

بتن سبک وزن با ساختمان سلولی (فوم) (CLC) (CELLULAR LIGHT WEIGHT CONCRETE)

مهدی قربانی دانشجوی کارشناسی دانشکده فنی مهندسی عمران ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان^۱
علی افسر دلیر دانشجوی کارشناسی دانشکده فنی مهندسی عمران ، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان^۲



چکیده

بتن از مصالح اصلی و بنیادین در ساخت ساختمانهای کنونی است که می توان با ایجاد ترکیبات مختلف و افزودن مواد دیگر به این ترکیبات کارایی آن را بالا برد. از جمله موادی که می توان برای افزایش کارایی بتن به آن اضافه نمود فوم (ماده کف ساز با پایه پروتئین حیوانی) است. این نوع بتن علاوه بر داشتن مزایای بتن معمولی خواص دیگری مانند وزن مخصوص کم و مقاومت فشاری بالا را نیز دارا می باشد سبکی این بتن در سازه های ساختمانی باعث کاهش بار مرده ساختمان، صرفه جویی در حجم خاک برداری و بتن مصرف شده در فونداسیونها و همچنین کاهش بارهای زلزله می گردد. برای افزایش کارایی این محصول در پروژه های مختلف مقدار اختلاط و افزودنیهای مورد نیاز طبق تجربیات و استانداردهای کشورهای آلمان، انگلیس و آمریکا تنظیم و تهیه می گردد و برای تولید نهایی و آزمایشهای مقاومت بر روی آنها صورت می گیرد. برای تولید این بتن از ملات ماسه، سیمان، ماسه بادی، ملات بتن فوم (از نوع پروتئین حیوانی) و افزودنیهای مجاز استفاده می گردد. این مواد توسط دستگاههای مخصوص، مخلوط و تولید شده و برای استفاده آماده می گردد که توسط دستگاههای پمپاژ به علت سبکی به راحتی می توان بتن را به طبقات بالاتر انتقال داد. در نتیجه این عملکرد، میزان دقت کلی مصرفی در این پروژه افزایش می یابد.

واژه های کلیدی: بتن فوم - وزن مخصوص - مقاومت فشاری

۱- مقدمه

بتن فوم، بتنی است با کاربری بالا در صنعت ساختمان سازی که می توان با رعایت اصول تولیدی و بکارگیری مناسب، از آن در انواع پروژه های ساختمانی استفاده نمود. این بتن برای اولین بار در کشور سوئد، ابداع و اختراع شد و امروزه در بیشتر کشورها مورد استفاده قرار می گیرد. این بتن علاوه بر داشتن خواص بتن معمولی در حد مطلوب دارای ویژگیهای دیگری نظیر وزن مخصوص کم و مقاومت فشاری مطلوب نیز می باشد. (شاهزاد)

برای استفاده بهینه از این محصول ابتدا وزن مخصوص و مقاومت فشاری آن برای کاربریهای موردنظر در پروژه تعریف شده و بر اساس آن بتن با اختلاط مناسب و افزودنیهای موردنیاز بر اساس دستورالعملها و تجربیات قبلی تولید می‌شود که در حین تولید توسط استانداردهای بین‌المللی کشورهای آلمان، انگلیس و آمریکا فرموله می‌گردد. (شاهزاد)

۲- مشخصات بتن

برای تولید بتن فوم مناسب با کارایی بالا باید علاوه بر ترکیب مناسب ملات ماسه و سیمان از ماده کف ساز مناسب که در بهترین حالت از پروتئینهای حیوانی تولید شده است استفاده نمود. از مزیت‌های دیگر این بتن تولید آن با چگالیهای مختلف و با کاراییهای متفاوت می‌باشد. (جدول شماره ۱ و ۲) (تیموریان)

جدول ۱- مشخصات فنی - فیزیکی برای یک نمونه تیپ فوم بتن بر حسب چگالی نمونه

چگالی	مقاومت ۷ روزه	مقاومت ۲۸ روزه	جذب رطوبت	جذب آب	ضریب انبساط	هدایت حرارت	مدول الاستیسیته
$\frac{Kg}{m^3}$	$\frac{Kg}{Cm^2}$	$\frac{Kg}{Cm^2}$	mm ضخامت	%وزن	$\frac{mm}{m}$	$\frac{Kcal}{hr.m.^{\circ}c}$	$\frac{Kg}{Cm^2}$
400	6.5	10.0	0.040	13.1	8.0×10^{-6}	0.084	-
600	9.7	15.0	0.030	10.5	“	0.115	-
800	19.0	28.0	0.020	8.5	“	0.170	-
1000	23.0	36.0	0.015	6.6	“	0.270	-
1200	44.0	65.0	0.010	5.5	“	0.380	40.000
1400	82.0	120.0	0.005	3.7	“	0.450	55.000
1600	125.0	175.0	0.003	1.6	“	0.480	66.000
1800	193	275.0	0.002	0.4	“	0.530	83.000

جدول ۲- کاربری بتن فوم بر حسب چگالی

چگالی Kg/m^3	400-600	800-1000	1200	1400-1600	1800
پاتن های بزرگ پیش ساخته آرمه					
- پانل دیوار	*	Δ	•	•	•
- قطعات کف	*	*	Δ	•	•
- دیوار غیرباربر	*	•	Δ	Δ	•
سازه با بتن درجا	*	Δ	•	•	•
عایق حرارتی مسطح بام ها	•	•	Δ	Δ	*
بلوک ساختمانی	Δ	•	Δ	Δ	Δ
بتن پاشی (برای گنبدها)	*	Δ	•	•	Δ

تعریف علامتها ی جدول ۲

• بسیار مناسب

Δ مناسب تحت شرایط خاص

× مناسب نمی باشد

با توجه به اینکه بیشتر خواص بتن مبتنی بر چگالی آن می باشد می توان با تغییر تناسبات اختلاط و مقدار ماده کفی موجود در بتن چگالیهای مختلف بتن را تولید نمود و همچنین برای کنترل مقاومت فشاری بتن می توان از افزودنیها و روشهای مناسب استفاده نمود.

۳- موارد استفاده

(۱) استفاده به صورت بلوک برای دیوارهای غیرباربر: برای استفاده در این قسمت بتن با چگالی حدود $800 - 700 \frac{Kg}{m^3}$ به کار برده می شود.

یکی از مزیت های استفاده از بلوک تهیه شده با بتن فوم بی نیاز کردن دیوار از گچ خاک قبل از سفیدکاری می باشد که خود باعث صرفه جویی در وقت و هزینه می گردد.

(۲) استفاده در مسطح کردن کف طبقات و تنظیم شیب بندی بامها چگالی مورد نیاز برای این قسمت در حدود $1800 - 1600 \frac{Kg}{m^3}$ می باشد.

(۳) استفاده در دیوارهای باربر: چگالی در حدود $1200 \frac{Kg}{m^3}$ و بالاتر مورد استفاده قرار می گیرد.

(۴) استفاده در پوشش های تیر و ستون: این بتن به عنوان لایه محافظ در مقابل آتش سوزی برای پوشش تیر و ستونهای سازه های فولادی با چگالی $800 - 600 \frac{Kg}{m^3}$ کاربرد دارد.

(۵) به عنوان عایق رطوبتی: از بتن فوم در بلوک کف ساختمانها و به عنوان ماده پرکننده (به جای خاگریزی و کامپکشن آن) در فضای پشت دیوارهای حایل دور لوله کشیهای آب و فاضلاب حد فاصل بین خاکبرداری و قطعات لاینینگ تونلها با خاصیت بالای عایق رطوبتی با چگالی $600 - 400 \frac{Kg}{m^3}$ مورد استفاده قرار می گیرد .

برای کارایی بالا در استفاده از بتن باید یکنواختی در داخل بتن ایجاد شده و یکنواختی میان ذرات داخل بتن مخصوص در حین انتقال به محل از بین نرود.

برای بتن فوم نیز نباید طرح اختلاط به هم ریخته و حبابهای موجود از بین بروند، زیرا از بین رفتن حبابها و ناپایداری آنها باعث تغییر چگالی بتن شده و در اجرای پروژه و پایداری آن تاثیر منفی خواهد گذاشت . از موارد دیگری که باعث ایجاد حصول اطمینان در اجرای پروژه ها می گردد استفاده از مواد کفزای مناسب می باشد که از مناسبترین آنها ماده کفزای تولیدی از پروتئینهای حیوانی در کشورهای اروپایی با کیفیت بالا می باشند. که با استفاده از آن می توان بتن با خواص یکنواخت در چگالیهای مختلف را تولید کرد.

عدم داشتن تجربه کافی در ایجاد چگالیهای مناسب باعث ناپایداری پروژه شده که اخیراً به دلیل عدم آگاهی کامل مجری در یکی از پروژه های شهری در تولید چگالی مناسب با اشکالاتی روبرو شده و باعث تقویت گسترده سازه پس از اجرا شده که این

امر خود در هزینه تمام شده پروژه تاثیر بسیار داشته است .

جدول ۳- موارد استفاده از فوم بتن و امتیازات حاصل شده

امتیازات حاصل شده	موارد استفاده
قابلیت انبوه سازی بدلیل تولید آسان در محل کارگاه و زمان کوتاه اجرای طرح و وزن سبک ، محافظت در برابر سرما و گرما و صدا ، صرفه جویی در هزینه ساخت و انرژی ، بازگشت و گردش سریعتر سرمایه گذاری	ساخت خانه های پیش ساخته ، دیوارهای داخلی و خارجی ساختمانها ، بخصوص برای کشورهای در حال توسعه و کشورهایی با سابقه زلزله های مکرر و برای مناطق دارای آب وهوای غیر معتدل
هزینه انتقال کمتر بلحاظ وزن سبک ، عایق در مقابل سرما ، گرما و در مقابل صدا ، صرفه جویی در مصرف انرژی ساختمان در طول بهره برداری از ساختمان	قطعات در جا و یا پیش ساخته ساختمانی ، بلوک ، پانل و دال کف طبقات از نوع بار بر ، تیغه بندی دیوارها ، شیب بندیها و پوشش عایق در بام و کف ساختمانها
عایق در مقابل آتش با دوام بیش از دو برابر طولانی تر از بتن معمولی ، نازک ، استفاده از قالب سبک و بمراتب آرزانتر از بتن معمولی ، سبکتر نمودن وزن کل اسکلت	پوشش سطوح و قطعات اسکلت فلزی ساختمان برای محافظت در مقابل آتش سوزی در ساختمان
کنترل نشست ، کنترل فشار اکتیو خاک در پشت دیوارها ، عدم نیاز به خاک ریزی و متراکم نمودن آن ، عایق حرارتی ، نصب سریع ، اجرای آسان و اقتصادی بدون نیاز به ماشین آلات سنگین	پوشش پشت دیوارهای حایل ، پشت بدنه استخرها ، پوشش حد فاصل خاکبرداری و لاینینگ تونلها ، پر نمودن گودال ها و دور لوله گذاریها
وزن سبک و اجرای سریع در محل	لایه های زیرین سطوح بار بر ترافیکی و اماکن ورزشی با خاکهای دارای مقاومت اندک
صرفه جویی در ساخت قالب ، سرعت اجرا	قالبهای در جا ، یکبار مصرف ، و یا مدفون در سازه و پری دال پلها
هزینه اندک و استفاده از جرثقیل سبک	دیوارهای عایق صوت طرفین بزرگراهها بصورت در جا و یا پیش ساخته

۴- تولید بتن

مواد مورد نیاز در تولید بتن فوم، ملات ماسه و سیمان، ملات بتن فوم با اسلایمپ (سیمان پرتلند) و ماسه بادی می باشد. از مزیت‌های این بتن می توان به عدم به کارگیری شن (gravel) در تهیه آن اشاره نمود. ماده عامل تولید فوم: پروتئین حیوانی که از شاخ و سم حیوانات تولید می شود که پس از تمیز نمودن آنها و افزودن مواد شیمیایی لازم و افزودنیهای مناسب ماده کف ساز حاصل می شود. طول عمر مفید آن حدود دو سال است و از نظر زیست محیطی بی ضرر می باشد که علت آن تجزیه پذیری ماده کفساز می باشد ولی در مواد کف ساز شیمیایی برای تجزیه پذیری از کلرید استفاده می گردد و چون کلرید باعث خوردگی در فولاد بتن آرمه می گردد استفاده از آنها مناسب نمی باشد برای تولید بتن، ابتدا فوم را در دستگاههای مناسب تولید و با توجه به تناسب مناسب، آن را به داخل دستگاه اختلاط محتوی ملات ماسه و سیمان می ریزند.

برای تولید بتن با مقاومت بالا، از افزودنیهایی نظیر میکروسیلیکا، (Micro silica) فوق روافکننده ها (Super plasticizer) و خاکستر بادی (Fly Ash) استفاده می شود.

۵- ماشین آلات مورد نیاز برای تولید بتن:

(۱) دستگاه مخلوط کننده مخصوص

(۲) دستگاه تولید فوم

(۳) کمپرسور باد.

۶- تسهیلات تولید: بتن فوم، پس از آنکه در دستگاههای مخلوط افکن به حالت خمیری درآمد آماده انتقال و تخلیه در محل می باشد. این بتن به دلیل سبکی به راحتی به طبقات بالا پمپاژ شده و انرژی کمتری را نسبت به بتنهای دیگر مصرف می کند. این بتن به دلیل داشتن کف و روانی نیازی به وایبره کردن نداشته و سطوح بیرونی صاف و بدون ترک خوردگی می باشند. از بتن فوم می توان در ساخت قطعات پیش ساخته استفاده نمود. که این نوع قطعات بتنی بیشتر در کشورهای عربی و آفریقای و کشور هند به دلیل کمبود آب استفاده می گردد که به ساخت ساختمانهای ارزان قیمت در طول مدت ۸ ساعت می انجامد.

برای انتقال این بتن به طبقات بالاتر به دلیل فشار نیروی ثقلی به تراکم بتن اضافه شده و این پدیده باید توسط مجری طرح مدنظر قرار گرفته شود و در محاسبات لحاظ شود.

طول مدت گیرش این بتن در قالب و در صورت استفاده از سیمان تیپ I و بدون استفاده از زودگیرکننده ها در حدود ۸-۱۲ ساعت است که با استفاده از مواد افزودنی می توان طول مدت را کاهش داد.

همچنین مقاومت بتن فوم را می توان با تغییر نوع سیمان از سیمان تیپ I تا سیمان تیپ IV افزایش داد به طوریکه تغییر مقاومت از سیمان نوع اول تا سیمان نوع IV در حدود $8 \frac{N}{mm^2}$ می باشد که به مقاومت $30.4 \frac{N}{mm^2}$ می رسد. همچنین با افزودن فوق روان کننده ها که با کاهش آب بتن همراه است می توان مقاومت بتن را با درصد مناسبی افزایش داد.

همچنین می توان مقاومت بتن را با افزایش چگالی بالا برد و این در صورتی است که از فوم کمتری استفاده گردد. (شکل شماره ۱)

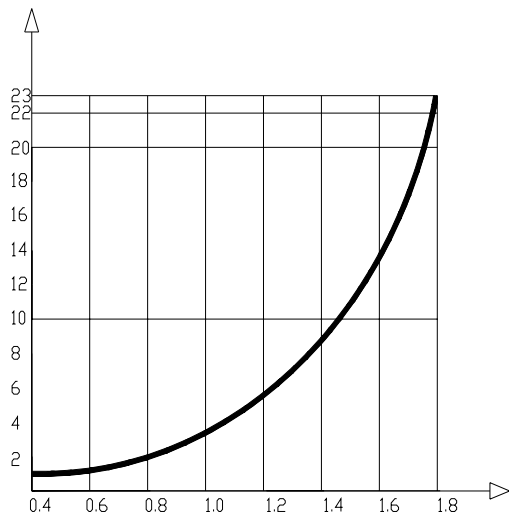
۷- خواص بتن فوم: پایین بودن ضریب هدایت حرارتی: مقاومت در برابر حرارت بتن مناسب با چگالی بتن مصرفی می

باشد و هر مقدار چگالی بتن افزایش یابد متناسب با آن مقاومت حرارتی بتن کاهش خواهد یافت ولی در هر صورت مقاومت حرارتی آن ۴ تا ۶ برابر بیشتر از آجر معمولی است. (شکل شماره ۲)

مقاومت در برابر آتش: بتن فوم آتش گیر نمی باشد و با افزودن ضخامت قطعه می توان مقاومت آن را در برابر آتش تا حد زیادی افزایش داد. مقاومت بتن فوم در برابر آتش بیشتر از بتن معمولی بوده و دلیل آن خواص ویژه عایقی آن است. (شکل شماره ۳)

- جمع شدگی و تغییر حجم: این خاصیت بتن نیز تابع چگالی بتن است و با افزایش چگالی مقدار کاهش حجم کمتر می شود که باید در طراحی و ساخت قطعات پیش ساخته این نکته مد نظر قرار گیرد.

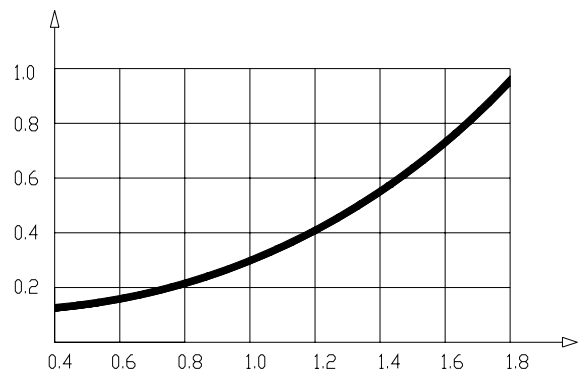
مقاومت فشاری
(N/mm^2)



چگالی بتن (Ton/m^3)

شکل ۱- مقاومت ۲۸ روزه فوم بتن بر حسب چگالی

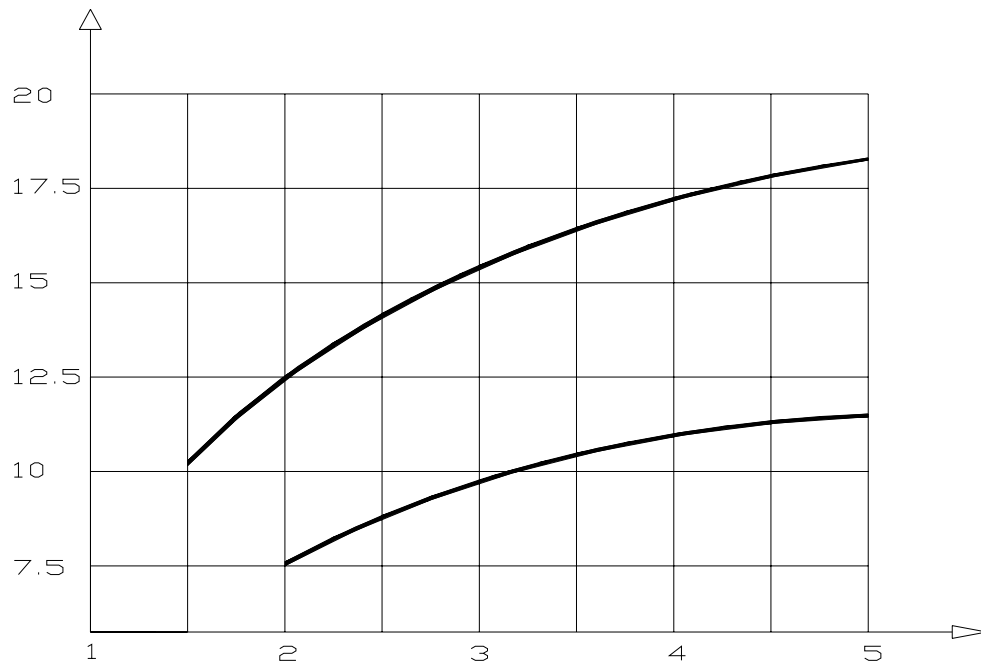
هدایت حرارتی
(W/mk)



چگالی (Ton/m^3)

شکل ۲- هدایت حرارتی بتون در ارتباط با چگالی فوم بتن

ضخامت دیوار (cm)



زمان (ساعت)

شکل ۳- مقاومت فوم بتن با چگالی 1000kg/m^3 و بتن معمولی در مقابل آتش در ارتباط با ضخامت (منحنی بالا نمایشگر عملکرد بتن معمولی و منحنی پایین نمایشگر عملکرد بتن فوم است)

برش آسان و مته کاری : قطعات تولید شده با این بتن به راحتی قابل بریدن و ااره کردن و همچنین مته کاری و میخ کوبی می باشند. بنابراین می توان پس از نصب قطعه محل عبور کابل ها و لوله ها را در آن جاسازی کرد.

۸- **مزیت های اقتصادی بتن فوم :** وزن ساختمانی که در آن از بتن فوم استفاده می گردد می تواند تا حدود ۳۵٪ نسبت به وزن ساختمانی که با بتن معمولی ساخته شده کاهش یابد با استفاده کردن از تجربه و دقت بیشتر در طراحی و استفاده بهینه از بتن فوم امکان کاهش وزن آن تا ۵۰٪ نسبت به ساختمان بتن معمولی وجود خواهد داشت و متعاقباً سهم بار با کاهش وزن بار مرده ساختمان به نصف کاهش خواهد یافت.

با کاهش وزن بار مرده ساختمان کاهش درون اسکلت سازه، ابعاد فونداسیون و کاهش آرماتور مصرفی برای فونداسیون را خواهیم داشت و در نتیجه آن زمان اجرای پروژه مدت کوتاهتری طول خواهد کشید .
وزن سبک بتن سبب می شود تا بتوان این بتن را به راحتی به طبقات بالاتر پمپاژ نمود و در نتیجه در هزینه صرفه جویی خواهیم کرد.

در زمان استفاده از ساختمان و بهره برداری به علت عایق خوب حرارتی بتن صرفه جوئی قابل توجه ای در هزینه مصرف انرژی (سرمایه و گرمایش ساختمان) حاصل می شود و کاهش چشم گیری در مصرف منابع ملی خواهیم داشت.

پوسیدگی آرماتور در داخل بتن فوم:

آزمایش ها بر روی نمونه های بتن فوم آرماتور دار نشان داده است که طی ۷۲ سیکل تغییر در شرایط محیطی هیچ گونه زنگ زدگی در فولاد به وجود نمی آید و همچنین هیچگونه پوسیدگی در نمونه هایی که به مدت ۶ ماه در مقابل جریان مستقیم آب روان قرار داده شده بودند مشاهده نشده است.

۹- خلاصه و نتیجه گیری:

این بتن یا ماده مولد فوم یا کف با پایه پروتئین حیوانی تولید می شود و از نظر زیست محیطی سالم ترین و بهترین روش تولید بتن سبک می باشد. دستگاه تولید این بتن بسیار می باشد و می توان آن را در کارگاه کارفرما مستقر نمود.
بتن فوم را می توان به راحتی تا طول 60m و ارتفاع 30m توسط پمپ ماردونی دستگاه به طبقات انتقال داد و در صورت لزوم به کمک پمپ های ماردونی کمکی دستگاه که در طبقات مستقر شده اند می توان ارتفاع را افزایش داد. توان تولید یک دستگاه در روز $80m^3$ می باشد .

برحسب نیاز پروژه بتن فوم با چگالی 400 الی $1800Kg/M^3$ در محل کارگاه تولید می شود.
ا توجه به مطالب ارائه شده ، استفاده از این بتن را می توان به عنوان سریع ترین ، اقتصادی ترین و مطمئن ترین راه برای ساخت و ساز در جهان نام برد.

۱۰-مراجع

مهندس شاهزاد، نادر-عضو انجمن بتن ایران-مصاحبه

مهندس شفقتیان ، سیامک - استاد دانشکده فنی مهندسی - دانشگاه آزاد اسلامی واحد زنجان
کریمی، محرم -مدیرعامل شرکت قطعات بتنی تهران دشت بتن و مهندسان مشاور شرکت- مصاحبه
مرکز تحقیقات ساختمان مسکن-بتن افزودنی‌ها-مواد افزودنی حباب هوازا-۱۳۷۶
صدرالدین مهرجردین - نورالدین -بتن سبک - مرکز تحقیقات ساختمان مسکن ۱۳۶۹
نوئل آدام-خواص بتن-ترجمه هرمز فامیلی، تهران، دانشگاه علم و صنعت-۱۳۷۵

۱۱-تقدیر و تشکر: در ارائه این مقاله از تجربیات و دانش دکتر جمشید تیموریان استفاده گردیده است و به این ترتیب نویسندگان کمال تشکر را از ایشان دارند.