



دانشگاه تهران

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



# اولین کنفرانس ملی بتن سبک

## ارزیابی اقتصادی ناشی از کاهش وزن واحجام سازه ها با استفاده از بتن سبک در ساختمان

دکتر اقبال شاکری<sup>۱</sup>، فرناز بهمن زاده<sup>۱</sup>، آرش ذوالفقارنسب<sup>\*۱</sup>

<sup>۱</sup> دانشگاه صنعتی امیر کبیر، دانشکده عمران و محیط زیست، تهران

### چکیده

بتن سبک به دلیل چگالی کمتر نسبت به بتن معمولی، موجب کاهش بار مرده ساختمان، کوچکتر شدن ابعادسازه و فونداسیون و همچنین کاهش اتلافات حرارتی ساختمان می شود. استفاده از این مصالح در کشور ما که در منطقه ای زلزله خیز قرار گرفته و سرانه مصرف انرژی آن بیش از متوسط جهانی می باشد، مزیتی مهم به شمار می آید. در این تحقیق مقایسه اقتصادی تیر و ستون بتن مسلح ساخته شده از بتن سبک نسبت به بتن معمولی صورت می گیرد. آزمایشات روی ۲۰ طرح اختلاط بتن سبک سازه ای و ۱۰ طرح اختلاط بتن سبک غیر سازه ای انجام شده است. نمونه یک تیر و ستون بتن مسلح با دو طرح اختلاط بتن سبک سازه ای (با در نظر گرفتن بتن سبک غیر سازه ای به عنوان دیوارهای جدا کننده) طراحی شده و نتایج آن با طراحی با بکارگیری بتن معمولی مقایسه شده است. نتایج نشان داد در صورت استفاده از بتن سبک علاوه بر نیروی زلزله کمتر، کاهش چشمگیری در میزان فولاد مقاطع بتن آرمه پدید خواهد آمد که شرایط اقتصادی اجرای این سازه هرا بهبود می بخشد.

**کلمات کلیدی:** بتن سبک سازه ای، بتن سبک غیر سازه ای، طرح اختلاط، مقاومت فشاری، چگالی، بتن مسلح، شرایط اقتصادی

### ۱-مقدمه

نیاز گسترده و روز افزون جامعه به ساختمان و مسکن، باعث نیل به سمت افزایش سرعت ساخت، سبک سازی، افزایش عمر مفید و نیز مقاوم نمودن ساختمان در برابر زلزله شده است. برای تامین نیازهای فوق استفاده از بتن سبک می تواند گزینه موثری باشد. طبق تعریف ارائه شده در استاندارد ASTM C330-82a بتن سبک به بتنی اطلاق می شود که مقاومت ۲۸ روزه نمونه استوانه ای آن بیش از ۱۷ مگا پاسکال باشد و همچنین وزن مخصوص آن از ۱۸۴۰ کیلوگرم بر متر مکعب تجاوز نکند. چگالی بتن معمولی ساخته شده توسط سنگدانه های طبیعی سخت در عمل در حدود ۲۲۰۰ تا ۲۶۰۰ کیلو گرم بر متر مکعب است که در صورت استفاده از بتن سبک (به دلیل چگالی کمتر) بار مرده کمتری بر سازه اعمال می شود. کم بودن چگالی بتن سبک نسبت به بتن معمولی، موجب کاهش وزن سازه می گردد که این مزیت به نوبه خود باعث کاهش

\*آرش ذوالفقارنسب، شماره تماس: ۰۹۱۲۸۰۲۶۳۸۴، ایمیل arash.zolfagharnasab@gmail.com

حجم فونداسیون، کاهش میزان آرماتور تا ۱۴٪ [۲]، کاهش فشار وارد بر قالب‌ها، افزایش سرعت ساخت، صرفه جویی در هزینه حمل، امکان استفاده از قطعات پیش ساخته بزرگتر و افزایش خاصیت عایق حرارتی و صوتی می‌شود. لازم به ذکر است بتن سبک مقاومت بیشتری در برابر آتش از خود نشان می‌دهد [۲،۱].

در این تحقیق برای مقایسه بتن سبک و بتن معمولی، مقاومت فشاری ۲۸ روزه و قیمت تمام شده ساخت یک متر مکعب بتن سبک و معمولی و همچنین میزان آرماتور به کار رفته در تیر و ستون بررسی شده‌اند.

## ۲- مواد و مصالح طرح اختلاط

در بررسی مواد و مصالح مصرفی، طرح اختلاط و روش‌های انجام آزمایشات از مصالح جدول (۱) و برای ساخت بتن سبک غیر سازه ای مصالح و مواد مندرج در جدول (۲) استفاده شده است.

جدول (۱): مواد و مصالح مصرفی در ساخت بتن سبک سازه ای

نام مصالح	چگالی (Kg/m <sup>3</sup> )	جذب آب	قیمت مصالح
لیکای سازه ای درشت	۱۲۸۰	٪۸.۲	هر متر مکعب ۴۷۰۰۰۰ ریال
لیکای سازه ای ریز	۱۵۰۰	٪۸.۶	
ماسه متوساک	۲۵۶۰	٪۲.۸	هر تن ۸۰۰۰۰ ریال
پودر سنگ آهک	۲۷۰۰	-	هر کیلو ۱۳۰۰ ریال
سیمان تیپ ۲ تهران	۳۱۵۰	-	هر تن ۶۵۸۳۲۰ ریال
میکرو سیلیس	۲۲۰۰	-	هر کیلو ۵۵۰۰ ریال
زئولیت	۱۹۰۰	-	هر کیلو ۱۰۰۰ ریال
فوق روان کننده	-	-	هر کیلو ۲۸۵۰ ریال

منظور از لیکای درشت لیکای عبوری از الک ۸/۳ اینچ و مانده بر روی الک ۴ بوده و منظور از لیکای ریز لیکای عبوری از الک ۴ و مانده بر روی الک ۱۶ است. همچنین ماسه نیز عبوری از الک ۴ می‌باشد.

جدول (۲): مواد و مصالح مصرفی در ساخت بتن سبک غیر سازه ای

نام مصالح	چگالی (Kg/m <sup>3</sup> )	قیمت مصالح
گرانول پلی استایرن ریز	۴۱.۶۹	هر کیلو ۵۰۰۰۰ ریال
گرانول پلی استایرن درشت	۲۳.۷۲	هر کیلو ۵۰۰۰۰ ریال
ماده خام پلی استایرن	۷۵	هر کیلو ۵۰۰۰۰ ریال
الیاف پلی پروپیلن	۹۱۰	هر کیلو ۱۰۰۰۰۰ ریال
سیمان تیپ ۱ - ۴۲۵	۳۱۴۰	هر تن ۶۶۸۷۲۰ ریال
میکرو سیلیس	۲۲۰۰	هر کیلو ۵۵۰۰ ریال
آهک	۲۵۸۰	هر کیلو ۱۳۰۰ ریال
فوق روان کننده	-	هر کیلو ۲۸۵۰ ریال
حباب هواساز	-	هر کیلو ۵۷۰۰ ریال

## ۳- طرح اختلاط و انجام آزمایشات

از آنجایی که کاهش وزن بتن عمدتاً به جهت وجود منافذ دانه های مصالح سنگی به وجود می‌آید، لذا هر قدر اندازه دانه‌ها کوچکتر شود بر چگالی آن افزوده خواهد گردید. بنابراین تهیه یک دانه بندی وزنی همان گونه که در مصالح سنگی معمولی وجود دارد، در اینجا صحیح نخواهد بود. به عبارت دیگر وزن مصالح حجم آن را توجیه نمی‌کند. بنابراین برای اختلاط مصالح از روش حجم مطلق استفاده شد [۳]. در ضمن برای ساخت بتن سبک سازه ای از حدود دانه بندی استاندارد ASTM C330 با ماکزیمم سایز سنگدانه ۱۹ میلیمتر استفاده شده است.

در این تحقیق ۲۰ طرح اختلاط بتن سبک سازه ای با استفاده از مواد جایگزین سیمان ( میکروسیلیس و زئولیت ) با درصد های جایگزینی متفاوت و همچنین میزان ریز دانه ماسه متفاوت ساخته شد و از هر طرح ۶ آزمون مکعبی ۱۰×۱۰×۱۰ برای آزمایش های مقاومت فشاری و چگالی خشک مورد بررسی قرار گرفتند. مقاومت های فشاری نمونه های مکعبی ناشی از آزمایشات،

مطابق با ضوابط مبحث نهم مقررات ملی ساختمان به مقاومت فشاری استوانه ای استاندارد تبدیل شده اند [۴]. همچنین ۱۰ طرح بتن سبک غیرسازه ای نیز با درصد های مختلف میکروسیلیس و الیاف پلی پرو پیلن مورد بررسی قرار گرفتند. از هر طرح ۳ آزمون ۱۰×۱۰×۱۰ سانتی متر برای آزمایش های مقاومت فشاری و چگالی خشک بررسی شدند. در جدول (۳) طرح های اختلاط بتن های سبک سازه ای برای ساخت یک متر مکعب بتن آورده شده اند:

جدول (۳): طرح های اختلاط بتن سبک سازه ای

شماره طرح اختلاط	سیمان (Kg)	میکروسیلیس (Kg)	زنولیت (Kg)	آب (Kg)	پودر سنگ آهک (Kg)	ماسه (Kg)	لیکا ریز (Kg)	لیکا درشت (Kg)	فوق روان کننده (kg)
۱	۴۲۷.۵	۰	۲۲.۵	۲۰۶.۹۳	۳۶.۱۸	۸۰۰.۱۸	۲۰۲.۱۵	۲۴۱.۵۷	۲.۵۷
۲	۴۱۶.۲۵	۰	۳۳.۷۵	۲۰۲.۸۰	۳۶.۰۵	۷۹۷.۳۷	۲۰۱.۸۰	۲۴۰.۷۲	۲.۵۰
۳	۴۰.۵	۰	۴۵	۱۹۸.۶۶	۳۵.۹۲	۷۹۴.۵۶	۲۰۱.۰۹	۲۳۹.۸۷	۲.۴۳
۴	۴۵۰	۰	۰	۲۱۵.۸۶	۳۶.۴۳	۵۵۳.۹۸	۲۰۳.۹۳	۳۶۴.۸۹	۲.۷۰
۵	۴۲۷.۵	۲۲.۵	۰	۲۰۷.۷۲	۳۶.۲۶	۵۵۱.۴۵	۲۰۳.۰۰	۳۶۳.۲۲	۲.۵۷
۶	۴۱۶.۲۵	۳۳.۷۵	۰	۲۰۳.۶۵	۳۶.۱۸	۵۵۰.۱۸	۲۰۲.۵۳	۳۶۲.۱۹	۲.۵۰
۷	۴۰.۵	۴۵	۰	۱۹۹.۵۷	۳۶.۱۰	۵۴۸.۹۱	۲۰۲.۰۷	۳۶۱.۵۵	۲.۴۳
۸	۳۹۳.۷۵	۵۶.۲۵	۰	۱۹۵.۵	۳۶.۰۱	۵۴۷.۶۵	۲۰۱.۶۰	۳۶۰.۷۲	۲.۳۶
۹	۳۸۲.۵	۲۲.۵	۴۵	۱۹۰.۵۲	۳۵.۷۶	۷۹۰.۸۸	۲۰۰.۱۶	۲۳۸.۷۶	۲.۳۰
۱۰	۳۷۱.۲۵	۳۳.۷۵	۴۵	۱۸۶.۴۵	۳۵.۶۷	۷۸۹.۰۴	۱۹۹.۶۹	۲۳۸.۲	۲.۲۳
۱۱	۳۶۰	۴۵	۴۵	۱۸۲.۳۸	۳۵.۵۹	۷۸۷.۲۰	۱۹۹.۲۳	۲۳۷.۶۵	۲.۱۶
۱۲	۳۴۸.۷۵	۵۶.۲۵	۴۵	۱۷۸.۳۱	۳۵.۵۱	۷۸۵.۲۵	۱۹۸.۷۶	۲۳۷.۰۹	۲.۰۹
۱۳	۳۳۷.۵	۶۷.۵	۴۵	۱۷۴.۲۴	۳۵.۴۲	۷۸۳.۵۱	۱۹۸.۲۹	۲۳۶.۵۳	۲.۰۳
۱۴	۴۰.۵	۲۲.۵	۲۲.۵	۱۹۸.۸۰	۳۶.۰۱	۷۹۶.۴۹	۲۰۱.۵۸	۲۴۰.۴۵	۲.۴۳
۱۵	۳۹۳.۷۵	۳۳.۷۵	۲۲.۵	۱۹۴.۷۳	۳۵.۹۳	۷۹۴.۶۵	۲۰۱.۱۱	۲۳۹.۹۰	۲.۳۶
۱۶	۳۸۲.۵	۴۵	۲۲.۵	۱۹۰.۶۶	۳۵.۸۴	۷۹۲.۸۱	۲۰۰.۶۵	۲۳۹.۳۴	۲.۳۰
۱۷	۳۷۱.۲۵	۵۶.۲۵	۲۲.۵	۱۸۶.۵۹	۳۵.۷۶	۷۹۰.۹۷	۲۰۰.۱۸	۲۳۸.۷۹	۲.۲۳
۱۸	۳۶۰	۶۷.۵	۲۲.۵	۱۸۲.۵۲	۳۵.۶۸	۷۸۹.۱۲	۱۹۹.۷۱	۲۳۸.۲۳	۲.۱۶
۱۹	۳۸۲.۵	۰	۶۷.۵	۱۹۰.۳۸	۳۵.۶۷	۷۸۸.۹۵	۱۹۹.۶۷	۲۳۸.۱۸	۲.۳۰
۲۰	۳۹۳.۷۵	۰	۵۶.۲۵	۱۹۴.۵۲	۳۵.۸۰	۷۹۱.۷۶	۲۰۰.۳۸	۲۹۳.۰۲	۲.۳۶

جدول (۴): طرح های اختلاط بتن سبک غیر سازه ای

شماره طرح اختلاط	سیمان (Kg)	میکروسیلیس (Kg)	آب (Kg)	آهک (Kg)	ماده خام (Lit)	ریز EPS (Lit)	درشت EPS (Lit)	پلی پروپیلن (Kg)	هوازا (g)	فوق روان کننده (g)
۱	414.8	0	7.5	120	71.42	428.6	642.85	2.62	918.6	2657.14
۲	373.3	29	7.5	120	71.42	428.6	642.85	2.62	918.6	2657.14
۳	352.5	58	7.5	120	71.42	428.6	642.85	2.62	918.6	2657.14
۴	269.6	101.4	7.5	120	71.42	428.6	642.85	2.62	918.6	2657.14
۵	257.1	110.1	7.5	120	71.42	428.6	642.85	2.62	918.6	2657.14
۶	248.8	115.9	7.5	120	71.42	428.6	642.85	2.62	918.6	2657.14
۷	224.0	133.3	7.5	120	71.42	428.6	642.85	2.62	918.6	2657.14
۸	219.8	136.2	7.5	120	71.42	428.6	642.85	2.62	918.6	2657.14
۹	190.8	156.4	7.5	120	71.42	428.6	642.85	2.62	918.6	2657.14
۱۰	182.5	162.2	7.5	120	71.42	428.6	642.85	2.62	918.6	2657.14

مقاومت های فشاری نمونه های مکعبی در سن ۲۸ روزه اندازه گیری شدند. نمونه ها ۷ روز در محلول آب آهک و پس از آن در محیط آزمایشگاه عمل آوری گشتند. چگالی خشک نمونه ها نیز پس از خشک شدن در آون به دست آمد.

### ۳-۱- نتایج آزمایشات و محاسبات

در جدول (۵) نتایج حاصل از مقاومت ۲۸ روزه استوانه ای برای بتن سبک سازه ای، چگالی خشک و قیمت تمام شده هر متر مکعب

از بتن‌ها بر اساس قیمت مصالح در آبان و آذر سال ۱۳۹۰ (مذکور در جدول (۱) و جدول (۲)) ارایه شده است. لازم به ذکر است قیمت‌های مذکور، قیمت مصالح به کار رفته برای ساخت بتن بوده و هزینه ساخت بتن‌های در این قیمت‌ها دخیل نشده است.

جدول (۵): نتایج مقاومت‌های فشاری، چگالی و قیمت تمام شده بتن‌های سبک سازه‌ای

طرح اختلاط	مقاومت فشاری (MPa)	چگالی (Kg/m <sup>3</sup> )	قیمت تمام شده (ریال)
۱	۳۲	۱۶۳۴	۵۵۴۸۷۰
۲	۳۵.۵	۱۵۹۸	۵۶۵۷۰۰
۳	۳۶.۲	۱۵۷۵	۵۸۶۷۴۰
۴	۲۵.۷	۱۵۷۶	۵۳۶۹۷۰
۵	۲۷.۲۵	۱۵۵۷	۵۴۲۸۷۰
۶	۲۹.۲	۱۵۳۲	۵۴۹۷۶۰
۷	۲۸	۱۵۱۹	۵۵۴۸۷۰
۸	۲۸.۵	۱۴۸۶	۵۵۶۳۱۰
۹	۲۷	۱۶۴۵	۵۴۴۷۱۰
۱۰	۳۰	۱۷۵۳	۵۳۶۴۹۰
۱۱	۳۱	۱۶۳۰	۵۴۶۷۲۰
۱۲	۳۱.۵	۱۷۶۸	۵۴۶۳۹۰
۱۳	۳۲.۷	۱۷۹۲	۵۴۲۶۰۰
۱۴	۳۴	۱۷۲۱	۵۳۷۸۱۰
۱۵	۳۵.۶	۱۷۸۹	۵۳۴۶۲۰
۱۶	۳۵.۸	۱۷۹۳	۵۳۴۰۸۰
۱۷	۳۵	۱۷۹۵	۵۳۵۶۶۰
۱۸	۳۶.۷	۱۷۸۴	۵۳۶۹۵۰
۱۹	۲۶.۵	۱۵۸۰	۵۳۶۹۴۰
۲۰	۲۸.۳	۱۶۱۲	۵۵۶۸۹۰

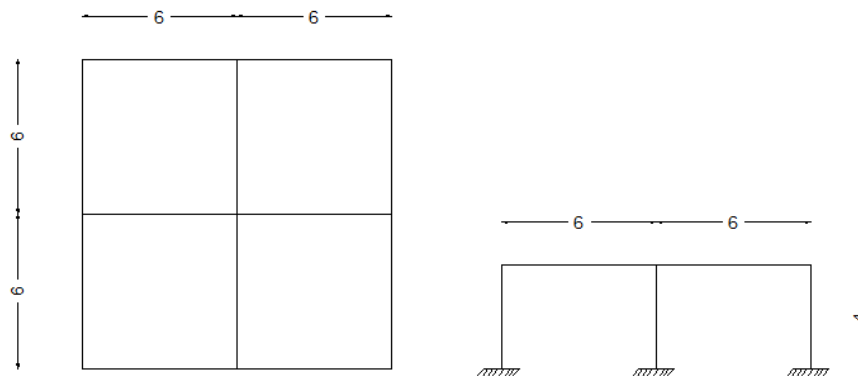
در جدول (۶) نتایج حاصل از مقاومت ۲۸ روزه نمونه‌های مکعبی ۱۰ سانتی متری برای بتن سبک غیر سازه‌ای، چگالی خشک و قیمت تمام شده هر متر مکعب از بتن‌ها به چشم می‌خورد.

جدول (۶): نتایج مقاومت‌های فشاری، چگالی و قیمت تمام شده بتن‌های سبک غیر سازه‌ای

طرح اختلاط	مقاومت فشاری (MPa)	چگالی (Kg/m <sup>3</sup> )	قیمت تمام شده (ریال)
۱	۲۶.۵	۵۲۵.۱۵	۲۵۲۱۰۰۰
۲	۲.۳	۴۶۸.۲	۲۴۹۳۶۰۰
۳	۲.۴۲	۴۴۳.۳۰	۲۴۸۰۲۸۰
۴	۳.۳	۵۴۱.۸۵	۲۴۷۴۵۰۰
۵	۲.۵۸	۴۷۶.۴۲	۲۵۳۵۲۴۰
۶	۲.۴	۴۸۳.۹۲	۲۴۹۶۳۳۰
۷	۳.۰	۴۷۶.۴۳	۲۴۷۶۹۱۰
۸	۲.۵	۴۶۷.۶۱	۲۵۰۴۸۷۰
۹	۳.۱	۴۸۰.۷۶	۲۲۸۵۹۴۰
۱۰	۲.۶	۵۱۹.۸۶	۲۵۹۴۷۰۰

#### ۴- بررسی میزان صرفه جویی

برای بررسی میزان صرفه جویی در میزان مصرفی به علت استفاده از بتن های سبک سازه ای و غیر سازه ای، ساخت قابی با مشخصات مندرج در شکل ۱ بررسی شده است.



شکل(۱): مشخصات قاب بتن آرمه(ابعاد بر حسب متر)

در این قاب تیر ها مقطع یکسان ۳۰×۶۰، ستون ها مقطع ۳۰×۳۰ و دال ضخامتی برابر ۲۰ سانتی متر دارند. به منظور بررسی اقتصادی تنها به طراحی ستون میانی دهانه میانی و تیر های متصل به آن بسنده می شود. همچنین فرض می شود دیوار های جدا کننده بر روی تیرها به صورت ممتد به ارتفاع ۳ متر قرار دارند.

#### ۴-۱- بارگذاری قاب بتن آرمه

این قاب تحت اثر بارهای مرده کف سازی، وزن اعضا (تیر، ستون و دال بتنی) و دیوارهای جدا کننده مستقر بر روی تیر ها می باشد. همچنین بار زنده ای برابر با ۵ کیلونیوتن بر متر مربع نیز به قاب وارد می شود [۵]. تفاوت قاب ساخته شده با بتن معمولی و بتن سبک، در وزن سازه نهفته است. لذا یک مرتبه قاب با استفاده از بتن معمولی در ساخت تیر ها، ستون ها و دال، به همراه دیوار های جدا کننده آجری طراحی کرده و بار دیگر قاب با فرض استفاده از بتن سبک در المان های سازه ای (تیر، ستون و دال) به همراه دیوار های جدا کننده ساخته شده با بتن سبک غیر سازه ای طراحی می شود. برای طراحی در حالت اول بتن معمولی با مقاومت فشاری (30  $f_c$ ) مگاپاسکال و چگالی ۲۵۰۰ کیلوگرم بر مترمکعب در نظر گرفته می شود. در حالت دوم بتن سبک سازه ای با طرح اختلاط شماره ۱۰ در جدول (۳) و بتن سبک غیر سازه ای شماره ۷ مذکور در جدول (۴) (به منظور استفاده در دیوارهای جدا کننده) مورد استفاده قرار خواهد گرفت. جزییات بارهای مرده مربوط به کف سازی در دو حالت فوق در جدول (۷) آورده شده است :

جدول(۷): جزییات بارهای مرده کف سازی وارده بر قاب [۵]

اجزاء	ضخامت(cm)	چگالی( $Kg/m^3$ )	بار وارده ( $KN/m^2$ )
موزائیک	۳	۲۲۰۰	۰.۶۶
مالات ماسه سیمان	۲.۵	۲۱۰۰	۰.۵۲
دال بتن معمولی	۲۰	۲۵۰۰	۵
دال بتن سبک سازه ای	۲۰	۱۷۵۳	۳.۵
سقف کاذب	-	-	۱.۳

جزئیات بارهای مرده مربوط وزن تیر، ستون و دیوارهای جدا کننده در دو حالت مذکور در جدول(۸) آورده شده است:

جدول (۸): جزییات بارهای مرده وزن تیر، ستون و دیوارهای جدا کننده وارده بر قاب [۵]

اجزاء	سطح مقطع (cm <sup>2</sup> )	چگالی (Kg/m <sup>3</sup> )	بار وارده (KN/m)
تیر بتن معمولی	۱۸۰۰	۲۵۰۰	۴.۵
تیر بتن سبک	۱۸۰۰	۱۷۵۳	۳.۱۵
ستون بتن معمولی	۹۰۰	۲۵۰۰	۲.۲۵
ستون بتن سبک	۹۰۰	۱۷۵۳	۱.۵۸
دیوار جدا کننده آجری	۳۰۰۰	۲۰۰۰	۶
دیوار جدا کننده بتن سبک غیر سازه ای	۳۰۰۰	۴۷۶.۴۳	۱.۴۳

بنابر ترکیبات بارگذاری مورد نظر، بار گسترده وارد بر تیر و نیروی محوری حداکثر ستون در جدول (۹) آمده است.

جدول (۹): بار گسترده وارد بر تیر و نیروی محوری حداکثر ستون

تیر بتن معمولی	بار وارده ( KN/m ) : 114.225
تیر بتن سبک	بار وارده ( KN/m ) : 95.575
ستون بتن معمولی	نیروی محوری حداکثر ( KN ) : 775.35
ستون بتن سبک	نیروی محوری حداکثر ( KN ) : 614.12

#### ۴-۲- طراحی تیر قاب بتن آرمه

بنابر بارهای مذکور در جدول (۹)، تیر های طراحی شده و مقدار فولاد مورد نیاز و میلگرد های مناسب تیر در جدول (۱۰) آورده شده اند لازم به ذکر است در تیر ها نیازی به فولاد فشاری نیست.

جدول (۱۰): نتایج طراحی تیر

اجزاء	مقدار فولاد مورد نیاز (cm <sup>2</sup> )	میلگردهای مناسب
تیر بتن معمولی	۳۵.۹۷	۳ عدد میلگرد ۴۰ (Φ <sub>40</sub> )
تیر بتن سبک	۲۸.۲۳	۳ عدد میلگرد ۳۶ (Φ <sub>36</sub> )

#### ۴-۳- طراحی ستون قاب بتن آرمه

با توجه به مقادیر حداکثر نیروی محوری ستون میانی قاب مطرح شده، مقدار فولاد مورد نیاز و میلگرد های مناسب برای عملکرد مناسب ستون در جدول (۱۱) آمده است. لازم به ذکر است از سیستم فولاد عرضی گسسته در طراحی ستون استفاده شده است.

جدول (۱۱): نتایج طراحی ستون

اجزاء	مقدار فولاد مورد نیاز (cm <sup>2</sup> )	میلگردهای مناسب
ستون بتن معمولی	۹۰۰	۸ عدد میلگرد ۱۲ (Φ <sub>12</sub> )
ستون بتن سبک	۹۰۰	۸ عدد میلگرد ۱۲ (Φ <sub>12</sub> )

در ستون مطرح شده میزان بار به حدی است که احتیاجی به فولاد فشاری در مقطع ستون برای تحمل نیروی محوری نیست و لذا استفاده از حداقل فولاد (۱٪) الزامی است. در نتیجه هر دو ستون مقدار مشابهی فولاد نیاز دارند ولی به علت مقدار نیروی محوری کمتر در ستون میانی قاب ساخته شده توسط بتن سبک، حاشیه اطمینان بیشتری وجود خواهد داشت.

### ۵- نتیجه گیری

بر اساس نتایج حاصل بدست آمده، در تیرهای ساخته شده با بتن سبک نسبت به بتن معمولی مقدار فولاد حدود ۲۱٪ کاهش داشته ولی در ستون ها به دلیل الزامات شکل پذیری سازه مقدار فولاد برابر خواهد بود. از طرفی به دلیل وزن مخصوص کمتر بتن سبک نسبت به بتن معمولی، هزینه حمل و جرتقیل کمتر بوده و سرعت اجرای آن بیشتر می باشد. در ضمن به دلیل وزن کمتر

سازه ساخته شده با بتن سبک، ابعاد فونداسیون کوچکتر و هزینه ساخت آن کمتر می باشد. همچنین به دلیل عایق حرارت بودن بتن سبک، میزان قابل توجهی صرفه جویی در مصرف انرژی صورت خواهد گرفت. نتایج مذکور می تواند گرانتر بودن بتن سبک نسبت به بتن معمولی را جبران کرده و استفاده از بتن سبک را در ساختمان اقتصادی کند. از لحاظ ایمنی نیز می توان به کم شدن نیروی ناشی از زلزله سازه ساخته شده با بتن سبک اشاره کرد ولی باید تحقیقات بیشتری بر روی کرنش نهایی گسیختگی، مدول الاستیسیته و سایر پارامترهای موثر بر ایمنی سازه صورت گیرد.

## ۶-مراجع

1.Clark, J. L. Structural Lightweight Aggregate Concrete. (1993).Blackie Academic and Professional, London

۲. ساتیش، چاندرا؛ برنتسون، لیف؛ ترجمه شکرچی زاده، محمد؛ امدادی، آرزو؛ لیبر، نیکلاس علی. **بتن سبکدانه**. دانشگاه تهران، موسسه انتشارات و چاپ، ۱۳۸۷

۳. فامیلی، ه. **پروژه تحقیقاتی بتن دانه سبک**. گروه عمران جهاد دانشگاهی، دانشگاه علم و صنعت، تهران.

۴. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، (۱۳۸۸). **طرح و اجرای ساختمانهای بتن آرمه (مبحث نهم)**. نشر توسعه ایران، تهران.

۵. دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، (۱۳۸۵). **بارهای وارد بر ساختمان (مبحث ششم)**، نشر توسعه ایران، تهران.