 ± 175 میلی‌متر تنظیم می‌کند[17].

هر چند در ابتدا ممکن است تصور شود که افزودن حجم زیادی پلی یورتان به نسبت‌های W/C نسبتا زیاد نیاز خواهد داشت، در واقع کاملا برعکس مشاهده شد. به عبارت دیگر، نسبت بالاتری از PFW موجب کاهش در نسبت W/C (جدول4-38) شد. توضیحی برای این امر می‌تواند چنین باشد که چنانچه درصد سنگدانه‌ی حذف شده افزایش یابد، جزئی از ملات که آب بیشتری جذب می‌کند، کاهش می‌یابد. این امر منجر به یک نتیجه جالب با در نظر گرفتن کاربردهای این مواد سبک می‌شود، چون میزان آب استفاده شده به صورت یک نسبت، روی خواص بعدی ملات سخت شده، از جمله مقاومت مکانیکی آن یا نفوذپذیری آن تاثیر خواهد گذاشت[17].

تعریف کارایی ملات در حالت تر، مطابق با استاندارد EN1015-9 زمانی است که ملات مقاومت 0/5 N/mm^2 را به دست آورد که با اعمال یک نیروی استاتیک 14/7 نیوتن روی سطح ملات با استفاده از یک کوبه استاندارد اندازه‌گیری می‌شود. آزمون‌های کارایی برای رسیدن به بارهای بالاتر از بارهای مشخص شده در استاندارد ادامه یافت. نتایج برای نسبت‌های مختلف مقادیر مشابهی برای هر دو نوع از سیمان نشان داد یافته‌های بررسی این بود که با افزایش تدریجی مقدار فوم، کارایی ملات بهبود یافت. به عنوان مثال، در مورد سری II، با جایگزینی تنها 25% سنگدانه، کارایی از 270 دقیقه (اندازه گیری شده در ملات مرجع) به 390 دقیقه بهبود یافت، یعنی زمان قابل اجرا 120 دقیقه در مقایسه با ملات مرجع افزایش داشت (شکل 4-37).

از یک سو، توضیح برای این مورد ممکن است چنین باشد که به دلیل سنگدانه، آب کمتری مورد نیاز بود. از سوی دیگر، پلی یورتان که به عنوان یک جایگزین استفاده شده مقدار زیادی آب را به علت تخلخل بالا حفظ کرده، در نتیجه جذب آب و ظرفیت پراکندگی سیمان بهبود می‌یابد. این می‌تواند بر افزایش زیاد کارایی دلالت کند. بنابراین، نتیجه‌ی اضافه کردن PFW منجر به تغییر در خواص رئولوژیکی مواد، به دست آوردن ملات با تمایل کم به جدایش و یا بیرون زدگی شود که به نوبه خود کاربرد آنرا تسهیل می‌کند. این اطلاعات را می‌توان به عنوان پیشرفتی هنگام جابجایی و حمل مواد در نظر گرفت[17].



شکل 4-37: کارایی ملات‌های مختلف: ♦ 0- II ;● II-25 ;■ II-100 [17]

چگالی درحالت‌های تازه و سخت شده

چگالی انبوهی در حالت تازه و سخت شده، بر اساس استاندارد EN1015-10 ,EN1015-6 ، با استفاده از آزمونه‌های40 میلی‌متر×40 میلی‌متر× 160 میلی‌متر و پیرو آن عمل آوری در دمای $20\pm1C^{o}$ و در رطوبت نسبی1 ±50 درصد اندازه‌گیری شد[17].

در حالت تازه، چگالی‌ها بین حدود 2100 kg/m^3 برای ملات مرجع (I-0 و0 -II)، 1500 kg/m^3 برای I-100 و 1100 kg/m^3 برای II-100 نوسان داشت. این یعنی کاهش 600 kg/m^3 برای کل جانشینی سنگدانه در سری I که به معنی کاهش حدود 30% است و کاهش 1000 کیلوگرم بر متر مکعب در سری II که به معنی کاهش حدود 50% است (جدول 4-39).

در حالت سخت شده، این تفاوت‌ها برای 28 روز و نیز برای 3 ماه حفظ شد. علاوه بر این، با توجه به تراکم مواد و عمل آوری آزمونه‌ها، چگالی ظاهری نسبت به حالت تازه حدود 200 kg/m^3 در تمام موارد (جدول 4-39) کاهش یافته است[17].

جدول 4-39: چگالی سخت شده برای سری‌های I , II [17]

شماره سری	شماره مخلوط	چگالی7 روزه (kg/m^3)	چگالی 28 روزه (kg/m^3)	چگالی3 ماهه (kg/m^3)
سری I	I-0	2017	1932	1930
	I-25	1997	1887	1890
	I-50	1879	1806	1791
	I-75	1691	1657	1623
	I-100	1467	1273	1241
سری II	II -0	2040	2000	1994
	II-25	1980	1949	1763
	II-50	1735	1635	1611
	II-75	1660	1524	1491
	II-100	1092	1025	1084

اگرچه چگالی ملات‌ها در طی زمان به دلیل افزایش تدریجی در میزان PFW کاهش یافت، نسبت‌های انتخاب شده تنها با چگالی‌هایی به دست آمد که اجازه می‌داد این مصالح به عنوان ملات سبک با توجه به استفاده آنها (داشتن حداکثر چگالی کمتر از $1500kg/m^3$درحالت سخت شده)، هنگامی‌که سنگدانه‌ها در کل خود جایگزین شد، در نظر گرفته شود[17].

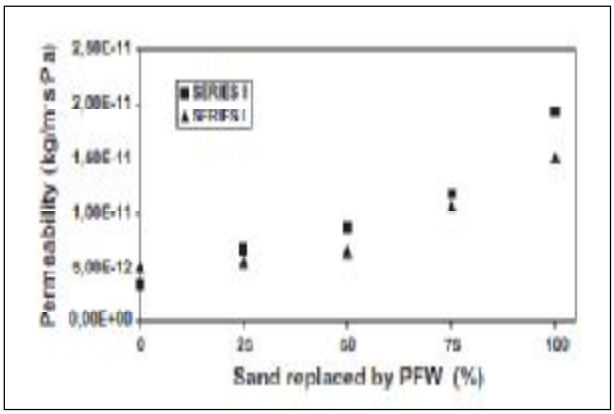
4-4-3 بخش مقدار منافذ هوایی

با توجه به سری‌های I و II، همان طور که نسبت فوم پلیمری افزایش یافت، درصد هوای محبوس شده نیز، چنانچه در استاندارد EN1015-7 تعریف شده است، زیاد شد. زیرا مقادیر بیشتری از منافذ در مخلوط وجود دارد (جدول 4-40). با توجه به اندازه آنها، حباب‌های هوای شکل گرفته در ملات تازه به صورت ذره‌های کوچکتر از 4 میلی‌متر عمل می‌کنند، اما مزیت ضریب شکل بهتر، ارتجاعی بودن و قابلیت تغییر شکل دارند که لغزیدن آنها را بدون ایجاد اصطکاک امکان‌پذیر می‌کند. همان طور که انتظار می‌رود، نتایج نشان می‌دهد که با حرکت از آزمونه مرجع به ملات‌های بدون سنگدانه حدود 8% هوای محبوس شده برای هر دو سیمان افزایش یافت[17].

نفوذپذیری بخار آب

در صنعت ساختمان، یکی از بحث‌ها نیاز ملات به عبور دادن بخار آب است، که در آن مفهوم "عبور" اشاره به نفوذپذیری بخار آب این مصالح دارد. اهمیت نفوذپذیری هنگامی قابل درک است که با آسیب شناسی میعان و افزایش رطوبت همراه گردد که در زمانی که نفوذناپذیری وجود دارد، رخ می‌دهد. روش شناسی برای تعیین نفوذپذیری بخار آب در شرایط پایدار در ملات اندودکاری در استاندارد EN1015-19 با عنوان "روش‌های آزمون ملات برای بنایی-تعیین نفوذپذیری بخار آب ملات‌های

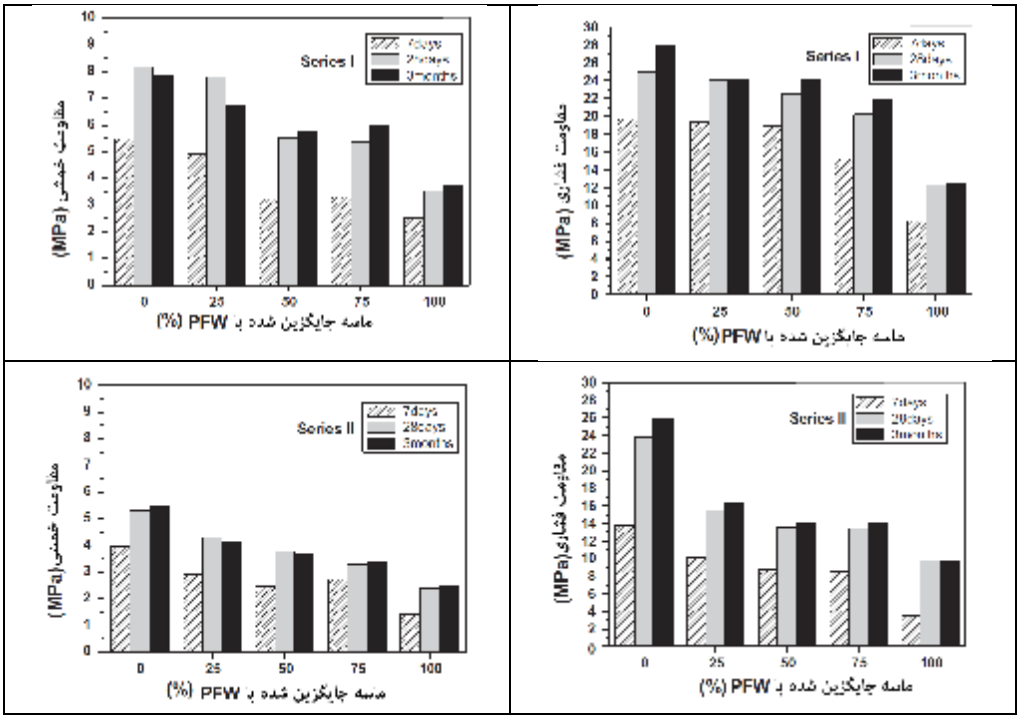
اندودکاری سخت شده" تعریف شده است. در این استاندارد بیان شده است که برای یافتن مقدار نفوذپذیری، در ابتدا محاسبه ضریب نفوذ[1] لازم است، که جریان بخار آب است که از میان واحد سطح در شرایط تعادل برای هر واحد اختلاف فشار بخار در هر دو طرف ملات عبور می‌کند. پس از آن، نفوذپذیری بخار آب به صورت حاصلضرب ضریب نفوذپذیری در ضخامت آزمونه محاسبه می‌شود. برای تعیین نفوذپذیری تمام نمونه‌ها، پنج آزمونه آماده و مورد آزمایش قرار گرفت و مقدار میانگین به کار برده شد که برای هر یک از انواع مختلف ملات در شکل 4-38 ارائه شد[17].



شکل 4-38: نفوذپذیری بخار آب [17]

درآن نمودار، افزایش پیوسته نفوذپذیری را می‌توان تا وقتی‌که به یک مقدار حداکثر برسد هنگامی‌که مقدار ماسه به طور کامل جایگزین می‌شود، یک حداکثر که نفوذپذیری ملات‌های مرجع برای سری II را سه برابر می‌کند و آنرا با ضریب 5/5 برای سری I افزایش می‌دهد. این افزایش فزاینده نفوذپذیری می‌تواند ناشی از عوامل مختلف باشد. پلی اورتان ماده‌ای متخلخل است که این به معنی آن است که دارای قطر متوسط نسبتا زیادی در شبکه موئینه است که عبور بخار آب را آسان می‌سازد. همچنین فوم به شدت شبکه‌ای است که به معنی آن است که کانال‌ها یا حفرات موئینه‌ای بوجود می‌آورد که در سرتاسر ملات پراکنده است و یک کانال را به دیگری متصل می‌کند تا شبکه‌ی ریزی بوجود آورد که بخار آب به آسانی از آن عبور می‌کند. هر سه این عوامل امکان می‌دهد که چنین ملات‌هایی به عنوان مصالح سبک عاری از میعان به ویژه در هر شرایط اقلیمی در نظر گرفته شود که از نظر نفوذ بخار آب به خوبی عمل می‌کند[17].

1-Permeance



شکل 4-39: تغییر خواص مکانیکی با گذشت زمان[17]

4-5 آجر سبک و ملات سبک

در مورد آجر سبک و ملات سبک پژوهشهای مفصلی توسط مؤسسه تحقیقات آجر و سفال آلمان انجام شده است که خلاصه‌ای از آن در زیر می‌آید:

کاهش در چگالی بدنه به حدود 1/25 گرم بر سانتی متر مکعب با افزودنی های کاهنده وزن، دامنه تولید آجرهای عایق حرارت را به طور قابل ملاحظه‌ای وسعت می‌دهد. سبک‌سازی آجر افزایش مقاومت حرارتی آن را نیز به دنبال دارد. هرچند این امر پدیده‌ای مثبت تلقی می‌گردد، ولی به دلیل افت مقاومت فشاری آجر، لازم است روند تحول این دو پارامتر به صورت همزمان بررسی شده و تعیین گردد تا چه میزان می‌توان وزن حجمی آجر و در نتیجه ضریب هدایت حرارت آن را کاست بدون این که مقاومت فشاری آجر از حدود قابل قبول کمتر نشود.

اثر همزمان بر ظرفیت باربری و بر عایق‌کاری حرارتی از نوع ملات بنایی مورد استفاده نیز ناشی می‌شود. به‌عبارت دیگر، اگر هدف کسب بهترین نتیجه با استفاده از آجرهای سبک می‌باشد، لازم است ملاتی متناسب با آن پیش‌بینی گردد تا حتی‌الامکان از بروز پل‌های حرارتی و افت کیفیت دیوار از بعد انتقال حرارت جلوگیری شود. بدیهی است نوع ملات باید به گونه‌ای باشد که مقاومت فشاری دیوار بیش از حد افت ننماید.

در عمل ارزیابی کیفیت ترکیب‌های مختلف آجر سبک به اضافه ملات و تعیین زوج بهینه با انجام آزمایش جعبه گرم کالیبره[1] یا جعبه گرم محفوظ[2] امکان‌پذیر می‌باشد. در این آزمایش، دیوار آجری به ابعاد واقعی ساخته شد و ضریب انتقال حرارت متوسط آن (با توجه به غیرهمگن بودن اجزای تشکیل دهنده آن یعنی آجر و ملات) تعیین می‌گردد. در این راستا میزان مقاومت حرارتی و همچنین ظرفیت باربری در آزمایش‌های تجربی در مورد تعدادی از گزینه‌های ملات – آجر انجام شد.

تعیین مقادیر خشک ضریب هدایت حرارتی با اندازه گیری مطابق ویژگی استاندارد آلمان DIN 52611 (آزمایش عایق‌های حرارتی، تعیین مقاومت حرارتی دیوارها و سقف) بر روی دیوارهای ارتفاع طبقه که قبلاً تا وزن ثابت خشک شده ، انجام شد. نتایج ظرفیت باربری عمدتاً به ترتیب بر اساس 3 دیوار آزمایشی RILEM است. این آزمایش‌ها فقط با ملات نوع III (مطابق استاندارد DIN 1053-1) انجام شد. نسبت سیمان به ماسه در این ملات 1 به 4 می‌باشد. این نمونه‌ها در مقیاس نیمه صنعتی ساخته شد.

نتایج آزمایش‌های ضریب هدایت حرارتی و ظرفیت باربری با هم مقایسه شدند. برای اختلاف‌های نسبتاً کوچک در ضریب هدایت حرارتی بین W/m.K 0/16-0/18 در بعضی موارد اختلاف‌های قابل ملاحظه‌ای در مقاومت بسته به نوع آجرها و ملات دیده شد. آزمایش‌ها نشان داد که استفاده از ملات استاندارد برای آجرها و بلوک‌های سفالی با چگالی بدنه سرامیکی کمتر قطعاً به افزایش ضریب هدایت حرارتی در مقایسه با ملات‌های بنایی سبک منتهی می‌شود اما هیچ اثر قابل توجهی بر بهبود ظرفیت باربری ندارد. عدم افزایش مورد انتظار در ظرفیت باربری با استفاده از ملات‌های استاندارد احتمالاً به تخلخل زیاد بدنه سرامیکی و در نتیجه مقاومت کم هر آجر مربوط است که نمی‌تواند با استفاده از ملات استاندارد در بنایی جبران شود. دلیل مهم دیگری که باید ذکر شود این است که اکثر بلوک‌ها و آجرهای رسی از نظر ابعاد سوراخ‌ها و فاصله بین جدارهای طولی با استانداردها مطابقت ندارند یعنی الزامات ابعاد سوراخ‌ها را برآورده نمی‌سازند.

نتایج آزمایش‌ها در مورد ظرفیت باربری و عایق‌کاری حرارتی به صورت زیر جمع بندی می‌شود:

- ملات استاندارد می‌تواند مقاومت حرارتی دیوار ساخته شده با آجر سبک با چگالی بدنه سرامیکی حدود 1/25 گرم بر سانتی متر مکعب را به شدت کاهش دهد. در آزمایش‌های انجام شده با استفاده از ملات‌های استاندارد، مقادیر ضریب هدایت حرارتی خشک حدود W/m.K 0/21 به دست آمد.
- با استفاده از ملات‌های بنایی سبک و ملات‌های با بستر نازک مقادیر ضریب هدایت حرارتی خشک را می‌توان به حدود W/m.K 0/16-0/18 تقلیل داد.
- اگر به منظور کاهش ضریب هدایت حرارتی فاصله بین جدارها موازی با جهت جریان گرما افزایش یابد و بدنه آجر با وزن کمتر ساخته شود، افت زیادی در ظرفیت باربری می‌توان انتظار داشت. بنابر

1- Calibrated hot box
2-Guarded hot box

یافته‌های حاصل از محاسبات همراه با شبیه‌سازی، ظرفیت باربری را می‌توان با تعیین ضخامت بهینه جدار موازی با جهت جریان گرما بهبود بخشید. به منظور تعیین افزایش احتمالی در ظرفیت باربری قابل دستیابی، آزمایش‌های بیشتری با مصالح بنایی انتخاب شده با انواع ملات‌های متداول مورد نیاز است[6].

دیوار بنایی با آجر سبک با سوراخ‌های قائم با مقادیر ضریب هدایت حرارتی خشک حدود 0/16 تا 0/18 W/m.K با ملات‌های بنایی سبک LM1 و LM2 مطابق ویژگی استاندارد آلمان DIN1053 part1 و ملات‌های بستر نازک و همچنین ملات‌های استاندارد با ضریب هدایت حرارتی خشک حدود 0/21W/m.K ساخته شد. با استفاده از این ملات‌ها بهبود قابل ملاحظه‌ای در خواص عایق‌کاری حرارتی دیوار در مقایسه با مطلوب‌ترین مقدار به دست آمده با ملات استاندارد یعنی ضریب هدایت حرارتی خشک 0/30 W/m.K به حدود 0/27 W/m.K حاصل شد.

در همان حال افت ظرفیت باربری بنابر مقادیر اصلی متداول برای مقاطع عرضی آجر طراحی شده برای مطابقت با استانداردها، بیش از آنچه پیش بینی می‌شد، بود. با این وجود شواهدی وجود دارد که چشم انداز مقاومت خوب را ارائه می‌دهد. برای روشن شدن آن آزمایش‌های بیشتری نیاز است [6] .

6-4 مواد سبک پوزولانی مورد استفاده در ملات: بررسی تاثیر آنها در چگالی، مقاومت مکانیکی و جذب آب

سنگدانه‌های سبک در اندودها به منظور به دست آوردن چگالی کم و کارایی بهتر به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت. این نوع از سنگدانه نیاز به حد بالاتری از نسبت‌های معمول آب به سیمان، به ویژه در اندودهای دارای افزودنی آلکیل سلولز و یا نشاسته اصلاح شده، دارد. این مقاله اثر برخی از مصالح سبک (پرلیت منبسط، شیشه منبسط، ریزکره‌های توخالی[1] و پلی استایرن منبسط) در چگالی، روانی، ضریب جذب آب موئینه، جذب آب و مقاومت مکانیکی را گزارش می‌دهد. همه موارد یاد شده نقش مهمی در اندود و پوشش ایفا می‌کنند. درصدهای وزنی مواد سبک صفر، 0/58 و 1/74 در کل ترکیب هستند. آزمایش نشان می‌دهد که مقاومت مکانیکی، ضریب جذب آب موئینه و جذب آب، بسته به نوع مواد سبک و مقدار مورد استفاده به روش‌های مختلف تحت تاثیر قرار گرفته‌اند. شیشه منبسط و ریزکره‌های توخالی تا حدودی فعالیت پوزولانی نشان دادند که توسط آزمون مقاومت فشاری کوتاه مدت، در نمونه آهک و سیمان که پس از هفت روز مورد آزمایش قرار گرفتند، تایید شد. در نهایت، آزمایش‌های هدایت الکتریکی با استفاده از سوسپانسیون آهک در حضور مواد پوزولانی انجام شد[17].

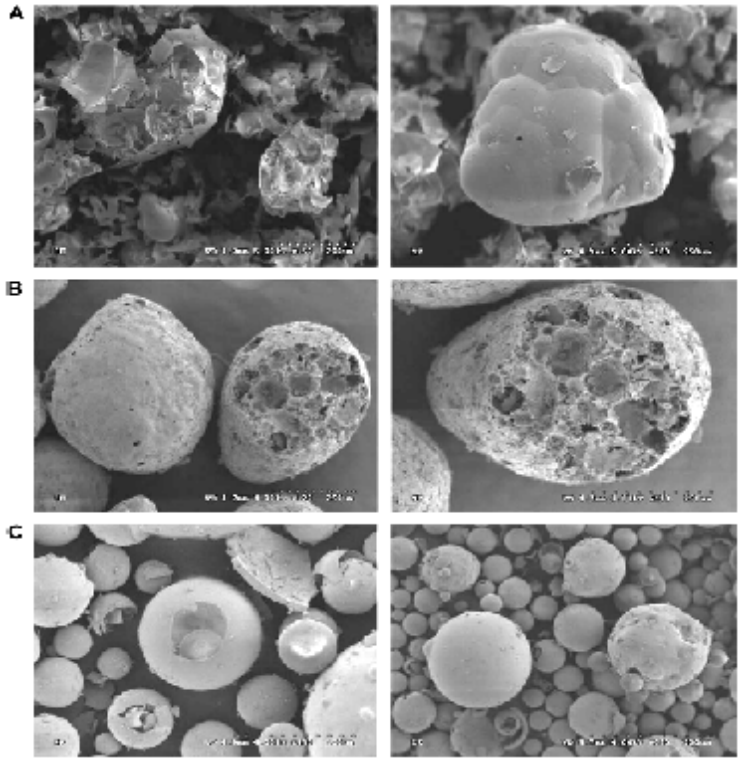
سنگدانه‌های سبک در ملات به جای سیمان یا در ترکیب با سیمان استفاده می‌شوند. با استفاده از این سنگدانه‌ها، ممکن است خواص گوناگونی مانند کاهش وزن، خواص عایق حرارتی و مقاومت در برابر

1 -Hollow micro-spheres

آتش و یا کارایی بهبود یابد. بنابراین، بسیاری از مواد سبک (LWM)، مانند پرلیت منبسط، شیشه منبسط، ریز کره‌های توخالی و پلی استایرن، بدون جایگزینی با سیمان، برای بهبود این خصوصیات استفاده شدند. بعضی از نویسندگان در مورد منطقه گذار بین سطوح (ITZ) بین سنگدانه‌های سبک و خمیر در تلاش برای درک تاثیرشان روی ریزساختار و مقاومت بتن، گزارش‌هایی دارند. دیگر محققان در مورد تاثیر مثبت سنگدانه‌های سبک روی دوام ملات گزارش‌هایی ارائه داده‌اند. خمیر در تماس با سنگدانه سبک چگال‌تر از خمیر دورتر قرار گرفته از سنگدانه‌ها به نظر می‌رسد، که احتمالا به علت جذب آب توسط سنگدانه‌های سبک باشد که نسبت آب به سیمان را در اطراف خمیر کاهش می‌دهد. بسیاری از نویسندگان بر روی مواد پوزولانی طبیعی و مصنوعی مانند متاکائولن، میکروسیلیس و پومیس‌های آتشفشانی نیز گزارش داده‌اند. پرلیت منبسط، شیشه منبسط و ریزکره‌های توخالی (شکل1) موادی سبک هستند که به دلیل ترکیبات بر پایه سیلیسی-آلومیناتی، به طور بالقوه قادر به واکنش پوزولانی هستند. بنابراین آنها می‌توانند، مزایای بیشتری را در ملات با بهبود مقاومت مکانیکی شان فراهم کنند. از سوی دیگر، اکثر LWM ها خمیرهای با چگالی کم و نسبت آب به سیمان زیاد را باعث می‌شوند که اثر معکوس بر مقاومت مکانیکی دارد. علاوه بر این، پلی استایرن منبسط پوزولانی نیست، اما به طور بالقوه آبگریزتر از پرلیت منبسط، شیشه منبسط و یا ریزکره‌های توخالی است که می‌تواند در جلوگیری از جذب آب مفید باشد. هدف این مقاله بررسی و مقایسه برخی از سبکدانه‌ها و اثر آنها بر فرمولاسیون‌های ملات‌های اندود است. تفاوت‌ها و شباهت‌های قابل توجهی بین مصالح سبک مورد استفاده در ملات‌ها وجود دارد. به عنوان مثال، پرلیت منبسط و پلی استایرن منبسط هر دو در ملات‌ها، چگالی را بهبود می‌دهند و قادر به افزایش ظرفیت پوشش‌دهی اندود هستند. با این حال، گاهی اوقات ممکن است آنها زمانی که در معرض محیط‌های مشابه قرار می‌گیرند، کاملا متفاوت رفتار کنند. در حالی که اولی در برابر آلاینده‌های آلی، حرارت و یا بیشتر عوامل جوی، تغییر ناپذیر باقی می‌ماند، دومی به دلیل گرما فرو می‌پاشد و با برخی از ترکیبات آلی واکنش نشان می‌دهد. با این حال، دانه‌های پلی استایرن منبسط انعطاف‌پذیر و آبگریز هستند، در حالی که پرلیت شکننده، صلب و جذب کننده آب است. شیشه منبسط جایگزین مناسبی برای پرلیت منبسط است. مانند پرلیت، مواد در فرایند انبساط در کوره‌های چرخان در 900 درجه سلسیوس از شیشه پودر شده (ضایعاتی) تولید می‌شوند. این فرایند دانه‌های صلب و گرد پدید می‌آورد که حفره‌های هوایی کوچک محصوری دارد و جذب آب آن از پرلیت کمتر است. بنابراین علیرغم تشابه آنها، شیشه منبسط شکنندگی و جذب آب کمتری از پرلیت منبسط دارد و می‌تواند جایگزین خوبی برای پرلیت که ضریب جذب آب موئینه بالا و مقاومت مکانیکی پایینی دارد، باشد.

ریزکره‌های توخالی، آلومینو سیلیکات‌های با چگالی کم استخراج شده از خاکستر سوخت آسیاب شده از نیروگاه‌های با سوخت زغال سنگ است که به طور بالقوه به عنوان مواد پوزولانی بسیار فعال است. برخی از شباهت‌ها بین شیشه منبسط و ریز کره‌های توخالی وجود دارد، به عنوان مثال، هر دو

سنگدانه هندسه گرد دارند، جذب آب شان بقدر پرلیت زیاد نیست و چگالی‌شان مشابه است. با این حال، شیشه منبسط در سیلیس و اکسید سدیم غنی‌تر است، در حالی که درصد آلومینا در ریزکره‌های توخالی بالاتر است[17].



شکل 4-40: تصویرهای SEM سبکدانه‌های مورد مطالعه: (a پرلیت منبسط، (b شیشه منبسط، (c ریزکره‌های توخالی[17]

4-6-1 روش تجربی

مواد و اجزا مخلوط

پرلیت منبسط (EP)، شیشه منبسط (EG)، ریزکره‌های توخالی (HS) و پلی استایرن منبسط شده (EPS) برای مطالعه اثرشان بر روی اندود، به عنوان مصالح سبک انتخاب شدند. تصویرهای SEM سبکدانه‌های پوزولانی در شکل 4-41 نشان داده شده است. افزودن مواد، تا آنجا که ممکن بود مشابه فرمولاسیون اندود معمولی به کار رفت. برخی از اطلاعات در مورد ترکیب مواد سبک و خواص فیزیکی آنها در جدول 4-41 نشان داده شده است. آب آشامیدنی برای همه مخلوط‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

سیمان پرتلند: نمونه‌ها از سیمان سفید تیپ یک با مقادیر مشابه تهیه شد (52.5R).

سنگدانه: مرمرهای سفید منطقه ماکائل مورد استفاده قرار گرفت. اندازه دانه‌ها بین 0/010 و 1/5 میلی‌متر انتخاب شد.

مصالح سبک: هر ماده سبک به یک نمونه شاهد بدون جانشینی سیمان، اضافه شد. مقادیر مواد سبک مطالعه شده، 0/00% (شاهد)، 0/59% و 1/77% وزنی از کل ترکیب بودند. درصدهای بالاتر به دلیل مشکلات مرتبط با مقادیر بالا مورد مطالعه قرار نگرفتند. نمونه‌ها به ترتیب زیر نامیده شدند:

شاهد، EP-1، EP-2، EG-1، EG-2، HS-1، HS-2، EPS-1 و EPS-2.

مواد افزودنی: همه نمونه‌ها شامل مواد افزودنی زیر بودند:

- سلولز اتر[1]، (Walocel VP-M 4998) عرضه شده توسط بایر[2] و مورد نیاز برای تنظیم آب نگهداری.
- سدیم اولئات[3]، عرضه شده توسط شرکت پیتر گرون[4] (مقدار 25/0٪ وزنی) به عنوان آب‌بند کننده استفاده شد.

اختلاط و لرزاندن

نمونه پودری ابتدا در کیسه‌های پلاستیکی به منظور همگنی بهتر مخلوط شدند. سپس هر نمونه با آب تمیز به صورت مکانیکی در یک ماشین خودکار (مخلوط‌کن ملات تونی- تکنیک 551)، با توجه به توصیه‌های ارائه شده در EN 196-1: 1994 مخلوط شد [8]. توجه شود تا از باقی ماندن بازمانده‌های مخلوط نشده در کناره‌های بالایی کاسه اختلاط پس از فرآیند اختلاط جلوگیری شود.

فوق روان کننده‌ها (کاهنده‌های آب) غالبا در مواد پایه سیمانی مانند بتن استفاده می‌شود. با این حال، فوق روان کننده‌ها در اندود مطلوب نیستند چون اثر سیال‌سازیشان در خمیر تازه مفید نیست. این مورد به عدم استفاده از فوق روان کننده‌ها برای ساخت فرمولاسیون اندود بهتر منجر شد. بنابراین،

---

1 -Cellulose ether
2 -Bayer
3 -Sodium oleate
4 -Peter Gereven CO.
5-Toni-Technik mortar mixer 5l

بعضی از نمونه های مانند EP2 و EPS-2 برای به دست آوردن کارایی مناسب بـا مقـدار بیشـتری از آب مخلوط شدند (جدول4-42). بقیه نمونه‌ها با درصد ثابتی از آب مخلوط شدند (21/1%).

جدول 4-41: خواص مواد سبک مورد بررسی(پرلیت منبسط=EP , شیشه منبسط=EG و ریزکره‌های توخالی=HS و پلی استایرن منبسط=EPS) [17]

ترکیب شیمیایی	اجزای شیمیایی			
	EP (%)	EG (%)	HS (%)	EPS (%)
اکسید کلسیم (CaO)	1/4	8/5	0/6	-
سیلیس (SiO_2)	75/6	71/2	59/5	-
آلومینا (Al_2O_3)	12/8	2/4	31/3	-
اکسید آهن (Fe_2O_3)	1/2	0/3	4/7	-
سولفور تری‌اکسید (SO_3)	0/1	0/1	-	-
اکسید منیزیم (MgO)	0/7	1/9	1/2	-
پتاسیم اکسید (K_2O)	2/6	0/9	1/1	-
سدیم اکسید (Na_2O)	3/7	13/3	0/9	-
تیتانیوم اکسید (TiO_2)	-	0/1	-	-
استایرن	-	-	-	100
افت سرخ شدن	1/8	0/3	0/7	100
خواص فیزیکی				
چگالی انبوهی (kg/m^3)	49	321	410	19
هندسه دانه‌ها	نیمه کروی	نیمه کروی	کروی	کروی
سختی	سست	سخت	سخت	انعطاف پذیر
اندازه دانه (mm)	0/08-1	0/25-0/50	0/01-0/35	1-2
رنگ	سفید کرمی	سفید کرمی	قهوه‌ای	سفید
pH	7/3	7/8	7/2	-
رطوبت (٪)	0/60	0/08	0/17	-
جـذب آب، ٪ وزنـی، 30 دقیقه	90/9	26/8	24/4	-
جـذب آب، (٪) وزنـی، 24 ساعته	181/8	47/6	25/3	-
نقطه نرم شدن (^oC)	871-1093	900-1100	1200-1350	80-100

بلافاصله پس از مخلوط شدن، نمونه ها در قالب‌های با اندازه 4×4×16سانتی‌متر بـرای تهیـه آزمونـه‌هـا قرار گرفتند و روی میز ارتعاش به مدت 3 دقیقه با دامنه نوسان 0/75 میلـی‌متـر لرزانـده شـدند. بـرای جلوگیری از جداشدگی در آزمونه‌ها، قبلا زمان لرزاندن و دامنه نوسان مورد مطالعه قرار گرفت[17].

جدول 4-42: چگالی، آب اختلاط و روانی(پرلیت منبسط=EP , شیشه منبسط=EG و ریزکره‌های توخالی=HS و پلی استایرن منبسط=EPS) [17]

کد مخلوط	چگالی ملات تازه (g/cm^3)	آب اختلاط (٪)	جریان (mm)
CT	1/942	21/1	176
EP-1	1/752	21/1	168
EP-2	1/554	26/7	182
EG-1	1/817	21/1	186
EG-2	1/754	21/1	183
HS-1	1/849	21/1	185
HS-2	1/826	21/1	180
EPS-1	1/391	21/1	159
EPS-2	1/212	26/1	138

عمل‌آوری آزمونه‌ها

آزمونه‌ها در قالب‌ها در کیسه‌های پلی اتیلنی تحت شرایط آزمایشگاهی($20\pm 2\ ^oC$) محصور شدند. پس از 48 ساعت، منشورهای ملات از قالب بیرون آورده شدند و برای 25 روز در دمای $20\pm 2\ ^oC$ و رطوبت نسبی 3±92 % نگهداری شدند. پس از این دوره، نمونه‌ها به مدت 24 ساعت در دمای 60^oC خشک شدند و به منظور رسیدن به تعادل رطوبت و دما در شرایط آزمایشگاهی نگه داشته شدند. همه عملیات تثبیت شرایط بر اساس استاندارد EN 1015-11: 1999 انجام شد [9]، به استثنای دوره عمل‌آوری نهایی که در آن رطوبت به جای 5±65 % در 3±92 % ثابت نگاه داشته شد. شش آزمونه برای هر نمونه آزمایشگاهی ساخته شده بودند، دو تا از آنها به مکعب‌های4 سانتی‌متری، برای فراهم آوردن مکعب‌هایی برای اندازه‌گیری ضریب جذب مویینه و جذب آب برش داده شدند. چهار نمونه دیگر برای ارزیابی مقاومت خمشی و مقاومت فشاری مورد استفاده بود[17].

ضریب جذب آب مویینه

پس از خشک شدن، مکعب‌های 4 سانتی‌متری (4 مکعب برای هر نمونه) در محفظه موئینه قرار داده شدند. برای محدود کردن جریان آب در امتداد محور طولی، وجوه جانبی هر یک از مکعب‌ها با ورق پلاستیکی درزبندی شدند[17].

شار آب از میان مکعب غوطه‌ور شدن جزئی در عمق 5 میلی‌متر اندازه‌گیری شد. برای جبران آب جذب شده، در طول آزمایش سطح آب ثابت نگه داشته شد. افزایش در جرم با وزن کردن در فواصل زمانی منظم در طول 10 تا 60 دقیقه اول اندازه‌گیری شد. ضریب جذب آب مویینه از شیب منحنی‌های ثبت شده محاسبه شد[17].

جذب آب

مکعب‌های خشک شده (وزن اولیه)، قبل از اینکه در یک مخزن 3 لیتری آب به مدت 30 دقیقه غوطه‌ور شوند (چهار مکعب برای هر نمونه) وزن شدند. پس از آن مکعب‌ها برداشته و با استفاده از دستمال مرطوب برای از بین بردن آب اضافی روی سطح مکعب خشک شدند. در نهایت، آنها وزن شدند و دوباره تا رسیدن به جرم ثابت غوطه‌ور شدند که منعکس کننده ظرفیت جذب آب نهایی آن است. جذب آب به صورت درصدی از وزن اولیه محاسبه شد[17].

اندازه‌گیری‌های ضریب هدایت الکتریکی

سوسپانسیون آهک هیدراته

ضریب هدایت الکتریکی در سوسپانسیون آهک هیدراته نتیجه حل شدن یون Ca^{+2} و OH^- است. واکنش بین هیدروکسید کلسیم و مواد پوزولانی یون‌های Ca^{+2} را مصرف می‌کند که منجر به کاهش ضریب هدایت الکتریکی می‌شوند. تعدادی سوسپانسیون با مخلوط کردن مواد سبک پوزولانی با آهک هیدراته ساخته شد و ضریب هدایت آنها در 6 ساعت اول اندازه‌گیری شد. سوسپانسیون (شاهد)، بدون مواد سبک، در بازه زمانی مشابه برای تصحیح اثر کربناته شدن مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی این که نمک‌های مواد سبک در ضریب هدایت کل نقش مهمی ندارند، افت ضریب هدایت بررسی شد. با این حال، در بخش اول آزمایش تاثیر این نمک‌ها در طی چند دقیقه اول نوسانات جزئی به وجود آورد. تاثیر آن تنها پس از این مشاهده شد که ضریب هدایت برای هر دو شیشه منبسط و ریزکره‌های توخالی کاهش یافت. افت ضریب هدایت ممکن است به صورت درصدی از ضریب هدایت اولیه بر طبق معادله زیر محاسبه شود:

$$(\%LC)_t = (C_0 - C_t/C_0) \times 100$$

که در آن:

$(\%LC)_t$ افت ضریب هدایت الکتریکی تعیین شده به صورت درصد برای یک زمان t داده شده و یک سوسپانسیون معین

C_0 ضریب هدایت الکتریکی اولیه سوسپانسیون آهک قبل از اضافه کردن مواد سبک

C_t ضریب هدایت الکتریکی سوسپانسیون آهک/ مواد سبک در زمان معین t

اندازه‌گیری‌ها در دمای 25 ± 1^oC با دستگاه اندازه‌گیری ضریب هدایت الکتریکی Crison و یک حسگر Metrohm با ثابت سل $0/85\ cm^{-1}$ انجام شد[17].

سوسپانسیون‌های سیمان

ضریب هدایت الکتریکی یک سوسپانسیون سیمان به دلیل آزاد شدن هیدروکسید کلسیم از سیمان به تدریج افزایش می‌یابد. بعد از چند دقیقه، فرایند را می‌توان با اندازه‌گیری‌های ضریب هدایت الکتریکی (mS/cm) در مقابل زمان، در محلول آبی مورد مطالعه قرار داد. این اندازه‌گیری‌ها در سوسپانسیون‌های

سیمان/ مواد سبک انجام شد و ضریب هـدایت بـه طـور دوره‌ای بـه مـدت هفـت روز بـه ثبـت رسـید. سوسپانسیون سیمان (شاهد) با استفاده از همان روش برای تصحیح اثر کربناته شدن و بررسی فعالیـت پوزولانی نمونه‌های بررسی شده، اندازه‌گیری شد[17].

نتایج

چگالی و روانی

پس از مخلوط کردن ملات‌ها، چند آزمون چگالی به منظور بررسی اثر هریک از مواد سبک انجـام شـد. داده‌ها مطابق با مواد سبک مورد مطالعه بودند به این ترتیـب کـه چگـالی مـلات تـازه زمـانی کـه پلـی استایرن منبسط و پرلیت منبسط استفاده شد، کم‌تر بـود. نمونـه‌هـای شیشـه منبسـط و ریزکـره‌هـای توخالی مقادیر مشابهی نشان دادند. بنابراین، برای مقادیر مشابه، ظرفیت پوشش دهی باید بـا اسـتفاده از پلی استایرن منبسط و به دنبال آن پرلیت بهبود یابد. مواد سبک دیگر نیز باید ظرفیت پوشش دهـی را اگر چه به میزان پایین‌تر افزایش دهند.

چهار اندازه‌گیری روانی در هر نمونه روی میز جریان مطـابق بـا EN 1015-3: 1998 انجـام شـد[17]. نتایج بین 138و 186 میلی‌متر متغیر بود (جدول 2) که بدان معنا است که امکان اصلاح شکل پـذیری اندود با استفاده از مواد سبک و تغییر مقادیرشان وجود دارد. شکل پذیری بیشتر فراهم شده توسط پلی استایرن منبسط ممکن است نتیجه رفتار ارتجاعی خودش باشد. در نمونه‌های سـاخته شـده بـا پرلیـت منبسط، شیشه منبسط و ریزکره‌های توخالی همان طور که میزان مـواد سـبک افـزایش یافـت، حالـت خمیری کمتر شد.

ضریب جذب آب مویینه

جریان آب به مقدار مواد سبک در مخلوط، به صورتی که از شیب های ثبت شده بین 10 و 60 دقیقـه دیده می‌شود، بستگی دارد (جدول 4-42). علیـرغم ملاحظـات اولیـه در مـورد ماهیـت آبگریـزی پلـی استایرن منبسط، یک ارتباط روشن بین ضریب جذب آب مویینه و چگـالی وجـود داشـت. مـلات‌هـای ساخته شده با پرلیت منبسط سطوح بالایی از ضریب جذب آب مویینه به دلیل ظرفیت ذاتی جذب آب این مواد نشان داد (جدول 4-43). در نهایت، در مقایسه با نمونه شاهد، شیشه منبسـط و ریزکـره‌هـای توخالی تغییرات کمی نشان دادند. در بالاترین مقادیر، پرلیـت منبسـط (EP-2) بـدترین نتـایج از نظـر ضریب جذب آب را ارائه داده است[17].

جدول 4-43: داده‌های ضریب جذب آب مویینه ، جذب آب و خواص مکانیکی[17]

(پرلیت منبسط=EP , شیشه منبسط=EG و کره‌های میکرو توخالی=HS و پلی استایرن منبسط=EPS)

کد مخلوط	چگالی خشک (g/cm^3)	ضریب جذب آب ($kg/m^2\ min^{0/5}$)	جذب آب درصد وزنی		داده‌های مکانیکی (N/mm^2)		
			30 دقیقه	نهایی	مقاومت خمشی	مقاومت فشاری	نسبت Rc/d
شاهد	1/751	0/051	3/0	7/8	2/98 ± 0/1	10/05 ± 0/3	5/74
EP-1	1/634	0/067	4/4	10/0	2/64 ± 0/1	8/24 ± 0/2	5/04
EP-2	1/496	0/079	12/5	19/4	1/87 ± 0/0	5/72 ± 0/1	3/82
EG-1	1/683	0/057	3/3	9/4	3/05 ± 0/1	9/15 ± 0/1	5/44
EG-2	1/622	0/065	3/8	10/1	3/25 ± 0/1	10/16 ± 0/3	6/26
HS-1	1/750	0/052	3/4	9/8	3/07 ± 0/1	9/75 ± 0/4	5/57
HS-2	1/663	0/055	3/3	10/3	2/95 ± 0/1	9/68 ± 0/2	5/93
EPS-1	1/272	0/069	5/3	12/6	1/25 ± 0/2	3/88 ± 0/1	3/05
EPS-2	1/037	0/064	6/6	22/6	0/68 ± 0/1	1/71 ± 0/1	1/65

جذب آب

مکعب‌های 4 سانتی‌متری خشک شده، به طور کامل در آب غوطه ور شدند تا ظرفیت جذب آب آنها ارزیابی شود. اگر چه ضریب جذب آب مویینه راه صحیح برای تخمین مقاومت در برابر آب ملات و دوام آن است، جذب آب اطلاعات بیشتری در مورد حجم منافذ و اتصالات را فراهم می‌کند. علاوه بر این، برخی از مواد سبک بعد از یک مدت طولانی غوطه‌وری می‌توانند اشباع از آب باشند. با این حال، در آزمایش ضریب جذب آب مویینه که مدت زمان آن حدود 60 دقیقه بود، مشاهده این امر دشوار بود [17].

نمونه شاهد همان طور که انتظار میرفت مقاوم‌ترین نمونه در برابر نفوذ آب بود. در مقایسه انواع مختلف مواد سبک، ملات‌های آماده شده با پلی استایرن منبسط (EPS-1) و (EPS-2) بالاترین ظرفیت جذب آب را نشان دادند، که بدان معنی است که با وجود طبیعت آبگریز آنها، پلی استایرن گزینه مناسبی برای جلوگیری از نفوذ آب نیست. این را می‌توان به وسیله نقشی که چگالی بازی می‌کند و اندرکنش بین پلی استایرن منبسط و خمیر توضیح داد. مشخص شد که جذب آب با کاهش چگالی افزایش می‌یابد. این نشان می‌دهد که چگالی یک عامل کلیدی کنترل کننده نفوذ آب است. علاوه بر این، مناطق بینابینی پلی استایرن و خمیر سیمانی ممکن است به خوبی متراکم نشده باشد. برای بقیه مواد سبک مورد مطالعه، نسبت W:C در منطقه بینابینی با توجه به ظرفیت مکش آب آنها ممکن است تا حدی کاهش یابد. این مکش آب چسبندگی اضافی بین دانه‌های سبک و خمیر سیمانی فراهم می‌کند [17].

مقاومت خمشی و مقاومت فشاری

بعد از 28 روز عمل‌آوری، آزمونه‌ها مطابق با استاندارد EN 1015-1011 مورد آزمون قرار گرفتند. داده‌های ارائه شده در شکل4-42 نشان‌دهنده ارتباط بین چگالی و مقاومت است. با این حال، داده‌های EG-2 و HS-2 زیاد تر بودند و این همبستگی را نشان نمی‌دادند که پیشنهاد می‌شود برای فعالیت پوزولانی مربوط به شیشه منبسط و ریزکره‌های توخالی مقادیر زیاد تری در نظر گرفته شود. به نظر می‌رسد مقاومت مکانیکی در نمونه پرلیت منبسط (EP-1 و EP-2) توسط چگالی کنترل شده و هیچ اثر محسوسی از واکنش پوزولانی وجود ندارد[17].

شیشه منبسط و ریزکره‌های توخالی تاثیر منفی روی مقاومت فشاری و یا خمشی (جدول4-43) نداشتند. از سوی دیگر، پرلیت منبسط علیرغم پوزولانی بودن مقاومت مکانیکی را بهبود نبخشید، دلیل اصلی این بود که پرلیت بسیار سبک است و چگالی یک بار دیگر نقش کلیدی ایفا می‌کند. در مقادیر پایین، ملات ساخته شده با ریزکره‌های توخالی به نظر می‌رسد کمی قوی‌تر از ملات تهیه شده با شیشه منبسط است اگر چه، در مقادیر بالاتر این تمایل درست بر خلاف آن بود. با این وجود، هر دو سنگدانه سبک (EG) و (HS) نتایج مشابهی نشان دادند[17].

برای یافتن شواهد بیشتری در مورد فعالیت پوزولانی، نسبت مقاومت فشاری به چگالی (Rc/d) (جدول4-43) مورد بررسی قرار گرفت. از این نسبت نتایج زیر به دست می‌آید:

1- هنگامی که واکنش پوزولانی در نمونه ایجاد نمی‌شود (نمونه‌های EPS) و یا در نمونه قابل ملاحظه نیست (EP) ، هر چه مقادیر مواد سبک بالاتر باشد، نسبت (Rc/d) کمتر است (EPS-2، EPS-1 و EP-1, EP-2). این به ویژه در مواد ارتجاعی مانند پلی استایرن آشکار است.

2- این تمایل در شیشه منبسط و ریزکره‌های توخالی (EG-1 ، EG-2 و HS-1 HS-2)، تفاوت دارد که در آنها نسبت یاد شده با افزایش مقدار مواد سبک افزایش می‌یابد.

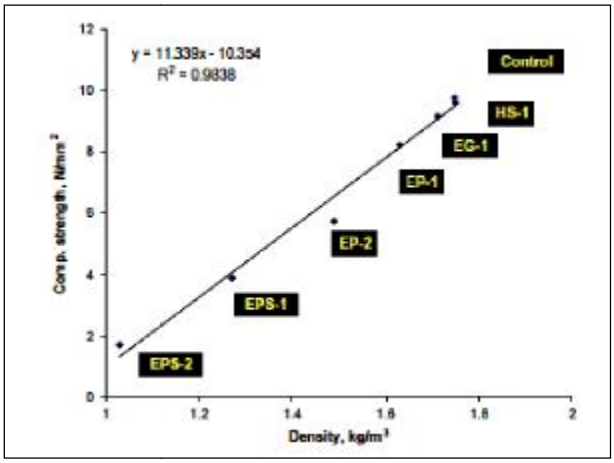
3- در مقایسه با نمونه شاهد، نسبت Rc/d برای نمونه‌های EG-2 و HS-2 حتی بالاتر بود. این مورد آخر می‌تواند به عنوان نشانه‌ای از فعالیت پوزولانی تفسیر شود.

شواهد اضافی درباره خواص پوزولانی

دو آزمون ضریب هدایت الکتریکی برای اطمینان از رفتار پوزولانی شیشه منبسط و ریزکره‌های توخالی انجام شد.

سوسپانسیون‌های آهک هیدراته

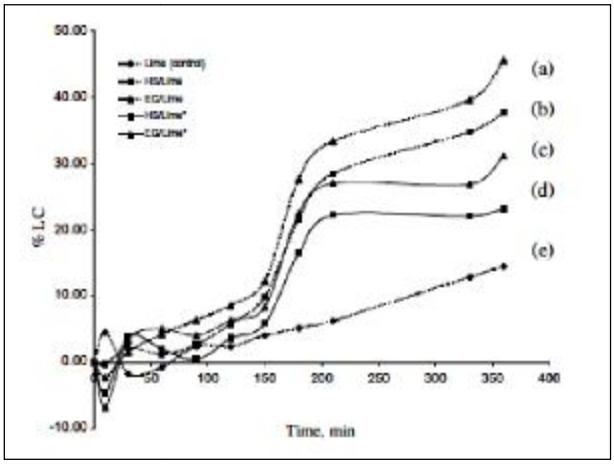
افت ضریب هدایت الکتریکی برای سوسپانسیون‌های هم زده شده‌ی شیشه منبسط/ آهک هیدراته و ریزکره‌های توخالی /آهک هیدراته به ثبت رسید. برای تصحیح اثر طبیعی کربناته شدن، در ارلن‌ها محکم بسته شد و علاوه بر این، سوسپانسیون شاهد ساخته شده از آهک نیز در همان شرایط در طول آزمون مورد آزمایش قرار گرفت. به این ترتیب، از حرارت دادن سوسپانسیون‌ها اجتناب شد و بنابراین شرایط طبیعی بهتر بازتولید شد.



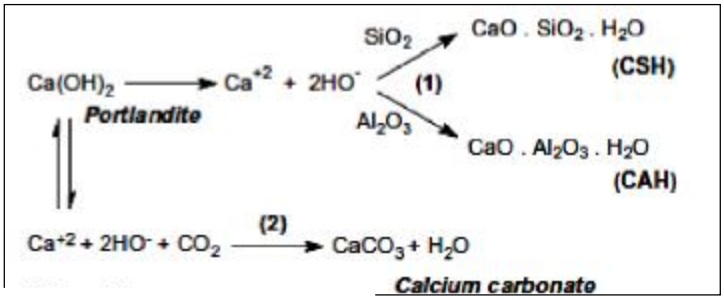
شکل4-42: همبستگی خطی(r^2=0.9838) بین چگالی و مقاومت فشاری آزمونه‌های سبک. همه نمونه‌های ساخته شده از پرلیت و پلی‌استایرن منبسط با این همبستگی مطابقت دارند. تنها استثنا برای نمونه‌های EG2, HS2 دیده شد که مقادیر مقاومت فشاری آنها زیادتر بود[17]

برای آماده سازی سوسپانسیون، 1/05 گرم از هر ماده سبک و 0/10 گرم آهک وزن شدند و سپس 70 میلی لیتر آب مقطر اضافه شد. سپس، سوسپانسیون به طور مداوم به هم زده شد و در دمای 1^oC ±25 بین 10 و 360 دقیقه اندازه‌گیری‌های ضریب هدایت الکتریکی انجام شد.در راستای تعیین نقش شیشه منبسط و ریزکره‌های توخالی بر روی ضریب هدایت، سوسپانسیون مشابهی بدون اضافه کردن آهک آماده شد. برای هر دو نمونه، 1/05 گرم از هر ماده سبک وزن شد و سپس 70 میلی لیتر آب مقطر مجددا به آن اضافه شد. سپس، هر سوسپانسیون به شدت هم زده شد و به منظور افزایش حلالیت نمک تا 80^oC حرارت داده شد. بعد ارلن‌ها به مدت 24 ساعت برای به تعادل رسیدن دمای آنها تا 25^oC نگهداری شدند. مشخص شد که که سهم نمک بر روی ضریب هدایت در مقایسه با یک سوسپانسیون شاهد (آب مقطر)، کمتر از 3 تا 5 درصد بود[17].

از شکل3 می‌توان دریافت که سوسپانسیون شیشه منبسط/ آهک هیدراته بیشترین فعالیت پوزولانی را نشان می‌دهد (منحنی c). با توجه به منحنی ثبت شده (داده ها و شکل) سوسپانسیون ریزکره‌های توخالی/ آهک هیدراته (منحنی d)، از نظر فعالیت و رفتار پوزولانی مشابه مورد قبل به نظر می‌رسد، اگر چه فعالیت آن کمی کم‌تر است. منحنی سوسپانسیون آهک هیدراته (نمونه شاهد) تایید می‌کند (منحنی e) که کربناته شدن را باید در هنگام ارزیابی فعالیت پوزولانی داشت که این کاهش ضریب هدایت در نتیجه کربناته شدن طبیعی آهک با توجه به فرآیندهای شیمیایی توضیح داده شده در شکل-4 است[17].



شکل4-43: افت ضریب هدایت الکتریکی برای سوسپانسیون‌های مختلف در 25 درجه سلسیوس طی 0-360 دقیقه a: سوسپانسیون EG / آهک هیدراته b: سوسپانسیون HS /آهک هیدراته C: افت تصحیح شده ضریب هدایت الکتریکی به دلیل کربناته شدن (منحنی a منهای منحنی e) برای سوسپانسیونHS /آهک هیدراته و e: افت ضریب هدایت به دلیل کربناته شدن برای یک سوسپانسیون شاهد (آهک هیدراته)[17]



1: فرایند پوزولانی 2: فرایند غیرپوزولانی (کربناته شدن)

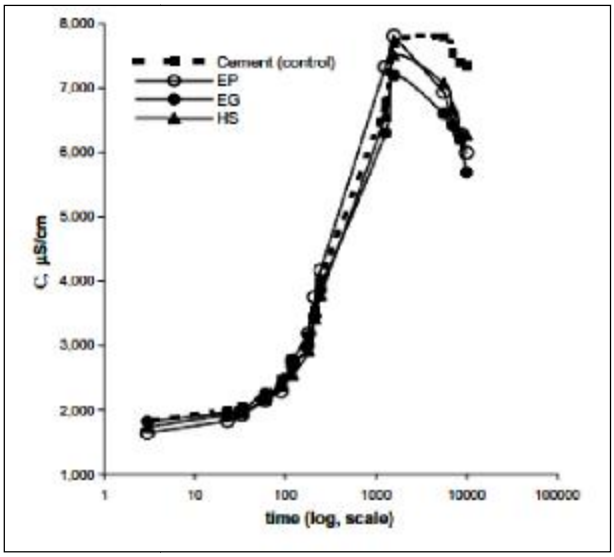
شکل 4-44: واکنش شیمیایی آهک هیدراته با سیلیس و آلومینا (فرایند پوزولانی) و کربناته شدن به دلیل دی اکسید کربن (فرایند غیرپوزولانی) [17]

4-6-2 سوسپانسیون سیمان

اندازه‌گیری‌های ضریب هدایت الکتریکی با در نظر گرفتن روش‌های قبلی و شرایط آزمایشگاهی انجام شدند. با این حال، در این مورد سوسپانسیون‌ها با وزن 1/0 گرم سیمان و 0/5 گرم از هر ماده سبک ساخته شدند. ارلن‌های تا 70 میلی لیتر با آب مقطر پر شدند و ضریب هدایت ساخته شده طی اولین

ساعت تا یک هفته اندازه‌گیری شد (شکل 4-45). سوسپانسیون نمونه شاهد با وزن 1/0 گرم سیمان و 70 میلی لیتر آب مقطر ساخته شد[17].

می‌توان دریافت که ضریب هدایت سوسپانسیون سیمان (نمونه شاهد) (تولید آهک) تا 3/87 روز (اوج منحنی) افزایش می‌یابد، در حالی که سوسپانسیون شاهد تغییرات مهمی را در طی این زمان تجربه نکرده است. با این حال، پس از 24 ساعت اول، واکنش‌های پوزولانی به دلیل مصرف هیدروکسید کلسیم موجب کاهش ضریب هدایت شد. پس از هفت روز، هدایت الکتریکی سوسپانسیون‌های EP/سیمان، EG/سیمان و HS/سیمان، در مقایسه با سوسپانسیون سیمان (نمونه شاهد) به طور قابل توجهی کاهش یافت[17].



شکل 4-45: ضریب هدایت الکتریکی چهار سوسپانسیون ساخته شده با سیمان (شاهد)، EP/سیمان، **EG/سیمان و HS/سیمان. پس از هفت روز، افت ضریب هدایت الکتریکی سوسپانسیون‌های مواد سبک در مقایسه با شاهد به ترتیب 18/4 ٪ ، 22/6٪ و 14/6٪ بود.**

4-6-3 نتیجه گیری

1- مواد سبک مورد مطالعه: پرلیت منبسط، شیشه منبسط، ریزکره‌های توخالی و پلی استایرن منبسط برای بهبود کارایی و ظرفیت پوشش دهی ملات که خصوصیت مهمی در اندودها و ملات‌های پوشش تک لایه است، مفید هستند.

2- پلی استایرن منبسط و پرلیت منبسط ممکن است برخی از خصوصیات مکانیکی ملات سبک را بیش از حد کاهش دهد، زیرا به نظر می‌رسد چگالی به شدت مقاومت‌های مکانیکی‌شان را تحت تاثیر

قرار می‌دهد. به جز در مورد نمونه‌های حاوی بالاترین مقادیر شیشه منبسط و نمونه‌های حاوی ریزکره‌های توخالی، یک رابطه خطی بین چگالی و مقاومت فشاری به دست آمد.

3- خواص پوزولانی پرلیت منبسط با استفاده از آزمون‌های ضریب هدایت الکتریکی تایید شد. با این حال، چگالی بسیار کم آن، مقاومت ملات‌های ساخته شده با پرلیت منبسط را به طور قابل توجهی کاهش می‌دهد.

4- هر دو شیشه منبسط و ریزکره‌های توخالی تا حدی فعالیت پوزولانی در ملات‌های سیمانی دارند، همان طورکه از اطلاعات به دست آمده در مورد مقاومت فشاری برای نمونه‌های با بالاترین مقادیر شیشه منبسط دیده شد. علاوه بر این، اندازه‌گیری‌های ضریب هدایت ثبت شده سوسپانسیون‌های آهک و سیمان فعالیت پوزولانی آنها را تایید کرد.

5- دوام ملات‌های سیمانی شیشه منبسط یا ریزکره‌های توخالی احتمالا بهتر از ملات‌های ساخته شده با پرلیت و یا پلی استایرن است. همه آزمایش‌ها به این نتیجه اشاره دارند که مقادیر به دست آمده برای مقاومت مکانیکی، جذب آب و ضریب جذب آب مویینه با استفاده از شیشه منبسط و ریزکره‌های توخالی بهبود یافته است.

6- بسیاری از فضاهای داخلی پرلیت از حفره‌های میان تهی تشکیل شده اند (شکل1-الف)؛ بنابراین پرلیت حجم بالاتری از آب را جذب می‌کند. این گرایش به وسیله مقادیر ضریب جذب آب مویینه و جذب آب ثبت شده در بالاترین مقادیر نمونه‌های پرلیت منبسط تایید شد[17].

فصل پنجم

نتایج آزمون‌های انجام شده در این پژوهش

مقدمه

در این پروژه تحقیقاتی، برای تعیین خواص انواع ملات‌های تازه و سخت شده و مواد اولیه مورد مصرف در آن‌ها آزمون‌های مختلفی در بخش مصالح و فراورده‌های راه و ساختمان مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی انجام شد. نتایج آزمون‌های خواص شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی و همچنین ضریب هدایت حرارتی نمونه‌ها مورد بررسی و تحلیل قرار گرفتند.

با توجه به اهداف پروژه روش کار به ترتیب زیر بوده است:

1. تعیین خواص شیمیایی و فیزیکی مواد اولیه مورد استفاده
2. تعیین نسبت اختلاط (طرح اختلاط) ملات‌ها و ساخت نمونه ملات‌های بنایی با استفاده از سبکدانه‌ها و چسباننده‌ها مطابق استانداردهای مربوط و مشخصات فنی مورد استفاده در کارهای عمومی ساختمان
3. انجام مطالعات آزمایشگاهی برای تعیین خواص فیزیکی با انجام آزمون‌های مختلف بر روی ملات‌های تازه شامل تعیین میزان روانی ملات تازه، جرم حجمی ملات تازه و هوای ملات تازه
4. انجام مطالعات آزمایشگاهی برای تعیین خواص فیزیکی و مکانیکی مخلوط‌های سخت شده ملات /اندود با انجام آزمون‌های مختلف بر روی ملات‌های سخت شده شامل تعیین چگالی انبوهی، ضریب جذب آب موئینه، مقاومت چسبندگی، مقاومت فشاری 28 روزه و مقاومت خمشی 28 روزه
5. اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی نمونه‌های ملات
6. مقایسه نتایج آزمون‌ها با ویژگی‌های استاندارد، نتیجه گیری و تحلیل نتایج به دست آمده

5-1 مواد اولیه مورد استفاده

مواد اولیه مورد استفاده در این تحقیق شامل سیمان پرتلند، آهک هیدراته، سبکدانه پرلیت منبسط با دو نوع دانه‌بندی ریز و درشت، پوکه معدنی، سبکدانه لیکای معمولی، سبکدانه لیکای شکسته، ماسه ملاتی 2-0 میلی‌متر و مواد افزودنی است.

5-1-1 چسباننده‌ها

5-1-1-1 سیمان پرتلند نوع 2

از سیمان پرتلند نوع 2 نمونه‌برداری شده از یکی از کارخانه‌های داخلی استفاده شد. کیفیت آن از طریق انجام آزمون‌های شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی لازم بر اساس استاندارد ملی ایران شماره 389 تعیین و مورد بررسی قرار گرفت.

روش تعیین کیفیت سیمان شامل مراحل زیر است :

- نمونه‌برداری از سیمان مورد نظر بروش صحیح و استاندارد
- آماده سازی نمونه سیمان برای آزمایش
- انجام آزمایش‌های شیمیایی برای تعیین مقدار ترکیبات شیمیایی شامل: کاهش وزن در اثر سرخ شدن - باقی مانده نامحلول در اسید - اکسیدهای قلیایی (Na_2O, K_2O) - سه کلسیم سیلیکات (C_3S) - دو کلسیم سیلیکات - سه کلسیم آلومینات (C_3A) - چهار کلسیم آلومینوفریت (C_4AF) - اکسید منیزیم (MgO) - اکسید کلسیم (آهک آزاد) - تری اکسید گوگرد - انجام آزمایش‌های فیزیکی برای تعیین خواص فیزیکی شامل: تعیین چگالی - تعیین سطح مخصوص به روش بلین-تعیین انبساط به روش اتوکلاو -تعیین غلظت نرمال و زمان گیرش به روش ویکا- تعیین مقاومت خمشی و فشاری ملات ماسه سیمان با عمر 3، 7 و 28 روز. نتایج آزمون‌ها در جدول‌های 5-1 و 5-2 مشاهده می‌شود.

جدول 5-1: نتایج آزمون‌های فیزیکی و مکانیکی سیمان پرتلند نوع 2 مورد استفاده در پروژه

خواص فیزیکی	ویژگی‌های فیزیکی براساس استاندارد ملی ایران شماره 389	نتایج آزمون
سطح مخصوص (بلین) حداقل- cm^2/g	2800	3200
انبساط به روش اتوکلاو (حداکثر- درصد)	0/8	0/20
گیرش ابتدایی (حداقل- دقیقه)	45	161
گیرش نهایی (حداکثر- ساعت)	6	3 ساعت و 45 دقیقه
مقاومت فشاری حداقل kg/cm^2		
3 روزه	100	195
7 روزه	175	290
28 روزه	315	499
مقاومت خمشی kg/cm^2		
3 روزه	-	44
7 روزه	-	55
28 روزه	-	81

جدول 5-2- نتایج آزمون‌های شیمیایی سیمان پرتلند نوع 2 مورد استفاده در پروژه

ترکیب‌های شیمیایی	ویژگی‌های شیمیایی مطابق استاندارد ملی 389 ایران	نتایج آزمون (درصد)
SiO_2، درصد، حداقل	20/00	22/80
Al_2O_3 ، درصد، حداکثر	6/00	4/81
Fe_2O_3، درصد، حداکثر	6/00	3/65
MgO ، درصد، حداکثر	5/00	3/20
CaO ، درصد	-	63/84
SO_3 ، درصد ، حداکثر $C_3A < 8$ $C_3A > 8$	3/0 -	1/70
باقی‌مانده نامحلول، درصد، حداکثر	0/75	0/19
کسر وزن در اثر سرخ شدن، درصد، حداکثر	3/-	0/40
$Na_2O + 0.658\ K_2O$ درصد، حداکثر	0/6	0/32

تحلیل نتایج آزمون سیمان- با توجه به نتایج آزمون‌های شیمیایی، فیزیکی و مکانیکی انجام شده بر روی نمونه سیمان پرتلند نوع 2 مورد استفاده، این سیمان از کیفیت مناسبی برخوردار است و برای ساخت ملات مناسب می‌باشد.

5-1-1-2 آهک هیدراته

از آهک هیدراته ساوه در این پروژه استفاده شد. کیفیت آن از طریق آزمون‌های شیمیایی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در جدول 5-3 مشاهده می‌شود.

جدول 5-3 : نتایج آزمون ترکیبات شیمیایی آهک هیدراته ساوه مورد مصرف در پروژه

ترکیبات شیمیایی	نتایج آزمون (درصد)
افت وزن در اثر سرخ شدن	25/90
اکسید سیلیسیم (SiO_2)	1/11
مجموع اکسیدهای آهن و آلومینیم ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$)	1/04
اکسید کلسیم (CaO)	66/80
اکسید منیزیم (MgO)	5/00
تری اکسید گوگرد (SO_3)	0/18
دی اکسید کربن (CO_2)	1/02
کربنات کلسیم ($CaCO_3$)	2/32
سولفات کلسیم ($CaSO_4$)	0/22
هیدروکسید کلسیم ($Ca(OH)_2$)	86/39
هیدروکسید منیزیم $Mg(OH)_2$	7/25

تحلیل نتایج آزمون آهک هیدراته: با توجه به نتایج آزمون‌های شیمیایی انجام شده بر روی نمونه آهک هیدراته ساوه مورد استفاده، درصد خلوص آهک هیدراته ساوه 86/39 درصد است که برای ساخت ملات مناسب است.

5-1-2 سبکدانه‌ها

دراجرای این پروژه از ماسه ملاتی 2-0 میلی‌متر، سبکدانه پرلیت منبسط با دو نوع دانه‌بندی ریز و درشت، پوکه معدنی، سبکدانه لیکای معمولی، سبکدانه لیکای شکسته، مخلوط آن‌دو به عنوان سبکدانه استفاده شد. کیفیت این سنگدانه‌ها از طریق انجام آزمون‌های شیمیایی، فیزیکی و پتروگرافی تعیین شد.

5-1-2-1 ماسه ملاتی

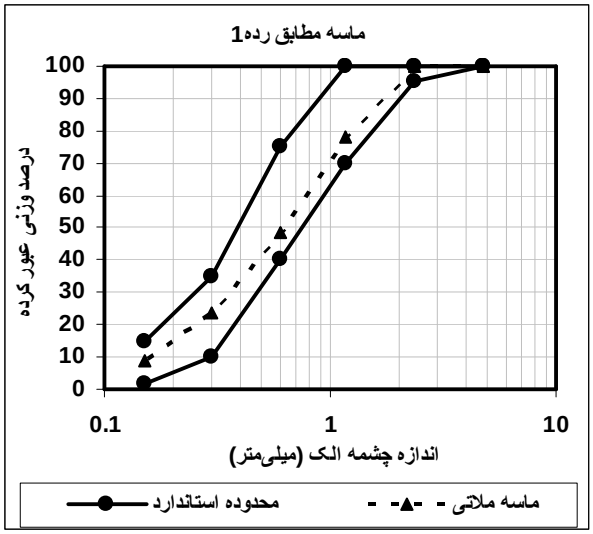
آزمون شیمیایی ماسه ملاتی: ماسه ملاتی 2-0 میلی‌متر مورد آزمون شیمیایی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در جدول 5-4 ارائه شده است.

جدول 5-4: نتایج آزمون شیمیایی ماسه ملاتی

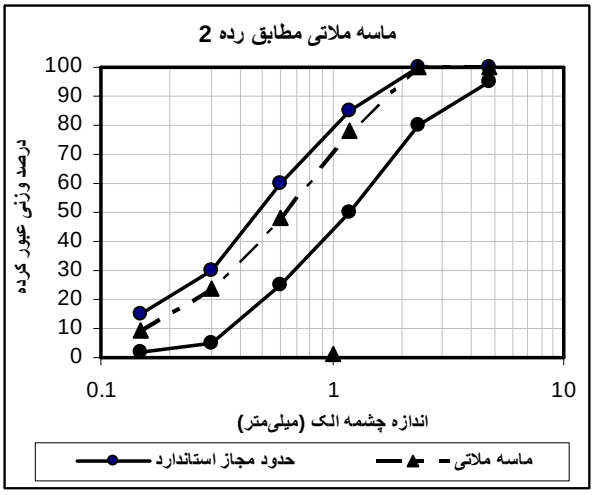
ترکیبات شیمیایی	نتایج آزمون (درصد)
اکسید سیلیسم (SiO_2)	62/55
اکسید آلومینیم ($Al2O_3$)	14/90
اکسید آهن (Fe_2O_3)	4/10
اکسید کلسیم (CaO)	7/70
اکسید منیزیم (MgO)	3/00
تری اکسید گوگرد (SO_3)	0/11
افت وزنی در اثر حرارت (L.O.I)	5/84
کلراید (Cl)	0/01

آزمون فیزیکی (دانه‌بندی) ماسه ملاتی: ماسه ملاتی مطابق با استاندارد ملی ایران شماره 4977 مورد آزمون دانه‌بندی قرار گرفت. در این استاندارد نحوه تعیین توزیع اندازه دانه ها در سنگدانه ریز و درشت توسط الک توضیح داده می‌شود.

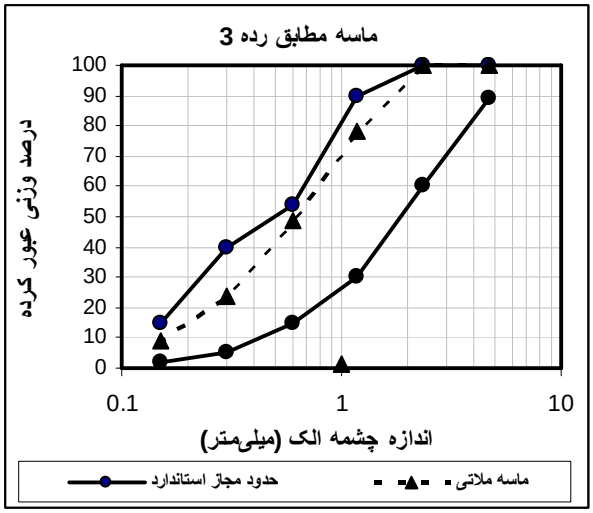
این روش آزمون دقیقاً برای تعیین توزیع اندازه دانه ها با مشخصات لازم برای سنگدانه ها و همچنین تهیه اطلاعات موردنیاز برای کنترل تولید سنگدانه های مختلف و مخلوط‌های حاوی سنگدانه‌ها کاربرد دارد. اطلاعات حاصل از این آزمون می‌تواند در تعمیم رابطه بین تخلخل و آرایش دانه ها نیز مفید باشد خلاصه روش آزمون- نمونه توزین سازه ای از سنگدانه خشک، از یک سری الک که به ترتیب اندازه چشمه از بزرگ به کوچک قرار داده شده اند، عبور داده می‌شود و توزیع اندازه دانه ها تعیین می‌گردد نتایج آزمون دانه‌بندی ماسه ملاتی در مقایسه با حدود مجاز استاندارد ملی ایران شماره 17514 با عنوان سنگدانه‌های ملات بنایی- ویژگی‌ها در شکل‌های شماره 5-1، 5-2 و 5-3 ارائه شده است:



شکل 5-1 – نمودار دانه‌بندی ماسه ملاتی در مقایسه با حدود مجاز رده 1 استاندارد ملی ایران شماره 17514



شکل 5-2 – نمودار دانه‌بندی ماسه ملاتی در مقایسه با حدود مجاز رده 2 استاندارد ملی ایران شماره 17514



شکل 5-3 – نمودار دانه‌بندی ماسه ملاتی در مقایسه با حدود مجاز رده 3 استاندارد ملی ایران شماره 17514

تحلیل نتایج آزمون ماسه ملاتی- با توجه به نتایج آزمون‌های انجام شده نمونه ماسه ملاتی با حدود مجاز رده 1، 2 و 3 استاندارد ملی ایران شماره 17514 با عنوان سنگدانه‌های ملات بنایی- ویژگی‌ها مطابقت دارد.

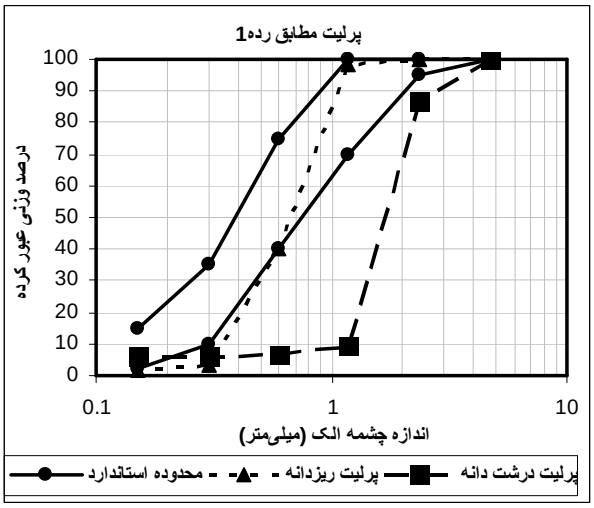
5-1-2-2 پرلیت

آزمون شیمیایی پرلیت: پرلیت مورد استفاده مورد آزمون شیمیایی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در جدول 5-5 ارائه شده است.

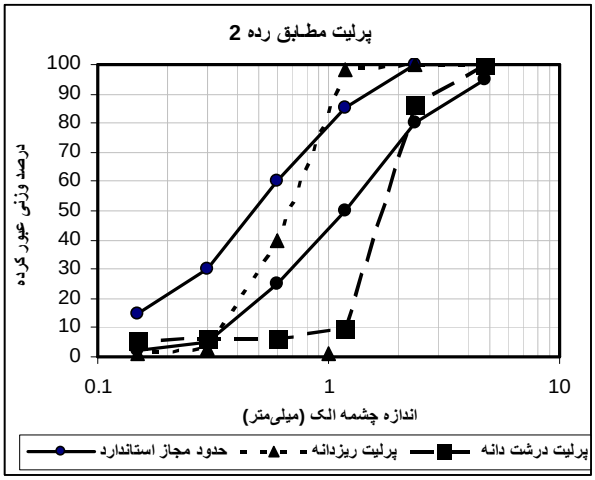
جدول 5-5 : نتایج آزمون شیمیایی پرلیت منبسط

ترکیبات شیمیایی	نتایج آزمون (درصد)
اکسید سیلیسم (SiO_2)	72/64
اکسید آلومینیم (Al_2O_3)	15/53
اکسید آهن (Fe_2O_3)	1/92
اکسید کلسیم (CaO)	2/83
اکسید منیزیم (MgO)	1/52
اکسید سدیم (Na_2O)	1/04
اکسید پتاسیم (K_2O)	2/02
تری اکسید گوگرد (SO_3)	0/06
افت وزنی در اثر حرارت (L.O.I)	2/42
کلراید (Cl)	0/01

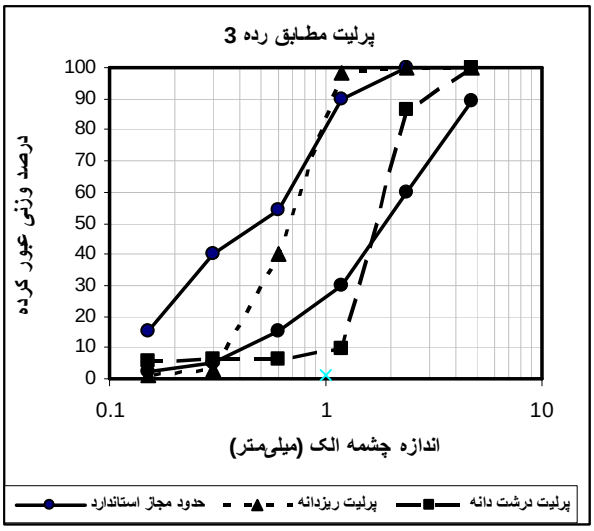
آزمون فیزیکی (دانه‌بندی) پرلیت: پرلیت مورد استفاده در ملات بنایی مطابق با استاندارد ملی ایران شماره 4977 مورد آزمون دانه‌بندی قرار گرفت. نتایج آزمون دانه‌بندی پرلیت درشت دانه و پرلیت ریزدانه در مقایسه با حدود مجاز استاندارد ملی ایران شماره 17514 با عنوان سنگدانه‌های ملات بنایی- ویژگی‌ها در شکل‌های 5-4، 5-5 و 5-6 ارائه شده است.



شکل 5-4 – نمودار دانه‌بندی پرلیت درشت دانه و ریزدانه در مقایسه با حدود مجاز رده 1 استاندارد ملی ایران شماره 17514



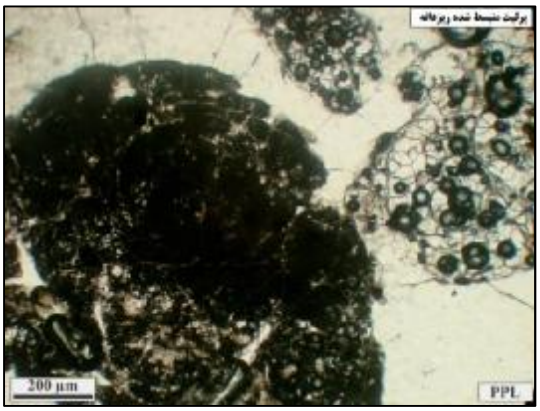
شکل 5-5 – نمودار دانه‌بندی پرلیت درشت دانه و ریزدانه در مقایسه با حدود مجاز رده 2 استاندارد ملی ایران شماره 17514



شکل 5-6 – نمودار دانه‌بندی پرلیت درشت دانه و ریزدانه در مقایسه با حدود مجاز رده 3 استاندارد ملی ایران شماره 17514

تحلیل نتایج آزمون سبکدانه پرلیت- با توجه به نتایج آزمون‌های انجام شده نمونه پرلیت ریزدانه تقریبا با حدود مجاز رده 1، 2 و 3 استاندارد ملی ایران شماره 17514 با عنوان سنگدانه‌های ملات بنایی- ویژگی‌ها مطابقت دارد. پرلیت درشت دانه با هیچ نوع از دانه‌بندی‌های استاندارد مطابقت ندارد.

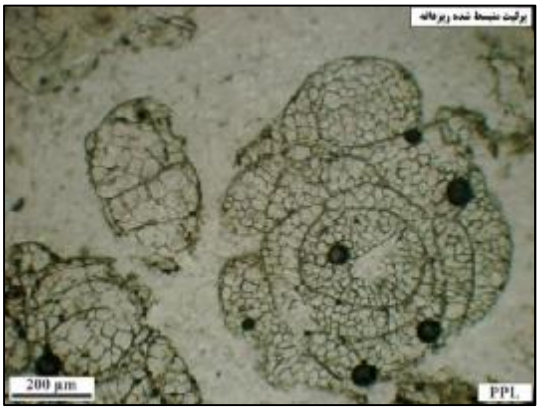
سنگ‌شناسی پرلیت ریزدانه: ذرات تشکیل دهنده این محصول را شیشه آتشفشانی تشکیل داده است. شیشه آتشفشانی در نور PPL میکروسکوپ (نور موازی) به صورت سیاه و کدر مشاهده می شود که خطوط منحنی ترک‌های ناشی از تنش کششی ذرات به هنگام تشکیل پرلیت نیز در آنها قابل رویت می‌باشد (شکل5-7). این ذرات در صورتی که در طی فرایندهای حرارتی دچار انبساط و افزایش حجم گردند به رنگ روشن دیده می‌شود (شکل5-7 و شکل5-8). دلیل این امر افزایش فضای متخلخل بوده که به طور طبیعی در نور موازی بدون رنگ می‌باشد.



شکل 5-7: تصویر نور موازی از یک ذره پرلیت تقریباً سالم و منبسط نشده به رنگ سیاه در سمت چپ، به همراه دو ذره از پرلیت کاملاً منبسط شده در بالا و راست تصویر

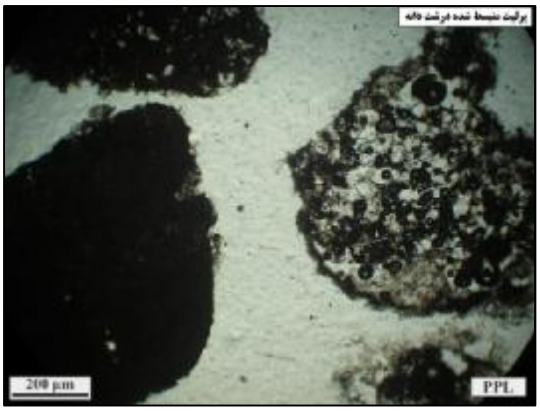
در شکل 5-7 ذرات پرلیت منبسط نشان داده شده است. در این تصویر خطوط منحنی بیانگر جبهه‌های انبساطی در ذرات بوده و فضای بین این جبهه‌ها توسط حفره های متخلخل به شکل کره‌های توخالی پر شده است. خطوط دایره‌واری که مرز فضاهای متخلخل کروی شکل را نمایش می‌دهند شیشه بوده و بین این خطوط توسط فضای خالی و تخلخل پر گردیده است.

عمده ذرات در این محصول کروی گردگوشه است که در مواردی به حالت بیضوی گردگوشه دیده می‌شوند. ابعاد این ذرات بین 0/7 تا 1/2 میلیمتر متغیر است. بخش اعظم ذارت در این محصول انبساط ثانویه یافته‌اند و حجم و میزان تخلخل آنها افزایش یافته است. میزان ذرات منبسط نشده در این محصول کمتر از 10 درصد و تخلخل ذرات منبسط شده بیش از 70 درصد است.



شکل5-8: تصویری از ذرات پرلیت منبسط ریزدانه در نور موازی که در آن جبهه های انبساط و حفره‌های متخلخل ناشی از افزایش حجم به وضوح قابل مشاهده است. در مجموع، خطوط مشاهده شده در بخش های مختلف ذرات از جنس شیشه و فضاهای سفید رنگ بین آنها خالی است

سنگ‌شناسی پرلیت درشت دانه: ذرات تشکیل دهنده این محصول نیز متشکل از شیشه آتشفشانی است. در محصول درشت دانه بر خلاف محصول ریزدانه میزان ذرات پرلیت منبسط نشده از فراوانی بسیار قابل توجهی برخوردار است و میزان تخلخل ذرات در مجموع پایین‌تر می‌باشد. این ذرات به طور عمده گردگوشه بوده و در مواردی دارای گوشه هایی تیز و زاویه دار هستند. ابعاد ذرات در این فراکسیون بین 2 تا 3 میلیمتر متغیر می‌باشد و در حالت نیکل‌های عمود بر هم (XPL) به رنگ قهوه‌ای تا خاکستری تیره و در نور موازی (PPL) به رنگ سیاه دیده می‌شوند. همین رنگ سیاه ذرات در نور موازی موجبات تشخیص ذرات منبسط از ذرات سالم را به سهولت فراهم آورده است. ذرات منبسط در نور موازی به رنگ سفید دیده می‌شوند (شکل 5-9). در مجموع بیش از 70 درصد ذرات در این محصول در طی فرایند حرارتی افزایش حجم یافته‌اند و میزان تخلخل آنها بین 30 تا 40 درصد متغیر می‌باشد.



شکل 5-9: تصویر ذرات در نور موازی، ذره سیاه رنگی که در سمت چپ تصویر مشاهده می شود دانه پرلیت منبسط نشده است. در سمت راست تصویر یک ذره منبسط شده و در بالای تصویر یک ذره با درصد انبساط حجمی ناچیز قابل مشاهده می‌باشد.

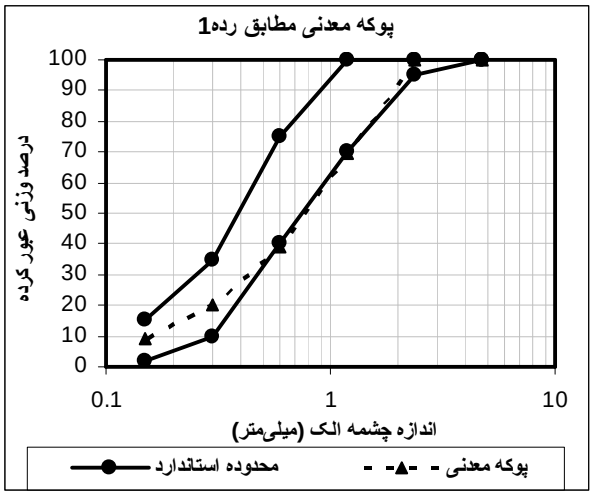
5-1-2-3 پوکه معدنی (پومیس)

آزمون شیمیایی پوکه معدنی (پومیس): پوکه معدنی مورد آزمون شیمیایی قرار گرفت. نتایج به دست آمده در جدول 5-6 ارائه شده است.

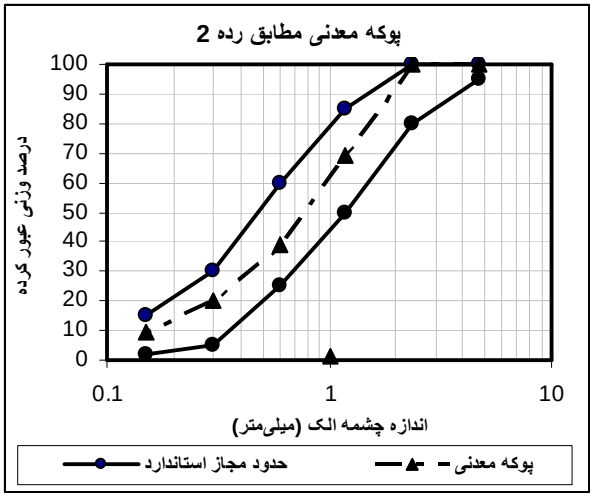
جدول 5-6 : نتایج آزمون شیمیایی پوکه معدنی (پومیس)

ترکیبات شیمیایی	نتایج آزمون (درصد)
اکسید سیلیسم (SiO_2)	51/62
اکسید آلومینیم (Al_2O_3)	20/71
اکسید آهن (Fe_2O_3)	4/39
اکسید کلسیم (CaO)	13/26
اکسید منیزیم (MgO)	1/50
اکسید سدیم (Na_2O)	1/02
اکسید پتاسیم (K_2O)	1/99
تری اکسید گوگرد (SO_3)	0/09
افت وزنی در اثر حرارت (L.O.I)	5/41
کلراید (Cl)	0/00

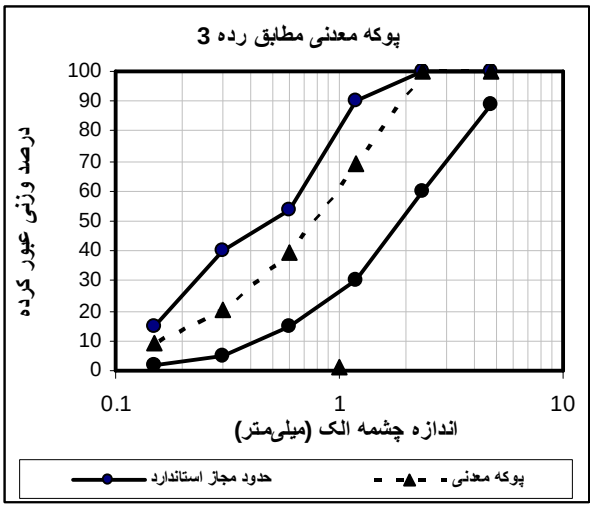
دانه‌بندی پوکه معدنی (پومیس): پوکه معدنی مورد استفاده در ملات بنایی مطابق با استاندارد ملی ایران شماره 4977 مورد آزمون دانه‌بندی قرار گرفت. نتایج آزمون دانه‌بندی پوکه معدنی در مقایسه با حدود مجاز استاندارد ملی ایران شماره 17514 با عنوان سنگدانه‌های ملات بنایی- ویژگی‌ها در شکل‌های 5-10، 5-11 و 5-12 ارائه شده است:



شکل 5-10: نمودار دانه‌بندی پوکه معدنی در مقایسه با حدود مجاز رده 1 استاندارد ملی ایران شماره 17514



شکل 5-11 : نمودار دانه‌بندی پوکه معدنی در مقایسه با حدود مجاز رده 2 استاندارد ملی ایران شماره 17514

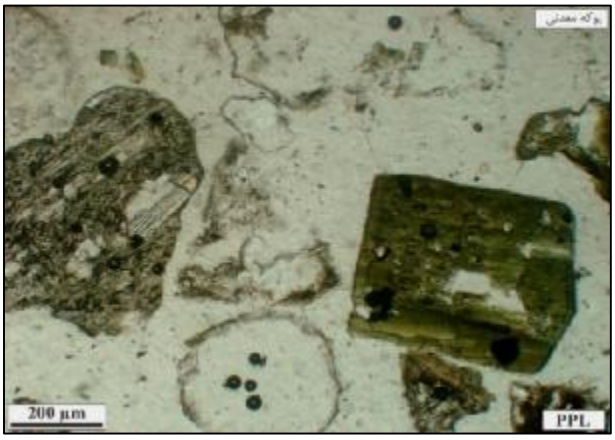


شکل 5-12 : نمودار دانه‌بندی پوکه معدنی در مقایسه با حدود مجاز رده 3 استاندارد ملی ایران شماره 17514

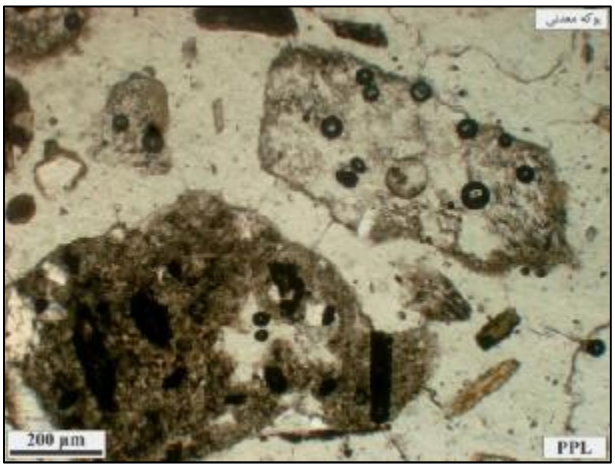
تحلیل نتایج آزمون پوکه معدنی (پومیس)- با توجه به نتایج آزمون دانه‌بندی پوکه معدنی مورد استفاده در این پروژه در مقایسه با ویژگی استاندارد ملی ایران شماره 17514 این سبکدانه با حدود مجاز رده‌های 1، 2 و 3 مطابقت دارد.

سنگ‌شناسی پوکه معدنی (پومیس): ذرات تشکیل دهنده این محصول شامل دو دسته تک بلورهای مستقل از کانی‌های مختلف و ذرات خرده سنگی است. تک بلورها به طور عمده از دو دسته پلاژیوکلاز و آمفیبول تشکیل شده‌اند که توسط ذرات پراکنده‌ای از پیروکسن و در مواردی بیوتیت

همراهی می‌شوند. عمده ذرات پلاژیوکلازها دارای ماکل آلبیتی و منطقه‌بندی می‌باشند. به علاوه این ذرات در طی فرایندهای ماگمایی به هنگام بالا آمدن و فوران ماگما دچار تحلیل رفتگی حرارتی شده‌اند. بلورهای آمفیبول در این نمونه به طور عمده از نوع هورنبلند بوده که در نور موازی به رنگ سبز تیره با تغییر رنگ واضح قابل رویت می‌باشند. پیروکسن‌های موجود در این نمونه غالباً از نوع اوژیت بوده و دارای ماکل تیغه‌ای و دوتایی هستند. علاوه بر ذرات تک بلور، خرده سنگ‌ها نیز بخش قابل توجهی از حجم نمونه را تشکیل داده‌اند. این ذرات دارای بافتهای جریانی و پورفیری بوده و زمینه آنها را شیشه آتشفشانی تشکیل داده است. ترکیب سنگ شناسی این خرده‌سنگ‌ها از آندزیت تا ریولیت متغیر است. در خرده‌سنگ‌های دارای بافت پورفیری، فنوکریست‌ها به طور عمده از نوع پلاژیوکلاز و در مواردی نیز از نوع اوکسی‌هورنبلند (هورنبلند سوخته) می‌باشند. بخش اعظم ذرات خرده سنگی (حدود 70 درصد) دارای تخلخلی بین 5 تا 30 درصد است که می‌توان تخلخل متوسط را حدود 15 درصد در نظر گرفت.



شکل 5-13: تصویری از یک ذره آمفیبول سبز رنگ در نور موازی در سمت راست تصویر و یک ذره خرده سنگی با بافت پورفیری در سمت چپ تصویر



شکل 5-14: تصویری از دو ذره خرده سنگی دارای تخلخل (فضاهای سفید رنگ درون ذرات). در ذره پایین تصویر بلورهای شکل‌دار سیاه رنگ اوکسی هورنبلند قابل مشاهده است. در ذره بالای تصویر یک ذره خرده سنگی با بافت جریانی و دارای تخلخل قابل توجه مشاهده می شود. دو بلور مجزا نیز در سمت راست پایین تصویر از نوع پیروکسن و آمفیبول دیده می‌شوند.

5-1-2-4 سبکدانه لیکا

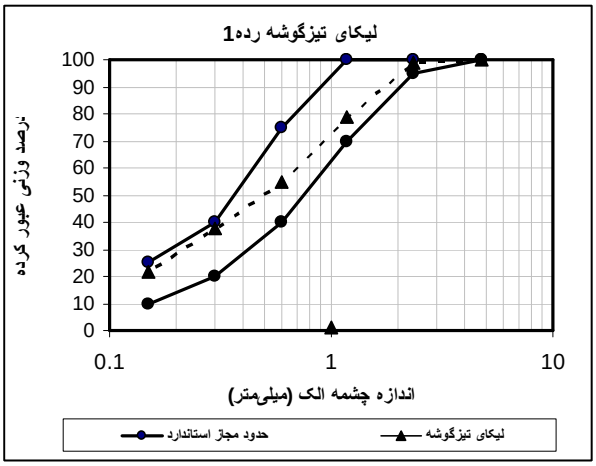
از سبکدانه لیکای معمولی و لیکای شکسته تولید شده در کارخانه لیکا در نزدیکی تهران نمونه‌برداری شد. برای تعیین کیفیت این سبکدانه، نمونه‌ها مطابق استاندارد، آماده سازی و مورد آزمون‌های شیمیایی و فیزیکی شامل دانه بندی قرار گرفتند. نتایج به دست آمده به شرح زیر است:

آزمون شیمیایی سبکدانه لیکا: نتایج آزمون شیمیایی سبکدانه لیکا در جدول 5-7 ارائه شده است.

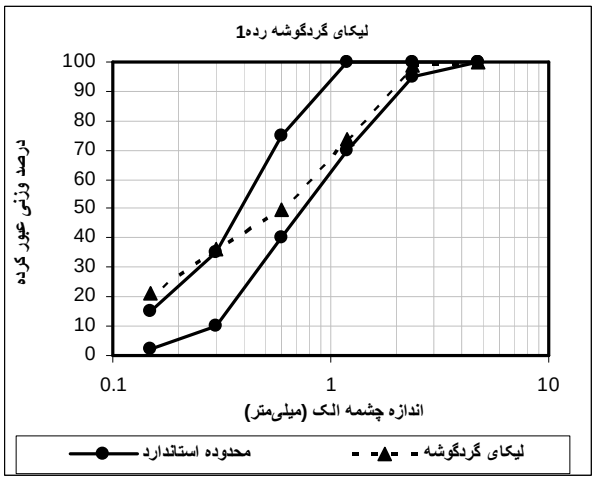
جدول 5-7: نتایج آزمون شیمیایی سبکدانه لیکا

ترکیبات شیمیایی	نتایج آزمون (درصد)
اکسید سیلیسیوم (SiO_2)	66/05
اکسید آلومینیم (Al_2O_3)	16/57
اکسید آهن (Fe_2O_3)	7/10
اکسید کلسیم (CaO)	2/46
اکسید منیزیم (MgO)	1/99
تری اکسید گوگرد (SO_3)	0/03
اکسید سدیم (Na_2O)	0/69
اکسید پتاسیم (K_2O)	2/69
افت وزن در اثر سرخ شدن (LOI)	0/84

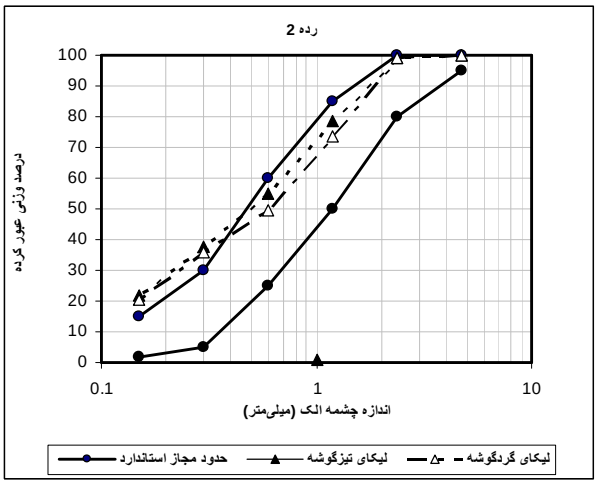
دانه‌بندی سبکدانه لیکا: سبکدانه لیکای مورد استفاده در ملات بنایی مطابق با استاندارد ملـی ایـران شماره 4977 مورد آزمون دانه‌بندی قرار گرفت. نتایج آزمون دانه‌بندی لیکای طبیعی و لیکای شکسـته در مقایسه با استاندارد ملی ایران شماره 17514 با عنـوان سـنگدانه‌هـای مـلات بنـایی- ویژگـی‌هـا در شکل‌های 5-15، 5-16، 5-17 و 5-18 ارائه شده است:



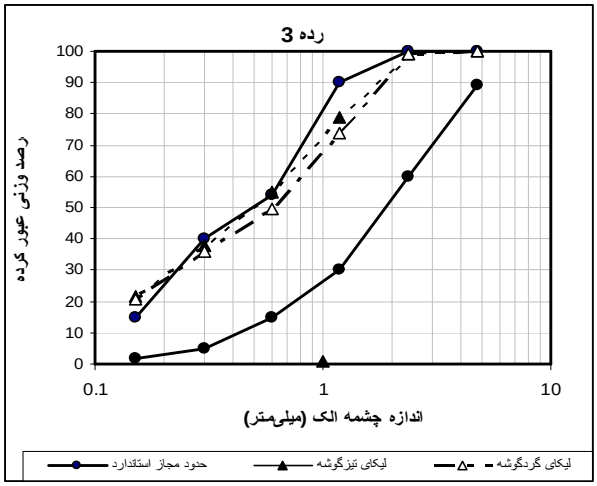
شکل 5-15: نمودار دانه‌بندی لیکای تیزگوشه در مقایسه با رده 1 استاندارد ملی ایران شماره 17514



شکل 5-16: نمودار دانه‌بندی لیکای گردگوشه در مقایسه با رده 1 استاندارد ملی ایران شماره 17514



شکل 5-17 : نمودار دانه‌بندی لیکای تیزگوشه و گرد گوشه در مقایسه با رده 2 استاندارد ملی ایران شماره 17514

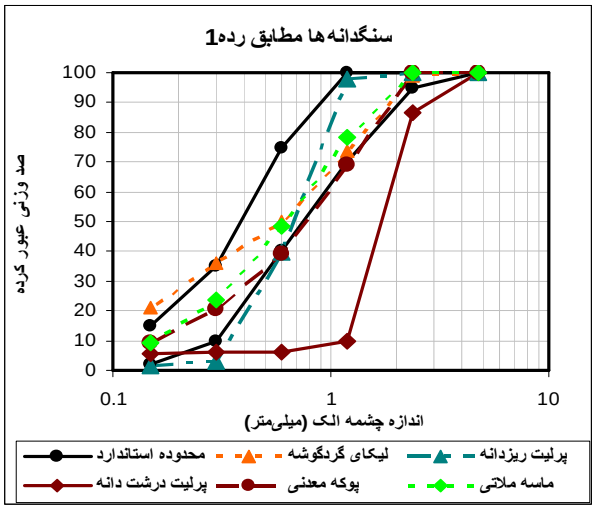


شکل 5-18 - نمودار دانه‌بندی لیکای تیزگوشه و گرد گوشه در مقایسه با حدود مجاز رده 3 استاندارد ملی ایران شماره 17514

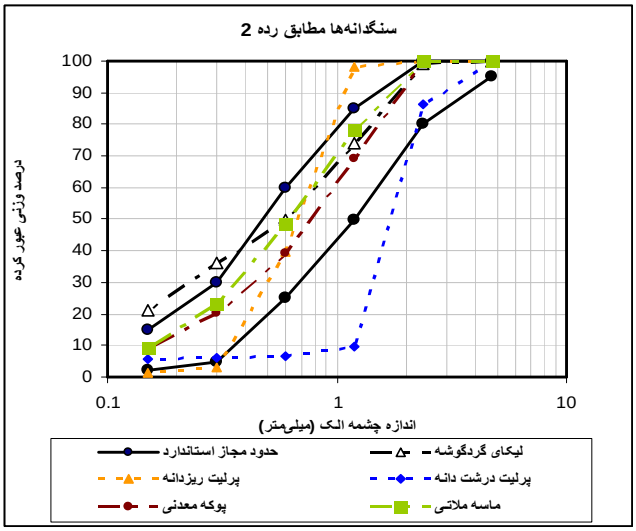
تحلیل نتایج آزمون سبکدانه لیکا- با توجه به نتایج آزمون‌های انجام شده نمونه‌های لیکای تیزگوشه و لیکای گردگوشه با حدود مجاز رده 1 استاندارد ملی ایران شماره 17514 با عنوان سنگدانه‌های ملات بنایی- ویژگی‌ها مطابقت دارد.

تحلیل نتایج آزمون سنگدانه‌های مورد استفاده

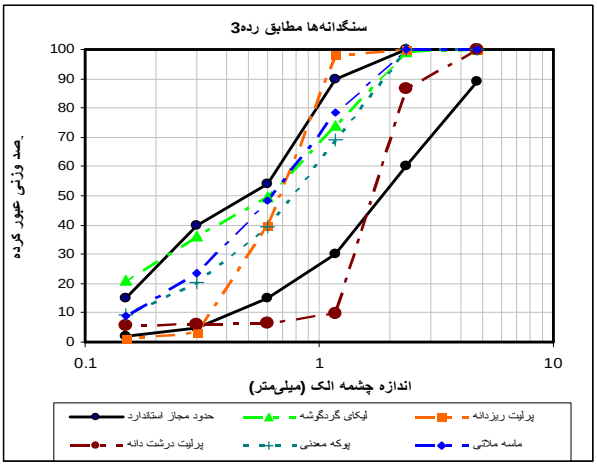
نتایج دانه‌بندی کلیه سنگدانه‌های مورد استفاده در مقایسه با حدود مجاز رده‌های 1، 2 و 3 استاندارد ملی ایران شماره 17514 با عنوان سنگدانه‌های ملات بنایی- ویژگی‌ها، در شکل‌های 5-19 ، 5-20 و 5-21 ارائه شده است.



شکل 5-19: نمودار دانه‌بندی سنگدانه‌ها در مقایسه با رده 1 استاندارد ملی



شکل 5-20: نمودار دانه‌بندی سنگدانه‌ها در مقایسه با رده 2 استاندارد ملی ایران



شکل 5-21: نمودار دانه‌بندی سنگدانه‌ها در مقایسه با رده 3 استاندارد ملی ایران

ماسه ملاتی: با توجه به نتایج آزمون‌های انجام شده نمونه ماسه ملاتی (طبیعی) با حدود مجاز رده 1، 2 و 3 استاندارد ملی یاد شده مطابقت دارد.

سبکدانه پرلیت: با توجه به نتایج آزمون‌های انجام شده نمونه پرلیت ریزدانه تقریبا با حدود مجاز رده 1، 2 و 3 استاندارد ملی یاد شده مطابقت دارد.

پوکه معدنی (پومیس): با توجه به نتایج آزمون دانه‌بندی پوکه معدنی مورد استفاده در این پروژه در مقایسه با ویژگی استاندارد ملی فوق این سبکدانه با حدود مجاز رده‌های 1، 2 و 3 مطابقت دارد.

سبکدانه لیکا: نتایج آزمون‌ها نشان داد که نمونه‌های لیکای تیزگوشه و لیکای گردگوشه با حدود مجاز رده 1 استاندارد ملی یاد شده مطابقت دارند.

5-1-3 مواد افزودنی

در اجرای این پروژه در دو نوع مخلوط ملات از مواد افزودنی روان‌کننده کربوکسیلات برای کاهش نسبت آب به سیمان و در یک نوع از دو ماده افزودنی کربوکسیلات و SBR[1] به منظور بهبود خواص ملات استفاده شد.

استفاده از مواد افزودنی در ملات و بتن به دلیل مسائل اقتصادی و بهبود کیفیت آنها گسترش روزافزونی یافته است. این مواد افزودنی یا به صورت شیمیایی به منظور ارتقاء کیفی ملات و بتن (مانند روان‌کننده‌ها و غیره) و یا برای بهبود خواص چسبندگی سنگدانه به خمیر سیمان استفاده می‌شوند (مانند اپوکسی‌ها یا لاتکس‌ها و غیره).

1 - Styrene-Butadiene-Rubber

SBR : بطور کلی استفاده از امولسیون SBR در ساخت و تعمیر سازه‌های بتنی در حال گسترش است و در این راستا موجب ارتقاء کیفیت ملات و بتن می‌شود. بر اساس مطالعات مختلف مشخص شده است که معمولاً استفاده از این مواد می تواند موجب کاهش اسلامپ و کاهش مدت زمان گیرش خمیر سیمان در ملات یا بتن تازه شود. این مواد در ملات یا بتن سخت شده موجب کاهش یا افزایش مقاومت فشاری (وابسته به نوع و مقدار استفاده)، کاهش مدول ارتجاعی، کاهش مدت زمان گیرش خمیر سیمان، افزایش کرنش گسیختگی، افزایش مقاومت خمشی به دلیل افزایش چسبندگی مرز سنگدانه با خمیر سیمان یا همان ناحیه انتقالی، افزایش مقاومت کششی دو نیم کردن و کاهش نفوذپذیری در مقابل آب می‌شود. در واقع در این حالت استفاده از SBR موجب کاهش حفرات و بهبود ساختار آنها خواهد شد و به لحاظ دوام و پایایی بتن حائز اهمیت است. همچنین استفاده از این مواد باعث دوام بتن در برابر چرخه‌های یخ زدن و آب شدن و واکنش‌های سولفاتی خواهد شد. بر اساس همین مطالعات به نظر می رسد رفتار و تاثیر SBR برای خمیر سیمان، ملات و بتن مشترک بوده و با یکدیگر تفاوت چندانی ندارد.

بطور کلی استفاده از SBR همواره در موارد زیر توصیه شده است:

تعمیرات: به حالت دوغاب به عنوان چسباننده لایه بتن قدیم با لایه جدید، به عنوان چسب بتن و پیوند دهنده برای کلیه ملات‌های تعمیری پایه سیمانی که موجب انعطاف پذیری و توان خمشی بیشتر و کاهش جمع شدگی آنها می شود و به عنوان ملات ترمیمی برای مواردی که بتن کرمو شده است.

آب بندی: برای ایجاد خاصیت نفوذناپذیری در مقابل آب

کف سازی: برای بالا بردن مقاومت سایشی ملات های کف سازی استفاده می‌شود.

روان کننده‌ها: مواد افزودنی شیمیایی به عنوان یکی از اجزاء فرعی تشکیل دهنده ملات یا بتن است که به منظور افزایش کیفیت، کاهش نارسایی و یا تغییر بعضی از خواص به آن‌ها اضافه می‌شود. از مهمترین این افزودنی‌ها مواد روان کننده و فوق روان کننده یا مواد کاهنده آب هستند. عملکرد اصلی مواد افزودنی روان کننده، افزایش کارایی بتن یا ملات و به عبارت دیگر، کاهش آب لازم برای اختلاط ملات و بتن و بنابراین افزایش مقاومت آن‌ها است. همچنین استفاده از این مواد باعث صرفه جویی مصرف سیمان و همچنین سهولت عملیات تراکم می‌گردد و مانع آب انداختن می‌شود. اغلب این مواد بر پایه شیمیایی لیگنوسولفونات و یا نفتالین می‌باشند. فوق روان‌کننده ها در مقایسه با روان کننده ها دارای اثر قوی‌تری هستند. این مواد ضمن حفظ انسجام بتن و ملات و بدون کاهش مقاومت آن باعث افزایش کارایی می شوند. به علاوه، این مواد قادرند آب مورد نیاز را به میزان 25 تا 35 درصد کاهش داده و در نهایت باعث افزایش بسیار زیاد مقاومت شوند. فوق روان کننده ها اغلب بر پایه شیمیایی پلی کربوکسیلاتی است. استفاده از نسبتهای آب به سیمان کم منجر به تولید و ساخت ملات‌هایی با مقاومت بالا خواهد شد.

5-2 بررسی‌های آزمایشگاهی انواع ملات با طرح اختلاط مختلف

5-2-1 تعیین خواص مخلوط ملات تازه

پس از مطالعات و بررسی‌های به‌عمل آمده و چگالی مواد تشکیل دهنده که در جدول 5-8-1 ارائه شده است، 27 طرح اختلاط ملات با نسبت‌های حجمی مختلف (جدول 5-8-2) ساخته شد. با توجه به چگالی مواد تشکیل دهنده درصدهای وزنی مخلوط ملات‌های یاد شده محاسبه شد که در جدول 5-8-3 ارائه شده است.

میزان روانی، جرم حجمی، قابلیت اب نگهداری و مقدار هوای انواع مختلف ملات تازه تعیین شد. در ساخت ملات‌های مورد تحقیق از مخلوط کن‌های آزمایشگاهی (شکل 5-22) استفاده شد.

شکل 5-22: مخلوط‌کن‌های ملات برای آماده‌سازی آزمونه‌ها

جدول 5-8-1- چگالی اجزای تشکیل دهنده ملات‌های ساخته شده

اجزای تشکیل دهنده ملات‌ها	چگالی، kg/m^3
سیمان	1158
پرلیت	315
لیکا	485
آهک هیدراته	655
ماسه معمولی	1242

جدول 5-8-2: اجزای تشکیل دهنده مخلوط‌های مختلف ملات با نسبت‌های حجمی

شماره مخلوط	اجزای تشکیل‌دهنده مخلوط‌های مختلف – نسبت‌های حجمی								روان‌ساز (درصد وزنی نسبت به سیمان)	SBR (درصد وزنی نسبت به سیمان)
	سیمان	آهک	ماسه ملاتی	پرلیت منبسط		لیکای طبیعی	لیکای شکسته	مخلوط لیکا	پوکه معدنی	
			دانه‌بندی سنگدانه‌های مورد استفاده– میلی‌متر							
			0 -2	0 -2	0 -5	0 -2	0 -2	0 -2	0 -2	
شاهد	1		3							
1	1	1	6							
2	1	2	9							
3	2	1				7				
4	2	1				5				
5	2	1		1		4				
6	1			1		2				
7	1	1		2		4				
8	2	1					5			
9	2	1		1			4			
10	2	1		1		2	2	4		
11	2	1		3			3			
12	2	1		1						
13	1	1		1/5	1/5					
14	2	1		1/5	1/5		3			
15	2	1		1/5	1/5	1/5	1/5	3		
16	2	1				3	3			
17	1	1					4			
18	1						3			
19	2	1					7			
20	1			1		2				0/8
21	1	1		2		4			1/5	
22	1	1							5	1/5
23	1	1							7	
24	1	1							7	
25	2	1		1/5	1/5				5	
26	1	1		1/5	1/5				3	

جدول 5-8-3: اجزای تشکیل دهنده مخلوط‌های مختلف ملات با درصدهای وزنی

شماره مخلوط	سیمان	ماسه	آهک	لیکای طبیعی	لیکای شکسته	لیکای مخلوط	پرلیت ریز	پرلیت درشت	پومیس	روان‌ساز (درصد وزنی نسبت به سیمان)	SBR (درصد وزنی نسبت به سیمان)
شاهد	23/7	76/3									
1	12/5	80/4	7/1								
2	8/5	81/9	9/6								
3	36/3		10/3	53/4							
4	42/9		12/1	45/0							
5	44/3		12/5	37/2			6/0				
6	47/4			39/8			12/8				
7	26/4		15/0	44/3			14/3				
8	37/5		10/6		51/9						
9	39/6		11/2		43/9		5/4				
10	41/8		11/8			40/7	5/7				
11	39/7		11/2		33/0		16/1				
12	67/9		19/2				9/2	3/7			
13	46/8		26/5				19/0	7/6			
14	41/7		11/8		34/7		8/5	3/4			
15	43/5		12/3			31/8	8/8	3/5			
16	36/4		10/3	22/9	30/3						
17	26/4		15/0		58/6						
18	37/5				62/5						
19	31/0		8/8		60/2						
20	72/5						19/6	7/9		1/2	0/8
21	47/4			39/8			12/8			1/5	
22	26/4		15/0	44/3			14/3			1/5	
23	18/3		10/4						71/3		
24	14/3		8/1						77/6		
25	28/5		8/1				5/8	2/3	55/3		
26	22/4		12/7				9/1	3/6	52/2		

میزان روانی ملات تازه

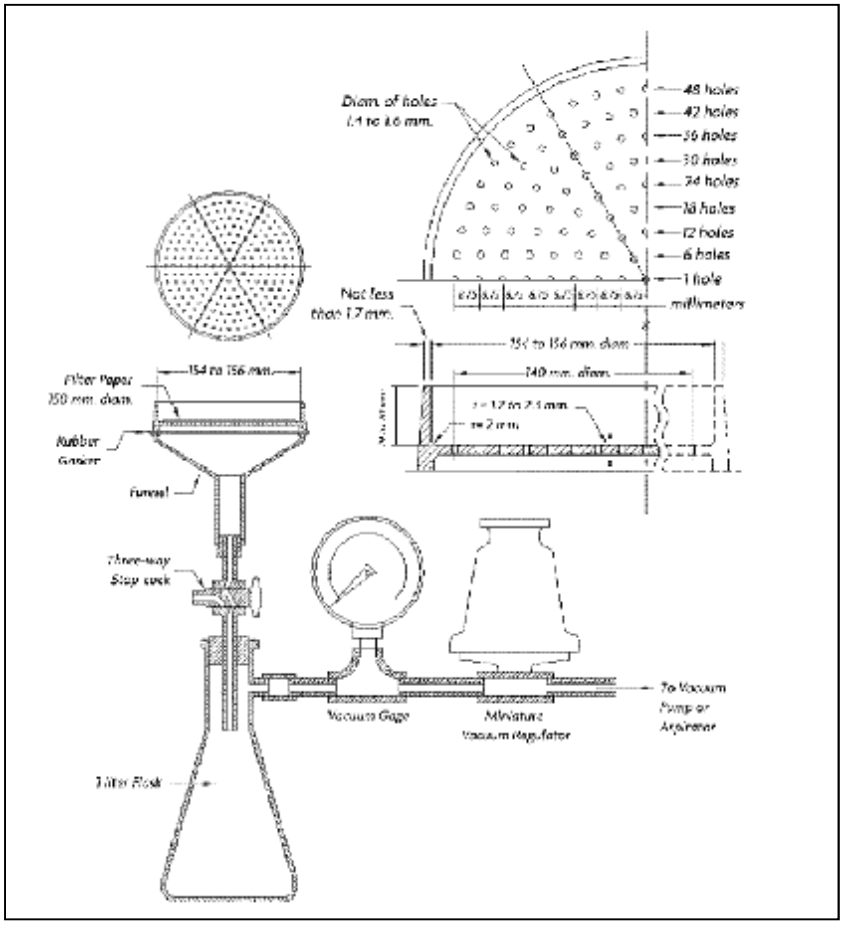
میزان روانی انواع ملات‌های تازه ساخته شده مطابق استاندارد ملی ایران شماره 9150-3 با عنوان ملات بنایی- روش آزمون- قسمت سوم تعیین روانی ملات تازه (به وسیله میز روانی) تعیین شد.
هدف از این آزمون تعیین مقدار جریان ملات تازه در طول زمان یا به عبارت دیگر شناسایی حد کارایی ملات تازه است. ابتدا ملات تازه در داخل قالب فلزی ریخته شده و روی میز جریان قرار می‌گیرد. سپس قالب فلزی برداشته شده و میز جریان پنج بار در عرض سه ثانیه پائین می‌آید (شکل 5-23). پس از آن قطر جریان با استفاده از کولیس اندازه‌گیری می‌شود (شکل5-24). قطر قالب 100 میلی‌متر است، بنابراین قطر جریان ملات تازه بزرگتر از 100 میلی‌متر خواهد بود [15].
نتایج به دست آمده در جدول 5-9 ارائه شده است.

شکل 5-23: تعیین روانی ملات تازه با استفاده از جریان میز

شکل 5-24: اندازه‌گیری قطر جریان ملات تازه توسط کولیس

قابلیت آب نگهداری

قابلیت آب نگهداری برخی از انواع ملات‌های تازه ساخته شده مطابق استاندارد ASTM C1506 با عنوان قابلیت آب نگهداری ملات‌های پایه سیمان هیدرولیکی و اندودها انجام شد. نماد تجهیزات مورد نیاز در شکل 5-25 نشان داده شده است.



شکل5-25: نماد تجهیزات آزمون قابلیت آب نگهداری ملات

در این روش آزمون میزان روانی (جریان) ملات یا اندود تعیین می‌شود. سپس ملات یا اندود در معرض مکش خلاء کنترل شده‌ای به مدت 60 ثانیه قرار داده می‌شود. مجددا میزان روانی (جریان) ملات یا اندود تعیین می‌شود. قابلیت آب نگهداری برابر است با میزان روانی نهایی تقسیم بر میزان روانی اولیه که به صورت درصد گزارش می‌شود.

این روش آزمون وسیله‌ای برای تعیین قابلیت آب نگهداری ملات‌ها و اندودها تحت مکش است. نتایج آزمون را می‌توان برای تعیین انطباق با ویژگی‌ها بکار برد.
نتایج بدست آمده از این روش آزمون را می‌توان برای مقایسه قابلیت نسبی ملات‌ها و اندودها به منظور قابلیت آب نگهداری تحت مکش بکار برد.
نتایج به‌دست آمده از این روش آزمون برای ملات‌های بنایی، لزوما درجه آب نگه‌داری را هنگامی که با واحدهای بنایی استفاده می‌شود نشان نمی‌دهد.
نتایج به‌دست آمده از این روش آزمون برای اندودها، لزوما درجه آب نگه‌داری را هنگامی که اندود به عنوان پوشش دوم بر روی سطحی که اندود پوشش پایه بر روی آن بکار رفته است نشان نمی‌دهد، لذا مقدار آب جذب شده از پوشش دوم اندود به میزان جذب آب پوشش پایه بستگی دارد. این موضوع هم‌چنین هنگامی‌که یک اندود به عنوان پوشش واحدهای بنایی بکار می‌رود صادق است.
نتایج به دست آمده در جدول 5-10 ارائه شده است.

جدول 5-10: قابلیت آب نگهداری چند نمونه منتخب مخلوط ملات

شماره مخلوط	میزان جریان اولیه میلی‌متر	میزان جریان نهایی میلی‌متر	قابلیت آب نگهداری درصد
شاهد	168	139	83
1	168	145	86
4	189	117	62
6	205	142	69
7	152	115	76
13	192	136	71
15	153	115	75
17	140	104	74
22	198	164	83
23	145	110	76
26	160	114	71

جرم حجمی ملات تازه

جرم حجمی انواع ملات‌های تازه ساخته شده مطابق استاندارد ملی ایران شماره 9150-6 با عنوان ملات بنایی- روش آزمون- قسمت ششم تعیین جرم حجمی ملات تازه تعیین شد.
جرم حجمی یک ملات تازه از تقسیم جرم ملات به حجم اشغال شده محاسبه می شود .برای تعیین حجم ملات، مطابق دستورالعمل مشخصی در داخل ظرفی با حجم معین ریخته و یا ریخته و متراکم می شود. نتایج به دست آمده در جدول 5-11 ارائه شده است.

عمر کارایی ملات تازه

عمر کارایی انواع ملات‌های تازه ساخته شده مطابق استاندارد ملی ایران شماره 9-9150 با عنوان ملات بنایی- روش آزمون- قسمت نهم- تعیین عمر کارایی و زمان تصحیح ملات تازه تعیین شد. در شکل 5-26 دستگاه اندازه گیری عمر کارایی ملات تازه مشاهده می شود.

عمر کارایی یک نمونه ملات تازه که میزان روانی آن به مقدار مشخص رسانده شده است. عمر کارایی ملات تازه برحسب دقیقه اندازه گیری می شود که در آن ملات در برابر نفوذ یک میله استاندارد که به آن نیرو وارد می کند، به حدمشخص مقاومت نفوذی برسد. به گونه‌ای که در طول انجام آزمون، به حد معین سفتی یا کارایی برسد.

روش آزمون- قالب ها را با ملات و هر نوع مخلوط مرجع به اندازه کافی پر می‌کنند، به گونه ای که سطح کافی برای تعداد مورد نیاز نفوذ میله فراهم شود. هر قالب با ملات در ده لایه پر می‌شود و از ریختن اضافی ملات جلوگیری به عمل می‌آید. پس از ریختن هر لایه ملات، آن را روی میز قرار می‌دهند، چهار بار بلند کرده و به آرامی رها می‌کنند. ملات اضافی از روی سطح رویی قالب بااستفاده از کاردک برداشته می‌شود. قالب های پر شده در یک کیسه از جنس پلی اتیلن هوابندی شده نگه داری می‌شود. قالب را روی ترازو زیر میله نفوذی قرار می‌دهند به گونه ای که سطح آزمونه بلافاصله زیر میله در فاصله حداقل 20 میلی‌متری کناره قالب یا از هر جای قبلی نفوذ میله قرار گیرد . ترازو را صفر کرده یا جرم قالب پر شده از ملات را ثبت می‌کنند. بااستفاده ازاهرم وسیله آزمون میله نفوذی را به آرامی پایین آورده تا واشر آزاد در تماس با سطح آزمونه قرار گیرد. عدد نشان داده شده روی ترازو به کیلوگرم یادداشت می‌شود. مقاومت به نفوذ میله برحسب نیوتن بر میلی متر مربع ارائه می‌شود.

شکل 5-26: دستگاه تعیین عمر کارایی به همراه ترازو

نتایج به دست آمده در جدول 5-11 ارائه شده است.

هوای ملات تازه

میزان هوای انواع ملات‌های تازه ساخته شده مطابق استاندارد ملـی ایـران شـماره 7-9150 بـا عنـوان ملات بنایی- روش آزمون- قسمت هفتم تعیین مقدار هوای ملات تازه تعیین شد.

نخست حجمی از ملات، داخل یک ظرف مخصوص اندازه گیری ریخته می شود .سپس آب از بالای سطح ملات با اعمال فشار هوا، وارد آزمونه می شود و یا، مخلوط آب -الکل به داخل ملات رانده می شود، تا هوا از تمامی خلل و فرج ملات خارج شود .با پایین آمدن سطح آب بالای ملات، حجم هوای خارج شده از ملات تعیین می شود.

روش آزمون- ظرف استوانه‌ای با حجم تقریبی 500 میلی لیتر را تا نشانه 200 میلی‌لیتری از ملات با استفاده از قیف پر می‌کنند. به آرامی به ظرف ضربه وارد می‌شود تا سطح ملات د اخل آن صاف شود. سپس حجم ملات بر حسب میلی لیتر ثبت می‌شود. آنگاه مخلوط الکل و آب را به دقت داخل ظرف اضافه می‌کنند تا حجم کل به 500 میلی لیتر برسد.

توسط درپوش لاستیکی در ظرف را بسته و 20 مرتبه آن را سر وته می‌کنند تا ملات و مخلوط آب و الکل کاملاً مخلوط شوند. سپس به مدت 5 دقیقه می‌گذارند تا مخلوط ته نشین شود و سپس حجم آن بر حسب میلی لیتر قرائت می‌شود. درصد هوای ملات از معادله زیر به دست می‌آید:

100× حجم اولیه ملات / (حجم نهایی ملات و الکل - 500) = هوای ملات(%)

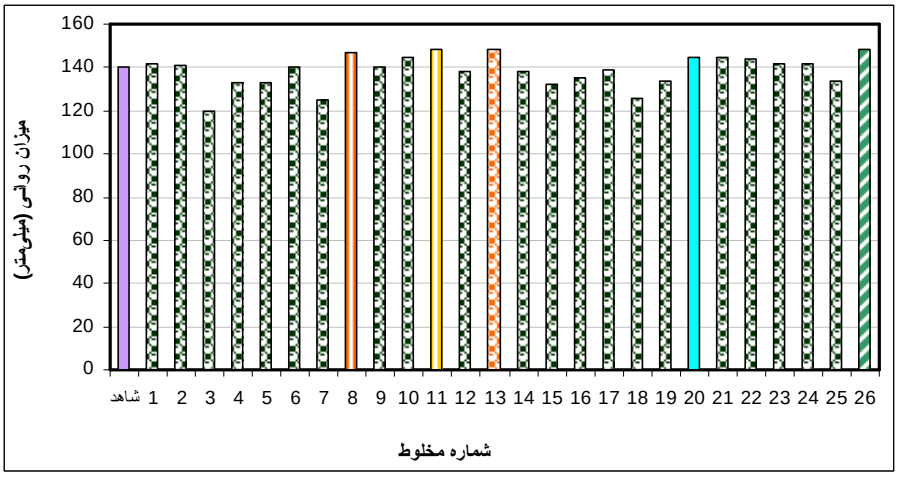
نتایج به دست آمده در جدول 5-11 ارائه شده است.

جدول 5-11: نتایج آزمون‌های تعیین روانی، تعیین جرم حجمی و تعیین هوای ملات تازه آزمونه‌های ساخته شده با 27 نوع ملات تازه

شماره مخلوط	میزان روانی (میلی‌متر)	جرم حجمی (g/cm^3)	هوای ملات (درصد)	عمر کارآیی (دقیقه)
شاهد	140	1/93	4/11	45
1	142	1/30	6/30	79
2	141	1/27	6/57	87
3	120	1/26	7/50	28
4	133	1/44	5/00	35
5	133	1/46	2/33	20
6	140	1/26	5/00	22
7	125	1/28	2/42	30
8	147	1/65	4/93	68
9	140	1/55	3/41	57
10	145	1/49	1/46	49
11	148	1/51	2/44	65
12	138	1/66	1/43	20
13	148	1/36	3/26	45
14	138	1/45	5/00	58
15	132	1/40	3/33	72
16	135	1/44	4/65	20
17	139	1/55	2/33	31
18	126	1/57	5/00	22
19	134	1/56	5/00	82
20	145	1/48	11/44	58
21	144	1/05	7/50	43
22	142	0/99	7/32	15
23	142	1/78	2/50	85
24	142	1/69	3/50	65
25	134	1/52	٥/٠٠	78
26	148	1/05	٧/٥٠	59

تحلیل نتایج آزمون‌ها- خواص مخلوط ملات تازه

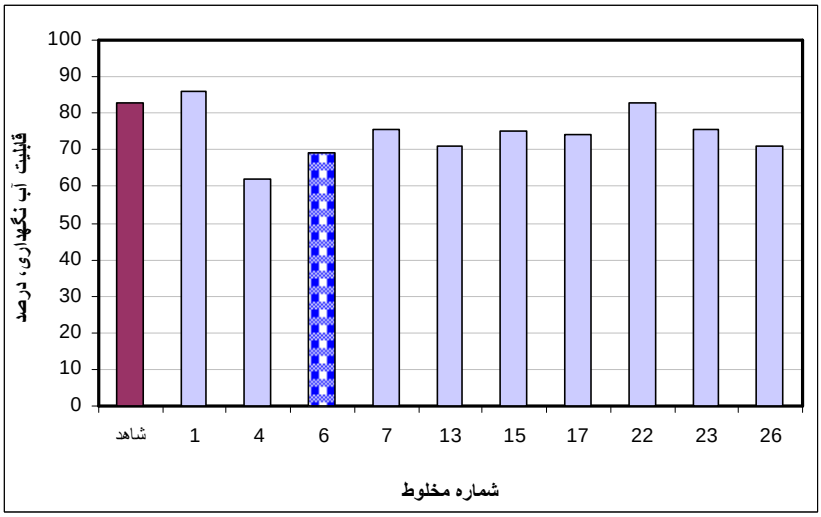
نتایج به دست آمده از آزمون میزان روانی انواع ملات تازه در شکل 5-26 ارائه شده است.



شکل 5-26: نمودار میزان روانی ملات تازه 26 مخلوط آزمایشگاهی

نتایج آزمون روانی با استفاده از میز جریان نشان می‌دهد که حداکثر روانی نمونه‌های مخلوط تهیه شده 148 میلیمتر، حداقل 120 میلیمتر و میانگین 139 میلیمتر است. با تنظیم میزان روانی در نزدیکی مقدار 140 میلیمتر با استفاده از تنظیم مقدار آب اختلاط، مقایسه خواص مخلوط‌ها با یکدیگر امکان‌پذیر شد.

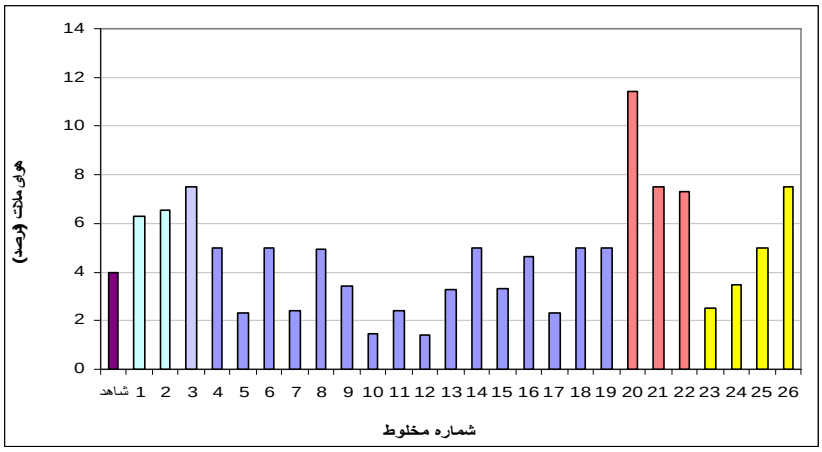
قابلیت آب نگهداری ملات: نمودار نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری قابلیت آب نگهداری برخی از انواع ملات ساخته شده در شکل 5-27 ارائه شده است.



شکل 5-27: نمودار میزان قابلیت آب نگهداری برخی از انواع ملات منتخب

با توجه به نمودار یادشده، قابلیت آب نگهداری نمونه شاهد (سیمان1، ماسه3) 83 درصد، کمترین آب نگهداری مربوط به ملات شماره 4 (سیمان2، آهک هیدراته1، لیکای طبیعی5) 62 درصد و آب نگهداری ملات شماره 22 (سیمان1، آهک1، لیکای طبیعی4، پرلیت ریز دانه2 و روانساز 1/5 درصد وزن سیمان) 83 درصد به‌دست آمد.

هوای ملات تازه: مطابق استاندارد ASTM C270 با عنوان ملات برای واحد بنایی- ویژگی‌ها مقدار هوای ملات‌های سیمان پرتلند – آهک هوادار نشده بطور معمول کمتر از 8 درصد است. نمودار نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری هوای موجود در انواع ملات تازه در شکل 5-28 ارائه شده است. با توجه به نتایج آزمون‌های انجام شده طرح شماره 20 (سیمان1- پرلیت درشت دانه1- پرلیت ریزدانه1، روان ساز 1/2 درصد وزنی سیمان و SBR 0/8 درصد وزنی سیمان) دارای حداکثر هوای موجود 11/44 درصد و طرح شماره 12 (سیمان2- آهک1- پرلیت ریز و درشت2) دارای حداقل هوای موجود 1/43 درصد است. همانطور که دیده می‌شود مقدار هوای کلیه انواع ملات‌های ساخته شده از حداکثر مجاز کمتر است.

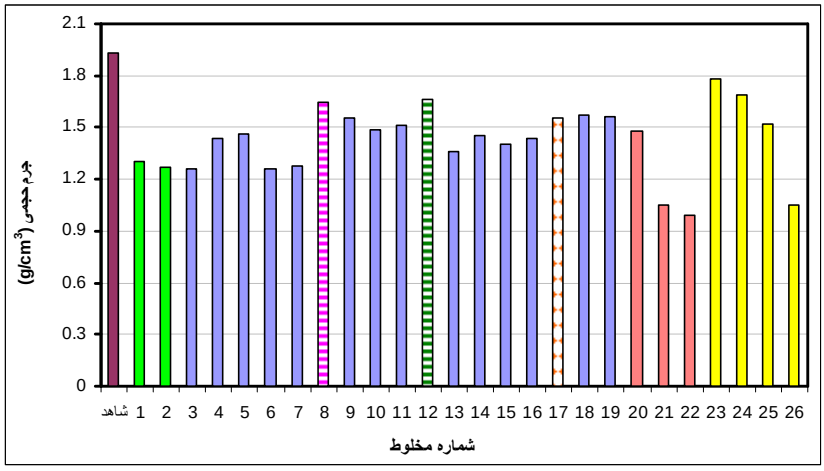


شکل 5-28: نمودار ستونی درصد هوای ملات در مخلوط‌های ساخته شده

با توجه به نتایج آزمون‌های انجام شده طرح شماره 20 (سیمان1- پرلیت ریزدانه 1- پرلیت درشت دانه1، روان ساز 1/2درصد وزن سیمان و SBR 0/8 درصد وزن سیمان) دارای حداکثر هوای موجود 11/44 درصد است و طرح شماره 12 (سیمان2- آهک1- پرلیت ریز و درشت2) دارای حداقل هوای موجود 1/43 درصد است.

جرم حجمی

نتایج جرم حجمی انواع ملات تازه در شکل 5-29 ارائه شده است. طرح شماره 21 (سیمان1- لیکای طبیعی2- پرلیت1 و روان ساز 1/5 درصد وزن سیمان) و طرح شماره 22 (سیمان1- آهک1- لیکای طبیعی4 - پرلیت2 و روان ساز 1/5 درصد وزن سیمان) دارای کمترین جرم حجمی هستند.



شکل 5-29: نمودار ستونی جرم حجمی ملات در انواع طرح اختلاط

چنانچه دیده می‌شود جرم حجمی اکثر مخلوط‌های ملات تازه نسبت به مخلوط شاهد کمتر است. نتایج نشان می‌دهد که استفاده از سبکدانه در ساخت ملات موجب کاهش جرم حجمی ملات تازه می‌شود. از سوی دیگر پرلیت به دلیل جرم حجمی بسیار کم، تاثیر زیادی در کاهش جرم حجمی ملات تازه دارد.

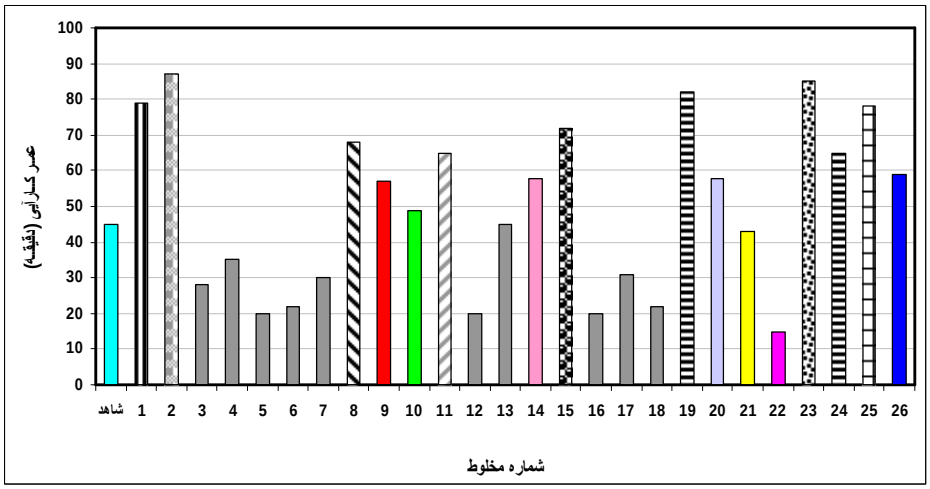
افزودن روان‌ساز باعث کاهش میزان آب مخلوط و در نتیجه کاهش جرم حجمی شده است.

عمر کارایی ملات

نتایج به دست آمده عمر کارایی انواع ملات تازه در شکل 5-30 ارائه شده است. عمر کارایی ملات‌های دارای سنگدانه پرلیت و لیکای طبیعی کم‌تر از ملات‌های دیگر بدست آمده است.

با توجه به عمر کارایی ملات شاهد و ملات‌های شماره 1 و 2 چنین نتیجه‌گیری می‌شود که عمر کارایی ملات دارای آهک طولانی‌تر از ملات ماسه-سیمان است. هرچه نسبت آهک در مخلوط زیادتر باشد، عمر کارایی افزایش خواهد یافت.

از مقایسه مخلوط شماره 23 با مخلوط شماره1 می‌توان نتیجه گرفت که با جانشینی پومیس به جای ماسه طبیعی مقدار کارآیی به میزان ناچیزی افزایش می‌یابد. از طرف دیگر از مقایسه مخلوط 23 و 24 مشاهده می‌گردد که افزایش پومیس موجب کاهش کارآیی می‌شود.



شکل 5-30: نمودار ستونی عمر کارایی ملات در نمونه‌های مخلوط

با مقایسه مخلوط‌های حاوی لیکا و پرلیت مشاهده می‌گردد که استفاده از پرلیت موجب کاهش کارآیی نسبت به لیکا می‌شود (مخلوط‌های 14 و 12 یا مخلوط‌های 14 و 4). با مقایسه مخلوط‌های 8 و 9 می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از پرلیت موجب کاهش کارایی می‌شود. هم‌چنین با مقایسه مخلوط‌های 23 و 13 می‌توان نتیجه گرفت که پومیس نسبت به پرلیت باعث افزایش کارآیی می‌شود.

5-2-2 تعیین خواص فیزیکی انواع ملات‌های سخت شده

در این تحقیق، خواص انواع ملات سخت شده با طرح‌های اختلاط مختلف شامل چگالی خشک انبوهی، ضریب جذب آب موئینه، میزان چسبندگی، مقاومت فشاری 28 روزه، مقاومت خمشی 28 روزه و ضریب هدایت حرارتی تعیین شد. در شکل 5-31 آزمونه های ساخته شده برای انجام آزمون های مقاومت فشاری، چگالی و ضریب جذب آب موئینه، نشان داده شده است.

شکل5-31: آزمونه‌های ساخته شده برای آزمون‌های اندازه‌گیری مقاومت فشاری، چگالی و ضریب جذب آب موئینه

چگالی انبوهی خشک ملات سخت شده

چگالی انبوهی خشک ملات‌های ساخته شده سخت شده مطابق استاندارد ملی ایران شماره 10-9150 با عنوان "ملات بنایی- روش آزمون- قسمت دهم تعیین چگالی انبوهی خشک ملات سخت شده"، تعیین شد.

چگالی انبوهی خشک یک آزمونه مشخص ملات سخت شده، از تقسیم جرم آزمونه در شرایط خشک شده در گرمخانه بر حجم اشغال شده آن، هنگام غوطه‌وری در آب در شرایط اشباع به دست می‌آید.

اندازه‌گیری چگالی انبوهی خشک ملات سخت شده براساس استاندارد ملی ایران شماره 10-9150 انجام شد.

خشک کردن تا رسیدن به جرم ثابت ($m_{s,\ dry}$): آزمونه را در گرمخانه با دمای (5±70) درجه سلسیوس تا رسیدن به جرم ثابت خشک کنید. برای نمونه‌های با مواد آلی، مانند دانه‌های پلی‌استایرن منبسط شده، دمای (5±60) درجه سلسیوس را برای خشک کردن استفاده کنید. آزمونه هنگامی به جرم ثابت می‌رسد که دو توزین متوالی، به فاصله زمانی 2 ساعت پس از طول دوره خشک کردن نباید بیش از 0/2 درصد جرم آزمونه خشک تفاوت داشته باشد.

تعیین حجم آزمونه به روش غوطه‌وری ($m_{s,\ Sat}$): آزمونه را در آب با دمای (2±20) درجه سلسیوس غوطه‌ور کنید تا در جرم ظاهری آن هیچ گونه افزایش بیشتری مشاهده نشود، به گونه‌ای که دو توزین متوالی در فاصله زمانی 15 دقیقه پس از طول دوره غوطه‌وری، نباید بیش از 0/2 درصد جرم آزمونه تفاوت داشته باشد. آزمونه را پس از خشک کردن آب اضافی با یک پارچه مرطوب، وزن کنید و جرم آن را با تقریب 0/1 درصد به کیلوگرم گزارش کنید.

حجم آزمونه می‌تواند به وسیله توزین در آب تعیین شود. بگذارید تا ترازو به تعادل برسد و مطمئن شوید که سبد خالی، از ترازو آویزان و کاملا در مخزن آب غوطه‌ور است. هنگام اندازه‌گیری وزن، سبد

را با آزمونه و بار دیگر بدون آن، در یک عمق مشخص، در آب فرو برید. آزمونه خیس را در سبد قرار دهید. از محبوس شدن حباب‌های هوا در اطراف آزمونه جلوگیری کنید و جرم آزمونه را در وضعیت غوطه‌وری برحسب، کیلوگرم گزارش کنید ($m_{s,\,i}$).

حجم آزمونه از فرمول زیر برحسب متر مکعب (m^3) به دست می‌آید.

$$V_s = \frac{m_{s,sat} - m_{s,i}}{\rho_w}$$

که در آن:

$m_{s,\,Sat}$؛ جرم آزمونه ملات سخت شده اشباع شده برحسب کیلوگرم (kg)

$m_{s,\,i}$؛ جرم ظاهری آزمونه ملات سخت شده غوطه‌ور در آب برحسب کیلوگرم (kg)

ρ_w؛ چگالی آب برحسب کیلوگرم بر متر مکعب (kg/m^3)

V_s؛ حجم آزمونه ملات سخت شده برحسب متر مکعب (m^3)

چگالی آزمونه‌های ساخته و عمل‌آوری شده در شرایط استاندارد اندازه‌گیری شد. در جدول 5-15 نتایج چگالی آزمونه‌های ملات سخت شده با 3 ترکیب‌بندی ارائه شده است.

چگالی انبوهی خشک هر آزمونه ملات، از تقسیم جرم $m_{s,\,dry}$ بر حجم آن V_s، به‌دست می‌آید. مقدار میانگین، از مقادیر منفرد گرد شده، با تقریب 10 کیلوگرم بر متر مکعب هر آزمونه ملات، محاسبه می-شود.

نتایج به دست آمده در جدول 5-11 ارائه شده است.

مقاومت چسبندگی ملات سخت شده

میزان چسبندگی انواع ملات‌های سخت شده مطابق استاندارد ملی ایران شماره 12-9150 با عنوان " ملات بنایی- روش آزمون- قسمت دوازدهم: تعیین مقاومت چسبندگی ملات‌های اندودکاری بیرونی و داخلی سخت شده به مصالح زیرکار" تعیین شد.

مقاومت چسبندگی بر اساس حداکثر تنش کششی، به روش اعمال بار مستقیم که به صورت عمود بر سطح ملات های اندود بیرونی یا داخلی روی یک مصالح زیرکار است، اندازه گیری می شود. بار کششی از طریق کشش یک صفحه ویژه که به سطح ملات آزمونه چسبیده است، اعمال می شود .مقاومت چسبندگی از تقسیم بار شکست بر مساحت آزمونه به دست می‌آید. سطوح مورد آزمون باید دایره ای شکل، با قطر تقریبی50 میلی متر از لایه ملات بریده شود، در مورد ملا ت تازه قطر دایره سطح مورد آزمون، باید برای هر آزمونه ثبت شود .پنج آزمونه باید تهیه شود (شکل 5-32).

پس از اجرای لایه ملات و گیرش اولیه آن، قالب استوانه ای با لبه مخروطی، تمیز و با یک لایه نازک روغن معدنی، چرب شود. حلقه را به آرامی از طرف لبه تیز داخل لایه ملات تازه می‌چرخانند تا تماس کامل با مصالح زیرکار برقرار شود. حداقل فاصله بین حلقه ها و لبه های آزاد مصالح زیرکار اندود شده و فاصله آزاد بین حلقه های منفرد، باید50 میلی‌متر باشد. حلقه ها باید با دقت از روی مصالح زیرکار که به آرامی داخل ملات اندود چرخانده شده و در تماس با مصالح زیرکار قرار گرفته بودند، برداشته شوند،

چنانچه در حین آماده سازی شکی وجود دارد که آزمونه های بریده شده چسبندگی لازم را ندارند، آزمونه دیگری باید بریده و نگه داری شود

صفحه ها را در مرکز سطح مورد آزمون با استفاده از چسب، می‌چسبانند. از مالیده شدن چسب اضافی به اطراف سطح مورد آزمون جلوگیری شود. آزمونه ها را در سن 28 روز ، بلافاصله پس از خارج کردن آنها از محیط نگه داری، باید مورد آزمون قرار داد. با استفاده از دستگاه آزمون، به آزمونه ها به وسیله صفحه، بار کششی عمود بر سطح وارد می‌شود. آهنگ بارگذاری باید به گونه ای باشد که با توجه به مقاومت چسبندگی انجام گیرد، بار شکست ثبت می‌شود. هنگامی که حالت شکست به صورت گسیختگی در لایه چسبندگی بین صفحه و ملات اتفاق افتد، آزمون مردود است.

نتایج به دست آمده در جدول 5-11 ارائه شده است.

شکل5-32: آزمونه ساخته شده برای آزمون اندازه‌گیری مقاومت چسبندگی

جدول 5-11: نتایج آزمون‌های تعیین چگالی انبوهی خشک و تعیین مقاومت چسبندگی آزمونه‌های ساخته شده با 27 نوع مخلوط ملات بر اساس استاندارد ملی ایران

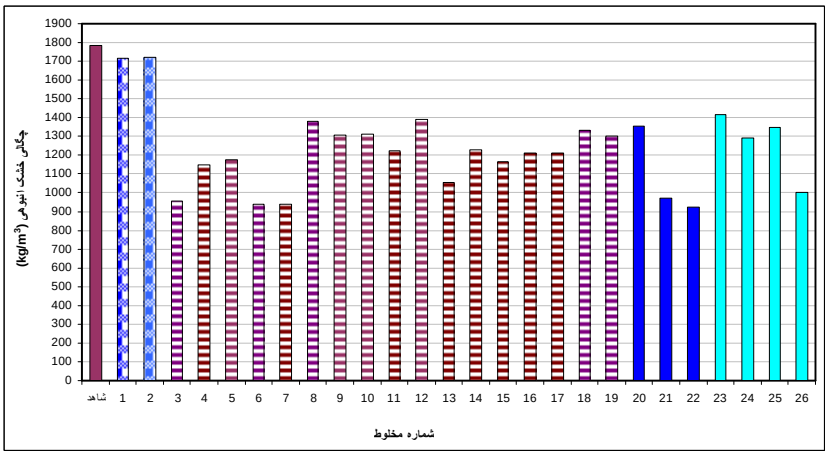
شماره مخلوط	چگالی خشک انبوهی، (kg/m^3)	مقاومت چسبندگی، (N/mm^2)	محل شکست
شاهد	1785	0/53	ملات
1	1715	0/09	ملات
2	1724	0/10	ملات
3	958	0/12	ملات
4	1149	0/86	زیرکار
5	1177	0/63	زیرکار
6	940	0/67	ملات
7	937	0/30	ملات
8	1379	0/81	ملات
9	1309	0/72	زیرکار
10	1312	1/02	زیرکار
11	1222	1/26	ملات
12	1391	0/94	زیرکار

13	1057	0/96	زیرکار
14	1226	0/15	ملات
15	1163	0/21	ملات
16	1212	1/01	زیرکار
17	1210	1/29	ملات
18	1335	1/23	ملات
19	1303	0/29	ملات
20	1352	0/26	ملات
21	969	0/25	ملات
22	923	0/26	ملات
23	1416	0/49	زیرکار
24	1289	0/78	ملات
25	1347	0/84	زیرکار
26	1000	0/32	زیرکار

با توجه به نتایج آزمون‌های انجام شده، چگالی خشک انبوهی 15 طرح از 26 طرح ملات‌های ساخته شده برابر یا کمتر از $1300\ kg/m^3$ بوده و در دسته ملات‌های سبک قرار دارند.

تحلیل نتایج آزمون چگالی خشک انبوهی

نمودار نتایج چگالی خشک انبوهی انواع ملات در شکل 5-40 ارائه شده است. با توجه به نتایج آزمون‌های انجام شده، چگالی خشک انبوهی 17 مخلوط از 26 مخلوط ملات‌های ساخته شده برابر یا کم‌تر از $1300 kg/m^3$ است.



شکل 5-40: نمودار ستونی چگالی خشک انبوهی انواع مخلوط ملات

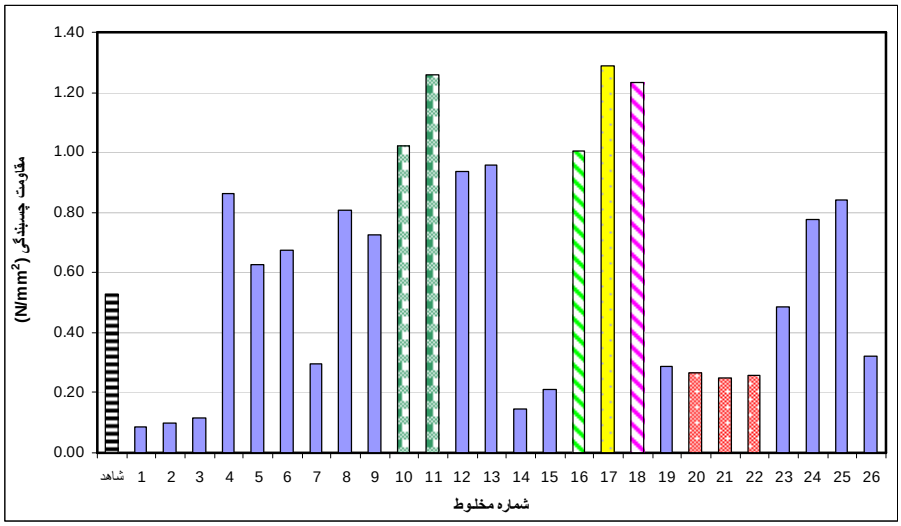
چگالی خشک انبوهی کلیه مخلوط‌های ساخته شده از نمونه شاهد کم‌تر است. چگالی خشک انبوهی 24 مخلوط از 650 تا 1400 کیلوگرم بر متر مکعب است. در حالی که چگالی خشک انبوهی ملات‌هایی که تنها از سیمان، آهک و ماسه تشکیل شده بیشتر از 1700 کیلوگرم بر متر مکعب است.

تحلیل نتایج آزمون مقاومت چسبندگی

نمودار نتایج مقاومت چسبندگی انواع ملات در شکل 5-41 ارائه شده است. مقاومت چسبندگی 14 مخلوط سبک از مقاومت چسبندگی ملات شاهد بیشتر است. بیشترین مقاومت چسبندگی مربوط به مخلوط شماره 17 (سیمان1- آهک هیدراته1- لیکای شکسته4) 1/29 N/mm^2 و کمترین مقاومت چسبندگی مربوط به مخلوط شماره 1 (سیمان1- آهک1- ماسه طبیعی6) 0/09 N/mm^2 است.

در اکثر موارد استفاده از لیکای شکسته در مخلوط مقاومت چسبندگی را افزایش می‌دهد. سنگدانه مخلوط‌های 1 و 2 ماسه طبیعی است و به دلیل وجود آهک در آنها در مقایسه با نمونه شاهد مقاومت چسبندگی کمتری نشان داده است. بطور کلی در اثر افزایش آهک به ملات، چسبندگی کم می‌شود.

با مقایسه مخلوط‌های مختلف چنین نتیجه‌گیری می‌شود که لیکای شکسته نسبت به بقیه سبکدانه‌ها از چسبندگی بیش‌تری برخوردار است. از مقایسه مخلوط‌های حاوی پرلیت و پومیس با مخلوط شماره1 می‌توان نتیجه گرفت که پرلیت و پومیس نیز موجب افزایش چسبندگی در ملات می‌شود.



شکل 5-41: نمودار ستونی مقاومت چسبندگی انواع مخلوط ملات در مقایسه با ملات شاهد

بیشترین مقاومت چسبندگی مربوط به مخلوط شماره 17 (سیمان1-آهک1-لیکای شکسته4) N/mm^2 1/09 و کمترین مقاومت چسبندگی مربوط به مخلوط شماره 20 (سیمان1- پرلیت ریزدانه و درشت دانه2) N/mm^2 0/06 است. وجود لیکای شکسته در ملات باعث افزایش مقاومت چسبندگی می‌شود (مقایسه مخلوط‌های 17 و 1). استفاده از پرلیت موجب افزایش چسبندگی می‌شود (مقایسه مخلوط‌های 13 و 1). استفاده از مقادیر زیاد پومیس موجب افزایش چسبندگی می‌شود.

ضریب جذب آب موئینه ملات سخت شده

ضریب جذب آب موئینه ملات‌های سخت شده مطابق استاندارد ملی ایران شماره 18-9150 با عنوان "ملات بنایی- روش آزمون- قسمت هجدهم: تعیین ضریب جذب آب موئینه ملات سخت شده"، تعیین شد. این آزمون ظرفیت جذب آب موئینه ملات را مشخص می‌کند. در این تحقیق قالب‌های منشوری ملات با ابعاد 160x40x40 میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. ملات تازه در قالب‌های منشوری پر شد و برای اعمال تراکم مورد نیاز بر روی میز لرزان قرار داده شد. ملات در طول 60 ثانیه توسط میز لرزان به ارتعاش در آمد. سه نمونه برای هر نوع از ملات آماده شد. سپس نمونه‌ها به مدت 24 ساعت در محفظه عمل‌آوری قرار داده شد. در پایان دوره عمل آوری، آزمونه ها را از قالب خارج می‌شوند. چهار سطح جانبی آزمونه‌ها را با استفاده از مواد آب بند کننده، آب بندی کرده، سپس آنها را به دو نیمه می‌شکنند. نمونه‌ها در آون (دمای $105^{\circ}C$) برای ایجاد نمونه خشک شده در آون قرار گرفت. پس از آن، نمونه‌های خشک شده در آون وزن و به عنوان جرم اولیه ثبت شد. آزمونه ها در سینی به گونه‌ای قرار داده می‌شوند که سطوح شکسته منشورها به طرف پائین بوده و روی چهار بالشتک نگهدارنده بدون صفحه زیر قرار گیرند و در آب با عمق 5 تا 10 میلی‌متر در طول مدت آزمون غوطه ور (شکل 5-33) شوند. همان طور که می‌توان در شکل مشاهده کرد نمونه‌ها در عمق 5 میلی‌متری از سطح آب قرار داده شدند. سطح غرقاب شده در داخل آب $1600\ mm^2$ (40میلی‌متر ×40میلی‌متر) بود.

پس از این فرآیند، جرم وابسته به زمان پس از 24 ساعت (86400 ثانیه) به دست آمد. در نهایت ضریب جذب آب موئینه ملات که وابسته به زمان است با استفاده از معادله زیر محاسبه شد.

$$C_{w,s} = [m_{so,s} - m_{dry,s}] / [A_s \sqrt{t_{so}}] \times 10^6$$

که در آن:

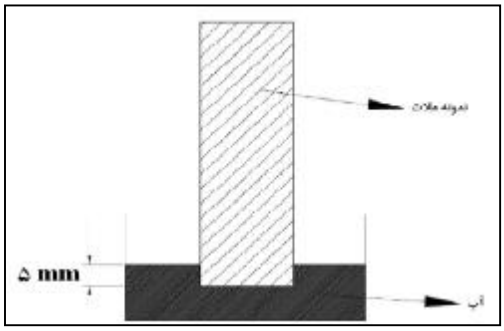
$C_{w,s}$ = ضریب جذب آب موئینه $(g/m^2\ s^{0.5})$

$m_{so,s}$ = جرم مرطوب (g)

$m_{dry,s}$ = جرم خشک (g)

A_s = سطح نمونه غرقاب شده درون آب (mm)

t_{so} = زمان تماس با آب (ثانیه)



شکل 5-33: نمای نمادین ملات قرار داده شده در آب

شکل 5-34: روش قرارگیری آزمونه‌ها در آب برای تعیین جذب آب موییِنه

مطابق استاندارد ملی ایران شماره 1-706 با عنوان ملات بنایی-قسمت 1: ملات اندودکاری بیرونی و داخلی- ویژگی‌ها، جذب آب موئینه ملات‌های اندودکاری باید بر اساس جدول 5-12 رده‌بندی شود.

جدول 5-12: رده‌بندی جذب آب موییِنه ملات اندودکاری مطابق استاندارد 1-706

خواص	رده	مقادیر
جذب آب موئینه c	W0	تعیین نمی‌شود
	W1	0/4 kg/m^2.min$^{0.5}$(کوچکتر یا مساوی)
	W2	0/2 kg/m^2.min$^{0.5}$(کوچکتر یا مساوی)
W: Water Absorption		

نتایج به دست آمده در جدول 5-13 ارائه شده است.

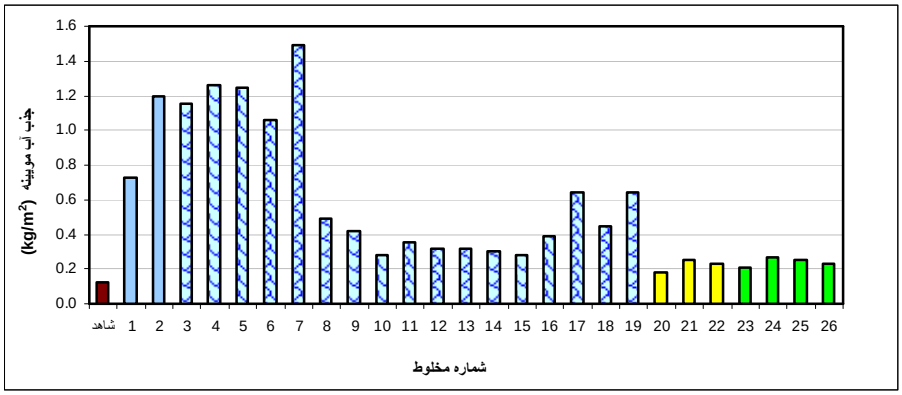
جدول 5-13 : نتایج آزمون های اندازه گیری ضریب جذب آب موئینه 90 دقیقه و 24 ساعت برای 27 مخلوط ملات سخت شده بر اساس استاندارد ملی ایران

شماره مخلوط	ضریب جذب آب موئینه پس از 90 دقیقه (kg/m^2)	رده جذب آب موئینه پس از 90	ضریب جذب آب 24 ساعته (kg/m^2)
شاهد	0/12	W2	3/61
1	0/73	W0	18/66
2	1/20	W0	20/49
3	1/15	W0	23/69
4	1/26	W0	20/82
5	1/25	W0	21/90
6	1/06	W0	20/96
7	1/49	W0	26/08
8	0/49	W0	13/34
9	0/42	W0	11/69
10	0/28	W1	7/62
11	0/35	W1	12/09
12	0/32	W1	9/60
13	0/32	W1	9/58
14	0/30	W1	8/33
15	0/28	W1	7/64
16	0/39	W1	11/19
17	0/64	W0	18/25
18	0/45	W0	12/90
19	0/64	W0	17/08
20	0/18	W2	4/29
21	0/25	W1	5/69
22	0/23	W1	5/95
23	0/21	W1	5/62
24	0/27	W1	8/82
25	0/25	W1	5/91
26	0/23	W1	4/38

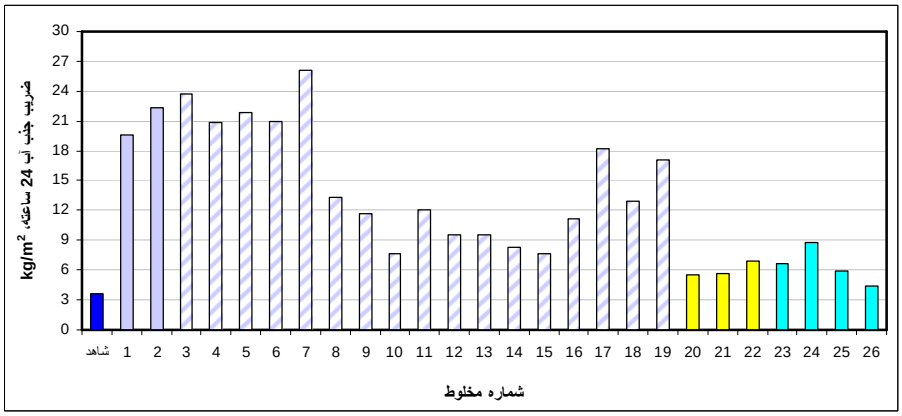
تحلیل نتایج آزمون جذب آب موئینه

نتایج به دست آمده از اندازه گیری جذب آب موئینه کلیه مخلوط ها با ویژگی های ارائه شده در استاندارد ملی ایران شماره 1-706 (جدول 5-17) مقایسه شد. نمودار نتایج جذب آب موئینه 90

دقیقه انواع ملات در شکل 5-42 ارائه شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، جذب آب موئینه 12 مخلوط ساخته شده با رده W0، جذب آب موئینه 13 مخلوط با رده W1 و جذب آب موئینه 2 مخلوط با رده W2 مطابقت دارند.



شکل 5-42: نمودار ستونی ضریب جذب آب موئینه 90 دقیقه 26 نوع مخلوط ملات در مقایسه با ملات شاهد



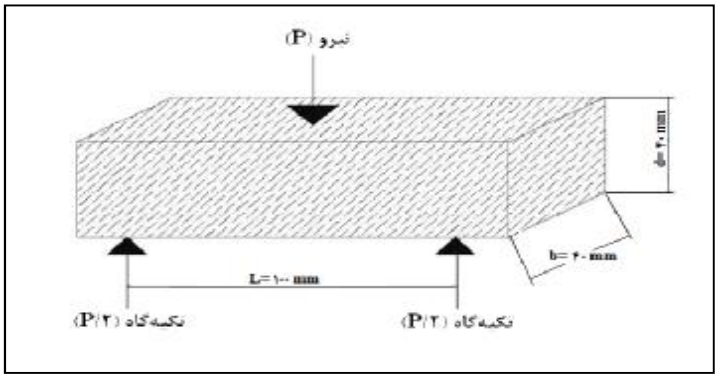
شکل 5-43: نمودار ستونی ضریب جذب آب موئینه 24 ساعته 26 نوع مخلوط ملات در مقایسه با ملات شاهد

ضریب جذب آب موئینه 90 دقیقه نمونه‌های ملات سبک ساخته شده با سبکدانه‌های مختلف بیش‌تر از نمونه شاهد است. دلیل آن متخلخل بودن سنگدانه‌ها و در نتیجه ضریب جذب آب مویینه بیشتر از ملات ماسه سیمان متداول است. استفاده از روان‌ساز باعث کاهش تخلخل و در نتیجه افزایش تراکم و کم شدن میزان جذب آب شده است. استفاده از روان کننده موجب کاهش نسبت آب به سیمان و در نتیجه کاهش تخلخل و نفوذپذیری ملات شده است بنابراین انتظار می رود با استفاده از روان کننده ها

جذب آب ملات کاهش یابد. استفاده از لیکای طبیعی باعث افزایش جذب آب موئینه شده است. پومیس به دلیل ساختار سلول بسته خود جذب آب موئینه کمتری نسبت به سایر مخلوط‌ها دارد.
شایان ذکر است که ضریب جذب آب 24 ساعته برای ملات‌های اصلاح شده در نظر گرفته می‌شود که بر روی دیوارهای بنایی نمناک دارای نمک‌های محلول به کار می‌رود. این ملات‌ها دارای تخلخل و نفوذپذیری زیاد و جذب آب موئینه کم هستند. در شکل 5-43 نمودار ستونی ضریب جذب آب موئینه 24 ساعته 26 نوع مخلوط ملات ارائه شده است.
نتایج نشان می‌دهد که ضریب جذب آب موئینه 24 ساعته نمونه‌های ملات سبک بیش‌تر از نمونه شاهد است. وجود روان ساز در 3 نوع مخلوط و وجود پومیس در 4 نوع مخلوط باعث کاهش جذب آب 24 ساعته شده است.

تعیین خواص مکانیکی ملات سخت شده

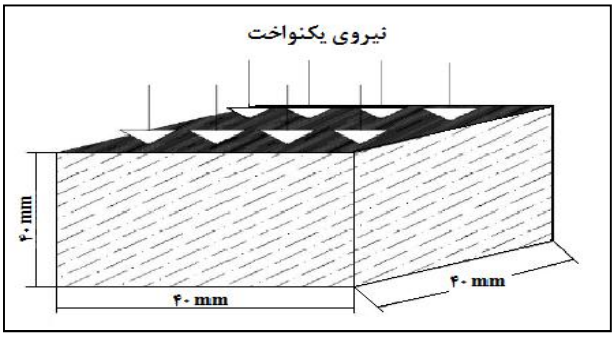
در این تحقیق، خواص مکانیکی یعنی مقاومت فشاری و مقاومت خمشی 28 روزه انواع ملات‌های سخت شده مطابق استاندارد ملی ایران شماره 11-9150 با عنوان ملات بنایی- روش آزمون- قسمت یازدهم تعیین مقاومت فشاری تعیین شد.
مقاومت خمشی- آزمون خمش مقاومت خمشی آزمونه را مشخص می‌کند. مقاومت کششی ملات به روش غیرمستقیم یعنی آزمون خمش تعیین می‌شود [15].
در این بررسی، قالب منشور ملات شامل سه قالب به اندازه (160×40×40) میلی‌متر مورد استفاده قرار گرفت. ملات تازه در قالب‌ها پر شد و برای اعمال تراکم مورد نیاز بر روی میز لرزان قرار داده شد. ملات تازه در طول 60 ثانیه توسط میز لرزان به ارتعاش در آمد. پس از آن، آزمونه در محفظه عمل‌آوری در طی 24 ساعت قرار داده شد و بعد از آن نمونه‌ها از قالب خارج شده و به مخزن آب (شرایط رطوبت 100درصد) به مدت 24 ساعت قرار داده شد. پس از دوره عمل‌آوری، آزمونه‌ها از مخزن عمل‌آوری خارج شدند با یک پارچه خشک شدند. پس از آن، آزمونه‌ها در دستگاه آزمون خمش قرار داده شد. سپس نیرو در وسط بالای نمونه با سرعت N (10±50) در هر ثانیه تا بروز شکست به کار گرفته شد. نمونه‌های ملات در عمرهای 7 و 28 روز مورد آزمایش قرار گرفتند. سه نمونه برای هر سن مورد آزمایش قرار گرفتند. بنابراین، شش نمونه برای هر نوع از ملات آماده شد. سازوکار آزمون خمشی در شکل 5-35 نشان داده شده است.



شکل 5-35: نمای نمادین از آزمایش خمشی

شکل 5-36: قرارگیری آزمونه در دستگاه آزمون خمشی

مقاومت فشاری- در این آزمایش، هر یک از دو قطعه به دست آمده از آزمون مقاومت خمشی به عنوان یک آزمونه مورد استفاده قرار گرفت. در آزمون مقاومت خمشی، نمونه‌های منشوری به دو بخش شکافته شدند. بنابراین دو آزمونه‌ها از یک آزمونه مقاومت خمشی به دست آمد. مقاومت فشاری نمونه-های ملات در عمرهای 7 و 28 روز مورد آزمایش قرار گرفتند. سه نمونه برای هر سن مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمونه‌ها در دستگاه آزمون مقاومت فشاری قرار داده شد. نیروی یکنواخت توزیع شده در سطح بالای (40×40) میلی‌متر آزمونه با آهنگ 500 N در هر ثانیه تا شکست اعمال شد. از آزمونه های خمشی برای فشاری استفاده شده؟



شکل 5-37: نمای نمادین از سازوکار آزمون مقاومت فشاری

شکل 5-38: شکست آزمونه تحت **بار** فشاری

در شکل 5-39: دستگاه اندازه‌گیری مقاومت فشاری و خمشی نشان داده شده است.

شکل5-39: دستگاه اندازه‌گیری مقاومت خمشی و فشاری

مطابق استاندارد ملی ایران به شماره 1-706 با عنوان ملات بنایی-قسمت 1: ملات اندودکاری بیرونی و داخلی- ویژگی‌ها و شماره 2-706 با عنوان ملات برای کارهای بنایی- ویژگی‌ها، مقاومت فشاری ملات‌های اندودکاری باید بر اساس جدول 5-14 و جدول 5-15رده‌بندی شوند.

جدول 5-14: رده‌بندی خواص ملات اندودکاری مطابق استاندارد 1-706

خواص	رده	مقادیر
محدوده مقاومت فشاری 28 روزه	CS1	(2/5 تا 0/4) N/mm^2
	CS2	(5/0 تا 1/5) N/mm^2
	CS3	(7/5 تا 3/5) N/mm^2
	CS4	6 N/mm^2 (بزرگتر یا مساوی)
CS: Compressive Strength		

جدول 5-15: رده‌بندی مقاومت فشاری ملات بنایی مطابق استاندارد 2-706

رده	M1	M2.5	M5	M10	M15	M20	Md
مقاومت فشاری- حداقل (نیوتن بر میلی‌متر مربع)	1	2/5	5	10	15	20	d
d- مقاومت فشاری بیش تر از 20 نیوتن بر میلی‌متر مربع که توسط تولیدکننده اظهار می‌شود و مضربی از 5 است.							

نتایج به دست آمده از آزمون مقاومت فشاری و مقاومت خمشی مخلوط‌ها در جدول 5-16 ارائه شده است.

جدول 5-16: نتایج مقاومت فشاری و خمشی 28 روزه آزمونه‌های ملات ساخته شده با 27 نوع مخلوط

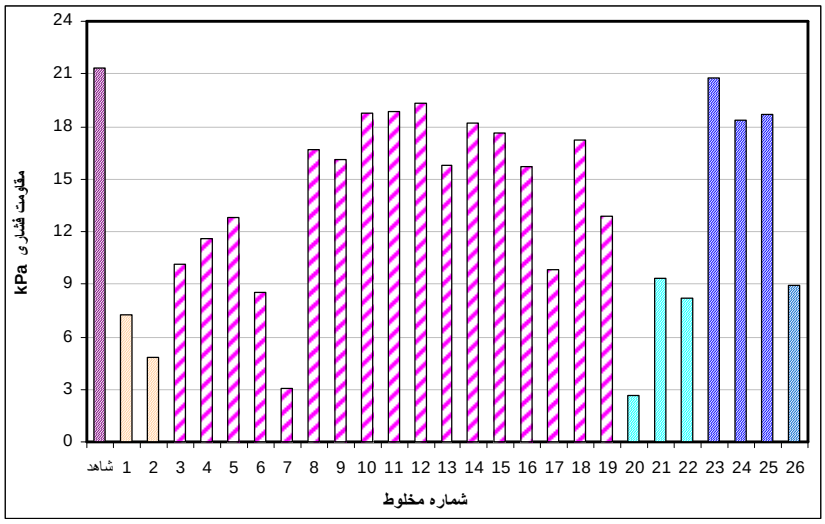
شماره مخلوط	مقاومت فشاری 28 روزه (N/mm^2)	رده مقاومت فشاری مطابق استاندارد ملی 706-2	رده مقاومت فشاری CS مطابق استاندارد ملی 706-1	مقاومت خمشی 28 روزه (N/mm^2)
شاهد	21/38	M20	CSIV	5/41
1	7/21	M5	CSIV	2/09
2	4/85	M2.5	CSIII	1/41
3	10/16	M10	CSIV	2/46
4	11/61	M10	CSIV	2/56
5	12/81	M10	CSIV	3/24
6	8/56	M5	CSIV	2/22
7	3/08	M2.5	CSII	0/91
8	16/67	M15	CSIV	3/73
9	16/13	M15	CSIV	3/85
10	18/80	M15	CSIV	4/43
11	18/83	M15	CSIV	3/88
12	19/30	M15	CSIV	4/63
13	15/76	M15	CSIV	3/23
14	18/21	M15	CSIV	3/99
15	17/66	M15	CSIV	3/95
16	15/74	M15	CSIV	3/69
17	9/80	M5	CSIV	2/59
18	17/25	M15	CSIV	3/83
19	12/92	M10	CSIV	3/23
20	2/69	M2.5	CSII	1/03
21	9/31	M5	CSIV	2/55
22	8/25	M5	CSIV	2/36
23	20/80	M20	CSIV	5/39
24	18/40	M15	CSIV	4/32
25	18/66	M15	CSIV	4/55
26	8/94	M5	CSIV	2/43

تحلیل نتایج آزمون مقاومت فشاری و مقاومت خمشی 28 روزه

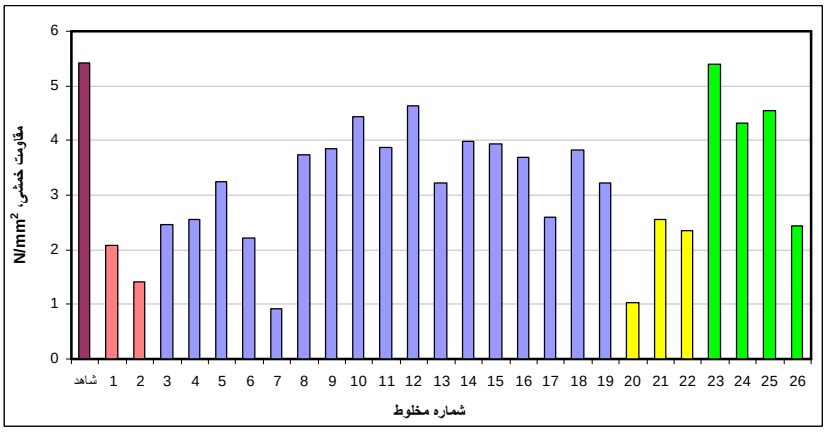
با توجه به نتایج آزمون مقاومت فشاری انجام شده، یک نمونه از ملات‌های ساخته شده در رده مقاومت فشاری CS1، دو نمونه در رده CSII و 24 نمونه در رده CSIV قرار می‌گیرند. بیشترین مقاومت فشاری مربوط به مخلوط شاهد حدود $21/38 N/mm^2$ و مقاومت خمشی 28روزه حدود $5/4 N/mm^2$ است. کم‌ترین مقاومت فشاری مربوط به مخلوط شماره 20 حدود $2/69 N/mm^2$ و مقاومت خمشی 28 روزه آن حدود $1/03 N/mm^2$ است.

مطابق استاندارد ملی ایران شماره 2-706 با عنوان ملات بنایی- قسمت 2: ملات برای کارهای بنایی- ویژگی‌ها، ملات‌ها باید مطابق جدول 5-16 از نظر مقاومت فشاری 28 روزه، رده‌بندی شوند. مقاومت فشاری آزمونه شاهد در رده M20 ، 1 نوع مخلوط در رده M20، 12 مخلوط در رده M15، 4 مخلوط در رده M10 و بقیه مخلوط‌ها در رده‌های M2.5 و M5 قرار دارند.

نمودار نتایج آزمون مقاومت فشاری و خمشی به ترتیب در شکل‌های 5-44 و 5-45 ارائه شده است.

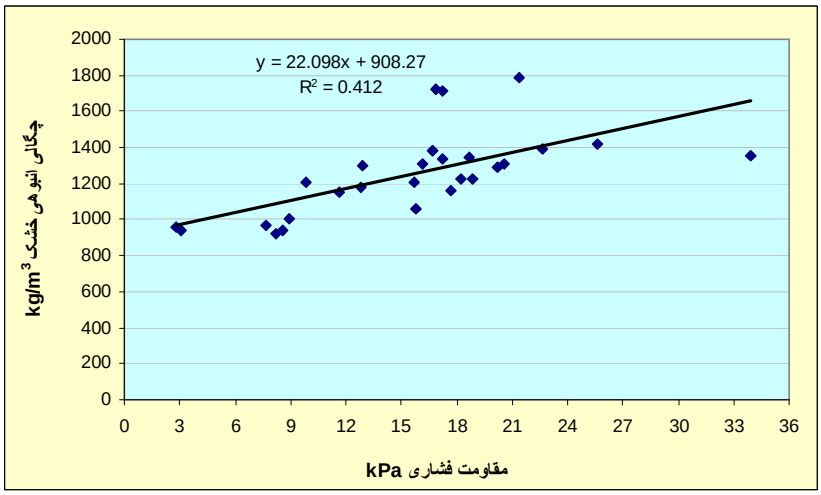


شکل 5-44- نمودار ستونی مقاومت فشاری 28 روزه 26 نوع مخلوط ملات سبک در مقایسه با ملات شاهد

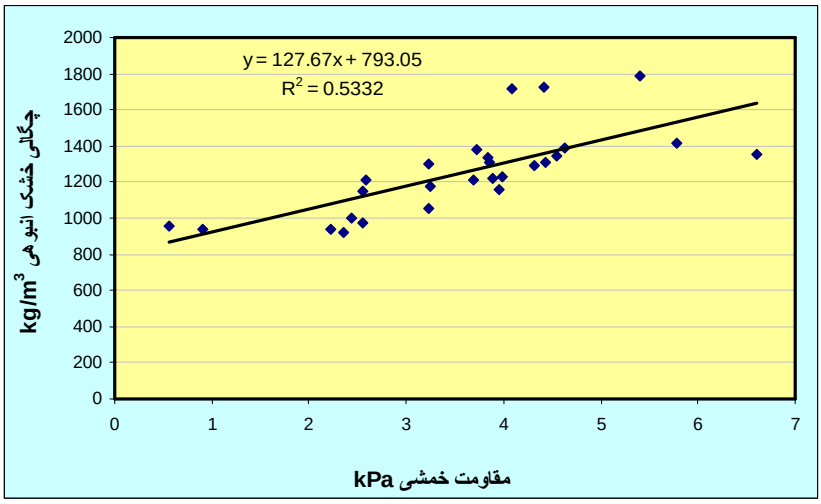


شکل 5-45- نمودار ستونی مقاومت خمشی 28 روزه 26 نوع مخلوط ملات سبک در مقایسه با ملات شاهد

در شکل 5-46 نمودار تغییرات مقاومت فشاری در برابر چگالی و در شکل 5-47 نمودار تغییرات مقاومت خمشی در برابر چگالی ارائه شده است.



شکل 5-46: نمودار تغییرات مقاومت فشاری در برابر چگالی



شکل 5-47: نمودار تغییرات مقاومت خمشی در برابر چگالی

در مجموع مقاومت‌های مکانیکی به دست آمده از انواع مخلوط‌های ملات از ملات شاهد کمتر است. این به دلیل سبک و متخلخل بودن دانه‌ها و در نتیجه استحکام کمتر آنها است.

همان‌گونه که در شکل‌های 5-46 و 5-47 دیده می‌شود با افزایش چگالی مقاومت‌های مکانیکی نیز افزایش می‌یابد.

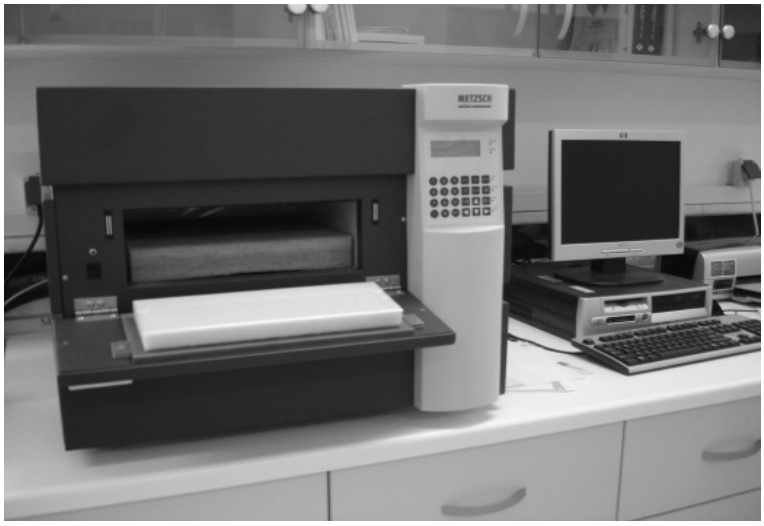
ضریب هدایت حرارتی ملات سخت شده

ضریب هدایت حرارتی چند نمونه منتخب از ملات‌های سخت شده مطابق استاندارد ملی ایران شماره 8621 با عنوان عملکرد حرارتی محصولات و مصالح ساختمانی - تعیین مقاومت حرارتی محصولات به روش لوح گرم محافظت شده و جریان حرارت سنج- محصولات با مقاومت حرارتی متوسط و زیاد انجام شد. برای انجام آزمون در این مرکز، از دستگاه HFM ساخت کارخانه نچ[1] مدل HFM 436/3/1E، (شکل 5-48) استفاده شد. طول و عرض آزمونه‌های آزمایش شده حدود 300mm×300mm و ضخامت آزمونه‌ها حدود 50 mm بود. دمای متوسط 10°C انتخاب شد.

در دستگاه جریان حرارت‌سنج، چگالی نرخ جریان حرارت به وسیله دو جریان حرارت سنج که در مقابل آزمونه قرار دارند، اندازه‌گیری می‌شود. این دستگاه یک چگالی نرخ جریان حرارت ثابت، یکنواخت و یک‌جهتی در داخل آزمونه همگن با سطوح تخت موازی، به شکل دال برقرار می‌کند. دستگاه جریان حرارت‌سنج مورد استفاده شامل یک واحد گرم کننده، دو جریان حرارت‌سنج و یک واحد سرد کننده است. آزمونه بین صفحه‌های گرم و سرد قرار داده می‌شود. جهت جریان حرارت از بالا به پایین است.

1 - Netzsch

دستگاه مورد استفاده به یک بخش سنجش مرکزی، با مساحت 100mm x 100 mm یک بخش محافظ در اطراف آن، تقسیم می‌شود.



شکل 5-48 : دستگاه جریان حرارت‌سنج

مطابق استاندارد ملی ایران به شماره 706-1 با عنوان ملات بنایی-قسمت 1: ملات اندودکاری بیرونی و داخلی- ویژگی‌ها، ملات‌ها از نظر ضریب هدایت حرارتی باید بر اساس جدول 5-16 رده‌بندی شوند.

جدول 5-16: رده‌بندی خواص ملات اندودکاری مطابق استاندارد 706-1

خواص	رده	مقادیر
ضریب هدایت حرارتی	T1	0/1 W/m.K(کوچکتر یا مساوی)
	T2	0/2 W/m.K(کوچکتر یا مساوی)
T: Thermal Conductivity		

نتایج به دست آمده از آزمون تعیین ضریب هدایت حرارتی برای مخلوط‌های مختلف در جدول 5-17 ارائه شده است.

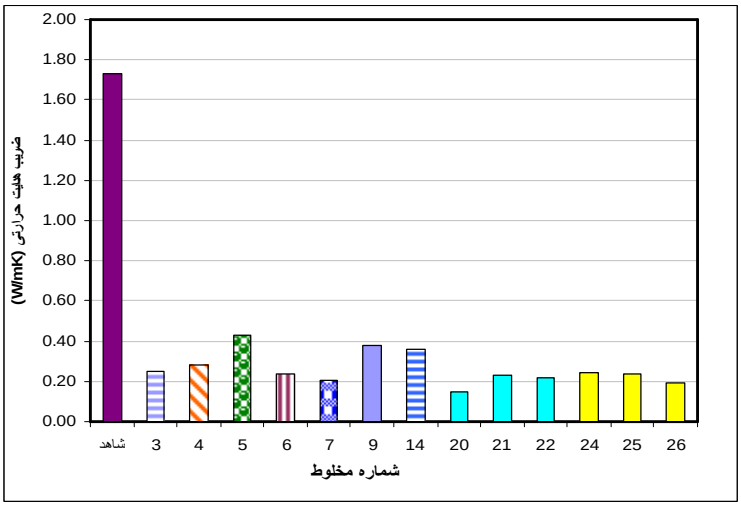
جدول 5-17: نتایج آزمون ضریب هدایت حرارتی

شماره مخلوط	نوع ملات (نسبت‌های حجمی)	چگالی (kg/m^3)	ضریب هدایت حرارتی، (W/m. K)	رده ضریب هدایت حرارتی
شاهد	سیمان1- ماسه طبیعی3	1785	1/73	خارج از محدوده
3	سیمان2- آهک1- لیکای طبیعی7	1088	0/25	خارج از محدوده
4	سیمان2- آهک1- لیکای طبیعی5	1300	0/28	خارج از محدوده
5	سیمان2- آهک1-لیکای طبیعی4 -پرلیت ریزدانه1	1527	0/43	خارج از محدوده
6	سیمان1- لیکای طبیعی2 - پرلیت ریزدانه1	1055	0/24	خارج از محدوده
7	سیمان1- آهک1- لیکای طبیعی4 - پرلیت ریزدانه2	958	0/21	T2
9	سیمان2- آهک1- لیکای شکسته4 - پرلیت ریزدانه1	1331	0/37	خارج از محدوده
14	سیمان2- آهک1- پرلیت ریزدانه 1/5 - پرلیت درشت دانه1/5 - لیکای شکسته4	1420	0/36	خارج از محدوده
20	سیمان1-پرلیت ریزدانه1 ، پرلیت درشت دانه1 و روانساز 1/2 درصد وزنی سیمان و SBR 0/8 درصد وزنی سیمان	1077	0/15	T2
21	سیمان1- لیکای طبیعی2 - پرلیت ریزدانه1- روان‌ساز 1/5 درصد	1076	0/23	خارج از محدوده
22	سیمان1- آهک1- لیکای طبیعی4 - پرلیت ریزدانه2- روان‌ساز 1/5 درصد	845	0/28	خارج از محدوده
24	سیمان1، آهک1، پومیس 7	1225	0/24	خارج از محدوده
25	سیمان2، آهک1، پرلیت ریزدانه 1/5، پرلیت درشت دانه 1/5 و پومیس5	1210	0/24	خارج از محدوده
26	سیمان1- آهک1- پرلیت ریزدانه 1/5- پرلیت درشت دانه 1/5 – پومیس3	950	0/19	T2

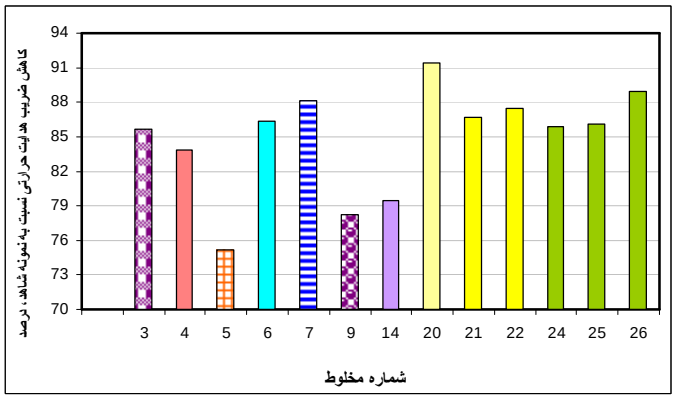
تحلیل ضریب هدایت حرارتی

نمودار نتایج به دست آمده از آزمون تعیین ضریب هدایت حرارتی چند مخلوط انتخاب شده در شکل 5-49 ارائه شده است. بطور کلی مقاومت حرارتی با در نظر گرفتن ضخامت (ارتفاع) هر آزمونه محاسبه می‌شود. در این آزمون دمای متوسط مرجع، 10 درجه سلیسیوس در نظر گرفته شد. در هر آزمون 3

آزمونه مورد استفاده قرار گرفت و میانگین نتایج به دست آمده محاسبه شد. همانطور که مشاهده می‌گردد ضریب هدایت حرارتی کلیه مخلوط‌ها از ضریب هدایت حرارتی مخلوط شاهد کم‌تر است.
نمودار کاهش ضریب هدایت حرارتی 13 نوع مخلوط نسبت به نمونه شاهد در شکل 5-50 ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد طرح مخلوط شماره 20 بیش‌ترین کاهش را در ضریب هدایت حرارتی نشان می‌دهد.



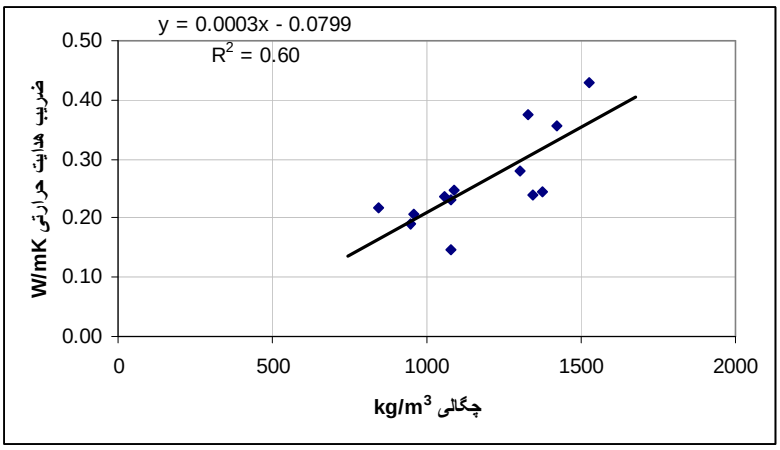
شکل 5-49- نمودار ستونی ضریب هدایت حرارتی 13 نوع مخلوط ملات سبک در مقایسه با نمونه شاهد



شکل 5-50- نمودار کاهش ضریب هدایت حرارتی 13 نوع مخلوط نسبت به نمونه شاهد

با توجه به نتایج به دست آمده ضریب هدایت حرارتی 13 نوع مخلوط انتخاب شده، چنین نتیجه‌گیری می‌شود که: 3 مورد از ملات‌های انتخاب شده در رده ضریب هدایت حرارتی T2 قرار دارند و ضریب

هدایت حرارتی همه انواع ملات منتخب از ضریب هدایت حرارتی نمونه شاهد (ماسه-سیمان) کمتر است. میزان کاهش ضریب هدایت حرارتی نسبت به نمونه شاهد از 75 تا 92 درصد متغیر است.
مخلوط‌های شماره 7، 20 و 26 نسبت به بقیه مخلوط‌ها دارای ضریب هدایت حرارتی کم‌تری هستند.
در شکل 5-51 نمودار تغییرات ضریب هدایت حرارتی در برابر چگالی ارائه شده است. مخلوط‌هایی که دارای چگالی کمتری هستند از ضریب هدایت حرارتی کمتری نیز برخوردارند.



شکل 5-51: نمودار تغییرات ضریب هدایت حرارتی در برابر چگالی

نتایج آزمون واکنش در برابر آتش

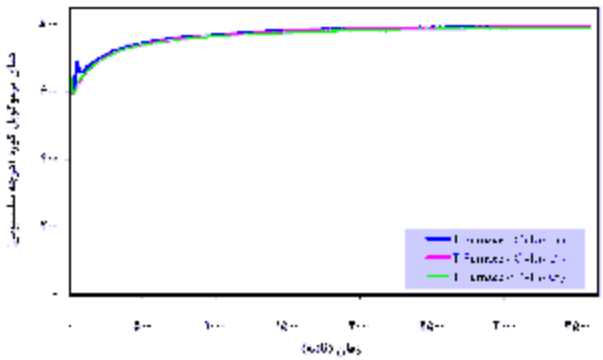
آزمون قابلیت نسوختن

آزمون قابلیت نسوختن مواد بر روی نمونه‌های ملات سبک با لیکا، با استفاده از دستگاه آزمون قابلیت نسوختن مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره 2-7271 و استاندارد بین‌المللی ISO1182 انجام شد.
آزمونه‌ها مطابق با ابعاد و شرایط بیان شده در استاندارد، به صورت استوانه‌ای تهیه و قبل از آزمون تثبیت شرایط شدند.
نتایج آزمون در جدول 5-18 ارائه شده است. همچنین نمودار تغییرات دمای کوره، دمای مرکز آزمونه و دمای سطح آزمونه برحسب زمان در شکل‌های 5-51 تا 5-53 مشاهده می‌شود.

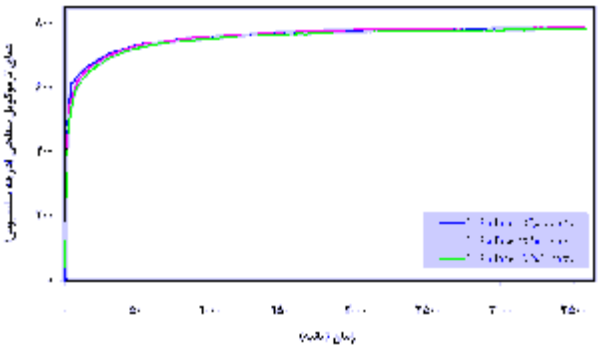
جدول 5-18- نتایج آزمون قابلیت نسوختن مواد در ملات سیمانی سبک

چگالی متوسط: 1433/3 kg/m^3	چگالی سطحی : 71/9 kg/m^2	ارتفاع متوسط: 50/2mm

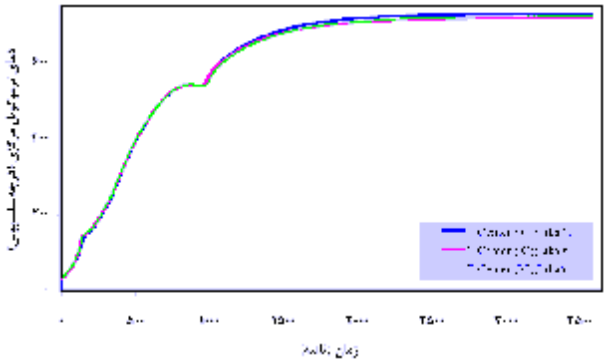
شماره مخلوط	تغییرات دمای کوره (درجه سلسیوس)				تغییرات دمای سطح آزمونه (درجه سلسیوس)			تغییرات دمای مرکز آزمونه (درجه سلسیوس)			افت جرم (درصد)	ضخامت اولیه (mm)
	دمای اولیه	دمای بیشینه	دمای نهایی	اختلاف دما	دمای بیشینه	دمای نهایی	اختلاف دما	دمای بیشینه	دمای نهایی	اختلاف دما		
3	709/4	796/5	795/2	1/3	788/1	787/4	0/7	730/3	730/2	0/1	11/8	50/4
16	701/2	795/2	794/3	0/9	790/3	789/9	0/4	719/6	719/6	0/0	12/0	50/3
19	701/6	791/5	790/5	1/0	783/3	782/9	0/4	722/8	722/7	0/1	11/8	49/8



شکل 5-51 : تغییرات دمای کوره برحسب زمان برای سه آزمونه



شکل5-52: تغییرات دمای سطح آزمونه برحسب زمان برای سه آزمونه



شکل5-53: تغییرات دمای مرکز آزمونه برحسب زمان برای دو آزمونه

مشاهدات در طول آزمون

در شکل‌های 5-54 و 5-55 به ترتیب تصویرهای مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها، قبل، حین آزمون و پس از انجام آزمون ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد در انتهای آزمون، آزمونه‌ها طی دچار تغییر نشدند.

شکل 5-54 : آزمونه آماده آزمون و حین آزمون

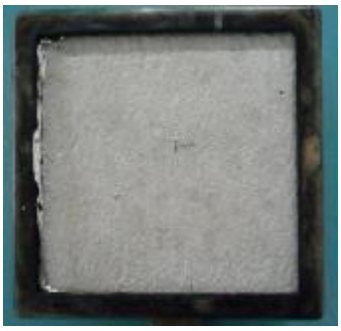
شکل 5-55 : آزمونه‌ها پس از انجام آزمون

ارزیابی نتایج آزمون قابلیت نسوختن

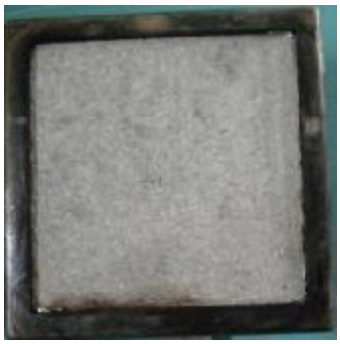
- نمونه‌ها مطابق استاندارد ایران شماره 7271ـ2، نسوختنی یا غیر قابل سوختن ارزیابی می‌شوند.
- نمونه‌ها مطابق با استاندارد ایران شماره 8299 (واکنش در برابر آتش برای مصالح و فرآورده‌های ساختمانی ـ طبقه‌بندی) جزو گروه A (A1 یا A2) محسوب می‌شوند.

آزمون گرماسنج مخروطی

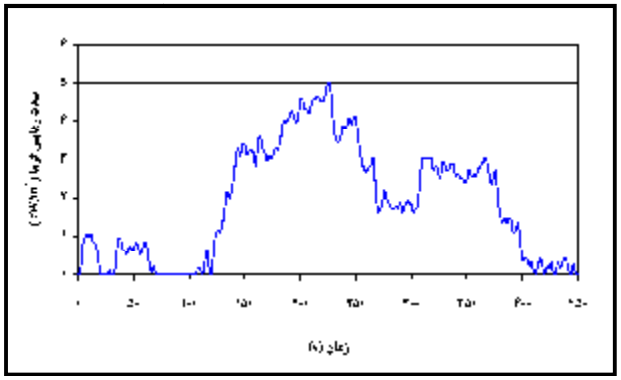
این آزمون مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره 7271-1، با استفاده از دستگاه گرماسنج مخروطی بر روی نمونه ملات سیمانی با سبکدانه رس منبسط (لیکا) انجام شد. میانگین ضخامت آزمونه‌ها، 10/5 میلی‌متر بود. تصاویری از آزمونه‌ها قبل و پس از آن در شکل های 5-56 و 5-57 نشان داده شده است. نتایج آزمون مخلوط شماره 3 در جدول 5-19 و نمودارهای مربوط در شکل‌های 5-58 و 5-59 ارائه شده است.



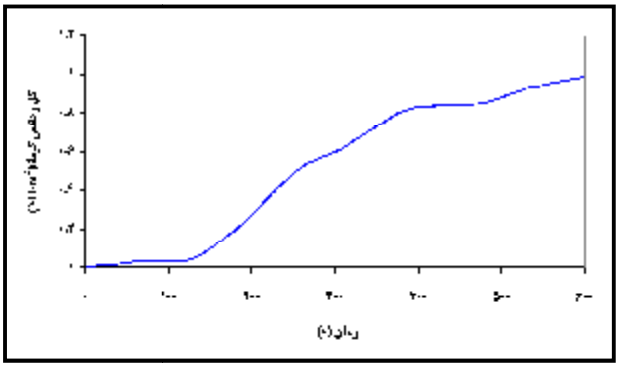
شکل5-56: آزمونه قبل از آزمون



شکل5-57: آزمونه پس از آزمون



شکل 5-58: منحنی شدت رهایش گرما برای آزمونه ملات سبک لیکا تحت تابش 50 $\mathbf{kWm^{-2}}$



شکل 5-59 : منحنی کل رهایش گرما برای آزمونه ملات سبک لیکا تحت تابش $50\ \mathbf{kWm^{-2}}$

جدول 5-19- نتایج آزمون گرماسنج مخروطی ملات سیمانی با سبکدانه رس منبسط (مخلوط شماره 3)

ضخامت میانگین آزمونه: 10/5 mm شدت جریان اسمی سیستم تخلیه گاز: 24 lit/s رنگ و ظاهر: خاکستری روشن	نگه‌دارنده آزمونه: قاب نگه‌دارنده میانگین چگالی سطحی آزمونه :	تراز تابش‌دهی: $50\ kW/m^2$ $14/6 kg/m^2$
پارامترهای مورد بررسی		نتایج
جرم اولیه (g)		148/75
افت جرم در پایان آزمون (g)		8/0
جرم نهایی آزمونه در پایان آزمون (g)		140/75
ضخامت آزمونه (mm)		10/50
چگالی (kg/m^3)		1387/4
زمان وقوع افروزش (s)		-
زمان خاموش شدن شعله (s)		-
طول مدت آزمون برای محاسبات (s)		600
کل رهایش گرما (MJ/m^2)		1/0
میانگین گرمای مؤثر سوختن (MJ/kg)		1/10
میانگین شدت رهایش گرما (kW/m^2)		1/65
حداکثر شدت رهایش گرما (q'') (kW/m^2)		4/99
زمان رسیدن به حداکثر شدت رهایش گرما (s)		226
میانگین سطح تیرگی ویژه (m^2/kg)		27/57
میانگین شدت کاهش جرم (g/m^2s)		1/50

ارزیابی نتایج آزمون گرماسنج مخروطی

در مدت آزمون تحت تابش $50\ kW/m^2$ معادل دمای 759°C، افروزش در آزمونه رخ نداد. در ثانیه 329 خروج دود از آزمونه مشاهده شد. در پایان آزمون، رنگ آزمونه کمی تیره شد. از آن جا که شدت تولید مونوکسید کربن بسیار کم بود، تنها منحنی‌های مربوط به شدت و کل رهایش گرما ارائه شده است.

فصل ششم

نتیجه‌گیری

مزایای عملی استفاده از سبک‌دانه‌ها در ساخت ملات سبک برای کاهش وزن ساختمان، حجم فونداسیون و زمان ساخت آن، کاهش هزینه در مراحل نصب و جابجایی عناصر ساختمانی سبب شده است که کاربرد انواع بتن سبک در قطعات سازه‌ای و غیرسازه‌ای افزایش یابد. با توجه به این که جذب آب سبکدانه‌ها عموما زیاد است، نیاز به آب ملات زیاد می‌باشد که این امر می‌تواند عاملی در کاهش روانی و کارایی ملات شود. چنانچه برای جبران این کاهش روانی از آب استفاده شود مقاومت ملات یا بتن به شدت کاهش می‌یابد.

آزمون‌های استاندارد که در مورد سبکدانه‌ها انجام می‌شود عبارتست از: ناخالصی‌های آلی، لکه شدگی، کلوخه‌های رسی و ذرات خرد شونده، افت وزن در اثر سرخ شدن، دانه‌بندی و چگالی انبوهی. بر روی نمونه‌های بتنی آزمون‌های مقاومت فشاری، جمع‌شدگی، چگالی، مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن و وجود موادی که باعث بیرون‌پریدگی می‌شوند، انجام می‌گیرد. خواص سبکدانه که ممکن است بر خواص بتن اثر گذارد، عبارتند از: شکل دانه و بافت سطحی، چگالی نسبی، چگالی انبوهی، مقاومت سبکدانه، سقف مقاومت، کل تخلخل، مقدار رطوبت و جذب آب، مدول ارتجاعی سبکدانه، واکنش سنگدانه – قلیایی و ضریب هدایت حرارتی. نظر به این که سبکدانه می‌تواند مقدار معینی آب آزاد را از مخلوط قبل از گیرش جذب کند، جذب آب سبک‌دانه عامل مهمی در طراحی و فرآیند تولید ملات سبک است.

نتایج به‌دست آمده از آزمون‌های انجام شده بر روی نمونه‌های برداشت شده از خط تولید ملات سیمانی سبک رس منبسط در کشور نشان می‌دهد که این محصول دارای کیفیت مناسب است. بر روی نمونه‌های برداشت شده، آزمون‌های لازم در آزمایشگاه‌های مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی که مشتمل بر آزمون‌های کنترل کیفیت ملات سیمانی سبک (اندازه‌گیری‌های میزان تاب فشاری، چگالی انبوهی، جذب آب مؤئینه، ضریب نفوذپذیری بخار آب، جرم حجمی و میزان هوای موجود ملات تازه، ضریب هدایت حرارتی و واکنش در برابر آتش) انجام شد.

به طور کلی نتایج به دست آمده از بررسی ها به شرح زیر است:

1- با توجه به ذخایر مناسب خاک و تقاضای بازار برای سبکدانه رس منبسط امکان گسترش این صنعت در بسیاری از مناطق کشور وجود دارد.
2- ذخایر سبکدانه‌های طبیعی ایران دارای توزیع زمانی و مکانی شناخته شده‌ای هستند. به این صورت که اغلب در دوران سوم و چهارم زمین شناسی و مرتبط با مناطق آتشفشانی اسیدی و انفجاری تشکیل شده‌اند.
3- با توجه به نتایج اکتشافات انجام یافته تا کنون و بررسی وضعیت عرضه و تقاضا، منابع پوکه معدنی و پرلیت شناخته شده کشور با سطح اطمینان بالا پاسخگوی نیاز بیش از 50 سال کشور می باشند. علاوه بر این چشم انداز امیدبخشی برای توسعه ذخایر این سبکدانه‌ها وجود دارد.
4- ذخایر ورمیکولیت در ایران محدود و کانسارهای آن کوچک مقیاس است. با این حال امیدواری به دستیابی به منابع جدید به ویژه در زون‌های افیولیتی وجود دارد.
5- ذخایر دیاتومیت در کشورمان از لحاظ ذخیره و عیار و امکان توسعه آتی در مقایسه با منابع مهم جهانی چندان قابل توجه نیست. با این حال توجه اصلی در این زمینه بایستی به فراهم کردن فناوری مناسب برای فراوری منابع موجود باشد.
6- توسعه و افزایش استفاده از سبکدانه‌های طبیعی و مصنوعی در کشور به ویژه در صنعت ساختمان، نیروی محرکه اصلی برای توجه و سرمایه گذاری بیشتر در زمینه اکتشاف و استخراج سبکدانه‌ها محسوب می‌شود.
7- برای اندازه‌گیری ضریب هدایت حرارتی، سامانه‌های مختلف دیوار با استفاده از انواع مختلف واحد بنایی شامل بلوک سیمانی سبک و آجر رسی و انواع مختلف ملات /اندود سبکدانه و ملات /اندود سنتی ساخته شده است. یافته‌های مطالعات آزمایشگاهی نشان داده است که ضریب هدایت حرارتی سامانه دیوار آجر سفالی، در حدود 1/5 برابر بیش‌تر از سامانه دیوار بلوک پومیس است. علاوه بر این نتایج آزمایشگاهی نشان داد که در سامانه‌های دیوار بلوک سبک استفاده از ملات و اندود سبک عملکرد عایقکاری حرارتی را حدود 16 درصد بهتر می‌کند.
در این تحقیق، استفاده از سبک‌دانه در ملات و اندود بررسی شد و با ملات /اندود سنتی ساخته شده با سنگ‌دانه معمولی (شاهد) مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج مطالعات آزمایشگاهی انجام شده بر روی مواد اولیه شامل چسباننده‌ها و سنگدانه‌های مورد استفاده در پروژه و انواع 26 مخلوط ملات ساخته شده شامل آزمون های ملات تازه و ملات سخت شده مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت و به صورت زیر جمع‌بندی شد:
عمر کارایی 10 نوع مخلوط ملات از عمر کارایی ملات شاهد کم‌تر و عمر کارایی 16 نوع مخلوط ملات از عمر کارایی ملات شاهد بیش‌تر است. عمر کارایی ملات دارای آهک طولانی‌تر از ملات ماسه-سیمان است. هرچه نسبت آهک در مخلوط زیادتر باشد، عمر کارایی افزایش خواهد یافت.

مطابق با استاندارد ملی ایران ملات بنایی سبک ملاتی است که چگالی آن کمتر از 1300 کیلوگرم بر مترمکعب باشد. چگالی خشک انبوهی کلیه مخلوط ملات‌های سبک ساخته شده از نمونه شاهد کمتر است. چگالی خشک انبوهی 26 مخلوط از 923 تا 1785 کیلوگرم بر متر مکعب است. چگالی خشک انبوهی ملات‌هایی که تنها از سیمان، آهک و ماسه تشکیل شده زیادتر از 1700 کیلوگرم بر متر مکعب می‌باشد. چگالی خشک انبوهی 17 مخلوط از 26 مخلوط ملات‌های ساخته شده برابر یا کمتر از $1300kg/m^3$ است.

بیشترین مقاومت چسبندگی مربوط به مخلوط شماره 17به میزان $1/09\ N/mm^2$ و کمترین مقاومت چسبندگی مربوط به مخلوط شماره 20 به میزان $0/06\ N/mm^2$ است. وجود لیکای شکسته در ملات باعث افزایش مقاومت چسبندگی می‌شود (مقایسه مخلوط‌های 17 و 1). استفاده از پرلیت موجب افزایش چسبندگی می‌شود (مقایسه مخلوط‌های 13 و 1). استفاده از مقادیر زیاد پومیس موجب افزایش چسبندگی می‌شود

ضریب جذب آب موئینه 90 دقیقه نمونه‌های ملات سبک ساخته شده با سبکدانه‌های مختلف بیش‌تر از نمونه شاهد است. دلیل آن متخلخل بودن سبکدانه‌ها و در نتیجه ضریب جذب آب مویینه بیشتر از ملات ماسه سیمان متداول است. استفاده از روان‌ساز باعث کاهش تخلخل و در نتیجه افزایش تراکم و کم شدن میزان جذب آب نسبت به سایر مخلوط‌ها شده است. استفاده از لیکای طبیعی باعث افزایش جذب آب مویینه شد. پومیس به دلیل ساختار سلول بسته خود جذب آب مویینه کمتری نسبت به سایر مخلوط‌ها داشت.

بیشترین مقاومت فشاری 28 روزه مربوط به مخلوط ملات شاهد با حدود $21/28N/mm^2$ است. مقاومت خمشی 28 روزه این مخلوط نیز با حدود $5/41N/mm^2$ بیشترین مقاومت خمشی در بین 26 ملات سبک است. در مجموع مقاومت‌های مکانیکی کلیه مخلوط‌های ملات از ملات شاهد کمتر است. این به دلیل سبک و متخلخل بودن دانه‌ها و در نتیجه استحکام کمتر آنها است.

مقاومت فشاری آزمونه شاهد در رده M20 ، 1 نوع مخلوط در رده M20، 12 مخلوط در رده M15، 4 مخلوط در رده M10 و بقیه مخلوط‌ها در رده‌های M2.5 و M5 قرار دارند.

3 مورد از ملات‌های انتخاب شده از رده ضریب هدایت حرارتی T2 برخوردارند. ضریب هدایت حرارتی همه انواع انتخاب شده از ضریب هدایت حرارتی نمونه شاهد (ماسه-سیمان) بسیار کمتر است. میزان کاهش ضریب هدایت حرارتی نسبت به نمونه شاهد از 75 تا 92 درصد متغیر است. در کل مخلوط‌هایی که دارای چگالی کمتری هستند از ضریب هدایت حرارتی کمتری نیز برخوردارند.

بنابراین ملات‌های سبک را می‌توان به‌عنوان یک گزینه مناسب جایگزین ملات‌های متداول برای ایجاد خواص عایق حرارتی مورد استفاده قرار داد و در نتیجه صرفه‌جویی عمده‌ای در مصرف انرژی به عمل آورد.

استفاده از ملات های سبک خشک آماده باعث کاهش هزینـه‌ها به مقدار قابل توجهی خواهد شد که به صورت خلاصه می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- جلوگیری از هدر رفتن مواد اولیه
- جلوگیری از استفاده بیش از اندازه سیمان
- جلوگیری از هدر رفتن ملات
- کاهش هزینه های انرژی مصرفی ساختمان به دلیل عایق کاری
- کاهش هزینه های کارگری
- حذف نیاز به نیروی متخصص ناظر
- امکان انتقال بسته‌های ملات مازاد به سایر طبقات یا کارگاه‌های ساختمانی

پیوست 1

ترجمه استاندارد سنگدانه‌ها برای ملات

EN 13139:2013 Aggregates for mortars

1- هدف و دامنه کاربرد

این استاندارد خواص سنگدانه‌های به دست آمده توسط فراوری مواد طبیعی، مصنوعی یا بازیافتی و مخلوط‌های این سنگدانه‌ها برای استفاده در ملات‌ها و اندودها به عنوان مثال:

- ملات بنایی،
- ملات کف،
- پوشش دیوارهای داخلی (ملات اندود)،
- اندود دیوارهای خارجی،
- مواد بستر ویژه،
- ملات تعمیر،
- گروت،

برای ساختمان‌ها، جاده‌ها و کارهای مهندسی عمران به کار می‌رود.

این استاندارد شامل سنگدانه‌هایی می‌شود که دارای چگالی دانه‌های در آون خشک شده بیشتر از kg/m^3 2000 است. همچنین شامل سنگدانه‌های بازیافتی می‌شود که چگالی بیشتر از kg/m^3 1500 دارند.

2- استانداردهای الزامی

EN 932-3, Tests for general properties of aggregates — Part 3: Procedure and terminology for simplified petrographic description
EN 933-1, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 1: Determination of particle size distribution — Sieving method
EN 933-3, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 3: Determination of particle shape — Flakiness index
EN 933-7, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 7: Determination of shell content —Percentage of shells in coarse aggregates
EN 933-8, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 8: Assessment of fines — Sand equivalent test
EN 933-9, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 9: Assessment of fines — Methylene-blue test
EN 933-10, Tests for geometrical properties of aggregates — Part 10: Assessment of fines — Grading of filler aggregates (air jet sieving)

EN 1097-6, Tests for mechanical and physical properties of aggregates — Part 6: Determination of particle density and water absorption
EN 1367-1, Tests for thermal and weathering properties of aggregates — Part 1: Determination of resistance to freezing and thawing
EN 1367-2, Tests for thermal and weathering properties of aggregates — Part 2: Magnesium sulfate test
EN 1744-1, Tests for chemical properties of aggregates — Part 1: Chemical analysis
EN 16236:2013, Evaluation of conformity of aggregates — Initial Type Testing and Factory Production Control
ISO 565, Test sieves — Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet — Nominal sizes of openings

3- تعاریف و اصطلاحات

برای مقاصد این استاندارد، تعاریف و اصطلاحات زیر به کار می‌رود:

3-1 سنگدانه: مواد دانه‌ای با منشأ طبیعی، مصنوعی یا بازیافتی است که در ساختمان استفاده می‌شود.

3-2 سنگدانه طبیعی: سنگدانه‌ای از منابع معدنی که تنها در معرض فرآیند مکانیکی قرار گرفته است.

3-3- سنگدانه مصنوعی: سنگدانه‌ای دارای منشأ معدنی است که از یک فرآیند صنعتی شامل اصلاح حرارتی یا غیره نتیجه می‌شود.

3-4 سنگدانه بازیافتی: سنگدانه‌ای که از فرآوری مواد معدنی یا غیرآلی که قبلاً در ساختمان استفاده شده است، نتیجه می‌شود.

3-5 طبقه: تراز خاصیت یک سنگدانه که به صورت محدوده‌ای از مقادیر یا یک مقدار محدودکننده بیان می‌شود.

یادآوری: هیچ رابطه‌ای بین طبقه‌های خواص مختلف وجود ندارد.

3-6 اندازه سنگدانه: مشخصه سنگدانه در اندازه‌های الک پائین‌تر (d) و بالاتر (D) که به صورت d/D بیان می‌شود.

یادآوری: این مشخصه حضور چند دانه را که روی الک بالایی باقی می‌ماند (بیش اندازه) و چند دانه را که از الک پائینی عبور می‌کند، می‌پذیرد.

3-7 دانه‌بندی: توزیع اندازه دانه‌ها به صورت درصدهای وزنی عبور کرده از مجموعه مشخصی از الک‌ها بیان می‌شود.

یادآوری: در این استاندارد طبقه‌های دانه‌بندی به صورت GnX/Y استفاده و بیان می‌شود که در آن n نوع دانه‌بندی است و :

C= درشت

CA= درشت فقط برای آسفالت

G= گریت (d>1, D<4)

F= ریز

NG= دانه‌بندی طبیعی

A= شامل کل

X= حد پائین‌تر عبور کرده D

Y= حد بالاتر عبور کرده d

3-8 ریزدانه‌ها: بخش اندازه دانه‌های یک سنگدانه که از الک 0/063 میلی‌متر عبور می‌کند.

3-9 سنگدانه درشت: مشخصه داده شده به اندازه‌های سنگدانه درشت‌تر با D بزرگتر از 4 میلی‌متر و d بزرگتر یا مساوی با 1 میلی‌متر است.

یادآوری: سنگدانه‌هایی که با تعاریف ریزدانه و درشت‌دانه (مانند 1/3 ، 1/4 یا 2/4 میلی‌متر) وفق نمی‌کند به عنوان سنگدانه درشت تلقی می‌شود.

3-10 سنگدانه ریز: مشخصه داده شده به اندازه‌های سنگدانه ریزتر با D کوچکتر یا مساوی با 4 میلی‌متر و 0= d است.

یادآوری 1: سنگدانه ریز ممکن است از تجزیه طبیعی سنگ یا شن، خردایش سنگ یا شن و یا فرآوری سنگدانه‌های مصنوعی تولید شود.

3-11 سنگدانه طبیعی با دانه‌بندی 0/8 میلی‌متر: مشخصه داده شده به سنگدانه طبیعی با منشأ یخچالی و / یا رودخانه‌ای با D کمتر یا مساوی 8 میلی‌متر است.

یادآوری: این سنگدانه را می‌توان با مخلوط کردن سنگدانه فرآوری شده نیز تولید کرد.

3-12 سنگدانه شامل کل: سنگدانه شامل مخلوطی از سنگدانه‌های درشت و ریز با D بزرگتر از 4 میلی‌متر و 0= d است.

یادآوری: سنگدانه شامل کل را می‌توان بدون جدا کردن بخش‌های درشت و ریز تولید کرد یا آن را می‌توان با مخلوط کردن سنگدانه‌های درشت و ریز تولید نمود.

3-13 سنگدانه پرکننده: سنگدانه ریز که عمده آن از الک 0/063 میلی‌متر عبور می‌کند.

3-14 پرکننده اضافه شده: سنگدانه پرکننده که به طور جداگانه تولید شده است و آن را می‌توان به مصالح ساختمانی اضافه کرد تا خواص معینی را به وجود آورد.

3-15 پرکننده مخلوط شده: سنگدانه پرکننده با منشأ معدنی که با هیدروکسید کلسیم مخلوط شده است.

3-16 بخش اندازه دانه: بخشی از سنگدانه که از الک بزرگتر دو الک عبور می‌کند و بر روی الک کوچک‌تر باقی می‌ماند.

یادآوری: حد پائینی ممکن است صفر باشد.

3-17 بیش‌اندازه: بخشی از سنگدانه مانده روی الک بزرگتر در الک‌های محدودکننده که در توصیف اندازه سنگدانه استفاده می‌شود.

3-18 زیراندازه: بخشی از سنگدانه عبور کرده از الک کوچکتر الک‌های محدودکننده که در توصیف اندازه سنگدانه استفاده می‌شود.

3-19 پیمانه: کمیت تولید، یک کمیت حمل، یک کمیت حمل جزئی (واگن قطار، بار کامیون، اتاقک کشتی) یا یک دپو ایجاد شده در یک زمان تحت شرایطی که یکسان فرض می‌شود.
یادآوری: با یک فرآیند پیوسته کمیت تولید شده در طی یک دوره مشخص باید به عنوان یک پیمانه در نظر گرفته شود.

4- الزامات هندسی[1]

4-1 کلیات

ضرورت انجام آزمون و اعلام همه خواص مشخص شده در این بند باید مطابق با کاربرد ویژه در مصرف نهایی یا منشأ آن سنگدانه محدود شود. چنانچه لازم باشد سنگدانه‌ها باید مطابق با بند 4 آزمون شود تا خواص هندسی مربوط معین شود.
هنگامی که مقدار خاصیت مورد نیاز است اما با حدود معین تعریف نمی‌شود، مقدار باید به عنوان یک طبقه $XX_{\text{اعلام شده}}$ اعلام شود.
یادآوری 1: وقتی یک خاصیت مورد نیاز نیست یک طبقه "بدون الزام" را می‌توان استفاده کرد.
یادآوری 2: راهنمای انتخاب طبقه‌های مناسب برای کاربردهای ویژه در محل استفاده از سنگدانه را می‌توان در مقررات ملی یافت.
یادآوری 3: چنانچه انطباق با یک طبقه بر اساس مقداری از یک خاصیت کمتر یا مساوی با مقدار داده شده باشد، انطباق با یک طبقه سخت‌گیرانه‌تر (مقدار کمتر) به طور خودکار انطباق با طبقه‌های کمتر سخت‌گیرانه (مقادیر بیشتر) را تأمین می‌کند. به طور مشابه برای طبقه‌هایی که بر اساس مقدار یک خاصیت بزرگتر یا مساوی با مقدار داده شده قرار دارند، انطباق با طبقه سخت‌گیرانه‌تر (مقدار بیشتر) به طور خودکار انطباق با طبقه‌های کمتر سخت‌گیرانه (مقادیر کمتر) را برآورده می‌سازد.
جدول‌ها در این استاندارد شامل طبقه‌هایی است که در چهار استاندارد اصلی سنگدانه‌ها: EN12620، EN 13043، EN 13139، EN 13242 مشترک است. طبقه‌ها، یادآوری‌ها، شرح‌ها و غیره با سایه خاکستری را برای ملات‌ها نباید استفاده کرد.

4-2 اندازه‌های سنگدانه

همه سنگدانه‌ها باید از نظر محدوده اندازه‌های سنگدانه با استفاده از مشخصه d/D توصیف کرد به استثنای سنگدانه‌های اضافه شده به عنوان فیلر که باید به عنوان سنگدانه پرکننده توصیف شود و باید با الزامات دانه‌بندی مشخص شده در بند 4-3 مطابقت داشته باشد.
اندازه‌های سنگدانه باید توسط زوجی از اندازه‌های الک بر حسب میلی‌متر تعریف شود که از بین مجموعه اصلی یا مجموعه اصلی به اضافه مجموعه 1 یا مجموعه اصلی به اضافه مجموعه 2 در جدول 1 انتخاب شده است. به این ترتیب که d به عنوان مشخصه حد پائینی و D به عنوان مشخصه حد بالایی

[1] Geometrical

الک است که عمده توزیع اندازه دانه در آن قرار می‌گیرند، (برای مثال 2/4 mm، 0/2 mm، 0/4 mm و غیره). ترکیبی از اندازه‌ها از مجموعه 1 و مجموعه 2 مجاز نیست. اندازه‌های سنگدانه باید دارای D/d مساوی یا بیشتر از 1/4 باشند. سنگدانه‌ها مطابق با این استاندارد در دانه‌بندی به D کوچکتر و مساوی 8 میلی‌متر محدود شده‌اند.

جدول -1 اندازه‌های الک برای مشخص کردن اندازه‌های سنگدانه

مجموعه اصلی (میلی‌متر)	مجموعه اصلی به اضافه مجموعه 1 (میلی‌متر)	مجموعه اصلی به اضافه مجموعه 2 (میلی‌متر)
0	0	0
1	1	1
2	2	2
4	4	4
-	5/6 (5)	-
-	-	6/3 (6)
8	8	8
-	-	10
-	11/2 (11)	-
-	-	12/5 (12)
-	-	14
16	16	16
-	-	20
-	22/4 (22)	-
31/5 (32)	31/5 (32)	31/5 (32)
-	-	40
-	45	-
-	56	-
63	63	63
-	-	80
-	90	-

یادآوری: اندازه‌های گرد شده نشان داده شده در پرانتز را می‌توان به صورت توصیف‌های ساده شده اندازه‌های سنگدانه استفاده کرد.

یادآوری: اندازه‌های سنگدانه زیر ترجیح دارد: 0/1 mm، 0/2 mm، 0/4 mm، 0/8 mm، 2/4 mm و 2/8 mm

4-3 دانه‌بندی

4-3-1 کلیات

دانه‌بندی سنگدانه هنگامی که مطابق با EN-933-1 تعیین می‌شود، باید با الزامات بندهای 4-3-2 تا 4-3-5 مطابقت داشته باشد به طوری که با اندازه سنگدانه آن d/D متناسب باشد.

سنگدانه‌ها ممکن است شامل اندازه‌های تک، اندازه‌های شامل کل یا ترکیبی از دو یا چند اندازه باشد. سنگدانه‌های عرضه شده به صورت مخلوطی از اندازه‌ها یا انواع متفاوت باید به طور یکنواخت مخلوط شوند. وقتی سنگدانه‌های با چگالی بسیار متفاوت با هم مخلوط می‌شوند، توجه به جلوگیری از جداشدگی ضرورت دارد.

هنگام ارزیابی سنگدانه‌ها در یک سامانه کنترل تولید کارخانه حداقل 90 درصد دانه‌بندی‌های گرفته شده از پیمانه‌های متفاوت در یک دوره حداکثر 6 ماهه باید درون حدود مشخص شده در جدول‌های 2 تا 4 برای رواداری‌های دانه‌بندی‌های نوعی اعلام شده توسط تولیدکننده قرار گیرند.

مشخصه‌های اندازه و طبقه‌بندی‌های دانه‌بندی عموما برای ایجاد سهولت است و اندازه‌های مختلف و طبقه‌های دانه‌بندی را می‌توان با توافق بین خریدار و فروشنده مورد استفاده قرار داد.

در جایی که ویژگی استفاده از الک‌هایی را لازم می‌داند که کسری یا ضریبی از اندازه الک بالایی (برای مثال D/2، D/1.4 یا1.4D، 2D) است، الک انتخاب شده باید نزدیک‌ترین به مجموعه اصلی به اضافه مجموعه 1 یا مجموعه اصلی به اضافه مجموعه 2 باشد.

4-3-2 سنگدانه‌های درشت

سنگدانه‌های درشت باید با الزامات عمومی دانه‌بندی ارائه شده در جدول 2 متناسب با مشخصه اندازه آنها d/D و طبقه دانه‌بندی $G_C X/Y$ و $G_G X/Y$ مطابقت داشته باشد.

وقتی برای سنگدانه‌های دانه‌بندی شده مانند آنهایی که به صورت $D/d \geq 2$، تعریف می‌شود لازم باشد، همه دانه‌بندی‌ها باید با محدوده‌های کلی در جدول 3 مطابق باشد.

دانه‌بندی نوعی عبور کرده از الک اندازه وسط باید اعلام شود و رواداری‌های انتخاب شده از جدول 3 متناسب با طبقه دانه‌بندی باید به کار رود.

جدول 2- الزامات عمومی دانه‌بندی

سنگدانه	اندازه (mm)	درصد وزنی رد شده					طبقه G
		2D[الف]	1.4D	D[ب]	d	d/2	
درشت	D>4 d≥1	100	100	90 تا 99	0 تا 10	0 تا 2	G_C90/10
		100	98 تا 100	90 تا 99	0 تا 15	0 تا 5	G_C90/15
		100	98 تا 100	85 تا 99[پ]	0 تا 15	0 تا 5	G_C85/15
		100	**98 تا** 100	85 تا 99[پ]	**0 تا** 20	**0 تا** 5	**G_C**85/20
		100	98 تا 100	80 تا 99	0 تا 20	0 تا 5	G_C80/20
		100	98 تا 100	85 تا 99	0 تا 35	0 تا 5	G_C85/35
		100	98 تا 100	85 تا 99[پ]	0 تا 15	0 تا 2	G_{CA}85/15
	D≤4 d≥1	100	95 تا 100	85 تا 99	0 تا 15	-	G_G85/15
		100	**98 تا** 100	**85 تا** 99	**0 تا** 20	**0 تا** 5	**G_G**85/20
		100	98 تا 100	85 تا 99	0 تا 35	0 تا 5	G_G85/35
ریزدانه	D≤4 D=0	100	**95 تا** 100	**85 تا** 99	-	-	**G_F**85
سنگدانه با دانه‌بندی طبیعی 0/8 میلیمتر	D=8 و D=0	100	**98 تا** 100	**90 تا** 99	-	-	**G_{NG}**90
شامل کل	D>4 D=0	100	98 تا 100	90 تا 99	-	-	G_A90
		100	98 تا 100	85 تا 99	-	-	G_A85
		100	98 تا 100	80 تا 99	-	-	G_A80
		100	-	75 تا 99	-	-	G_A75

[الف] برای اندازه‌های سنگدانه که در آن D بزرگتر از 63 میلی‌متر (برای مثال80 میلی‌متر و 90 میلی‌متر چنانچه در EN 13242 اشاره شده است) تنها الزامات بیش اندازه مربوط به الک 1/4D کاربرد دارد چون هیچ الک سری ISO565/R20 بالای 125 میلی‌متر وجود ندارد.

[ب] اگر درصد باقیمانده روی D کمتر از 1 درصد وزنی باشد تولیدکننده باید دانه‌بندی نوعی شامل الک‌های D، d، d/2 و الک‌های در مجموعه اصلی به اضافه مجموعه 1 یا مجموعه اصلی به اضافه 2 بین d و D را مستند و اعلام کند.

[پ] برای سنگدانه‌های درشت تک اندازه d/D، که در آن D/d<2، مربوط به طبقه‌های G_C85/15، G_C85/20 و G_{CA}85/15، مقدار درصد وزنی عبور کرده در D را می‌توان تا 5 درصد مطابق با کاربرد ویژه یا مصرف نهایی پایین آورد.

جدول 3- حدود کلی و رواداری‌ها برای دانه‌بندی سنگدانه درشت در الک‌های اندازه وسط

D/d	الک اندازه وسط (میلی‌متر)	حدود کلی و رواداری‌ها در الک‌های اندازه وسط درصد وزنی رد شده		طبقه G
		حدود کلی	رواداری‌ها در مورد دانه‌بندی نوعی اعلام شده تولیدکننده	
< 4	D/1.4	25 تا 80	±15	$G_{25/15}$
		20 تا 70	±15	$G_{20/15}$
≥ 4	D/2	20 تا 70	±17/5	$G_{25/15}$
بدون الزام				$\mathbf{G_{NR}}$

4-3-3 سنگدانه ریز

سنگدانه‌های ریز باید با الزامات عمومی دانه‌بندی جدول 2 متناسب با اندازه الک بالایی آنها D و طبقه دانه‌بندی G_F85 مطابقت داشته باشد.

در صورت لزوم، دانه‌بندی نوعی به صورت درصدهای عبور کرده از الک‌های 4، 2، 1، 0/250 و 0/063 میلی‌متر باید اعلام شود.

در صورت لزوم، دانه‌بندی سنگدانه‌های ریز باید با رواداری‌های جدول 4 اعمال شده در مورد دانه‌بندی نوعی اعلام شده مطابقت داشته باشد.

4-3-4 سنگدانه‌های شامل کل

سنگدانه‌های شامل کل باید با الزامات عمومی دانه‌بندی جدول 2 متناسب با اندازه الک بالایی آنها D و طبقه دانه‌بندی G_AX/Y مطابقت داشته باشد.

در صورت لزوم، دانه‌بندی عمومی عبور کرده از الک اندازه وسط باید اعلام شود و رواداری‌های انتخاب شده از جدول 4 متناسب با طبقه دانه‌بندی باید به کار رود.

جدول 4- رواداری‌های دانه‌بندی نوعی اعلام شده برای سنگدانه‌های ریز و شامل کل

اندازه الک (میلی‌متر)	D	D/2	0/250 [ب]	0/063 [الف]	طبقه G_{TC}
رواداری‌های درصد وزنی عبور کرده	± 5	± 10 [الف]	± 20 [ث]	± 3 [ب]	**G_{TC} 10**
	± 5	± 20 [ت]	± 25 [ث]	± 5	**G_{TC} 20**
	± 7/5	± 25	± 25	± 5	G_{TC} 25
	بدون الزام				G_{TC} NR

[الف] در همه موارد حد بالایی تعیین شده توسط طبقه ریزدانه‌ها ارجحیت دارد.
[ب] الزامات در مورد الک 0/250 میلی‌متر تنها برای سنگدانه‌های ریز است.
[پ] برای 0/8 الزامات در مورد 0/063 میلی‌متر توسط الزام 2٪± جایگزین می‌شود.
[ت] برای 0/4 هیچ الزامی در مورد D/2 وجود ندارد و با یک الزام 20± درصد برای الک 1 میلی‌متر جایگزین می‌شود.
برای 0/1 هیچ الزامی در مورد الک D/2 وجود ندارد.
[ث] برای 0/8 الزام در مورد 0/25 میلی‌متر با 10± درصد جایگزین می‌شود.
برای 0/4 الزام در مورد 0/25 میلی‌متر با 20± درصد جایگزین می‌شود.

یادآوری 1 توصیه‌ها برای توصیف درشتی سنگدانه در پیوست ب ارائه شده است.
یادآوری 2 اکثر سنگدانه‌های ریز در مصرف رضایت‌بخش معمول برای عمده کاربردها با الزمات دانه‌بندی کاربرد عمومی مطابقت دارد. هدف آن نیست که دانه‌بندی‌های مصرف ویژه باید اعمال شود مگر آن که برای کاربردهای ویژه اهمیت داشته باشد.

4-3-5 سنگدانه‌های مصرف خاص و طبقه‌های دانه‌بندی اعلام شده

وقتی دانه‌بندی‌های خاص سنگدانه برای یک مصرف نهایی خاص مورد نیاز باشد، پاکت‌ها باید با استفاده از الک‌های مناسب مندرج در جدول 1 تعریف شوند. اصول کلی بند 4 باید با استفاده از الزامات مناسب در 2D، 1، 4D، D، d و d/2 به کار رود. طبقه دانه‌بندی باید به صورت D_GX/Y بیان شود تا به طور روشن مشخص شود که این یک طبقه اعلام شده یا مصرف خاص است. سنگدانه باید با الزامات دانه‌بندی مشخص شده منطبق باشد.

این مورد تصدیق می‌کند که مشخصه‌های اندازه و طبقه‌های دانه‌بندی عمدتاً طبقه‌هایی برای ایجاد سهولت هستند و از طبقه‌های دانه‌بندی و اندازه‌های مختلف می‌توان با توافق تولیدکننده و خریدار استفاده کرد.

4-3-6 دانه‌بندی پرکننده اضافه شده

دانه‌بندی باید مطابق با استاندارد EN 933-10 تعیین شود و باید با مقادیر مشخص شده در جدول 5 مطابقت داشته باشد.

جدول 5- الزامات دانه‌بندی برای پرکننده اضافه شده

اندازه الک (میلی‌متر)	درصد وزنی عبور کرده	
	محدوده کل برای نتایج جداگانه	محدوده دانه‌بندی حداکثر اعلام شده توسط تولیدکننده[a]
2	100	-
0/125	85 تا 100	10
0/63	70 تا 100	10

[a] محدوده دانه‌بندی اعلام شده بر اساس 20 مقدار آخر 90 درصد نتایج باید درون این محدوده باشد، اما این نتایج باید درون محدوده دانه‌بندی کل باشد.

4-3-7 سنگدانه‌های دانه‌بندی شده طبیعی 0/8 میلی‌متر

سنگدانه‌های دانه‌بندی شده طبیعی 0/8 میلی‌متر باید با الزامات کلی دانه‌بندی مشخص شده در جدول 2 مطابقت داشته باشد.

الزامات تکمیلی زیر باید برای کنترل تغییرپذیری سنگدانه دانه‌بندی شده طبیعی 0/8 میلی‌متر به کار رود.

الف) تولیدکننده باید دانه‌بندی نوعی برای هر سنگدانه تولید شده را مستند و در صورت درخواست اعلام کند.

ب) دانه‌بندی‌ها باید با رواداری‌های داده شده در جدول 6 مطابقت داشته باشد.

4-4 مقادیر ریزدانه

در صورت لزوم، مقدار ریزدانه‌ها باید مطابق با EN 933-1 تعیین شود و نتایج مطابق با طبقه مربوط مشخص شده در جدول 7 اعلام گردد.

جدول 7- طبقه‌ها برای مقادیر ریزدانه‌ها، حداکثر

سنگدانه	الک 0/063 میلی‌متر درصد وزنی عبور کرده	طبقه
درشت‌دانه	≤ 0/5	$f_{0/5}$
	≤ 1	f_{1}
	≤ 1/5	$f_{1/5}$
	≤ 2	f_{2}
	£ 4	4
	> 4	اعلام شده f
	بدون الزام	NR
سنگدانه طبیعی دانه‌بندی شده 0/8	≤ 3	f_{3}
	≤ 5	f_{5}
	≤ 7	f_{7}
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f 16
	> 16	اعلام شده f
	بدون الزام	NR
شامل همه	£ 3	3
	£ 5	5
	≤ 7	f_{7}
	≤ 9	f_{9}
	£ 11	11
	≤ 12	f_{12}
	≤ 15	f_{15}
	> 15	اعلام شده f
	بدون الزام	NR
ریزدانه	£ 3	3
	≤ 4	f_{4}
	£ 5	5
	≤ 6	f_{6}
	≤ 7	f_{7}
	≤ 10	f_{10}
	≤ 16	f_{16}
	≤ 22	f_{22}
	> 22	اعلام شده
	بدون الزام	NR
برای سنگدانه ریز یک طبقه f8 و f11 با الزامات به ترتیب 8 ≤ و 11 ≤ را نیز می‌توان استفاده کرد.		

5-4 کیفیت ریزدانه

در صورت نیاز، کیفیت ریزدانه سنگدانه‌های ریز یا شامل کل باید ارزیابی شود و به صورت زیر اعلام گردد:

وقتی مقدار ریزدانه‌ها در سنگدانه ریز یا در سنگدانه شامل کل O/D با D کوچکتر از 8 میلی‌متر، بزرگتر از 3 درصد باشد. هیچ آزمون دیگری مورد نیاز نیست.
اگر مقدار ریزدانه‌ها بزرگتر از 3 درصد باشد، دانه‌های ریز سنگدانه شامل کل یا ریز باید غیرزیان‌آور (برای مثال رس متورم شونده) در نظر گرفته شود به شرطی که یکی از شرایط زیر وجود داشته باشد.
الف) مقدار هم‌ارز ماسه (SE) بخش اندازه مورد نیاز وقتی مطابق با استاندارد EN 933-8 آزمایش شود و مطابق با بخش اندازه و طبقه مربوط در جدول 8 اعلام شود، باید بزرگتر از حدی مشخص، باشد.

جدول 8- طبقه‌ها برای حداقل مقادیر هم‌ارز ماسه (SE)

هم‌ارز ماسه	طبقه **0/2** **SE(10)**	طبقه **0/4** **SE4**
≥ 65	$SE(10)_{65}$	$SE4_{65}$
≥ 60	$SE(10)_{60}$	$SE4_{60}$
≥ 55	$SE(10)_{55}$	$SE4_{55}$
≥ 50	$SE(10)_{50}$	$SE4_{50}$
≥ 45	$SE(10)_{45}$	$SE4_{45}$
≥ 40	$SE(10)_{40}$	$SE4_{40}$
≥ 35	$SE(10)_{35}$	$SE4_{35}$
≥ 30	$SE(10)_{30}$	$SE4_{30}$
< 30	$SE(10)_{\text{اعلام شده}}$	$SE4_{\text{اعلام شده}}$
بدون الزام	$SE(10)_{NR}$	$SE4_{NR}$

ب) مقدار متیلن بلو (MB) در بخش اندازه مورد نیاز چنانچه مطابق با استاندارد EN 933-9 آزمایش و مطابق با بخش اندازه و طبقه مربوط در جدول 9 اعلام شود، باید کمتر از مقدار مشخص شده باشد.
الزامات انطباق برای آزمون هم‌ارز ماسه و آزمون متیلن بلو معمولاً باید با احتمال 90 درصد بیان شود.
یادآوری: اگر مقدار دانه‌های ریز بزرگتر از 3 درصد وزنی باشد و شواهد مستندی از مصرف رضایت‌بخش وجود داشته باشد، آزمون بیشتر ممکن است لازم نباشد.

جدول 9- طبقه‌های حداکثر مقادیر متیلن‌بلو (MB)

سنگدانه	مقادیر متیلن بلو	طبقه MB	
ریز	مقدار MB (g/kg)	MB_F 0/0.125	MB 0/2
	≤ 1	MB_{F1}	MB_1
	≤ 1/5	$MB_{F1.5}$	$MB_{1.5}$
	≤ 2	MB_{F2}	MB_2
	≤ 2/5	$MB_{F2.5}$	$MB_{2.5}$
	≤ 3	MB_{F3}	MB_3
	> 3	$MB_{F\text{اعلام شده}}$	$MB_{\text{اعلام شده}}$
	بدون الزام	MB_{FNR}	MB_{NR}
شامل همه	عبور کرده از الک 2mm × MB = $MB_{0/D}$ (g/kg)		
	≤ 0/8	MB_A 0.8	
	≤ 1	MB_A 1	
	> 1	اعلام شده MB_A	
	بدون الزام	MB_ANR	

الف $MB_{O/D}$ یعنی MB اندازه‌گیری شده در بخش 0/2 میلی‌متر و گزارش شده در 0/D mm .

4-6 شکل دانه‌ها و مقدار صدف

4-6-1 شکل دانه

شکل دانه سنگدانه ریز کوچکتر از 4 میلی‌متر معمولاً به رفتار ملات‌ها مربوط نیست.

چنانچه لازم باشد، شکل باید مطابق با EN 933-3 به صورت اندیس پولکی تعیین شود و نتایج مطابق با طبقه مربوط مشخص شده در جدول 10 مطابق با کاربرد ویژه یا مصرف نهایی اعلام شود.

جدول 10- طبقه‌های حداکثر مقادیر اندیس پولکی

اندیس پولکی	طبقه FI
≤ 10	FI_{10}
≤ 15	FI_{15}
≤ 20	FI_{20}
≤ 25	FI_{25}
≤ 30	FI_{30}
≤ 35	FI_{35}
≤ 40	FI_{40}
≤ 50	FI_{50}
> 50	$FI_{\text{اعلام شده}}$
بدون الزام	FI_{NR}

4-6-2 مقدار صدف

چنانچه به طور استثنایی مقدار صدف برای بخش‌های سنگدانه درشت‌تر از 4 میلی‌متر با منشأ دریایی مورد نیاز باشد، آن را باید مطابق با EN 933-7 تعیین کرد و نتایج باید مطابق با طبقه مشخص شده مربوط در جدول 11 مطابق با کاربرد ویژه یا مصرف نهایی اعلام شود.

یادآوری: معمولاً لازم نیست که الزامات برای مقدار صدف مشخص شود. هیچ روش آزمون اروپایی برای تعیین مقدار صدف در سنگدانه ریز در دسترس نیست.

جدول 11- طبقه برای مقدار حداکثر صدف موجود در سنگدانه بزرگتر از 4 میلی‌متر

مقدار صدف، (٪)	طبقه، SC
≤ 10	SC_{10}
> 10	SC اعلام شده
بدون الزام	SC_{NR}

5- الزامات فیزیکی

5-1 کلیات

ضرورت برای آزمون و اعلام همه خواص مشخص شده در این بند باید مطابق با کاربرد ویژه در مصرف نهایی یا منشأ سنگدانه محدود شود. در صورت نیاز آزمون‌های مشخص شده در بند 5 باید برای تعیین خواص فیزیکی مربوط انجام شود.

چنانچه مقدار یک خاصیت مورد نیاز باشد اما توسط حدود مشخص شده تعریف نشده باشد، مقدار باید به عنوان یک طبقه $XX_{\text{اعلام شده}}$ اعلام شود.

یادآوری 1: چنانچه خاصیتی مورد نیاز نباشد، از یک طبقه "بدون الزام" می‌توان استفاده کرد.

یادآوری 2: راهنمای انتخاب طبقه‌های مناسب برای کاربردهای ویژه را می‌توان در مقررات ملی در محل استفاده از سنگدانه یافت.

یادآوری 3: چنانچه انطباق با یک طبقه بر اساس مقداری از یک خاصیت کمتر یا مساوی با مقدار داده شده باشد، انطباق با یک طبقه سخت‌گیرانه‌تر (مقدار کمتر) به طور خودکار انطباق با طبقه‌های کمتر سخت‌گیرانه (مقادیر بیشتر) را تأمین می‌کند. به طور مشابه برای طبقه‌هایی که بر اساس مقدار یک خاصیت بزرگتر یا مساوی با مقدار داده شده قرار دارند، انطباق با طبقه سخت‌گیرانه‌تر (مقدار بیشتر) به طور خودکار انطباق با طبقه‌های کمتر سخت‌گیرانه (مقادیر کمتر) را برآورده می‌سازد.

جدول‌ها در این استاندارد شامل طبقه‌هایی است که در چهار استاندارد اصلی EN 12620، EN 13043، EN 13139 و EN 13242 آمده است.

طبقه‌ها، یادآوری‌ها، توضیح‌ها و غیره که با سایه خاکستری نشان داده شده‌اند نباید برای ملات‌ها استفاده شود.

5-2 چگالی دانه و جذب آب

5-2-1 چگالی دانه

چنانچه لازم باشد، چگالی دانه باید مطابق با بند مناسب در استاندارد EN 1097-6 تعیین شود و نتایج در صورت درخواست با بیان لوازم اندازه‌گیری و محاسبات مورد استفاده اعلام شود.

5-2-2 جذب آب

در صورت درخواست، جذب آب باید مطابق با بند مناسب در استاندارد EN 1097-6 تعیین شود و نتایج اعلام گردد.

6- الزامات شیمیایی

6-1 کلیات

ضرورت آزمون و اعلام کلیه خواص مشخص شده در این بند باید مطابق با کاربرد ویژه در مصرف نهایی یا منشأ سنگدانه محدود شود. در صورت لزوم، آزمون‌های مشخص شده در بند 6 باید برای تعیین خواص شیمیایی متناسب تعیین شود.

هنگامی‌که مقدار یک خاصیت مورد نیاز باشد اما توسط حدود مشخص شده تعریف نشده است، آن مقدار باید توسط تولیدکننده به صورت طبقه $XY_{\text{اعلام شده}}$ اعلام شود. برای مثال در جدول 11 برای سرباره کوره آهنگدازی در هوا سرد شده یک مقدار فرضاً 1/2 درصد با AS1.2. (مقدار اعلام شده) متناظر است.

یادآوری 1: چنانچه یک خاصیت مورد نیاز نباشد، یک طبقه "بدون الزام" را می‌توان استفاده کرد.

یادآوری2: راهنمای انتخاب طبقه‌های مناسب برای کاربردهای ویژه را می‌توان در مقررات ملی در محل استفاده از سنگدانه یافت.

یادآوری 3: چنانچه انطباق با یک طبقه بر اساس مقداری از یک خاصیت کمتر یا مساوی با مقدار داده شده باشد، انطباق با یک طبقه سخت‌گیرانه‌تر (مقدار کمتر) به طور خودکار انطباق با طبقه‌های کمتر سخت‌گیرانه (مقادیر بیشتر) را تأمین می‌کند. به طور مشابه برای طبقه‌هایی که بر اساس مقدار یک خاصیت بزرگتر یا مساوی با مقدار داده شده قرار دارند، انطباق با طبقه سخت‌گیرانه‌تر (مقدار بیشتر) به طور خودکار انطباق با طبقه‌های کمتر سخت‌گیرانه (مقادیر کمتر) را برآورده می‌سازد.

جدول‌ها در این استاندارد شامل طبقه‌هایی است که در چهار استاندارد اصلی EN 12620، EN 13043، EN 13139 و EN 13242.

طبقه‌ها، یادآوری‌ها، توضیح‌ها و غیره که با سایه خاکستری نشان داده شده‌اند نباید برای ملات‌ها استفاده شود.

یادآوری 4: الزامات شیمیایی مشخص شده در بندهای 6-2، 6-3، 6-4 و 6-5 تنها برای سنگدانه‌ها و سنگدانه‌های پرکننده برای استفاده در ملات‌هایی که چسباننده حاوی سیمان‌های مشمول استاندارد EN 197-1 کاربرد دارند.

یادآوری 5: راهنمای اثرهای اجزای شیمیایی در سنگدانه و سنگدانه‌های پرکننده شامل واکنش‌زایی قلیایی-سیلیسی، مربوط به دوام، ظاهر و خواص سطحی ملات در پیوست پ داده شده است.

6-2 تشریح سنگ‌شناسی

چنانچه مورد نیاز باشد، تشریح سنگ‌شناسی سنگدانه‌ها باید انجام شود و مطابق استاندارد EN 932-3 بیان گردد.

6-3 مقادیر سولفات‌های موجود

6-3-1 سولفات محلول در اسید

چنانچه مورد نیاز باشد، مقدار سولفات محلول در اسید سنگدانه‌ها و پرکننده برای ملات باید مطابق با EN 1744-1 تعیین شود و مطابق با طبقه مربوط مشخص شده در جدول 12 اعلام شود.

جدول 12- طبقه‌های مقادیر حداکثر سولفات محلول در اسید

سنگدانه	مقدار سولفات محلول در اسید درصد وزنی افت	طبقه AS
سنگدانه‌هایی به جز سرباره کوره آهنگدازی در هوا سرد شده	≤ 0/2	$AS_{0.2}$
	≤ 0/8	$AS_{0.8}$
	> 0/8	$AS_{اعلام شده}$
	بدون الزام	AS_{NR}
سرباره کوره آهنگدازی در هوا سرد شده	≤ 1/0	$AS_{1.0}$
	> 1/0	$AS_{اعلام شده}$
	بدون الزام	AS_{NR}

6-3-2 کل گوگرد

چنانچه مورد نیاز باشد مقدار کل گوگرد سنگدانه و پرکننده باید مطابق با EN 1744-1 تعیین شود و نباید از مقادیر زیر فراتر رود:

الف) یک درصد وزنی S برای سنگدانه طبیعی

ب) دو درصد وزنی S برای سرباره کوره آهنگدازی در هوا سرد شده

اگر پروهوتیت (شکل ناپایدار سولفید آهن FeS) در سنگدانه وجود داشته باشد تمهیدات خاص ضرورت دارد. اگر مشخص شود این کانی وجود دارد، حداکثر مقدار کل گوگرد 0/1 درصد برای S باید اعمال شود.

6-4 کلرایدها

چنانچه لازم باشد یون کلراید محلول در آب سنگدانه یا پرکننده برای ملات باید مطابق استاندارد EN 1744-1 تعیین و نتایج اعلام شود.

یادآوری: الزامات برای یون کلراید محلول در آب در ملات برای مقدار کل کلراید حاصل از همه اجزای ملات اعمال می‌شود. الزامات برای حداکثر مقدار کلراید مجاز در ملات‌های بنایی برای مثال EN 998-1 و بنابر مصرف نهایی ملات و برای سایر ملات‌ها در استاندارد EN 206-1 مشخص شده است. راهنمایی‌های بیشتر در پیوست پ ارائه می‌شود.

6-5 اجزایی که آهنگ گیرش و سخت شدن ملات را تغییر می‌دهد

حضور مواد آلی باید مطابق با EN 1744-1 (تعیین حضور بالقوه هوموس) تعیین شود. اگر نتایج وجود اسید هومیک را نشان دهد، وجود اسیدهای فولو[1] باید مطابق با EN 1744-1 تعیین شود. اگر مایع روی رسوب در این آزمون‌ها روشن‌تر از رنگ‌های استاندارد باشد، سنگدانه‌ها باید عاری از مواد آلی محسوب شوند.

یادآوری: بعضی ترکیبات غیرآلی که مایع روی رسوب را در آزمون هیدروکسید سدیم تغییر رنگ می‌دهد اثر زیان‌آوری بر گیرش و سخت شدن ملات ندارد.

قندها بر رنگ مایع روی رسوب در آزمون هیدروکسید سدیم یا آزمون اسید فولو اثر ندارند. اگر در مورد وجود قندها یا مواد نوع قندی شک وجود دارد، سنگدانه باید با استفاده از آزمونه ملات (به استاندارد EN 1744-1 مراجعه کنید) آزمایش شود. الزامات زمان سخت شدن و مقاومت فشاری ارائه شده در بالا باید اعمال شود.

سنگدانه‌ها و سنگدانه‌های پرکننده که حاوی مواد آلی یا سایر موادی هستند که آهنگ گیرش و سخت شدن ملات را تغییر می‌دهند باید برای بررسی اثر آن بر زمان گیرش و مقاومت فشاری مطابق با استاندارد EN1744-1 ارزیابی شوند.

نسبت‌های چنین موادی باید چنان باشد که موارد زیر انجام نشود:

الف) افزایش زمان گیرش آزمونه‌های ملات به بیش از 120 دقیقه

ب) کاهش مقاومت فشاری آزمونه ملات به بیش از 20 درصد در 28 روز

چنانچه لازم باشد وجود آلاینده‌های آلی سبک باید مطابق با EN 1744-1 آزمون و نتایج اعلام شود.

6-6 الزامات تکمیلی برای سنگدانه‌های مصنوعی

6-6-1 قابلیت انحلال در آب

---

[1] Fulvo

چنانچه قابلیت انحلال مطابق با استاندارد EN 1744-1 تعیین شود، نباید از یک درصد وزنی بیشتر باشد.

6-6-2 افت سرخ شدن

چنانچه لازم باشد افت سرخ شدن تعیین شده مطابق با EN 1744-1 نباید از حدود مشخص شده در جدول 13 بیشتر باشد.

جدول 13- حدود افت سرخ شدن

افت سرخ شدن (درصد وزنی)	
خاکستر بادی آسیاب شده	**سرباره کوره آهنگدازی در هوا سرد شده**
5[a]	3
[a] به استاندارد EN 450-1 مراجعه کنید. افت سرخ شدن 7 درصد را می‌توان در محل مصرف بسته به کلاس محیطی که سازه در معرض آن قرار می‌گیرد قابل قبول دانست.	

7- دوام

7-1 کلیات

ضرورت آزمون و اعلام کلیه خواص مشخص شده در این بند باید مطابق با کاربرد ویژه در مصرف نهایی یا منشأ سنگدانه مشخص شود. چنانچه لازم باشد آزمون‌های مشخص شده در بند 7 باید انجام شود تا خواص مناسب برای دوام سنگدانه تعیین گردد.

یادآوری: چنانچه انطباق با یک طبقه بر اساس مقداری از یک خاصیت کمتر یا مساوی با مقدار داده شده باشد، انطباق با یک طبقه سخت‌گیرانه‌تر (مقدار کمتر) به طور خودکار انطباق با طبقه‌های کمتر سخت‌گیرانه (مقادیر بیشتر) تأمین می‌شود. به طور مشابه برای طبقه‌هایی که بر اساس مقدار یک خاصیت بزرگتر یا مساوی با مقدار داده شده، است انطباق با طبقه سخت‌گیرانه‌تر (مقدار بیشتر) به طور خودکار با همه طبقه‌های کمتر سخت‌گیرانه (مقادیر کمتر) برآورده می‌شود.

جدول‌ها در این استاندارد شامل طبقه‌هایی است که در چهار استاندارد اصلی EN 12620، EN 13043، EN 13139 و EN 13242 مشترک است. طبقه‌ها، یادآوری‌ها، توضیح‌ها و غیره که با سایه خاکستری نشان داده شده‌اند نباید برای ملات‌ها استفاده شود.

7-2 مقاومت در برابر یخ زدن- آب شدن

7-2-1 جذب آب به عنوان آزمون ارزیابی مقاومت در برابر یخ زدن- آب شدن

چنانچه مورد نیاز باشد، مقدار جذب آب سنگدانه‌ها به عنوان یک آزمون ارزیابی باید مطابق با استاندارد EN 1097-6 تعیین و نتایج اعلام شود.

اگر جذب آب مطابق با EN 1097-6 (جذب آب 24 ساعته) اندازه‌گیری شود، بیشتر از مقدار انتخاب شده به صورت طبقه‌های مشخص شده در جدول 14 باشد، سنگدانه باید مقاوم در برابر یخ زدن- آب شدن محسوب شود.

یادآوری: در مورد بعضی منابع سنگدانه دارای بخش سنگدانه فلینت با تخلخل میکرو، تمایز بین دوام در برابر یخ زدن و آب شدن رضایت‌بخش و غیررضایت‌بخش را می‌توان با اندازه‌گیری چگالی به جای جذب آب بهتر ارزیابی کرد.

جدول 14- طبقه‌های حداکثر مقادیر جذب آب (EN 1097-6 جذب آب 24 ساعته)

جذب آب درصد وزنی	طبقه، WA_{24}
≤ 1	$WA_{24}1$
≤ 2	$WA_{24}2$
یادآوری آزمون جذب آب برای سرباره کوره آهنگدازی و بازالت متخلخل هوانزده قابل کاربرد نیست.	

7-2-2 مقاومت در برابر یخ زدن- آب شدن

چنانچه مورد نیاز باشد، مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن بخش‌های سنگدانه درشت‌تر از 4 میلی‌متر باید مطابق با EN 1367-1 یا از بخش سنگدانه 10 میلی‌متر تا 14 میلی‌متر گرفته شده از همان منبع مطابق با EN 1367-2 تعیین شود و نتایج مطابق با طبقه مربوط مشخص شده در جدول 15 اعلام شود.

چنانچه مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن سنگدانه 4 میلی‌متر یا کمتر و سنگدانه پرکننده در موقعیت مصرف نهایی مورد نیاز باشد، آن را باید از آزمون یخ زدن- آب شدن بر روی ملات مطابق با تمهیدات معتبر محل استفاده و نتایج اعلام شده به دست آورد.

جدول 15- طبقه‌ها برای حداکثر مقادیر مقاومت در برابر یخ زدن- آب شدن

یخ زدن- آب شدن درصدهای افت وزنی	طبقه F
≤ 1	F_1
≤ 2	F_1
≤ 4	F_1
> 4	$F_{\text{اعلام شده}}$
بدون الزام	F_{NR}

7-3 واکنش‌زایی قلیایی- سیلیسی

چنانچه مورد نیاز باشد، واکنش‌زایی قلیایی- سیلیسی سنگدانه و سنگدانه پرکننده باید مطابق با تمهیدات معتبر در محل استفاده و نتایج اعلام شده ارزیابی شود.

یادآوری: راهنمای اثرهای واکنش‌زایی قلیایی- سیلیسی در پیوست پ ارائه شده است.

8- ارزیابی انطباق

انطباق محصول با الزامات این استاندارد باید توسط آزمون نوع اولیه و کنترل تولید کارخانه توسط تولیدکننده مطابق با EN 16236 نشان داده شود.

9- شناسایی

9-1 مشخصات

سنگدانه و سنگدانه پرکننده باید با عبارات زیر شناسایی شوند:

الف) منبع و تولیدکننده، اگر مواد در یک دپو مجدد حمل شده باشد، هم منبع و هم دپو باید مشخص شود.

ب) نوع سنگدانه به صورتی که در پیوست الف تشریح شده است، مواد ویژه

پ) اندازه سنگدانه

9-2 اطلاعات تکمیلی برای تشریح سنگدانه

ضرورت برای سایر اطلاعات به موقعیت و مصرف نهایی بستگی دارد برای مثال:

الف) یک کد مرتبط با شناسایی

ب) هر اطلاع تکمیلی مورد نیاز برای تعیین سنگدانه خاص

خریدار باید به تولیدکننده در زمان سفارش هرگونه الزام ویژه مربوط به مصرف نهایی ویژه و اطلاعات دیگری که در جدول‌های پیوست پ نیامده است اطلاع دهد.

10- نشانه‌گذاری و برچسب‌گذاری

بارنامه باید حداقل شامل اطلاعات زیر باشد:

الف) منشأ و تولیدکننده

ب) مشخصه

پ) تاریخ ارسال

ت) شماره سری بارنامه

ث) ارجاع به این استاندارد

پیوست الف
(الزامی)
مواد مورد نظر در توسعه این استاندارد و وضعیت آنها در ارتباط با دامنه کاربرد آن

الف-1 کلیات

انواع منابع فهرست شده در این پیوست در تدوین این استاندارد در نظر گرفته شده‌اند. وضعیت آنها در این استاندارد در جدول الف-1 مشخص شده است، مواد منبع که در اینجا شرح داده نشده‌اند، در دامنه کاربرد این استاندارد (EN 13139) قرار ندارد.

منابع بدون سابقه استفاده در ملات‌ها و اندودهای خارج از دامنه کاربرد این استاندارد قرار دارد و نمی‌تواند در انطباق با این استاندارد استفاده شود و بنابراین با سایه خاکستری در جدول الف-1 نشان داده شده‌اند.

منابع با سابقه مثبت استفاده و در جایی‌که نیاز به الزامات تکمیلی مشخص شده است، به طور مشروط موقتا در دامنه کاربرد این استاندارد قرار می‌گیرد و تا گنجاندن روش‌های آزمون و الزامات مناسب معوق می‌ماند.

CEN/TC154 (سازمان استاندارد اروپایی/کمیته فنی 154) در نظر دارد که این بررسی به طور پیوسته ادامه یابد. هر اطلاع مربوط برای کمک به روزآمد کردن این پیوست شامل هر پیشنهاد برای گنجاندن انواع منبع جدید باید به دبیر CEN/TC154 ارائه شود.

در همه موارد الزام کنترل آزادسازی بالقوه مواد خطرناک تحت نظارت (RDS)[1] وجود دارد.

اطلاعات این پیوست بر اساس یک بررسی مفصل استفاده از سنگدانه از منابع ثانویه در کشورهای عضو اتحادیه اروپا است که بین سال‌های 2000 و 2005 انجام شده است.

در وضعیت‌هایی که در آن نیاز به الزامات اضافی مشخص شده است، چنین موادی چنانچه در بازار عرضه شود باید با این استاندارد کاملاً منطبق باشد اما ممکن است به الزامات تکمیلی مربوط ویژه‌ای در محل کاربرد نیز نیاز داشته باشد.

خصوصیات و الزامات تکمیلی ممکن است بر پایه مورد به مورد با استفاده از تجربه استفاده از فرآورده مشخص شود و در مستندات ویژه پیمان تعریف گردد.

---

[1] Regulated dangerous substances

جدول الف-1 فهرست مواد تشکیل‌دهنده سنگدانه همراه با طبقه‌بندی مربوط

شماره	منبع	زیرشماره	مواد ویژه	سابقه استفاده	الزامات ویژه در استاندارد	الزامات اضافی مشخص شده برای گنجاندن در استاندارد
P	سنگدانه طبیعی	P	همه انواع سنگ‌شناسی مشمول استاندارد EN932-3	بلی	بلی	خیر
A	صنایع بازیافت نخاله ساختمان	A1	آسفالت بازیافتی	خیر	-	-
		A2	بتن خرد شده	خیر	-	-
		A3	آجر و بنایی خرد شده	خیر	-	-
		A4	مخلوط A1، A2 و A3	خیر	-	-
B	صنعت تبدیل زباله جامد شهری به خاکستر	B1	خاکستر کف صنعت تبدیل زباله جامد شهری به خاکستر (به جز خاکستر بادی) (MIBA)	خیر	-	-
		B2	خاکستر بادی صنعت تبدیل زباله جامد شهری به خاکستر (MIFA)	خیر	-	-
C	صنعت نیروگاه ذغالسنگ	C1	خاکستر بادی ذغالسنگ	بلی	بلی	خیر
		C2	خاکستر بادی احتراق بستر سیال شده	خیر	-	-
		C3	سرباره دیگ بخار	خیر	-	-
		C4	خاکستر کف ذغالسنگ	خیر	-	-
		C5	خاکستر کف احتراق بستر سیال شده (خاکستر کف FBC)	خیر	-	-
D	صنعت فولاد و آهن	D1	سرباره فولاد BOF (سرباره فولاد LD)	خیر	-	-
		D2	سرباره کوره آهنگدازی در هوا سرد شده (ABS) (بلورین)	بلی	بلی	خیر
		D3	سرباره کوره آهنگدازی دانه‌ای (GBS) (شیشه‌ای)	خیر	-	-
		D4	سرباره فولاد EAF	خیر	-	-
		D5	سرباره فولاد زنگ‌نزن	خیر	-	-
		D6	سرباره فروکروم	خیر	-	-

ادامه جدول الف-1 فهرست مواد تشکیل‌دهنده سنگدانه همراه با طبقه‌بندی مربوط

شماره	منبع	زیرشماره	مواد ویژه	سابقه استفاده	الزامات ویژه در استاندارد	الزامات اضافی مشخص شده برای گنجاندن در استاندارد
E	صنعت فلزات غیرآهنی	E1	سرباره مس	خیر	-	-
		E2	سرباره مولیبدن	خیر	-	-
		E3	سرباره روی	خیر	-	-
		E4	سرباره فسفر	خیر	-	-
F	صنعت ریخته‌گری	F1	ماسه ریخته‌گری	خیر	-	-
		F2	سرباره کوره کوپولای ریخته‌گری	خیر	-	-
G	صنعت معدن سنگ و معدنکاری	G1	شیل ذغالسنگ قرمز	خیر	-	-
		G2	باطله معدن ذغالسنگ سخت (شیل ذغالسنگ سیاه)	خیر	-	-
		G3	معدن سنگ / معدنکاری شامل همه پیش انتخاب شده	خیر	-	-
		G4	شیل نفتی مصرف شده	خیر	-	-
H	کارهای لایروبی نگهداری	H1	ماسه ناشی از لایروبی	خیر	-	-
		H2	رس ناشی از لایروبی	خیر	-	-
I	سایر	I1	-	خیر	-	-
		I2	خاکستر لجن کاغذسازی	خیر	-	-
		I3	خاکستر تبدیل به خاکستر کردن فاضلاب (شهری)	خیر	-	-
		I4	خاکستر بیومس	خیر	-	-
		I5	شیشه خرد شده	خیر	-	-
		I6	رس منبسط	به EN 13055 مراجعه کنید		

پیوست ب
(اطلاعاتی)
راهنمای توصیف درشتی/ریزی سنگدانه برای ملات‌ها

هنگامی که توصیف‌های تکمیلی برای درشتی و ریزی سنگدانه‌ها برای مصارف نهایی ویژه مشخص می‌شود، جدول ب-1و جدول ب-2 باید استفاده شود. یکی از دو جدول و نه هر دو را می‌توان برای چنین توصیفی به کار برد.

در جدول ب-1 و جدول ب-2 سنگدانه‌های با دانه‌بندی درشت با حرف C، دانه‌بندی متوسط با M و دانه‌بندی ریز با F مشخص می‌شود.

علاوه بر این وقتی جدول ب-1 انتخاب شود یک "P" برای درصد عبور کرده از الک 0/500 میلی‌متر بعد از C، M یا F اضافه می‌شود (برای مثال برای ماسه‌های با دانه‌بندی متوسط MP).

به طور مشابه هنگامی که جدول ب-2 انتخاب شود یک "F" برای مدول نرمی بعد از C، M یا F اضافه می‌شود (برای مثال برای ماسه‌های با دانه‌بندی ریز FF).

جدول ب-1 درشتی یا ریزی بر اساس درصد عبور کرده از الک 0/500 میلی‌متر

درصد وزنی عبور کرده		
CP	MP	FP
5 تا 45	30 تا 70	55 تا 100

جدول ب-2 درشتی یا ریزی بر اساس مدول نرمی

مدول نرمی		
CF	MF	FF
≥ 2/4	1/5 تا 2/8	0/6 تا 2/1

مدول نرمی (FM) برای بررسی ثابت بودن دانه‌بندی استفاده می‌شود. در جایی که به طور تکمیلی مورد نیاز باشد، FM یک محموله باید درون محدوده FM±0/25 اعلام شده یا حد مشخص شده دیگر باشد.

یادآوری: مدول نرمی (FM) به عنوان مجموع درصدهای وزنی تجمعی باقیمانده روی الک‌ها (mm) که به صورت درصد بیان می‌شود، محاسبه می‌گردد یعنی

$$FM = \sum$$

پیوست پ
(اطلاعاتی)

راهنمای اثر بعضی تشکیل‌دهنده‌های شیمیایی سنگدانه بر ملاتی که در آن استفاده می‌شود

پ-1 کلرایدها

کلرایدها ممکن است در سنگدانه‌ها وجود داشته باشند، مقدار موجود به شدت به منبع سنگدانه بستگی دارد. نمک‌های کلراید ممکن است باعث ایجاد شوره روی سطوح نمایان ملات شود. به علاوه، برای به حداقل رساندن خطر خوردگی فلزات در برگرفته توسط ملات (تیرچه‌های دیوار و غیره) محدود کردن مقدار کلراید در ملات حاصل از همه تشکیل‌دهنده‌ها معمول است.

الزامات مقدار یون کلراید EN998-2 معمولاً وقتی مقدار یون کلراید محلول در آب از 0/15 درصد برای ملات‌های معمولی و 0/06 درصد برای ملات‌های با فلزات در بر گرفته بیشتر نباشد، برآورده می‌شود. این مقادیر برای راهنمایی تولیدکنندگان سنگدانه مورد نظر است.

پ-2 سولفات‌ها

سولفات‌ها در سنگدانه‌ها ممکن است باعث تخریب انبساطی ملات شود. چنین نمک‌هایی همچنین ممکن است به تولید شوره‌های بدنما بر روی سطوح نمایان ملات منتهی شوند. تحت موارد مشخصی سایر ترکیبات گوگرد ممکن است در ملات اکسیده شود تا سولفات‌ها به وجود آیند. این نیز ممکن است باعث تخریب انبساطی ملات شود.

پ-3 لک‌شدگی و بیرون پریدگی

بعضی تشکیل‌دهنده‌های سنگدانه ممکن است باعث لک‌شدگی و تغییر رنگ یا تورم و بیرون‌پریدگی ملاتی که در آن استفاده می‌شود، گردد. پیریت آهن و لیگنیت دو مثال از چنین تشکیل‌دهنده‌های زیان‌آوری هستند.

پ-4 آسیب به سطوح نمایان

ناخالصی‌هایی که ممکن است باعث آسیب به سطوح نمایان شود شامل چوب، ذغالسنگ، فرآورده‌های چسبیده با رس، مواد ضایعاتی واکنش‌زا و باطله‌های زیان‌آور از بارهای قبلی به وسیله حمل و نقل است.

پ-5 تشکیل‌دهنده‌های زیان‌آور دیگر

وقتی ظاهر مشخصه مهمی از ملات است، سنگدانه نباید حاوی برخی مواد در نسبت‌هایی که باعث آسیب به سطوح نمایان ملات می‌شود، باشد. از آنجا که درصدهای وزنی بسیار کوچک آلاینده‌ها در سنگدانه ممکن است اثر قابل ملاحظه‌ای بر سطوح نمایان ملات داشته باشد، باید به مناسب بودن منبع برای مصرف نهایی ویژه توجه گردد.

سایر تشکیل‌دهنده‌ها ممکن است اثر منفی بر هیدراته شدن سیمان، تغییر آهنگ گیرش و سخت شدن ملات داشته باشد. مواد هوموس و قندی دو مثال از موادی هستند که بر آهنگ گیرش و سخت شدن ملات اثر دارند. کانی‌های رسی معینی نیز بر آهنگ کسب مقاومت، مقاومت و دوام ملاتی که در آن استفاده می‌شود، اثر منفی دارند.

پ-6 واکنش قلیایی- سیلیسی سنگدانه

پ-6-1 واکنش قلیایی- سیلیسی با سنگدانه طبیعی

سنگدانه‌های معینی می‌تواند با هیدروکسیدهای قلیایی موجود در سیالات منفذی ملات واکنش کنند. تحت شرایط نامساعد و در حضور رطوبت، این ممکن است به انبساط و ترک‌خوردگی یا تخریب متعاقب ملات منتهی شود.

متداول‌ترین شکل واکنش بین قلیایی‌ها و انواع معینی از سیلیس (واکنش قلیایی- سیلیسی) اتفاق می‌افتد. شکل دیگر کمتر متداول واکنش، واکنش قلیایی- کربناتی است.

در نبود سابقه درازمدت عدم واکنش‌زایی مخرب ترکیب ویژه‌ای از سیمان و سنگدانه، لازم است که یکی از تمهیدات زیر انجام شود:

- کل مقدار قلیایی مخلوط ملات را محدود کنید
- سیمانی با مقدار قلیایی موثر کمتر استفاده کنید
- یک ترکیب سنگدانه غیرفعال استفاده کنید
- میزان اشباع ملات با آب را محدود سازید

ترکیب سنگدانه‌ها و سیمان را می‌توان با استفاده از مقررات مورد استفاده در محل استفاده وقتی انطباق با یکی از روش‌های بالا امکان‌پذیر نیست، ارزیابی کرد.

در جایی‌که سنگدانه از کشورهای خارجی وارد می‌شود، خریدار باید تجربه کشور مبدأ را در نظر گیرد.

پیوست 2

سبکدانه - قسمت اول: سبکدانه برای بتن، ملات و گروت - ویژگی‌ها

EN 13055-1:2002, Lightweight aggregates
Part1: Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout

1 هدف و دامنه کاربرد

هدف از تدوین این استاندارد تعیین الزامات سبک‌دانه‌ها و سبک‌دانه‌های پرکننده به دست آمده از طریق فراوری مواد طبیعی، مصنوعی یا بازیافتی و مخلوط‌هایی از این سنگدانه‌ها برای استفاده در بتن، ملات و گروت در ساختمان‌ها، جاده‌ها و کارهای مهندسی عمران است.

این استاندارد سبک‌دانه‌هایی با منشاء معدنی دارای چگالی دانه‌های معادل یا کم‌تر از $2000 kg/m^3$ یا چگالی‌های انبوهی فله‌ای معادل یا کم‌تر از $1200 kg/m^3$ را در بر می‌گیرد که شامل موارد زیر است:

1-1 سنگدانه‌های طبیعی؛

2-1 سنگدانه‌های ساخته شده از مواد طبیعی و/یا از محصولات فرعی فرایندهای صنعتی؛

3-1 محصولات فرعی فرایندهای صنعتی؛

4-1 سنگدانه‌های بازیافت شده.

این استاندارد ارزیابی انطباق فراورده‌ها را با این استاندارد مهیا می‌سازد.

الزامات مشخص شده در این استاندارد ممکن است مربوط به همه انواع سبکدانه‌ها نباشد. برای کاربردهای ویژه، این الزامات و رواداری‌ها را می‌توان برای مصرف نهایی وفق داد.

یادآوری - الزامات در این استاندارد بر اساس تجربه در مورد انواع سنگدانه با یک الگوی مشخص کاربرد است. هنگام در نظر گرفتن استفاده از سنگدانه‌ها از منابعی بدون هیچ الگوی کاربردی، مانند سنگدانه‌های بازیافت شده و سنگدانه‌های به دست آمده از برخی محصولات فرعی صنعتی، باید دقت شود. چنین سنگدانه‌هایی که باید با همه الزامات این استاندارد مطابقت داشته باشند، می‌توانند دارای خصوصیات دیگری باشند که برای عموم انواع سنگ‌دانه‌ها با الگوی کاربرد مشخص الزامی نیست. در صورت نیاز می‌توان از تمهیداتی در محل کاربرد برای ارزیابی مناسب بودن آن‌ها استفاده کرد.

2 مراجع الزامی

مدارک الزامی زیر حاوی مقرراتی است که در متن این استاندارد ملی ایران به آنها ارجاع داده شده است. بدین ترتیب آن مقررات جزئی از این استاندارد ملی ایران محسوب می شود.

در صورتی که به مدرکی با ذکر تاریخ انتشار ارجاع داده شده باشد، اصلاحیه‌ها و تجدید نظرهای بعدی آن مورد نظر این استاندارد ملی ایران نیست. در مورد مدارکی که بدون ذکر تاریخ انتشار به آنها ارجاع داده شده است همواره آخرین تجدید نظر و اصلاحیه‌های بعدی آنها مورد نظر است.

استفاده از مراجع زیر برای این استاندارد الزامی است :

2-1 استاندارد ملی ایران شماره 13939: سال 1390، سنگدانه– روش‌های کاهش نمونه‌های آزمایشگاهی- آیین کار

2-2 EN 932-1, Tests for general properties of aggregates-part1: Methods for sampling

2-3 EN 932-5, Tests for general properties of aggregates-part5: Common equipment and calibration.

2-4 EN 933-1, Tests for geometrical properties of aggregates-part1: Determination of particle size distribution-sieving method

2-5 EN 933-2, Tests for geometrical properties of aggregates-part2: Determination of particle size distribution-Test sieve, nominal size of apertures.

2-6 EN 933-5, Tests for geometrical properties of aggregates-part5: Determination of percentage of crushed and broken surfaces in coarse aggregate particles.

2-7 EN 933-10, Tests for geometrical properties of aggregates-part10: Assesment of fines- Grading of fillers (air jet sieving).

2-8 EN 1097-3, Tests for mechanical and physical properties of aggregates-part3: Determination of loose bulk density and voids

2-9 EN 1097-5, Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Determination of the water content by drying in a ventilated oven

2-10 EN 1097-6:2000, Tests for mechanical and physical properties-Part 6: Determination of of particle density and water absorption.

2-11 EN 1744-1:1998, Tests for chemical properties of aggregates –Part1: chemical analysis.

2-12 ISO 3310-1, Test sieves- Technical requirements and testing –Part1: Test sieves of metal wire cloth.

2-13 ISO 3310-2, Test sieves- Technical requirements and testing –Part2: Test sieves of perforated metal plate.

2-14 EN 1367-1, Tests for thermal and weathering properties of aggregates. Determination of resistance to freezing and thawing.

3 اصطلاحات و تعاریف، نمادها، اختصارات و یکاها

در این استاندارد اصطلاحات و تعاریف زیر به کار می‌رود:

سنگدانه: مصالح دانه‌ای مورد استفاده در ساختمان است. سنگدانه ممکن است طبیعی، مصنوعی، محصولات فرعی یا بازیافتی باشد.

سبک‌دانه: سنگ‌دانه‌ای با منشاء معدنی دارای چگالی دانه‌های معادل یا کم‌تر از $2000kg/m^3$ یا چگالی‌های انبوهی فله‌ای معادل یا کم‌تر از $1200kg/m^3$ است.

سنگدانه طبیعی: سنگدانه‌ای از منابع معدنی که تنها در معرض فرآوری مکانیکی قرار می‌گیرد.

سنگدانه مصنوعی: سنگدانه‌ای با منشاء معدنی که از فراوری صنعتی شامل اصلاحات حرارتی یا سایر اصلاحات به دست می‌آید.
سنگدانه محصول فرعی: سنگدانه‌ای با منشاء معدنی حاصل از فراوری صنعتی است که بعداً تنها در معرض فرآوری مکانیکی قرار می‌گیرد.
سنگدانه بازیافتی: سنگدانه‌ای که از فراوری مواد غیرآلی که قبلاً در ساختمان مصرف شده، به دست می‌آید.
ریزدانه‌ها: بخش اندازه دانه‌های یک سنگدانه که از الک 0/063mm عبور می‌کند.
سنگ‌دانه پرکننده: سنگدانه‌ای که بخش عمده آن از الک 0/063mm عبور می‌کند. می توان آن‌را به مصالح ساختمانی افزود تا برخی خواص را ایجاد کند.
دانه‌بندی: توزیع اندازه دانه‌ها که به صورت درصد جرم عبور کرده از تعداد مشخصی الک بیان می‌شود.

4 الزامات فیزیکی

4-1 کلیات

ضرورت انجام آزمون و اعلام همه خواص مشخص شده در این بند باید مطابق کاربرد ویژه در مصرف نهایی یا منشاء سنگدانه محدود شود. در صورت لزوم، آزمون‌های مشخص شده باید برای تعیین خواص فیزیکی متناسب انجام شود.

4-2 چگالی

چگالی انبوهی فله: چگالی انبوهی فله باید مطابق استاندارد بند 2-8 تعیین و اعلام شود. آن باید در محدوده ±15% مقدار اعلام شده با حداکثر $\pm 100 kg/m^3$ این مقدار باشد.
یادآوری- ظرف باید با استفاده از یک سرطاس استاندارد که در قسمت مرکزی بالای ظرف بدون تماس با آن قرار گرفته پر شود.
چگالی دانه‌ها: در صورت لزوم چگالی دانه‌ها باید مطابق پیوست C استاندارد بند 2-10 تعیین و اعلام شود. آن باید در محدوده ±15% مقدار اعلام شده با حداکثر $\pm 150 kg/m^3$ این مقدار باشد.

4-3 اندازه سنگ‌دانه

کلیات: اندازه‌های سنگ‌دانه باید با استفاده از یک جفت الک با اندازه‌های انتخاب شده از سری اصلی، یا سری اصلی به اضافه سری 1 یا سری اصلی به اضافه سری 2 در جدول1 نام‌گذاری شود.
یادآوری- این نام‌گذاری وجود اندکی دانه‌ها را که بر روی الک بالاتر می‌ماند (بیش اندازه) و اندکی دانه‌ها را که از الک پایین‌تر عبور می کند (زیر اندازه) می‌پذیرد.
دانه‌های زیراندازه: مقدار مواد زیراندازه نباید بیش‌تر از % 15 وزنی باشد.
دانه‌های بیش‌اندازه: مقدار مواد بیش اندازه نباید بیش‌تر از 10% وزنی باشد. در صورت نیاز، الکی که 100 درصد مواد از آن عبور می‌کند باید اعلام شود.

4-4دانه‌بندی

توزیع اندازه دانه‌ها باید مطابق استاندارد بند 4-2 با روش الک کردن خشک تعیین و نتایج اعلام شود.
یادآوری- برای جلوگیری از فروسائی سنگدانه‌های شکننده باید مراقبت شود.

جدول 1- اندازه‌های الک برای مشخص کردن اندازه‌های فراورده سنگدانه

سری اصلی به اضافه سری 2 mm	سری اصلی به اضافه سری 1 mm	سری اصلی mm
0	0	0
0.25	0.25	0.25
0.5	0.5	0.5
1	1	1
2	2	2
3.15(3)	2.8(3)	-
4	4	4
-	5.6(5)	-
6.3(6)	-	-
8	8	8
10	-	-
-	11.2(11)	-
12.5(12)	-	-
14	-	-
16	16	16
20	-	-
-	22.422)	-
31.5(32)	31.5(32)	31.5(32)
40	-	-
-	45	-
63	63	63
یادآوری- اندازه‌های گردشده نشان داده شده در پرانتزها را می‌توان به عنوان توصیف ساده اندازه‌های سنگدانه به کار برد.		

4-5 شکل ذرات

در صورت لزوم، شکل ذرات باید تشریح و اعلام شود.
یادآوری- در این مورد روش‌های آزمون برای سنگدانه‌های با وزن معمول کاربرد ندارد.

4-6 ریزدانه‌ها

در صورت لزوم، مقدار ریزدانه‌ها در سبکدانه‌ها باید مطابق استاندارد بند 4-2 تعیین و نتایج اعلام شود.
یادآوری- برای جلوگیری از فروسائی سنگدانه‌های شکننده باید دقت شود.

4-7 دانه‌بندی پرکننده‌ها

در صورت لزوم، توزیع اندازه ذرات پرکننده‌ها باید مطابق استاندارد بند 2-7 تعیین و نتایج اعلام شود.

4-8 جذب آب

در صورت لزوم، جذب آب سبکدانه باید مطابق پیوست پ استاندارد بند 2-10 تعیین و نتایج اعلام شود.

4-9 مقدار آب

در صورت لزوم، مقدار آب سبکدانه باید مطابق استاندارد بند 2-9 تعیین و نتایج اعلام شود.

4-10 مقاومت در برابر خردشدگی

در صورت لزوم، مقاومت در برابر خردشدگی سبک‌دانه‌ها باید مطابق پیوست الف تعیین و نتایج اعلام شود.

یادآوری- هیچ رابطه ساده‌ای بین مقاومت در برابر خردشدگی سبک‌دانه و خواص در مصرف نهایی آن وجود ندارد.

4-11 درصد دانه‌های شکسته

در صورت لزوم، درصد دانه‌های شکسته سبک‌دانه با چگالی انبوهی معادل یا بیش‌تر از $150 kg/m^3$ باید مطابق استاندارد بند 2-6 تعیین و نتایج اعلام شود.

یادآوری- برای سبک‌دانه‌های مصنوعی دارای چگالی انبوهی کمتر از $150 kg/m^3$، آزمون مشخص شده در استاندارد بند 2-6 را می‌توان در صورت مقتضی به کار برد.

4-12 مقاومت در برابر فروسایی

در صورت لزوم، مقاومت در برابر فروسایی باید مطابق پیوست ب تعیین و اعلام شود.

یادآوری- این آزمون برای سنگدانه با چگالی انبوهی بیش از $150 kg/m^3$، مناسب است.

4-13 مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن

چنانچه استفاده از سنگ‌دانه‌های مقاوم در برابر یخبندان برای مصرف در بتن، ملات یا گروت در یک محیط در معرض یخ زدن و آب شدن مورد نیاز باشد، مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن سنگدانه‌های دارای اندازه ذرات بیش‌تر از 4mm و چگالی معادل یا بیش‌تر از $150 kg/m^3$، باید مطابق پیوست پ تعیین و اعلام شود.

هنگامی‌که مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن سنگدانه‌های با اندازه ذرات 4mm یا کم‌تر و چگالی کم‌تر از $150 kg/m^3$ در موقعیت مصرف نهایی مورد نیاز باشد، آن را باید از آزمون یخ زدن و آب شدن فراورده نهایی مطابق مقررات معتبر در محل کاربرد به دست آورده و نتایج اعلام شود.

یادآوری- به جای آن، سنگدانه‌ها را می‌توان بر اساس مدارک بهره‌برداری رضایت‌بخش عملکرد یا آزمون فراورده نهایی ارزیابی کرد.

5 الزامات شیمیایی

5-1 کلیات

ضرورت انجام آزمون و اعلام همه خواص مشخص شده در این بند استاندارد باید مطابق کاربرد ویـژه در مصرف نهایی یا منبع سنگدانه محدود شود. در صورت لزوم، آزمون‌های مشـخص شـده در بنـد 5 بایـد برای تعیین مقدار جرمی شیمیایی متناسب، انجام شود. در صورت مقایسه نتیجه آزمون بـا یـک مقـدار مجاز، مقدار جرمی شیمیایی باید مطابق معادله (1) به یک مقدار مقایسه‌ای تبدیل شود.

$$V_c = V_m \frac{d}{1500}$$ معادله (1)

که در آن:

d چگالی انبوهی فله‌ای

Vc مقدار مقایسه‌ای

Vm مقدار اندازه‌گیری شده مطابق استاندارد بند 2-11

1500 برابر چگالی انبوهی فله‌ای اسمی فرض شده برای سنگدانه با وزن معمول

یادآوری1- راهنمای بیش‌تر در پیوست ت ارائه شده است.

یادآوری2- راهنمایی درباره اثر تشکیل دهنده‌های شیمیایی موجود در سبک‌دانه‌ها، شامل واکنش‌زایـی قلیایی- سیلیس، مربوط به دوام، ظاهر و خواص سطحی بتن، ملات و گروت که با هم ترکیب می‌شـوند، در پیوست ث ارائه شده است.

5-2 کلراید

مقدار یون کلراید قابل حل در آب سبکدانه باید مطابق بند 7 استاندارد بند 2-11 تعیین و اعلام شود.

یادآوری- راهنمای بیش‌تر در پیوست ث ارائه شده است.

5-3 گوگرد موجود در ترکیبات

سولفات قابل حل در اسید: مقدار سولفات قابل حل در اسید باید مطابق بند 12 استاندارد بنـد 2-11 تعیین و اعلام شود.

گوگرد کل: مقدار گوگرد کل باید مطابق بند 11 استاندارد بند 2-11 تعیین و اعلام شود.

5-4 افت وزن در اثر حرارت (فقط برای خاکسترها)

مقدار افت وزن در اثر حرارت باید مطابق بند 17 استاندارد بند 2-11 تعیین و اعلام شود.

5-5 آلاینده‌های آلی

ترکیبات زیان‌آور در سبک‌دانه‌های معدنی یعنی آن‌هایی که گیرش و سخت شدن بتن، مـلات و گـروت را تغییر می‌دهند باید مطابق بند 3-15 استاندارد بند 2-11 تعیین و اعلام شود.

یادآوری- راهنمای بیش‌تر در پیوست ث ارائه شده است.

6-5 واکنش‌زایی قلیایی- سیلیس سبک‌دانه‌های طبیعی

در صورت لزوم، واکنش‌زایی قلیایی- سیلیس سبک‌دانه‌های طبیعی باید مطابق مقررات معتبر در محل کاربرد ارزیابی و نتایج اعلام شود.

یادآوری- راهنمای درباره اثرات واکنش‌زایی قلیایی-سیلیس در پیوست ث ارائه شده است.

6 روش انجام آزمون

6-1 نمونه برداری

نمونه برداری باید مطابق آنچه در استاندارد بند 2-2 مشخص شده، انجام شود.

یادآوری- برای به دست آوردن نمونه نماینده باید توجه شود تا از جداشدگی جلوگیری شود.

6-2مقدار بخش‌های آزمون

مقدار بخش آزمون مشخص شده در روش‌های آزمون باید چنانچه در روش آزمون در نظر گرفته نشده باشد، بر اساس چگالی انبوهی فله‌ای به منظور داشتن معادل حجم سنگدانه‌ای با یک چگالی انبوهی فله $1500 kg/m^3$ تصحیح شود.

6-3 آماده سازی آزمونه‌ها

خشک کردن: آزمونه‌ها باید مطابق استاندارد بند 2-9 خشک شوند.

تثبیت شرایط بعد از خشک کردن: آزمونه‌ها را باید بگذارند تا دمای اتاق سرد شوند. برای بعضی سبک‌دانه‌ها، آزمونه‌ها باید در حالت تعادل رطوبتی در دمای $(23\pm5)^oC$ و رطوبت نسبی $(50\pm10)\%$ تثبیت شرایط شوند.

7 ارزیابی انطباق

7-1 کلیات

تولیدکننده باید عهده‌دار انجام آزمون‌های نوع اولیه (بند 7-2) و کنترل تولید کارخانه (بند 7-3) برای اطمینان از انطباق فراورده خود با این استاندارد و درصورت مقتضی با مقادیر اعلام شده باشد.

7-2آزمون‌های نوع اولیه

آزمون‌های نوع اولیه مربوط به مصرف نهایی مورد نظر باید برای بررسی مطابقت با الزامات مشخص شده در موارد زیر انجام شود:

- یک منبع جدید سنگدانه که قرار است استفاده شود.
- تغییرات بزرگی در ماهیت مواد خام یا در شرایط فراوری به وجود آمده باشد که ممکن است بر خواص سنگدانه‌ها اثر گذارد.

نتایج آزمون‌های نوع اولیه به عنوان نقطه شروع کنترل تولید کارخانه برای آن مصالح باید مستند شود. این آزمون‌ها باید به ویژه شامل شناسایی هر گونه ترکیباتی باشد که احتمالاً تابش پرتوهای بالای

ترازهای زمینه معمول دارند یا احتمالاً کربن‌های پلی‌آروماتیک یا سایر مواد خطرناک آزاد می‌کنند. چنانچه مقدار هریک از این ترکیبات بیش از حدود مجاز مطابق مقررات معتبر در محل کاربرد سنگدانه باشد، نتایج آزمون‌های اولیه باید اعلام شود.

3-7 کنترل تولید کارخانه‌ای

تولیدکننده باید در محل، یک سامانه کنترل تولید کارخانه‌ای مطابق الزامات پیوست ج داشته باشد. نگاشت‌های نگه‌داشته شده به وسیله توسط تولیدکننده باید نشان دهد که در عملیات طی تولید سنگدانه چه روش‌های کنترلی وجود دارد.

یادآوری- شکل کنترل به کار رفته برای هر سنگدانه بستگی به مصرف مورد نظر و مقررات مربوط به آن مصرف دارد.

8 شناسایی

کد شناسایی برای سبکدانه باید توسط تولید کننده به دو زبان فارسی و انگلیسی شامل موارد زیر اعلام شود:

- شماره این استاندارد ملی ایران
- نام ، علامت تجاری و نشانی تولید کننده
- اندازه
- چگالی انبوهی یا چگالی دانه‌ها
- هرگونه اطلاعات اضافی مورد نیاز برای شناسایی سبک‌دانه ویژه

9 عرضه

- عرضه مصالح باید به صورت حجمی یا جرمی باشد.
- همه مصالح باید در برابر آلودگی محافظت شوند.

10 نشانه گذاری و برچسب گذاری

هر محموله‌ای از سبک‌دانه‌ها باید با یک بارنامه شماره شده حاوی حداقل اطلاعات زیر مشخص شود:

- شناسایی مطابق بند 8
- منبع یا محل تولید؛
- تاریخ ارسال از کارخانه؛
- مقدار سبکدانه؛
- نام و آدرس مشتری

پیوست الف
(الزامی)
تعیین مقاومت در برابر خردشدگی

الف-1 مقدمه

یک نمونه آماده شده از سبکدانه در استوانه فولادی مشخصی قرار داده می‌شود و به وسیله لرزاندن فشرده می‌شود. سپس یک پیستون برای یک فاصله معین به داخل آن استوانه فشار داده می‌شود و نیروی مورد نیاز اندازه‌گیری و به عنوان مقاومت در برابر خرد شدگی گزارش می‌شود.

دو روش آزمون مشخص شده است. روش1 معمولاً برای سبکدانه در محدوده اندازه 4mm تا 22mm و با چگالی انبوهی بیش از $150kg/m^3$ است. روش2 معمولاً برای سبکدانه ای با چگالی انبوهی $150kg/m^3$و کم‌تر قابل کاربرد است.

الف-2 وسایل

همه وسایل باید مطابق الزامات عمومی استاندارد بند 2-3 باشد مگر آن‌که به گونه دیگری مشخص شده باشد.

- استوانه فولادی آزمون و پیستون، همان‌گونه که در شکل الف-1 برای روش 1 و شکل الف-2 برای روش2 نشان داده شده است.
- دستگاه فشار هیدرولیکی، یا دستگاه مشابه که قابلیت ایجاد فشار کافی برای آزمون و اندازه‌گیری فشار با دقت 5± درصد را داشته باشد.
- میز لرزاننده، با عملکرد حدود 3000 لرزه در دقیقه و دامنه نوسان 0/5 بدون بار.
- خط‌کش فولادی، با طول مناسب.
- سرطاس با اندازه مناسب برای پر کردن استوانه آزمون.
- آون خشک کن تهویه دار با ترموستات کنترلی، با قابلیت نگه‌داری دمای (110±5)°C.

الف-3 آماده‌سازی آزمونه‌ها

نمونه‌ها باید مطابق استاندارد بند 2-2 برداشته شده و مطابق استاندارد بند 2-1 کاهش یابد. سه آزمونه نماینده با اندازه مناسب آماده سازی کنید و زیراندازه و بیش‌اندازه را کنار بگذارید.

الف-4 روش آزمون

روش1: استوانه را بر روی میز لرزاننده قرار دهید و به آرامی آن‌را با سبکدانه با استفاده از یک سرطاس در سرتاسر استوانه پر کنید تا لبریز شود. دقت کنید که جدایش سبکدانه رخ ندهد. استوانه را به مدت 3 ثانیه تا 60 ثانیه بلرزانید و دوباره پر کنید.

استوانه را به مدت 3 ثانیه تا 60 ثانیه دیگر بلرزانید و سطح سبکدانه را با بکار بردن خط‌کش تراز کنید. ریل بالایی را بر روی استوانه قرار داده و پیستون را به آرامی در قسمت بالای سبکدانه متراکم

شده قرار دهید. فاصله بین حلقه اتصال و ریل بالایی را تا 20mm تنظیم کنید و مجموعه آزمون را در دستگاه پرس هیدرولیکی قرار دهید.
نیروی اعمال شده بر پیستون را افزایش دهید تا به یک تراکم 20mm در تقریباً 100 ثانیه برسد، و نیرو را به نیوتن یادداشت کنید. روش را با دو آزمونه باقی مانده تکرار کنید.
روش2: استوانه را بر روی میز لرزاننده قرار دهید و به آرامی آن‌را با سبکدانه با استفاده از یک سرطاس در سرتاسر استوانه پر کنید تا لبریز شود. دقت کنید که جدایش سبکدانه رخ ندهد. استوانه را به مدت 3 ثانیه بلرزانید و حلقه فلنج را بر روی استوانه آزمون محکم کنید. سبکدانه اضافی برای پر کردن حلقه بیفزایید و به مدت 3 ثانیه دیگر بلرزانید.
حلقه را جدا کرده و سبکدانه را تراز کنید و مجموعه آزمون را دستگاه پرس هیدرولیکی قرار دهید.
نیروی اعمال شده بر پیستون را افزایش دهید تا به یک تراکم 50mm در تقریباً 100 ثانیه برسد و نیرو را به نیوتن یادداشت کنید. روش را با دو آزمونه باقی مانده تکرار کنید.

الف-5 محاسبه و بیان نتایج

مقاومت در برابر خرد شدگی ($\mathbf{C_a}$ یا $\mathbf{C_b}$) برای هر آزمونه را با استفاده از معادله (الف-1) یا معادله (الف-2) محاسبه کنید:

$$C_a = \frac{L+F}{A} \qquad \text{معادله (الف-1)}$$

$$C_b = \frac{L+F}{A} \qquad \text{معادله (الف-2)}$$

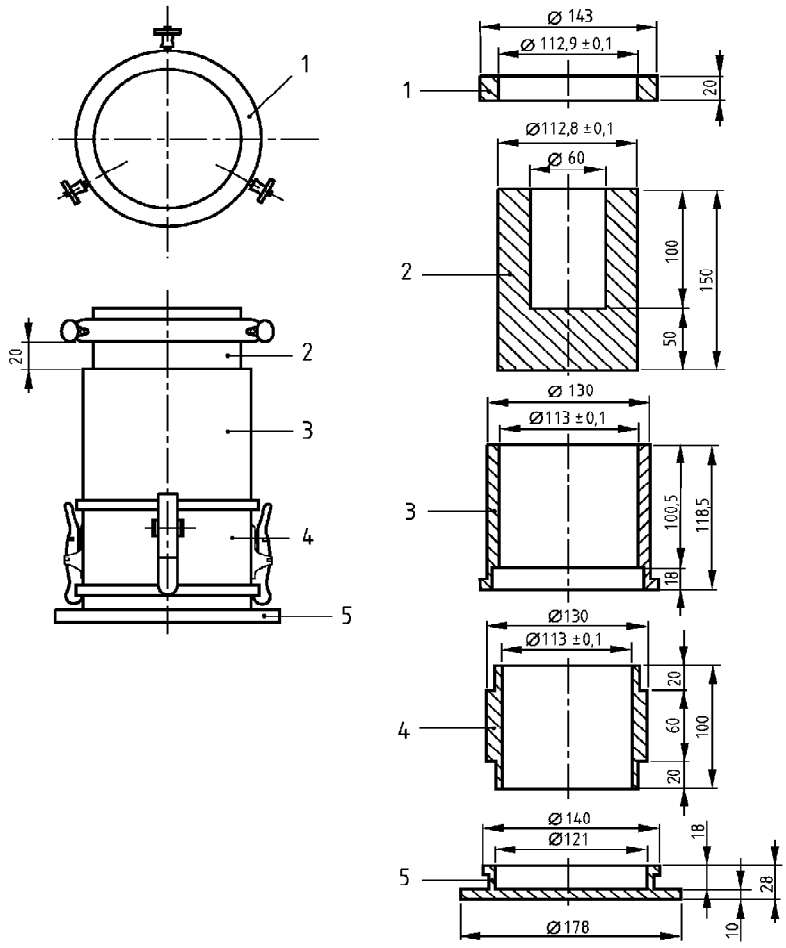
که در آن:
C_a مقاومت در برابر خرد شدگی برحسب نیوتن بر میلی‌متر مربع است که مطابق روش1 تعیین شده است؛
C_b مقاومت در برابر خرد شدگی برحسب نیوتن بر میلی‌متر مربع است که مطابق روش2 تعیین شده است؛
L نیروی اعمال شده به وسیله پیستون برحسب نیوتن؛
F نیروی تراکم (فشار) برحسب نیوتن؛
A مساحت پیستون برحسب میلی‌متر مربع.
مقدار میانگین سه نتیجه را محاسبه کنید.

الف-6 گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:
- ارجاع به این استاندارد ملی ایران؛

- آزمون انجام شده مطابق روش1 یا مطابق روش2؛
- مشخصات آزمونه؛
- مشخصات آزمایشگاهی که آزمون در آن انجام شده است؛
- -تاریخ آزمون؛
- میانگین مقاومت در برابر خردشدگی (C_a یا C_b)؛
- محدوده نتایج سه آزمون؛
- مدت لرزاندن.

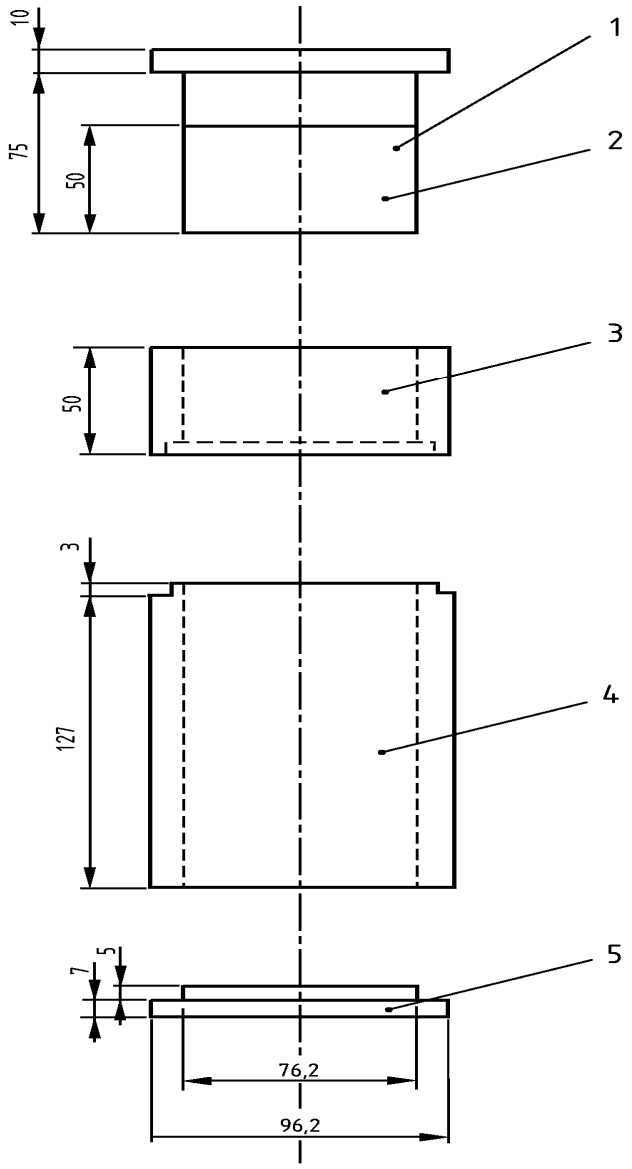
ابعاد برحسب میلی‌متر است.



راهنما: 1- حلقه تنظیم کننده ارتفاع 2- پیستون 3-استوانه بالایی 4- استوانه پائینی 5- پایه

شکل الف-1- وسایل آزمون برای روش 1

ابعاد برحسب میلی‌متر است.



راهنما: 1- علامت 50mm 2- پیستون 3-حلقه 4- استوانه 5- پایه

شکل الف-2- وسایل آزمون برای روش 2

پیوست ب
(الزامی)
تعیین مقاومت در برابر فروسایی

ب-1 اصول

دو آزمونه سبکدانه به مدت 3 روز در دمای محیط در آب نگه‌داری می‌شوند. سپس آن‌ها را به مدت 3h در اتوکلاو در فشار 2MPa و دمای 215°C قرار داده و بعد از آن تا دمای 30°C سرد می‌شوند.

بعد از خشک کردن در دمای 110°C و سرد کردن، آن‌ها را باید بر روی الک کوچک‌تر بعدی تا الک محدود کننده پایینی دانه‌بندی آزمون اندازه منفرد الک کرد.

جرم عبور کرده از این الک به صورت درصد جرمی هر آزمونه خشک اولیه گزارش می‌شود. نتیجه به صورت میانگین نتایج دو آزمونه یادداشت می‌شود.

ب-2 وسایل

همه وسایل باید مطابق الزامات عمومی استاندارد بند 2-3 باشد، مگر آنکه به گونه دیگری مشخص شده باشد.

- اتوکلاو با بخار آب اشباع با کنترل ترموستاتیکی، با ظرفیت مناسب با قابلیت افزایش دمای آزمونه‌ها از دمای 20°C به دمای (215±5)°C در مدت (60±5) دقیقه و نگه‌داری این دما به مدت (180±10) دقیقه، در یک فشار (2±0/2)MPa. علاوه بر آن، اتوکلاو باید قابلیت سرد کردن آزمونه‌ها را تا دمای (30±10)°C در مدت (90±10) دقیقه داشته باشد.
- الک‌های آزمون، مطابق استانداردهای بند 2-12 و بند 2-13.
- ترازو، با ظرفیت مناسب با دقت ±0/1g.
- آون خشک کن تهویه‌دار با کنترل ترموستاتیکی، با قابلیت نگه‌داری دما در (110±5)°C.
- دو عدد ظرف فلزی، مناسب برای نگه‌داری سبکدانه در اتوکلاو.

ب-3 آماده سازی آزمونه‌ها

نمونه‌ها باید مطابق استاندارد بند 2-2 برداشته شده و مطابق استاندارد بند 2-1 کاهش داده شوند و به اندازه کافی زیاد باشند تا دو آزمونه مطابق جدول ب-1 به دست آید.

نمونه سبکدانه را مطابق استاندارد بند 2-9 خشک کنید. دو آزمونه را به روش خشک الک کنید، بیش اندازه و زیر اندازه را با استفاده از الک‌های بالایی و پایینی مناسب مطابق جدول ب-1 کنار بگذارید.

جدول ب-1- اندازه آزمونه/اندازه‌های الک

اندازه‌های الک بالاتر و پایین‌تر mm	حجم تقریبی ml	الک کوچک‌تر بعدی mm
4/8	500	2
8/16	1000	4
16/22	2000	8

ب-4 روش انجام آزمون

دو آزمونه را در آب مقطر در دمای محیط به مدت h(1±72) غوطه‌ور کنید. با وزن کردن اطمینان حاصل شود که سنگدانه در زیر سطح آب قرار دارد. بعد از غوطه‌ور سازی، سبکدانه را از آب مقطر در آورده و بگذارید آزمونه‌ها به مدت 15دقیقه زهکشی شوند.

آزمونه‌های زهکشی شده را در دو ظرف فلزی قرار داده و آن‌ها را در اتوکلاو قرار دهید. اتوکلاو را در فشار MPa(2±0/2) و دمای °C(215±5) به مدت (5±90) دقیقه قرار دهید و این فشار و دما را به مدت (5±180) دقیقه نگه‌دارید. بگذارید تا دمای °C(10±30) در مدت (10±90) دقیقه سرد شود.

ظروف و محتویات آن ها را در آون در دمای °C(5±110) مطابق استاندارد بند 2-9 خشک کنید و بگذارید سرد شوند.

هر آزمونه را با تقریب 0/1g (m_1) وزن کنید. آزمونه‌ها را بر روی الک کوچک‌تر بعدی که در جدول ب-1 مشخص شده با دقت الک کنید. مواد عبور کرده از میان این الک را با تقریب 0/1g برای هر آزمونه (m_2) وزن کنید.

ب-5 محاسبه و بیان نتایج

درصد افت جرم، M، را برای هر دو آزمونه با استفاده از معادله (ب-1) محاسبه کنید:

$$M = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$ معادله (ب-1)

که در آن:

M درصد افت جرم؛

m_1 جرم اولیه آزمونه برحسب گرم؛

m_2 جرم مواد که بعد از اتوکلاو از الک با اندازه پایین‌تر متناسب عبور کرده برحسب گرم.

نتیجه باید به صورت مقدار میانگین به دست آمده از دو آزمونه گزارش شود.

پیوست پ
(الزامی)
تعیین مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن سبکدانه‌ها

پ-1 مقدمه

روش آزمون مشخص شده در این پیوست برای سبکدانه‌های با اندازه ذراتی که کم‌تر از 4mm نبوده و چگالی انبوهی آنها از $150kg/m^3$ کم‌تر نباشد مناسب است.

یادآوری - اصول این آزمون با روش آزمون مشخص شده در استاندارد بند 2-14 متفاوت است.

پ-2 اصول

یک آزمونه از سبکدانه‌ها بعد از غوطه‌ورسازی در آب در فشار جو، در معرض 20 چرخه یخ زدن و آب شدن قرار می‌گیرد. این شامل سرد کردن تا دمای 15°C- در هوا و سپس آب شدن در حمام آبی در حدود 20°C است. بعد از کامل شدن چرخه‌های یخ زدن و آب شدن، سبکدانه برای هر گونه تغییراتی مانند ترک خوردگی و / یا افت جرم بررسی می‌شود.

پ-3 وسایل

همه وسایل باید مطابق الزامات عمومی استاندارد بند 2-3 باشد، مگر آنکه به گونه دیگری مشخص شده باشد.

- آون خشک کن تهویه‌دار، با گردش اجباری با ظرفیت مناسب. آون باید قابلیت نگه‌داری دمای (110±5)°C را داشته باشد.
- ترازو، با قابلیت توزین آزمونه‌ها تا 400g با دقت 0/02g± و آزمونه‌های بالای 400g با دقت 0/05g.
- محفظه دمای پایین، با گردش هوا (بالا راست یا وسط). محفظه باید قابلیت نگه‌داری دما در (-17/5±2/5)°C را داشته باشد.
- ظروف، ساخته شده از ورق فولادی مقاوم در برابر خوردگی که مساحت پایه آن تقریباً $0/02m^2$ و ارتفاع معادل یا بیش از 100mm باشد.
- شبکه، دارای اندازه مناسب و روزنه‌ای که از شناوری سبکدانه‌ها در ظرف جلوگیری می‌کند و در بند پ-3-5 مشخص شده است.
- الک‌های آزمون، مطابق استانداردهای بند 2-5 باید به کار رود.
- آب، تقطیر شده یا بدون املاح.

پ-4 نمونه برداری

نمونه‌برداری باید مطابق استاندارد بند 2-2 تعیین شود.

پ-5 آزمونه‌ها

آزمونه‌ها: سه آزمونه منفرد باید مورد استفاده قرار گیرد. آزمونه‌ها باید مطابق استاندارد بند 2-1 و با کاهش نمونه از فراورده سنگدانه‌های یک اندازه که از آن سنگدانه‌های بیش اندازه و زیر اندازه جدا شده‌اند به دست آید.

اندازه آزمونه‌ها: هریک از اندازه‌های فهرست شده در جدول پ-1 را می‌توان به کار برد. مقادیر هریک از سه آزمونه منفرد در جدول پ-1 ارائه شده است و انحرافات ٪5± مجاز است.

جدول پ-1- آزمونه‌های مورد نیاز برای آزمون چرخه‌ای یخ زدن و آب شدن

حداکثر اندازه سنگدانه mm	حجم سبکدانه مورد نیاز ml
4 تا 8	500
8 تا 16	1000
16 تا 32	1500

پ-5-3 آماده سازی آزمونه‌ها

آزمونه‌ها را برای جداسازی ذرات چسبیده به آن بشوئید. آزمونه‌ها را مطابق استاندارد بند 2-9 خشک کنید، بگذارید تا دمای محیط سرد شود و وزن کنید.

یادآوری- برای برخی سبکدانه‌ها، بگذارید آزمونه‌ها در حالت تعادل رطوبتی دمای °C(5±23) و رطوبت نسبی (10±50) درصد تثبیت شرایط شوند.

توزین باید با دقت‌های زیر انجام شود:

- آزمونه‌های تا 400g با دقت ±0/04g
- آزمونه‌های زیاد تر از 400g با دقت ±0/1g

پ-6 روش آزمون

غوطه‌ورسازی: آزمونه‌ها را در ظروف مشخص شده در بند پ-3-5 در فشار جو در دمای °C(3±20) در آب مقطر یا آب بدون املاح به مدت h(0/2±4) نگه‌داری کنید، اطمینان حاصل کنید که در کل دوره 4h غوطه‌ورسازی آب آزمونه‌ها را حداقل 10mm پوشانده است. به منظور جلوگیری از شناور شدن آزمونه‌ها، نمونه‌ها باید به وسیله شبکه مشخص شده در بند پ-3-6 کاملاً در آب غوطه‌ور شوند.

در معرض یخ زدن و آب شدن قرار گرفتن: آزمونه‌ها را از ظروف خارج کرده و بگذارید به مدت یک دقیقه بر روی یک الک زهکشی شوند. سپس آن‌ها را در ظروفی به طور هموار پهن کنید.

ظروف را در محفظه‌ای با دمای پایین قرار دهید، اطمینان حاصل کنید که گرما از همه اطراف آزمونه‌ها خارج می‌شود. فاصله بین هر ظرف، و فاصله بین ظروف و دیواره‌های کناری محفظه، نباید کم‌تر از 50mm باشد. بعد از قرار دادن ظروف در محفظه، دمای هوا در محفظه را در °C20- نگه‌دارید و در هیچ مرحله‌ای نگذارید فشار هوا به زیر °C22- یا بالای °C15- برسد. اگر لازم شد تغییرات باید متناسب با ظرفیت سرمایش محفظه باشد.

ظروف با آزمونه‌ها باید به مدت حداقل 4h در محفظه باقی بمانند. بعد از تکمیل چرخه یخ زدن، ظروف را با آزمونه‌ها به مدت حداقل 1h در آب در یک دمای ثابت °C(5±23) نگه‌دارید. بعد از آن که آب به دقت خارج شد و آزمونه‌ها زهکشی شدند، چرخه بعدی یخ زدن باید شروع شود، در مجموع 20 چرخه یخ زدن- آب شدن باید انجام شود.

یادآوری- چنانچه لازم شود که آزمون در طی یخ زدن دچار وقفه شود، آزمونه‌ها باید در محفظه در دمای °C(5/2±5/17-) بمانند. کل وقفه تا 72h مجاز است.

الک کردن و خشک کردن: پس از تکمیل 20امین چرخه، محتویات هر ظرف را بر روی الکی با اندازه چشمه‌های نصف الک با اندازه پایین‌تر به کار برده شده برای تهیه آزمونه بریزید (برای مثال در مورد بخش 8mm تا 16mm، بر روی الک با اندازه چشمه 4mm). آزمونه را بر روی الک مشخص شده بشویید و با دست الک کنید. باقی مانده روی الک را مطابق بند پ-5-3 خشک و وزن کنید.

پ-7 محاسبه و بیان نتایج

باقی‌مانده‌های زیرالک سه آزمونه را ترکیب و وزن کنید. جرم به دست آمده را به صورت درصد جرم آزمونه ترکیب شده محاسبه کنید. نتیجه آزمون یخ زدن-آب شدن را مطابق معادله (پ-1) محاسبه کنید:

$$F = [(M_1 - M_2)/M_1] \times 100 \qquad \text{معادله (پ-1)}$$

که در آن:

M_1 جرم خشک اولیه سه آزمونه قبل از چرخه‌ها، برحسب گرم؛

M_2 جرم خشک نهایی سه آزمونه بعد از چرخه‌ها، که بر روی الک مشخص شده باقی مانده، برحسب گرم؛

F درصد افت جرم سه آزمونه بعد از چرخه‌های یخ زدن و آب شدن.

پ-8 گزارش آزمون

گزارش آزمون باید شامل اطلاعات زیر باشد:

- شماره این استاندارد ملی ایران؛
- روش نمونه برداری اگر مشخص است، و نشانه گذاری؛
- نوع و منبع نمونه‌های آزمایشگاهی؛
- شکل، اندازه، دانه بندی و تعداد نمونه‌های آزمایشگاهی؛
- مشاهدات ظاهری سنگدانه باقی مانده روی الک مشخص؛

یادآوری- هرگونه خردشدگی غیرمعمول سنگدانه مانده روی الک باید گزارش شود.

- نتیجه آزمون یخ زدن و آب شدن، افت جرم بیان شده با تقریب 0/1 درصد جرمی؛
- تاریخ گزارش و نام آزمایشگاهی که آزمون در آن انجام شده است.

پیوست ت
(اطلاعاتی)
راهنمای تبدیل مقادیر جرمی به مقادیر حجمی

ت-1 سابقه

مقادیر مجاز مواد شیمیایی بر اساس سنگدانه‌های با وزن معمولی با چگالی انبوهی فله‌ای حدود $1500 kg/m^3$ است.

مواد شیمیایی مطابق استاندارد بند 2-11 تعیین شده و به صورت درصد جرمی بیان می‌شود.

برای سبکدانه چنین مقدار آزمونی نیاز به تصحیح کردن قبل از مقایسه آن با مقدار مجاز برای چگالی انبوهی فله کم سبکدانه دارد.

بنابراین سنگدانه‌ای با چگالی انبوهی فله $750 kg/m^3$ می‌تواند حاوی دو برابر مقدار مواد خاصی بر اساس جرم بر جرم سنگدانه دارای چگالی انبوهی فله $1500 kg/m^3$ باشد و هنوز با مقدار مجاز بر مترمکعب بتن مطابقت دارد.

ت-2 مثال محاسبه

مقدار مجاز برای یک کاربرد، 0/01 درصد جرم بر جرم است. سنگدانه پیشنهاد شده دارای چگالی انبوهی فله $750 kg/m^3$ است.

مواد شیمیایی اندازه‌گیری شده (C_n) مطابق استاندارد بند 2-11 برابر 0/018 درصد جرم بر جرم است.

بنابراین مقدار مقایسه‌ای برابر است با:

$$C_n = 0/018 \frac{750}{1500} = 0/009$$

مقدار مقایسه‌ای 0/009 درصد، کم‌تر از مقدار حدی 0/01 درصد است.

سنگدانه پیشنهاد شده بنابراین برای کاربرد مورد نظر مناسب است.

پیوست ث
(اطلاعاتی)
راهنمای اثرات برخی تشکیل دهنده‌های شیمیایی سبکدانه‌ها بر دوام بتن، ملات و گروت که در آن‌ها درهم آمیخته‌اند

ث-1 کلیات

سبکدانه‌ها نباید حاوی موادی در مقادیر و شکل‌هایی باشند که اثر بدی بر مناسب بودن در کاربرد مورد نظر داشته باشد.

ث-2 کلراید

کلرایدها می‌توانند در سبکدانه‌ها وجود داشته باشند. برای به حداقل رساندن خطر خوردگی فلزات مدفون، معمول است که مقدار کلرایدها را در بتن و ملات که از همه اجزا تشکیل شده محدود می‌کنند.

ث-3 ترکیبات آلی

دو آزمون افتراقی برای وجود مواد آلی در مصارف عمومی وجود دارد: آزمون هیدروکسید سدیم و آزمون اسید فالوو[1]. هنگامی‌که مواد آلی مطابق استاندارد بند 2-11، بند 15-1 و/یا بند 15-2 تعیین می‌شود، اگر مایع قرار گرفته در بالا در این آزمون‌ها روشن‌تر از رنگ‌های استاندارد باشند، سنگدانه را می‌توان عاری از مواد آلی در نظر گرفت (به بند ث-3-5 مراجعه شود).

یادآوری- برخی ترکیبات غیرآلی که در آزمون هیدروکسید سدیم تغییر رنگ در محلول فوقانی ایجاد می‌کنند، اثر مضری در گیرش و سخت شدن بتن / ملات ندارد.

سنگدانه‌هایی که دارای مواد آلی یا سایر مواد به نسبت‌هایی هستند که نرخ گیرش و سخت شدن بتن / ملات را تغییر می‌دهد باید برای وجود چنین موادی ارزیابی کمی شوند. این اثر بر زمان سفت شدن و مقاومت فشاری را باید مطابق استاندارد بند 2-11 تعیین کرد.

نسبت‌های چنین موادی باید چنان باشد که مطابقت با بند ث-3-2 و بند ث-3-4 را برآورده سازد.

افزایش زمان سفت شدن آزمونه‌های بتن/ ملات نباید بیش‌تر از 120 دقیقه باشد.

کاهش مقاومت فشاری آزمونه‌های بتن/ ملات نباید بیش‌تر از 20 درصد باشد.

شکر تاثیری بر رنگ محلول فوقانی آزمون هیدروکسید سدیم یا آزمون اسید فالوو ندارد. اگر وجود شکر یا موادی از نوع شکر مشکوک باشد، سنگدانه باید با استفاده از آزمونه بتن / ملات مشخص شده در استاندارد بند 2-11 آزمون شود. الزامات زمان سفت شدن و مقاومت فشاری در بند ث-3-3 و بند ث-3-4 ارائه شده است.

ث-4 واکنش‌زایی قلیایی سنگدانه

[1] -Fulvo acid test

برخی سنگدانه‌ها ممکن است با قلیایی موجود در مایع منفذی بتن، ملات و گروت واکنش ایجاد کنند. در شرایط ناسازگار و در حضور رطوبت این مورد باعث انبساط و بعد از آن ترک خوردگی یا متلاشی شدن بتن، ملات و گروت می‌شود. معمول‌ترین شکل واکنش، بین قلیایی‌ها و برخی اشکال سیلیس (واکنش قلیایی- سیلیس) رخ می‌دهد. شکل کم‌تر معمول دیگر واکنش، واکنش قلیایی – کربنات است. در نبود سابقه تجربه درازمدت در مورد فقدان واکنش‌زایی مخرب یک ترکیب ویژه از سیمان و سنگدانه، ممکن است لازم باشد پیش‌بینی‌های زیر در نظر گرفته شود:

- مقدار کل قلیایی مخلوط بتن / ملات را محدود کنید؛
- از یک سیمان با مقدار کم قلیایی مؤثر استفاده کنید؛
- از مخلوط سنگدانه غیرواکنش‌زا استفاده کنید؛
- درجه اشباع بتن / ملات با آب را محدود کنید.

هنگامی‌که برآوردن یکی از روش‌های بالا امکان پذیر نیست، ترکیب سنگدانه و سیمان باید با استفاده از روش‌های شرح داده شده در مقررات معتبر در محل مصرف ارزیابی شود.

پیوست ج
(اطلاعاتی)
کنترل تولید کارخانه‌ای

ج-1 مقدمه

این پیوست یک سامانه کنترل تولید کارخانه‌ای برای سنگدانه‌ها را به منظور اطمینان از انطباق آن‌ها با الزامات این استاندارد مشخص می‌کند.

عملکرد سامانه کنترل تولید کارخانه‌ای باید مطابق اصول مورد استفاده در این پیوست ارزیابی شود.

ج-2 سازمان

مسئولیت و اختیار و اندرکنش همه کارکنانی که اداره، اجرا و بررسی کاری را به عهده دارند،که بر کیفیت اثرگذار است، باید مشخص شود. این شامل کارکنانی است که نیاز به آزادی سازمانی و اختیار در موارد زیر دارد:

- شروع به کار جلوگیری از تولید فراورده غیرمنطبق؛
- شناسایی، یادداشت و رسیدگی به هر گونه انحراف کیفیت فراورده.

برای هر کارخانه تولید سنگدانه، تولیدکننده باید شخص اختیاردار مناسبی را مامور کند تا اطمینان حاصل شود که الزامات ارائه شده در این پیوست اجرا شده و حفظ شده است.

سامانه کنترل تولید کارخانه‌ای که برای برآوردن الزامات این پیوست پذیرفته شده است باید در فواصل مقتضی به وسیله مدیریت برای اطمینان از تداوم مناسب بودن و اثربخشی، ممیزی و بازبینی شود. مدارک این بازبینی‌ها باید حفظ شود.

ج-3 روش‌های کنترل

تولیدکننده باید دستورالعمل روش‌های کنترل تولید کارخانه‌ای را به منظور تشریح روش‌هایی که به وسیله آن الزامات کنترل تولید کارخانه‌ای برآورده می شود، ایجاد و نگهداری کند.

داده‌ها و مدارک کنترل باید شامل آن مدارک و داده‌هایی باشند که مربوط به الزامات این استاندارد است و فروش، فرآیند، بازرسی مواد و مدارک سامانه کنترل تولید کارخانه‌ای را در بر می‌گیرد.

روش مربوط به مدیریت مدارک و داده‌ها باید در دستورالعمل کنترل تولید مستندسازی شود که روش‌ها و مسئولیت‌ها را برای تصویب، انتشار، توزیع و مدیریت داده‌ها و مستندسازی درونی و بیرونی و آماده سازی، انتشار و ثبت تغییرات مستندسازی در بر می‌گیرد.

اگر هر بخشی از عملیات به دارای پیمان‌کار فرعی است، تولیدکننده باید وسیله‌ای برای کنترل ایجاد کند. تولیدکننده باید مسئولیت هر بخشی از عملیات را که پیمان‌کار فرعی دارد، به عهده گیرد.

جزئیات ماهیت مواد خام، ذخیره آن و در صورت مقتضی یک یا چند نقشه که نشان دهنده محل و طرح استخراج باشد، باید مستندسازی شود.

تولیدکننده مسئول تضمین آن است که اگر مواد خطرناکی در سنگدانه شناسایی شده است، مقدار آنها بیش از حدود مجاز مطابق مقررات معتبر در محل کاربرد سنگدانه نیست.

ج-4 مدیریت تولید

سامانه کنترل تولید کارخانه‌ای باید الزامات زیر را برآورده کند:

روش‌هایی باید برای شناسایی و کنترل مواد وجود داشته باشد؛

یادآوری1- این روش‌ها ممکن است شامل روش‌هایی برای نگه‌داری و تنظیم تجهیزات فرآیند، بازرسی یا آزمون مواد نمونه‌برداری شده در طی فرآیند، اصلاح فرآیند در طی آب و هوای بد و غیره باشد.

روش‌هایی باید برای شناسایی و کنترل هرگونه مواد مضر مشخص شده مطابق بند ج-3-3 برای اطمینان از این که مواد مضر بیش از حدود مجاز مطابق مقررات معتبر در محل کاربرد سنگدانه نیست، وجود داشته باشد ؛

روش‌هایی باید وجود داشته باشد برای اطمینان از این که مواد با یک روش کنترل شده در انبار قرار داده شده و محل‌های انبار و محتویات آن‌ها شناسایی می‌شوند؛

روش‌هایی باید وجود داشته باشد برای اطمینان از این که مواد برداشته شده از انبار آسیب ندیده است به روشی که مطابقت آن مورد توافق قرار دارد؛

فراورده باید قابلیت شناسایی تا محل فروش را با توجه به منبع و نوع داشته باشد.

ج-5 بازرسی و آزمون

تولیدکننده باید همه امکانات، تجهیزات و کارکنان آموزش دیده لازم را برای اجرای آزمون‌ها و بازرسی‌های لازم فراهم سازد.

تولیدکننده باید مسئول کنترل، واسنجی و تداوم بازرسی، اندازه‌گیری و تجهیزات آزمون باشد.

دقت و تناوب واسنجی باید مطابق استاندارد بند 2-3 باشد.

تجهیزات باید مطابق روش‌های مستندسازی شده به کار روند.

تجهیزات باید به طور منفرد شناسایی شوند.

نگاشت‌های واسنجی باید حفظ شوند.

تناوب و ماهیت بازرسی‌ها باید در مدارک کنترل تولید شرح داده شود. تناوب نمونه‌برداری و آزمون‌ها در صورت لزوم باید برای خصوصیات مربوط چنانچه در جدول ج-1 مشخص شده انجام شود.

یادآوری1- تناوب‌های آزمون معمولا به دوره‌های تولید مربوط است. یک دوره از تولید به صورت یک هفته ، ماه، یا سال کامل تولید روزهای کاری تعریف می‌شود.

یادآوری2- الزامات کنترل تولید کارخانه‌ای ممکن است شامل بازرسی ظاهری باشد. هرگونه انحرافات شناسایی شده به وسیله این بازرسی‌ها می‌تواند باعث افزایش تناوب‌های آزمون شود.

یادآوری3- هنگامی‌که مقدار اندازه‌گیری شده نزدیک به حد مشخص باشد، ممکن است لازم باشد تناوب افزایش یابد.

یادآوری4- تحت شرایط ویژه تناوب‌های آزمون را می‌توان به کم‌تر از آنچه در جدول ج-1 داده شده کاهش داد. این شرایط شامل موارد زیر هستند:

- تجهیزات تمام خودکار تولید؛
- تجربه درازمدت با سازگاری خواص ویژه؛
- منابع با انطباق زیاد؛
- اجرای سامانه مدیریت کیفیت با اندازه‌گیری‌های استثنایی برای نظارت و ممیزی فرایند تولید؛

تولیدکننده باید برنامه زمان‌بندی تناوب‌های آزمون را با در نظر داشتن حداقل الزامات جدول ج-1 آماده کند. دلایلی برای کاهش تناوب‌های آزمون باید در اسناد کنترل تولید کارخانه بیان شود.

نتایج کنترل تولید کارخانه‌ای شامل زمان، تاریخ و محل‌های نمونه‌برداری و فراورده آزمون شده با هرگونه اطلاعات مربوط دیگر مانند شرایط جوی باید نگاشته شود.

در جایی که فراورده بازرسی شده یا آزمون شده مقدار اعلام شده را برآورده نمی‌سازد یا اگر نشانه‌ای دال بر برآورده نشدن وجود دارد، یک یادآوری باید در نگاشت‌ها در مورد قدم‌های برداشته شده در ارتباط با این وضعیت گنجانده شود (مانند انجام آزمون جدید و / یا اقداماتی برای اصلاح فرایند تولید).

نگاشت‌های مورد نیاز همه بندهای این پیوست باید مورد نظر قرار گیرد.

نگاشت‌ها باید حداقل برای دوره مقرر نگاه داشته شوند.

یادآوری1- برخی خصوصیات را می‌توان در چندین فراورده به اشتراک گذاشت. در چنین موردی تولیدکننده بر اساس تجربیات خود، می‌تواند امکان بکار بردن نتایج یک آزمون را برای بیش‌تر از یک فراورده بیابد. این به ویژه در موردی که یک فراورده ترکیبی از دو یا چند اندازه مختلف باشد صادق است. در موردی که ممکن است خصوصیات ذاتی تغییر کند، توزیع اندازه دانه‌ها یا تمیزی باید بازرسی شود.

یادآوری2-"دوره مقرر" دوره‌ای از زمان می‌باشد که لازم است نگاشت‌ها مطابق مقرراتی که در محل تولید به کار می‌رود نگهداری شوند.

کنترل فراورده نامنطبق: پیرو یک بازرسی یا آزمونی که نشانگر آن است که یک فراورده نامنطبق است، مواد تحت تاثیر قرار گرفته باید:

- دوباره فراوری شود؛ یا
- به کاربرد دیگری که برای آن مناسب است، تغییر مقصد داده شود؛ یا
- مرجوع شود و به عنوان فراورده نامنطبق نشانه‌گذاری شود.

همه موارد نامنطبق به وسیله تولیدکننده نگاشته شود، بررسی گردد و اگر لازم باشد اقدام اصلاحی باید انجام شود.

یادآوری- عملیات اصلاح می‌تواند شامل موارد زیر باشد:

- بررسی علت عدم انطباق شامل بررسی روش آزمون و انجام هرگونه تنظیمات لازم؛

- تحلیل فرایندها، عملیات، مدارک کیفیت، گزارش‌های سرویس و شکایات مشتری برای یافتن و حذف علل بالقوه عدم انطباق ؛
- شروع اقدامات بازدارنده برای رسیدگی به مشکلات تا به ترازی منطبق بر خطرهای رویارو؛
- انجام کنترل‌ها برای یافتن اطمینان از این که اقدام اصلاحی مؤثر انجام شده است؛
- انجام و ثبت تغییرات در روش‌هایی که منتج به اقدام اصلاحی می‌شود.

جدول ج-1- حداقل تناوب‌های آزمون

	خواص	بند	یادآوری‌ها	روش آزمون	حداقل تناوب آزمون
1	چگالی انبوهی فله‌ای	4-2-1		استاندارد بند 2-8	یکبار هر روز یا یکبار در هر $1000m^3$
2	چگالی ذرات	4-2-2		استاندارد بند 2-10	یکبار هر ماه یا یکبار در هر $20000m^3$
3	دانه بندی	4-4		استاندارد بند 2-4	یکبار هر هفته یا یکبار در هر $5000m^3$
4	مقدار ریزدانه‌ها	4-6		استاندارد بند 2-4	یکبار هر هفته یا یکبار در هر $5000m^3$
5	دانه بندی پرکننده‌ها	4-7		استاندارد بند 2-7	یکبار هر هفته
6	جذب آب	4-8		استاندارد بند 2-10	یکبار هر ماه یا یکبار در هر $20000m^3$
7	مقدار آب	4-9		استاندارد بند 2-9	یکبار هر روز یا یکبار در هر $1000m^3$
8	مقاومت در برابر خردشدگی	4-10		پیوست الف	یکبار هر روز یا یکبار در هر $20000m^3$
9	درصد دانه‌های خرد شده	4-11		استاندارد بند 2-6	دو بار هر سال
10	مقاومت در برابر فروسایی	4-12	فقط در نبود سابقه تجربه درازمدت تعیین شود	پیوست ب	دو بار هر سال
11	مقاومت در برابر یخ زدن و آب شدن	4-13	فقط در نبود سابقه درازمدت تعیین شود	پیوست پ	دو بار هر سال
12	کلراید	5-2		بند 7 استاندارد بند 2-11	دو بار هر سال
13	سولفات‌های محلول در اسید	5-3-1		بند 12 استاندارد بند 2-11	دو بار هر سال
14	مقدار کل گوگرد	5-3-2		بند 11 استاندارد بند 2-11	دو بار هر سال
15	افت وزن در اثر حرارت (فقط برای خاکسترها)	5-4		بند 17 استاندارد بند 2-11	دو بار هر سال
16	آلاینده‌های آلی	5-5		بند 3-15 استاندارد بند 2-11	دو بار هر سال
17	واکنش‌زایی قلیایی-سیلیس	5-6		2	در صورت لزوم و در موارد مشکوک

ادامه جدول ج-1- حداقل تناوب‌های آزمون

خواص		بند	یادآوری‌ها	روش آزمون	حداقل تناوب‌های آزمون
18	مواد خطرناک[3] به ویژه: انتشار رادیو اکتیو رهـا شـدن فلـزات سنگین رهاشـدن کـربن‌هـای پلی‌آروماتیک	ج-3-3 ج-4		[3]	در صورت لزوم و در موارد مشکوک
1- مطابق مقررات معتبر در محل مصرف 2- در جایی که دو تناوب آزمون ذکر شده است، حداقل به کار برده می‌شود. 3- فقط در صورت لزوم برای اهداف نشانه‌گذاری، مگر آنکه به صورت دیگری مشخص شده باشد.					

ج-8 حمل، انبارداری و شرایط محوطه تولید

تولید کننده باید تدابیر لازم برای حفظ کیفیت فراورده در طی حمل و انبارداری را اتخاذ کند.

یادآوری- این تدابیر باید موارد زیر را در نظر داشته باشد:

- آلودگی فراورده
- جداشدگی
- تمیزی تجهیزات حمل و محوطه انبار.

ج-9 بسته بندی و حمل

حمل و نقل: سامانه کنترل تولید کارخانه‌ای تولید کننده باید حـوزه مسـئولیت خـود را در ارتبـاط بـا انبارداری و حمل، مشخص کند.

یادآوری- هنگامی‌که سنگدانه‌ها بصورت فله‌ای حمل می‌شوند، ممکن است لازم باشد سنگدانه‌ها برای کاهش آلودگی پوشانده یا در مخزنی قرار داده شوند.

بسته بندی: اگر سنگدانه‌ها بسته‌بندی می‌شوند روش‌ها و مواد مورد استفاده نباید باعث آلوده شدن یـا تنزل کیفیت سنگدانه به میزانی شود که خواص آن قبل از خارج سازی از بسته‌بندی تغییر مهمی کند. هرگونه پیش‌بینی لازم برای رسیدن به این که در طی حمل و انبارداری سنگدانه بسته‌بندی شـده، کـه باید بر روی بسته‌بندی یا اسناد همراه مشخص شود.

آموزش کارکنان: تولیدکننده باید روش‌های آموزش همه کارکنانی که در سامانه تولید کارخانه دخیل هستند را ایجاد و نگهداری کند. گواهی‌های مناسب آموزش باید نگهداشته شود.

مراجع

1- قربانی، م. ، (1387) ، "پرلیت و پوکه‌های معدنی"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

2- اسکویی، ا. ، (1366) ، "گزارش عملیات اکتشافی پرلیت شیرین بلاغی، عجمی، آبک"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مرکز تبریز

3- نبیان، ا. ، (1358) ، "طرح مقدماتی بهره برداری از معدن پرلیت سفید خانه"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

4- باباخانی، ع. ، حسین خان ناظر، ن. ، (1361) ، " دیاتومیت‌های جنوب اردبیل"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

5- بهروزی، ا. ، (1364) ، "گزارش مقدماتی دیاتومیت در آذربایجان"، با نظارت افتخار نژاد، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور

6- شرکت تحقیقات و کاربرد مواد معدنی ایران ، (1386) ، "تولید مصالح سبک وزن از پرلیت های استان اردبیل"، مشاور: گروه پژوهشی زرنه

7- پایگاه داده‌های علوم زمین ایران، "www.ngdir.ir "

8- رحمانی، ح. ، یزدانی، م. ، نیکودل، م. ، (1389) ، " تعیین خصوصیات مهندسی پوکه های معدنی دماوند و امکان سنجی موارد کاربرد آنها در صنعت ساختمان"، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد

9- پایگاه اینترنتی شرکت گیلان میکا، "www.gilanmica.com"

10- سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران شماره 7657: 1390، سبکدانه برای بلوک‌های بنایی بتنی- ویژگی‌ها

11- سازمان استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، استاندارد ملی ایران شماره 4985: 1390، سنگدانه- سبکدانه برای بتن سازه‌ای - ویژگی‌ها

12- DIN 18557:1997 Factory mortar - Production, control and delivery

13- DIN 1053-1:1996 Masonry, Part 1: Design and construction

14- Spisez P., Yu Q. L. and Brouwers J. H., " Development of Lightweight Mortars Targeted on the High Strenght, Low Density and Low Permeability" , Advances in cement and concrete technology in Africa

15- Ilter O., "Use of Pumice in Mortar and Rendering of Lightweight Building Blocks", Eastern Mediterranean University September 2010

16- Kramar D., Bindiganavile V., " Impact response of lightweight mortars containing expanded perlite", Cement & Concrete Composites 37 (2013) 205–214

17- Gadea J., Rodriguez A., Campos P.L., Garabito J., Calderń V., "Lightweight mortar made with recycled polyurethane foam", Cement & Concrete Composites 32 (2010) 672–677

18- Lanzon Torres M, Garcia-Ruiz PA. "Lightweight pozzolanic materials used in mortars: evaluation of their influence on density, mechanical strength and water absorption", Cem Concr Compos 2009;31:114–9.

19- IMIDRO, (2005), " Mines and Mining in Iran", Relations Department of Iranian Mines and Mining Industries, Development and Renovation Organization
20- Kogel, I., Trivedi, N., Barker, J. and Krukowsk, S., (2006), "Industrial Minerals & Rocks: Commodities, Markets and Uses", Society for Mining Metallurgy
21- United States Geological Survey (USGS) Minerals Resources Program, Mineral Yearbooks of 2003-2009
22- ASTM C294, Standard Descriptive Nomenclature for Constituents of Concrete Aggregates
23- ASTM C270 – 14, Standard Specification for Mortar for Unit Masonry
24- ASTM C331:2005 Standard Specification for Lightweight Aggregates for Concrete Masonry Units
25- ASTM C330:2009 Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete
26- ASTM C332:2007 Standard Specification for Lightweight Aggregates for Insulating Concrete
27- C1329 Specification for Mortar Cement
28- C1384 Specification for Admixtures for Masonry Mortars
29- C144 Specification for Aggregate for Masonry Mortar
30- C952 Test Method for Bond Strength of Mortar to Masonry Units
31- C1586 Guide for Quality Assurance of Mortars
32- C780 Test Method for Preconstruction and Construction Evaluation of Mortars for Plain and Reinforced Unit Masonry
33- C952 Test Method for Bond Strength of Mortar to Masonry Units
34- EN 1015-1:1998 , Methods of test for mortar for masonry - Part 1: Determination of particle size distribution (by sieve analysis) substrates
35- EN 1015-2:1998 , Methods of test for mortar for masonry - Part 2: Bulk sampling of mortars and preparation of test mortars
36- EN 1015-3:1999 , Methods of test for mortar for masonry - Part 3: Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)
37- EN 1015-4:1998 , Methods of test for mortar for masonry - Part 4: Determination of consistence of fresh mortar (by plunger penetration)
38- EN 1015-6:1998 , Methods of test for mortar for masonry - Part 6: Determination of bulk density of fresh mortar
39- EN 1015-7:1998 , Methods of test for mortar for masonry - Part 7: Determination of air content of fresh mortar
40- EN 1015-9:1999 , Methods of test for mortar for masonry - Part 9: Determination of workable life and correction time of fresh mortar
41- EN 1015-10:1999 , Methods of test for mortar for masonry - Part 10: Determination of dry bulk density of hardened mortar
42- EN 1015-11:1999, Methods of test for mortar for masonary - Part 11: Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar
43- EN 1015-12:2000 , Methods of test of mortar for masonry - Part 12: Determination of adhesive strength of hardened rendering and plastering mortars on substrates
44- EN 1015-17:2000, Methods of test for mortar for masonry - Part 17: Determination of water-soluble chloride content of fresh mortars
45- EN 1015-18:2002, Methods of test for mortar for masonry - Part 18: Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar
46- EN 1015-19:1998 , Methods of test for mortar for masonry - Part 19: Determination of water vapour permeability of hardened rendering and plastering mortars

47- EN 1015-21:2002 , Methods of test for mortar for masonry - Part 21: Determination of the compatibility of one-coat rendering mortars with
48- EN 13055-1:2002/AC:2004 , Lightweight aggregates - Part 1: Lightweight aggregates for concrete, mortar and grout
49- EN 13139:2002 , Aggregates for mortar
50- EN 13395-1:2002 , Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of workability - Part 1: Test for flow of thixotropic mortars
51- EN 13395-2:2002 , Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of workability - Part 2: Test for flow of grout or mortar
52- EN 13395-4:2002 , Products and systems for the protection and repair of concrete structures - Test methods - Determination of workability - Part 4: Application of repair mortar overhead
53- EN 13892-6:2002 , Methods of test for screed materials - Part 6: Determination of surface hardness
54- EN 13892-7:2003 , Methods of test for screed materials - Part 7: Determination of wear resistance to rolling wheel of screed material with floor coverings
55- EN 15167-1:2006 , Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout - Part 1: Definitions, specifications and conformity criteria
56- EN 15167-2:2006 , Ground granulated blast furnace slag for use in concrete, mortar and grout - Part 2: Conformity evaluation
57- Mladenovic A, Suput JS, Ducman V, Skapin AS. Alkali–silica reactivity of some frequently used lightweight aggregates. Cem Concr Res 2004;34:1809-16.
58- Topcu IB, Isikdag˘ B. Effect of expanded perlite aggregate on the properties of lightweight concrete. J Mater Proc Technol 2008;204(1–3):34-8.
59- Yu L-H, Ou H, Lee L-L. Investigation of pozzolanic effect of perlite powder in concrete. Cem Concr Res 2003;33:73–6.
60- Bischoff PH, Yamura K, Perry SH. Polystyrene aggregate concrete subjected to hard impact. In: Proc. Inst. Civ. Engrs, Part 2, vol. 89, June; 1990. p. 225–39.
61- Gibson LJ, Ashby MF. Cellular solids: structure and properties. 2nd ed. Cambridge University Press; 1997.
62- Bakos JD. Scale model study of low density concrete impact attenuators.
63- Accession number PB2843779, Ohio DOT; 1978. p. 191.
64- Le JL, Koh CG, Wee TH. Damage modeling of high strength lightweight concrete under impact. Mag Concr Res 2006;58(6):343–55.
65- Smith E, Thompson JN. A study of vermiculite concrete as a shock isolating material, Accession no: AD0431606, Defence Technical Information Center, Fort Belvoir, VA; 1963. p. 247.
66- Zhang ML, Li L, Paramasivam P. Flexural toughness and impact resistance of steel fibre reinforced lightweight concrete. Mag Concr Res 2004;56(5):251-62.
67- Lin W, Wang H. Glass fiber reinforced lightweight concrete modified with polymer latex. In: Proceedings: international symposium on fibre reinforced cement and concrete, RILEM, Sheffield UK; 1992. p. 921–25.
68- CAN/CSA A 23.1. Concrete materials and methods of concrete construction/ methods of test and standard practices for concrete. Canadian Standards Association; 2004.
69- Perlite Italiana. What is Perlite? 2009., www.perlite.it/en/CosaPerlite.asp.
70- Zhang M-H, Grorv OE. Microstructure of the interfacial zone between lightweight aggregate and cement paste. Cem Concr Res 1990;20:610–8.

71- Yang K-H, Ashour AF. Aggregate interlock in lightweight concrete continuous deep beams. Engineering Structures 2011; 33:136–45.
72- ASTM C469. Standard test method for static modulus of elasticity and poison's ratio of concrete in compression. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2002.
73- ASTM C1609-05. Standard test method for flexural performance of fiberreinforced concrete – using beam with third-point loading. West Conshohocken (PA): ASTM International; 2005. p. 8.
74- JSCE-G 552. Test method for bending strength and bending toughness of steel fiber reinforced concrete. Japan Society of Civil Engineering; 1999.
75- Gutt W, Nixon PJ. Use of waste materials in the construction industry. Analysis of the RILEM symposium by correspondence. Mate´ riaux et Constructions 1979;12(4):255–06.
76- ACI 213R-03, Guide for Structural Lightweight-Aggregate Concrete, ACI Committee 213, American Concrete Institute, 2003
77- Temiz H, Kose MM, Koksal S. Effects of portland composite and composite cements on durability of mortar and permeability of concrete. Construct Build Mater 2007; 21:1170-6.
78- Zhang M, Giorv OE. Microstructure of the interfacial zone between lightweight aggregate and cement paste. Cem Concr Res 1990;20:610–8.
79- Wasserman R, Bentur A. Interfacial interaction in lightweight aggregate concretes and their influence on the concrete strength. Cem Concr Compos 1996;18:67–76.
80- Elsharief A, Cohen MD, Olek J. Influence of lightweight aggregates on the microstructure and durability of mortars. Cem Concr Res 2005;35:1368–76.
81- Moropoulou A, Bakolas A, Aggelakopoulou E. Evaluation of pozzolanic activity of natural and artificial pozzolans by thermal analysis. Thermochim Acta 2004;420:135–40.
82- Khandaker M, Hossain A. Properties of volcanic pumice based cement in lightweight concretes. Cem Concr Res 2004;34:283–91.
83- Yu L-H, Ou H, Lee L-L. Investigation on pozzolanic effect of perlite powder in concrete. Cem Concr Res 2003;33:73–6.
84- Babu KG, Babu DS. Behaviour of lightweight expanded polystyrene concrete containing silica fume. Cem Concr Res 2003;33:755–62.
85- EN 196-1:1994. Methods of testing cement. Part 1. European Committee for Standardization.
86- EN 1015-11:1999. Methods of test for mortar for masonry. Part 11: determination of flexural and compressive strength of hardened mortar. European Committee for Standardization.
87- Hall C. Water movement in porous building materials-I. Unsaturated flow theory and its applications. Build Environ 1977;12:117–1125.
88- EN 1015-18:2002. Methods of tests for mortars for masonry. Part 18: determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar. European Committee for Standardization.
89- Pay J, Borrachero MV, Monz´ J, Peris-Mora E, Amahjour F. Enhanced conductivity measurement techniques for evaluation of fly ash pozzolanic activity. Cem Concr Res 2001;31:1–49.
90- Luxan MP, Madruga F, Saavedra J, Rapid evaluation of pozzolanic activity of natural products by conductivity measurements. Cem Concr Res 1989;19:63–8.
91- EN 1015-3:1998. Methods of tests for mortars for masonry. Part 3: determination of consistence of fresh mortar (by flow table). European Committee for Standardization.

92- ACI 232, Fly Ash and Natural Pozzolans, , March 24, 2014, American Concrete Institute
93- Masonry Information: Mortar Cement, Portland Cement Association, 2002
94- Davidson,J.I., "MasonryMortar", Canadian Building Digest, CBD 163, Ottawa, ONT, Division of Building Research, National Research Council of Canada, 1974

95- استاندارد ملی ایران شماره 9150-3، ملات بنایی – روش آزمون- قسمت سوم – تعیین روانی ملات تازه (به وسیله میز روانی)
96- استاندارد ملی ایران شماره 9150-6، ملات بنایی – روش آزمون- قسمت ششم – تعیین جرم‌حجمی ملات تازه
97- استاندارد ملی ایران شماره 9150-7، ملات بنایی – روش آزمون- قسمت هفتم – تعیین مقدار هوای ملات تازه
98- استاندارد ملی ایران شماره 9150-9، ملات بنایی – روش آزمون- قسمت نهم – تعیین عمر کارایی و زمان تصحیح ملات تازه
99- استاندارد ملی ایران شماره 9150-10، ملات بنایی – روش آزمون- قسمت دهم – تعیین چگالی انبوهی خشک ملات سخت شده
100- استاندارد ملی ایران شماره 9150-11، ملات بنایی – روش آزمون- قسمت یازدهم – تعیین مقاومت خمشی و فشاری ملات سخت شده
101- استاندارد ملی ایران شماره 9150-12، ملات بنایی – روش آزمون- قسمت دوازدهم – تعیین مقاومت چسبندگی ملات‌های اندودکاری بیرونی و داخلی سخت شده، به مصالح زیرکار
102- استاندارد ملی ایران شماره 9150-17ملات بنایی – روش آزمون- قسمت هفدهم – تعیین مقدارکلراید محلول در آب برای ملات‌های تازه
103- استاندارد ملی ایران شماره 9150-18، ملات بنایی – روش آزمون- قسمت هیجدهم – تعیین ضریب جذب آب موئینه ملات سخت شده
104- استاندارد ملی ایران شماره 9150-19، ملات بنایی – روش آزمون- قسمت نوزدهم – تعیین نفوذ بخار آب ملات‌های اندودکاری بیرونی و داخلی سخت شده
105- استاندارد ملی ایران شماره 9150-21، ملات بنایی – روش آزمون- قسمت بیست و یکم – تعیین سازگاری ملات‌های اندودکاری بیرونی یک لایه با مصالح زیرکار
106- ویسه سهراب، میرصالح میرمحمدی، "منابع سبکدانه‌های طبیعی و مصنوعی در ایران"، اولین کنفرانس ملی بتن سبک، دانشکده فنی دانشگاه تهران، 26 -27 بهمن 1390