

بتن سیلیکاتی
یا
بتن سیلیسی - آهکی
روش تولید و موارد کاربرد آن
نوشته:

مهدی قالببافیان

استادیار درس بتن آرمه دانشکده فنی دانشگاه تهران

سرپرست آزمایشگاه مصالح ساختمانی دانشکده فنی

خلاصه

از بتن آهکی توپر برای تهیه آجر سیلیکاتی و پیش ساختن قطعات ساختمانی بدون آرماتور یا با آرماتور استفاده میشود. بطور کلی میتوان بتن آهکی را در تمام موارد، مگر برای بتن ریزی درجا، بجای بتن سیمانی مصرف کرده و ۲۰ تا ۳۰ درصد در هزینه تولید صرفه جوئی نمود. از بتن آهکی متخلخل میتوان برای ساختن قطعات مورد استفاده در بنائی، صفحات پیش ساخته برای جداگرهای داخلی و دیوارهای خارجی استفاده کرد. همچنین بتن آهکی متخلخل را میتوان بعنوان عایق حرارتی بسیار خوب مورد استفاده قرار داد. قیمت قطعات ساخته شده از بتن آهکی متخلخل و سرمایه‌گذاری اولیه برای ایجاد واحدهای تولید این قطعات نیز بنحو چشمگیری از قطعات مشابه بتن سیمانی کمتر است.

قطعات ساخته شده از بتن آهکی توپر یا متخلخل را میتوان ضمن ساخت یا پس از ساخت بطرق مختلف پرداخت و روکاری نموده و بعنوان قطعات نما مورد استفاده قرارداد.

۱- پیشگفتار

پنج سال پیش، وقتی مسئله کمبود سیمان در کشور پیش آمد، موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران مطالعاتی را در زمینه امکان استفاده از مصالح دیگر بجای

احتیاج روزافزون به مسکن و تمایل به بالا بردن کیفیت، ایمنی و پایداری ساختمانها سعی در تقلیل هزینه، پژوهش مداومی را در زمینه مصالح ساختمانی و روشهای ساختمان ایجاب نموده است.

بتن سیلیسی - آهکی یا بتن "آهکی" را میتوان یکی از نتایج موفقیت آمیز این پژوهشها دانست. بتن آهکی از تسریع واکنش بطنی سیلیکاتی شدن مواد سیلیسی و آهکی که بصورت گرد نرم با هم مخلوط شده اند، بکمک حرارت، رطوبت و فشار بدست میآید.

مواد اولیه ای که برای ساختن بتن آهکی بکار برده میشوند عبارتند از ماسه سیلیسی و آهک پخته. روشهای جدید تولید بتن آهکی کاربرد ماسه های ناخالص را که سیلیس آنها در حدود ۶۰ درصد میباشد نیز میسر ساخته و باین ترتیب محدودیت در پیدا کردن مواد اولیه مناسب تقریباً از بین رفته است.

بسته به طرزتولید میتوان بتن آهکی را بصورت متخلخل که وزن مخصوص آن بین ۳۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری آن ۱۵ تا ۷۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع میباشد و یا بصورت توپر که وزن مخصوص آن ۱۸۰۰ تا ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری آن ۱۵۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است، تهیه نمود.

آتشفشانی که در آب حالت کلوئیدی بخود میگیرند بسیار فعال بوده و در شرایط مناسب میتوانند واکنش نسبتاً سریع نشان داده و سیلیکات بوجود بیاورند.

این خاصیت از دیرباز شناخته شده و مخصوصاً در ایران از زمانهای بسیار قدیم آنرا دانسته و بخدمت گرفته بوده اند. ساروج شاهد زنده این مدعی است و هنوز هم در روستاهای جنوب ایران از سوزاندن پرزگل نی یا "لویی" و مخلوط کردن آن با آهک و یا از پختن مخلوط مارن و گاه ملات آبی بدست میآورند.

آثار ساختمانهای دریائی در سواحل جنوب ایران که قبل از اختراع روش پخت سیمان ساخته شده اند و هنوز پابرجا هستند نشانه دیگری از مصرف ملاتهای آبی است.

در سالهای اخیر هم تحت نظر آقای مهندس احمد حامی پژوهش هایی در این زمینه انجام گرفت که شامل آزمایش یک سری مکعب ساخته شده از مخلوط خاک رس و آب آهک بود که در شرایط مختلفی نگهداری میشدند. نتایج آزمایش این نمونه ها نیز وجود واکنش بطی سیلیکاتی شدن را بوضوح نشان میداد.

علیرغم شناخته بودن این خاصیت، استفاده از آن در صنعت ساختمان بعلت کند و طولانی بودن واکنش، میسر نبود. وجود سایر اجسام چسباننده که باندازه کافی و به قیمت بالنسبه ارزان قابل تهیه بودند نیز مانع از این میشد که بمسئله بطی سیلیکاتی شدن توجهی مبذول گردد.

نیاز روزافزون به مسکن وسیعی درتقلیل هرچه بیشتر قیمت تمام شده ساختمانها عده ای از اهل فن را بر آن داشت که امکانات دیگری را، به غیر از امکانات موجود، مورد مطالعه و بررسی قرار بدهند. یکی از این امکانات واکنش سیلیکاتی شدن بطی و روشهای تسریع آن بود. برای تسریع این واکنش از ساده ترین و شناخته شده ترین روشها یعنی ازدیاد رطوبت، حرارت و فشار، استفاده گردید. بعبارت دیگر بکمک بخار آب تحت فشار، سرعت تشکیل سیلیکاتها و هیدراته شدن آنها را تا حدی افزایش دادند که بتوان از آن درکار ساختمان استفاده نمود. باین ترتیب "بتن سیلیکاتی" یا "بتن سیلیسی - آهکی" یا بطور ساده "بتن آهکی" متولد گردید:

در اولین قدمها، مواد سیلیسی تقریباً خالص و آهک پخته را مورد آزمایش قرار دادند و برای تسهیل واکنش آنها را بصورت گرد نرم درآورده و سپس با هم و با آب مخلوط

سیمان آغاز نمود. از جمله در کمیسیون فنی "بتن - بتسن آرمه" این مسئله مورد بحث قرار گرفته و پس از مطالعه مدارکی از منابع شوروی که به کمیسیون ارائه شده بود، گزارشی تهیه گردید که در آن استفاده از آهک بجای سیمان پیشنهاد شده و توصیه گردیده بود که برای شناسائی هرچه بیشتر تکنیک "بتن آهکی" با مراجع علمی و فنی کشور اتحاد جماهیر شوروی تماس گرفته شود.

بر اساس گزارش مزبور اقداماتی از طرف موسسه استاندارد بعمل آمده و با پی گیری و توجه خاص اولیاء موسسه، به سازمان یافتن یک بازدید فنی از کشور اتحاد جماهیر شوروی منجر گردید. این بازدید از روز شنبه ۵/۷/۵۴ آغاز و مدت هشت روز بطول انجامید.

طی این مدت، ابتدا "انستیتوی تحقیقات بتسن سیلیکاتی مسکو" بازدید و با پژوهشگران انستیتوی مزبور بمنظور آشنائی با مبانی علمی "بتن سیلیکاتی" و روش های تولید و کاربرد آن مذاکراتی بعمل آمد.

سپس یک "مجتمع تولید مصالح و قطعات بتسن سیلیکاتی" در شهر گرودنو، در مرز لهستان بازدید و با تکنیکهای عملی مربوط به تولید و کاربرد بتن آهکی و امکاناتی که استفاده از بتن سیلیکاتی در اختیار صنعت ساختمان قرار میدهد آشنائی حاصل گردید.

قسمت عمده یادداشتهای حاضر ره آورد بازدید فنی یاد شده است که در دومین کنگره ایرانی مهندسی راه و ساختمان در دانشگاه شیراز، ۱۳ تا ۱۷ اردیبهشت ماه ۱۳۵۵، نیز مطرح و مورد بررسی قرار گرفته اند.

۲- تاریخچه

بتن سیلیکاتی یا بتن آهکی یکی از مصالح جدید است که در صنعت ساختمان مصرف وسیعی پیدا کرده. این ماده ساختمانی علیرغم جدید بودن دارای سابقه تاریخی طولانی است. در واقع سیمان بطور اساسی مرکب از سیلیکاتهای کلسیم است که واکنش آنها با آب حالت گرفتن و سخت شدن را پدید میآورد. این سیلیکاتها از پختن مخلوطی از خاک رس و سنگ آهک در درجات حرارت بالا بوجود میآیند.

در شرایط متعارف محیط نیز ممکن است از ترکیب مواد سیلیسی و آهکی، سیلیکاتهای کلسیم با همان خواص سیمان بوجود بیایند.

مخصوصاً بعضی از مواد سیلیسی مانند خاکسترهای

مکعب و مقاومت فشاری آنها بین ۱۰ تا ۱۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع تغییر مینماید .

۴ - مواد اولیه

مواد اولیه ای که بطور عموم برای تهیه جسم چساننده بتن های سلیکاتی مصرف میشوند آهک پخته و ماسه سیلیسی میباشد . ولی خاکستر نیروگاههای برق حرارتی ، روبراره کوره های بلند و بطور کلی هرگونه فضولات صنعتی سیلیسی قابل مصرف برای تهیه جسم چساننده " سیلیسی - آهکی " میباشد .

آهک پخته مورد نیاز برای بتن سلیکاتی را از پختن سنگ آهک یا گل سفید بدست میآورند . برای پختن سنگ آهک معمولا " از کوره قائم و برای پختن گل سفید از کوره افقی دوار استفاده مینمایند . در حالت اخیر معمولا " با استفاده از یک " پیش گرمکن " مصالح را ابتدا تا ۸۰۰ درجه سانتیگراد گرم و خشک کرده و سپس وارد کوره نموده و در حرارت حدود ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد میبزند . این امر به تقلیل هزینه پخت منجر میگردد .

انواع ماسه های قابل استفاده برای تهیه جسم چساننده بتن سلیکاتی بسیار زیاد است . نه تنها ماسه کوارتزی خالص بلکه ماسه های سیلیسی که دارای مقدار مشخصی فلدسپات ، کربنات و سایر ناخالصی ها نیز هستند قابل مصرف میباشد .

اگر ماسه دارای ۶۰ الی ۷۰ درصد سیلیس باشد قابل مصرف برای ساختن بتن سلیکاتی خواهد بود ولی اگر مقدار سیلیس کمتر از این حد باشد ، نظر باینکه مقدار مصالحی که باید برای تامین سیلیس مورد نیاز جسم چساننده آسیاب شود زیاد میشود ، از سوئی قیمت جسم چساننده افزایش یافته و از سوی دیگر مقدار زیاد ناخالصی ها واکنش سلیکاتی شدن را مختل میسازد .

همچنین از ماسه سیلیسی بعنوان جسم پرکننده بتن سلیکاتی استفاده میشود ولی برای این منظور ، استفاده از مصالح سنگی دانه درشت ، نظیر آنچه که در بتن معمولی سیمانی مصرف میشود ، نیز میسر میباشد .

مواد اولیه فوق عبارت از مصالح اصلی تشکیل دهنده بتن آهکی میباشد ولی همانطور که در بتن سیمانی معمول است مواد دیگری نیز بمقدار کم و بعنوان ، ماده " معین " وبمنظور تغییر یا بهبود بعضی از خواص بتن آهکی

نموده و با بخار آب عمل آوردند . نتیجه بسیار رضایست بخش بود و با افزودن گرد آلومینیوم به این مخلوط جسم اسفنجی شکل نسبتا " مقاومی بدست آوردند که در واقع یک میکروبتن با بافت متخلخل بود و ما آنرا بتن سلیکاتی متخلخل خواهیم نامید . گو اینکه این بتن برای ساختن اجزاء باربر ساختمان قابل استفاده نبود ولی میتوانست برای ساختن قسمتهای غیر باربر مثل تیغه ها و جداگرها بکار برده شود وبالاخص وزن مخصوص کم آن نسبت به مصالح دیگری که کاربرد مشابه داشتند ، مزیت تعیین کننده ای بشمار میآمد و باین دلیل در مدت کمتر از دهسال استفاده از بتن سلیکاتی متخلخل عالمگیر شد .

تهیه مواد سیلیسی تقریبا " خالص و گرد کردن آن ، جز در مواردیکه خاکسترهای سیلیسی آشفشانی در دسترس بودند ، مشکل و پرخرج بوده و لذا تحت همه شرایط استفاده از بتن سلیکاتی نمیتوانست از لحاظ اقتصادی قابل توجیه باشد . با توجه به این نکته عده ای به این فکر افتادند که از مخلوط سیلیس و گردآهک ، نظیر سیمان استفاده نمایند یعنی آنرا بعنوان جسم چساننده بکار برده و بکمک آن دانه های سنگی دیگری را که نقش پرکننده دارند بهم چسانندوباین ترتیب فکر تهیه آجرهای سلیکاتی بوجود آمد و در زمان کوتاهی جامه عمل پوشید .

اتحاد جماهیر شوروی اولین کشوری بود که در راه ساختن قطعات باربر ساختمانی بابعاد بزرگ با بتن سلیکاتی ، نه بصورت میکروبتن متخلخل بلکه بصورت بتنی مشابه بتن سیمانی معمولی ، قدم نهاد .

پژوهشگران شوروی موفق شدند برای اولین بار بتن سلیکاتی سنگین در مقیاس صنعتی تهیه نموده و در پیش ساختن ساختمانها بکار گیرند و پژوهش های همه جانبه ای که در این زمینه بعمل آوردند منجر به تدوین مدارک فنی و استانداردهای مربوط به این تکنیک گردید .

۳- بتن های آهکی یا بتن های سلیکاتی

" بتن های سلیکاتی " یا " بتن های آهکی " سنگهای مصنوعی هستند که از گرفتن و سخت شدن مخلوطی از مصالح سیلیسی و آهکی در اتوکلاو ، در درجه حرارت و فشار معین ، بدست میآیند .

بتن های سلیکاتی ممکن است توپر و یا متخلخل باشند . وزن مخصوص آنها بین ۳۵۰ تا ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر

– تهیه بتن از اختلاط جسم چسباننده، مصالح سنگی و آب به نسبت های معین، اینکار در مخلوط کننده‌هایی که شبیه دستگاه‌های بتن‌ساز معمولی هستند انجام می‌پذیرد. با این تفاوت که میزان آب بتن کم بوده و بتن نه بصورت خمیر بلکه بصورت "اماج" در می‌آید.

– جا دادن بتن در قالب و تنظیم سطح آن. بتن بوسیله دستگاه مخصوص بتن ریزی در قالبی ریخته می‌شود که روی میز مرتعش قرار دارد. بتن بوسیله لرزش در قالب حاد داده شده و سطح آن یکمک و سائلی که روی دستگاه بتن ریز نصب شده است تسطیح و پرداخت می‌شود. برای انجام عملیات فوق دستگاه بتن ریز در طول قالب حرکت مینماید. – عمل آوردن بتن یکمک حرارت و رطوبت یا بعبارت ساده تر "پختن بتن". قطعه پس از قالب گیری با قالب به داخل اتوکلاو منتقل شده و در آنجا بوسیله بخار آب اشباع، تحت فشار ۸ تا ۱۶ اتمسفر و درجه حرارت ۱۷۴/۵ تا ۲۰۳ درجه سانتیگراد عمل آورده می‌شود. ضمن اینکار هیدرو سیلیکات‌های کلسیم در مخلوط ایجاد شده و آنرا به حسم مقاومتی تبدیل مینمایند.

عمل آوردن شامل سه مرحله است:

– بالا بردن درجه حرارت (فشار) تا حد مورد نیاز
– ثابت نگهداشتن درجه حرارت (فشار) بمدت لازم. این مرحله دوره "ایزوترمیک" نامیده می‌شود.

– پائین آوردن درجه حرارت (فشار).

معمولا "اتوکلاوها به قطر ۳/۶ متر و طول ۱۸ تا ۲۰ متر بوده و به تنظیم کننده های خودکاری مجهز هستند که ما دقت زیاد و بدون دخالت متصدی، شرایط پیش بینی شده برای عمل آوردن بتن را در داخل اتوکلاو برقرار مینمایند. مهم – عمل آوردن قطعات ۷ تا ۱۰ ساعت طول میکشد و قطعه در موقع خروج از اتوکلاو صد درصد مقاومت خود را بدست آورده و میتواند بلافاصله به کارگاه حمل و نصب گردد.

با دآوری – بتن سیلیکاتی توپیر را با دستگاه‌های خودکار بصورت آجر قالب گیری کرده و در اتوکلاو عمل آورده و بنام "آجر سیلیکاتی" مصرف مینمایند.

۵ – ۲ – طرز تهیه بتن آهکی متخلخل

برای تهیه بتن آهکی متخلخل و جا دادن آن در قالب روش خاصی در اتحاد شوروی ابداع شده است که بنام "ویپروتکنیک" نامیده می‌شود. همچنین برای عمل آوردن

مخصوصا "بتن آهکی متخلخل به آن اضافه می‌شوند. مهمترین این مواد بشرح زیرند:

– سنگ گچ که بمقدار کم و بمنظور تنظیم زمان گیرش به مخلوط آهک و ماسه سیلیسی افزوده می‌شود.

– ماده تولیدکننده گاز که بمقدار کم و بمنظور ایجاد بافت متخلخل به مخلوط بتن اضافه میگردد.

این ماده تولید کننده گاز، معمولا "مانند بتن های متخلخل سیمانی، گرد آلومینیوم می باشد.

– سیمان که بمقدار جزئی و بمنظور تامین یکنواختی بافت بتن متخلخل و ایجاد شرایط مناسب برای تشکیل بافت مزبور به مخلوط بتن سیلیکاتی متخلخل اضافه میگردد. اضافه کردن سیمان به مخلوط درحالاتی صورت میگیرد که خواص آهک مصرفی باندازه کافی پایدار نباشد.

۵ – نحوه تولید

مواد اولیه ای که برای تهیه انواع مختلف بتن های سیلیکاتی بکار میروند یکسان میباشند ولی نحوه تولید بتن سیلیکاتی توپیر و بتن سیلیکاتی متخلخل و قطعاتی که با هر یک از این دو نوع بتن ساخته می‌شوند بکلی با یکدیگر متفاوت است.

۵ – ۱ – طرز تهیه بتن آهکی توپیر

روش تهیه بتن آهکی توپیر برای اولین بار در اتحاد جماهیر شوروی ابداع و بمرحله عمل درآمده است. این روش تولید، راه حل‌های جدیدی برای حل مشکلات مربوط به آماده کردن مواد اولیه، تهیه بتن، قالب گیری قطعات و عمل آوردن آنها در اتوکلاو ارائه میدهد.

مراحل مختلف تهیه بتن آهکی توپیر و ساخت قطعات ساختمانی از این بتن بشرح زیر است:

– تهیه جسم چسباننده "سیلیسی – آهکی" که از آسیاب کردن توام آهک پخته و ماسه سیلیسی با نسبت های مشخص و مقدار کمی سنگ گچ بدست می‌آید. بمنظور تامین یکنواختی هرچه بیشتر مشخصات جسم چسباننده، نظیر اکسید کلسیم فعال، سرعت ترکیب با آب، گرمزائی و غیره، حسم چسباننده پس از خروج از آسیاب به سیلوهای همگن سازی هدایت و قبل از مصرف یکبار دیگر بخوبی مخلوط می‌شود.

– سردودانه بندی کردن مصالح سنگی که بعنوان حسم پرکننده بکار خواهند رفت.

درست در همانموقع که افزودن درجه حرارت در داخل اتوکلاو با تمام میرسد در مرکز قطعه نیز درجه حرارت ماگزیم حاصل میگردد. برای سرد کردن قطعه در آخر مرحله عمل آوردن نیز روش مشابهی بکار برده میشود و قطعه به درجه حرارت ۳۰ تا ۳۵ درجه سانتیگراد از اتوکلاو خارج میگردد. این روش، زمان عمل آوردن را نسبت بروشهای متداول در کشورهای دیگر سه چهارم تا نصف تقلیل میدهد و رطوبت قطعه در موقع خروج از اتوکلاو نیز نسبت به سایر روشهای در حدود ۲۵ درصد کمتر بوده و باین ترتیب زمان کمتری را برای خشک شدن لازم دارد.

وجه تمایز این روش تولید قطعات بتن سلیکاتی متخلخل از روشهای دیگر عبارت از استفاده همه جانبه از لرزش چه در موقع اختلاط مواد و چه در موقع ریختن و جا دادن آن در قالب میباشد.

لرزاندن بتن در حین اختلاط همگن بودن مخلوط را افزوده و اجازه میدهد که آب اختلاط تقلیل یافته و مخلوطهای برونای دلخواه، با نسبت "آب به مواد جامد" کمتری تهیه شوند و در نتیجه بتن هائی با بافت بهتر و خواص فیزیکی و مکانیکی بخواخت تر و ممتاز تر بدست آیند. استفاده از لرزش در موقع جا دادن بتن، مدت زمان لازم برای کف کردن و باصطلاح "ور آمدن" بتن را به نصف تا یک سوم پائین آورده و زمان مراقبت از قطعات بتن ریزی شده را قبل از قرار دادن در اتوکلاو که بدون استفاده از لرزش ۲ تا ۳ ساعت است، به ۱/۲ تا ۱/۵ ساعت تقلیل میدهد.

این روش تولید اجازه میدهد که بتن های آهکی متخلخل مقاومتری بدست آوریم که قابل کاربرد برای ساختن قطعات برابر باشند. همچنین افت بتن های تهیه شده با این روش ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر است. آزمایشها و بررسی های انجام شده نشان داده اند که استفاده از "ویبروتکنیک" پایائی قطعات را نیز افزایش میدهد.

پادآوری - قطعات ساخته شده از بتن سلیکاتی متخلخل را ممکن است با استفاده از قالبهای انفرادی تهیه نمود و یا اینکه بتن را بصورت یک قطعه بزرگ قالب گیری کرده و قبل از قرار دادن در اتوکلاو بوسیله سیمهای نازکی که قبل از بتن ریزی در کف قالب خوابانده شده اند به اندازه های مورد نظر برید. از این روش معمولاً "برای تهیه بلوکهای که در بنائی بکار برده میشوند استفاده میگردد.

قطعات قالب گیری شده در اتوکلاو رژیم خاصی بررسی و اجرا گردیده است که در ارتباط با ویبروتکنیک زمان یک سیکل تولید را نسبت بروشهای متداول در سایر کشورها به نحو چشمگیری تقلیل میدهد.

مراحل مختلف تهیه بتن آهکی متخلخل و ساخت قطعات ساختمانی از آن با استفاده از "ویبروتکنیک" و رژیم خاص عمل آوردن بشرح زیر است:

- تهیه جسم چسباننده "سیلیسی - آهکی" که عیناً نظیر حالت بتن توپور است.

- تهیه گرد سنگ سیلیسی که بعنوان جسم پرکننده بکار خواهد رفت.

اینکار از طریق آسیاب کردن ماسه سیلیسی در آسیابهای گلوله ای یا میله ای، بصورت خشک یا تر انجام میپذیرد. معمولاً "روش تر ترجیح داده میشود و در اینحالت گرد سنگ سیلیسی بحالت تعلیق در آب به مخزن مخصوصی ریخته و پس از آنکه در آنجا کاملاً مخلوط و همگن گردید به مخزن کوچکتری که در محل اختلاط قرار دارد آورده شده و مصرف میگردد.

- اختلاط جسم چسباننده، گرد سنگ سیلیسی، گرد آلومینیوم، مقداری سیمان در صورت لزوم و آب بمقادیر تعیین شده.

اختلاط در مخلوطکننده های خاصی انجام میپذیرد که حین مخلوط کردن مواد، آنها را با تناوب مشخص میلرزاند.

- ریختن بتن در قالب و تنظیم سطح آن - بتن با مخلوطکن بر روی قالب آورده شده و در داخل آن ریخته میشود. قالب در روی میز مرتعش قرار داشته و در امتداد افقی با تناوب مشخصی لرزانده میشود و کم کم در اثر واکنش گرد آلومینیوم بتن کف کرده و حجم آن زیاد میگردد و باصطلاح "ور میآید". در انتهای این مرحله مقدار اضافی بتن را که از لبه های قالب بالازده بکمک سیم نازکی که روی لبه های قالب تکیه کرده و کشیده میشود، میبرند و بتن اضافی را برداشته، سطح قطعه را تنظیم مینمایند.

- عمل آوردن بتن بکمک حرارت و رطوبت در اتوکلاو. برای عمل آوردن بتن، در اتحاد شوروی روش خاصی ابداع شده است که اجازه میدهد قطعات را بدون اینکه در مقطع آنها گرادیان حرارتی ایجاد شود گرم نمایند. بعبارت دیگر رژیم افزایش حرارت (فشار) در داخل اتوکلاو طوری است که

– ریختن یک قشر نازک بتن آهکی زینتی روی قطعه پس از آغشته کردن آن به یک چسب کربناتی یا "کلوئید - سیمان".

– لعاب دادن سطح قطعات.

– روکاری و پرداخت سطح بوسیله رنگهای غلیظ. انجام روکاربهای فوق ممکن است بصورت دستی، نیمه خودکار و یا خودکار انجام پذیرد. صرفنظر از روش انجام، روکاری قطعات از یک سو باعث تنوع و خوشایند شدن نماها گشته و از سوئی دیگر پایائی دیوارهای خارجی و مقاومت آنها را به عوامل فرساینده جوی افزایش میدهد.

۷ – مشخصه های فیزیکی و مکانیکی بتن های آهکی

مشخصه های اصلی بتن های آهکی تابع خواص مواد تشکیل دهنده آنها و بطوراساسی هیدروسلیکات های کلسیم و نحوه تولید میباشند.

۱-۷ – مشخصه های اصلی بتن های آهکی توپر در اتحاد شوروی مشخصات فیزیکی و مکانیکی، امکانات ساختمانی بتن سیلیکاتی توپر و همچنین ظرفیت باربری و تغییر شکل پذیری قطعات ساخته شده از این بتن را تحت اثر خمش، فشار محوری و فشار برون محور، چه در زیر بارهای ایستائی و چه در زیر بارهای دینامیکی مورد مطالعه قرار داده اند. نتایج حاصل از این آزمایشها نشان میدهند که:

– وزن مخصوص بتن های آهکی توپر بطور متعارف بین ۱۸۰۰ تا ۲۱۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری آنها بین ۱۵۰ تا ۵۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع میباشد. مطالعات آزمایشگاهی نشان داده اند که بدست آوردن بتن های سنگین تر بوزن مخصوص تا ۲۴۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری تا ۱۰۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع نیز میسر است.

– باراء مقاومت های فشار مساوی، مقاومت کششی بتن آهکی از مقاومت کششی بتن سیمانی بیشتر و مقاومت برشی آن مساوی مقاومت برشی بتن سیمانی است.

– مقاومت در برابر سایش بتن آهکی از بتن سیمانی بیشتر و یا حداقل با آن مساوی میباشد.

– مقاومت بتن های آهکی به یخبندان بسیار خوب

مهم – چه قطعات بتن آهکی توپر و چه قطعات بتن آهکی متخلخل را میتوان بسته بمورد بدون آرماتور و یا با آرماتور ساخت. در صورت اخیر آرماتور بصورت پیش ساخته در قالب قرار داده میشود. روش طرح و محاسبه این قطعات عیناً نظیر قطعات بتن آرمه معمولی با بتن سیمانی بوده و ضوابط مربوط به آرماتور گذاری قطعات مزبور باید در مورد قطعات ساخته شده با بتن سیلیکاتی نیز رعایت گردند.

۶ – روکاری و پرداخت

بمنظور افزایش میزان پیش ساختگی، قطعات ساخته شده از بتن آهکی را که در نمای ساختمانها بکار خواهند رفت، نما سازی و روکاری کرده و سپس از کارخانه بیرون میفرستند. نما سازی ممکن است در حین قالب گیری قطعات و یا پس از عمل آوردن بتن در اتوکلاو، انجام پذیرد.

۱-۶ – روکاری در حین قالب گیری قطعات

اینکار بیکى از طرق زیر صورت میگیرد:

– ریختن یک قشر نازک بتن آهکی متخلخل رنگی در کف قالب.

– تشبیه مصالح سنگی شکسته با دانه بندی دلخواه و یا خرده سرامیک در کف قالب در یک بستر ماسه ای بوسیله چسبی که پس از بتن ریزی خاصیت چسبندگی خود را از دست میدهد. این مصالح به بتن آهکی که در قالب ریخته میشود چسبیده و پس از باز کردن قالب نمای خوشایندی ایجاد مینمایند.

– قراردادن سرامیک که روی کاغذ چسبانده شده است در کف قالب.

– شکل دادن به سطحی که در نما قرار خواهد گرفت با ایجاد برآمدگیها و فرورفتگیهای در کف قالب.

در تمام حالات فوق اصل بر این است که آن قسمت از بتن که در تماس با کف قالب میباشد در نمای ساختمان قرار بگیرد. روشهای دیگری نیز در دست مطالعه و در شروع کاربرد صنعتی میباشد که پرداخت و روکاری سطح آزاد قطعه قالب گیری شده و قرار دادن این سطح را در نما میسر میسازند.

۲-۶ – روکاری پس از عمل آوردن قطعات در اتوکلاو

پس از اتمام کار عمل آوردن بتن، روکاری بیکى از صورتهای زیر انجام میپذیرد:

– پاشیدن دانه های ریز سنگ شکسته روی قطعه پس از آغشته کردن آن به چسبی که از پلیمر و سیمان تهیه شده است.

با توجه به اینکه اغلب بارهای وارد به ساختمانها درازمدت میباشند، در نهایت امر، تغییر شکل قطعات ساخته شده از بتن آهکی از تغییر شکل قطعات مشابه ساخته شده از بتن سیمانی بیشتر نخواهد بود.

۲-۷- مشخصه های اصلی بتن های آهکی متخلخل آزمایشها و بررسی های انجام شده روی بتن های آهکی متخلخل نشان داده اند:

- وزن مخصوص بتن های آهکی متخلخل بطور متعارف بین ۵۰۰ تا ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری آنها بین ۳۵ تا ۷۵ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع است. تهیه بتن های آهکی سبک تر بوزن مخصوص تا ۳۵۰ کیلوگرم بر متر مکعب که فقط بعنوان عایق حرارتی مصرف میشوند و بتن های آهکی متخلخل، سنگین تر بوزن مخصوص بیشتر از ۷۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب نیز میسر میباشد.

- مقاومت بتن های آهکی متخلخل با وزن مخصوص آنها متناسب بوده و هرچه وزن مخصوص بیشتر باشد بتن مقاوم تر میباشد ولی آزمایشهای انجام شده نشان داده اند که با وزن مخصوص مساوی، بتن های متخلخل تهیه شده با استفاده از "ویبروتکنیک" مقاوم تر از بتن های متخلخل ساخته شده با سایر روشها میباشد.

- چسبندگی بتن های آهکی متخلخل با آرماتور خوبست ولی این بتن ها نیز مانند بتن های متخلخل سیمانی حفاظ کافی برای جلوگیری از زنگ زدن آرماتور بوجود نمیآورند. روی این اصل در صورت استفاده از آرماتور در قطعات ساخته شده از بتن آهکی متخلخل، باید آنرا قبلاً با مواد مخصوص ضد زنگ آغشته کرده و سپس بکار برد.

- بتن های آهکی متخلخل در مقابل عوامل مخرب محیطی، عوامل فرساینده هوا، اثر گاز کربنیک، یخبندان و دوره های متناوب تر و خشک شدن مقاوم بوده و پایداری خوبی از خود نشان میدهند ولی پایداری بتن های آهکی متخلخل تهیه شده بروش "ویبروتکنیک"، از بتن های آهکی مشابه که تهیه آنها بدون استفاده از ویبروتکنیک انجام گرفته بیشتر است.

۸- موارد کاربرد بتن آهکی

برای پیش ساختن قطعات مختلف ساختمانی، بتن آهکی میتواند جانشین بتن سیمانی گردد. اینکار در شوروی با موفقیت انجام گرفته و در حال حاضر قطعات متعددی

بوده و بطور متعارف ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ دوره متناوب یسرخ زدن و باز شدن یخ را در آزمایشگاه تحمل مینمایند.

- افت بتن های آهکی از بتن های سیمانی کمتر بوده و دوره های متناوب تر و خشک شدن را بهتر تحمل مینمایند.

- مقاومت بتن های آهکی در مقابل نفوذ آب در حد بتن سیمانی بوده و بهبود و افزایش آبدندی بتن های آهکی با سهولت بیشتر و هزینه کمتری نسبت به بتن های سیمانی انجام پذیر است. زیرا قابلیت نفوذ بتن تابع میزان دانه های بسیار ریز در مخلوط بوده و با افزایش این دانه ها قابلیت نفوذ کم میشود. در بتن سیمانی اینکار با افزایش گردسنگ یا سیمان قابل انجام است که افزایش گردسنگ خود اضافه کردن مقدار سیمان را ایجاب مینماید و افزایش سیمان خواه ناخواه قیمت تمام شده بتن را بالا میبرد. ولی با توجه با رزان بودن جسم چسباننده سیلیستی - آهکی، اینکار در مورد بتن سلیکاتی با هزینه بسیار کمی قابل انجام است.

- مقاومت بتن های آهکی در مقابل اثر عوامل مخرب جوی مانند اسید کربنیک، آب باران و غیره خوب بوده و پایداری این بتن هانظیر بتن های سیمانی است.

- چسبندگی بتن های آهکی به آرماتور در حد بتن های سیمانی است. تا وقتی که میزان رطوبت نسبی هوا از ۷۵ درصد کمتر باشد آرماتور در داخل این بتن ها زنگ نمیزند. در صورتیکه رطوبت نسبی هوا دائماً بیش از ۷۵ درصد بوده و سطوح بتن حفاظت نشده باشند خطر زنگ زدن برای آرماتورها بوجود میآید. در اینحالت برای از بین بردن خطر زنگ زدن باید آرماتور را با فرآورده های مخصوص ضد زنگ آغشته کرده و سپس در داخل بتن قرار داد. این ماده به چسبندگی بتن با آرماتور لطمه نمیزند.

- ظرفیت باربری قطعات ساختمانی ساخته شده از بتن آهکی مساوی ظرفیت باربری قطعات مشابه ساخته شده از بتن سیمانی با همان مقاومت فشاری میباشد.

- ضریب تغییر شکل بتن های آهکی ۱۰ تا ۲۵ درصد کمتر از بتن های سیمانی بوده و وارفتگی آن ها نیز ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر از بتن های مزبور است. باین ترتیب تغییر شکل قطعات ساخته شده از بتن های آهکی تحت اثر بارهای لحظه ای و کوتاه مدت ۱۰ تا ۲۵ درصد بیشتر از قطعات مشابه ساخته شده با بتن سیمانی بوده ولی افزایش تغییر شکل تحت اثر بارهای دراز مدت در طول زمان ۲۰ تا ۳۰ درصد کمتر است.

عناصری خواهند بود که در شرایط عادی بی اثر و غیرفعال بوده و با واکنش و گرفتن آنها بسیار کند است و لسی در اتوکلاو تحت اثر فشار و حرارت فعال شده و واکنش سریع از خود نشان داده و میگیرند.

پژوهشهای انجام شده در اتحاد شوروی که با استفاده از روشهای مدرن تجزیه شیمیایی، پتروگرافی، ترموگرافی، انکسار اشعه X و غیره بعمل آمده اجازه میدهند که در هر حالت مشخص، میزان تناسب مصالح موجود را برای تهیه بتن آهکی ارزیابی نموده و شرایط و روش بهینه آماده کردن مواد اولیه، شرایط تهیه بتن، جادادن بتن در قالبها، شرایط بهینه عمل آوردن بتن در اتوکلاو را براساس مشخصه‌های مصالح محلی بدست بیاوریم.

ضمن انجام پژوهش‌ها و تجربیات آزمایشگاهی در زمینه تئوری گرفتن و سخت شدن مصالح سیلیسی - آهکی تحت اثر آب و گرما، ترتیب و شرایط تشکیل هیدروسیلیکاتهای کلسیم، خواص این هیدروسیلیکاتها و رابطه مقاومت بتن عمل آمده و اجسامی که تازه تشکیل شده اند، مورد بررسی قرار گرفته و معلوم گردیده است که میتوان ترکیب نهایی جسم چسباننده را با تغییر دادن ترکیب مواد سیلیسی - آهکی، یا نرمی این مواد و یا مدت زمان عمل آوردن بتن تغییر داد.

بویژه یک روش پژوهش ابتکاری و بی سابقه مبتنی بر تکنیکهای صوتی و الکتریکی ابداع شده است که کسب اطلاع مستقیم در مورد تغییر مشخصات مکانیکی بتن در حال گرفتن، جسم چسباننده "سیلیسی - آهکی" و ترکیب مرحله به مرحله اجسام تازه ای را که بوجود میآیند، در حین عمل آوردن قطعات بتن آهکی در اتوکلاو میسر میسازد. این روش اجازه میدهد که در هر حالت مشخص با صرف حداقل وقت و هزینه بتوان شرایط بهینه عمل آوردن قطعات در اتوکلاو را بدست آورد.

مجموعه این امکانات استفاده از مصالح محلی مختلف با ترکیبات شیمیایی متفاوت را میسر ساخته و محدودیت در انتخاب مواد اولیه مناسب را در مقیاس گسترده ای از بین برده است.

۲-۲- منتفی شدن نیازه مصالح درشت دانه برای ساختن بتن:

در واقع هرچه دانه های سنگی مصرفی در بتن درشت تر باشند سطح مخصوص آن ها تقلیل یافته و مقدار

متنوعی از بتن آهکی توپر و متخلخل تهیه شده و در ساختمانها بکار برده میشوند.

از بتن آهکی توپر برای ساختن قطعات برابر ساختمان مانند شالوده ها، دیوارها، ستونها، تیرها، تیرچه ها، نعل درگاهی ها، قطعات پوشش کف ها، پله ها و همچنین برای ساختن دیوارهای غیر باربر مجوف که عایق موثری در مقابل حرارت هستند، صفحات روکاری شده برای نما، صفحات بتن آهکی با دانه های درشت بعنوان قطعات زینتی، قرنیز پنجره و پله و غیره استفاده میشود.

از بتن آهکی توپر برای ساختن صفحات پوشش رویه جادها، فرودگاهها، تراورس، دالوها و بطور خلاصه تمام قطعاتی که امکان پیش ساختن آنها موجود است نیز استفاده میگردد.

از بتن آهکی متخلخل بطور اساسی برای ساختن دیوارهای غیر باربر بیرونی ساختمان و دیوارهای جداگر داخلی استفاده مینمایند. همچنین برای تهیه بلوکهایی که دربنائی بکار برده میشوند از این بتن استفاده میگردد. بتن آهکی متخلخل برای ساختن قطعات پوشش کف ها و مخصوصاً پوشش بام نیز بکار برده میشود. قطعات اخیر دارای آرماتور بوده و علاوه بر نقش باربر بعنوان عایق حرارتی نیز عمل مینمایند.

در اتحاد شوروی قطعات ساخته شده از بتن آهکی توپر و متخلخل در ساختمانهای مسکونی، ساختمانهای اداری، بناهای فرهنگی، ابنیه صنعتی و زراعی بکار برده میشوند.

آمارگیری و بررسی ساختمانهایی که از ۲۰ سال پیش تا بحال مورد بهره برداری قرار گرفته اند نشان میدهد که قطعات ساختمانی ساخته شده از بتن آهکی دارای کیفیتی در حد کیفیت قطعات مشابه ساخته شده از بتن سیمانی بوده و بهیچوجه از این قطعات تمیز داده نمی شوند.

۹- مزایای فنی بتن آهکی

استفاده از بتن آهکی مزایای فنی بسیاری دارد که اهم آنها بشرح زیر است:

۹-۱- افزایش امکان استفاده از مصالح محلی و از بین رفتن نیاز به مصالح مرغوب و با کیفیت خاص:

در واقع استفاده از روش گیرش در اتوکلاو اجازه میدهد که دامنه مواد اولیه قابل کاربرد برای ساختن بتن وسعت داده شود زیرا در این حالت عناصر فعال مواد اولیه

در شوروی نشان داده است که وقتی درجه حرارت هوای بیرون در حدود (۳۰-) درجه سانتیگراد باشد دیواری از بتن آهکی متخلخل ضخامت ۲۴ سانتیمتر برای تامین عایق حرارتی کافی خواهد بود. در حالیکه در چنین شرایطی یک دیوار آجری ضخامت ۵۰ سانتیمتر قادر خواهد بود عایق بندی مورد نظر را ایجاد نماید.

۹-۶- سبک تر بودن بتن آهکی نسبت به بتن

سیمانی:

با مشخصات مکانیکی مساوی، بتن آهکی در حدود ۱۰ درصد از بتن سیمانی سبکتر است. با توجه به اینکه نیروهای جانبی ناشی از زلزله بطور اساسی تابع وزن ساختمان میباشند میتوان گفت که بکار بردن بتن آهکی بجای بتن سیمانی، باعث تقلیل نیروی زلزله و کمتر شدن باز هم بیشتر ابعاد قطعات میگردد.

۹-۷- چسبندگی با بتن سیمانی:

چسبندگی انواع بتن آهکی اعم از توپر یا متخلخل، با بتن سیمانی و همکاری دو نوع ماده ساختمانی در طول زمان بسیار خوب میباشد. این مسئله اجازه میدهد که قطعات پیش ساخته تهیه شده با بتن آهکی را، در کارگاه با بتن سیمانی بیکدیگر متصل نمائیم. در واقع این چسبندگی و شباهت رفتار دو نوع بتن از آنجا ناشی میشود که هر دو دارای همان انواع هیدروسیلیکاتهای کلسیم میباشند با این تفاوت که ایجاد این ترکیبات از دو راه مختلف انجام گرفته است.

۱۰- مزایای اقتصادی بتن آهکی

مزیت اقتصادی عمده مصرف بتن آهکی بجای بتن سیمانی تقلیل قیمت تمام شده قطعات ساخته شده از بتن آهکی نسبت به قطعات مشابه ساخته شده از بتن سیمانی میباشد. عواملی که باعث تقلیل قیمت تمام شده قطعات بتن آهکی میشوند بشرح زیرند:

۱۰-۱- مصرف آهک بجای سیمان و تقلیل مقدار

آهک در متر مکعب بتن:

استفاده از آهک بجای سیمان و تقلیل مقدار جسم

چسباننده دو عامل اصلی تقلیل قیمت تمام شده بتن آهکی نسبت به بتن سیمانی میباشد.

اگر بعنوان مثال بتن سیمانی B۳۰۰ را با بتن

آهکی که مقاومت فشاری نمونه های ۲۸ روزه آن نیز بطور متوسط ۳۰۰ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع میباشد مقایسه نمائیم،

جسم چسباننده لازم برای اندود کردن سطوح دانه ها و بهم چسباندنشان کمتر میشود.

در مورد بتن سیمانی این امر به تقلیل مقدار سیمان و کاهش قیمت تمام شده بتن منجر میگردد ولی در مورد بتن آهکی با توجه به قیمت کم جسم چسباننده " سلیستی-آهکی " مصرف مصالح سنگی درشت دانه یا ریز دانه اثر قابل ملاحظه ای روی قیمت تمام شده نمیکند.

۹-۳- امکان تولید محصولات مختلف از مواد اولیه

ثابت:

در یک مجتمع تولید بتن آهکی، با استفاده از آهک و ماسه سلیستی مشخص میتوان با تغییر دادن نحوه تولید، بموازات هم بتن آهکی توپر، بتن آهکی متخلخل و آجر آهکی تولید نمود. بعلاوه با تغییر دادن نسبت ترکیب مواد اولیه، نرمی مواد، مدت زمان عمل آوردن در اتوکلاو میتوان بتن هایی با وزن مخصوص های متفاوت و مشخصه های فیزیکی و مکانیکی مختلف که متناسب با نیازها باشند بدست آورده و قطعاتی برای مصرف در ساختمانهای مسکونی، اداری، فرهنگی، صنعتی و زراعی و یا برای مصرف در راهسازی تولید نمود.

۹-۴- خودکفا بودن مجتمع و انجام تمام عملیات تولید در یک جا:

در یک مجتمع تولید بتن آهکی، از یک سو سنگ آهک و ماسه سلیستی وارد کارخانه شده و از سوی دیگر قطعات ساختمانی ساخته شده از بتن آهکی خارج میگردند. عبارت دیگر تولید جسم چسباننده و ساخت قطعات در یک محل انجام میپذیرد. برعکس در یک مجتمع که برای ساختن قطعات از بتن سیمانی استفاده میشود باید جسم چسباننده یعنی سیمان را از محل دیگری به کارخانه بیاورند. البته ساختن یک کارخانه تولید قطعات پیش ساخته در جوار یک کارخانه سیمان میسر است ولی بهر حال آندو کارخانه بصورت مستقل از هم کار خواهند نمود. انتقال سیمان از واحد تولیدی دیگری به واحد تهیه قطعات پیش ساخته، علاوه بر مشکلات حمل سیمان باعث وابسته شدن واحد تولیدی به یک واحد دیگر و تقلیل کارآئی آن میشود و برنامه ریزی تولید را دشوارتر میسازد.

۹-۵- عایق بودن در مقابل حرارت:

بتن سلیکاتی متخلخل عایق بسیار خوبی در مقابل

حرارت بوده و ۱ سانتیمتر از آن از لحاظ عایق بندی تقریباً معادل ۲ سانتیمتر دیوار آجری است. تحقیقات انجام شده

طبق آمار جمع آوری شده در اتحاد شوروی، خواهیم داشت:

بتن آهکی	بتن سیمانی	مقاومت فشاری ۲۸ روزه:
300 Kg/cm^2	300 Kg/cm^2	وزن مخصوص:
$1900 \text{ تا } 2200 \text{ Kg/m}^3$	$2300 \text{ تا } 2400 \text{ Kg/m}^3$	مقدار متوسط سیمان:
	300 Kg/m^3	مقدار متوسط آهک:
150 Kg/m^3		مقدار متوسط ماسه سیلیسی آسیاب شده:
200 Kg/m^3		مقدار متوسط شن:
lit/m^3	750 lit/m^3	مقدار متوسط ماسه:
	450 lit/m^3	قیمت تمام شده نسبی:
$75 \text{ تا } 80\%$	100%	

کاهش خواهد یافت.

۱۰-۳- کم بودن میزان سرمایه گذاری اولیه:
امکان تولید محصولات مختلف و متنوع با استفاده از مواد اولیه ثابت و تشابه وسائل عمل آوردن بتن های آهکی مختلف تحت اثر حرارت و فشار، شرایط مناسبی برای سازمان دادن تولید قطعات پیش ساخته مورد نیاز برای ساختمانهای مسکونی، ساختمانهای عمومی، صنعتی، فرهنگی و روستائی بوجود آورده و باعث میشود که میزان سرمایه گذاری اولیه نسبت به حجم تولید تقلیل یابد. مطابق آمار جمع آوری شده در اتحاد شوروی، سرمایه گذاری اولیه برای ساختن کارخانه های تولید قطعات بتن سیلیکاتی با استفاده از اتوکلاو ۱۵ تا ۲۰ درصد کمتر از سرمایه گذاری اولیه برای ساختن کارخانه های تولید محصولات مشابه از بتن سیمانی است.

بعنوان مثال در حال حاضر در اتحاد شوروی هزینه لازم برای ایجاد یک مجتمع که در سال قادر به تهیه ۱۰۰ میلیون (یعنی ۳۵۰ تا ۴۰۰ هزار در روز) آجر سیلیکاتی، ۱۲۰ هزار متر مکعب (یعنی ۴۵۰ تا ۵۰۰ متر مکعب در روز) قطعات بتن آهکی متخلخل و ۳۰ هزار متر مکعب (یعنی ۱۰۰ تا ۱۲۰ متر مکعب در روز) بتن آهکی توپر باشد، در حدود ۲۰ میلیون روبل است که تقریباً "معادل هزینه ایجاد یک کارخانه تولید آجر سفالی به ظرفیت ۱۰۰ میلیون آجر در سال میباشد".

۱۰-۴- تقلیل مقدار مصالح مورد نیاز در پیک ساختمان:

- استفاده از بتن آهکی متخلخل و بتن آهکی توپر

بطوریکه ملاحظه میشود بجای ۳۰۰ کیلوگرم سیمان ۱۵۰ کیلوگرم آهک و ۲۰۰ کیلوگرم ماسه بکار برده میشود و میدانیم که حتی اگر هزینه پختن سیمان و آهک را مساوی فرض کنیم باز هم آهک ارزان تر است زیرا سیمان باید دوبار، یکبار بصورت مواد اولیه و یکبار پس از پختن آسیاب شود ولی آهک فقط یکبار آسیاب میشود و ماسه هم فقط یکبار آسیاب شده و هزینه پختن و آسیاب مجدد را ندارد و با توجه به مسئله سوخت و بحران جهانی آن، صرفه جوئی ناشی از مصرف آهک بجای سیمان بسیار با اهمیت است

۱۰-۲- استفاده از مواد اولیه ارزان قیمت:

استفاده از مصالح محلی و الزامی نبودن مصرف مصالح دانه درشت، از طریق تقلیل قیمت مواد اولیه به تقلیل قیمت تمام شده قطعات ساخته شده کمک مینمایند. در اتحاد شوروی مصالح سنگی دانه درشت بسیار کم بوده و بستر اکثر رودخانه ها از ماسه پوشیده شده است و اغلب برای ساختن بتن سیمانی معمولی ناگزیر از خرد کردن قطعات بزرگ سنگ و سرند نمودن آن بمنظور تهیه مصالح سنگی درشت دانه میباشد. به این ترتیب قیمت شن و بتنی که با آن تهیه میشود بالا میرود. استفاده از بتن سیلیکاتی ضرورت مصرف شن را منتفی ساخته و اجازه میدهد که از ماسه بعنوان جسم پرکننده بتن استفاده شود و ارزان تر بودن ماسه طبعاً به تقلیل قیمت تمام شده بتن منجر میشود. تردیدی نیست که اگر مصالح سنگی دانه درشت ارزان قیمت در دسترس باشد و از آن بعنوان جسم پرکننده بتن استفاده شود، بعلت تقلیل مقدار جسم چسباننده قیمت تمام شده بتن آهکی باز هم بیشتر

در ساختمان بعلت عایق بودن بتن آهکی متخلخل و کم بودن وزن مخصوص بتن آهکی توپر به تقلیل بار مرده و در نتیجه به کمتر شدن ابعاد قطعات و تقلیل مصالح مصرفی در ساختمان و کاهش قیمت تمام شده آن منجر میگردد .

۱۱- اظهار نظر

با در نظر گرفتن حاد بودن مسئله مسکن و ضرورت کمک گرفتن از پیش ساختگی برای حل این مسئله و با توجه به اینکه قطعات بتن گرفته و سخت شده در اتوکلاو پر مصرف ترین مصالح در پیش ساختن ساختمانها هستند ، با اتکاء به آنچه که گذشت ، میتوان با اطمینان اظهار نظر نمود که :
- چه از نظر فنی و چه از لحاظ اقتصادی استفاده از بتن آهکی در ایران بصره و صلاح است بالاخص در بعضی از قسمتهای ایران مانند فلات مرکزی و شهرهای اطراف کویر استفاده از بتن آهکی معقول ترین راه حل میباشد زیرا ماسه و یا از همه ساده تر از حاشیه کویر تامین نمود و سنگ آهک نیز در اغلب نقاط ایران بوفور یافت میشود .

- روش متداول در اتحاد شوروی برای تهیه بتنهای آهکی متخلخل مناسب تر و اقتصادی تر از روشهای متداول در سایر کشورها است .

- روش تهیه بتن سیلیکاتی توپر در انحصار اتحاد شوروی بوده و دسترسی به تجارب موجود در این زمینه در حال حاضر فقط از طریق این کشور میسر است .

منابع

همانطور که در متن اشاره شد ، این یادداشتها ره آورد یک بازدید فنی از کشور اتحاد جماهیر شوروی میباشد . اطلاعات فنی ، ارقام اقتصادی و غیره از پرونده های موجود در انستیتوی بتن سیلیکاتی مسکو و کارخانه ای که در گروندو مورد بازدید قرار گرفت استخراج شده اند .