



دانشگاه تهران

۲۶ و ۲۷ بهمن ماه ۱۳۹۰
نالز شهید چمران - انستیتو مصالح ساختمانی
پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران



اولین کنفرانس ملی بتن سبک

روش های ساخت و مشخصات فنی بتن های سبک غیر سازه ای

محمد رضا حاجی زاده*^۱، سینا ملک محمدی^۲، اقبال شاکری^۳

^۱ دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، تهران

^۲ دانشجوی کارشناسی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، تهران

^۳ عضو هیئت علمی دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، تهران

چکیده

سبک سازی در طراحی سازه ها از اهمیت زیادی برخوردار می باشد. استفاده از بتن سبک و روش های بهینه ساخت آن موضوع مهمی در این حوزه می باشد که در این مقاله به آن پرداخته می شود. ویژگی و روش ساخت دو نوع بتن گازی و پلی استایرن دار جهت رسیدن به وزن مخصوص کمتر و دارا بودن حداقل مقاومت فشاری مورد نظر (حدود ۱ مگاپاسکال) هدف تحقیقات انجام شده می باشد. با توجه به بررسی ها و نتایج بدست آمده، استفاده از بتن پلی استایرن دار در مقایسه با بتن گازی می تواند روش مناسبی برای کاهش وزن مخصوص بتن سبک غیرسازه ای باشد که دارای مزیت های غیر قابل انکار بهبود کاربری و عمل آوری بتن می باشد.

کلمات کلیدی: سبک سازی، وزن مخصوص، مقاومت فشاری، بتن گازی، بتن پلی استایرن دار، بتن سبک غیر سازه ای

۱- مقدمه

انسان از دیر باز به دنبال مصالح مناسب برای ساخت سر پناهی جهت سکونت بوده است و در این راستا در طول سالیان دراز به پیشرفت های شگرفی در جهت دست یابی به هدف خود دست پیدا کرده است. امروزه مصالح گوناگونی برای اجرای سازه های مختلف مورد استفاده ی مهندسين قرار دارد. یکی از این مصالح بتن است که خود عرصه وسیعی را در زمینه ی مصالح ساختمانی تشکیل می دهد و می توان به جرات گفت که در حال حاضر پر کاربردترین مصالح در سطح جهان محسوب می شود و در زمینه ی خواص آن در سازه ها تحقیقات گسترده ای صورت گرفته و برای کاربرد آن در سازه ها نیز آیین نامه هایی تدوین شده است [۱]. از طرفی دیگر مهندسين سازه و زلزله نیز در زمینه ی تحقیقات خود به این مهم دست یافته اند که هر چه وزن سازه (بار مرده ی ساختمان) را کاهش دهند تاثیرات مثبتی از جهات مختلف از جمله کاهش نیروی ناشی از زلزله و اثرات تخریبی آن خواهد داشت [۲].

* محمد رضا حاجی زاده ۰۹۳۵۵۱۸۹۸۱۷، Rezahaji86@yahoo.com

اجزای کالبدی ساختمان به دو دسته ی برابر (سازه ای) و غیر برابر (غیر سازه ای) تقسیم بندی می شود [۳] محققین و مهندسیین با توجه به نیاز روزافزون صنعت ساخت و ساز به بتن، با به کار بردن روش های مختلفی سعی در کاهش وزن مخصوص بتن دارند تا بتنی متناسب با این نیاز طراحی کرد و ساخت.

با توجه به تعاریف فوق بتن ها را به دو دسته ی کلی زیر تقسیم می کنند :

بتن های سازه ای سبک

بتن های غیر سازه ای سبک

در این تحقیق ابتدا تعریف بتن های غیرسازه ای سبک ارایه و روش های اختلاط جدیدی به منظور رسیدن به وزن مخصوص کمتر و مقاومت فشاری مورد قبول مورد بررسی قرار می گیرد و نتایج بدست آمده از جنبه های گوناگون مقایسه می گردد.

۲- بتن سبک غیر سازه ای

همان طور که از نام این دسته بتن ها مشخص است بر خلاف بتن های سازه ای وظیفه ی تحمل و انتقال نیرو را بر عهده ندارند و این دسته از بتن ها عمدتاً به عنوان عایق های صوتی و حرارتی، تزیین سقف ها، پر کننده ی دال های کف زیر زمین، ماده ی تراز کننده برای پشت بام، دیوار ضد آتش و پوشش ضد آتش برای تیر ها و ستون های فولادی به کار می رود [۱].

وزن مخصوص خشک شده در کوره این نوع بتن از ۲۴۰ تا ۸۰۰ kg/m^3 می باشد و مقاومت فشاری ۲۸ روزه آنها عموماً بین ۰/۷ تا ۷ مگاپاسکال تغییر می کند [۱].

۳- مشخصات مواد و مصالح مورد نیاز برای ساخت

برای ساخت بتن سبک غیرسازه ای مواد و مصالح مشخصی مورد استفاده قرار می گیرد که با توجه به نوع بتن می توان از هریک از آن ها استفاده کرد. در آزمایش های انجام شده در این تحقیق از مصالحی با مشخصات جدول (۱) استفاده شده است.

جدول ۱- مشخصات مواد و مصالح مورد نیاز

ماده	فاکتور یک	فاکتور دو
سیمان ۱-۴۲۵	چگالی: $3.15 kg/m^3$	زمان گیرش (245 min)
پرلیت	چگالی: $420 kg/m^3$	جذب آب: ۶۰٪
میکروسیلیس	چگالی: $2.2 kg/m^3$	رنگ: خاکستری روشن
فوق روان کننده	نوع: Gelenium 110P یا انواع دیگر آن	رنگ: زرد روشن
آهک	دانه بندی: گذشته از الک #۳۰	حالت: خشک
پلی استایرن	چگالی: $123 kg/m^3$	دانه بندی: ریز ۱
پلی استایرن	چگالی: $45 kg/m^3$	دانه بندی: ریز ۲
پلی استایرن	چگالی: $25 kg/m^3$	دانه بندی: درشت
الیاف (پلی پروپیلن)	جذب آب: ۰	مقاومت کششی (300 MPa)
اکلیل نقره ای	حالت فیزیکی: پودر	رنگ: نقره ای
هوازا	حالت فیزیکی: مایع	رنگ: قهوه ای

۴- روش مورد استفاده برای طرح اختلاط

برای تعیین نسبت های اختلاط از دو روش کلی وزنی و حجمی می توان استفاده کرد. تفاوت این دو روش در بتن های سبک غیرسازه ای به دلیل چگالی بسیار پراکنده مواد و مصالح مصرفی بیشتر نمود پیدا می کند. روشی که در این تحقیق مورد بررسی قرار گرفته است روش حجمی مطلق می باشد. در این روش مقدار تمامی مواد و مصالح موجود در بتن را معلوم در نظر گرفته و تنها مجهول مقدار سنگدانه مصرفی می باشد.

به عنوان مثال عیار سیمان، عیار میکروسیلیس و مقدار آب مصرفی (بر اساس میزان آب به سیمان) را معلوم در نظر گرفته و حجم سنگدانه یا سنگدانه های مصرفی بدست می آید.

معادله روش حجمی مطلق به صورت زیر می باشد :

$$V_c + V_{\text{micro}} + V_w + V_{\text{agg}} + V_{\text{air}} = 1000 \text{ lit} \quad (۱)$$

که در این معادله V_c حجم سیمان، V_{micro} حجم میکروسیلیس، V_w حجم آب مصرفی، V_{agg} حجم سنگدانه های مصرفی و V_{air} برابر با حجم هوا می باشد که در آن به نکات زیر توجه می شود:

- ۱- در بتن های گازی دارای پرلیت میزان حجم هوا (V_{air}) را ۲۰٪ حجم کل و در بتن های دارای پلی استایرن این مقدار را برابر ۵٪ حجم کل میتوان در نظر گرفت.
- ۲- در صورتی که بیش از یک سنگدانه داشته باشیم نسبت حجمی بین سنگدانه ها را معلوم در نظر می گیریم. برای مثال در طرح هایی که پلی استایرن ریز و درشت موجود باشد این نسبت را ۵۰-۵۰ یا ۷۰-۳۰ می توان فرض کرد.
- ۳- موادی همچون پودر آلومینیم، فوق روان کننده و آهک که به مقدار کم در طرح ها استفاده می شود را می توان در معادله حجم مطلق وارد نکرد.

۵- طرح ساخت بتن

قبل از اختلاط با آزمایش های اولیه چگالی و جذب آب مواد و مصالح مصرفی همچون پرلیت و پلی استایرن و همچنین دانه بندی پرلیت اندازه گیری می شود. نمونه های بتن ساخته شده به دو دسته کلی بتن گازی و بتن دارای پلی استایرن تقسیم می گردد.

۵-۱- بتن گازی

در طرح این نوع بتن ها از سنگدانه پرلیت استفاده می شود. با توجه به اینکه پرلیت به شدت به ضربه حساس بوده و در صورت داشتن زمان اختلاط زیاد خرد شده و دانه بندی اش تغییر می کند در نتیجه حجم بتن ساخته شده کاهش یافته و چگالی پرلیت و عیار سیمان بالا می رود، به همین علت بهتر است از اختلاط بالای ۱۰ دقیقه خودداری شود. لازم به ذکر است در طرح اختلاط این دسته از بتن ها با توجه به اینکه پرلیت جذب آب نسبتا بالایی دارد باید آب جذب شده توسط پرلیت را محاسبه و به آب اختلاط اضافه کرد.

۵-۱-۱- طرح اختلاط

- ۱- کل پرلیت + ۱/۳ آب
- ۲- مخلوط سیمان و میکروسیلیس + ۱/۳ آب
- ۳- هم زدن با دست
- ۴- اضافه کردن نصف فوق روان کننده
- ۵- اضافه کردن پودر آلومینیم
- ۶- اضافه کردن ۱/۳ آب و نصف دیگر فوق روان کننده
- ۷- ۳۰ ثانیه دور متوسط
- ۸- ۳۰ ثانیه دور تند

می توان سیمان و میکروسیلیس خشک را قبل از اختلاط کاملا مخلوط کرد.

همچنین به دلیل بالابودن چگالی سیمان، ممکن است هنگام اختلاط به پایین میکسر نشست کند و برای همگن شدن ملات و سنگدانه، هم زدن با دست پیشنهاد می شود.

۵-۱-۲ روش تراکم

در تراکم این دسته از بتن ها بتن را در چند لایه (مثلا ۳ لایه) در قالب ریخته و برای هر لایه با استفاده از یک مکعب آن را با ضربه متراکم کرده و سطح را برای ریختن لایه بعد آماده می کنیم. پس از ریختن لایه آخر سطح بتن را با استفاده از ماله مسطح می کنیم.

۵-۲ بتن دارای پلی استایرن

در بتن های سبک غیرسازه ای می توان گفت اکثر مقاومت از ملات سیمانی حاصل می شود و سنگدانه ها یا به عبارتی بهتر پرکننده ها تاثیر بسزایی در کسب مقاومت ندارند [۴]. بنابراین برای سبک تر کردن بتن، از پلی استایرن به عنوان سنگدانه یا پرکننده که وزن مخصوص بسیار کمتری نسبت به پرلیت دارد می توان استفاده کرد.

در این نوع بتن ها الیاف (پلی پروپیلن) هم قابل استفاده است که باعث افزایش مقاومت و انسجام شکل ظاهری بتن می شود [۱]. یکی از تفاوت های این نوع بتن با بتن گازی مقدار عیار بیشتر میکروسیلیس است. به طور کلی میزان میکروسیلیس که وارد واکنش با قلیایی آزاد شده از سیمان می شود ۱۰ تا ۱۵ درصد وزن سیمان مصرفی است و بقیه آن به عنوان فیلر عمل می کند. با اضافه کردن آهک عبوری از الک #۳۰ میزان قلیایی مخلوط را می توان افزایش داد که این عمل باعث می شود بقیه میکروسیلیس هم تاثیر مقاومتی داشته باشد. دقت می شود که میزان بهینه آهک مصرفی حدود ۵ تا ۲۰ درصد وزنی میکروسیلیس می باشد.

اگر مقدار آب مخلوط را تنها آب هیدراتاسیون سیمان در نظر بگیریم، باتوجه به مقدار زیاد میکروسیلیس مخلوط بسیار خشک می شود بنابراین بر اساس تجربه و آزمایش های مختلف توصیه می شود مقداری بین ۲۰ تا ۳۵ درصد وزنی میکروسیلیس به آب اختلاط اضافه نمود.

۵-۲-۱ روش اختلاط

- ۱- ریختن کل پلی استایرن + کل الیاف (رشته شده)
 - ۲- ۱/۴ آب + ۱/۳ فوق روان کننده
 - ۳- اضافه کردن مخلوط سیمان و میکروسیلیس و آهک
 - ۴- ۱/۲ آب + ۱/۳ فوق روان کننده
 - ۵- هم زدن با دست
 - ۶- ۱/۴ آب + ۱/۳ فوق روان کننده
 - ۷- هم زدن با دست
 - ۸- میکس نهایی
- ۱۵ ثانیه دور کند - ۳۰ ثانیه دور متوسط
۳۰ ثانیه
۶۰ ثانیه دور کند
۹۰ ثانیه
۶۰ ثانیه دور کند - ۳۰ ثانیه دور متوسط
۶۰ ثانیه
۳۰ ثانیه دور متوسط - ۳۰ ثانیه دور تند

۵-۲-۲ روش تراکم

در تراکم این نوع از بتن ها، می توان در سه لایه قالب ها را پر کرد و هر لایه را با چند ضربه توسط مکعب تراکم متراکم کرده و در نهایت سطح بتن را با ماله مسطح کرد.

۶- طرح های اختلاط و نتایج آزمایش ها

۶-۱ بتن گازی

برخی از نتایج آزمایش های انجام شده بر روی نمونه های بتن های گازی به صورت جدول ۲ می باشد.

جدول ۲- نتایج نمونه های اختلاط بتن گازی

مقاومت (MPa)	چگالی (kg/m ³)	فوق روان کننده (kg)	پودر آلومینیم (kg)	آهک (kg)	میکروسیلیس (kg)	پرلیت (kg)	نسبت w/c	سیمان (kg)	آب (kg)	ردیف
3.5	550	3	0.9	0	0	349	0.44	300	340	۱
6.2	623	4.5	1.5	0	75	296	0.46	300	315	۲
3.5	598	3	0.9	0	70	349	0.3	300	295	۳
3.7	595	4.5	1.5	0	75	284	0.38	300	284	۴
4	630	3	0.9	0	70	349	0.2	300	270	۵

۶-۲ بتن دارای پلی استایرن

برخی از نتایج آزمایش های انجام گرفته بر روی این نوع بتن ها در جدول (۳) ارایه شده است.

جدول ۳- نتایج بتن دارای پلی استایرن

ردیف	آب (kg)	سیمان (kg)	نسبت w/c	پلی استایرن ریز (kg)	پلی پروپیلن (kg)	میکروسیلیس (kg)	آهک (kg)	فوق روان کننده (kg)	چگالی (kg/m ³)	مقاومت (MPa)
۱	132	200	0.3	95	3.12	200	11	4.7	460	2.8
۲	175	300	0.3	60	4.38	300	15	4.2	670	5
۳	186	300	0.3	42	3.12	300	15	4.7	645	4.5
۴	165	200	0.3	47	3.12	300	11	4.7	470	2.5
۵	169	200	0.3	92.5	4	300	47	4.7	550	4
۶	160	200	0.3	72.5	4.2	220	33	4.9	560	4.5
۸	155	300	0.3	72.5	4.2	150	9.7	2.9	535	3.2
۹	130	150	0.3	72.5	4.2	200	39	4.9	420	2
۱۰	122	250	0.3	37.6	2.32	200	24	4.9	460	2.7
۱۱	116	250	0.3	37.6	2.32	200	24	4.9	430	2.8
۱۲	132	250	0.3	37.6	3.12	200	24	4.9	442	2.7
۱۳	135	250	0.3	37.6	3.12	200	24	4.9	440	2.7
۱۴	138	260	0.3	37.8	3.12	180	24	4.9	435	2.6
۱۵	129	210	0.3	39	3.12	200	24	4.9	374	2

۷- نتیجه گیری

با توجه به نتایج آزمایش های صورت گرفته دیده می شود که بتن های گازی دارای چگالی بیشتری می باشند و دلیل آن هم وجود پرلیت است که چگالی بیشتری نسبت به پلی استایرن دارد.

همانطور که اشاره شد، سنگدانه های بتن سبک غیرسازه ای اثر مقاومتی زیادی را ایفا نمی کنند و بتن اکثر مقاومت خود را از ملات سیمانی می گیرد. بنابراین هرچه بیشتر سنگدانه مصرفی در بتن سبک شود بتن سبکتری خواهیم داشت.

از طرفی یکی از راه های مناسب در جهت افزایش مقاومت بتن سبک غیرسازه ای بهتر کردن نوع سیمان است. به عبارت دیگر هرچه بتوانیم از سیمان مرغوب تری استفاده کنیم می توانیم با مصرف عیار کمتر سیمان، چگالی کمتری داشته باشیم و در عین حال بتن با مقاومت قابل قبولی هم تولید کنیم. در جدول (۴) طرح مناسب برای ساخت بتن سبک غیرسازه ای توصیه می شود.

جدول ۴- طرح اختلاط نهایی

آب (kg)	سیمان (kg)	نسبت w/c	پلی استایرن ریز (kg)	پلی پروپیلن (kg)	میکروسیلیس (kg)	آهک (kg)	فوق روان کننده (kg)	چگالی (kg/m ³)	مقاومت (MPa)
116	250	0.3	37.6	2.32	200	24	4.9	440	2.8

۸- مراجع

- [۱] رمضانپور علی اکبر؛ شاه نظری محمدرضا، **تکنولوژی بتن**، انتشارات پرهام.
- [۲] خالو علیرضا؛ ایراجیان محمود، **طراحی و کنترل مخلوط های بتن**، موسسه انتشارات علمی دانشگاه صنعتی شریف.
- [3] Neville, A. M., Fourth Edition, (1975), **Properties of Concrete**, Longman House, Burnt Mill, Harlow, Essex CM20, 2JE, England
- [۴] پاره کار؛ سروری؛ جمالی؛ شاکری، ارزیابی اقتصادی بتن سبک سازه ای در تیرهای بتن مسلح، **سومین همایش ملی مقاوم سازی و مدیریت شهری**.