جایگاه بتن سبک سازه‌ای در ایران و جهان–ضوابط آیین‌نامه‌ای و کاربرد

محمود یزدانی[1*]، علیرضا اردکانی[2]، جواد هدایتی[2]
۱- استادیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس
۲-دانشجو دکتری مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس
mahyaz@gmail.com

چکیده

استفاده از بتن سبک بصورت صنعتی، از اوایل قرن بیستم در دنیا آغاز شده است ولی متاسفانه کاربرد عملی آن در کشورمان، علیرغم مزایای فراوان هنوز گسترش نیافته و نیاز به فرهنگ سازی مناسب دارد. در این مقاله ضمن معرفی بتن سبک سازه‌ای، به بررسی ضوابط آیین‌نامه‌ای مربوط به طراحی سازه توسط بتن سبک سازه‌ای پرداخته خواهد شد. سپس اولین ساختمان بتن مسلح کشور که با فن‌آوری بتن سازه‌ای سبک، که به سرپرستی مولفین ساخته شده، معرفی می‌شود. با توجه به تجربه کم استفاده از این مصالح در اجزای سازه‌ای و مطرح نشدن برخی از مسائل در آیین‌نامه‌های ملی، لازم است آیین‌نامه‌های معتبر سایر کشورها علاوه بر مقررات ملی ساختمان در استفاده از بتن سبک سازه‌ای مد نظر قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: سبک سازی، بتن سبک سازه‌ای، ضوابط طراحی، مقررات ملی ساختمان.

۱- مقدمه

یکی از مصالحی که بصورت سازه‌ای و یا غیر سازه‌ای در ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرد، بتن است. در ساختمانهای بتن مسلح از بتن در اجزاء سقف، تیر، ستون و دیوارهای برشی استفاده می‌شود که این اجزا نقش سازه‌ای دارند و در ساختمانهای فلزی عمدتاً در سقفهای کامپوزیت می‌باشد. استفاده غیر سازه‌ای از بتن نیز معمولاً در دیوارهای صفحه سه بعدی (3D Panel) می‌باشد که با بتن شاتکریت پوشیده شده و بعنوان جداکننده هم در ساختمان‌های فلزی و هم ساختمانهای بتنی بکار برده می‌شود.

علیرغم فواید عمده‌ای که بتن دارد، دو عیب عمده در آن بصورت ذاتی وجود دارد که یکی مقاومت کششی پایین آن و دیگری وزن مخصوص نسبتاً زیاد آن می‌باشد. مقاومت کششی پایین بتن را می‌توان با استفاده از میلگردهای فولادی مسلح کننده جبران نمود. از طرفی وزن مخصوص نسبتاً زیاد بتن (در حدود ۲۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب برای بتن غیرمسلح) در ساختمانهای بتن مسلح باعث می‌شود که وزن اسکلت بتنی ساختمان افزایش یافته و در نتیجه با

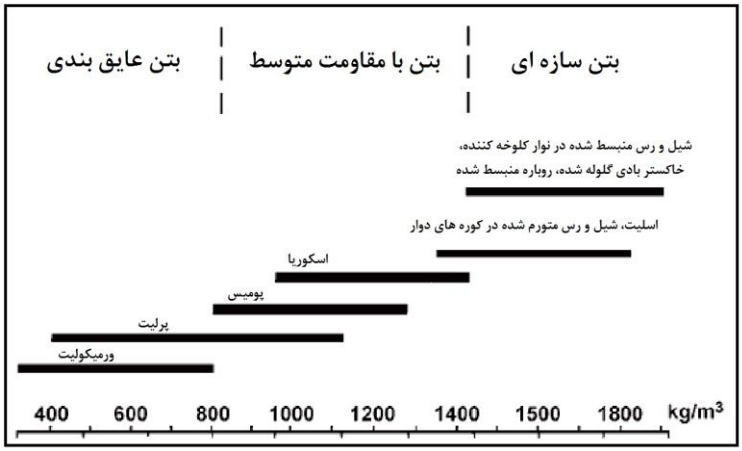
بالارفتن وزن مرده ساختمان نیروهای ثقلی و نیروی زلزله وارد بر آن نیز افزایش یابد. این امر نهایتاً استفاده از المانهایی با ابعاد بزرگ را ایجاب کرده که خود حجم بیشتری از بتن به همراه میلگردهای بیشتری را می‌طلبد. افزایش ابعاد المان‌های سازه‌ای چون تیرها و ستون‌ها یکی از معایب مهم ساختمان‌های بتن مسلح است که مشکلات معماری و کاهش زیربنای مفید را ایجاد می‌نماید.

بطور کلی دو روش متفاوت برای رفع این مسئله وجود دارد. روش اول مبتنی بر افزایش مقاومت بتن می‌باشد تا بدین وسیله بتوان ابعاد المان‌ها و در نتیجه حجم بتن و وزن میلگرد را کاهش داد. روش دوم بر پایه کاهش وزن مخصوص بتن (استفاده از بتن سبک) است. بتن سبک با توجه به ویژگی‌های خاصی که دارد، دارای کاربردهای مختلف می باشد و طبق کدهای ساختمانی ضوابط خاصی برای استفاده آن وجود دارد. همچنین در مبحث پنجم مقررات ملی ساختمان بیان شده است که، «با توجه به زلزله خیز بودن کشور ایران و به منظور سبک‌سازی و کاهش جرم ساختمان، توصیه می‌شود مصالحی مقاوم و سبک با دارا بودن حداکثر نسبت مقاومت به وزن انتخاب و بکار برده شود، تا علاوه بر ایمنی بیشتر اثر نیروهای زلزله بر ساختمان کاهش یابد[۱]». استفاده از بتن سبک بصورت صنعتی، از اوایل قرن بیستم در دنیا آغاز شده است ولی متاسفانه کاربرد عملی آن در کشورمان علیرغم مزایای فراوان هنوز گسترش نیافته و از این نظر در کشور ما جز تکنولوژی‌های نوین محسوب می‌شود.

۲- انواع بتن سبک

بتن‌های سبک از دیدگاه مقاومتی در سه دسته طبقه‌بندی می‌شوند که عبارتند از بتن سبک غیرسازه‌ای، بتن سبک سازه‌ای و بتن سبک با مقاومت متوسط. بتن سبک غیرسازه‌ای که معمولاً به عنوان عایق و جداسازهای سبک مورد استفاده قرار می‌گیرد، دارای جرم مخصوص کمتر از ۸۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب است. با وجود جرم مخصوص کم، مقاومت فشاری آن حدود ۰/۳۵ تا ۷ مگاپاسکال می‌باشد[۲].

بتن‌های سبک سازه‌ای دارای مقاومت و وزن مخصوص کافی می‌باشند، به گونه‌ای که می توان 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 میلیمتر مربع (مگاپاسکال) می‌باشد. در بعضی حالات امکان افزایش مقاومت تا ۶۰ نیوتن بر میلیمتر مربع نیز وجود دارد[۲]. در مناطق زلزله خیز، آیین‌نامه‌ها حداقل مقاومت فشاری بتن را به ۲۰ مگاپاسکال محدود می‌کنند. همچنین با توجه به مبحث نهم مقررات ملی ساختمان کشورمان، مقاومت بتن در اجزای مقاوم در برابر زلزله برای سازه‌های با شکل‌پذیری زیاد نباید کمتر از ۲۵ مگاپاسکال و برای سازه‌های با شکل‌پذیری متوسط کمتر از ۲۰ مگاپاسکال باشد[۳]. بتن‌های سبک با مقاومت متوسط، از لحاظ وزن مخصوص و مقاومت فشاری در محدوده‌ای بین بتن‌های سبک غیرسازه‌ای و سازه‌ای قراردارند، به گونه‌ای که مقاومت فشاری آنها بین ۷ تا ۱۷ مگاپاسکال و جرم مخصوص آن‌ها بین ۸۰۰ تا ۱۴۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب می‌باشد[۲]. در شکل ۱، حدود چگالی بتن‌های سبک، با استفاده از سبک‌دانه‌های مختلف نمایش داده شده است.



شکل (۱): حدود چگالی بتن‌های سبک‌دانه با استفاده از سبک‌دانه‌های مختلف [۴]

۳- تاریخچه بتن سبک در کشورهای پیشرفته و مزایای استفاده از آن

تولید و کاربرد بتن‌های سبک بصورت صنعتی، از قرن بیستم در دنیا آغاز شد و عمده کاربرد آن در دنیا در صنعت ساختمان می‌باشد. ساختمان هتل پارک پلازا در سنت لوئیز ، ساختمان ۱۴ طبقه اداره تلفن بل جنوب غربی در کانزاس سیتی در سال ۱۹۲۹ از جمله ساختمان‌های دهه ۲۰ و ۳۰ میلادی ساخته شده در امریکای شمالی با استفاده از بتن سبک هستند. در سال‌های ۵۰ و ۶۰ میلادی ساختمان‌ها و پل‌های زیادی با بتن سبک در دنیا ساخته شد. در این مدت بیش از ۱۵۰ پل و ساختمان در ایالات متحده و کانادا با این نوع بتن، مورد بهره‌برداری قرار گرفت. 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 ۴۲ طبقه در شیکاگو ، ترمینال TWA در فرودگاه نیویورک در سال ۱۹۶۰، فرودگاه دالز در واشنگتن در سال ۱۹۶۲، کلیسایی در نروژ در سال ۱۹۶۵، پلی در وایسبادن آلمان در سال ۱۹۶۶ و پل آب‌بر در روتردام هلند در سال ۱۹۶۸ از جمله ساختمانهایی هستند که با بتن سبکدانه ساخته شده‌اند. در هلند، انگلستان، ایتالیا و اسکاتلند نیز در دهه‌های ۷۰ و ۸۰ پل هایی با دهانه‌های مختلف ساخته و با موفقیت بهره‌برداری شدند[۷،۶].

در سال ۱۹۷۰ نیز ساخت بتن سبکدانه پر مقاومت آغاز شد. بلندترین ساختمان ساخته شده از بتن سبک، برج ۵۲ طبقه وانشل[1] در هوستون می‌باشد که در ۱۹۷۱ ساخته شده است. 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 دکل‌های استخراج نفت کاربرد فراوانی یافته است[۶،۷،۸،۹].

استفاده از بتن سبک می‌تواند مزایای متعددی داشت که عبارتند از:

- کاهش بار مرده، و نیروهای لرزه‌ای وارد بر سازه که به طور مستقیم با آن در ارتباط است.
- کاهش بار وارد بر روی فونداسیون، موجب کوچکتر شدن ابعاد آن یا کمتر شدن تعداد و کوچکتر شدن شمع‌ها و کاهش مقدار آرماتورهای و به طبع آن اجرای سریع تر و آسان‌تر فونداسیون می گردد.
- کاهش بار مرده سبب کوچک‌تر شدن اعضا نگهدار و سهولت بیشتری در قالب بندی می‌شود.
- در مقایسه با بتن‌های معمول، دارای مقاومت مطلوبتری در برابر آتش‌سوزی می‌باشد.
- حمل و نقل قطعات پیش ساخته و مصالح مصرفی با بتن سبک بسیار راحت‌تر بوده و هزینه کمتری در بر دارد.

۴- بتن سبک سازه‌ای در ایران

در کشور ما اگرچه بسترهای مناسبی برای استفاده از مصالح و شیوه‌های سبک‌سازی وجود داشته و مبحث پنجم مقررات ملی ساختمانی ایران نیز بر آن تاکید دارد، لیکن کاربرد عملی آن علیرغم مزایای فراوان هنوز گسترش نیافته و نیاز به فرهنگ سازی مناسب دارد. در این راستا، فعالیت‌های پژوهشی پراکنده‌ای در دانشگاههای مختلف کشور شروع گردید که بیشتر در حد برگزاری مسابقه‌های ساخت بتن سبک باقی است.

با این حال بدلیل فواید بسیار بتن‌های سبک و لزوم دستیابی به ساخت بتن سبک نسبتاً ارزان و با مصالح بومی قابل دسترس جهت کاربردی کردن اجرای آن، تحقیقات ویژه‌ای در بخش عمران دانشگاه تربیت مدرس از ابتدای سال ۱۳۸۵ آغاز گردید. در این طرح پژوهشی با شناسایی اکثر پوکه‌های صنعتی و معدنی قابل استفاده کشور و با ساخت بتن‌های سبک در رده‌های وزنی و مقاومتی مختلف تلاش گردید تا ساخت بتن سبک در شرایط کارگاهی و با مصالح با قابلیت دسترسی آسان و ارزان میسر گردد. نهایتاً پس از کسب نتایج رضایت بخش از میزان وزن مخصوص، مقاومت و قیمت مناسب بتن‌های ساخته شده، برای اولین بار در کشور طرح کاربرد بتن سبک سازه‌ای با استفاده از سبکدانه لیکا، در ساخت دو بنای مسکونی در سال ۱۳۸۷ به سرپرستی مولفین مقاله، در شهر تهران به اجرا درآمد. این ساختمان‌ها

---

1 –One Shell Plaza Building

هر دو با اسکلت بتن مسلح در ۶ طبقه و بترتیب با مساحت‌های زیربنای ۱۰۰۰ و ۲۱۰۰ مترمربع اجرا گردیدند.

الف- ساختمان بتن سبک با زیربنای ۱۰۰۰ متر مربع

ب- ساختمان بتن سبک با زیربنای ۲۱۰۰ متر مربع

شکل (۲): اولین ساختمان‌های بتن مسلح با استفاده از بتن سبک سازه‌ای در ایران

۵- ضوابط طراحی سازه با بتن سبک

ضوابط مختلفی در مورد مصالح مورد استفاده در بتن سبک در آیین نامه‌ها ارائه شده است. برخی از این ضوابط مربوط به استاندارد مصالح و برخی دیگر مربوط به طراحی برشی و ضوابط مهار و وصله آرماتورها می‌باشد. در فصل سوم، مبحث نهم مقررات ملی ساختمان بیان شده که ویژگی‌های سنگ‌دانه‌های سبک مصرفی در بتن سازه‌ای باید مطابق با استاندارد ملی ایران به شماره ۴۹۸۵ باشد. در بتن سازه‌ای، برای دستیابی به مقاومت مورد نیاز می‌توان بخشی از سنگدانه سبک را با ماسه طبیعی جایگزین نمود[۳،۵،۱۰]. همچنین بیان شده که ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی الزامی نمونه‌های بتن سازه‌ای با سنگ‌دانه‌های سبک، مطابق با جدول ۱ باشد[۳،۱۰].

همچنین در فصل هجدهم (مهار و وصله آرماتورها) مبحث نهم مقررات ملی، طول گیرایی لازم برای میلگردهای کششی و میلگردهای قلابدار در کشش، در بتن سبک ۱/۳ برابر طول گیرایی آنها در بتن معمولی بیان شده است.

در مبحث نهم مقررات ملی ساختمان، مقدار ضریب ارتجاعی تنها برحسب مقاومت فشاری بتن، برای بتن‌های معمولی با وزن مخصوص ۲۳۰۰ الی ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب ارائه شده است. حال آنکه در آیین نامه ACI، که استفاده از آن به همراه مقررات ملی ایران در کشور رایج است، میزان مدول ارتجاعی بر اساس وزن مخصوص و مقاومت فشاری ارائه شده است. طبق رابطه ارائه شده در این آیین‌نامه برای بتن‌های دارای وزن مخصوص در محدوده ۱۵۰۰ الی ۲۵۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب از رابطه ذیل برای محاسبه مدول ارتجاعی استفاده می‌شود. در رابطه ذیل W_c وزن مخصوص بتن بر حسب کیلوگرم بر مترمکعب و f'_C و E_C به ترتیب مقاومت فشاری و مدول ارتجاعی بر حسب مگاپاسکال است.

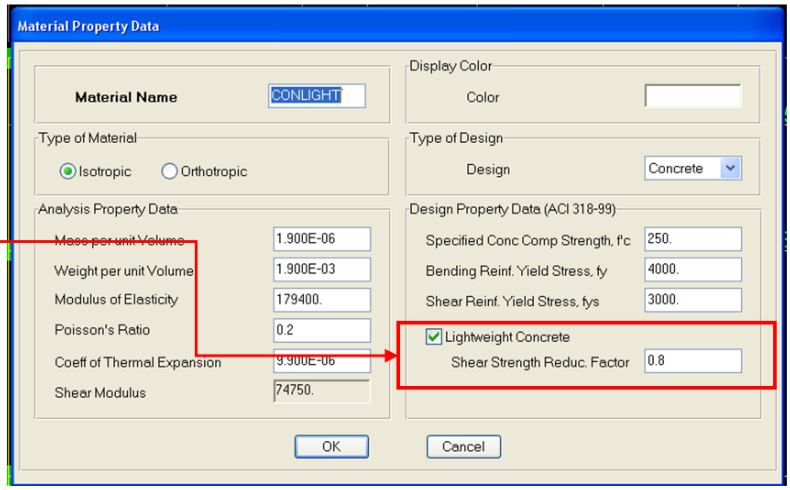
$$E_C = 0.043 \times W_C^{1.5} \times \sqrt{f'_C} \qquad (۱)$$

جدول (۱): ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی الزامی نمونه‌های بتن سازه‌ای با سنگ‌دانه‌های سبک[۳،۹]

ردیف	نوع بتن حداکثر مقدار میانگین وزن مخصوص سه آزمونه بتنی ۲۸ روزه خشک شده در هوا (N/m^3)	حداقل مقدار میانگین مقاومت فشاری سه آزمونه بتنی ۲۸ روزه (MPa)	حداقل مقدار میانگین مقاومت کششی، در آزمایش دو نیم شدن، در هشت آزمونه بتنی ۲۸ روزه (MPa)
۱	تمامی سنگدانه‌ها سبک هستند. ۱۷۶۰۰	۲۸	۲/۲
۲	تمامی سنگدانه‌ها سبک هستند. ۱۶۸۰۰	۲۱	۲/۱
۳	تمامی سنگدانه‌ها سبک هستند. ۱۶۰۰۰	۱۷	۲/۰
٤	سنگدانه‌ها، شامل سنگدانه‌های سبک و ماسه هستند. ۱۸٤۰۰	۲۸	۲/۳
٥	سنگدانه‌ها، شامل سنگدانه‌های سبک و ماسه هستند. ۱۷۶۰۰	۲۱	۲/۱
٦	سنگدانه‌ها، شامل سنگدانه‌های سبک و ماسه هستند. ۱۶۸۰۰	۱۷	۲/۱

همچنین در آیین‌نامه ACI، در قسمت طراحی برشی ضابطه خاصی برای بتن سبک وجود دارد. به طوری در این آیین‌نامه بیان شده در روابط مربوط به محاسبه V_c (مقاومت برشی اسمی تامین شده توسط بتن) به جای $\sqrt{f'_c}$ مقدار $0.15f_{ct}$ جایگزین شود (f_{ct} مقاومت کششی بتن در آزمایش شکافت است). همچنین بیان شده که در صورتی که f_{ct} معلوم نباشد، می‌توان V_c را از همان روابط معمول محاسبه کرد و در ضریب λ ضرب نمود. به طوریکه ضریب λ برای بتن سبک با ماسه معمولی برابر ۰/۸۵ و برای بتن با کلیه اجزا سبک برابر ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود[۵]. با توجه به رایج بودن استفاده بتن سبک سازه‌ای در جهان، امکان تعریف این ضریب در بسیاری از نرم‌افزارهای طراحی سازه فراهم شده است. بطوریکه این امکان در نرم‌افزار ETABS، که رایج‌ترین نرم‌افزار طراحی ساختمان در کشور می‌باشد، پیش‌بینی شده است. مطابق شکل ۳، می‌توان در ناحیه تعریف مشخصات مصالح بتنی، این ضریب را تعریف نمود.

ضریب کاهش مقاومت برشی λ:
۰/۷۵الی ۰/۸۵



شکل (۳): در نظر گرفتن کاهش مقاومت برشی در نرم افزار ETABS [۱۱]

جالب اینکه علیرغم مطرح نشدن ضریب کاهش مقاومت برشی در مبحث نهم مقررات ملی، در مبحث دهم مقررات ملی ساختمان (طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی) این ضریب کاهشی برای نیروی برشی مجاز برشگیرهای سقف کامپوزیت در نظر گرفته شده است. این ضریب بر اساس وزن مخصوص و مقاومت فشاری، برای مقاومت برشی مطابق جدول ۲، در نظر گرفته شده است.

جدول (۲) - ضرایب کاهش مقاومت برشی مجاز برشگیرهای سقف کامپوزیت[۱۲]

مقاومت فشاری بتن (N/mm^2)	وزن مخصوص بتن خشک شده در هوا (kg/m^3)						
	۱۴۴۰	۱۵۲۰	۱۶۰۰	۱۶۸۰	۱۷۶۰	۱۸۴۰	۱۹۲۰
$f_c \geq$ ۳۰	۰/۷۳	۰/۷۶	۰/۷۸	۰/۸۱	۰/۸۳	۰/۸۶	۰/۸۸
$f_c \leq$ ۳۵	۰/۸۲	۰/۸۵	۰/۸۷	۰/۹۱	۰/۹۳	۰/۹۶	۰/۹۹

مطابق آیین نامه ACI و مبحث نهم مقررات ملی ساختمان برای ساختمان‌های متعارف و تحت بارگذاری‌های معمول در تیرها و دال‌های یکطرفه‌ای که ارتفاع یا ضخامت آنها از مقادیر مندرج در جدول ۳ بیشتر است، محاسبه تغییرشکل الزامی نیست. در آیین‌نامه ACI بیان شده که در صورت استفاده از بتن سبک لازم است مقادیر جدول ۳ در ضریب 1.65-0.005W ضرب شود. در این رابطه W وزن مخصوص بتن بر حسب پوند بر فوت مکعب می‌باشد. همچنین حداقل میزان ضریب اصلاحی به ۱/۰۹ محدود شده است.

جدول (۳): حداقل ارتفاع تیر یا ضخامت دال یکطرفه در صورتیکه محاسبات خیز انجام نشود[۳،۵]

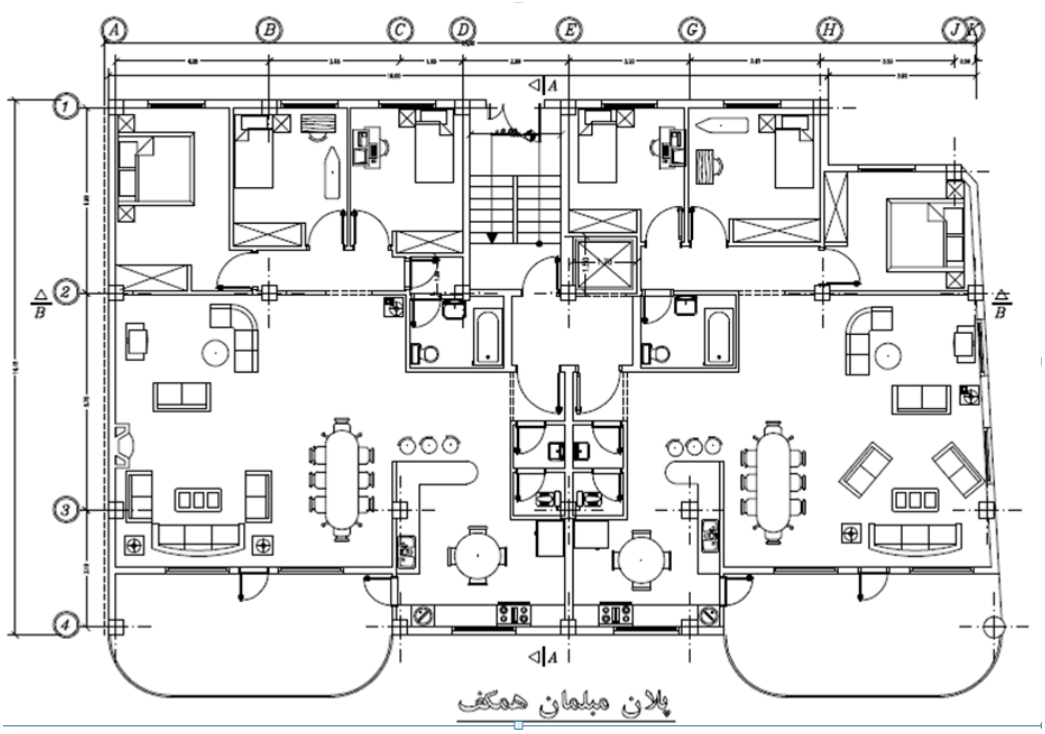
عضو	با تکیه‌گاه‌های ساده	با تکیه‌گاه‌های پیوسته از یک طرف	با تکیه‌گاه‌های پیوسته از دو طرف	کنسول
تیرها یا دال‌های یکطرفه پشت‌بنددار	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$
دال‌های دو طرفه توپر یا سقف‌های تیرچه بلوک	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$

در آیین‌نامه ACI محدودیتی در زمینه استفاده بتن سبک در سیستم‌های باربر جانبی(قاب خمشی و دیوار برشی)

وجود ندارد الی اینکه سیستم‌های ویژه مقاومت فشاری بتن سبک به ۳۵ مگاپاسکال محدود شده است. همچنین در هنگام استفاده از بتن سبک در چشمه اتصال تیر به ستون ابعاد ستون نباید از ۲۶ برابر قطر بزرگترین آرماتور عبوری از چشمه اتصال کمتر باشد.
در ایالات متحده حداقل ضخامت دال بتنی برای مقاومت دو ساعته ساختمان در برابر آتش‌سوزی برابر ۴/۵ الی ۵ اینچ (۱۱۴/۳ الی ۱۲۷ میلیمتر) برای بتن معمولی تعیین شده است در حالیکه برای بتن سبک این حداقل ضخامت برابر ۴ اینچ (۱۰۱/۶ میلیمتر) بیان شده است[۹،۱۳].

۶- مشخصات اولین ساختمان بتن سبک مسلح در کشور

اولین سازه ساخته شده در کشور، که بتن سبک در المان‌های سازه‌ای آن مورد استفاده قرار گرفت، در منطقه ۳ شهرداری تهران واقع شده است. این ساختمان از نوع مسکونی و دارای ۶ طبقه است و مقدار زیربنای آن در حدود ۲۱۰۰ مترمربع می‌باشد. در شکل ۴ پلان ساختمان مورد نظر نمایش داده شده است. همچنین مشخصات مصالح مورد استفاده در این سازه مطابق جدول ۴ می‌باشد. سیستم باربر جانبی سازه در دو جهت به صورت قاب خمشی با شکل‌پذیری متوسط در نظر گرفته شده است و کلیه ضوابط بارگذاری مطابق با مبحث ششم مقررات ملی ساختمان و آیین نامه ۲۸۰۰ می‌باشد. تحلیل بار جانبی به صورت استاتیکی معادل می‌باشد. همچنین سیستم سقف‌ها از نوع تیرچه بلوک می‌باشد.



شکل (۴): پلان اولین ساختمان بتن مسلح با استفاده از بتن سازه‌ای سبک در ایران

به منظور سبک‌سازی این سازه دو راهکار مدنظر قرار گرفته شد. بطوریکه اولاً سقف‌ها و تیرها از بتن سبک‌دانه ساخته شده از لیکا استفاده شده است و ثانیاً با استفاده از ملات، نازک کاری و کف‌سازی سبک از بار مرده کاسته شد.

جدول(۴): ویژگی‌های مشخصات مصالح مورد استفاده

وزن واحد حجم بتن مسلح تیرها و سقف‌ها	۱۸۰۰ kg/m^3
وزن واحد حجم بتن مسلح ستون‌ها	۲۵۰۰ kg/m^3
مدول ارتجاعی بتن ستون‌ها	۲/۳۸×۱۰^۵ kg/cm^2
مدول ارتجاعی بتن سقف‌ها و تیرها	۱/۷۹×۱۰^۵ kg/cm^2
ضریب پواسون کلیه بتن‌ها	۰/۲
وزن واحد شاتکریت مورد استفاده در 3D panel	۱۵۰۰ kg/m^3
وزن واحد حجم ملات کف سازی	۱۲۰۰ kg/m^3
مقاومت فشاری کلیه بتن‌ها ($f_c^{'}$)	۲۵۰ kg/cm^2
تنش تسلیم آرماتورهای طولی	٤۰۰۰ kg/cm^2
تنش تسلیم آرماتورهای برشی	۳۰۰۰ kg/cm^2

۷- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

استفاده از شیوه‌های مختلف سبکسازی، که در آن سعی می‌شود برای اجزاء غیر سازه‌ای از مصالح سبک و برای اجزاء سازه‌ای مثل سقف، دیوار باربر، تیر و ستون نیز تا حد امکان از مصالح سبک و در عین حال مقاوم استفاده گردد، می‌تواند نقش موثری در ایمنی و صرفه‌جویی اقتصادی داشته باشد. علیرغم استفاده گسترده بتن سبک در سطح جهان، استفاده از بتن سبک در کشور ما نیاز به فرهنگ سازی مناسب دارد.

همانطور که بیان شد در آیین‌نامه ACI، ضوابطی برای طراحی سازه توسط بتن سبک درنظر گرفته شده است، که در مبحث نهم مقررات ملی بیان نشده است. در نتیجه از نقطه نظر فنی مهم است که با توجه به تجربه کم استفاده از این مصالح در اجزای سازه‌ای و مطرح نشدن برخی از مسائل در آیین‌نامه‌های ملی، آیین‌نامه‌های معتبر سایر کشورها علاوه بر مقررات ملی ساختمان در استفاده از بتن سبک سازه‌ای مد نظر قرار گیرد.

۸- مراجع

۱. مقررات ملی ساختمان؛ مبحث پنجم: مصالح و فرآورده‌های ساختمانی؛ ۱۳۸۲.

۲. **"دستنامهٔ اجرای بتن"**؛ تالیف جوزف جی وادل، جوزف ای دوبرووولسکی؛ ترجمه علی‌اکبر رمضانیانپور، شاپور طاحونی، منصور پیدایش؛ انتشارات علم و ادب؛ ۱۳۸۰.

۳. مقررات ملی ساختمان؛ مبحث نهم: طرح و اجرای ساختمان‌های بتن آرمه؛ ۱۳۸۸.

4. Dolby, P.G., (1995), "**Production and Properties of Lytag™ Aggregate Fully Utilized for the North Sea**", Proc. Int. Symp. Structural Lightweight Aggregate Concrete, Sandefjörd, Norway,1995.

5. Buildig Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318R-08).

۶. "بتن سبکدانه**"؛ تالیف سانتیش چاندرا، لیف برنتسون؛ ترجمه محمد شکرچی‌زاده، آرزو امدادی، نیکلاس‌علی لیبر؛ موسسه انتشارات و چاپ دانشگاه تهران؛ ۱۳۸۷.**

7. Clarke, John L., 1993; "Structural Lightweight Aggregate Concrete**"; Taylor & Francis Routledge.**

8. Colaco, Josef.P., 2004; "**One Shell Plaza, Houston**"; Pract. Periodical on Struct. Des. And Constr. Volume 9, Issue 2, pp. 79-82.

9. Taranath, B, S., 2010, "Reinforced concrete design of tall building", Taylor & Francis

Group, New York.
10. American Society For Testing And Materials, ASTM, **"**Standard Specification for Lightweight Aggregates for Structural Concrete", 1999.
11. ETABS Integrated Building Design Software, 2005, Computers and Structures Inc., Berkeley, California.

۱۲. مقررات ملی ساختمان؛ مبحث دهم: طرح و اجرای ساختمان‌های فولادی؛ ۱۳۸۷.

13. Wolfe, H, W., 2008; "**Designing With Lightweight Concrete**"; Structure Magazine, April 2008.