

## بتن سبک و کاربردهای آن در ایران

بتن بعنوان یکی از اصلی ترین مصالح ساختمانی در گستره‌ای وسیع در انواع کاربردهای سازه‌ای و غیر سازه‌ای در ساختمان استفاده می‌شود. بتن سبک بعنوان مصالحی که چگالی آن بطور قابل ملاحظه‌ای از بتن معمولی پایین تر است می‌تواند نقش موثری در کاهش وزن ساختمانها، به خصوص در قسمت غیره سازه‌ای داشته باشد. عمده ترین و اصلی ترین کاربردهای بتن سبک که امروزه در ایران، شاهد آن هستیم شامل بلوکهای سبک سقفی و دیواری و همچنین بتن کفسازی و شیب بندی است. در تولید این بتن‌ها عمدتاً از پوکه و مواد صنعتی یا معدنی با چگالی پایین بعنوان سنگدانه و یا پرکننده سبک استفاده می‌شود. در کنار بتن با سنگدانه‌های سبک، تولیدات کارخانجاتی مانند سیپورکس و یا هبلکس و امثال آن نیز به شکل بلوکها و پانلهای بتن سبک، بر پایه بتن اسفنجی یا هوادار ( Aerated concrete ) می‌باشند. مزایای این نوع بتن در کنار سبک بودن، بالا بودن عایق حرارتی و امکان بریدن با اهر، امکان شیار زدن و همچنین بکار بردن میخ و پیچ می‌باشد. این نوع بتن بسته به روش تولید حبابهای هوا، خود به دو نوع بتن گازی و بتن کفی تقسیم بندی می‌شود. در تولید بتن گازی پودر نرم آلومینیوم در شرایط خاصی به مخلوط اضافه می‌شود تا در اثر واکنش شیمیایی با هیدروکسید کلسیم حبابهایی از هیدروژن در داخل بتن تولید شود. آزاد شدن این حبابها باعث انبساط مخلوط می‌شود. اما در تولید بتن کفی بر عکس بتن گازی، حبابهای هوا به کمک یک ماده کفزا تولید شده و در مخلوط بتن اضافه می‌شوند. تکنولوژی تولید بتن کفی ساده تر و سهل الوصول تر از تکنولوژی تولید بتن گازی می‌باشد و امکان ساخت این نوع بتن در کارگاههای ساختمانی نیز وجود دارد.



## اجزای بتن کفی

مواد پایه در ساخت بتن کفی عبارتند از سیمان، آب و کف حاصل از یک ماده کفزا. برای تولید کف معمولاً از ماده‌ای به نام فوم استفاده می‌شود. این ماده ابتدا با آب رقیق شده و سپس در محفظه‌ای به کمک فشار ناشی از کمپرس هوا یا در اثر هم‌زدن سریع، تبدیل به کفی می‌شود که در آن حبابهایی با قطر در حد میلیمتر و کمتر تولید شده‌اند. برای تولید کفی پایدار در ساختار داخلی ماده کفزا و یا بطور مستقل یک



ماده پایدار کننده کف استفاده می‌شود تا حبابهای تولید شده پایدار شوند. منظور از پایدار شدن حبابها این است که حبابها در اثر جابجایی و اختلاط، شکل خود را حفظ نمایند و اصطلاحاً کف نخواهد. معمولاً کف پایدار حاصل، خامه‌ای شکل می‌باشد.

مواد کفزا (فوم) را می‌توان به لحاظ ساختاری در دو کلاس طبقه بندی کرد که شامل مواد بر پایه پروتئین حیوانی (فوم پروتئینه) و مواد کفزای شیمیایی (فوم شیمیایی) می‌باشند معمولاً کف حاصل از مواد بر پایه پروتئین به لحاظ حجمی، کمتر و پایدارتر از کف حاصل از مواد شیمیایی می‌باشد (مواد شیمیایی دارای وزن مخصوص کف حدود ۴۰ گرم در لیتر با پایداری کف در حد کمتر از ۲ ساعت و افزایش حجم حاصل از کف کردن حدود ۲۵ برابر حجم اولیه می‌باشند

این در حالیست که در مواد فوم پروتئینه با چگالی و پایداری کف ۲ برابر بیشتر و حجم کف تولید شده حدود نصف مواد شیمیایی می‌باشند) تجربه نشان می‌دهد که مواد شیمیایی برای ساخت بتن‌های با چگالی بالای ۱۰۰۰ مناسبند این درحالیست که از مواد پروتئینی در ساخت انواع بتن از چگالی ۵۰۰ الی ۱۶۰۰ کیلو بر متر مکعب می‌توان استفاده کرد.

در اینجا باید این نکته را خاطر نشان کرد که پایداری کف باید تا حدی باشد که بعد از فرآیند اختلاط کف با ملات سیمانی و تا گیرایش اولیه مخلوط، کف پایداری خود را حفظ نماید در غیر این صورت، ساختاری که با قرارگیری و توزیع حبابها در داخل مخلوط ایجاد شده، در اثر از بین رفتن قسمتی از حبابها قبل از گیرش اولیه سیمان، از هم پاشیده و در نتیجه وزن افزایش می‌یابد.

## میزان آب به سیمان

معمولا میزان آب لازم برای بتن به رطوبت ماسه بستگی دارد ولی به طور کلی و میانگین به ازای ۱۰۰ کیلو سیمان در مخلوط حدود ۴۰ الی ۴۵ کیلو آب لازم می‌باشد منتهی در بتن‌های کفی، مقدار آبی که جهت ساخت فوم استفاده می‌شود نسبت آب به سیمان را در کل مخلوط تا ۶۰ درصد افزایش می‌دهد. وزن چگالی‌های بین ۳۰۰ الی ۶۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب که از سیمان و کف ساخته می‌شوند بعنوان عایق حرارتی صوتی بخصوص در کفسازی طبقات و بام استفاده می‌شود.

## روش تولید فوم بتن

برای تولید فوم بتن ابتدا با در نظر گرفتن مقدار مشخص شده جهت چگالی مورد نظر سیمان و آب با هم در میکسر دستگاه مخلوط می‌شود سپس ماده فوم در فوم ژنراتور دستگاه با آب مخلوط شده و توسط پمپ هوا از لوله مخصوص که دارای ساچمه‌های ریز می‌باشد با فشار عبور داده که باعث بدست آمدن کف می‌شود و کف حاصل در میکسر با ملات سیمان و آب مخلوط می‌شود که در حین اختلاط حباب‌های بسیار ریز در سر تا سر ملات بوجود می‌آید و بعد از عمل آمدن، توسط پمپ به طبقات پمپاژ و روی سطح ریخته می‌شود. خاصیت فوم این است که حبابهای هوا را تا گیرایش بتن در ملات پایدار نگه می‌دارد که وزن بتن حاصله به پایداری این حبابها بستگی دارد.

## عمل آوری فوم بتن

دستیابی به بسیاری از خواص فوم بتن نیاز به عمل آوری مطلوب آن دارد. آب‌دهی در روزهای اولیه یکی از مهمترین عوامل عمل آوری است در روزهای گرم حداقل ۲ بار آب دهی روزانه بسیار لازم است تا سرعت خشک شدن آب بتن کم شده و از ترکهای روی سطح بتن جلوگیری بعمل آورد همچنین این کار باعث بالا رفتن مقاومت می‌شود.

## مشخصات مقاومتی

**مقاومت فشاری:** مقاومت فشاری بتن کفی تحت تأثیر عوامل متعددی نظیر چگالی بتن، سن بتن، رطوبت بتن، مشخصات شیمیایی و مکانیکی اجزای تشکیل دهنده بتن و نسبت‌های اختلاط آنها دارد. در صورتیکه بتوان نسبت‌های اختلاط، سیمان، آب و ماده کف را ثابت کرد در این صورت می‌توان به رابطه‌ای بین مقاومت فشاری و چگالی وزن بتن دست یافت. البته شایان ذکر است که تغییر در فاکتورهای فوق

الذکر روابط را دچار تغییر می‌کند. مقاومت فشاری را به طور قابل ملاحظه‌ای می‌توان به کمک روشهای عمل‌آوری بالا برد. عمل‌آوری با رطوبت تأثیر عمیقی در افزایش مقاومت فشاری دارد. مقاومت کششی: مقاومت کششی بتن کفی بسته به روش عمل‌آوری معمولاً بالای ۲۵ درصد مقاومت فشاری بتن بوده و در لحظه گسیختگی دارای کرنش در ده درصد می‌باشد.

## انقباض یا افت بتن

مانند سایر انواع بتن، انقباض یک پدیده ذاتی بتن کفی است و میزان آن بسته به پارامترهای مختلف مثل نوع سیمان، روش عمل‌آوری، میزان سیمان در مخلوط، چگالی بتن و کیفیت و نوع ماده فوم مورد استفاده و نسبت آب به سیمان دارد. حداکثر انقباض بتن کفی تا سن ۲۸ روزه‌گی بتن رخ می‌دهد و از آن پس مقدار انقباض قابل چشم‌پوشی است. در صورتیکه در این مدت زمان شرایط نگهداری کنترل شوند می‌توان میزان انقباض بتن را به ۱ درصد و کمتر نیز محدود کرد.

## عایق حرارتی و صوتی

بعلت طبیعت متخلخل داخل بتن، این نوع بتن یک عایق حرارتی و صوتی بسیار مناسب می‌باشد. از لحاظ صوتی عایق مناسبی جهت صدا با ضریب زیاد جذب اکوستیک به شمار می‌رود که در نتیجه بعنوان یک فاکتور رفاهی در جهت جلوگیری از ورود صداهای اضافی مورد توجه طراحان قرار گرفته است. میزان مقاومت حرارتی این نوع بتن با کاهش چگالی بتن افزایش می‌یابد. این بدلیل وجود حبابهای بیشتر در چگالی پائین می‌باشد. سرعت و خصوصیات فوم بتن در کفسازی یکی از دلایل پائین بودن سرعت اجرای کار در مصالح سنتی انجام فرآیند تولید و پخش آن توسط اشخاص و یا بعبارتی بصورت دستی می‌باشد. دستگاه سیار تولید فوم بتن بدلیل مکانیزه بودن آن و استفاده از تکنیک تولید و پخش در محل پروژه با در نظر گرفتن میانگین شرایط کاری می‌تواند در هر ساعت بطور متوسط ۵ الی ۷ میکسر با حجم ۱ الی ۱/۵ مترمکعب تولید نماید و با در نظر گرفتن یک شیفت کاری می‌توان گفت متوسط روزانه بین ۴۰ تا ۵۰ میکسر تولید فوم بتن دارد البته می‌توان با اضافه کردن ساعت کاری حجم تولید را بالا برد و یکی دیگر از خصوصیات تولید بتن سبک با دستگاه در محل پروژه یکدست و یکنواختی بتن تولید شده می‌باشد. سطح فوم بتن بدلیل روان بودن نیازی به ماله کشیدن ندارد و فقط با یک صاف کننده مثل یک تی بلند می‌توان سطح آن را یکدست و صاف نمود. خصوصیت روان بودن فوم بتن باعث پرشدن کلیه درزها و شیارهای کوچک و منفذهای موجود در کف ساختمان می‌شود و بدلیل وجود حبابهای ریز و روان بودن می‌تواند بصورت مستقل عایق لوله‌های تأسیساتی در کف ساختمان باشد و نیازی به ماهیچه‌کشی روی لوله‌ها نمی‌باشد.

بررسی سبک بودن فوم بتن در کفسازی در مورد کفسازی و شیب بندی‌های انجام گرفته در ساختمانها که عمدتاً از پوکه و سیمان استفاده می‌شود در صورت جایگزینی این نوع بتن با چگالی ۴۰۰، وزن مرده کفسازی از ۱۰۰۰ به ۴۰۰ کیلو در متر مکعب کاهش می‌یابد و اگر ۱۰ سانتیمتر ارتفاع برای کفسازی در نظر بگیریم این یعنی کاهش ۶۰ کیلوگرم در متر مربع از وزن ساختمان.

در صورت استفاده از بتن کفی با چگالی ۵۰۰ در کفسازی، وزن موثر لرزه‌ای فوق به میزان ۸۰ کیلو و یا بعبارت دیگر به میزان ۹ درصد کاهش می‌یابد که برابر با کاهش ۹ درصدی میزان نیروی زلزله می‌باشد. با این میزان کاهش، حدود ۴ درصد در مصرف میلگرد صرفه‌جویی می‌شود. با احتساب مصرف ۴۵ کیلو میلگرد در هر متر ساختمان میزان این صرفه‌جویی براحتی قابل محاسبه می‌باشد.

این در حالیست که در صورت استفاده از بتن کفی بجای مصالح پوکه سیمان در کفسازی با کاهش چگالی و همچنین تغییر ساختار ماده (از حالت حبابهای هوای مرتبط به حالت حبابهای هوای محبوس) میزان عایق بودن حرارتی و صوتی حدود ۳ برابر بیشتر می‌شود و خود باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی می‌باشد و در هنگام بروز زلزله بعلت سبکی وزن فوم بتن، آوار ناشی از خرابی ساختمان، خسارت کمتری به لوازم و ساکنین وارد می‌کند و این موضوع هم از لحاظ مالی و هم جانی قابل ملاحظه می‌باشد.

پیشنهاداتی برای استفاده از بتن کفی در مصارف مختلف در کشور در مناطق شمالی و جنوبی کشورمان که دسترسی به منابع خاک رس جهت ساخت آجر و بلوک‌های سفالی وجود ندارد هزینه‌های حمل و نقل موجب افزایش تا ۱۰۰ درصدی قیمت تمام شده محصولات آجر و بلوک می‌شود. این درحالیست که منابع ماسه بادی فراوان در این مناطق وجود دارد. در این مناطق می‌توان با استفاده از بتن کفی اقدام به ساخت بلوکها و پانلهای بتنی کرد که به لحاظ اقتصادی کاملاً به صرفه می‌باشد. بعنوان مصالح بدون نشست نیز می‌توان در پرکردن حفاریهای انجام شده در خیابانها، بجای مصالح دانه‌ای، از این مصالح استفاده کرد. همین امتیاز اخیر عملکرد فوم بتن را در صورت استفاده در لایه‌های زیر اساس راه، خصوصاً در مناطقی که دسترسی به منابع مصالح دانه‌ای مناسب وجود ندارد، تضمین می‌کند. در کنار امتیازات فوق، با توجه به مقاومت بالای این نوع بتن در مقابل آتش‌سوزی، می‌توان از آن بعنوان مصالح نسوز نیز استفاده کرد.

### **مقایسه فوم بتن با پوکه**

- ۱ - وزن هر مترمکعب پوکه اجرا شده در حالت ایده‌آل تقریباً ۶۰۰ کیلوگرم می‌باشد در حالیکه وزن هر مترمکعب فوم بتن ۳۰۰ تا ۳۵۰ کیلوگرم است.
- ۲ - اجرای پوکه برای هر اکیپ ۷ مترمکعب در روز است در حالیکه بتن سبک را می‌توان تا ۴۰ مترمکعب در روز اجرا کرد.



- ۳ - فوم بتن عایق صوتی و حرارتی است و از این جهت هنگام بهره‌برداری راحتی بیشتری برای ساکنین ساختمان به همراه می‌آورد.
- ۴ - پوشش همگن و یکنواخت: اختلاط پوکه و سیمان کاملاً یکدست نمی‌باشد و پوکه‌هایی که به سیمان آغشته نشده باشند می‌لغزند و فضای خالی ایجاد می‌کنند در حالیکه فوم بتن یک ملات کاملاً همگن و یکدست است و اصطلاحاً خاصیت Self-leveling دارد که کلیه سوراخها و درزها را گرفته و سطحی کاملاً صاف ایجاد می‌کند.
- ۵ - مقاومت عالی در برابر آتش: یک قطعه فوم بتن با متوسط وزن فضایی  $400 \text{ kg/m}^3$  با ضخامت ۷ cm به راحتی تا ۱۲۳۰ درجه سانتیگراد را تحمل می‌کند.
- ۶ - عدم خسارت به تأسیسات: حمل پوکه و رفت و آمد کارگران اغلب ایجاد آسیب در تأسیسات می‌نماید.
- ۷ - کاهش خسارت زلزله: بدلیل سبک بودن ساختمان در صورت وقوع زلزله خسارت کمتری ایجاد می‌شود.
- ۸ - اقتصادی بودن بتن فوم: ۳۸٪ صرفه جویی مستقیم در هزینه اجرا

(براساس قیمت‌های زمستان ۱۳۹۳)

| هزینه فاکتور   | قیمت به ازاء هر متر مکعب (ریال)  |                                |
|--|----------------------------------|--------------------------------|
| <b>استفاده مصالح مورد نیاز</b>                           | ریزی پوکه                        | بتن فوم                        |
| معدنی پوکه   | ۳۳۴,۰۰۰                          | ندارد                          |
| سیمان  | ۲۱۰,۰۰۰ ( $150 \text{ kg/m}^3$ ) | $420,000 (300 \text{ kg/m}^3)$ |
| ماسه   | ۸۴,۰۰۰                           | ندارد                          |
| اجرا دستمزد  | ۳۰۰,۰۰۰                          | ۲۵۰,۰۰۰                        |
| آستر سیمان کف آشپزخانه و سرویسها<br>(ماهیچه روی تأسیسات) | ۲۵,۰۰۰                           | ندارد                          |
| <b>کل هزینه (ریال)</b>                                   | <b>۹۳۵,۰۰۰</b>                   | <b>۶۷۰,۰۰۰</b>                 |

- ۹ - کاهش هزینه‌های فونداسیون: با کاهش وزن اسکلت فلزی و سقف بار وارد بر فونداسیون کاهش یافته و با طراحی مجدد سازه، فونداسیون و اسکلت می‌توان هزینه تمام شده آنرا کاهش داد.

۱۰ - کاهش هزینه تعمیرات و نگهداری ساختمان: بدلیل درجه بالای ویسکوزیته یا روانروی فضای میان لوله‌های تأسیساتی (آب، برق، گاز) را کاملاً پر کرده و از ضربه و جابجا شدن آنها جلوگیری می‌نماید و عمر مفید تأسیسات ساختمان را بالا می‌برد. بعلاوه بدلیل خاصیت برش‌پذیری که دارد، دسترسی و تعمیر لوله‌های تأسیساتی به راحتی و تنها با برش فوم بتن امکان پذیر خواهد بود.

۱۱ - صرفه‌جویی در مصرف برق / گاز ساختمان: ایزولاسیون ایجاد شده در کف طبقات (دیوارها در صورت استفاده) موجب ایزولاسیون ساختمان شده و اتلاف سرمایش و گرمایش ایجاد شده در ساختمان را به حداقل می‌رساند.

۱۲ - صرفه‌جویی در هزینه‌های جانبی پروژه: با بالا رفتن سرعت اجرای پروژه و کاهش حمل و نقلها و رفت آمد کارگران و تدارکات مورد نیاز روش سنتی کف‌سازی در هزینه‌های جانبی نامحسوس زیادی صرفه‌جویی خواهد شد که با بالا رفتن مقیاس پروژه بر اهمیت این هزینه‌ها افزوده می‌شود. بعلاوه از فضای کارگاه نیز بطور بهینه استفاده خواهد شد چرا که پوکه نیاز به فضای قابل توجهی جهت دپو دارد. بعلاوه برای بالا بردن پوکه بالابر و کلیه فضاهای مرتبط اشغال می‌شود.

