

## بررسی کلی بتن هبلکس

نشریه مهندسين عمران (سندج ۱۳۹۲)

افشين مقصودي

### چکیده:

این مقاله تحقیقی است به منظور تعیین نسبت های اختلاط بتن سبک سازه ای با مقاومت بالا که برای کاهش وزن آن از دانه های رس منبسط شده (لیکا) که در ایران توسط صنعت تولید می شود، استفاده شده است. برای دستیابی به بتنی با مقاومت بالا از افزودنی های معدنی و شیمیایی استفاده گردید. همچنین از پودر سنگ به منظور کاهش تخلخل و افزایش مقاومت فشاری استفاده شد. با در نظر داشتن جنبه های اجرایی این نوع از بتن، متغیرها در طر حهای مختلف عبارتند از: نسبت آب به مصالح سیمانی، مقدار دانه های سبک در کل حجم بتن، مقدار سیمان و پودر سنگ. آزمایش های مقاومت فشاری، مقاومت کششی غیر مستقیم و مقاومت خمشی بر روی نمونه ها انجام گرفت. نمونه های ساخته شده در آزمایشگاه بتن دانشگاه مازندران تا روز آزمایش در زیر آب قرار گرفتند. برای بررسی تأثیر عمل آوری بر مقاومت فشاری این گونه بتن ها، از هر طرح نمونه هایی نیز در هوای آزاد قرار گرفتند. نتایج این پژوهش نشان می دهد که م ی توان با استفاده از دانه های سبک لیکا، بتن سبک سازه ای در ۱۹۶۵ کیلوگرم بر متر مکعب با مقاومت فشاری مکعبی از ۳۴ تا ۷۱ مگا پاسگال دست یافت. همچنین – محدوده وزن مخصوص خشک ۱۶۱۰ ملاحظه گردید که نقش پودر سنگ در بهبود خواص مکانیکی بتن دانه سبک لیکا قابل ملاحظه است. بتن سبک، مقاومت فشاری، وزن مخصوص، دانه سبک رس منبسط شده (لیکا)، پودر سنگ بهبود خواص مکانیکی بتن دانه سبک لیکا قابل ملاحظه است .

**کلمات کلیدی:** بتن سبک، مقاومت فشاری، وزن مخصوص، دانه سبک رس منبسط

شده (لیکا)، پودر سنگ

**Abstract** This article is an investigation to determine mixture proportion of high strength structural light weight concrete in order to reduce the weight of concrete by using expanded aggregate clay (Leca), which in Iran is produced by industry. In order to reach to high strength concrete mineral and chemical admixtures additives have been used. Also stone powder has been used to reduce porosity and to increase compressive strength. Regarding the performance of this type of concrete, the variables in different mix designs are as follow: The ratio of water to cementitious materials, the amount of light weight aggregate to the total volume of concrete, the amount of cement and stone powder. Test for compressive strength, indirect tensile strength and flexural strength were carried out on the specimens.

**Key Words :** Light Weight Concrete, Compressive Strength, Unit Weight, Light Weight Expanded -Aggregate Clay (Leca), Stone Powder 85

## مقدمه

در دنیای پیشرفته امروزی و با توجه به پیشرفت های صورت گرفته در زمینه های مختلف علمی صنعت بتن نیز دچار تحول گردیده که تولید بتن سبک نیز حاصل همین پیشرفت ها می باشد. بتنی که علاوه بر کاهش بار مرده ساختمان از نیروی وارد به سازه در اثر شتاب زلزله می کاهد و در صورت تخریب وزن آوار حاصل نیز کاهش می یابد و امروزه آنرا به عنوان بتن قرن می نامند .

بتن سبک با توجه به ویژگی هایی که دارد دارای کاربردهای مختلف می باشد که برحسب وزن مخصوص و مقاومت فشاری آن تفکیک می گردد.

## تاریخچه ساخت و کاربرد بتن سبک

اولین گزارشهای تاریخی در مورد کاربرد بتن سبک و مصالح سبک وزن به روم باستان بر می گردد. رومیان در احداث معبد پانتئون و ورزشگاه کلوزیوم از پومیس که نوعی مصالح سبک است استفاده کرده اند. کاربرد بتن سبکدانه پس از تولید سبکدانه های مصنوعی و فراوری شده در اوایل قرن بیستم وارد مرحله جدیدی شد. در سال ۱۹۱۸، S. J. Hayde با استفاده از کوره دوار اقدام به منبسط کردن رس و شیل کرد و بدینوسلیه سبکدانه ای مصنوعی تولید کرد که از آنها در ساخت بتن استفاده شد. تولید تجاری روباره های منبسط شده نیز از سال ۱۹۲۸ آغاز گردید.

این سبکدانه مصنوعی در هنگام جنگ جهانی اول به دلیل محدودیت دسترسی به ورق فولادی برای ساخت کشتی بکار رفت. کشتی Atlantus به وزن ۳۰۰۰ تن که با بتن سبک هایدیتی ساخته شد، در اواخر سال ۱۹۱۸ به آب افتاد. در سال ۱۹۱۹ کشتی Selma به وزن ۷۵۰۰ تن و طول ۱۳۲ متر با همین نوع بتن ساخته و به آب انداخته شد. تا آخر جنگ جهانی اول و سپس تا سال ۱۹۲۲ کشتی ها و مخازن شناور متعددی ساخته شد که یکی از آن ها Peralta تا سال های اخیر شناور بود.

برنامه ساخت کشتی ها در اواسط جنگ جهانی دوم متوقف شد و دوباره به دلیل محدودیت تولید ورق فولادی مورد توجه قرار گرفت. تا پایان جنگ جهانی دوم ۲۴ کشتی اقیانوس پیما و ۸۰ بارج دریایی ساخته

شد که ساخت آن ها در دوران صلح، اقتصادی محسوب نمی گشت. ظرفیت این کشتی ها ۳ تا ۱۴۰۰۰۰ تن بود.

در سال ۱۹۴۸ اولین ساختمان با استفاده از شیل منبسط شده در پنسیلوانیای شرقی احداث گردید. در ادامه، از سال ۱۹۵۰ ساخت بتن سبک گازی اتوکلاو شده در انگلستان متداول شد. اولین ساختمان بتن سبکدانه مسلح در این کشور که یک ساختمان سه طبقه بود در سال ۱۹۵۸ و در شهر برنت فورد احداث گردید.

ساختمان هتل پارک پلازا در سنت لوئیز، ساختمان ۱۴ طبقه اداره تلفن بل جنوب غربی در کانزاس سیتی در سال ۱۹۲۹ از جمله ساختمان های دهه ۲۰ و ۳۰ میلادی ساخته شده در آمریکای شمالی با استفاده از بتن سبک هستند. ساختمان ۴۲ طبقه در شیکاگو، ترمینال TWA در فرودگاه نیویورک در سال ۱۹۶۰، فرودگاه Dulles در واشنگتن در سال ۱۹۶۲، کلیسایی در نروژ در سال ۱۹۶۵، پلی در وایسبادن آلمان در سال ۱۹۶۶ و پل آب بر در روتردام هلند در سال ۶۸ از جمله ساختمان هایی هستند که با بتن سبکدانه ساخته شده اند.

در هلند، انگلستان، ایتالیا و اسکاتلند نیز در دهه ۷۰ و ۸۰ پل هایی با دهانه های مختلف ساخته و با موفقیت بهره برداری شده اند. در سال های ۱۹۷۰ ساخت بتن سبکدانه پرمقاومت آغاز شد و در دهه ۸۰ به دلیل نیاز برخی شرکت های نفتی در امریکا و نروژ برای ساخت سازه ها و مخازن ساحلی و فراساحلی مانند سکوه های نفتی یک رشته تحقیقات وسیع برای ساخت بتن سبکدانه پرمقاومت در این دو کشور با هدایت واحد آغاز شد که نتایج آن در اواخر دهه ۸۰ و اوایل دهه ۹۰ منتشر گشت.

در سالیان اخیر نیز استفاده بتن سبک در دال سقف ساختمانهای بلند مرتبه، عرشه پلها و دیگر موارد مشابه و همچنین کاربردهای خاص مانند عرشه و پایه دکل های استخراج نفت کاربرد فراوانی یافته است.

### طبقه بندی بتن سبک بر مبنای مقاومتی

بتن های سبک از دیدگاه مقاومتی در سه دسته طبقه بندی می شوند که عبارتند از بتن سبک غیرسازه ای، بتن سبک سازه ای و بتن سبک با مقاومت متوسط که در ادامه به آن پرداخته می شود. بتن سبک غیرسازه ای که معمولاً به عنوان جداسازهای سبک مورد استفاده قرار می گیرد، دارای جرم مخصوص کمتر از ۸۰۰ کیلوگرم

بر مترمکعب است. با وجود جرم مخصوص کم، مقاومت فشاری آن حدود ۰/۳۵ تا ۷ نیوتن بر میلیمترمربع می‌باشد. از معمولیترین سنگدانه‌های مورد مصرف در این نوع بتن می‌توان به پرلیت (نوعی سنگ آذرین) و ورمیکولیت (ماده‌ای با ساختار ورقه‌ای شبیه لیکا) اشاره کرد.

بتن‌های سبک سازه‌ای دارای مقاومت و وزن مخصوص کافی می‌باشند، به گونه‌ای که می‌توان از آن‌ها در اعضای سازه‌ای استفاده کرد. این بتن‌ها عموماً دارای جرم مخصوصی بین ۱۴۰۰ تا ۱۹۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب بوده و حداقل مقاومت فشاری تعریف شده برای آنها ۱۷ نیوتن بر میلیمترمربع (مگاپاسکال) می‌باشد. در بعضی حالات امکان افزایش مقاومت تا ۶۰ نیوتن بر میلیمترمربع نیز وجود دارد. در مناطق زلزله خیز، آیین‌نامه‌ها حداقل مقاومت فشاری بتن سبک را به ۲۰ نیوتن بر میلیمترمربع محدود می‌کنند. بتن‌های سبک با مقاومت متوسط، از لحاظ وزن مخصوص و مقاومت فشاری در محدوده‌ای بین بتن‌های سبک غیرسازه‌ای و سازه‌ای قرار دارند، به گونه‌ای که مقاومت فشاری آنها بین ۷ تا ۱۷ نیوتن بر میلیمترمربع و جرم مخصوص آن‌ها بین ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد.

### بتن سبک غیرسازه‌ای

این نوع بتن‌ها با جرم مخصوصی معادل ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب و کمتر، به عنوان تیغه‌های جداساز و عایق‌های صوتی در کف بسیار مؤثر هستند. این نوع بتن می‌تواند در ترکیب با مواد دیگر در دیوار، کف و سیستم‌های مختلف سقف مورد استفاده قرار گیرد. مزیت عمده آن، کاهش هزینه‌های لازم برای تهویه گرمایی یا سرمایی فضاها، داخلی ساختمان و کاهش انتقال صوت بین طبقات و فضاها، ساختمان می‌باشد. بتن‌های سبک غیرسازه‌ای بر اساس ساختار داخلی می‌توانند به دو گروه جداگانه تقسیم‌بندی شوند.

دسته اول بتن‌های اسفنجی که در حین ساخت آن‌ها با ایجاد کف، حباب‌های هوا در خمیر سیمان یا در ملات سیمان - سنگدانه ایجاد می‌گردد. کف مورد نظر یا از طریق مواد کف‌زا در حین اختلاط تولید شده و یا به صورت کف آماده به مخلوط اضافه می‌شود. بتن اسفنجی می‌تواند جرم مخصوصی تا حدود ۲۴۰ کیلوگرم بر مترمکعب داشته باشد.

دسته دوم بتن با سنگدانه سبک یا به اختصار بتن سبکدانه است که با استفاده از پرلیت، ورمیکولیت منبسط شده و یا دیگر سبکدانه های طبیعی و مصنوعی ساخته می شوند. جرم مخصوص خشک این مخلوط بین ۲۴۰ تا ۹۶۰ کیلوگرم بر مترمکعب می باشد.

امروزه اضافه کردن ریزدانه هایی با وزن معمولی، موجب افزایش وزن بتن و مقاومت آن می شود، لیکن به منظور حصول خواص عایق بندی حرارتی (ضریب انتقال حرارت پایین)، حداکثر جرم مخصوص به ۸۰۰ کیلوگرم در مترمکعب محدود می گردد.

هنگام ساخت و استفاده از بتن سبک غیرسازه ای، سعی بر این است که با کاهش وزن بتوان خصوصیات عایق حرارتی را افزایش داد، اما ذکر این مطلب ضروری است که با کاهش وزن مخصوص بتن، مقاومت آن نیز کاهش می یابد. مقاومت فشاری و وزن مخصوص بتن، ارتباط نزدیکی با هم دارند و با افزایش وزن مخصوص، بالطبع باید مقاومت بالاتری را انتظار داشت. با توجه به مقاومت به دست آمده از این نوع بتن، محل کاربرد آن تعیین می گردد. به عنوان مثال بتن هایی با مقاومت فشاری حدود ۰/۷ نیوتن بر میلیمتر مربع و کمتر برای عایق سازی لوله های بخار زیرزمینی مناسب هستند و از بتن های با مقاومت بالاتر تا حدود ۳/۵ نیوتن بر میلیمتر مربع در پیاده روها استفاده می شود. باید توجه داشت که انقباض بتن های سبک در هنگام خشک شدن در اکثر موارد و به خصوص در موارد حذف سنگدانه های درشت از مخلوط، همواره مشکل ساز است.

### بتن سبک با مقاومت متوسط

بتن های سبک موجود در این طبقه عمدتاً از نوع بتن های سبکدانه و بتن های با ساختار باز می باشند. به عبارت دیگر برای کاهش چگالی بتن از سنگدانه های سبک طبیعی یا مصنوعی استفاده شده است. سبکدانه های مورد استفاده در بتن های سبک با مقاومت متوسط معمولاً از یکی از روش های آهکی شدن (تکلیس)، سنگدانه ی کلینگر، محصولات منبسط شده ای نظیر روباره های منبسط شده، خاکستر بادی، شیل و اسلیت یا سنگدانه های تولیدی از مصالح طبیعی مانند پوکه سنگ های آذرین و سنگ های آذرین متخلخل (توف) تولید می شوند. جرم مخصوص بتن ساخته شده با سنگدانه های فوق بین ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. کاربرد مواد افزودنی نظیر تسریع کننده ها و روان کننده ها می تواند در تغییر مقاومت بتن های ساخته شده با

سنگدانه‌های تولید شده از روش‌های مذکور موثر باشد. کاربرد این بتن‌ها معمولاً در بلوک‌های مجوف بتنی، کف سازه‌ها و موارد مشابه است.

### بتن سبک سازه ای

بتن‌های سبک سازه ای بتن‌هایی هستند که علی‌رغم دارا بودن چگالی کمتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب، مقاومت فشاری بیش از ۱۷ مگاپاسکال دارند. ساخت این بتن‌ها صرفاً با استفاده از سنگدانه‌های سبک و مقاوم امکان پذیر است. تمام بتن‌های سبک سازه ای از خانواده بتن‌های سبکدانه می‌باشند که در آن برای کاهش وزن مخصوص بتن از سنگدانه‌های سبک استفاده شده است. به این دلیل بعضاً از عبارات بتن سبکدانه و بتن سبک سازه ای برای بیان یک مفهوم استفاده می‌شود. در بتن‌های سبکدانه سازه‌ای از سنگدانه‌هایی استفاده می‌شود که بتن ساخته شده مقاومتی بیش از ۱۷ مگاپاسکال و جرم مخصوصی کمتر از ۲۰۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب را دارا باشد. سنگدانه‌هایی که این شرایط را عموماً برآورد می‌کنند و طبق استاندارد [2] ASTM-C330 برای ساخت بتن سبک سازه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند، عمدتاً عبارتند از:

(الف) شیل، رس و اسلیت منبسط شده در کوره‌ی دوار

(ب) سنگدانه‌هایی که از فرآیند‌های کلوخه‌ای شدن به دست می‌آیند

(ج) سرباره‌های منبسط شده

(د) پوکه‌های معدنی

(ه) پوکه‌های صنعتی

(و) خاکستر بادی ته نشین شده

تأمین مقاومت فشاری معادل ۲۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع و بیشتر با بعضی از این سنگدانه‌ها امکان‌پذیر است. شرایط سایر سنگدانه‌ها نیز طوری است که قادر به حصول حداقل مقاومت فشاری مقرر شده برای بتن سبک سازه‌ای می‌باشند. همانطور که پیش از این ذکر شد، مقاومت بتن سبک تابعی از جرم مخصوص آن است. باید توجه داشت که جرم مخصوص بتن عمدتاً متأثر از جرم مخصوص سنگدانه‌های مصرفی است، به گونه‌ای که استفاده از مصالح سبکتر موجب کاهش وزن مخصوص بتن می‌شود. ولی استفاده از مصالح سنگین‌تر از

سبکدانه‌ها، لزوماً باعث افزایش مقاومت بتن ساخته شده نخواهد شد. بیشترین مقاومت بتن سبکدانه معمولاً وقتی حاصل می‌شود که از سبکدانه‌های ساخته شده از شیل، رس و اسلیت منبسط شده در فرآیند کوره دوار برای سبک سازی چگالی بتن استفاده گردد.

## سبک سازی

### بررسی مصالح در سبک سازی

نیاز گسترده و روز افزون جامعه به ساختمان و مسکن و ضرورت استفاده از روش ها و مصالح جدید به منظور افزایش سرعت ساخت سبک سازی افزایش عمر مفید و نیز مقاوم نمودن ساختمان در برابر زلزله را بیش از پیش مطرح کرده است. حل مشکلاتی نظیر زمان طولانی اجرا عمر مفید کم و یا هزینه زیاد اجرای ساختمان ها نیاز مند ارائه راهکار هایی به منظور استفاده عملی از روش های نوین و مصالح ساختمانی جدید جهت کاهش وزن و کاهش زمان ساخت و دوام بیشتر و نهایتاً کاهش هزینه اجراست. سبک سازی یکی از مباحث نوین در علم ساختمان است که روز به روز در حال گسترش و پیشرفت میباشد. این فن اوری عبارتست از کاهش وزن تمام شده ساختمان با استفاده از تکنیک های نوین ساخت مصالح جدید و بهینه سازی روش های اجرا کاهش وزن ساختمان علاوه بر صرفه جویی در هزینه زمان و انرژی زیان های ناشی از حوادث طبیعی مانند زلزله را کاهش داده و صدمات ناشی از وزن زیاد ساختمان را به حداقل میرساند .

برای بکارگیری تکنیک های سبک سازی نخست باید به مسئله اول علل سنگین شدن وزن ساختمان توجه کافی شود پس از شناخت این علل و عوامل باید جهت حذف یا به حداقل رساندن تاثیر آنها و وزن تمام شده ساختمان تلاش نمود .

### روش های سبک سازی ساختمان بطور عمده به دو دسته تقسیم میگردند :

(۱) سبک کردن اجزای باربر ساختمان

(۲) سبک کردن سازه ساختمان

بخش عمده ای از مباحث مربوط به سبک سازی و تکنیک های رایج در مورد دستیابی به وزن مناسب ساختمانی را در بر میگیرد که شامل: شناخت مصالح سبک رایج در صنعت ساختمان (در داخل و خارج

کشور) و تکنولوژی استفاده از آنها، معیار های ارزیابی میزان کارایی این مصالح بعنوان مصالح سبک و میزان تاثیر به کار گیری مصالح نو در کاهش وزن ساختمان هزینه و زمان مورد نیاز اجرای یک ساختمان .

تعریف مصالح سبک : مصالح سبک به مصالحی اطلاق میشود که وزن مخصوص آنها از نمونه های مشابه کمتر بوده و استفاده از آنها به کاهش وزن کلی ساختمان بیانجامد .

مصالح سبک در یک تقسیم بندی کلی به سه دسته تقسیم میشوند :

(۱) مصالح سبک سازه ای

(۲) مصالح سبک غیر سازه ای

(۳) سیستم ها

مصالح سبک سازه ای :

به ان دسته از مصالح گفته میشود که در موارد سازه ای در بنا به کار برده میشوند به سه نوع تقسیم میشوند :

(۱) بتونی

(۲) طبیعی

(۳) صنعتی

### بتن سبک :

یکی از مصالح مهم و کار آمد در صنعت ساختمان مدرن است و دارای کاربرد های متنوعی دارد. قاب های ساختمانی چند منطقه و دیوارهای جداکننده، سقف های پوشاننده، صفحات انعطاف پذیر پل ها، عناصر پیش تنیده و پس تنیده و بقیه اجزا از جمله این مواد هستند در بسیاری از موارد فرم های معماری از تلفیق شده طرح های عملکرد ای میتواند به اسانی و بهتر از هر مصالح دیگر بوسیله بتن سبک حاصل شود .

انواع بتن سبک : در یک تقسیم بندی کلی به سه دسته زیر تقسیم میشوند :

(۱) بتن سبک

(۲) بتن اسفنجی

(۳) بتن بدون ریز دانه



بکارگیری بتن سبک به عنوان یک نوع از مصالح ساختمانی نوین ضمن کاهش بار مرده ساختمان سرعت بسیار زیادی در اجرا بوجود می آورد. مزایای استفاده از بتن سبک سازه ای عبارتست از: بر خورداری از امتیاز سرعت در نصب، انطباق با هر نوع نقشه ساختمانی، وزن کم، مقاومت زیاد و به صرفه میباشد (بتن مصرفی در دیوارهای غیر باربر)

مصارف تیر آهن را حذف کرده یا به حداقل ممکن کاهش میدهد و انرژی مصرفی اولیه آن ۱۰ درصد آجر هم حجم خود است. (بتن سبک سازه ای)

دارای خاصیت ویژه ای از نظر ایزولاسیون در برابر حرارت و صداست. (بتن های عایق حرارتی)

بتن سبک را میتوان از لحاظ هدف از کاربرد آن به سه دسته کلی تقسیم کرد:

(۱) بتن سبک سازه ای

(۲) بتن سبک مورد مصرف در واحد

(۳) بتن غیر سازه ای (بتن عایق بندی و جداکننده

کاربرد بتن سازه ای سبک در مرحله اول مبتنی بر ملاحظات اقتصادی است.

انواع بتن سازه ای سبک را میتوان با توجه به روش تولید آنها بصورت زیر طبقه بندی کرد.

بتن سبک دانه:

با استفاده از سنگ دانه های سبک و متخلخل که وزن مخصوص ظاهری آنها کمتر از ۶/۲ میباشد. این نوع بتن

بعنوان بتن دانه سبک شناخته میشود.

### بتن اسفنجی:

با ایجاد حفره های بزرگ در داخل بتن با ملات بدست می آید. این حفره ها باید به وضوح از حباب های فوق

العاده ریز ناشی از حباب ریز قابل تشخیص باشند. انواع مختلف این نوع بتن با اسامی بتن اسفنجی بتن متخلخل

و بتن کفی یا گازی شناخته میشوند.

بتن بدون ریز دانه : با حذف ریز دانه ها از مخلوط بطوریکه تعداد زیادی حفره های درونی در بتن ایجاد شود در این موارد معمولاً درشت دانه های معمولی مورد استفاده قرار میگیرند. این نوع بتن بدون ریز دانه شناخته میشود .

### بتن سبک دانه :

اولین تقسیم بندی را میتوان بین سنگدانه های طبیعی و مصنوعی قائل گردید. گروه اصلی سنگدانه های سبک طبیعی عبارت است از دیاتومه سنگ پا پوک سنگ جوش های آتش فشانی و توف به استثنای دیاتومه همه این ها دارای منشا آتش فشانی .

### سنگ دانه های طبیعی :

سنگ دانه های مصنوعی، رس، شیل و اسلیت منبسط شده و میکولیت سر باره کوره ای سنگدانه کلینگر و پس مانده زغال کک .

بتن های بدست آمده از سنگ دانه های سبک به سه دسته تقسیم میشوند :

### بتن سازه ای :

از رس و شیل منبسط شده و به روش خاکستر های کلوخه ای ، خاکستر بادی گندوله ای و سر بار منبسط شده و رس، اسلیت و شیل منبسط شده بدست میاید .  
بتن با مقاومت متوسط (نیمه سازه ای)  
از پوک سنگ ها و سنگ های آتشفشانی تولید میشود .

### بتن جدا کننده

بتن (عایق) از پرلیت و ورمیکولیت حاصل میشود ،

بتن سبک با سبکدانه پلی استایرن

نمونه موردی از سنگ دانه های سبک تولید داخل

### ● سنگ دانه های سبک لیکا

#### ویژگی های عمومی دانه های لیکا :

بافت متخلخل دانه های لیکا که از انبساط خاک رس و در نتیجه ایجاد و محبوس شدن گازها در توده خمیری روان در دمای حدود ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد بوجود می آید . از خصوصیات اساسی این دانه ها میباشد .

#### - نتیجه گیری :

کسب مقاومت فشاری در حد مقاومت سازه ای با استفاده از بتن سبک حاوی لیکا امکان پذیر است به کار گیری میکرو سیلیس در ساخت نمونه های بتن سبک باعث افزایش مقاومت فشاری میگردد . استفاده از میکرو سیلیس باعث کاهش جذب حجمی و جذب مویینه بتن سبک حاوی لیکا میشود . جمع شدگی ۹۰ روزه بتن سبک حاوی لیکا به کار گیری میکرو سیلیس کمتر از نمونه شاهد میباشد . بطور کلی توصیه میگردد با توجه به منابع فراوان رس در کشور هم چنین تکنولوژی ساخت دانه های لیکا و ساخت سازه های سبک بررسی و دانه های بتن سبک حاوی لیکا در سطح گسترده تری انجام گردد و دستور العمل ها و استاندارد هایی برای استفاده از لیکا در صنعت ساختمان تدوین گردد .

#### بتن اسفنجی :

یکی از راه های ساختن بتن سبک ایجاد حباب های گاز در ملات خمیری مخلوط بتن میباشد و حباب ها باید در ضمن اختلاط و تراکم و پایداری خود را حفظ کند. چنین بتنی بعنوان بتن اسفنجی یا متخلخل شناخته میشود .

#### بتن گازی :

این نوع بتن در نتیجه یک واکنش شیمیایی که گاز را در ملات تازه ایجاد میکند ساخته میشود. این بتن هنگامی که سخت میشود شامل تعداد زیادی حباب های گازی میباشد . خواص بتن گازی یا بتن هوادار اتو کلاوه شده

این نوع بتن بعلاو وزن کم و خواص عایق بندی حرارتی باعث کاهش جرم ساختمان و صرفه جویی در مصرف انرژی میگردد. بدین لحاظ کاربرد آن در سطح جهان در گسترش میباشد. از خواص عمده بتن گازی وزن مخصوص کم، مقاومت مناسب عایق بندی حرارتی و مقاوم در برابر آتش قابل ذکر میباشد. از کاربرد های عمده بتن گازی برای کاربرد های نیمه سازه ای مانند پانل های سقف و دیوار مورد استفاده قرار میگیرند .

### ● وضعیت تولید بتن گازی در کشور

الف) مجتمع تولیدی و صنعتی سیپورکس (شرکت فر آورده های ساختمانی ایران)

ب) مجتمع تولیدی بنای سبک (هبلکس)

خواص بتن گازی: جرم حجمی، جمع شدگی ناشی از خشک شدن، جذب آب

### - نتیجه گیری :

بتن گازی ماده ای است که نزدیک به ۷۰ سال سابقه کاربرد دارد به عنوان بتن سبک جهت تولید بلوک های سبک ساختمان و یا پانل های سبک مسلح ساختمانی دارد. خواص مطلوب شامل جرم حجمی پایین، نسبت مناسب مقاومت به جرم حجمی، عایق بندی مناسب حرارتی و ثبات حجمی و جمع شدگی ناشی از خشک شدن نسبتا پایین باعث شده است. این ماده در بسیاری از کشور های جهان با شرایط اقلیمی مختلف تولید و مورد استفاده قرار میگیرد .

### بتن کفی

با افزودن یک ماده کف زا معمولا بعضی شکل های پروتئین هیدرولیز شده یا صابون صمغی به مخلوط ساخته میشود. ماده کف زا در ضمن اختلاط با سرعت زیادی حباب های هوا را تولید میکند. هم چنین نسبت به بتن معمولی دارای مقاومت بهتری در مقابل آتش میباشد .

از مزایای دیگر استفاده از بتن اسفنجی آن است که میتوان آن را برید میخ را نگه میدارد و به مقدار قابل قبولی پایا میباشد اگر چه درصد جذب آب این نوع بتن بالا است ولی سرعت نفوذ آب در آن مادامیکه حفره ها با

مکش آب پر نشود پایین می باشد به این دلیل بتن اسفنجی مقاومت نسبی خوبی در مقابل یخبندان دارد و اگر دوغابی شود میتوان از آن در ساختن دیوار ها استفاده نمود .

### بتن سبک شامل :

(۱) بتن سبکدانه

(۲) بتن اسفنجی

(۳) بتن بدون ریز دانه

بتن پلیمری سبک: بتن سبک امتیازاتی بر بتن معمولی دارد مانند وزن مخصوص کمتر عایق بودن حرارتی و کاهش ابعادی و مقاطع بتنی ولی دارای نقایصی مانند نفوذپذیری آب ضرورت به کار گیری روش های ویژه برای اتصال قطعات به یکدیگر و تحمل ار کمتر است. استفاده از بتن های پلیمری سبک در تهیه قطعات پیش ساخته نماهای ساختمانی و تزئینی متداول گردیده است. بتن پلیمری علاوه امتیازات بتن معمولی سبک دارای مقاومت فشاری بالا نفوذپذیری کم امکان رنگ پذیری و پذیرش طرح های تزئینی و امکان تهیه در ضخامت های کم می باشد .

### بتن الیافی :

بتن مسلح یا الیاف بتن الیافی بتنی است که با سیمان هیدرولیکی مصالح سنگی ریز دانه و درشت دانه و الیاف مجزا و غیر پیوسته ساخته میشود. هدف از مسلح نمودن بتن یا الیاف افزایش مقاومت کششی جلوگیری از توسعه ترک ها و افزایش سختی بوسیله انتقال تنش در عرض مقطع یک ترک می باشد. بدین ترتیب در مقایسه با بتن بدون الیاف امکان تغییر شکل های بزرگتری فراهم میشود .

### - نتیجه گیری :

مصالح سبک بتنی در سه نوع بتن سبکدانه بتن اسفنجی و بتن بدون ریز دانه ارائه میشود که هر کدام از این موارد در کاهش وزن ساختمان اثر چشمگیری از بتنهای سبکدانه با انواع سبکدانه های طبیعی و مصنوعی تهیه میشود و در موارد سازه ای نیمه سازه ای و غیر سازه ای مورد استفاده قرار میگیرند. بتن اسفنجی در دونوع بتن

گازی واسفنجی ارائه میگردند که غالباً مصارف سازه ای دارند. بتن بدون ریز دانه نوع سوم بتن های سبک میباشد که در کاهش وزن بار مرده ساختمان نقش بسزایی دارد. بنا بر این ممکن است استفاده از مصالح سبک باعث کاهش هزینه تمام شده ساختمان نیز شود همانطور که استفاده از مصالح سبک بدون در بر داشتن هزینه اضافی میتواند نقش مناسبی در عایق سازی حرارتی ساختمان ایفا کند .

### ● مصالح سازه ای طبیعی :

چوب: چوب از جمله مصالح سبک سازه ای که تجربه های موفقی در اکثر کشور های جهان داشته است .

#### الف) مصالح چوبی :

چوب به عنوان یکی از مصالح ساختمانی دارای چند خاصیت با ارزش است مقاومت نسبی بالا مقدار چگالی کم و رسانایی کم در عین حال چوب چندین نقطه ضعف نیز دارد. در مقطع عرض دارای خواص متفاوت از زجهات مختلف دارد. هم چنین چوب دارای قابلیت پوسیدن و اشتعال است. چوب سنگین تر معمولاً مقاوم تر است بار بیشتری را تحمل میکند قابلیت هدایت حرارتی چوب کم است. و به این دلیل برای ساختن عایق حرارتی مناسب است. چوب از لحاظ مصرف به اشکال مختلف چوب های بریده شده چوب های ورقه ای و چوب های گرد تقسیم بندی میشوند. چوب های گرد: ضخامت بین ۱۴-۳۴ سانتی متر و درازای ۱/۸-۷/۸ متر دارند و به دودسته گردینه و تیر تقسیم میشوند .

چوب های بریده شده :

(۱) چهار تراش :

مقطع آن مربع است . مقطع ابعاد آن کمتر از ۲۰ سانتی متر و درازای آن ۴ یا ۵ متر است

(۲) بینه :

از تقسیم یک گره بینه بدست میاید .

(۳) الوار :

ممکن است چهار گوش یا سه گوش باشد که تقریباً راست و بدون گره است طول آن ۳ متر است .

### چوب های ورقه ای :

اغلب این ورقه ها بصورت روکش برای سطح تخته های مصنوعی مثل نئوپان و تیر استفاده میشود چوب های مصرفی در روکش سازی باید از مرغوبیت بالایی برخوردار باشد .

چوب های مصنوعی شامل تخته چند لایه :مزایای آن کم کردن پدیده هم کشیدگی و وا کشیدگی است تخته خرده چوب (نئوپان)تخته فیبرها صفحات چوب سیمان):

این صفحات در برابر آتش کاملاً مقاومند در برابر قارچ های چوب کاملاً متفاوتند در برابر اب و رطوبت و پوسیدگی سرما و یخبندان کاملاً مقاومند عایق صدا و حرارت هستند سبک میباشد و در اکثر قسمت های ساختمان قابل مصرف است قابلیت نصب بر روی آجر و بتون را دارد از نظر اتصالات قابلیت های چوب را دارد و هم چنین قابل یخ زدن و پیچ کردن است .

### (۱) کانتکس :

از این محصول برای ساخت دیوار سقف کاذب و مانند این ها استفاده میشود. کانتکس از مصالحی است که عایق حرارت و صوت در برابر آتش سوزی است و به راحتی بر روی تیر های آهنی و چوبی و تیر چه های بتونی قابل نصب است.

### (۲) آندولین :

سقف پوشی است موج دار متشکل از الیاف گیاهی و مواد شیمیایی و مصنوعی اشباع شده میباشد .

### (۳) تخته های گلو کام :

بصورت های گوناگون در ساختمان به کار برده میشود. از جمله در اجرای اسکلت کف سازی قاب سازی چهار چوب بندی سقف و بام پی سازی پوشش دیوار ها و بام تزئین خارجی و پوشش خارجی عایق بندی حرارتی و صوتی نازک کاری سقف و دیوار های داخلی و پوششش کف .

**- نتیجه گیری :**

چوب از جمله مصالح سبک سازه ای می باشد که تجربه های موفقی در اکثر کشور های دنیا داشته است. بسیاری از بناهای چوبی در سر تا سر دنیا در برابر عوامل مختلف محیطی و طبیعی از جمله شرایط اقلیمی و نیرو های جانبی از جمله زلزله و باد مقاومت و پایداری بسیار خوبی از خود نشان دادند. در هر صورت مشکلات پایه ای در زمینه استفاده از این نوع مصالح سبک علی الخصوص در زمینه سازه ای وجود دارد. هر چند که سایر کشور ها تجربه های موفقی در زمینه استفاده از این نوع مصالح داشته اند .

**(ب) مصالح سبک صنعتی :**

یکی از روش های سبک سازی ساختمان ها کاهش وزن تیغه های بار بر در ساختمان است. یکی از روش های نیمه پیش ساخته روش ساخت و ساز به کمک پانل های ساندویچی پیش ساخته تردی را نام برد که با نام های تجاری مختلف از قبیل : پوما سپ و سیلانوبا این روش تا دو طبقه ساختمان با استفاده از باربری قطعات مورد نظر ساخته میگردد .

پانل ها به دو گروه تقسیم میشوند :

(۱) سازه ای

(۲) غیر سازه ای

پانل های سازه ای در موارد د سازه ای و غیر سازه ای بکار برده میشود

(۱) پانل های ساندویچی یا بتن پاششی

(۲) پانل با هسته لانه زنبوری

(۳) پانل های اف.آر.پی

**پانل های ساندویچی با بتن پاششی**

پانل های سه بعدی ساندویچی از جمله کامپوزیت های پلیمری میباشند. ساندویچ پانل مصرفی به عنوان نام و پوشش دیواری بصورت کنگره ای و صاف و نوع سقفی آن با بر جستگی هایی به صورت شادولاین می باشد. پانل های سقفی دیافراگم کف را تشکیل میدهد این پانل ها در کنار یکدیگر مستقر شده و روی پانل



های دیوار نصب میگردند. پانل های دیوار علاوه بر این که جداکننده فضا های معماری هستند نقش دیوار بار برقائم و دیوار برشی در برابر بار های جانبی را هم ایفا میکنند. بنا بر این عموماً در اینگونه سازه ها اسکلت فلزی یا بتنی وجود ندارد و ساندویچ پانل به دلیل شکل خاص خود از ظرفیت بار بری بالایی برخوردار است. و نیز از پانل های غیر بار بر در ساختمان علاوه بر کاهش وزن مزایایی از قبیل یکپارچه بودن تیغه ها با سازه در برابر بار های جانبی را داراست.

### بتن سبک

وزن مخصوص : هر متر مکعب حدود ۶۰۰ کیلو گرم مقاومت فشاری : ۳۰ تا ۳۵ کیلو گرم کار کردن با بتن سبک (هبلکس) بسیار آسان است . مثلاً براحتی می توان آنرا اهر نمود یا میخ در آن کوبید و یا جای پریر یا کانال عبور سیم برق و لوله آب را در آن بوجود آورد . علاوه بر این بتن سبک در مقابل آتش بسیار مقاوم است و کلیه شرایط سلامت محیط زیست را دارا می باشد .

با توجه به آئین نامه جدید محاسبه ایمنی ساختمانها در برابر زلزله ، بکارگیری مصالح سبک وزن راه حل مناسب و با صرفه در جهت افزایش ایمنی ساختمان می باشد و بلوکهای بتن سبک (هبلکس) تامین کننده این مزیت فنی است . یک متر مکعب بلوک هبلکس حدود ۶۰۰ کیلو گرم وزن دارد که برابر ۸۶۶ عدد آجر به وزن ۱۷۵۰ کیلو گرم می باشد .

بعبارت دیگر یک عدد بلوک  $۲۰ \times ۲۵ \times ۵۰$  هبلکس مطابق با ۲۶ عدد آجر است در حالیکه وزن آن برابر وزن ۱۰ عدد آجر بوده و یک کارگر براحتی می تواند آن را حمل نماید و سریعاً نیز نصب می گردد . ضمناً ملات مصرفی برابر ۲۵٪ ملات مورد نیاز برای اجرای همان دیوار با آجر بوده و به درصد سیمان کمتری نیز در ملات نیاز دارد . بعنوان مثال : چنانچه برای اجرای یک دیوار با آجر به یکصد کیلو گرم سیمان نیاز باشد همان دیوار در صورت استفاده از بلوکهای هبلکس ۱۵ کیلو گرم سیمان مصرف می کند .

همچنین بارگیری و حمل بلوکهای هبلکس که در قالبهای ۱۵/۳ متر مکعبی بسته بندی می شوند با استفاده از جرثقیل فکی و تریلی کفی براحتی و اقتصادی تر انجام می گردد .

### مزایای فنی

سبکی وزن ، عایق در برابر حرارت ، برودت صدا ، استحکام و پایداری در مقابل زلزله و آتش سوزی و بسیاری مزایای دیگر از محاسن بلوکهای هبلکس نسبت به سایر مصالح قدیمی نظیر آجر و سفال می باشد .

### مزایای اجرایی

با توجه به ابعاد و سبکی و راحتی نصب بلوکهای هبلکس در همه ضخامتها ، سرعت اجرای هبلکس نسبت به سایر مصالح به ۳ برابر بالغ می گردد .

### مزایای اقتصادی

پروژه های ساختمانی با استفاده از بلوک های هبلکس با در نظر گرفتن سرعت اجرا ، به دستمزد کمتری نیاز دارد و همچنین استفاده از هبلکس به سبب مصرف ملات کمتر و نیز کاهش بارهای وارده به سازه بدلیل وزن کم دیوارها که موجب کاهش ابعاد سازه می شود . صرفه جوئی قابل ملاحظه ای را در هزینه مصالح مصرفی موجب می گردد .

عایق بودن هبلکس در برابر گرما و سرما ، علاوه بر صرفه جوئی چشمگیری در فضاهای تاسیساتی و سطح حرارتی برودتی موجب کاهش قابل ملاحظه در مصرف انرژی لازم برای سرمایش و گرمایش ساختمان در آینده خواهد شد . (خصوصا با توجه به روند افزایش قیمت سوخت ) .

به علاوه با توجه به ظوابط اخیر شهر سازی مربوط به اماکن عمومی نظیر هتلها و ادارات مبنی بر جلوگیری از انتشار صدا بین واحدها و اطاقها .

### دستورالعمل اجرایی

#### ۱- کادر اجرایی :

کار کردن با هبلکس نیاز به تخصص خاصی ندارد . با توجه به ابعاد و سهولت کار با هبلکس ، سرعت اجرا نیز نسبت به آجر و سفال تا دو الی سه برابر افزایش می یابد .

## ۲- ملات مورد نیاز

همان ماسه و سیمان می باشد و با توجه به اینکه بلوکهای هبلکس یک نوع بتن سبک می باشد و همگونی کاملی با ملات ماسه سیمان دارد می توان نسبت ترکیب را به پنج یا شش به یک تبدیل و در مصرف سیمان صرفه جویی بیشتری نمود در مواردی که تیغه بندیهای مورد اجرا با آب و رطوبت سرکاری نداشته باشند (مثل دیوار اتاق خواب ، کار ، ... ) می توان از ملات گچ و خاک (به لحاظ صرفه جویی اقتصادی ) نیز استفاده نمود .

## ۳- جذب آب

با توجه به ابعاد و متخلخل بودن بلوکهای هبلکس ، نم و رطوبت توسط این بلوکها منتقل نمی شود نکته مهم : در عین این که بلوکها نم و رطوبت را منتقل نمی کنند ولی در سطح بلوک آب بیشتری را نسبت به مصالح مشابه جذب می کند . لذا در زمان استفاده از این بلوکها باید نکات زیر را رعایت نمود :

اول : قبل از اجرا بلوکها باید کاملاً خیس شوند .

دوم : ملات مصرفی را نیز باید با رقت بیشتری تهیه نمود .

سوم : بعد از اجرا در صورت امکان به دیوارها آب داده شود .

## ۴- اندود گچ و خاک

با توجه به سطح صاف و صیقلی هبلکس نسبت به سایر مصالح ( در صورت اجرای صحیح دیوارها به اندودی بیش از ۱ الی ۲ سانتیمتر نیاز نخواهد بود ) یعنی در هر طرف نیم الی یک سانت ) .

بشر برای تبادل حرارتی و رطوبتی با محیط خود و به منظور نگهداری خود در برابر شرائط اقلیمی ابتدا از پوشش یا لباس استفاده کرد خصوصیات انواع لباس از نظر فرم و نوع جنس بیانگر و نشاندهنده شرائط اقلیمی متفاوت محیط است . پس از پوشش بدن انسان در اندیشه احداث فضاهای مناسب برای انجام کارهای مختلف بر آمد لذا با امکانات و شرائط موجود اقدام به ساختن بناهای مورد نیاز کرد .

تا چند دهه قبل مصالحی که انسان برای ساختمان سازی در اختیار داشت از نظر انگشتان دست بیشتر نبود و ساختمانها با رعایت شرائط آب و هوا و موقعیت جغرافیایی و مصالح موجود در منطقه ساخته می شوند . در

ایران خاک رس دستمایه اولیه مصالح ساختمانی بوده است. از شمال ایران تا حاشیه کویر و کرانه خلیج فارس همراه با مصالح دیگر مانند سنگ، چوب، گچ و آهک مصالح محدودی بودند که با آنها ساختمان بنا می شد. اما در تمام دوران و سالها معماران سعی می کردند که فضای مورد نیاز انسان را به طریقی بسازند که ضمن تامین نیازهای فیزیکی از نظر نیز متعادل و آرام بخش باشد. در جهان امروز بیش از ۹۰٪ مصالحی که عرضه می شوند در چند دهه اخیر شناخته و تهیه شده اند. هر کدام از این مصالح به تنهایی دارای خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه ای هستند که برای اهداف معینی فراهم شده اند. هر کدام از این مصالح به تنهایی دارای خواص فیزیکی و شیمیایی ویژه ای هستند که برای اهداف معینی فراهم شده اند. مصالح جدید برخوردار از تکنیک پیشرفته تهیه و عرضه به مراتب ارزاتر از مصالح سنتی در دسترس قرا می گیرند و از مقاومت فیزیکی بیشتری نیز برخوردارند. از نظر تنوع و زیبایی نیز این مصالح از مصالح محدود سنتی بیشتر جلب توجه می نمایند. لذا استفاده از آنها در ساختمان موجب بهبود رفاه نسبی انسانها و دوام بیشتر ساختمانها می شود یکی از نکات بسیار ضروری در امر ساختمان مدرن دنیا، کاهش وزن ساختمان است. این موضوع مسائل اقتصادی بسیاری را شامل می شود که کاهش قیمت مواد اصلی و کاهش هزینه حمل و نقل مصالح از محل تولید تا محل ساختمان از جمله آنهاست. از جمله مصالح جدیدی که در کشور ما در ساخت و زیبایی بناهای مسکونی مورد استفاده بسیار قرار گرفته است محصولی از کارخانجات بنای سبک می باشد که هبلکس با بین سبک نامیده می شود. این محصول جدید علاوه بر آن که استحکام و پایداری لازم را در قبال هر گونه آسیب و عوامل خارجی داراست عایق مناسبی در برابر سرما، گرما و صداست و نسبت به مصالح دیگر بسیار ارزاتر تمام می شود.

این محصول امتیازات ویژه ای نسبت به دیگر مصالح را دارد از جمله این که عایق مناسب حرارتی و صداست، در برابر فشار مقاوم است، با ابزار معمولی به آسانی بریده می شود و می توان آن را به هر شکل تراشید، سوراخ کرد و یا تغییر شکل داد. کارخانجات بنای سبک یکی از عظیم ترین تولید کنندگان ایتونگ در تهران واقع است. تولید کارخانه روزانه ۵۲۰ متر مکعب بلوکهای ساختمانی است که طبق استاندارد (Din) آلمان طبقه بندی شده اند.

بتن سبک یا بتن متخلخل اولین بار در سال (۱۹۲۴) میلادی بوسیله آرشیتکت سوئدی اختراع شد . این محصول هم اکنون در اروپا با نامهای ایتونگ و یا هبل عرضه می شود و بعلت سبکی و استحکام ، دارای مقاومت بالا در برابر زلزله است .

در موقعیت کنونی بتن سبک یا هبلکس بهترین ماده برای ساخت ساختمانهای کوچک و بزرگ مسکونی ، خدماتی ، صنعتی و کشاورزی بویژه در مناطق زلزله خیز می باشد .

هبلکس مخلوطی از سیلیس ، سیمان ، آهک و پودر آلومینیوم درحرارت ۲۰۰ درجه سانتی گراد و فشار ۱۲ اتمسفر در اتوکلاوها پخته و به قطعات مورد نیاز ساختمانی بریده می شود .

سیلیس از مهمترین مواد اولیه بتن سبک برای ساخت هبلکس از معادن داخل کشور تهیه می شود و آهک نیز بصورت فرآوری شده و پخته شده به داخل کارخانه حمل می گردد . در خط تولید بتن سبک یا هبلکس ۳ سیلوی نگهداری مواد اولیه وجود دارد که عبارتند از :

#### ۱- سیلوی سیلیس

#### ۲- سیلوی آهک

#### ۳- سیلوی سیمان

که مواد اولیه پس از نگهداری در این سیلوها به تدریج وارد خط تولید می شوند . سیلیس ، آهک و سیمان بوسیله الواتورهای مخصوص از سطح زیرین سیلوها به داخل آنها منتقل و درمدت زمان مشخص وارد خط تولید می شوند .

در نخستین مرحله از تولید بتن سبک ، مواد اولیه شامل سیلیس و آب در آسیاب شماره (۱) بصورت دوغاب یا گل در آورده می شود و در آسیاب شماره (۲) مواد مورد مصرف شامل سیلیس ، آهک و سیمان بصورت خشک پس از توزین مخلوط می شوند و در واقع دو آسیاب در این مرحله وجود دارد :

آسیاب شماره (۱) یا آسیاب مواد تر

آسیاب شماره (۲) یا مواد خشک

که پس از مخلوط شدن و فرآوری ، مواد به محل قالب ریزی انتقال داده می شوند .

پیش از آنکه مواد به قسمت قالب ریزی انتقال یابند بدقت توزین شده و در میکسرهای مخصوصی در مدت زمان لازم و مشخص مخلوط می شوند. در این بخش ۳ نوع مواد اولیه وجود دارد که توزین نهایی مواد در آنها انجام می شود. هر ۳ نوع مواد شامل آهک، سیمان و سیلیس در این بخش توزین شده و وارد آسیاب های خشک و تر می شوند مرحله بعدی کار مرحله قالب ریزی مواد است که مواد مخلوط شده در داخل قالبهایی که هر کدام تقریباً ۳ متر معکب گنجایش دارند ریخته میشوند.

مخلوط متناسب از سیلیس، آهک، سیمان و آب که با شیوه ای هماهنگ در میکسرهای عمل آوری شده است نیمی از حجم قالبها را پر می کند. این مواد پس فعل و انفعالات شیمیایی در زمانی مشخص بصورت قالبهای مورد نظر در می آیند این زمان حدود ۳/۵ ساعت به درازا می کشد. اینک زمان آن رسیده است تا قالبهای تولیدی را به خط ریخته گری انتقال دهند. این قالبها بوسیله شیفته به خط ریخته گری کارخانه برده می شوند تا این مرحله از کار انجام شود. قالبهای تولیدی را بامازوت اندود می کنند تا در مرحله ریخته گری چسبندگی ایجاد نشود.

بدلیل فعل و انفعالات شیمیایی در مرحله قالب ریزی، مواد اولیه حرارتی حدود ۷۰ درجه سانتی گراد تولید می کنند.

میزان حرارت موجود و آمادگی قالبها برای خط برش بوسیله متخصصان کارخانه اندازه گیری می شود تا پس از اعلام آمادگی قالبها به خط برش منتقل شود.

بعلت تغییراتی که می تواند در مواد اولیه رخ دهد، این مواد پیش از ورود به خط، کنترل شده و آزمایش های شیمیایی روی آنها انجام می شود و پس از ورود به خط نیز بنا به کیفیتی که درون قالبها دارد، تحت آزمایش و کنترل کیفی قرار می گیرند.

در این بخش از کارخانه سطح خارجی قالبها برداشته می شود تا یک سطح هموار و مشخصی از تمام قالبها نمایان شود در این قسمت دیوارهای جانبی قالبها جدا شده و از واگنها جدا می شوند و آنگاه به بخش برش انتقال می یابند. در این بخش پس از دیواره برداری از قالبها، ابتدا برشهای عرضی به قالبها داده می شود و آنگاه با دستگاههای پیشرفته برش و با دقت و توجه خاص کارکنان و متخصصان کارخانه برشهای طولی

قالبها انجام خواهد شد. اندازه برشهای طولی و عرضی قالبها بسته به تقاضای مصرف کنندگان و بازار مصرف آن دارد که به وسیله متخصصان کارخانجات بنای سبک قابل تنظیم خواهد بود.

پس از مرحله برش، قالبها بر روی واگنهای مخصوصی قرار می گیرند و تا به بخش بلوکی که مرحله پخت قالبهاست انتقال یابد.

قالبهای هبلکس در مرحله پخت وارد اتوکلاوها می شوند و به مدت ۵/۱۳ ساعت در حرارت ۲۰۰ درجه سانتی گراد و با فشار ۱۲ اتمسفر پخته و عمل آوری می شوند.

اکنون قالبها با گذشت ۵/۱۳ ساعت در اتوکلاوها و پخت کامل به بخش بار انداز محصولات آماده تحویل انتقال می یابند تا به تدریج به بازار مصرف عرضه شود.

همانگونه که پیش تر گفته شد آنچه که مشخص بارز و شاخص هبلکس یا بتن سبک می باشد، استحکام لازم، کاربرد سریع در ساختمان سازی، سبک و شکل پذیر بودن، عایق بودن در مقابل سرما، گرما و صدا، صرفه جویی در ملات مصرفی و در نهایت ارزان بودن آن در برابر سایر مصالح ساختمانی است و در یک کلام می توان نتیجه گرفت که استفاده از بلوکهای ساختمانی هبلکس وزنی سبک تر، سرعتی بیشتر، مصالحی کمتر و دیگر مسائل مهندسی را بوجود می آورد. در هبلکس به لحاظ داشتن تخلخل عمل تبخیر به آسانی انجام می شود. با توجه به آئین نامه جدید محاسباتی و ایمن سازی ساختمانها در برابر زلزله تنها راه حل صرفه جویی در مقابل کاربرد مصالح و افزایش ایمنی بکارگیری مصالح سبک وزن می باشد که بنای سبک یا هبلکس شاخص این مزایاست.

یک متر مکعب هبلکس ۶۰۰۰ کیلوگرم وزن دارد که برابر با ۱۰۰۰ عدد آجر معمولی به وزن ۲ تن است. هبلکس پدیده ای نوین در ساختمان سازی است که با توجه به مزایای خاص آن جایگاه ویژه ای در امر مسکن و ساختمان خواهد داشت.

## ویژگی های عمده بتن سبک

### ۱- عامل اقتصادی

سبکی وزن با مقاومت مطلوب فوم بتن با توجه به نوع کاربرد آن به طور کلی به لحاظ اقتصادی مخارج ساختمان را میزان قابل ملاحظه ای کاهش میدهد چون در نتیجه استفاده از آن ، وزن اسکلت فلزی و دیوارها و سقف کاهش یافته و ضمناً باعث کاهش مخارج فونداسیون و پی در ساختمان می گردد که با توجه به خواص فوق با سبکتر بودن ساختمان نیروی زلزله خسارت کمتری را در صورت وقوع متوجه آن می سازد.

### ۲- سهولت در حمل و نقل و نصب قطعات پیش ساخته

حمل و نقل قطعات پیش ساخته با بتن سبک هزینه کمتری را نسبت به قطعات بتن در بر داشته و نصب قطعات بعلت سبکی آنها بسیار آسان می باشد و هر گونه نازک کاری براحتی روی پوشش بتن سبک قابل اجرا است و ضمناً چسبندگی قابل توجهی با سیمان و گچ دارد.

### ۳- عایق بودن در برابر گرما . سرما . صدا

بتن سبک به علت پایین بودن وزن مخصوصش یک عایق موثر در مقابل گرما . سرما و صداست . ضریب انتقال حرارت بتن سبک بین  $0.65/0$  تا  $435/0$  می باشد ( ضریب هدایت بتن معمولی  $3/1$  تا  $7/1$  می باشد ) استفاده از بتن سبک بعنوان عایق باعث صرفه جویی در استفاده از وسایل گرمایزا و سرمازا می گردد. بتن سبک عایق مناسبی جهت صدا با ضریب زیاد جذب آگوستیک به شمار می رود که در نتیجه بعنوان یک فاکتور رفاهی در جهت جلوگیری از ورود صداهای اضافی می باشد که اخیراً مورد توجه طراحان قرار گرفته است.

### ۴- مقاومت در برابر نفوذ رطوبت و آب

نظر به اینکه بتن سبک در قشرهای سطحی دارای تخلخل فراوان می باشد در نتیجه شکافهای موئین و درزهای کمتری در سطح ایجاد می شود و اگر پوشش فوم بتن با ضخامت کافی مورد استفاده قرار گیرد در مقابل خطر نفوذ باران و رطوبت مقاومت مطلوبی خواهد داشت .



## ۵- مقاومت بتن مقابل آتش

مقاومت بتن سبک در مقابل آتش فوق العاده می باشد .

به طور مثال قطعه ای از نوع بتن سبک با وزن فضایی ۷۰۰ الی ۸۰۰ کیلو گرم در متر مکعب که حداقل ۸ سانتی متر ضخامت داشته باشد به راحتی تا ۱۲۷۰ درجه سانتیگراد را تحمل می نماید و اصولاً در وزنهای پایین غیر قابل احتراق است .

## ۶- قابل برش بودن

به دلیل قابل برش بودن با اره نجاری و میخ پذیر بودن آن کارهای سیم کشی و نصب لوازم برقی و تاسیسات خیلی سریع و به راحتی قابل عمل خواهد بود .

## کاربرد بتن سبک در ساختمان

### ۱- شیب بندی پشت بام

بتن سبک با صرفه ترین و محکم ترین مصالح سبکی است که می توان از آن برای پوشش شیب بندی استفاده نمود . نظر به اینکه با دستگاه مخصوص به صورت یکپارچه در محل قابل تهیه و استفاده است می توان مستقیماً روی آن را عایق بندی یا ایزولاسیون نمود .

### ۲- کف بندی طبقات

به دلیل سبکی وزن بتن سبک و آسان بودن تهیه آن می توان تمامی کف طبقات ، محوطه و بالکن ساختمان را بعد از اتمام کارهای تاسیساتی با آن پوشانده و بلافاصله عملیات بعدی را مستقیماً روی آن انجام داد .

### ۳- بلوک های غیر باربر سبک

با بلوکهای توپر به ابعاد دلخواه می توان تمامی کار تیغه بندی قسمتهای جدا کننده ساختمان را با استفاده از ملات یا چسب بتن انجام داد. با این نوع بلوک ها علاوه بر این که از سنگین کردن ساختمان جلوگیری می شود عملیات حمل و نصب خیلی سریع انجام می گیرد و دست مزد کمتری هزینه می شود. پس از اجرای دیوار می توان مستقیماً روی آن را گچ نمود. این بلوک ها دارای وزن فضایی بین ۸۰۰ الی ۱۱۰۰ کیلوگرم می باشند.

### ۴- پانل های جدا کننده یکپارچه جهت محوطه و موارد خاص

جهت ساخت دیوارهای سردخانه ها، گرم خانه ها و سالن های ضد صدا می توان در محل با قالب بندی، بتن سبک را به صورت یکپارچه عمودی ریخت. به دلیل ویژگی عمده عایق بودن این نوع بتن جهت عایق بندی سردخانه ها، گرم خانه ها، پوشش لوله های حرارتی و برودتی و ... کاربرد مهمی دارد. ضمناً به دلیل این که عایق صدا می باشد برای موتور کارخانه و اتاق های اکوستیک مورد استفاده وسیع قرار می گیرد.

### کامپوزیت سیمانی

بتن جدید که « کامپوزیت سیمانی مهندسی » نامیده شده به دلیل عمر طولانی دراز مدت از بتن معمولی ارزان تر است. دانشمندان « دانشگاه میشیگان » گونه جدیدی از بتن مسلح با الیاف ساخته اند که از بتن عادی ۴۰ درصد سبک تر و در برابر ترک خوردن ۵۰۰ بار مقاوم تر است.

عملکرد این بتن جدید از یک طرف به دلیل وجود الیاف نازکی است که ۲ درصد حجم ملات بتن را تشکیل می دهد و از طرف دیگر به این خاطر که خود بتن از موادی ساخته شده است که برای ایجاد حداکثر انعطاف پذیری طراحی شده اند.

به گفته دانشمندان بتن جدید که « کامپوزیت سیمانی مهندسی » نامیده شده، به دلیل عمر طولانی تر در دراز مدت از بتن معمولی ارزان تر است. به گفته « ویکتورلی » استاد گروه مهندسی سازه « دانشگاه میشیگان » و

سرپرست تیم سازنده بتن ، تکنولوژی کامپوزیت سیمانی تا کنون در پروژه هایی در ژاپن ، کره ، سوئیس و ایتالیا به کار گرفته شده است . استفاده از آن در ایالات متحده به نسبت کندتر بوده .

این در حالی است که بتن متعارف دارای مشکلات بسیاری از جمله نداشتن دوام و پایداری ، شکست در اثر بارگذاری شدید و هزینه های تعمیر است .

به گفته «لی» بتن نشکن یا انعطاف پذیر به جز شن درشت از همان مواد تشکیل دهنده بتن معمولی ساخته شده است . بتن نشکن کاملاً شبیه بتن عادی است اما تحت کرنش های بسیار بزرگ ، بتن کامپوزیت سیمانی تغییر شکل می دهد ، این قابلیت از آنجا ناشی می شود که در این نوع بتن ، شبکه الیاف داخلی سیمان قابلیت لغزیدن داشته و در نتیجه انعطاف ناپذیری بتن که باعث تردی و شکنندگی است ، از میان می رود .

امسال برای اولین بار «اداره حمل و نقل میشیگان» برای نوسازی قسمتی از عرشه پل «گرواستریت» بر فراز بزرگراه از کامپوزیت سیمانی استفاده می کند .

دالی از جنس کامپوزیت سیمانی جایگزین یک مفصل انبساطی در این قسمت از پل خواهد شد تا با متصل کردن دالهای بتنی مجاور به هم ، عرشه یکنواخت از بتن بوجود آورد . استفاده از مفصل انبساطی به عرشه بتنی قابلیت حرکت در اثر تغییرات می بخشد . اما در هنگام گیر کردن مفصلها مشکلات زیادی پیش می آید .

دانشمندان انتظار دارند استفاده از کامپوزیت سیمانی باعث صرفه جویی در هزینه ها شود.

اگر چه هنوز مطالعات دراز مدت زیادی برای تایید عملکرد کامپوزیت سیمانی مورد نیاز است ، مقایسه های انجام شده در «مرکز سیستمهای پایدار» از «دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست» به همراه گروه «لی» نشان میدهد در یک دوره ۶۰ ساله ، استفاده در عرشه پل ، کامپوزیت سیمانی نسبت به بتن عادی ۳۷ درصد ارزانتر است و ۴۰ درصد انرژی کمتری مصرف میکند و باعث کاهش انتشار دی اکسید کربن تا ۳۹ درصد می شود.

برای نخستین بار در کشور بتن غلطکی RCCP با موفقیت اجرا شد

یک شرکت تحقیقاتی بتن توانست بتن غلطکی RCCP که جایگزین مناسبی برای آسفالت می باشد را در شهرستان هشتگرد برای اولین بار با موفقیت اجرا کند

کارشناسان این مرکز درباره نقش و جایگاه بتن های غلطکی RCCP معتقدند که با توجه به مسائل زیست محیطی ناشی از آسفالت در کنار دوام اندک آسفالت در برابر تغییرات جوی ، ضربه پذیری و سایش ، موضوع بتن RCCP از دهه های گذشته در کشورهای توسعه یافته مورد توجه قرار گرفت به نحوی که در حال حاضر بیش از ۸۰ درصد معابر سواره رو در اغلب کشورهای توسعه یافته با استفاده از بتن غلطکی اجرا شده است.

تکنیک ساخت معابر سواره رو در دنیا دستخوش تغییرات وسیعی شده است و به خاطر واکنش های مختلفی که در مواد نفتی به مرور زمان به وجود می آید ، موضوع تغییر بافت خیابان ها و اتوبان ها جایگزینی RCCP را پیش روی کشورهای توسعه یافته قرار داده است و وضعیت امروزی خیابان ها در کشورهای در حال توسعه در وضعیتی است که ناشی از بی توجهی به فن آوری های جدید است. لذا باید مدیران و صاحبان صنایع برای وارد کردن فن آوری های جدید به هماهنگی برسند ، در غیر این صورت وضعیت نادرست موجود در بخشهای مختلف ادامه خواهد داشت ...

### دلایل توجه به بتن غلطکی

« همه ساله صدها میلیارد تومان در کشورما برای تامین روکش آسفالت خیابانها هزینه می شود که پس از گذشت یک تا پنج سال این آسفالت مجدداً بایستی تعویض شود، این مساله باعث شکل گیری نارضایتی های وسیعی در بین همه اقشار جامعه شده است . البته ابعاد فقدان کیفیت آسفالت خیابانها در همین جا به پایان نمی رسد بلکه باعث آبرو ریزی ملی و بین المللی برای صنعت و جامعه مهندسی نیز شده است. »

به گفته محققان، پیچیدگی های بتن غلطکی به مرحله اجرا و دانش فنی تولید منتهی می شود و به نظر می رسد با تجربیاتی که بدست آمده میتوان امروزه گفت که تکنولوژی ساخت خیابان و اتوبان های با دوره دوام بالا نیز در کشور ما بومی شده است، لیکن بایستی ببینیم که مسئولین تا چه حد از این دستاورد استقبال می کنند.

### پروژه های ساخته شده با هبلکس

در میان هزاران پروژه ای که با بلوکها و یا قطعات پیش ساخته هبلکس در سراسر ایران ساخته شده یا میشوند صورت زیر که حاوی بخشی از پروژه های مزبور به تفکیک نوع ساختمان است گویای استقبال فراوان و روزافزون از هبلکس در میان سازندگان کشور میباشد.

**بیمارستانها :** مجتمع پزشکی دکتر بحری - بیمارستان کسری ، خیابان الوند - پیامبران ، فلکه دوم صادقیه - شهریار ، جاده قدیم شمیران - طوس ، مطهری - امیراعلم ، سعدی - آرش ، تهرانپارس - بقیه الله الاعظم ، ملاصدرا - قلب و عروق ، فاطمی ، مرکز پیوند مغز و اعصاب ، بیمارستان شریعتی ، امیرآباد - امیرالمومنین ، ستارخان در تهران - بیمارستان امام خمینی - باقرخان - امام رضا و ۱۷ شهریور در مشهد - بیمارستان تأمین اجتماعی در آمل - ۶۴ تختخوابی اسد آباد و اکباتان در همدان - بیمارستان تأمین اجتماعی رشت - بیمارستان تأمین اجتماعی ، چاه بهار - بیمارستان تأمین اجتماعی ، مرو دشت - شیراز - بیمارستان تأمین اجتماعی ، جهرم - بیمارستان تأمین اجتماعی اهواز - ۲۰۰ تختخوابی ارومیه - ۵۰۲ تختخوابی بوشهر - مرکز پزشکی بیستون کرمانشاه - دانشگاه پزشکی گرگان - بیمارستان کلیر ، کلیر کردستان - بیمارستان تأمین اجتماعی اراک - بیمارستان افضل پور کرمان - بیمارستان برازجان - بیمارستان تأمین اجتماعی ماهشهر - بیمارستان تأمین اجتماعی تبریز - بیمارستان تأمین اجتماعی ورامین - بیمارستان تأمین اجتماعی چالوس - بیمارستان مرکز قلب تهران - بیمارستان پیامبران و.....

### دانشگاه ها و مراکز آموزشی و فرهنگی

دانشگاه تربیت مدرس - دانشگاه امیرکبیر - پیام نور - صنعتی شریف - امام حسین (ع) - آزاد اسلامی در تهران - مجتمع آموزشی روشنگر ، مجتمع آموزشی فجر ، مجتمع آموزشی شهید مهدوی در تهران - دبستان راهنمایی معلم - دبستان شهید سلیمانی - هفتم تیر - کیهان - وژین پرور در تهران - دبستان امام رضا (ع) در داوود آباد ورامین - دانشگاه شهید باهنر کرمان - دانشگاه امام رضا (ع) در مشهد - مرکز آموزشی فنی و حرفه ای فارس - دانشکده دندان پزشکی شیراز - دانشکده بهداشت همدان - دانشگاه تربیت معلم سبزوار - کتابخانه ارشاد اسلامی همدان - دانشگاه بوعلی همدان - دانشگاه علوم پزشکی زنجان - و کلا نوسازی مدارس استان تهران و فارس - دانشگاه علوم و فنون ، بابل - و شعب مختلف دانشگاه آزاد در سراسر کشور . دانشگاه بقیه الله

سپاه پاسداران - مکتب امیرالمومنین (ع) - مدرسه دخترانه اسلامی دانشگاه امام صادق (ع) - مرکز تحقیقات و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی تهران - مرکز پیش دانشگاهی فضیلت و....

### ساختمانها و برجهای مسکونی تجاری

در تهران : برجهای آتی ساز (اوین) - برج سفید ، پاسداران - برج پردیس ، میرداماد - برج گلناز ، انتهای آفریقا - برج سحر ، مقدس اردبیلی - مجتمع مسکونی سعدآباد، تجریش - مجتمع مسکونی لاله ، تقاطع مدرس و آفریقا - مجتمع بیژن ، میدان محسنی - مجتمع مسکونی مفید ، بلوار استاد معین - مجتمع مسکونی فراز ، سعادت آباد کوی فراز - مجتمع مسکونی کارکنان مخابرات ، پاسداران - مجتمع سپند ، آجودانیه - مجتمع مسکونی تعاونی صدا و سیما شهرک قدس - مجتمع مسکونی شهید شاه آبادی ، تهرانپارس - خوابگاه دانشگاه تهران ، امیرآباد شمالی - مجتمع تجاری روحی ، بازار بزرگ تهران ، برجهای ASP - تعاونی مسکونی جهاد رزمندگان ، تهران تعاونی مسکن جهاد سازندگی تهران - هتل ۵ ستاره آزادی در زاهدان - پروژه باقلازانو بنیاد شهرک مجلسی ، اصفهان ، شهرک منظریه ، اصفهان - شهرک بهارستان - مجتمع کارکنان گمرک بندرعباس - پروژه روح افزا بنیاد مسکن دماوند - بازار بین المللی پردیس ، جزیره کیش - هتل بین المللی شیراز .

تعاونیهای مسکن تعاونی مسکن نیروی هوایی (تهران) - تعاونی مسکن نیروی دریایی (تهران) - پروژه هزار واحد مسکونی صنایع دفاع (خاورشهر) - شهرک ناز (پردیس کرج) - اتحادیه تعاونیهای مسکن ایران (اسکان) - تعاونی مسکن چیست سازی ری - تعاونی مسکن مخابرات - تعاونی مسکن مخابرات اهواز - بنیاد مسکن انقلاب اسلامی - تعاونی مسکن نیروی مقاومت بسیج - جهاد خانه سازی کرمانشاه - هتل بیت الزینب (مشهد) - تعاونی مسکن جهاد کشاورزی اراک - تعاونی مسکن جهاد دانشگاهی مشهد - تعاونی مسکن کارگران پرنیا - تعاونی مسکن مالیات بر شرکتها - تعاونی مسکن عقیدتی سیاسی ارتش - تعاونی مسکن شرکت ملی نفتکش ایران - شرکت طرح و گسترش مسکن اجتماعی - تعاونی مسکن علوم پزشکی کرمانشاه - تعاونی مسکن کارکنان صدا و سیما - تعاونی مسکن اصحاب نیکلا دماوند - تعاونی مسکن مهندسی ۱۴ - تعاونی پرنده - تعاونی پرنده - طرح و گسترش مسکن اجتماعی - شرکت تعاونی تکسام اهواز = برج کوثر و دهها پروژه در کیانپارس و....

### تأسیسات صنعتی و اداری

ساختمان مرکزی جهاد سازندگی ، خیابان آزادی - شرکت خانه سازی سپاه پاسداران ، شهرک پردیس بومهن - مرکز خرید سپاه پاسداران تهران - مرکز خرید تیراژه - مجتمع تجاری میلاد قائم - مجتمع بازار فردوسی - مجتمع فروشگاه میلاد - مجتمع تجاری توحید - بانک مرکزی ، تهران - بانک ملت طالقانی - ساختمان سرپرستی بانک تجارت (آزادی) - پاکسان ، جاده کرج - پروژه ابزار و یراق ، خیابان امام خمینی تهران - سرپرستی بانک ملی (جنوب) - تهران - پروژه اداری حفاظت و اطلاعات نیروی انتظامی - ماشین نان کرج - مؤسسه استاندارد کرج - بازارچه حرم عبدالعظیم شهر ری - نهاد سرپرست جمهوری - ساختمان جدید رادیو ایران ، جام جم - سرپرستی بانک ملی خرم آباد - سرپرستی بانک ملی یزد - سرپرستی بانک ملی زنجان - پالایشگاه بندرعباس - پالایشگاه قطران ، ذوب آهن اصفهان - مجتمع طیور ارومیه - مرکز صنایع الکترونیک شیراز - ساختمان پرورش گیاهان دارویی (وابسته به جهاد دانشگاه) - سد کارون ۳ ایزه - سد کوثر ، بهبهان - سردخانه بزرگ شیراز - هتل بزرگ شیراز - مجتمع تولیدی صنعتی یاسوج - تراکتور سازی تبریز - ماشین سازی تبریز و نیز طرح ساخت و تکمیل حرم مطهر حضرت امام خمینی (ره) - کمیته امداد امام خمینی (ره) ، کرج - پایانه های حمل و نقل کشوری (کرمانشاه) .

وصدها پروژه کوچک و بزرگ دیگر در سراسر ایران با شناخت بیشتری و بهتر مزایای بتن سبک متخلخل در ساختمان مشتریان پر و پاقرص هبلکس می باشد و ....

### شرکتهای انبوه سازی و کارخانجات

شرکت مسکن و عمران قدس رضوی - شرکت کاشی کسری - برج صبا - شرکت راه صنعت - شرکت ملی مسکن و صنایع ساختمان - مرکز خرید تیراژه (کیش و عسلویه) - شرکت داروپخش - شرکت ایرتویا - شرکت توکا - شرکت ساختمانی تهران جنوب - شرکت ساحل ساری - شرکت پاسارگاد جنوب - گروه پزشکی عرفان غرب - شرکت آ.پی.اس - شرکت مهندسی ارغوان - شرکت مهندسی عمران و انرژی - پروژه های قوه قضاییه - شرکت کیبرریس تهران - صنایع غذایی بلکا شرق - شرکت نیک کالا - شرکت بتن آجر - شرکت نقشه پردازان آسیا - شرکت بازرگانی صنعتی تلاش - شرکت لاستیک البرز - شرکت سرمایهک مهبان

الیگودرز - شرکت محکم سازی - شرکت قوطی سازی بعثت - شرکت بیمه پارسیان ت شرکت ساختمانهای آموزشی - شرکت ساختمانی آیت الله سیستانی (قم) - شرکت سازه پردازان (سمنان) - مجتمع فرهنگی ، مذهبی مهدیه کرج - شرکت کشت و صنعت قارچ سحر - شرکت نسیم بروجرد - مسجد ابوذر - شرکت نمایشگاههای بین المللی کاسپین - شرکت سپار - شرکت بلند پایه (برج میلاد) - بسیج اساتید - شرکت میلاد گچ - بانک صادرات مرکزی - شرکت آباد اسکان (همدان) - شرکت پرتو مرصاد الفان - شرکت ساختمانی تأسیساتی بانی راه - مرکز فقه جهانی ائمه اطهار (قم) - سازمان پارکها و فضای سبز شهرداری - شرکت قارچ بیتا - مجتمع مسکونی تجاری گیس یزد - دفتر فنی مهندسی داد گستری خراسان - شرکت فرصت (خرم آباد) - شرکت مهندسی صبا نفت - زائر سرای مهین (مشهد) - مجتمع عظیم آناهیتا (کیش) - هتل ارم (کیش) - ساختمان سازمان منطقه ی آزاد (کیش) - مجتمع بزرگ گلف (کیش) - هتل تعطیلات (کیش) - بازار پردیس (۲) کیش - مرکز تجاری کیش - بخشی از مجتمع بزرگ مسکونی سارا (کیش) بخشی از مجتمع فرودگاهی (هلیکوپتر کیش) - ساختمان سوله و انبار درخت سبز (کیش) - قسمتی از مجموعه ورزشی مریم (کیش) - نمایندگی ایران خودرو شرکت مهندسی فن آوری - معادن و فلزات - مجتمع اقتصادی کمیته امداد امام خمینی (ره) شرکت سایبر (تونل قمروود) - شرکت قارچ سحر و دهها پروژه در شهرک صدف کیش و ....



مزایا و معایب

بتن سبک

(هبلکس)

بی شک، بشر زمانی پیشرفت و تمدن را تجربه کرد که برای مدتی طولانی، در محل مشخصی سکونت یافت؛ دیگر توان بشر صرف مهاجرت های طولانی نمی شد و برای برطرف کردن مشکلات به راه حل های تازه و افکار تازه ای روی آورد. برای ماندگار شدن در مکانی ثابت، بدون شک، داشتن خانه ی مناسب دغدغه اصلی آنها بوده، خانه ای که آنها را در برابر بلایای طبیعی، حمله وحوش و حتی بیگانگان محافظت کند؛ پیشینیان با توجه به این که امکانات حمل و نقل محدودی داشتند، برای این منظور از مصالح در دسترس استفاده می کردند: چوب، سنگ، گل، پوست احشام و...

بدون تردید، ماندگارترین این نوع مصالح که از تخت جمشید ایران تا اهرام مصر سالیان سال پایدار مانده سنگ است؛ اما سنگ به صورت اولیه؛ با توجه به شکل پذیری کم و حمل و نقل دشوار نمی تواند به عنوان مصالح اصلی در ساختمانهای امروزی کاربرد داشته باشد و این امر باعث شد که نوعی سنگ مصنوعی توسط بشر خلق گردد، که علاوه بر داشتن خواص سنگ مانند ماندگاری بالا و سازگاری با محیط اطراف، دارای قابلیت هایی مانند شکل پذیری مناسب و حمل آسان نیز باشد؛ امروزه این نوع مصالح را به نام بتن می شناسیم.

در دنیای پیشرفته امروزی و با توجه به پیشرفتهای صورت گرفته در زمینه های مختلف علمی، صنعت بتن نیز دچار تحول گردیده، تولید بتن سبک نیز حاصل همین پیشرفتهای می باشد؛ بتنی که علاوه بر کاهش بار مرده ساختمان از نیروی وارد به سازه در اثر شتاب زلزله می کاهد و در صورت تخریب، وزن آوار حاصل نیز کاهش می یابد و امروزه آنرا به عنوان بتن قرن می نامند. بتن سبک با توجه به ویژه گیهای خاصی که دارد دارای کاربردهای مختلف می باشد، که برحسب وزن مخصوص و مقاومت فشاری آن تفکیک می گردد.

### مزایای کاربرد بتن سبک

- با کاهش بار وارد بر روی فونداسیون، موجب کوچکتر شدن ابعاد آن، کمتر شدن تعداد و کوچکتر شدن شمعه ها و کاهش مقدار آرماتورهای و به طبع آن اجرای سریع تر و آسان تر فونداسیون می گردد.

- کاهش بار مرده سبب کوچک تر شدن اعضا نگهدار می شود.
- کاهش بار مرده بزور مستقیم باعث کاهش نیروهای لرزه ای وارد بر سازه می گردد.
- در گسترش پلها می توان با استفاده از مواد سبک مانند بتن سبک می توان عرشه پل را جهت تحمل ترافیک بیشتر بزرگ تر نمود بدون اینکه تغییری در سازه و یا فونداسیون پل ایجاد کنیم.
- با توجه به مقاومت مطلوب بتن سبکدانه در برابر آتش سوزی می توان از حداقل توصیه شده ضخامت بتن در کفها کاست (بیان شده در ACI-216).
- حمل و نقل قطعات پیش ساخته با بتن سبک بسیار راحت تر بوده و هزینه کمتری در بر دارد.

### بتن سبک سازه ای (Structural Lightweight concrete)

آیین نامه های موجود در زمینه تولید بتن سبک تعاریف مختلفی در رابطه با بتن سبک سازه ای ارائه داده اند و بهترین تعریفی که اکثر آنها را پوشش بدهد به قرار ذیل می باشد:

به بتن سبکی، سازه ای گفته می شود که دارای وزن مخصوصی بین ۱۴۴۰ تا ۱۸۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب و مقاومت فشاری بالای ۱۷ Mpa و یا ۲۵۰۰ Psi باشد و از آنجایی که هر چقدر بتن سبکتر گردد شکل پذیری آن نیز کاهش می یابد، برای بتن سبک سازه ای مقدار حداقل وزن مخصوص در نظر گرفته می شود. مقاومت نمونه های بتنی سبک سازه ای با وزن مخصوص رابطه ای تقریباً لگاریتمی دارد و با توجه به نوع بتن سبک دارای طیف مقاومتی متفاوتی میباشد.

### چگونگی تولید بتن سبک

بتن دارای دو جز اصلی می باشد: ۱- خمیرسیمان ۲- سنگدانه؛ سبک سازی می تواند در هر دو جز صورت پذیرد،

که سبک سازی در هر قسمت دارای ویژگیهای خاص و با استفاده از روشهای متفاوتی صورت می گیرد.

### ۱- سبک کردن خمیر سیمان

برای این منظور از موادی با پایه حیوانی مانند: سم، شاخ، خون و دیگر اعضا احشام و یا مواد خاص شیمیایی استفاده میگردد؛ این مواد که حباب زا می باشند با ایجاد تخلخل در خمیر سیمان، وزن بتن تولیدی را کاهش می دهند. این نوع بتن سبک، بتن کفی یا گازی (CLC Cellular Lightweight Concrete) نامیده می شود.

مواد شرکت کننده در ترکیب این نوع بتن سبک عبارتند از: سیمان، ماسه، آهک (بسته به نوع بتن کفی)، مواد حبابزا، آب و افزودنی هایی مانند: میکرو سیلیس (Micro Silica)، فوق روان کننده ها (Super Plasticizer)، خاکستر بادی (Fly Ash)، الیاف پروپیلین، پلون و غیره.

البته نوعی از مواد حباب زا در پایین آوردن جذب آب بتن نیز کاربرد دارند؛ این مواد با ایجاد حفرات بسیار ریز که برای حداکثر قطر آنها استاندارد تعریف شده، حفرات موئینه داخل بتن را بسته و مانع از نفوذ آب در آنها می شود.

مواد حباب زا یا کف ساز شیمیایی، معمولاً از نظر محیط زیست تجزیه ناپذیرند و برای تامین پایداری آنها از کلراید استفاده می گردد و به این نکته باید توجه خاص نمود که خود کلراید، خوردگی زیادی در تماس با فولاد دارد؛ و از مواد حباب زا ی دارای کلراید نباید در بتن مسلح استفاده گردد و به همین دلیل بتن تولیدی با این مواد، دارای کاربرد سازه ای نمی باشند.

در تولید نوع دیگری از بتن کفی یا گازی از فوم استفاده می گردد به این نحو که فوم در داخل میکسر با بتن مخلوط گردیده و باعث کاهش وزن بتن تولیدی می گردد. امروزه با تولید فوم های ارزان قیمت، این نوع از بتن کفی کاربرد وسیعی پیدا کرده و با توجه به صرفه اقتصادی آن شرکتهای بزرگ ساختمانی اقدام به بکارگیری این نوع بتن کرده اند.

## انواع بتن

بتن تولیدی با این روش دارای قابلیت های زیر می باشد:

- کاهش وزن مخصوص.
- کاستن هزینه تولید بتن.
- افزایش اسلامپ بتن و در نتیجه آن می توان نسبت آب به سیمان طرح اختلاط را کاهش داد.
- امکان شکل دهی مناسب به سطح بتن.
- پمپ کردن آسان آن به طبقات.
- مقاومت مطلوب در برابر یخ زدگی.

بتن سبک تولیدی با این روش (بتن کفی یا گازی) با توجه به تخلخل خمیر سیمان و مقاومت پایین آن که منتج به پایین آمدن مقاومت بتن تولیدی میگردد، کمتر به عنوان سازه ای کاربرد دارد و بیشتر در تولید مصالحی بکار می روند که نقش باربری کمی دارند.

عمل آوری بتن سبک کفی نیز متنوع می باشد به عنوان مثال، برای نوع خاصی از بتن کفی، بعد از مخلوط کردن مواد اولیه مانند سیمان، آهک، ماسه، مواد منبسط شونده و سایر افزودنی ها، مخلوط در داخل قالب مورد نظر ریخته شده و در دستگاه اتوکلاو قرار می گیرد و بعد طی زمان معینی از دستگاه اتوکلاو خارج می گردید، محصول نهایی بتن سبکی است که دارای شکل مورد نظرو همان قالب می باشد.

این نوع بتن سبک را که پیداش آن به سال ۱۹۱۴ و کشور سوئد می رسد Autoclaved Aerated Concrete (AAC) و یا Autoclaved Cellular Concrete (ACC) می نامند و کاربرد بسیار وسیعی در ۵۰ سال اخیر در صنعت ساختمان و بویژه در اروپا و آمریکا داشته است.

این نوع بتن سبک جایگزین مناسبی برای مصالح رایج بنایی مورد استفاده در ساختمان می باشد و می تواند به عنوان قطعاتی در دیوارها، سقف و سایر قسمتهای ساختمان کاربرد داشته باشد. عمده ماده منبسط شونده در تولید این نوع بتن سبک، پودر آلومینیوم می باشد. محصول نهایی که ماده ای منبسط شده است دارای حجمی تقریباً ۵ برابر مواد مصرفی می باشد که این خاصیت سبب شده به عنوان مصالحی اقتصادی و در عین حال کاربردی شناخته شود.

طیف وزنی آنها وابسته به مقدار سیمان و نیز قطر سنگدانه می باشد بطوریکه با استفاده از ماسه هایی با قطر بیشتر محصولی با وزن مخصوص بالا تر تولید می گردد و بالعکس.

خوشبختانه در دهه اخیر در کشور خودمان نیز شاهد تولید، انواع این نوع بتن سبک هستیم و عموماً با نامهایی مانند هبلکس و یا سیفورکس شناخته شده هستند. بیشترین کاربرد آنها در صنعت ساختمان ایران، به عنوان جداکننده هایی است که نقش باربری ندارند، در حالی که امروزه نمونه های جدید تولیدی این محصول، با توجه به وزن پایین و همچنین ماندگاری مناسب، به عنوان نمای ساختمانی و نیز تزیینات داخلی کاربرد دارد.

## ۲- استفاده از سبک دانه:

سبکدانه ها سنگدانه هایی با فضای متخلخل داخلی می باشند. سبکدانه هایی که جهت تولید بتن سبک کاربرد دارند متنوع بوده و هم به صورت طبیعی و هم به صورت مصنوعی وجود دارند؛ از انواع طبیعی آن می توان به سنگدانه هایی مانند: ورمیکولیت، پامیس یا سنگ پا و برخی سربارهای آتش فشانی اشاره کرد و سبکدانه های مصنوعی، که عمده آنها به شکل گلوله هایی از جنس خاک رس منبسط شده می باشند. البته سبکدانه هایی بر پایه سیلیس، خاکستر بادی و غیره نیز وجود دارند که با توجه به نوع مواد اولیه و نحوه تولید دارای کاربرد کمتر نسبت به سبکدانه های رسی می باشند. سبکدانه ها رسی با عناوین تجاری مختلف مانند: Argex, fibo, liapor, leca به بازارهای بین المللی عرضه میگردد.

سبکدانه هایی از این جنس، علاوه بر سبک بودن به سبب شرایط خاص تولیدی ؛ دارای مزایای ویژه ای هستند، که از آن جمله می توان به این موارد اشاره نمود:

- به عنوان محصولی صنعتی از نظر کیفیت دارای یکنواختی مطلوبی می باشد.
- مانند سنگدانه های طبیعی محدودیتی از نظر معادن ندارد.
- فاقد مواد زیان آوری است که ممکن است در سنگدانه های طبیعی باشد و PH آن در حد نرمال و در حدود ۷.۲ می باشد.
- به علت قرار گرفتن در معرض حرارت بیش از ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد فاقد مواد آلی مضر می باشد.

به دلیل ذکر شده در بند بالا مقاومت مطلوبی در برابر شوکهای حرارتی دارند. بتن تولیدی با این روش می تواند به صورت سازهای کاربرد داشته باشد به این منظور باید از خمیر سیمان با مقاومت بالا استفاده نمود و به همین منظور در تولید این نوع بتن سبک که کاربرد سازه ای نیز دارد از میکرو سیلیس و کاهنده های آب اختلاط و ترکیبی از سنگدانه و سبک دانه استفاده می شود.

به دلیل کاربرد سازه ای این نوع بتن، به بررسی مختصر ویژگی های آن می پردازیم.

### مقاومت بتن سبکدانه نیز با وزن مخصوص آن رابطه ای معکوس

از دیگر خواص بتن سبکدانه می توان به مواردی نظیر مقاومت مطلوب در برابر آتش و همچنین یخ زدگی، دارای افت و نیز جمع شدگی بسیار پایین و شکل پذیری کم اشاره نمود، که شرح هر کدام در این صفحات امکان پذیر نیست و به یاری خداوند بررسی خواص و ویژگی بتن سبکدانه که دارای کاربرد سازه ای نیز می باشد .

# مسائل اجرایی بتن سبکدانه سازه ای



بسیاری از اصول اجرائی حاکم بر بتن ریزیهای معمولی در بتن ریزی با بتن سبکدانه سازه ای کماکان از اهمیت برخوردار است. مسلماً "در بتن های غیر سازه و سبکدانه بسیاری از نکات مورد نظر نمیتواند با اهمیت تلقی شود و عدم رعایت برخی قواعد تا آنجا که به وزن مخصوص بتن ریخته شده لطمه نزند و آنرا بالا نبرد با اهمیت تلقی نمیشود.

اصل پیوستگی و تدوام در بتن ریزی (عدم ایجاد درز سرد)، اصل عدم گیرش یا نزدیکی به گیرش در بتن قبل از ریختن و تراکم، اصل عدم جدا شدگی مواد (ناهمگنی) بتن، اصل رعایت دمای مناسب بتن ریزی، اصل عدم آلودگی بتن به مواد مضر، اصل رعایت تراکم صحیح، اصل رعایت پرداخت صحیح سطح بتن، اصل انتخاب صحیح اسلامپ با توجه به وضعیت قطعه و وسایل تراکمی موجود، اصل رعایت و بکارگیری نسبت ها و مقادیر صحیح مصالح و پرهیز از مصرف مواد نامناسب، و در نهایت اصل عمل آوری صحیح و قالب برداری به موقع و با دقت همواره در این نوع بتن ریزیها مانند بتن های معمولی از اهمیت برخوردار می باشد.

### استفاده از مواد مناسب و نسبت های صحیح :

بکارگیری مواد و مصالح مناسب طبق مشخصات پروژه، رعایت مصرف سیمان تازه و غیر فاسد از نوع مورد نظر و مطابق با استاندارد مورد قبول کاملاً" مهم می باشد. توزین یا پیمانه کردن دقیق و صحیح مصالح مصرفی طبق طرح اختلاط ارائه شده از اهمیت برخوردار است. بهتر است مصالح سنگی مصرفی به ویژه سبکدانه در شرایطی قرار گیرد که نوسانات رطوبتی اندکی داشته باشد. برای مثال خوبست بدانیم لیکاهای موجود در ایران میتواند تا بیش از ۳۰ درصد آب را در خود جذب و نگهداری کند. بنا براین بین سنگدانه کاملاً" خشک و کاملاً" اشباع تفاوت فاحشی وجود دارد و میتواند بر اسلامپ حاصله و نسبت آب به سیمان و در نتیجه به مقاومت و دوام بتن سبکدانه سازه ای اثر چشمگیری باقی گذارد. بهر حال اگر بدانیم مثلاً" سنگدانه های ما حدود ۵ درصد رطوبت دارد میتوانیم مقدار آب مصرفی را تنظیم نمائیم تا به طرح اختلاط مورد نظر دست یابیم.

باید دانست مشکل بزرگ تولید بتن سبکدانه همین تغییر رطوبت است و لذا کنترل نسبت آب به سیمان در این بتن ها مشکل می باشد و حتی مانند بتن های معمولی نیز نمیتوان با کنترل اسلامپ به نتیجه مورد نظر رسید

### انتخاب اسلامپ صحیح :

مانند بتن های معمول انتخاب اسلامپ میتواند مهم باشد . از نظر جدا شدگی ، آب انداختن ، رسیدن به تراکم مورد نظر با توجه به ابعاد قطعه ، طرز قرارگیری ، وضعیت دره می میلگردها ، وسایل تراکمی موجود قابل تأمین این انتخاب کاملاً " معنا دار و با اهمیت است . به دلیل سبکی سنگدانه ها بویژه سبکدانه های درشت احتمال جدا شدگی در بتن شل افزایش می یابد . لذا اسلامپ های بیش از ده سانتی متر ابداعاً " مطلوب نیست مگر اینکه بتن پر عیار داشته باشیم ، همچنین با وجود موادی مانند میکرو سیلیس ممکنست این جدا شدگی به حداقل برسد .

بنا براین اگر قرار باشد بتن سبکدانه پمپی با اسلامپ ۱۰ تا ۱۵ سانتی متر را داشته باشیم عیار سیمان باید از حدود ۴۰۰ کیلو در متر مکعب فراتر رود . در حالیکه اگر اسلامپ کمتر باشد حداقل عیار سیمان در ACI برابر  $335 \text{ kg/m}^3$  مطرح شده است . در حالات عادی اسلامپ های ۵ تا ۸ سانتی متر برای بتن سبکدانه غیر پمپی و اسلامپ ۷ تا ۱۰ سانتی متر برای بتن سبکدانه پمپی مطلوب تلقی میشود بدون اینکه این اعداد جنبه آئین نامه ای داشته باشد .

تغییرات اسلامپ در طول اجراء در بتن سبکدانه بسیار جدی است . در بتن های معمولی نیز این پدیده به چشم میخورد بویژه وقتی سنگدانه های درشت خیلی خشک باشند ممکن است حتی در طول ۱۵ دقیقه پس از ساخت شاهد افت جدی در اسلامپ باشیم . در بتن سبکدانه این امر به شدت وجود دارد . فرض کنید اگر در طول ۱۵ تا ۳۰ دقیقه جذب آب سبکدانه ۵ تا ۱۰ درصد فرض شود و فقط سبکدانه درشت به میزان ۳۰۰ کیلو داشته باشیم ۱۵ تا ۳۰ کیلو آب را جذب می کند که کاهش اسلامپ ۶ تا ۱۵ سانتی متر را میتوان شاهد بود .

اگر قرار باشد طول مدت حمل و ریختن و تراکم زیاد باشد کاملاً "دچار مشکل میشویم . همچنین در بتن های پمپی ، این کاهش و افت در اسلامپ مسئله ساز است . بنا براین سعی میشود که چنین پروژه هائی حتی الامکان از ۲۴ ساعت قبل از ساخت بتن ، سبکدانه ها را خیس کرد (Presoaking) تا آب قابل ملاحظه ای را جذب نماید و پس از اختلاط بتن شاهد افت اسلامپ زیادی نباشیم . این خیس کردن ممکن است حتی از سه روز قبل شروع شود ادامه یابد . خیس کردن سبکدانه ممکنست با آب پاشی تحت فشار و بصورت بارانی باشد و یا از سیستم خلاء برای نفوذ سریعتر آب به داخل سبکدانه استفاده شود که در ایران روش ساده اول معمولتر و عملی تر می باشد . ریختن آب و سبکدانه در مخلوط کن و اضافه کردن سیمان و غیره پس از مدتی تأخیر میتواند به افت اسلامپ کمتر منجر شود .

میزان جذب آب سبکدانه ها علاوه بر زمان تابع میزان آب موجود در آن ( رطوبت اولیه ) نیز می باشد که پیش بینی جذب آب را در مدت معین دشوار می کند مگر اینکه قبلاً " آزمایشهائی را با رطوبت اولیه موجود انجام داده باشیم .

اسلامپ های کمتر از ۵ سانتی متری نیز کار تراکم را با مشکل مواجه می سازد و فضای خالی زیادی را در بتن به همراه دارد . بسیاری از تحقیقات نشان داده اند مقاومت و دوام بتن های سبکدانه که با سبکدانه خشک ساخته شده اند بهتر از وقتی است که از سبکدانه قبلاً " خیس شده یا اشباع شده استفاده گشته است .

### اصل رعایت دمای مناسب :

حداقل و حداکثر دمای مجاز و مطلوب در آئین نامه ها مشخص شده است . رعایت این امر برای بتن سبک سازه ای و با دوام بشدت ضروری است و از این نظر تفاوتی با بتن معمولی وجود ندارد . حداقل دمای مجاز +۵ درجه سانتی گراد و حداقل دمای مطلوب +۱۰ درجه سانتی گراد است . حداکثر دمای مجاز معمولاً " ۳۲- ۳۰ درجه سانتی گراد تا هنگام گیرش می باشد و بهتر است از این حد فاصله معقولی را داشته باشیم . در هوای

سرد و گرم که بتن با دمای مناسب تولید می شود نباید در حین اجرا آنقدر تأخیر و معطلی بوجود آورد که با تبادل گرمائی، دمای مطلوب از دست برود.

### اصل همگنی (عدم جداشدگی):

اصول جداشدگی و عوامل مؤثر بر آن برای بتن سبکدانه همچون بتن معمولی است، اما برای بتن سبکدانه یک عامل دیگر یعنی اختلاف در چگالی ذرات و خمیر سیمان یا ملات میتواند به جداشدگی منجر گردد. عوامل جداشدگی میتوانند داخلی باشند که صرفاً "استعداد جداشدگی" را بوجود می آورند و یا عامل خارجی باشند که مربوط به اجرا هستند و استعداد را شکوفا می کنند. از عوامل داخلی بالا رفتن حداکثر اندازه سبکدانه می باشد که معمولاً "باعث جداشدگی میگردد و بهتر است حداکثر اندازه سبکدانه برای بتن سازه ای به ۲۰ میلی متر محدود شود و توصیه می گردد تا از حداکثر اندازه ۱۵-۱۲ میلی متر استفاده شود. جالب است بدانیم معمولاً "با افزایش حداکثر اندازه، چگالی حجمی خشک ذرات سبکدانه درشت کاهش می یابد و از این نظر نیز امکان جداشدگی را قوت می بخشد.

بالا رفتن اسلامپ به افزایش استعداد جداشدگی منجر می شود. کاهش میزان عیار سیمان و مواد سیمانی و چسباننده میتواند بشدت باعث افزایش استعداد جداشدگی گردد. اختلاف وزن مخصوص (چگالی) ذرات سبکدانه با خمیر سیمان و یا اختلاف چگالی ذرات ریزدانه و درشت دانه به بالا رفتن استعداد جداشدگی منجر می گردد. بالا رفتن نسبت آب به سیمان به افزایش پتانسیل جداشدگی می انجامد. درشت تر شدن بافت دانه بندی سنگدانه ها معمولاً "امکان جداشدگی را افزایش می دهد. وجود مواد ریز دانه و چسباننده مانند پوزولان و میکروسیلیس و سرباره ها می تواند باعث کاهش استعداد جداشدگی بتن سبکدانه گردد، همچنین بکارگیری مواد حبابزا و ایجاد حباب هوا میتواند جداشدگی و آب انداختن را کاهش دهد ضمن اینکه روانی و کارائی مورد نظر تأمین میگردد.

از عوامل خارجی می توان حمل نامناسب ، ریختن غلط ، استفاده از شوت های طولانی و یا شیب نامطلوب ، برخورد بتن با قالب و میلگردها ، ریختن بتن از ارتفاع زیاد بدون لوله و قیف هادی و یا بدون پمپ معمولاً "به جداشدگی منجر میشود . بخاطر حساسیت جداشدگی در این بتن ها باید دقت بیشتری را اعمال نمود . باید دانست نتیجه جداشدگی در بتن سبکدانه نیز از نظر مقاومتی و دوام بمراتب حادثر و مضرترا از بتن معمولی است .

### اصل عدم آلودگی بتن به مواد مضر :

در طول حمل و ریختن و تراکم نباید مواد مضر اعم از مواد ریزدانه رسی ( گل و لای ) ، مواد شیمیایی شامل چربی ها و مواد قندی یا انواع مختلف نمکها و آب شور و غیره با بتن مخلوط شود . مخلوط شدن موادی همچون گچ نیز توجیه ندارد . بهرحال در این رابطه هیچ تفاوتی بین بتن معمولی و سبکدانه سازه ای وجود ندارد .

### اصل عدم کار کردن با بتن در مرحله گیرش :

اگر عملیات بتن ریزی با بتنی که در مرحله گیرش است انجام گیرد مقاومت و دوام آن بشدت کاهش می یابد و نفوذپذیری آن زیاد میشود . از این نظر بتن مانند ملات گچ زنده است که اگر آن را مرتباً "بهم بزیم و ورز دهیم تبدیل به ملات گچ کشته میشود که بشدت کم مقاومت و کم دوام است ، هرچند گیرش آن به تأخیر می افتد و یا اصلاً "خود را نمی گیرد و صرفاً "خشک می شود . بهرحال نباید بتن را در هنگامی که در شرف گیرش است مخلوط نمود و یا ریخت و متراکم کرد . از این نظر بین بتن سبکدانه و بتن معمولی اختلافی احساس نمی گردد .

مسئله "در هوای گرم و یا بتن با دمای زیاد ، گیرش زودتر حاصل میشود . زمان گیرش تابع نوع سیمان ( جنس و ریزی ) ، نسبت آب به سیمان و وجود مواد افزودنی می باشد . برای افزایش زمان گیرش و ایجاد

مهلت برای عملیات اجرائی می توان از بتن خنک ، کار در هنگام خنکی هوا یا شب ، سیمانهای کندگیر کننده استفاده نمود .

### اصل پیوستگی و تداوم بتن ریزی ( عدم ایجاد درز سرد در بین لایه ها ) :

اگر در هنگام بتن ریزی به هر علت ، لایه زیرین قبل از ریختن و تراکم لایه روئی گیرش خود را انجام داده باشد درز سرد Cold Joint بوجود می آید . در این رابطه فرقی بین بتن سبکدانه و معمولی وجود ندارد . باید با تجهیز مناسب کارگاه ، افزایش توان تولید و حمل در ریختن و تراکم بتن ، افزایش زمان گیرش بتن و یا ایجاد درزهای اجرائی مناسب و کاهش سطح بتن ریزی و یا کاهش ضخامت لایه ها امکان ایجاد درز سرد را به حداقل رساند .

### تراکم صحیح بتن سبکدانه :

از آنجا که بتن های سبکدانه بشدت در معرض جدا شدگی هستند ، تراکم با قدرت زیاد و یا مدت بیش از حد مشکلات جدی را بوجود می آورد . به محض اینکه احساس می نمائیم که شیره یا سنگدانه ها شروع به روزدن می نمایند باید تراکم را قطع کرد . لرزش ، بیش از فشار و ضربه میتواند موجب جدا شدگی گردد . به هر حال باید کاملاً " هوای بتن خارج و فضای خالی به حداقل برسد تا مقاومت و دوام کافی ایجاد گردد .

### پرداخت سطح بتن سبکدانه :

آب انداختن بتن همواره مشکل بزرگی در پرداخت نهائی سطح بتن می باشد و این امر اختصاص به بتن سبکدانه ندارد . خوشبختانه به دلیل جذب آب تدریجی توسط سبکدانه ها ، آب انداختن میتواند به کمترین مقدار برسد اما اگر سبکدانه ها قبل از اختلاط کاملاً " اشباع شده باشد امکان آب انداختن بیشتر می گردد . کم بودن عیار سیمان و مواد چسباننده سیمانی ، فقدان مواد ریزدانه ، عدم وجود حباب هوا در بتن ، درشتی بافت دانه بندی ، افزایش حداکثر اندازه سبکدانه ، گردگوشه گی سنگدانه ها و بافت صاف سطح سنگدانه ، بالا بودن اسلامپ ، زیادی نسبت آب به سیمان و ... میتواند موجب افزایش آب انداختن شود .

وقتی بتن آب می اندازد باید اجازه داد آب تبخیر گردد و اگر تبخیر به سرعت میسر نمی گردد یا نگران گیرش هستیم باید سعی کنیم آب روزه را با وسیله مناسبی ( گونی یا اسفنج ) از سطح پاک نمائیم و سپس سطح را با ماله چوبی و بدنال آن با ماله فلزی یا لاستیکی صاف کنیم .

عدم رعایت این نکات موجب افزایش نسبت آب به سیمان در سطح و کاهش مقاومت و دوام و افزایش نفوذپذیری بتن سطحی می گردد .

### عمل آوری بتن و سبکدانه :

هر چند عمل آوری رطوبتی و حرارتی بتن سبکدانه با بتن معمولی تفاوت چندانی ندارد اما اعتقاد بر این است که سبکدانه ها بعلا پوکی و تخلخل و جذب آب میتوانند در صورت فقدان عمل آوری رطوبتی از ناحیه اجرا کنندگان ، بخشی از آب خود را در اختیار خمیر سیمان قرار دهند و توقف شدیدی در هیدراسیون سیمان رخ ندهد . این امر را عمل آوری داخلی بتن سبکدانه می گویند .

### کنترل کیفی بتن سبکدانه :

کنترل کیفی بتن سبکدانه شامل بتن تازه و سخت شده است . کنترل روانی ، وزن مخصوص و هوای بتن از مهمترین کنترلهای بتن تازه است . استفاده از آزمایش اسلامپ ، میز آلمانی ( روانی ) و درجه تراکم برای این بتن ها پیش بینی شده است . وزن مخصوص بتن تازه سبکدانه متراکم معمولاً " کنترل می شود و در آئین نامه های مختلف اختلاف ۲ تا ۳ درصد مجاز شمرده میشود ( نسبت به طرح اختلاط ) . هوای بتن را برای بتن سبکدانه نمیتوان بکمک روش فشاری بدست آورد و حتماً باید از روش حجمی بهره گرفت . برای بتن سبکدانه سخت شده ، وزن مخصوص ، مقاومت فشاری ، کششی خمشی و نفوذپذیری ، جذب آب ، جذب موئینه و آزمایشهای دوام در برابر خوردگی قابل کنترل است .

وزن مخصوص بتن سخت شده سبکدانه بصورت اشباع و خشک اندازه گیری میشود و گاه بجای خشک کردن از جمع زدن مقادیر اجزاء در هر متر مکعب و افزودن مقداری رطوبت ثابت به آن، وزن مخصوص بتن سخت شده را بدست می آورند.

برای تعیین مقاومت فشاری و سایر پارامترها تفاوت چندانی بین بتن سبکدانه و معمولی وجود ندارد و شباهت جدی و کامل بین آنها وجود دارد. بهر حال ممکنست در مواردی نتایج حاصله در مقایسه با بتن های معمولی گمراه کننده باشد. مثلاً "اگر جذب آب بتن سبکدانه را بصورت درصد وزنی گزارش کنیم و آنرا با جذب آب بتن معمولی مقایسه نمائیم دچار اشتباه میشویم و لذا توصیه میشود جذب آب بتن بصورت درصد حجمی گزارش گردد.

#### بتن فاقد ریزدانه (Concrete finez – No) :

اگر سنگدانه های درشت تک اندازه را با سیمان و آب مخلوط کنیم و در قالب بدون تراکم بریزیم بتن فاقد ریزدانه و متخلخل بدست می آید که از وزن مخصوص کمتری نسبت به بتن معمولی برخوردار خواهد بود. اگر چگالی سنگدانه ها در حدود معمولی باشد وزن مخصوص بتن فاقد ریزدانه حدود ۱۶۰۰ تا  $\text{kg/m}^3$  2000 بدست می آید اما اگر از سبکدانه درشت استفاده نمائیم ممکنست وزن مخصوص بتن حاصله از  $\text{kg/m}^3$  1000 کمتر شود (حتی تا حدود  $\text{kg/m}^3$  650). بهر حال در هر مورد بتن مورد نظر سبک یا نیمه سبک تلقی می شود اما اگر سنگدانه معمولی استفاده شود نمیتوان آنرا بتن سبکدانه دانست.

مسلماً "اگر سنگدانه تک اندازه بکار نرود و حاوی ذرات ریز تا درشت باشد وزن مخصوص بتن حاصل نیز زیاد خواهد شد. سنگدانه درشت مصرفی باید ۲۰-۱۰ میلی متر باشد و ۵ درصد ذرات درشتتر و ۱۰ درصد ذرات ریزتر در این نوع سنگدانه تک اندازه (Singl Size) مجاز است اما بهر حال نباید ذرات ریزتر از ۵ میلی متر در آن مشاهده گردد. سنگدانه درشت بهتر است پولکی و کشیده و یا بسیار تیز گوشه نباشد. سنگدانه های گرد گوشه یا نیمه شکسته برای تولید این بتن ارجح است.



ساختار بتن فاقد ریزدانه دارای تخلخل ظاهری است و حفرات موجود در بتن با چشم برآحتی دیده می شود که در این مجموعه خمیر سیمان باید صرفاً "تا حد امکان سنگدانه ها را بهم چسباند و از پر کردن فضاها با خمیر سیمان پرهیز شود زیرا وزن مخصوص بالا خواهد رفت . وجود خمیر سیمان با ضخامت حدود ۱ میلی متر بر روی سنگدانه ها کاملاً مناسب است .

اگر سنگدانه معمولی بکار رود معمولاً "مقدار شن اشباع تک اندازه بین ۱۴۰۰ تا ۱۷۵۰ کیلوگرم می باشد . حجم اشغالی ذرات شن در حدود ۵۵۰ تا ۷۰۰ لیتر در هر متر مکعب است . وزن سیمان مصرفی بین ۷۵ تا ۱۵۰ کیلو در متر مکعب یا بیشتر است که حجم آن حدود ۲۵ تا ۵۰ لیتر می باشد . معمولاً "نسبت آب به سیمان مصرفی ۰/۴ تا ۰/۵ می باشد که افزایش آن می تواند به شلی خمیر سیمان و روانی آن منجر شود که موجب جداسدگی و پرشدن خلل و فرج می گردد و بتن مورد نظر حاصل نمی شود . با کاهش نسبت آب به سیمان چسبندگی لازم بوجود نمی آید و از نظر اجرایی دچار مشکل می شویم . نسبت وزنی سیمان به سنگدانه تا می باشد . همانطور که از محاسبات فوق بر می آید فضای خالی این بتن ( پوکی ) بین ۲۵ تا ۴۰ درصد می باشد و ابعاد این فضاها نیز بزرگ است درصد جذب آب بصورت وزنی حدود ۱۵ تا ۲۵ درصد است . طبیعتاً "با افزایش مقدار سیمان و آب و یا مصرف شن با دانه بندی پیوسته ( Graded Size ) وزن مخصوص بتن بیشتر خواهد شد . توصیه می شود شن ها قبل از مصرف خیس و اشباع گردند .

طرح اختلاط این بتن ها بصورت آزمون و خطا خواهد بود و بشدت تابع شرایط ساخت بتن می باشد . بتن فاقد ریزدانه معمولاً "بدون تراکم تولید می شود و اگر مرتعش یا متراکم شود بسیار جزئی خواهد بود زیرا خمیر سیمان میل به پر کردن فضای خالی بین سنگدانه ها را خواهد داشت و چسبندگی سنگدانه به یکدیگر به حداقل خواهد رسید .

معمولاً "انجام آزمایش کارآئی یا اسلامپ برای این نوع بتن موردی نخواهد داشت . از آنجا که سنگدانه تک اندازه مصرف می شود جداسدگی از نوع جدائی ریز و درشت سنگدانه معنائی ندارد و می توان آن را از ارتفاع قابل ملاحظه ریخت .

بعلت محدودیت دامنه نسبت آب به سیمان و وجود فضای خالی قابل توجه در این نوع بتن ، مقاومت فشاری این نوع بتن اغلب در حدود ۵ تا ۱۵ مگا پاسکال می باشد و طبیعتاً "یک بتن سبک سازه ای تلقی نمی گردد و بصورت مسلح مصرف نمی شود . برخی اوقات سعی می کنند میلگردها را با یک لایه ضد خوردگی ( پوشش مناسب ) آغشته کنند و سپس در بتن فاقد ریزدانه بکار برند . اگر از سبکدانه برای ساخت این بتن استفاده شود ، مقاومت فشاری آن ۲ تا ۸ مگا پاسکال می باشد .

جمع شدگی بتن های فاقد ریزدانه بمراتب کمتر از بتن معمولی است زیرا مقدار سنگدانه در مقایسه با خمیر سیمان زیاد است و یقه قابل توجه بوجود می آورد . بتن فاقد ریزدانه سریعاً "خشک می شود زیرا خمیر سیمان در مجاورت هوای موجود و فضای خالی است و علی القاعده در ابتدا از جمع شدگی بیشتری نسبت به بتن معمولی برخوردار می باشد و عمل آوری آن از اهمیت برخوردار است . قابلیت انتقال حرارتی آن بمراتب از بتن معمولی با سنگدانه مشابه کمتر است ( حدود تا ) که با افزایش رطوبت و اشباع بودن این بتن ، این قابلیت انتقال حرارت افزایش می یابد .

مدول الاستیسیته این بتن ها بین ۵ تا 20 Gpa است ( برای مقاومت های ۲ تا ۱۵ مگا پاسکال ) . نسبت مقاومت خمشی به فشاری حدود ۳۰ درصد است که از نسبت مقاومت خمشی به فشاری بتن های معمولی بیشتر می باشد . ضریب انبساط حرارتی این نوع بتن در حدود تا بتن معمولی است .

نفوذپذیری زیاد از مزایا و شاید معایب این نوع بتن است . اما نکته مهم آنست که موئینگی در این نوع بتن کم تا ناچیز می باشد . اگر اشباع از آب نباشد در برابر یخبندان مقاوم است . بعنوان یک نفوذپذیر زهکش و تثبیت شده و همچنین یک مسیر درناژ و مقاوم بسیار مفید است . بازی کردن لایه های قلوه سنگ و شن درشت و متوسط یا ریز بعنوان زهکش یا بلوکاز و فیلتر از مشکلات اجرایی محسوب می شود بویژه اگر بخواهد باربر باشد یکی از معدود راههای حل مشکل ، استفاده از بتن فاقد ریزدانه است و در این حالت مسئله سبکی زیاد مهم نیست .

این نوع بتن مانند بسیاری از بتن های سبک می تواند جاذب صوت باشد ( نه عایق صوت ) و برای این منظور نباید سطح این بتن با اندودی پوشانده شود .

اندود کردن این بتن بسیار خوب و ساده انجام می شود . استفاده از این بتن برای روسازی و پیاده رو سازی اطراف درختان و یا پارکینگ ها بسیار مفید است ( بدلیل نفوذپذیری ) . در دیوارهای باربر با طبقات کم می توان از این نوع بتن استفاده نمود . برای ایجاد نفوذپذیری بعنوان لایه اساس یا زیر اساس میتواند بطور مؤثر عمل نماید . همچنین بعنوان یک لایه بتن مگر نفوذپذیر مناسب است در زیر دال کف یا شالوده منابع آب بتنی نیز از این بتن می توان استفاده نمود .

### طرح اختلاط بتن سبکدانه ( سازه ای و غیر سازه ای )

در طرح اختلاط هر نوع بتن ابتدا باید خواسته ها را بررسی و فهرست نمود که در مورد بتن سبک نیز این خواسته ها عبارتند از :

مقاومت فشاری در سن مورد نظر ، وزن مخصوص بتن تازه و خشک ، دوام بتن در شرایط محیطی یا سولفاتی ، اسلامپ و کارآئی بتن ، مقدار حباب هوای لازم با توجه به حداکثر اندازه و شرایط محیطی ، و احتمالاً " موارد دیگری همچون مدول الاستیسیته یا خواص فیزیکی مکانیکی دیگر مثل قابلیت انتقال حرارت و غیره ، در کنار این موارد ممکنست محدوده دانه بندی مطلوب ( بویژه در روشهای اروپائی ) از جمله محدودیت ها و خواسته ها باشد .

- در کنار این خواسته ها ، داده هائی نیز بر اساس اطلاعات موجود از سیمان ، سنگدانه و ... در دست است و یا باید در آزمایشگاه بدست آید از جمله اینها می توان به موارد زیر اشاره نمود :

نوع سیمان ، حداقل و حداکثر مجاز مصرف سیمان ، حداکثر مجاز نسبت آب به سیمان ، نوع مواد افزودنی مورد نظر و مشخصات آن ، نوع سنگدانه درشت و ریزدانه ، شکل و بافت سطحی سنگدانه ها ، چگالی و

جذب آب سبکدانه ها و سنگدانه های معمولی ، رژیم و روند جذب آب سبکدانه ، وزن مخصوص توده ای سنگدانه درشت متراکم با میله ( در طرح امریکائی ) ، دانه بندی سنگدانه ها و حداکثر اندازه آنها ، ویژگیهای مکانیکی و دوام سنگدانه ها ، مدول ریزی سنگدانه ها و ریزدانه ها ( بویژه در روش امریکائی ) ، چگالی ذرات سیمان و افزودنیها : گاه لازمست دانه بندی یا مدول ریزی سبکدانه ها معادل سازی شود یعنی با توجه به اختلاف در چگالی ذرات ، دانه بندی وزنی به دانه بندی و مدول ریزی حجمی تبدیل گردد که در این حالت لازمست برای چگالی ذرات هر بخش اندازه ای را تعیین کنیم .

### روش طرح اختلاط و جداول و اطلاعات ضروری در هر روش :

معمولاً در هر نوع روش طرح اختلاط لازمست حدود مقدار آب آزاد با توجه به کارآئی ، حداکثر اندازه سنگدانه و شکل آن فرض گردد و بدست آید . نسبت آب به سیمان از جداول راهنما یا تجربیات گذشته و شخصی فرض می گردد . پس مقدار سیمان در این صورت مشخص می گردد . هر چند گاه در طرح اختلاط بتن سبک ابتدا عیار سیمان فرض شده و با در نظر گرفتن نسبت آب به سیمان یا کارآئی ، مقدار آب مشخص می شود .

اختلاف عمده روش ها در تعیین مقدار سنگدانه ها خواهد بود و بویژه در طرح مخلوط بتن سبکدانه یا نیمه سبکدانه ، اختلافات موجود روشها برای بتن معمولی ، بیشتر می گردد .

در روشهای اروپائی ( آلمانی و اتحادیه بتن اروپا ) با توجه به محدوده مطلوب دانه بندی حجمی ، سهم سنگدانه های ریز و درشت ( خواه هر دو سبکدانه یا یکی از آنها سبکدانه باشد ) بدست می آید ، سپس چگالی متوسط سنگدانه ها تعیین شده و در فرمول حجم مطلق قرار می گیرد و مقدار کل سنگدانه بدست می آید . فرمول حجم مطلق در شکل ساده آن در این حالت بصورت زیر است :

که C و به ترتیب وزن سیمان ، آب آزاد و کل سنگدانه ها بصورت اشباع با سطح خشک است و و به ترتیب چگالی ذرات سیمان ، آب و چگالی متوسط سنگدانه های اشباع با سطح خشک می باشد و حجم هوا در واحد حجم بتن است .

با داشتن اطلاعات مورد نیاز ، مجهول ما فقط می باشد که تعیین می شود . اگر افزودنی داشته باشیم حجم افزودنی از تقسیم وزن به چگالی آن بدست می آید و در رابطه قرار داده می شود .

پس از تعیین با توجه به سهم هر سنگدانه ، وزن آن مشخص می گردد و با توجه به ظرفیت جذب آب هر نوع سنگدانه می توان وزن خشک هر کدام و آب کل را تعیین کرد . وزن مخصوص بتن تازه نیز از جمع اوزان اجزاء بتن بدست می آید ( بصورت محاسباتی ) در عمل پس از ساخت مخلوط آزمون با توجه به نتیجه محاسبات و اطلاعات حاصله مانند اسلامپ ، کارائی و مقاومت و وزن مخصوص بتن میتوان اصلاحات لازم را در محاسبات به انجام رسانید و طرح اختلاط را نهائی کرد. امریکائی ها نیز در ACI 211.1 و ACI 211.2 و ACI 213 R سه روش را برای طرح اختلاط بتن سبکدانه و یا نیمه سبکدانه توصیه نموده اند :

#### ۱. روش حجم مطلق :

در این روش عملاً "پس از تعیین آب آزاد ، سیمان ، سنگدانه درشت خشک و اشباع ، از فرمول حجم مطلق استفاده نموده و وزن ماسه اشباع با سطح خشک بدست می آید . این روش برای بتن معمولی ، نیمه سبکدانه و تمام سبکدانه قابل اجراست . مشکل عمده در این حالت تعیین مقدار چگالی اشباع با سطح خشک سبکدانه ها و ظرفیت جذب آب آنهاست . علاوه بر آن عملاً "یک اشکال مفهومی نیز در این حالت وجود دارد و آن اینکه آیا اصولاً" در هنگام ریختن و گیرش بتن ، سبکدانه ها به مرحله اشباع با سطح خشک رسیده اند که بتوان از چگالی اشباع با سطح خشک آنها برای تعیین حجم اشغال آنها در بتن استفاده نمود . از آنجا که تفاوت حالت واقعی با فرضی گاه خیلی زیاد است . استفاده از این روش بویژه اگر قرار باشد وزن اشباع با سطح خشک و چگال مربوط در فرمول حجم مطلق بکار رود محل تأمل است مگر اینکه از یک چگالی یا وزن دیگر با توجه به جذب آب واقعی در این حالت استفاده نمود که روش بسیار دقیقی حاصل می گردد .

امروزه سعی شده است با این روش به طرح اختلاط مناسب دست یافت . مثلاً" در روش های اروپائی که این مشکل وجود دارد سعی می شود از جذب آب و چگالی نیم ساعته ، ۱ ساعته یا ۲ ساعته و حتی ۴ ساعته استفاده گردد.

آنچه در اینجا اهمیت دارد آنست که در هنگام گیرش نسبت آب به سیمان واقعی چقدر است و با دانستن اینکه آبهای موجود در بتن ، در سنگدانه یا خمیر سیمان است به این نتیجه رسید که آب آزاد واقعی چیست و چقدر می باشد . مسلماً" کارآئی و اسلامپ را آب آزاد مربوط به زمانهای کوتاهتر مثل ۱۵ دقیقه یا ۳۰ دقیقه تعیین می کنند . این امر مستلزم آنست که رژیم جذب آب سبکدانه را بدانیم و در هر حالت چگالی سبکدانه را محاسبه کنیم .

## ۲. روش حجمی ( Volumetric ) :

در روش حجمی از یک مخلوط آزمون با مقادیر تخمینی استفاده می شود ( آب ، سیمان ، سنگدانه ریز و درشت ) . پس از ساخت مخلوط آزمون و انجام آزمایشهای لازم مانند : اسلامپ ، درصد هوا و وزن مخصوص بتن تازه و مشاهده قابلیت تراکم ، ماله خوری و کارآئی ، خصوصیات دیگر نیز می تواند در زمانهای بعد بدست آید ( مثل مقاومت و ..... ) . اما پس از ساخت بتن و اندازه گیری وزن مخصوص بتن تازه ، با توجه به وزن مصالح مورد استفاده در ساخت بتن ، حجم بتن حاصله تعیین می شود . حجم محاسباتی بتن نیز قبلاً" مشخص شده است و لذا و اصلاح در مخلوط برای یکی شدن این ها صورت می گیرد . مسلماً" باید اهداف مقاومتی و دوام نیز تأمین گردد . در اینجا نیز مشکل چگالی ذرات و جذب آب وجود دارد که معمولاً" رطوبت و چگالی موجود مد نظر قرار می گیرد . لازم به ذکر است که این روش برای بتن های نیمه سبکدانه و تمام سبکدانه کاربرد دارد . همچنین در این روش از حجم سنگدانه ها بصورت شل استفاده می گردد .

### ۳. روش وزنی یا فاکتور چگالی<sup>۱</sup>

این روش صرفاً "برای سبکدانه درشت و ریز دانه معمولی کاربرد دارد یعنی صرفاً" برای بتن نیمه سبکدانه مورد استفاده قرار می گیرد. در این روش از فاکتور چگالی بجای چگالی ذرات سبکدانه استفاده می شود. فاکتور چگالی تعریف خاصی است که فقط در ACI 211.2 (در ضمیمه A) آمده است و با تعریف چگالی تفاوت دارد. S فاکتور چگالی بصورت زیر می باشد. C وزن سبکدانه (خشک یا مرطوب) و B وزن پیکنومتر پر از آب و A وزن پیکنومتر پر از آب و سبکدانه می باشد.

بنابراین در این تعریف وضعیت رطوبتی مشخص نیست و میتواند از حالت خشک تا کاملاً اشباع انجام شود اما باید وضعیت رطوبتی در هر مورد گزارش شود یعنی بگوئیم فاکتور چگالی برای سبکدانه ای با رطوبت معین برابر S می باشد. با توجه به روند معمولی طرح اختلاط امریکائی، مقدار آب آزاد، نسبت آب به سیمان، مقدار سیمان، وزن سبکدانه درشت خشک و مرطوب بدست می آید که در این رابطه مدول زیری ماسه و حداکثر اندازه سنگدانه ها و کارآئی مورد نیاز کاربرد دارد. جذب آب سبکدانه می تواند طبق دستورهای استاندارد موجود و یا ضمیمه B مربوط به ACI 211.2 مشخص شود که بر این اساس آب کل بدست می آید. در این روش نیز با توجه به وزن یک متر مکعب بتن مقدار ماسه بدست می آید و بتن مورد نظر با اصلاحات رطوبتی ساخته شده و حک و اصلاح لازم بر روی مقادیر بدست آمده صورت می گیرد تا بتن مطلوب حاصل شود

### کاربردهای بتن سبک

همانطور که می دانیم بتن سبک می تواند به صورت های مختلفی طبقه بندی شود، مثلاً "سازه ای و غیر سازه ای". از این نوع طبقه بندی می توان کاربردها را حدس زد. اما گاه از طبقه بندی دیگری استفاده می نمائیم

<sup>1</sup> Weight Method or Specific gravity factor Method

مثل بتن سبکدانه ، بتن اسفنجی و بتن فاقد ریز دانه . در این نوع طبقه بندی ظاهرا " نمی توان کاربردها را حدس زد .

• ساخت قطعاتی است که صرفاً " جنبه پر کننده دارند . در نوع سازه ای نیز دو نوع بتن داریم : مسلح و غیر مسلح . مثلاً " اجزاء سازه ای غیر مسلح مثل بلوکهای ساختمانی را باید از این جمله موارد دانست . بتن سبکدانه ای سازه ای مسلح کاربردهائی شبیه بتن معمولی مسلح دارد و حتی ممکن است پیش تنیده هم باشد . جالب است بدانیم بتن های سبکدانه سازه ای مسلح در ابتدا عمدتاً " در ساخت کشتی های تجاری و جنگی در جنگ جهانی اول از سال ۱۹۱۸ تا ۱۹۲۲ بکار رفته است . کشتی *Atlantus* به وزن ۳۰۰۰ تن در سال ۱۹۱۸ و کشتی *Selma* به وزن ۷۵۰۰ تن و طول ۱۳۲ متر در سال ۱۹۱۹ به آب افتادند . همچنین در جنگ جهانی دوم ( تا اواسط جنگ ) بدلیل محدودیت هائی در تولید ورق فولادی ( مانند جنگ جهانی اول ) کشتی ها و بارج های زیادی ساخته شدند که در همه آنها از بتن سبکدانه ( و معمولاً " سبکدانه رسی منبسط شده ) استفاده شده بود . ۲۴ کشتی اقیانوس پیما و ۸۰ بارج دریائی تا پایان جنگ جهانی دوم در امریکا ساخته شد که ظرفیت آنها از ۳ تا ۱۴۰ / ۰۰۰ تن بود .

جالب است بدانیم تا این اواخر یک کشتی بنام *Peralta* که در جنگ جهانی اول ساخته شده بود ، شناور بود و آزمایشهای ارزشمندی نیز بر روی آن انجام شده است که نشان دوام عالی بتن آن از نظر خوردگی میلگردها و کربناسیون می باشد .

مخازن شناور آب و مواد نفتی از جمله موارد استفاده بتن سبکدانه ای مسلح در طول دوران جنگ جهانی اول و دوم بوده است که ظاهراً " بعدها نیز بر خلاف ساخت کشتی ها ، تولید و ساخت آنها ادامه یافته است اما بدلیل اقتصادی در زمان صلح بواسطه وفور ورق فولادی ، تولید کشتی مقرون به صرفه نمی باشد .

در سالهای ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ پل ها و ساختمانهای زیادی با بتن سبکدانه مسلح سازه ای در دنیا ساخته شد . بطور مثال در ایالات متحده و کانادا بیش از ۱۵۰ پل و ساختمان از این نوع مورد بهره برداری قرار گرفت . بطور



مثال ساختمان هتل پارک پلازا در سنت لوئیز امریکا ، ساختمان ۱۴ طبقه اداره تلفن بل جنوب غربی در کانزاس سیتی در سال ۱۹۲۹ از ساختمانهایی هستند که در دهه ۲۰ و ۳۰ میلادی ساخته شده اند .

ساختمان ۴۲ طبقه در شیکاگو ، ترمینال TWA در فرودگاه نیویورک ( ۱۹۶۰ ) ، فرودگاه Dulles واشنگتن در ۱۹۶۲ ، کلیسائی در نروژ در ۱۹۶۵ ، پلی در وایسبادن آلمان در ۱۹۶۶ و پل آب بر در روتردام هلند در ۱۹۶۸ از جمله این موارد هستند . در هلند ، انگلستان ، ایتالیا و اسکاتلند در دهه ۷۰ و ۸۰ میلادی پلهائی از نوع ساخته شده اند .

مخازن عظیم گاز طبیعی ، اسکله شناور ، مخزن نفت در زیر آب و ساختمانهای فرا ساحلی مانند سکوهای استخراج نفت و گاز با بتن سبکدانه مسلح سازه ای ساخته شده اند که اغلب بصورت نیمه سبکدانه و گاه تمام سبکدانه بوده اند . سکوی بزرگ پرش اسکی ، جایگاه تماشاچی در برخی استادیومها و همچنین سقف این استادیومها گاه از بتن سبکدانه ساخته شده است .

بزرگترین بنای بتن سبکدانه ، یک ساختمان اداری ۵۲ طبقه در تکزاس با ارتفاع ۲۱۵ متر می باشد. در هلند در سالهای ۶۰ تا ۷۳ میلادی ۱۵ پل با دهانه بزرگ با بتن سبکدانه ساخته شده است. در سالهای دهه ۷۰ میلادی ساخت بتن های سبکدانه پر مقاومت آغاز شد و در دهه ۸۰ بدلیل نیاز برخی شرکتهای نفتی در امریکا ، نروژ و مکزیک ، ساخت سازه ها و مخازن ساحلی و فرا ساحلی مانند سکوهای نفتی با بتن سبکدانه پر مقاومت آغاز شد که در اواخر دهه ۸۰ و اوائل دهه ۹۰ به بهره برداری رسید و نتایج آن منتشر شده است .

( FIP ( fib ) برخی پروژه های مهم ساخته شده با بتن سبکدانه را منتشر نموده است که کاربرد آن را نجومی نشان می دهد .

• بتن اسفنجی معمولاً "بع دو نوع گازی و کفی تقسیم میشود. این نوع بتن ها را بتن پوک و متخلخل نیز می نامند و در برخی منابع بتن Cellular نام دارد. اغلب بتن های گازی و کفی غیر سازه ای هستند اما برخی بتن های گازی از قابلیت سازه ای شدن و حتی مسلح شدن برخوردار می باشند.

بتن های اسفنجی عمدتاً "پر کننده هستند. ساخت برخی پانل های جداکننده، ایجاد کف سازی و شیب بندی، عایق های حرارتی و جاذب صوت از جمله موارد مورد استفاده بتن اسفنج غیر سازه ای است. تولید قطعات و بلوکهای ساختمانی برای بنائی از جمله کاربردهای بتن گازی است. نوعی بتن گازی بنام سیپورکس در سوئد ساخته شد که می توانست مسلح گردد و در ایران نیز مدتی قطعات بتنی مسلح سیپورکسی بکار رفت از جمله دالهای بتن مسلح پیش ساخته برای پوشش سقف از جنس سیپورکس در برخی پروژه های کشور ما مصرف گشته است. قطعات نما از جنس بتن کفی و گازی یا سبکدانه غیر سازه ای نیز تولید و مصرف شده است.

**نتیجه گیری:**

با توجه به موارد شرح داده شده در متن با استفاده از این محصول میتوان در موارد مختلف در هزینه های کوتاه مدت و بلند مدت صرفه جویی کرد. با توجه به مطالعات انجام شده در این زمینه هزینه استفاده از این محصول بدون در نظر گرفتن دیگر موارد در مدت زمانی حدود ۲ سال مستهلک میگردد.

در ساختمانهای موجود که با استفاده از آجرهای فشاری و بلوک های سفالی ساخته میشوند به دلیل مقاومت این مصالح بسته به نوع مصالح مصرفی سختی نسبی به میزان سختی سازه اضافه می گردد ولی با استفاده از فوم می توان میزان سختی تحمیل شده به سازه را به حداقل کاهش داد.

**منابع:****منابع فارسی:**

- استاندارد ملی ایران (۸۵۹۳)، چاپ اول، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران
- ح. باستانی، ر. ایلاتی سراملو، ۱۳۹۰، بررسی مزایای استفاده از بتن سبک، دانشگاه آزاد سمنان، ششمین کنگره ملی مهندسين عمران
- ا. راستگو، بتن سبک ساختمانی، ۱۳۸۹، دانشگاه آزاد اسلامی (واحد تهران مرکزی)
- ز. عباسی، ۱۳۸۹، هبلکس بتن سبک یا بتن هوادار اتوکلاوی، همایش ملی عمران، ۲۳ اردیبهشت.
- م. حسنعلی بیگی، ب. حسینیان، پ. شفیق، ۱۳۸۶، ساخت بتن سبک با مقاومت بالا با استفاده از دانه های سبک، نشریه دانشکده مهندسی، شماره اول

**لاتین:**

Kenneth S. Harmon, PE, Lightweight Concrete ,2005, uni U.S  
 “Guide for Structural Lightweight Aggregate Concrete”. ACI 213R-87, American Concrete Institute, Detroit, Michigan. 1987.

**وب سایت اینترنتی:**

[/http://www.concrete.org](http://www.concrete.org)

[/http://architecture-civil.blogfa.com](http://architecture-civil.blogfa.com)

[/http://clinicbeton.ir](http://clinicbeton.ir)

[/http://www.sciencedirect.com](http://www.sciencedirect.com)

<http://www.ieee.org>