مجله نخبگان علوم و مهندسی
Journal of Science and Engineering Elites
جلد ۸- شماره ۵ - سال ۱۴۰۲
www.ElitesJournal.ir

استفاده ساده و تجربه شده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی (ECRLC) در سبک و یکپارچه ساختن برای افزایش مقاومت و ایمنی بناها در برابر زلزله در گستره کلان

کامیار اسماعیلی

دکتری طب مهندسی، بخش تحقیق و توسعه شرکت نوگام سازگان، تهران، ایران

newstructure1@gmail.com

ارسال: آبان ماه ۱۴۰۲ پذیرش: آذر ماه ۱۴۰۲

چکیده

"بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی[1]" نوعی از "مواد مرکب خم پذیر و سبک[2]" بر پایه مواد سیمانی است. سامانه مرکب مزبور دارای مدول فنریت، ظرفیت جذب انرژی و طاقت شایان توجه در خمش می باشد. در اینجا به نوعی استفاده بسیار ساده و تجربه شده از این سامانه سبک و یکپارچه، با رفتار مطلوب به خصوص در خمش و ضربه، در ساخت بنا "در چارچوب ضوابط و معادلات معمول" پرداخته شده است. این سیستم متشکل از ماده سیمانی همگن و پیوسته (مثلا شامل سیمان پرتلند و مواد پوزولانی مناسب)، الیاف، و حفره ها و یا سبک دانه های تغییر شکل پذیر پلی استایرین یا مانند آن است که در ترکیبی متناسب با مشبکهای فلزی و یا غیرفلزی، در مجموع "یک سامانه یا سیستم عمل کننده واحد و یکپارچه" را می سازند. از این فناوری "غیرانحصاری" همچنین می توان به سادگی در ساختن دیوارهای غیربابر داخلی و خارجی، قطعه دال زبرین در سقفهای دارای تیرهای فرعی، انواع سازه های گنبدی شکل و به ویژه برای ساخت سبک و یکپارچه استفاده کرد. به طور کلی "سبک و یکپارچه سازی" را می توان "راهکاری محوری و عملی برای افزایش موثر مقاومت و ایمنی بناها در برابر زلزله" در گستره وسیع دانست. با توجه به مجموعه عوامل درهم تنیده فنی، اقتصادی و اجرایی و همچنین با در نظر داشتن جامع نگرانه دیگر موارد و راهکارهای مقتضی، تلاش برای تحقق هر چه بیشتر و بهتر راهکار محوری مزبور "با هر آن سیستم و مصالح مقتضی" اهمیتی راهبردی دارد. پانلهای ساندویچی سبک و عایق ساخته شده با این سامانه، علاوه بر پایایی مناسب، بر خلاف پانلهای بسیار سبک ساخته شده از بتنهای سبک و فوق سبک مسلح معمول، به ویژه "شکننده نبوده" و دارای رفتار مطلوب در برابر ضربات شدید و امواج شوک و انفجار هستند. همچنین در مقایسه با برخی پانلهای غیر باربر معمول ساخته شده از ملات سنگین-وزن ماسه-سیمان و مشبکهای فلزی، دیوارهای نیم پیش ساخته و یکپارچه اجرا شده با این سامانه وزن نهایی به مراتب کمتری (مثلا در حدود ۶۰-۵۰ کیلوگرم در مترمربع) دارند و علاوه بر عایق رطوبت و حائل صوت بودن، همچنین عایق حرارتی مناسبی می باشند و با اجرایی آسان و عدم نیاز به برخی اندودها، قابلیتهای بالای شکل گیری و کارپذیری و نیز "تطبیق با طرحهای متنوع معماری (از جمله طرحهای دارای سطوح و احجام منحنی، پیچیده و دارای شیب منفی)" را دارند. در این مقاله به این نوع استفاده ساده از سامانه مرکب مزبور با ذکر جزییات مقتضی پرداخته شده.

واژگان کلیدی: عمران، زلزله، مصالح نو، تری دی پانل، پلی استایرین، پانل فوق سبک مسلح، بتن سبک، معماری، سبک و یکپارچه سازی، پانل ساندویچی.

[1] Elastic Composite, Reinforced Lightweight Concrete (ECRLC)
[2] Lightweight Flexible Nonlinear Composite (LFNLC)

۱- مقدمه

۱-۱- سبک و یکپارچه سازی راهکار محوری برای افزایش مقاومت و ایمنی بناها در برابر زلزله

افزایش مقاومت و ایمنی بناها در گستره وسیع در برابر زلزله همچنان ضرورتی فوری و حیاتی به ویژه در کشور ما است. برای تحقق این مهم، علاوه بر لزوم وجود اراده ای جدی و واقعی به مثابه شرط اول، همچنین باید راه حلهایی واقع بینانه و کارا را جستجو کرد؛ راه حلهایی عملی که در شرایط موجود قابلیت اجرای نسبتا سریع در سطح وسیع داشته باشند.

با توجه به واقعیتها و تجارب موجود و با در نظر داشتن مجموعه امکانات، فرصتها و کاستیها "بهره گیری وسیع از سیستمهای سبک و در عین حال یکپارچه را می توان راهکاری محوری برای تحقق راهبرد افزایش مقاومت و ایمنی بناها در برابر زلزله در گستره کلان در شرایط موجود"دانست. این راهکار قابل اجرا در سطح وسیع در مدت زمانی قابل قبول می باشد. با توجه به مجموعه عوامل درهم تنیده فنی، اقتصادی و اجرایی و همچنین با در نظر داشتن دیگر موارد و راهکارهای مقتضی، تلاش برای "تحقق هر چه بیشتر و بهتر راهکار محوری مزبور با هر آن سیستم و مصالح مناسب" اهمیتی راهبردی دارد. تجربه نوعی استفاده آسان و عملی از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی، به مثابه یک فناوری غیر انحصاری، در ساخت بنا تلاشی بوده است در این راستا.

در صورت استفاده از مصالح سنگین و یا مجزا، مقاوم و ایمن نمودن موثر، سریع و حیاتی بناها در برابر زلزله در حد و سطح مقتضی به خصوص در کشورهای در حال توسعه و لرزه خیز، عملا و تا حد زیادی در حد شعاری دست نیافتنی باقی می ماند. پس مهم، گزینش درست راه حلی عملی و قابل تحقق در سطح کلان برای کاهش تلفات و ضایعات بسیار ناشی از زلزله با توجه به امکانات و محدودیتهای موجود و علیرغم همه کاستیهای عمیق و ساختاری در زمینه های گوناگون است.

البته روشن است که مقاوم و ایمن نمودن بایسته بنا در برابر زلزله تنها محدود به کاهش دادن هر چند زیاد وزن اجزای آن همراه با بهره گیری از سامانه های هر چه یکپارچه تر نمیشود. مسلما اعمال توجهات مقتضی در انتخاب درست محل و طراحی و اجرای اصولی پی، اسکلت (با ارجحیت داشتن قاطع اسکلت های مناسب صنعتی و یا نیمه صنعتی)، اتصالات (از جمله در مورد تیرها) و مجموعه اجزای مربوط، پیکره بندی مطلوب، انتخاب و اجرای صحیح پوشش و نمای مقتضی با وزن کمتر و درگیری کافی (مانند برخی انواع نماهای سبک در ابعاد، طرح ها و رنگ های مقتضی)، برقراری هماهنگی لازم بین مهندسین معمار، سازه و تاسیسات، تامین رفتار یکپارچه و نیز متناسب هر یک از اجزا در کل سیستم، فرهنگ سازی و به ویژه اعمال نظارتی جدی، مستمر و نظام یافته در کلیه سطوح و بخش ها و ...، همگی در این باره جای خود را دارند. ولی پرسش اینجا است که در صورت استفاده از مصالح سنگین و مجزا، در عمل تا چه حد تحقق کلیه موارد مهم و متعدد مورد نظر، آن هم در سطح کلان و به گونه ای جامع و دقیق، امکان پذیر خواهد بود؟ تجربه های پیشین در این باره، چه در ایران و چه در دیگر کشورها، به ما چه می گویند؟

طبعا صورت گرایی و یا نوعی گرته برداری ناقص و چه بسا سخت و پرهزینه از برخی منابع و روشهای خارجی، حلال مشکلات و کاستیهای وسیع موجود نبوده و نمیتواند باشد. حتی در بسیاری از همان کشورهای صنعتی نیز استفاده وسیع از مصالح سنگین و مجزا امری نامعمول است. این تازه در کشورهایی است که به هر دلیل دارای دانش و فن آوری پیشرفته تر، درآمد و منابع مالی و انسانی افزونتر و اقتصادی توانمندتر با خیل نیروهای ماهر و متخصص در سطوح مختلف هستند و در آنها، فرهنگ و توان اعمال بسته ای منسجم از روشها و سیستمهای مدرن برنامه ریزی و اجرا و نظارت در مراحل مختلف و در گستره کلان با تمام الزامات آن مانند نظم و هماهنگی، مسئولیت پذیری و دقت و سرعت بالا بیشتر وجود دارد.

واقعیت این است که در بسیاری اوقات، فن آوری وارداتی در کشورهای در حال توسعه بومی نشده بوده و گاه بیشتر گونه ای گرته‌برداری ناقص و نامتناسب از سیستمها و روشهایی است که پیش زمینه ها و الزامات تحقق درست آنها در کشورهای مزبور فراهم نگشته است. همچنین عدم وجود باوری بایسته، فقدان انگیزه و عزم موثر و وجود نوعی دیوانسالاری صورت گرا، متورم و بالا نشین از جمله دیگر آفات میباشند. چه این که به طور کلی پیشرفت و توسعه بنیادین، موزون و پایدار در مجموعه در هم تنیده زیر ساخت ها و عوامل متعدد سخت افزاری و نرم افزاری مربوط، زمان نسبتا زیاد و انرژی بسیار بالایی را می طلبد.

بنابراین باز تاکید میشود که در صورت تکیه بر مصالح سنگین و یا مجزا در ساخت بناها در سطح وسیع، مقاوم و ایمن نمودن ساختمانها در برابر زلزله در گستره کلان عملا هدفی دست نایافتنی خواهد بود. پس باید در چارچوب امکانات و محدودیتهای موجود، به یافتن، ترویج و اجرای راه حلهایی عملی و قابل تحقق در سطح وسیع همت گماشت، ضمن این که طبعا تلاش منظم و پیگیر برای رفع کاستیهای عمیق و ساختاری در میان مدت و درازمدت هم اهمیت و جایگاه اساسی خود را خواهد داشت.

تکیه واقع بینانه و عمل-گرایانه بر راهکار محوری "سبک و یکپارچه سازی" در رویکردی جامع نگرانه و سیستمیک و با در نظر داشتن مجموعه شرایط و عوامل مربوط به هیچ روی به معنای نادیده انگاشتن اهمیت سایر عوامل و روشهای موثر در ایستاده و ایمن نمودن بناها در برابر زلزله و دیگر راهکارهای لازم نیست (!)؛ بلکه برعکس، تحقق هر چه بیشتر این راهکار محوری در جای خود میتواند بسیاری نواقص و کمبودها در دیگر زمینه ها را نیز به طور نسبی جبران نماید و عملا اثر بخشی افزونتر دیگر راهکارهای مقتضی، و عملیتر و اقتصادی تر شدن آنها را نیز بسته به مورد در پی داشته باشد.

چندی پس از زلزله ویرانگر بم در دی ماه سال ۱۳۸۲ و به دنبال "طرح جدی، گسترده و سیستماتیک گفتمان[1] محوری سبک و یکپارچه سازی (ساخت سبک و یکپارچه)[2]" از حدود اواخر سال ۱۳۸۲ و به خصوص در تابستان سال ۱۳۸۳ [۱] در سطوح مختلف و با روشهای گوناگون (به مثابه یک عامل ماشه ای موثر در زمینه ای مستعد و در تعامل با دیگر عوامل موثر) شاهد وقوع جهشی چشمگیر در ارتقای شیوه های ساخت و ساز در گذر از روشهای سنتی به روشهای نیمه مدرن و مدرن در ایران علیرغم همه موانع موجود بودیم؛ جهشی که خود تحت تاثیر عوامل متعدد بوده و در بستر درآمد زیاد حاصل از صادرات نفت با قیمت بالا در آن ایام امکان بروز و ظهوری بیشتر یافت. سرمایه گذاری های انجام شده در امر انبوه سازی در کشور در آن سالها، که به هر دلیل و با وجود برخی ایرادات جدی و انکارناپذیر وارد بر آن صورت گرفت، به هر روی شرایطی را پدید آورد که مصالح و سیستمهای جدیدتر ساخت و ساز نیز توانستند بیش از پیش امکان طرح و تحقق بیابند. سیر تحولات زنجیره ای به راه افتاده در صنعت ساختمان در آن ایام، به تبع خود مراکز رسمی مربوط در سطوح بالاتر را نیز به انحای مختلف تحت تاثیر قرار داده و در پی خود کشید. طرح گسترده و سیستماتیک گفتمان "سبک و یکپارچه سازی" به ویژه در لوای معرفی هر چه بیشتر مصالح و سیستمهای فراسنتی که بتوانند در بستر شرایط عینی پدیدآمده و ضمن لحاظ داشتن دیگر بایسته های مقتضی در امر ساخت و ساز این گفتمان را محقق دارند به نوبه خود و مستقیم و غیر مستقیم، نقشی تعیین کننده در وقوع آن جهش در صنعت ساختمان داشت.

برای مثال، سیستم موسوم به تری دی پانل[3] از تعداد انگشت شماری شرکت فعال در تولید و اجرای آن در اوایل سال ۱۳۸۳ با گسترشی انفجاری به چند ده برابر تا آخر دهه ۸۰ خورشیدی رسید. پانلهای مزبور در بیشتر اوقات به عنوان دیوارهای جداکننده داخلی و خارجی با نقش غیر باربر مورد استفاده قرار میگرفتند و بهره گیری از آنها به برخی شهرهای کوچک نیز تسری یافت. این گسترش بسیار سریع البته به دلایلی مانند برخی نقاط ضعفی که در استفاده از پانلهای مزبور وجود داشت و متعاقبا بدانها اشاره خواهد شد استمرار نیافت و این پانلها در موارد زیادی در ساخت و سازها متعاقبا جای خود را به مصالحی دیگر، مانند بلوکهای سبک و مجوف بتنی، دادند. اما به هر روی بازگشت گسترده به مصالح پیشین، از قبیل آجرهای رایج در گذشته، رخ نداد.

این درست است که در خیلی موارد، سیستم موسوم به تری دی پانل یا تری دی وال به طور خاص، در عمل و به هر دلیل با برخی اشکالات فنی و اجرایی در کشور ما همراه بوده است، ولی باز به عنوان یک واقعیت، همین سیستم به نوبه خود بسا مقاومتر و ایمنتر از بسیاری مصالح و روشهای پیش از خود میباشد. بدین ترتیب هر تلاشی که عملا به نوعی در توسعه گسترده امثال این سیستمها موثر باشد و ضمنا در حد آنها نیز متوقف نگشته و نگاهی رو به جلو داشته باشد، با توجه به انواع تاثیرات مستقیم و غیرمستقیمی که در سطح کلان و در درازمدت بر جای مینهد، تاثیراتی مهم و فراگیر در راستای افزایش موثر مقاومت و ایمنی بناها در برابر زلزله خواهد داشت. البته گفتنی است که با وجود برخی شباهتهای موجود بین سیستم رایج موسوم به تری دی وال در ساخت دیوارهای

1 Paradigm
2 Lightweight and Integrated Construction
3 3D Panel, 3D Wall

جداکننده داخلی و خارجی با پاره ای روشهای ساده استفاده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی در ساخت دیوارهای غیر باربر مورد نظر، این دو سیستم یکی نبوده و با یکدیگر تفاوتهایی مهم دارند.

رشد چشمگیر و چندین برابری سیستمهایی از قبیل تری دی وال، مصالح سبک و دیگر مواردی از این دست به ویژه در طی حدود دو دهه اخیر در کشور ما، که به مراتب بیش از برخی سیستمهای دیگر و چه بسا پیچیده تر بوده است، به نوبه خود نشانگر پیشرفت و عملی بودن "راهکار محوری سبک و یکپارچه سازی" در بستر واقعیتهای موجود و علیرغم انبوه کاستیها در زمینه های گوناگون است. آنچه در دنیای واقع شاهد آن بوده ایم به قابلیت بالای تحقق این راهکار به مثابه راه حلی کارا و عملی برای بسیاری مشکلات و تهدیدات جدی موجود اشاره دارد. در این باره زلزله کرمانشاه در سال ۹۶ نیز به نوبه خود اهمیت توجه به یکپارچگی، علاوه بر سبکی، در ساخت به گونه مقتضی را هر چه بیشتر بارز کرد و با توجه به زمینه ها و مباحث از پیش موجود، این مهم بیش از پیش در ضوابط و آیین نامه های مربوط، به ویژه ویرایشهای آیین نامه ۲۸۰۰، لحاظ شد.

بتنهای سبک و برخی سیستمهای مرکب و یکپارچه از جمله مواد و روشهای مختلف مورد استفاده برای تامین ویژگیهای مهم سبکی و یکپارچگی در بناها می باشند. بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی نیز در زمره مصالح و سیستمهایی است که می توانند برای ساخت بناهای هر چه سبکتر و یکپارچه تر مورد توجه قرار گیرند. طرح گسترده این سامانه در سطوح مختلف و به اشکال گوناگون از حدود اواخر سال ۱۳۸۲ و به خصوص در تابستان ۱۳۸۳ آغاز شد و بعدها نیز به صورتهای مختلف ادامه یافت. (این کار در اصل همچنین به منظور طرح و رواج سیستماتیک گفتمان و راهکار محوری سبک و یکپارچه سازی در لوای آن صورت گرفته و در بستر شرایط، در گذر زمان و به نوبه خود واجد تاثیرات مستقیم و غیر مستقیم شایان توجهی بوده است). معرفی "مواد خشک آماده" برای اجرای گونه ای پوشش بتنی سبک، عایق و به ویژه غیر شکننده بر روی پانلهای مسلح ساندویچی نیز در همین چارچوب بوده است.

۱-۲- برخی مزایا و مشکلات کاربرد بتن های سبک معمول در بنا

چنان که می دانیم، کاربرد بتن های سبک دارای مزایای متعددی است. از جمله مزایای شناخته شده کاربرد بتن های سبک می توان به این موارد اشاره نمود: امکان پایین آوردن موثر وزن و ابعاد سازه و کاهش نیروهای جانبی وارده و نیز میزان فولاد و بتن مورد نیاز در اسکلت و پی و همچنین، زمان و هزینه های صرف شده برای حمل، اجرا، زیرسازی و ...، افزایش میزان عایق حرارت بودن، بهبود ظرفیت کرنش کششی و توانایی تحمل حرکتهای مقید شده ....

از دیگر سو کاربرد بتن های سبک معمول و به ویژه بتنهای سبک مسلح با وجود همه مزایای شایان توجه آن با مشکلات مهمی نیز روبرو بوده است. از جمله مشکلات گاه اساسی فرا راه کاربرد بتن های سبک و بتن های سبک مسلح معمول به طور خاص می توان به این موارد اشاره نمود: شکنندگی و امکان قابل توجه "ترد و ناایمن گشتن الگوی شکست از نوع موسوم به فشاری اولیه به خصوص در مورد دالهای بتنی مسلح با ضخامت (ارتفاع) کم و یا ساخته شده از بتن های دارای مقاومت فشاری نسبتا پایین"، درگیری نامناسب تسلیحات در بتن، پایین بودن مشکل ساز مقاومتهای مکانیکی از جمله مقاومت ضربه ای و برش پانچ و کم بودن نسبتهای مقاومت های برشی و کششی به مقاومت فشاری و نیز مدول های ارتجاعی (الاستیسیته) استاتیکی و دینامیکی به مقاومت فشاری، جمع شدگی زیاد و ناپایداری حجمی و معضلات ناشی از افت و خزش و خستگی، مسائل مربوط به پایایی به ویژه در درازمدت و در برخی شرایط نامساعد محیطی، موضوع انتقال نیروهای جانبی، برخی محدودیتهای اجرای کارگاهی و.... با استفاده از سامانه مرکب موسوم به بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی و با امکان کاربرد مقتضی برخی عناصر همراه (بسته به مورد) سعی در حل توأمان پاره ای مشکلات مزبور در چارچوب یک سامانه عمل کننده واحد تا حد امکان شده است.

۱-۳- لزوم تامین مجموعه ویژگیهای مطلوب در ساخت بنا تا حد امکان

سبکی و یکپارچگی می تواند به معنای کم شدن قابل توجه وزن سازه و ابعاد برخی اجزاء بوده، از نیروی موثر زلزله کاسته و به گونه ای تعیین کننده صرفه جویی اقتصادی در میزان فولاد و بتن مصرفی در اسکلت و پی را در داشته باشد. بهره گیری از سیستمهای سبک و یکپارچه با قابلیت بالای جذب انرژی می تواند رفتار بهتر و مقاومت و ایمنی به مراتب بیشتر در برابر لرزه و انفجار را در پی

داشته باشد. البته مجموعه ویژگیهای دیگری نیز می باید در ساخت بنا مد نظر قرار گیرند. از جمله این ویژگیها می توان به این موارد اشاره نمود: عایق حرارت و نیز حائل صدا و رطوبت بودن، ایمنی بیشتر در حریق، افزایش فضای مفید داخل بنا، وجود قابلیت های گوناگون شکل گیری و کارپذیری و امکان اجرای تاسیسات و تزئینات و انواع نماهای مقتضی، انعطاف و تنوع در اشکال (مانند قابلیت به دست دادن سطوح دارای انحنا و احجام مورد نظر)، سادگی و سرعت در حمل و اجرا، اتلاف کم مصالح، کاهش خستگی بنا و پایایی مناسب در برابر یونها و عوامل مخرب در درازمدت.

بدین ترتیب در ارائه هر نوع مصالح و سیستم ساخت تلاش بر این است تا ویژگیهای بالا تا حد امکان هر چه بیشتر تامین شوند. در این باره از نوعی سامانه موسوم به "بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی" نیز می توان همچنین در چارچوب برخی شیوه های رایج در صنعت ساختمان در ساخت دیوارهای سبک و یکپارچه با ویژگیهای مطلوب استفاده نمود. بهره گیری از سامانه سبک و یکپارچه مزبور در ساخت دیوارهای غیرباربر و بسیار سبک و عایق داخلی و خارجی در چارچوب گونه ای نیم پیش ساختگی و همراه با کاربرد پاره ای روشهای آشنا، استفاده ای بسیار ساده و تجربه شده از سامانه مزبور می باشد.

بنا به اهمیت راهبردی سبک و یکپارچه سازی و نیز لزوم تامین دیگر ویژگهای مهم مورد نظر و مجموعه موارد فنی و اقتصادی مقتضی در ساخت بنا، در اینجا همراه با اشاره گذرا به برخی ویژگیهای بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی، به ویژه به نوعی بهره گیری بسیار ساده از آن در بنا در برخی چارچوبهای معمول و با معیارها و ضوابط پذیرفته شده رایج پرداخته شده است.

همچنین با توجه به تجارب متعدد در زمینه اینگونه استفاده ساده از سامانه مرکب یاد شده، جزییات طرحهای اختلاط و مواد و اجزای ساده تشکیل دهنده بتن و سامانه مرکب مزبور و نمونه های قابل بازسازی همراه با ذکر برخی منابع مربوط [۵-۱] معرفی گشته اند (چه این که با جستجوی عباراتی از قبیل "بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی" و از این قبیل در اینترنت هم می توان به منابع لازم دست یافت. در برخی از این منابع به کاربرد ساده این سامانه مرکب در ساخت کارگاهی پانلهای سبک و مسلح ساندویچی با تفصیل بیشتر پرداخته شده است [۵]).

۲- اشاره ای کوتاه به مواد مرکب خم پذیر و سبک و بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی

"مواد مرکب غیر خطی خم پذیر و سبک[1]" به گروهی خاص از مواد مرکب با کارایی بالا اشاره دارد که دارای ویژگیهای ساختمانی و کارکردی خاص ویژه می باشند؛ از این جمله اند: دارا بودن نوعی بافت متخلخل و یا شبه متخلخل و رفتار غیر خطی در خمش [۲].

"بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی[2]" گونه ای از مواد مرکب مزبور بر پایه مواد سیمانی است [۴-۱]. در این مواد مرکب از روشی ساده و کاربردی برای تبدیل یک ماده صلب به یک ماده انعطاف پذیر یا تبدیل یک ماده انعطاف -پذیر به یک ماده انعطاف پذیرتر "در عین کاهش وزن" استفاده می شود. این روش عملی متضمن ایجاد نوعی بافت متخلخل و یا به بیانی شبه متخلخل در ماتریکس همراه با مسلح کردن مناسب آن و نیز برقراری انسجام و به هم پیوستگی در آن می باشد. (ایجاد بافت متخلخل و یا شبه متخلخل نیز از طریق به وجود آوردن حفرات ریز و منتشر و یا پخش سبکدانه های مناسب در سراسر ماتریکس مسلح مورد نظر انجام می گردد). با استفاده از این سیستمهای مرکب یکپارچه، که دارای قابلیت خم پذیری زیاد و مدول فنریت و طاقت[3] قابل توجه در خمش میباشند، دستیابی به تیرهای بسیار سبک، کم ارتفاع و به ویژه انعطاف پذیر و دارای ظرفیت باربری زیاد امکان پذیر میشود. همچنین هر گونه امکان وقوع شکست و گسیختگی از نوع فشاری اولیه در تیر (که به خصوص در مورد تیرهای کم-ارتفاع و یا خیلی سبک ساخته شده از بتنهای معمول بیشتر امکان وقوع دارد) منتفی می گردد.

این مواد مرکب سبک و انعطاف پذیر یا به بیانی فنری، دارای قابلیتهای کاربری متنوعی در عرصه های مختلف بوده و مقرون به صرفه می باشند. برای مثال، با توجه به اهمیت راهبردی "سبک و یکپارچه ساختن (سبکی و یکپارچگی)" در افزایش مقاومت و

1 Lightweight Flexible Nonlinear Composite (LFNLC)
2 Elastic Composite, Reinforced Lightweight Concrete (ECRLC)
3 Toughness

ایمنی بناها در برابر زلزله، بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی می تواند به ویژه در مناطق زلزله خیز برای "افزایش موثر مقاومت و ایمنی بناها در برابر زلزله در گستره کلان" به کار آید. همچنین با در نظر داشتن رفتار مناسب این سامانه سبک غیر ترد و ارتجاعی در خمش و ضربه می توان از آن در ساختن پانلهای ساندویچی مسلح "غیر ترد"، عایق و خیلی سبک (در محل کارگاه و به صورت نیم پیش ساخته و یا به صورت پیش ساخته) و همینطور انواع دالها، برخی قطعات جاذب لرزه و ارتعاش مورد استفاده در زیرساخت راهها و خطوط ریلی، گاردهای سبک و ایمن کنار جاده ای، قطعات دارای رفتار و مقاومت و طاقت مطلوب در برابر شوک، لرزه و موج انفجار، سازه های شناور و ... نیز استفاده نمود.

طبعا سبکی نقش مهمی همچنین در عایق حرارت بودن و صرفه جویی در انرژی و نیز کاهش هزینه های ساخت بنا، به ویژه در انبوه سازی و بلندمرتبه سازی، دارد. به طور کلی بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی از این اجزا تشکیل شده است: ماده سیمانی همگن و پیوسته، حفره ها و یا سبکدانه های منبسط شده پلی استایرین[1] (با قابلیت تغییرشکل پذیری) یا مانند آن با توزیع یکنواخت در ماده سیمانی (ماتریکس)، الیاف مناسب، مشبک. این اجزا در اندازه ها و اشکال مقتضی در تعامل با هم در مجموع یک سیستم عمل کننده واحد را شکل می دهند. (مواد سیمانی مزبور شامل کریستالهای C-S-H می باشد که خود محصول واکنش سیمان هیدرولیک و یا[2] مواد پوزولانی است. البته ماتریکس مواد مرکب خم پذیر مورد نظر می تواند شامل مواد چسباننده پلیمری مقتضی نیز باشد).

چنان که گفته شد، در اینجا نوعی بهره گیری بسیار ساده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی در چارچوبی مشابه برخی روشهای رایج با لحاظ داشتن ضوابط و معادلات معمول مد نظر می باشد. استفاده از مواد مرکب خم پذیر و سبکی مانند بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی با کاربرد و لحاظ داشتن محاسبات و معادلات خاص و متفاوت مربوط به تغییرات مشخصا غیر خطی کرنش در ارتفاع تیر در طی خمش (از جمله در طراحی و ...)، مقوله متفاوتی است که طبعا، روابط و معادلات ویژه خود را می طلبد و در اینجا موضوع بحث نیست.

۳- استفاده بسیار ساده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی در ساخت بنا

بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی نوعی سامانه سبک و یکپارچه با رفتار مطلوب به ویژه در خمش و ضربه است. این سیستم می‌تواند به سادگی متشکل از ماده سیمانی همگن و پیوسته، الیاف مقتضی و حفره ها و یا سبکدانه های تغییر شکل پذیر پلی استایرین (چه از نوع مناسب بازیافتی و چه از نوع غیربازیافتی) یا مانند آن باشد، که در ترکیبی متناسب با مشبک های فلزی و یا غیر فلزی، در مجموع یک سامانه یا سیستم عمل کننده واحد و یکپارچه را می سازند.

۳-۱- بهره گیری ساده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی در ساخت دیوارهای غیر باربر داخلی و پیرامونی

چنان که گفته شد، یکی از موارد بسیار ساده استفاده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی، بهره گیری از آن در ساخت پانلهای خیلی سبک، عایق و به ویژه "غیر شکننده" ساندویچی است؛ پانلهایی که همچنین می توانند در چارچوبی مشابه با برخی روشهای رایج به عنوان دیوارهای یکپارچه و غیر باربر داخلی و پیرامونی در بنا مورد استفاده قرار گیرند.

برای نمونه، مواد خشک تشکیل دهنده بتن سبک یا به عبارتی، ماده سیمانی اصلاح شده و الیاف دار و سبک مورد استفاده در اینجا میتواند عبارت باشد از: سیمان پرتلند (از نوع و تیپ مناسب و با در نظر گرفتن مواردی از قبیل میزان حرارت زایی) و مواد پوزولانی با ریزی و فعالیت پوزولانی مناسب، برخی افزودنیهای رایج (از قبیل روان کننده و دیرگیر)، الیاف (از قبیل الیاف پلیمری مانند الیاف پلی پروپیلن[3] با اندازه های مناسب و سبکدانه های پلی استایرین. الیاف پلی پروپیلن، سبک دانه های منبسط شده پلی استایرین و مواد پوزولانی جملگی سابقه استفاده در صنعت ساختمان دارند.گفتنی است که استفاده از عنوان بحث بر انگیز "بتن" در اینجا صرفا با توجه به استفاده از این عنوان کلی برای اشاره به برخی ترکیبات پایه-سیمانی سبک مشابه در ACI 523; Part I [۶] بوده است.

1 Expanded Polystyrene (EPS)
2 and/or
3 Polypropylene Fibers

مواد مزبور پس از اختلاط با آب و اجرا بر روی مشبکهای فلزی، "یک سیستم عمل کننده واحد را در پیوستاری یکپارچه و به مثابه سامانه ای مرکب با مدول فنریت و ظرفیت مناسب جذب انرژی در خمش و ضربه" می سازند. (استفاده از مشبکهای فلزی در بتن، مثلا در چارچوب آنچه فروسیمان[1] خوانده میشود، نیز امری پرسابقه است).

برای مثال، پس از مخلوط شدن کامل مجموعه مواد خشک مزبور با مقدار معینی آب، خمیر سیمانی چسبنده و الیاف دار به دست آمده (با اسلامپ حدود صفر) با ماله و یا با دستگاههای مناسب برای این کار به آسانی و در یک نوبت بر روی هر طرف از مشبک های (مش های) پیش جوش شده فلزی فوم داری که از پیش در محل نصب شده اند و دارای فوم میانی پلی استایرین از نوع موسوم به ضد شعله و کندسوز می باشند، مثلا در ضخامت حدود ۲ الی ۳ سانتیمتر اجرا می شوند. منظور از دستگاههای مناسب برای اجرای ماده خمیری مزبور بر روی مشبکهای فلزی فوم دار دستگاههایی است که به طور معمول نیز برای اجرای سریع ملاتهای حاوی سیمان و یا به خصوص گچ بر روی سطوح عمودی مورد استفاده قرار می گیرند.

بدینسان قطعه ای یکپارچه و بسیار سبک، عایق و غیر شکننده در ضخامت انتخابی و به مثابه نوعی پانل مسلح ساندویچی با پایداری و رفتار مناسب در خمش و ضربه و دارای پایایی و نیز سطح قابل قبول به دست میآید. دیوار سبک و مسلح مزبور با قابلیتهای شکل‌گیری و کارپذیری مطلوب، همچنین امکان پذیرش پوششها و نماهای مختلف، به ویژه از نوع سبک، را داراست. در این دیوارها نیازی به اجرای برخی اندودهای اضافی معمول نبوده و امکان تطبیق با طرحهای گوناگون معماری (از جمله طرحهای دارای سطوح و احجام منحنی، پیچیده و دارای شیب منفی) و موارد کاربری مختلف وجود دارد. چه این که مواردی مانند امکان گیرش پیچ و رول پلاک و میخ، قابلیت برش و قابلیت تراشیده شدن سطح از جمله امکانات مفید کارپذیری محسوب می شود.

این قطعه، علاوه بر عایق حرارت، عایق رطوبت و حائل صدا (با توجه به مقوله تقسیم فضا و تغییر پیاپی محیط عبور صوت) نیز می باشد؛ همچنین با توجه عیار بالای مواد سیمانی و حاوی مواد پوزولانی و نسبت پایین آب به مواد سیمانی در بتن سبک و عایق به کار رفته، از پایایی قابل قبول در برابر یونهای مخرب برخوردار بوده، حفاظت مطلوبی از تسلیحات فولادی به کار رفته در سامانه محقق گشته و مقاومت در برابر آتش مناسب است [۱،۳،۵].

ساختار شبکه ای و منسجم سامانه و وجود مشبک و الیاف نیز در مقابله با ناپایداری حجمی و اثر موسوم به جمع شدگی[2] در لایه کم ضخامت بتن سبک و عایق مورد استفاده (که خود به فوم میانی پانل چسبیده است) و مهار آن تاثیری به سزا دارد. چنان که گفته شد، دیوار بسیار سبک و عایق ساخته شده از پانلهای مسلح ساندویچی مزبور دارای مدول فنریت و قابلیت مناسب جذب انرژی بوده و از پایداری و رفتار مطلوب در برابر لرزه و ضربات شدید وارده برخوردار می باشد. دیوار مزبور به ویژه بر خلاف برخی دیوارها و قطعات ساخته شده از دیگر از انواع مصالح و بتنهای مسلح و غیر مسلح خیلی سبک، به خصوص دیوارها و قطعات ساخته شده از بتنهای خیلی سبک و عایق با وزن حجمی خشک کمتر از ۸۰۰ کیلوگرم در متر مکعب در انواع معمول، به هیچ روی شکننده نیست. این نکته اساسی و مزیت مهمی است که جا دارد بر آن تاکید شود. چه این که یکی از موارد کاربری دیوارها و قطعات سبک ساخته شده از سامانه موسوم به بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی و مواد مرکب خم پذیر[3] و سبک به طور کلی، ساخت "قطعات و دیواره های مقاوم و حائل در برابر شوک و انفجار و به ویژه موج ناشی از آن[4]" می باشد.

بنابراین در کل، ساختار یکپارچه و مرکب سامانه و رفتار آن در خمش و ضربه، ایستادگی و مقاومت مورد نظر را در قطعه و پانل مسلح ساندویچی مزبور به راحتی و فراتر از استانداردهای مربوط (مبنی بر لزوم دارا بودن مقاومت فشاری حداقل معادل ۲،۰۷ مگاپاسکال یا ۲۰،۲۸۶ کیلوگرم بر سانتیمتر مربع در منبع ACI 523 و در مورد موارد مشابه ... [۶]) تامین می نماید، ضمن این که با توجه به عملکرد مرکب خاص سامانه، مدول فنریت و ظرفیت جذب انرژی در خمش و ایستادگی در برابر ضربات وارده به مراتب بیشتر از حد مورد انتظار برای بتن سبکی با دانسیته و مقاومت فشاری خیلی کمتر از دانسیته و مقاومت فشاری ملات ماسه–سیمان

1 Ferrocement
2 Shrinkage
3 Lightweight Flexible Nonlinear Composite (LFNLC); Lightweight Bendable Nonlinear Composite (LBNLC)
4 Blast

معمول می باشد. همچنین با توجه به طرح اختلاط بتن و عیار سیمان بالا و مواد پوزولانی مورد استفاده در نمونه های مورد نظر در اینجا، علاوه بر پایایی[1] مناسب سیستم در برابر یونها و عوامل مخرب، در سامانه مرکب مزبور، مشبک فلزی با ماده سیمانی چسبنده و الیاف دار به کار رفته به طور کامل درگیر می باشد. البته در اینجا برای پانل ساندویچی مسلح یادشده، با وجود ایستادگی و رفتار مناسبش در برابر ضربات شدید احتمالی، وظایف تحمل بار سازه در فشار و نیز انتقال نیروهای جانبی در نظر گرفته نشده است، چه این که گذشته از موضوع میزان مقاومت فشاری، با توجه به وجود قابلیت انعطاف و تغییر شکل پذیری، در عملکرد و رفتار مقتضی قاب و مجموعه اجزای سازه ای از این نظر مشکلی وجود نخواهد داشت. نمونه هایی از طرحهای اختلاط مورد نظر، فن-آوری ساده تولید و اجرا همراه با دیگر موارد و جزییات و مباحث مقتضی، همگی در منابع مربوط بیان گشته اند [۵-۱].

در طرحهای اختلاط بتن سبک و عایق ویژه مورد نظر در منابع مورد اشاره در بالا، سبک دانه های مورد استفاده، دانه های منبسط شده پلی استایرین می باشند. چنان که گفته شد، بتنهای سبک حاوی سبک دانه های EPS، موسوم به بتنهای سبک EPS، در ایران و جهان به صورتهای مختلف سابقه کاربرد داشته و در منبع ACI 523 [۶] نیز مشابه منابعی دیگر [۷] با ذکر برخی ویژگیها مورد اشاره قرار گرفته اند. در برخی بررسیها و جستجوهای مربوط هم استفاده از سبکدانه های پلی استایرین با مقادیر و اندازه های مختلف همراه با مواد پوزولانی گوناگون و نسبتهای بسیار متفاوت آب به مواد سیمانی برای ساخت بتنهای سبک، به خصوص بتنهای بسیار سبک عایق، مورد توجه بوده است [۱۸]. (در این باره، علاوه بر سبکدانه های تازه پلی استایرین، همچنین استفاده از قطعات ریز و به ویژه دانه های به دست آمده از خرد و غربال گشتن صحیح ضایعات پلی استایرین با دستگاه آسیاب یا به بیان بهتر خردکن مناسب [(صفحات: ۲۲-۲۱)۵،۱] نیز تجربه شده است). در بررسیهای مزبور تاثیرات هر یک از اینها، در تعامل با یکدیگر و همچنین دیگر عوامل مربوط، بر ویژگیهای بتن از قبیل مقاومتهای مکانیکی، خواص رئولوژیک و ... مد نظر قرار گرفته است. تاثیرات استفاده از پلی استایرین منبسط شده پلی استایرین و انواع آن بر ویژگیهای مختلف بتن، از قبیل وزن حجمی، هدایت حرارت، مقاومتهای مکانیکی و غیره، و تاثیرات بهره گیری از افزودنیهای همراه همچنان برای سالها موضوع بررسیهای متعدد و رو به تزایدی توسط محققان مختلف بوده است. تصویر شماره ۱ نمونه ای از بتنهای عایق و سبک حاوی گرانولهای پلی استایرین[2] (موسوم به بتنهای سبک EPS) از نوع معمول و عایق حرارت بودن آن و مقاومتش در برابر آتش را نمایش می دهد.

شکل ۱- نمونه ای از بتنهای سبک EPS از نوع معمول و نمایش عایق حرارت بودن آن و مقاومتش در برابر آتش (بر گرفته از سایت اینترنتی "B-Lite Aggregate")

البته بتن عایق و سبک EPS خاص به کار رفته در نمونه های بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی، که در منابع مربوط بدانها اشاره شده، در برابر آتش مقاومت مناسبتری از بتنهای سبک EPS در انواع معمول دارد. این امر به سبب بافت پیوسته و منسجمتر و عدم استفاده از ریزدانه های غیر فعال و نسبت پایین آب به مواد سیمانی در بتن عایق و سبک EPS خاص به کار رفته برای ساخت سامانه

1 Durability
2 Expanded Polystyrene (EPS)

مرکب مزبور می باشد [۵-۱]. در برخی حریقهای گسترده واقعی نیز ایستادگی دیوارهای بلند بنا شده با پانلهای بسیار سبک و مسلح ساندویچی مورد نظر، با سطح زیاد، در برابر آتش تجربه گشته است [۱،۳،۵].

چنان که گفته شد در اینجا نوع خاصی از بتن سبک و عایق EPS با ویژگیهای لازم مورد استفاده قرار می گیرد. از جمله این ویژگیها می توان به این موارد اشاره نمود: چسبندگی و درگیری مناسب با الیاف و مشبک؛ قابلیت شکل گیری و کارپذیری مطلوب؛ پایایی بیشتر در برابر یونها و عوامل مخرب و حفاظت قابل قبول از تسلیحات در برابر خوردگی؛ نسبت مناسب مقاومتهای مکانیکی به دانسیته؛ میزان بالای تغییر شکل در محدوده ارتجاعی و میزان بالای آنچه شکل پذیری (Ductility) (در تغییر شکل فراتر از مرز ارتجاعی) خوانده میشود در فشار (چه این که دو مورد اخیر در مجموع سبب بالا بودن شایان توجه نسبت طاقت (Toughness) در فشار به وزن حجمی میگردد). الگوی شکست بتن سبک مزبور در بارگذاری فشاری هم غیر ترد بوده و بیشتر نشانگر نوعی لهشدگی تدریجی، نه خردشدگی بسان موارد معمول، است ($\varepsilon_{cu} \uparrow$) (امری که همچنین به معنای بالا بودن ضرایب بلوک تنش (α & β) می باشد) [۴-۱]. این نوع خاص از بتن سبک EPS (که گاه نیز "بتااستایرین" ویژه خوانده می شود) در ترکیب با الیاف و مشبک میتواند سامانه یکپارچه موسوم به بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی را شکل دهد.

در اینجا قابل ذکر است که استفاده از موادی مانند ماسه و یا خاک سنگ و از این قبیل در طرح اختلاط، بسان آنچه در طرح اختلاط خیلی از انواع معمول بتن سبک EPS میبینیم، میتواند آن پیوستگی بالای مقتضی در ماتریکس را از میان برده و در کل تحقق ویژگیهای مورد نظر را از اساس یا تا حد زیادی مانع شود. بنابراین در طرح اختلاط بتن سبک ویژه EPS در اینجا (که گاه بتااستایرین ویژه نیز نامیده می شود) مواد مزبور را نداریم و یا در صورت هر گونه بهره گیری احتمالی از آنها موارد و احتیاطات لازم، به خصوص با توجه به اهمیت اساسی پیوستگی بالای مقتضی در ماتریکس، لحاظ می گردد. در اینجا و برای مثال به نمونه ای از طرح اختلاط ساده نوعی از بتن یا ملات پایه سیمانی سبک مورد نظر که می تواند به راحتی تولید شده و همچنین در چارچوب روابط و معیارهای معمول، در ساخت دیوارهای عایق مسلح و غیر باربر داخلی و خارجی (مثلا با وزن نهایی در حدود ۶۰-۵۰ کیلوگرم در متر مربع) نیز به کار رود اشاره می نماییم:

"به ازای هر کیسه ۵۰ کیلوگرمی سیمان (از نوع پرتلند تیپ یک و غیر پوزولانی)": پودر (دوده) میکروسیلیس به میزان ۳/۷۶۰ (۳/۷۶۲۵) کیلوگرم - پودر لیگنوسولفانات[1] (به مثابه نوعی روان-ساز رایج و ارزان و دارای مقداری اثر دیرگیر کنندگی) به میزان 110 (107.5) گرم - الیاف پلیمری پلی پروپیلن به میزان ۱۲۵ (۱۲۳/۶۲۵)گرم به طول ۱۲ میلیمتر از نوع موسوم به تک رشته‌ای با دنیر[2] ۳ (یا به مقدار یک سوم بیشتر با دنیر ۲)، با حداقل پیچ خوردگی ممکن، زده شده (مثلا با ریختن الیاف در یک دستگاه ساده مخصوص خرد کردن سبزی با پره های گردنده با سرعت بالا) و همچنین آغشته به اندکی پودر خشک و بسیار نرم میکروسیلیس (باز به منظور کمک به جداسازی هر چه بهتر الیاف پلی پروپیلن) – سبک دانه های پلی استایرین به میزان ۱۴۰۵ (۱۴۰۳/۸۹۰۴۸) گرم با وزن حجمی واقعی (نه ظاهری) ۲۴ کیلوگرم بر متر مکعب و برای مثال با قطر حداکثر ۳ تا ۳/۵ میلیمتر (ولی ترجیحا از انواع خیلی ریز موسوم به Fine و یا باز بهتر از آن Super Fine) یا مثلا یک دوم آن سبک دانه های پلی استایرین از همان انواع ولی منبسط شده تر و سبکتر و با وزن حجمی واقعی (نه ظاهری) ۱۲ کیلوگرم بر متر مکعب پ و بالاخره آب به میزان ۲۱/۵ کیلوگرم.

حجم بتن سبک الیاف دار به دست آمده بدین ترتیب در حدود ۰/۹۷۷۵۱۷۱ متر مکعب، اسلامپ آن در حدود صفر (قوام خمیری و چسبنده) و وزن حجمی آن پس از خشک شدن نسبی در دما و رطوبت عادی، قدری دست بالا در حدود ۷۳۰ کیلوگرم بر متر مکعب در نظر گرفته می شود.گفتنی است که در صورت افزایش ضخامت لایه بتنی مزبور به بیش از ۳ الی ۳/۵ سانتیمتر لازم است از سیمان پرتلند تیپ دو، با حرارت زایی کمتر، استفاده شود. (ضمن این که به طور کلی و در صورت اقتضا، احیانا افزایش میزان لیگنوسولفانات مصرفی مثلا به میزان ۱۰ الی حداکثر ۲۰ درصد نیز میتواند به نوبه خود و به طور نسبی، میزان حرارت زایی اولیه در جریان هیدراتاسیون سیمان را تا حدی کاهش دهد.) همچنین در صورت نیاز و اقتضا در موارد خاص، برای مثال، افزودن حدود ۸۰

1 Expanded Polystyrene (EPS)
2 Lignosulfonate

گرم (۸۰/۶۴ گرم در مورد مخلوط اول، و حدود ۸۰/۲۵گرم در مورد مخلوط دوم) پودر فوق روان کننده شامل ملامین فرمالدئید (به مثابه نوعی فوق روان ساز رایج و همخوان با مواد پوزولانی) یا بیشتر به مخلوطهای نمونه بالا، به نوبه خود بر روانی و کارایی آنها خواهد افزود.

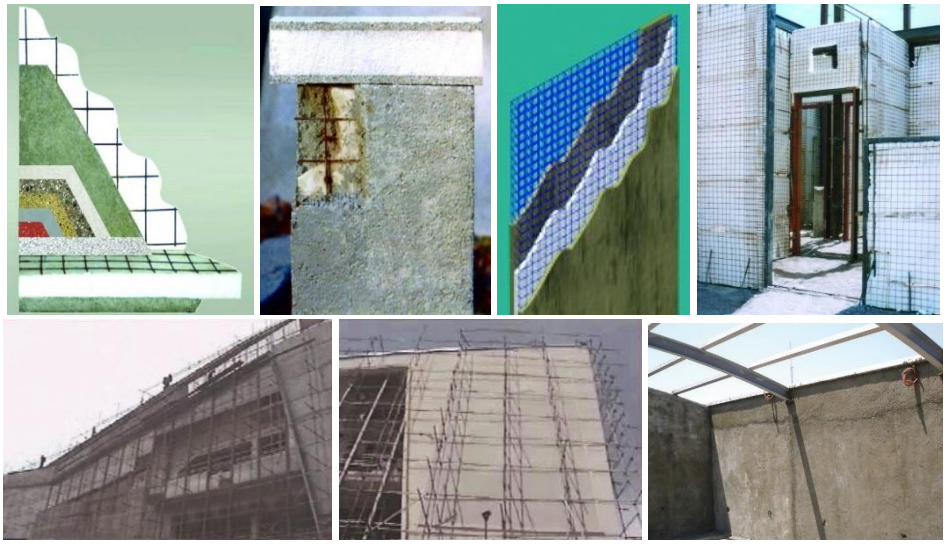
در واقع عیار کل مواد سیمانی (شامل سیمان پرتلند و پودر میکروسیلیس) در این ترکیب در حدود ۵۵۰ کیلوگرم در متر مکعب می باشد، که حدود ۷ درصد آن پودر میکروسیلیس است. نسبت آب به کل مواد سیمانی یا همان W/C+P در حدود ۰/۴، نسبت وزنی پودر خشک لیگنوسولفانات به مواد سیمانی در حدود ۲ در هزار و وزن الیاف پلی پروپیلن مصرفی (با وزن حجمی واقعی در حدود ۰/۹ گرم بر سانتیمتر مکعب) در هر متر مکعب بتن سبک مزبور در حدود ۱۲۶۵ گرم می باشد.

به طور کلی هر متر مکعب از این بتن سبک الیاف دار (بتن سبک الیافی)، که در ساخت دیوار با این سامانه مرکب مورد استفاده قرار میگیرد، در شرایط عادی میتواند برای پوشش دادن حدود ۲۰ متر مربع از دو طرف دیوار مورد نظر (هر طرف با ضخامت تقریبی حدود ۲ سانتیمتر و با احتساب قدری اتلاف در جریان اجرا و با فرض شاقول بودن پانل‌های نصب شده) به کار رود.

به طور کلی با توجه به این که عیار مواد سیمانی در بتن سبک و فاقد سنگدانه و ریزدانه های غیر فعال در نمونه‌های بالا، با وزن حجمی خشک کمتر از ۸۰۰ کیلوگرم بر متر مکعب، معادل ۵۵۰ کیلوگرم در متر مکعب (با ۷ درصد جایگزینی سیمان پرتلند با مواد پوزولانی مناسب) می باشد و با در نظر داشتن موارد مندرج در جداول 3-3 و 3-4 در ACI 523; Part 1 (از جمله در مورد بتنهای سبک حاوی سبک دانه های پلی استایرین و نیز بتنهای سبک فاقد هر گونه سنگدانه و ریزدانه غیر فعال و حاوی سیمان خالص[1]) [۶]، مقاومت فشاری بتن سبک مزبور الزامات مربوط به مقامت فشاری را همچنین برای استفاده به مثابه دیوار تامین مینماید. همچنین الیاف به‌کار رفته، مشبک فلزی مورد استفاده (با سطح زیاد درگیری و چسبندگی مناسب به ماتریکس پرسیمان و حاوی مواد پوزولانی مناسب در این بتن) هر گونه اثر موسوم به جمع شدگی در لایه کم ضخامت بتنی را (که خود چسبیده به فوم میانی پانل است) به خوبی مهار میکند.

چنانکه گفته شد، اهم موارد و نکات مقتضی در باره این سیستم ساده و تجربه شده برای ساخت با ذکر کلیه جزییات و با در نظر داشتن مباحث نظری و تجارب عملی موجود در منابع مربوط به تفصیل بیان گشته اند. از این جمله اند: موارد و نکات مربوط به مواد مورد استفاده و تولید و نصب و اجرا و "عمل آوری"، مقاومتهای مکانیکی (مانند مقاومت فشاری)، میزان و سرعت جذب آب، مقوله مهم پایایی، "پوششهای مقتضی بعدی بر روی کار"، مباحث مربوط به عایق حرارتی و رطوبتی و نیز حائل صوتی بودن، مقاومت در برابر آتش و ... [۱،۳،۵]. نکته دیگر این که به منظور تسهیل و تسریع در فراگیر شدن و تحقق هر چه بهتر این سیستم در ساخت بنا می توان مواد خشک لازم بدین منظور، مثلا منهای سیمان، را در بسته بندیهای مناسب عرضه نمود. چنان که هر یک از این بسته ها در محل کارگاه با یک کیسه ۵۰ کیلویی سیمان و مقدار مشخصی آب به مدت دستکم ۱۵ دقیقه به خوبی مخلوط گشته و با ماله و یا با دستگاههای مناسب برای این کار بر روی مشبکهای فلزی فوم دار نصب گشته در محل اجرا می شوند. در تصویر شماره ۲ مثالهایی از بهره گیری ساده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی و اجزای آن در ساخت دیوارها و جدارهای داخلی و خارجی در بنا نشان داده شده است [۴-۱].

1 Neat Cement

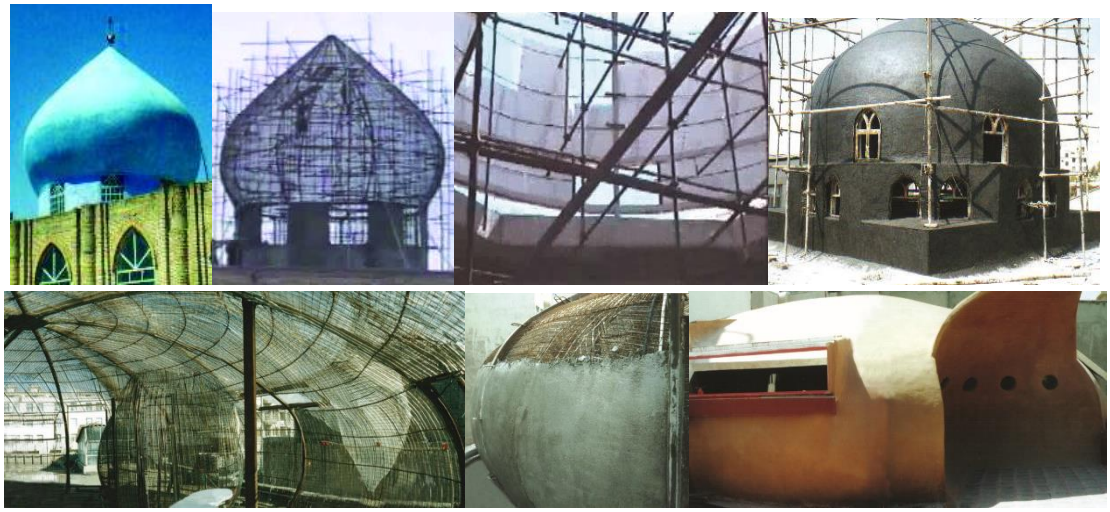


شکل ۲- مثالهایی از استفاده ساده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی و اجزای آن در ساخت دیوارها و جدارهای داخلی و خارجی در بنا

در تصویر شماره ۳ مثالی از اعمال نمایشی بار سنگین بر روی نمونه ای از قطعه مورد نظر، از جمله دارای مشبک فلزی و فوم پلی استایرین، نشان داده شده است [۱].

شکل ۳- اعمال نمایشی بار بر روی نمونه ای از قطعه مورد نظر

در تصویر شماره ۴ نمونه هایی از بهره گیری ساده از اجزای سامانه مرکب و شکل پذیر مورد نظر و اجزای آن در ساخت گنبد و سازه های دارای انحنا نشان داده شده است [۴-۱].



شکل ٤- نمونه هایی از بهره گیری از سامانه مرکب و شکل پذیر مورد نظر و اجزای آن در ساخت گنبد و سازه های دارای انحنا

۳-۲- بهره گیری از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی در ساخت قطعه دال زبرین در سقفهای دارای تیرهای فرعی

استفاده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی، با وزن کم و قابلیت بالای شکل گیری، برای ساخت قطعه دال زبرین در سقفهای مسطح دارای تیرهای فرعی، انواع سازه های گنبدی شکل و از این قبیل در زمره موارد بهره گیری بسیار ساده از این سیستم در چارچوب معادلات و ضوابط معمول میباشند.

به ویژه در مورد استفاده از سامانه مزبور در ساخت سقفهای مسطح دارای تیرهای فرعی عیار مواد سیمانی مورد استفاده قدری بیشتر و به خصوص میزان الیاف در سامانه افزونتر از مورد بهره گیری از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی در ساخت پانلهای بسیار سبک، عایق و غیر شکننده ساندویچی (به شرح بالا) می باشد. در این مورد اخیر هم نمونه هایی از طرحهای اختلاط مورد نظر همراه با دیگر موارد و جزییات و مباحث مقتضی، در منابع مربوط بیان گشته است [۴-۱].

البته در تجارب موجود در این باره، همچنین از "میلگردهای موسوم به حمایتی[1]" در بخش تحت کشش دال استفاده شده است. این کار نه تنها مدول فنریت و ظرفیت جذب انرژی و توان باربری را بیش از پیش افزایش می دهد، بلکه به خصوص از میزان تغییر شکل دال و تقعر آن در محدوده ارتجاعی در محدوده بار معمول بهره برداری به میزان قابل توجهی می کاهد و هر گونه احتمال گسیختگی یکباره در کشش در بارهای خیلی زیاد پیش بینی نشده را منتفی می سازد.

شایان ذکر است که در اینجا چون محاسبه ظرفیت باربری اسمی (Mn) دال ساخته شده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی با استفاده از روابط و معادلاتی انجام میگیرد که فرض اساسی در آنها خطی بودن تغییرات کرنش در ارتفاع تیر در طی خمش است [۱۰-۹]، عملا ظرفیت باربری واقعی دال به مراتب بیشتر از ظرفیت باربری اسمی که بر طبق معادلات رایج معمول محاسبه میشود خواهد بود [۱،۲،۴].

نکته مهم دیگر این که در تیرهای ساخته شده از سامانه مزبور، با توجه به تغییرات غیر خطی کرنش در ارتفاع تیر[۹] در تیرهای ساخته شده از این سامانه در طی خمش و به طور کلی بنا به بافت و ساختار سامانه و رفتار مربوط در خمش، وقوع شکست و گسیختگی از نوع موسوم به فشاری در هر صورت منتفی است [۱،۲،۴]. بدین ترتیب نه نیازی به محاسبه معمول آنچه نسبت فولاد تعادل (ρ_b) (برای پیشگیری از بروز گسیختگی نهایی از نوع فشاری در تیر) خوانده می شود [۱۰-۹] خواهد بود و نه از این نظر محدودیتی در میزان تسلیحات کششی قرار داده شده در تیر وجود خواهد داشت [۴-۱]. در تصویر شماره ۵ مثالی از مخلوط شدن مواد خشک و سیمان با آب به مدت دستکم ۱۵ دقیق برای تولید بتن سبک و الیاف دار مورد نظر (همچنین حاوی سبک دانه های پلی استایرین) با یک دستگاه ملا ساز ساده و ریختن مخلوط آماده گشته بر روی سطح نشان داده شده است [۱،۳،۵].

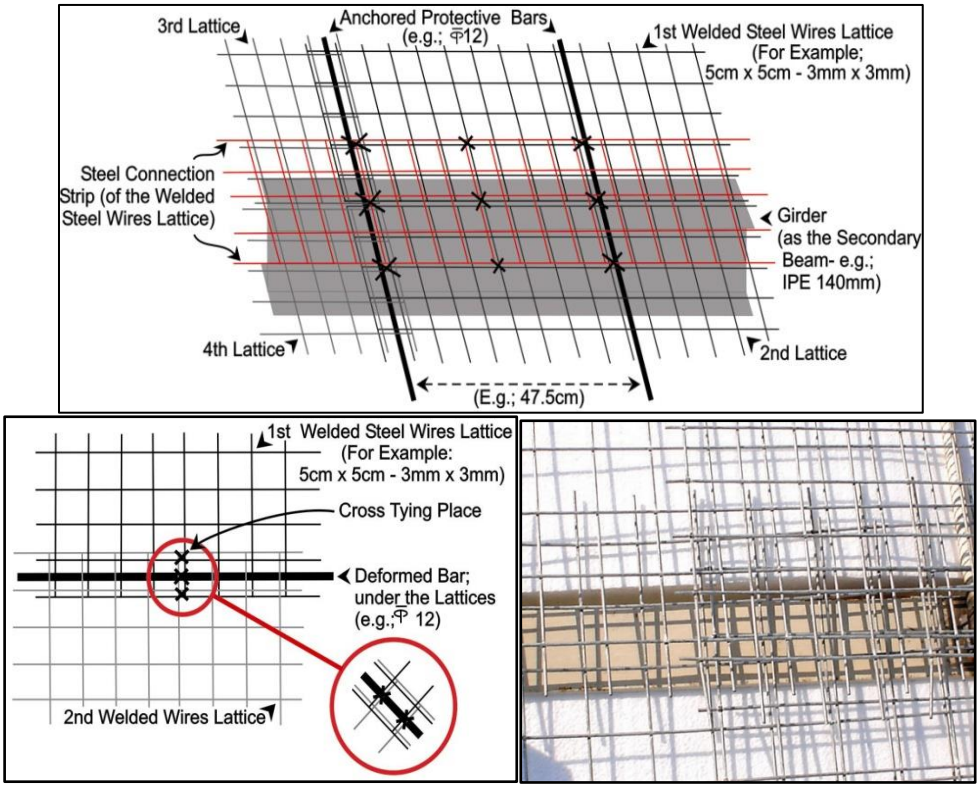
شکل ۵- مثالی از مخلوط شدن مواد خشک و سیمان با آب برای تولید بتن سبک، عایق و الیاف دار (الیافی) مورد نظر با یک دستگاه ملا ساز ساده و ریختن مخلوط آماده گشته بر روی سطح

در تصویر شماره ۶ نمونه هایی از بهره گیری ساده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی و اجزای آن در ساخت سقفهای مسطح و شیب دار، با مدول فنریت و ظرفیت باربری و طاقت خیلی بالا در خمش، در چارچوبهای رایج و معمول بیان گشته نشان داده شده است [۴-۱]. (طبعا در موارد مزبور همچنین از برخی عناصر همراه[2]، مانند میلگردهای موسوم به میلگردهای حمایتی، نوارهای اتصال و ...، نیز بسته به مورد استفاده شده است.)

1 Protective bars, Supportive bars
2 Accompanying Elements

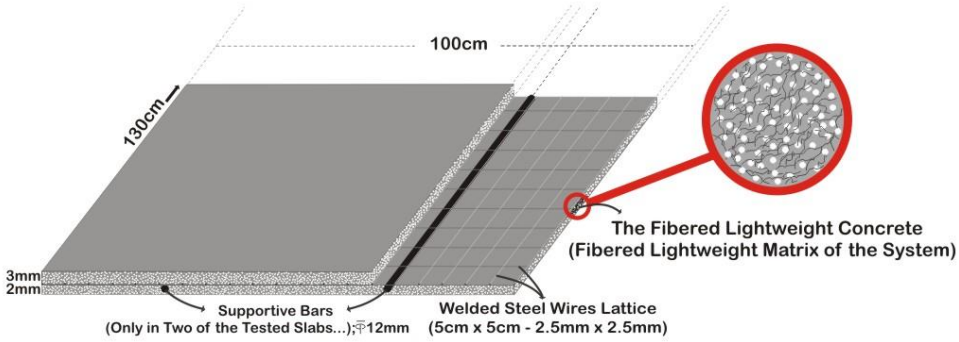
شکل ٦- نمونه هایی از بهره گیری ساده از سامانه سبک مسلح و عایق مورد نظر و اجزای آن در ساخت سقفهای مسطح و شیب-دار در چارچوبهای رایج و معمول بیان گشته

در تصویر شماره ۷ مثالی شماتیک از چگونگی قرارگیری مشبکهای فلزی پیش جوش شده، نوارهای فلزی اتصال، میلگردهای حمایتی و ... برای اجرای یک سقف ساخته شده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی در چارچوبی مشابه با سقف‌های معمول موسوم به مرکب (کامپوزیت) نشان داده شده است [۱،۳،۴].



شکل ۷- مثالی شماتیک از چگونگی قرارگیری مشبکهای فلزی پیش جوش شده، نوارهای فلزی اتصال، میلگردهای حمایتی و ... برای اجرای یک سقف ساخته شده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی در چارچوبی مشابه با سقف‌های معمول موسوم به مرکب (کامپوزیت)

در تصویر شماره ۸ نمونه ای ساده از یک دال سبک بتنی ساخته شده از سامانه مرکب مورد نظر و دیگر اجزایی از قبیل میگردهای حمایتی با جزییات مقتضی و به گونه ای قابل بازسازی، به صورت شماتیک نشان داده شده است [۴-۱].



شکل ۸- نمونه ای ساده از یک دال بتنی سبک ساخته شده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی (به مثابه گونه ای از مواد مرکب خم پذیر و سبک)، همچنین تقویت شده با میگردهای فولادی کششی حمایتی، با جزییات دقیق مقتضی به گونه ای قابل بازسازی

- ابعاد دال: $L \approx 120$ cm، $h \approx 5$ cm، $b \approx 100$ cm
- مشخصات مشبک (Mesh) پیش-جوش شده فلزی (شامل سیم های فولادی تولید گشته با روش *کشش سرد*):

5 cm در 2.5 mm − 5 cm در 2.5 mm

$f_{y1\,(Mesh)} \approx 4672$ kg/cm^2, $A_{s1\,(Mesh)} \approx 0.98$ cm^2, $d_{1\,(Mesh)} \approx 3$ cm, $E_s \approx 2\times10^6$ kg/cm^2

سیم های طولی مشبک (مش)، به طول ۱۲۰ سانتی متر، *بر روی* سیم های عرضی مشبک (مش)، به طول ۱۰۰ سانتی متر، قرار می گیرند.

- مشخصات میلگردهای فولادی کششی حمایتی (به مثابه عنصر همراه در اینجا) :

$f_{y2\,(Bar)} \approx 4400$ kg/cm^2, $A_{s2\,(Bar)} \approx 2.26$ cm^2, $d_{2\,(Bar)} \approx 3.9$ cm, $E_s \approx 2\times10^6$ kg/cm^2

- مشخصات بتن سبک ویژه EPS، حاوی مواد پوزولانی و همچنین تقویت شده با الیاف پلی پروپیلن، به مثابه ماتریکس سبک، کرنش پذیر و و به هم پیوسته سامانه (سبک-دانه های پلی استایرن منبسط شده در سراسر بافت این ماتریکس الیاف دار توزیع شده اند):

$f'_c \approx 64$ kg/cm^2, $f_r \approx 34.5$ kg/cm^2, $f_{ct\,(Brazilian\ Method)} \approx 14.5$ kg/cm^2, $E_c \approx 4\times10^4$ kg/cm^2,

وزن حجمی (چگالی) خشک در آون ≈ ۸۳۵ kg/m^3، جمع شدگی ناشی از خشک شدن پس از ۹۰ روز (با اندازه گیری جمع شدگی ناشی از خشک شدن در نمونه ای از بتن سبک ویژه EPS و الیاف دار مزبور در خارج از دال مسلح مورد آزمایش): کمتر از ۰/۰۱۵.

- طرح اختلاط بتن سبک ویژه EPS مورد استفاده و حاوی مواد پوزولانی و تقویت شده با الیاف پلی پروپیلن:

سیمان پرتلند تیپ II + پودر (دوده) میکروسیلیس (۸/۵ درصد کل مواد سیمانی) ≈ ۶۷۵ kg/m^3؛ نسبت آب به کل مواد سیمانی (اعم از سیمان پرتلند و پودر میکروسیلیس) (W/C+S) = 0.425 (با استفاده از پودر لیگنوسولفونات به عنوان یک روان کننده و نیز دیرگیر کننده معمول و ارزان قیمت)؛ الیاف پلی پروپیلن تک رشته ای با دنیر ۳ ≈ ۱۲/۶kg/m^3 (با دو طول مختلف: دو قسمت از الیاف به طول ۱۲ میلیمتر و یک قسمت از الیاف به طول ۶ میلیمتر)؛ سبکدانه های پلی استایرن منبسط شده با قطر $D_{50} \approx 3.2$ mm تا رسیدن حجم کل مخلوط به ۱ متر مکعب. اگر ترجیحا از سبکدانه های پلی استایرن با قطر کمتر استفاده شود (به عنوان مثال از سبکدانه های پلی استایرن منبسط شده با قطر $D_{50} \approx 1$ mm به همان میزان)، مقاومت فشاری بتن سبک الیاف دار مزبور و به تبع آن مدول فنریت و ظرفیت جذب انرژی و طاقت کل سامانه افزایش خواهد یافت. بدیهی است که اختلاف زیاد بین وزن حجمی ظاهری سبکدانه های پلی استایرین و وزن حجمی واقعی آنها باید در محاسبه طراحی مخلوط در نظر گرفته شود.

در اینجا هیچگونه شن، ماسه و یا هر آن ریزدانه غیرفعال دیگری، مانند خاک سنگ و از این قبیل، در ماتریکس به هم پیوسته سامانه مزبور به کار نرفته است. فقط از مواد فعال چسباننده، به مثابه مواد سیمانی، در ماتریکس (که دارای بافتی به اصطلاح متخلخل مانند می باشد) استفاده شده است. اگر احیانا در تولید چنین سامانه های مرکبی از ریزدانه های غیر فعال استفاده شود، باید میزان استفاده

محدود بوده و اندازه دانه ها خیلی ریز باشند و ریزدانه ها به خوبی به مواد سیمانی ماتریکس بچسبند تا پیوستگی مقتضی در ماتریکس الیاف دار سامانه تامین شود. در غیر این صورت، ناهمسازی به وجود آمده به طور چشمگیری باعث ایجاد اختلال جدی در رفتار سیستم میشود و مشکلاتی مانند شکنندگی و افت قابل ملاحظه مدول ارتجاعی و ظرفیت جذب انرژی و طاقت در خمش را خواهیم داشت. به هر روی تاکنون ترجیح داده شده که هیچگونه ریزدانه غیرفعال، مانند ماسه یا خاک سنگ، در ماتریکس استفاده نشود.

در اینجا عمل آوری ماتریکس سبک سیمانی و الیاف دار به کار رفته، با توجه به شرایط واقعی در برخی کارگاه ها، با روش عمل آوری غشایی، به مدت ۳۰ روز، انجام گرفته است.

گفتنی است که به طور کلی استفاده از عناصر همراه، مانند میلگردهای کششی حمایتی در اینجا، شرطی لازم برای محسوب داشتن یک سامانه به عنوان "مواد مرکب خم پذیر و سبک" یا "بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی" نیست. در اینجا با در نظر داشتن بارگذاریهای آزمایشی انجام شده، که برخی از آنها بر روی دالهای دارای میلگردهای کششی حمایتی انجام گرفته، میلگردهای حمایتی هم نمایش داده شده اند. در عمل، استفاده از میلگردهای کششی حمایتی، در زیر مشبک فلزی پیش جوش شده (مش)، میتواند به منظور پیشگیری از هر گونه گسیختگی نهایی و کامل دال (همراه با جدا شدن بخشهای از هم گسیخته) تحت نیروهای شدید کششی در بارهای سنگین پیش بینی نشده صورت گیرد. تصویر شماره ۹ اعمال بار نمایشی بر روی یک نمونه دال ساخته شده از سامانه بسیار سبک و عایق مورد نظر به ضخامت شش سانتیمتر و فاقد میلگردهای حمایتی، با قرار دهی وزنه های متعدد فولادی را نشان می دهد [۱].

شکل ۹- اعمال بار نمایشی بر روی یک نمونه دال ساخته شده از سامانه بسیار سبک و عایق مورد نظر به ضخامت شش سانتیمتر و فاقد میلگردهای حمایتی، با قرار دهی وزنه های متعدد فولادی

۳-۳- بهره گیری ساده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی در افزایش مقاومت و ایمنی برخی بناهای آسیب پذیر و غیریکپارچه

از سامانه موسوم به بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی، با ظرفیت مناسب جذب انرژی در خمش، میتوان در افزایش مقاومت و ایمنی برخی دیوارها و سقفهای آسیب پذیر و غیر یکپارچه ساخته شده از مصالح سنگین و مجزا هم بهره گرفت. در این باره می شود این سامانه را با ضخامت نسبتا کم نیز بر روی برخی دیوارهای سنگین غیر یکپارچه و آسیب پذیر، که امکان ریزش آسیب زای آنها در زلزله وجود دارد، به سادگی اجرا نمود. این لایه سبک دارای دستکم یک مشبک فلزی پیش-جوش شده، با اندازه مقتضی چشمه ها و ضخامت مفتولها، می باشد. مشبک مزبور در جریان اجرای لایه مورد نظر بر روی دیوار پیشین، با ماده سیمانی الیاف دار حاوی سبک دانه های مناسب پوشیده میشود. بدین ترتیب صفحه ای یکپارچه با قابلیت مناسب جذب انرژی در خمش را با امکان هر گونه تسلیح گذاری بیشتر در صورت لزوم بر روی دیوار آسیب پذیر قبلی خواهیم داشت. این لایه دارای وزن و ضخامت کم بوده ولی از مقاومت و ایستایی مطلوبی برخوردار است. طبعا در صورت لزوم می توان این لایه چسبیده به دیوار قدیمی را از طریق اجزای اتصال دهنده ساده ای که در درون لایه مزبور و در اتصال با شبکه فلزی یادشده قرار می گیرند به کف و سقف نیز بند نمود. طبعا وجود این لایه، علاوه بر افزایش مقاومت و ایمنی، به نوبه خود بر میزان عایق حرارتی، رطوبتی و صوتی بودن دیوار هم خواهد افزود. همچنین مشابه این کار به نوعی دیگر در زیر برخی سقفهای آسیب پذیر نیز در صورت لزوم قابل اجرا است؛ روشی که به نوبه خود می تواند برای مقابله با خطرات ناشی از ریزش مصالح در سقفهای آسیب پذیر مزبور در هنگام زلزله مد نظر قرار گیرد.

۴- بحث و جمع بندی

بالا بردن موثر مقاومت و ایمنی بناها در برابر زلزله در سطح گسترده، به مثابه ضرورتی عاجل، در صورت بسنده نمودن و اکتفای صرف به برخی روشهای پیچیده، الزاماتی را طلب می کند که تامین آنها در عمل، سطحی نسبتا بالا از توسعه همه جانبه را در مجموعه عظیم زیرساختهای اقتصادی، فنی و انسانی ... ایجاب می نماید. تحقق چنان توسعه ای نه تنها در کوتاه مدت، بلکه در میان مدت نیز میتواند بس مشکل باشد. بنابراین تکیه بر "راهکار محوری سبک و یکپارچه سازی"، به طور توامان و به ویژه همراه با در نظر داشتن دیگر عوامل تعیین کننده در افزایش مقاومت و ایمنی بناها در برابر زلزله، همچنان تنها راه حل عملی و در دسترس برای گذر هر چند نسبی ولی حیاتی از وضعیتی به شدت آسیب پذیر در برابر زمین لرزه به نظر می رسد.

یکی از مشکلات شایان توجه و به بیانی راهبردی بهره گیری از بتنهای سبک وزن معمول با وزن حجمی خیلی پایین (گاه موسوم به بتنهای فوق سبک[1]) و مقاومت فشاری کم، مانند بتنهای سبک معمول دارای وزن حجمی خشک کمتر از ۸۰۰ کیلوگرم در متر مکعب (که طبق تعریف ACI 523 بتن عایق[2] محسوب میشوند [۶]) "شکنندگی یا ترد بودن[3]" است. پانلهای مسلح غیر ساندویچی و به خصوص ساندویچی که از اینگونه بتنها ساخته شده باشند در خمش و در برابر ضربات شدید وارد بر پانل میتوانند عملا آسیب پذیری بالایی داشته، شکننده بوده و الگوی شکست و گسیختگی نهایی شان نیز یکباره و ناایمن باشد. درگیری تسلیحات با بتن در آنها در حد بالایی نبوده، مشکلات اجرایی داشته و رفتار مناسبی در خمش و ضربه به پانل ندارند. در کل، مدول فنریت[4] و ظرفیت جذب انرژی و طاقت شکست[5] آنها در خمش و ضربه پایین است.

با توجه به موارد بیان شده در باره مواد مرکب سبک و خم پذیر، با استفاده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی به جای بتنهای سبک مسلح معمول مشکلات بالا حل می شود. بدین ترتیب میتوانیم قطعه ای با وزن خیلی کم اما در عین حال غیر شکننده و با مدول فنریت و ظرفیت جذب انرژی و طاقت مناسب در خمش و ضربه را داشته باشیم.

استفاده بسیار آسان و تجربه شده از بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی به ترتیب بیان گشته و به ویژه در ساخت دیوارهای جداکننده داخلی و پیرامونی، انواع سازه های گنبدی، سقفهای دارای انحنا و یا مسطح، وزن بنا و ابعاد برخی اجزا را به میزانی شایان توجه پایین آورده، مقاومت و ایمنی در برابر زلزله را به گونه ای موثر بالا برده و صرفه جویی زیادی را در فولاد و بتن مصرفی در اسکلت و پی و نیز هزینه های مقاوم سازی سبب می شود. بدینسان همچنین خستگی بنا در درازمدت کاهش می یابد. با بهره گیری ساده از سامانه مزبور در چارچوب ضوابط معمول و با روشی مشابه برخی روشهای شناخته شده در احداث بنا، تامین برخی ویژگیهای مطلوب دیگر نیز ممکن خواهد بود. از این جمله اند: عایق حرارتی بودن و کاهش انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش ساختمان، عایق رطوبت و حائل صوتی بودن، مقاومت مناسب در برابر آتش، سرعت و سهولت در حمل و اجرا و هرز رفتن کمتر مصالح، دارا بودن قابلیتهای شکل گیری و کارپذیری و امکان تطبیق با طرحهای گوناگون معماری (از جمله طرحهای دارای سطوح و احجام منحنی، پیچیده و دارای شیب منفی)، عدم نیاز به برخی اندودهای اضافی، پایایی مناسب در برابر یونها و عوامل مخرب و افزایش فضای مفید داخلی در مقایسه با بیشتر روشهای ساخت معمول در حال حاضر.

در صورت اجرای ساده بتن سبک، عایق و الیاف دار (الیافی) خاص مورد اشاره به جای اجرای ملات ماسه-سیمان معمول (با وزن حجمی و به تبع آن ضریب هدایت حرارتی به مراتب بیشتر) بر روی مشبکهای فلزی فوم دار برای ساخت دیوارهای جداکننده داخلی و پیرامونی در ساختمان، وزن و ضخامت دیوار کاهش یافته و میزان عایق حرارتی بودن آن به مراتب افزایش می یابد. (چه این که در صورت ساخت دیوار با استفاده از سامانه سبک و مرکب مورد نظر، یک پوشش عایق حرارتی عملا روی مشبکهای فلزی و اجزایی را که می توانند به عنوان هدایتگر و پل حرارتی عمل کنند می پوشاند.

---

[1] Ultra-lightweight Concrete
[2] Insulation Concrete
[3] Brittleness
[4] Modulus of Elasticity
[5] Toughness

بدین ترتیب وزن دیوار در اینجا بسته به مورد میتواند به حدود یک سوم تا یک پنجم دیوارهای مشابه ساخته شده از مشبکهای فلزی فوم-دار و ملات ماسه-سیمان معمول کاهش یابد. ضمن این که علاوه بر عایق حرارتی به مراتب بهتری بودن، در اینجا، بر خلاف دیوارهای ساخته شده از مشبکهای فلزی فوم دار و ملات ماسه-سیمان معمول، امکانات بیشتر کارپذیری از قبیل امکان گیرش پیچ و رول پلاک و میخ، قابلیت برش و قابلیت تراشیده شدن نیز وجود خواهد داشت.

بدین ترتیب به سبب کاربرد نوعی بتن سبک و عایق خاص به جای ملات معمول و سنگین-وزن ماسه-سیمان مورد استفاده در برخی پانلهای غیر باربر مشابه، در مقایسه با آنها، دیوار به دست آمده وزن نهایی به مراتب کمتری (مثلا در حدود ۶۰-۵۰ کیلوگرم در مترمربع) داشته، علاوه بر عایق رطوبت و حائل صوت بودن، همچنین عایق حرارتی به مراتب بهتری بوده، امکان صرفه جویی موثر در انرژی را فراهم آورده و با اجرایی آسان و عدم نیاز به برخی اندودها، قابلیتهای بالای شکل گیری و نیز کارپذیری مقتضی دارد. البته شایان ذکر است که متاسفانه گاه در عمل به جای ملات ماسه-سیمان معمول و بر خلاف حداقل الزامات مقتضی، از موادی مانند ملات گچ، گچ و خاک و یا حتی کاه-گل در ترکیب با مشبکهای فلزی فوم دار برای ساخت دیوارهای غیر باربر استفاده شده است! روشن است که در این گونه موارد، علاوه بر مسائلی مانند آسیب پذیری در برابر رطوبت و امکان خوردگی مفتولهای مشبکهای فلزی به کار رفته، درگیری کافی با مشبک فلزی وجود نداشته و همچنین دیوار به دست آمده فاقد رفتار و پایداری مناسب در برابر ضربات وارده خواهد بود. پدید آمدن ترک بر روی چنین دیوارهایی البته امری قابل انتظار بوده است. وجود امثال این موارد نیز به نوبه خود از جمله دلایل کاهش استفاده از مشبکهای فلزی فوم-دار در ساخت بنا، پس از اقبالی شدید، بوده است. طبعا مقایسه دیوارهای ساخته شده از پانلهای ساندویچی مسلح و غیرشکننده مورد نظر، با رفتار و پایایی و پایداری مناسب، با چنین مواردی بلاموضوع به نظر میرسد.

همچنین در مقایسه با دیوارهای سبک ساخته شده از صفحات گچی (موسوم به درای وال[1])، دیوارهای سبک و مسلح ساخته شده از سامانه مرکب مورد نظر به مراتب مستحکمتر و ایمنتر بوده و در برابر آب و رطوبت هم آسیب پذیر نیستند. اینها به خصوص در مورد دیوارهای پیرامونی و دیوارهای جدا کننده واحدها و دیوار سرویسها مهم میباشند. علاوه بر این، ایجاد سطوح و احجام منحنی و اشکال پیچیده در معماری با استفاده از سامانه یاد شده آسانتر خواهد بود. شایان ذکر است که گذشته از مزایای مهم کیفی، هزینه نهایی ساخت بنا با بهره گیری ساده از سامانه مرکب مزبور در چارچوب ضوابط معمول، با مقداری نوسان و بسته به مورد میتواند در حدود رایجترین شیوه های ساخت در شهرها باشد. همچنین گفتنی است که امکان استفاده سریع و آسان از این سیستم سبک در ساخت بناهای دارای اسکلتهای صنعتی سبک، مانند اسکلتهای صنعتی سبک ساخته شده از ورقهای خم خورده با نورد سرد، نیز می تواند یک مزیت مهم باشد. چه این که بدین ترتیب میتوان بناهایی با اسکلت، دیوارها و نماهایی سبک را داشت که به سرعت قابل احداث هستند.

بدین سان و به ویژه با در نظر داشتن امکانات و دانش و تجربه موجود در زمینه تولید و اجرای برخی سیستمهای مشابه و مربوط و توانایی شرکتهای عرضه کننده مواد افزودنی بتن، ملاتهای خشک و از این قبیل در ارائه گسترده مواد خشک مورد نظر در بسته‌بندیهای معین (با یا بدون سیمان پرتلند)، بهره گیری به جا و گسترده از این سامانه مرکب، حداقل در چارچوبهای ساده و عملی بیان شده می تواند در شرایط کنونی هر چه بیشتر مد نظر قرار گیرد.

کاهش شدید اما حساب شده وزن سازه و استفاده از سیستمهای هر چه یکپارچه تر با قابلیت مناسب جذب انرژی و رفتار مطلوب در برابر زمین لرزه می تواند به نوبه خود کاستیهای بسیاری را در دیگر زمینه ها تا حد زیادی جبران نماید و با در نظر گرفتن مجموعه عوامل فنی، اقتصادی و اجرایی، الگویی کارا را برای مقابله با خطر زلزله و بهینه سازی مسکن با عمر مناسب به دست دهد؛ حال چه این کار برای مثال در چارچوب سامانه ساده و کاربردی موسوم به بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی انجام شود و چه در چارچوب هر آن سیستم سبک و یکپارچه ای که بتواند در عمل، اهداف راهبردی مورد نظر را هر چه بهتر محقق نماید.

[1] Dry Wall

۵- سپاسگزاری

در اینجا لازم است از استاد گرانقدر، زنده یاد آقای دکتر حسن رحیمی برای راهنماییها و حمایتهای موثرشان به ویژه در مراحل آغازین و آقای دکتر حسین اسماعیلی که در شروع این کار (با انگیزه کمک به افزایش مقاومت و ایمنی بناها در برابر زلزله) عملا نقشی تعیین کننده داشتند صمیمانه قدردانی شود. همچنین از خانم مهندس مهتا اسماعیلی و خانم رکسانا بهرام لوئیان برای کمکهای ارزشمندشان و همچنین از آقایان مهندس جعفر همدانیان، یوسف بهرامی، ابراهیم زمانی و مجید نیارمی در شرکت نوگام سازگان (با رویکردی عمدتا ترویجی) و نیز دیگر افرادی که در طی سالها هر یک به نوعی یاری رسان بودند سپاسگزاری می شود.

۶- اظهار

در این مقاله تعارض منافع وجود ندارد. با وجود ثبت سامانه مرکب مورد نظر (با عنوان "بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی با تغییرات غیر خطی کرنش در ارتفاع تیر در خمش، الگوی شکست غیر ترد و مدول فنریت ویژه بالا در خمش") به عنوان اختراع (در ایران) توسط نگارنده و تایید آن از کانال مراکز مربوط از قبیل سازمان پژوهشهای علمی و صنعتی ایران و انتشار اطلاعات مقتضی توسط اداره ثبت اختراعات امریکا[1] (و گذشته از برگزیده شدن طرح استفاده ساده از سامانه مزبور در ساخت بنا، در چارچوب ضوابط و معیارهای جاری در صنعت ساختمان، توسط برخی مراکز مربوط مانند سازمان نظام مهندسی تهران)، در عمل هیچگونه انحصاری در تولید و استفاده از سامانه موسوم به بتن سبک مسلح و مرکب ارتجاعی وجود نداشته و کلیه موارد در این باره برای استفاده عموم منتشر گشته است. بنا به اهمیت موضوع و لزوم طرح گفتمان سبک و یکپارچه سازی به عنوان راهکار محوری برای افزایش مقاومت و ایمنی بناها در برابر زلزله، این سیستم و مقالات مربوط توسط نگارنده همچنین در برخی همایشها نیز مطرح شده است؛ از جمله: [۳،۱۱].

۷- منابع

1. Esmaeili K (2004). Elastic Composite, Reinforced Lightweight Concrete and Special EPS Concrete. Compact Disk [Register No. (of the earlier version) in The High Council of Informatics (Tehran-Iran): 555 pages; 2004.

2. Esmaeili K (2023). An Introduction to Lightweight Flexible Nonlinear Composite (LFNLC) and Elastic Composite, Reinforced Lightweight Concrete (ECRLC) as the Cementitious LFNLC. International Journal of Innovation in Engineering (IJIE). 3(3): 28-47.

3. Esmaeili K (2018). Lightweight and Integrated Construction, the Pivotal Tactic to Increase the Resistance and Safety of Constructions Against Earthquake. Road & Building Journal (Construction & Architectural Bimonthly Journal). No. 133, pp 39-48.

4. Esmaeili K (2015). Elastic Composite, Reinforced Lightweight Concrete as a Kind of Resilient Composite Systems. arXiv preprint arXiv:1510.03933.

5. Esmaeili K (2011). The Non-brittle, Insulation Lightweight Concrete Plaster on the Non-bearing Foamed Steel Meshes (With Six Attachments), Version 2011. 2011. (In Persian)

6. American Concrete Institute (ACI) (2017). ACI Manual of Concrete Practice, ACI 523.1R-92, 2R-96, 3R-93; Detroit-USA.

7. Neville AM (2012). Properties of Concrete (6th ed.). Pearson Pub. London-England. [A former edition has been translated to Persian by Famili H (2001). Abu Rayhan Biruni Pub, Tehran-Iran.

8. Rahimi H, Bina G, Esmaeili K (2001). The Effect of Pozzolanic Materials on the Compressive Strength of Lightweight Concrete. Journal of Agricultural Engineering Researches. 2(6): 21-32.

9. Mechanics" by Popov E, and "Solid Mechanics" by Beyer F & Janson R]. Pars Ayan Pub, Tehran-Iran.

10. American Concrete Institute (2017). ACI Manual of Concrete Practice, ACI 318-95; Detroit-USA.

11. Esmaeili K: Simple and Experienced Use of Elastic Composite, Reinforced Lightweight Concrete (ECRLC) for Lightweight and Integrated Construction to Improve the Earthquake Resistance of Buildings, on the Large Scale (2022). The 2nd International Conference on Architecture, Civil Engineering, Urban Development, Environment and Horizons of Islamic Art … (Tabriz Islamic Art University, Iran University of Science and Technology, Mohaghegh Ardebili University, Alzahra University, Soore University, …), Tabriz, Iran, 2022 Dec

[1] The USPTO

Simple and Experienced Use of Elastic Composite, Reinforced Lightweight Concrete (ECRLC) for Lightweight and Integrated Construction to Improve the Earthquake Resistance of Buildings, On the Large Scale

Kamyar Esmaeil

Research & Development Dept of Nogamsazegan, Tehran, Iran

newstructure1@gmail.com

Received: November 2023 Accepted: December 2023

Abstract

"Lightweight and integrated construction" can be considered a pivotal tactic to improve the earthquake resistance of buildings, on the large scale. "Elastic Composite, Reinforced Lightweight Concrete (ECRLC)", as a cement-based LFNLC ("Lightweight Flexible Nonlinear Composite"), can simply be used to broadly implement this practical policy. Lightness is important in saving energy and reducing the total cost of building construction. The lightweight panels made of ordinary reinforced ultra-lightweight concrete, like insulation concrete, are usually "brittle". The behavior, resilience and toughness of them in bending, shock and impact are not appropriate. By using ECRLC, "the modulus of elasticity and the toughness in bending can be increased" together with "reducing the density" as well as "the removal of the possibility of failing in a brittle, compressive mode". By applying this integrated structure, it is feasible to make flexible (resilient) ultra-lightweight concrete with more flexibility and performance. ECRLC can also be utilized in easily making "ultra-lightweight and insulation, Non-brittle reinforced sandwich panels" (relatively similar to the so-called "3D-panels"), with appropriate behavior in shock and impact. These panels can be cast-in-place or precast upon the case. In general, the items as follows are also considered in selecting any material and construction method: speed and ease of transportation and installation and low waste of materials; heat insulation; moisture insulation; being an obstacle to sound; resistance to fire; durability; the rates and amounts of any shrinkage and creep; any capability of self-healing; workability also including formability and the capabilities of cutting, sawing, abrading, repairing, nailing, holding screws, installing installations, and applying the coverings and paints; the amount of covers and coatings, like stucco or plaster, that can be adequate for finishing the surface; usable in-door space; etc. Using ECRLC, as a formable material, in making the "non-brittle ultra-lightweight panels", which are used as non-load-bearing interior and exterior walls, is "a very simple and practical application of ECRLC". Likewise, ECRLC can simply be utilized to make flat and curved roofs & decks and dome-shaped buildings too. (Such simple usages of ECRLC can be done within within the relevant standards and common regulations.)

Key Words: Civil, Earthquake, New Materials, 3D Panel, Expanded Polystyrene (EPS), Ultra-lightweight Reinforced Panel, Ultra-lightweight Concrete, Architecture, Lightweight and Integrated Construction, Sandwich Panel.