صنعت ساختمان و توسعهٔ پایدار

دکترمحمد حسن فلاح
استادیار، دانشکده هنر و معماری دانشگاه شیراز

صفه
شمارهٔ چهلم

- چه نوع سیستم‌های ساختمانی برای برطرف کردن مسائل زیست‌محیطی موجود در صنعت ساختمان مناسب است؟
- معرفی سیستم‌های ساختمانی جدید مثل قاب فلزی سبک (LSF) و 3D سیستم ساختمانی LSF تا چه حدی زیست‌محیطی است؟

چکیده

توسعهٔ پایدار و محیط زیست در فعالیت‌های صنعت ساختمان توجه متخصصان امر را در اغلب کشورهای جهان به خود جلب کرده است. از مشخصه‌های بارز و مشکل‌ساز صنعت ساختمان‌سازی کشور به کارگیری مصالح ساختمانی مدرن با استفاده از روش‌های ساخت‌وساز سنتی است. این شیوهٔ ساخت‌وساز در کشور نشان داده است که مشکلات کمّی (برآورده نکردن نیازها) و کیفی (مقاومت مناسب ساختمان‌ها در برابر زلزله، کوتاهی عمرمفید بنا، فرسایش به علت عوامل اقلیمی، تولید ضایعات ساختمانی بیش ازحد درحین اجرا، ناکارایی امکان بازیافت مصالح ساختمانی و غیره) را به همراه دارد. علاوه بر این، استفاده از کارگران غیرماهر مهم‌ترین دلیل ناکارایی سیستم‌های رایج است. سازگار نبودن سیستم‌های ساختمان‌سازی رایج در کشور برای کارگذاری عایق حرارتی سبب هدر رفتن مقدار زیادی انرژی در بخش ساختمان می‌شود. عوامل فوق مشکلات محیط زیست وتوسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان‌سازی کشور است که نیازمند مطالعه و تحقیق و ارائه راهکارهای مناسب جهت تعیین معیاری برای انتخاب مصالح ساختمانی مناسب و سیستم‌های ساختمانی کارآمد برای اهداف مختلف و در اقلیم‌های متفاوت است. علاوه بر این استفادهٔ بیش از حد از منابع طبیعی نیز آسیب‌های جبران ناپذیری به محیط زیست وارد می‌کند.

سیستم‌های ساختمانی جدید برای پاسخ گوئی به نیازهای زیست محیطی و توسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان در اغلب کشورها (مثل تولید صنعتی، پیش ساخته، استفادهٔ بهینه از مصالح ساختمانی، صرفه‌جوئی در مصرف انرژی در صنعت ساختمان، امکان بازیافت مناسب مصالح ساختمانی ودر نهایت اقتصادی کردن بخش ساختمان) شکل گرفته است. از این نوع سیستم‌های ساختمانی می‌توان به سیستم ساختمانی قاب فلزی سبک اشاره کرد که در دههٔ گذشته با توجه به مشخصات فوق در کشورهای پیشرفته به کارگرفته شد.

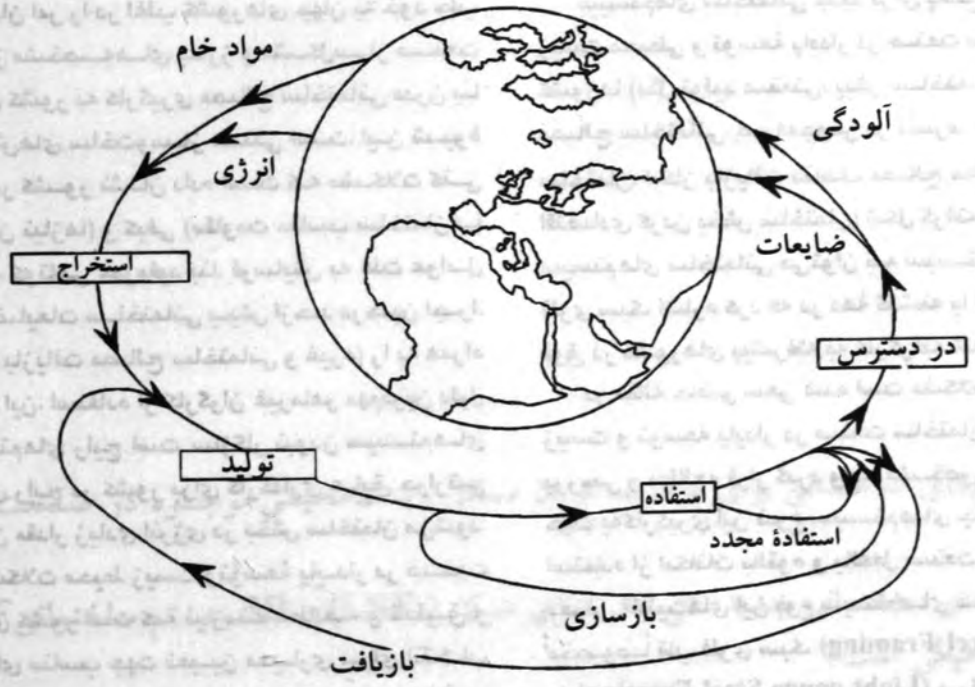
در مقالهٔ حاضر سعی شده است مشکلات مهندسی محیط زیست و توسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان‌سازی کشور مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد و با مشخص کردن معیارهایی جهت به‌کارگیری این نوع سیستم‌های جدید ساختمانی با استفاده از امکانات بالقوه و بالفعل صنعت ساختمان کشور و معرفی قابلیت‌های این نوع سیستم‌های ساختمانی سبک، مخصوصاً قاب فلزی سبک (Lightweight Steel Framing) یا (Light gauge Steel Framing) برای پاسخ‌گویی به بعضی از مشکلات فوق تجزیه و تحلیل شود.

پیشگفتار

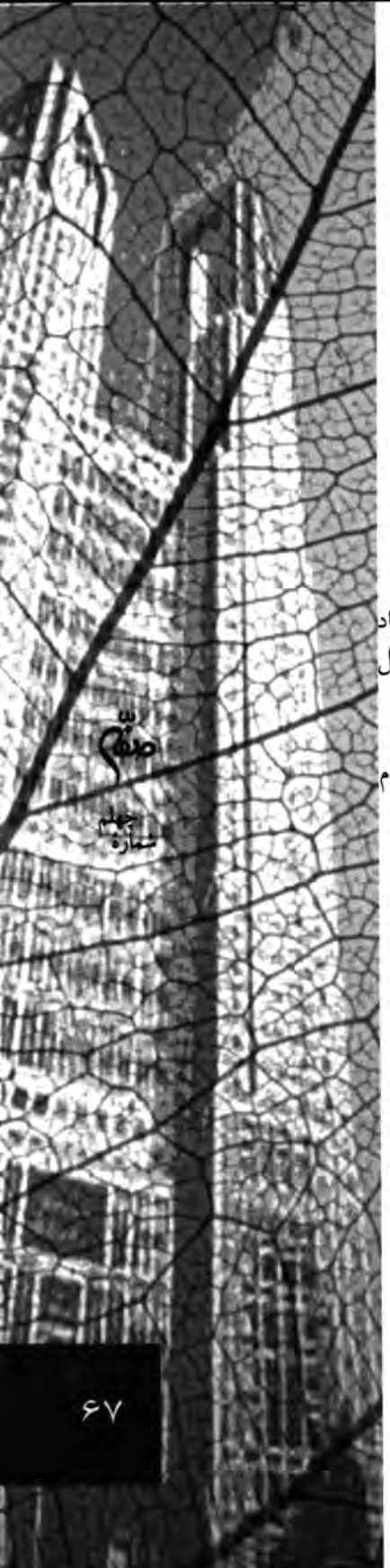
رشد سریع جمعیت جهان باعث افزایش مصرف منابع طبیعی، مواد اولیه و انرژی بوده، این عوامل سبب مشکلات محیط زیست شده است. به این دلیل مهندسی محیط زیست در اغلب تخصص‌ها مطرح می‌شود. مطالعات نشان داده است ساختمان و ساختِ محیط مهم‌ترین استفاده‌کنندهٔ منابع انرژی و مواد به حساب می‌آید. یک بررسی در اتحادیهٔ اروپا نشان می‌دهد ساختمان‌سازی از کل انرژی تولید شده حدود ٤٠ درصد را مصرف می‌کند و پخش ٣٠ درصد از Co_2 و همچنین تولید حدود ٤٠ درصد ضایعات ساخت بشر به ساختمان‌سازی مربوط است[١]. لذا مهندسی زیست‌محیطی همه را به تفکر و تأمل واداشته است تا دربارهٔ راه و روش زندگی فردی و همچنین در زمینه‌های تخصصی و نیز برای مقابله با تخریب و تبدیل منابع طبیعی به ضایعات پرکنندهٔ زمین به فکر چاره باشند و به عبارت دیگر این رشته همه را برآن داشته است تا فکر کنند چگونه می‌توانند:

- استفادهٔ کمتر از منابع طبیعی؛
- صرفه‌جویی در مصرف انرژی در صنعت ساختمان (انرژی مورد مصرف برای تهیهٔ مصالح ساختمانی و انرژی مورد مصرف برای تأمین شرایط آسایش داخلی)
- کم کردن آلودگی‌ها؛
- امکان بازیافت مواد مصرفی؛

را در زندگی روزمرهٔ خود مدنظر قرار دهند[٢]. موضوع حفاظت از محیط زیست از قرن‌ها پیش توجه اهل علم را به خود جلب کرده است. برای نمونه، دنیس میداوس (Denis Meadows) در کلوب رم موضوع را به صورت «محدودیت برای رشد» عنوان کرده بود. او جهانیان را چنین آگاه کرده بود که راه و روشی که ما برای مصرف مواد طبیعی در پیش گرفته‌ایم نمی‌تواند به این شکل ادامه پیدا



شکل ١. گردش مواد در محیط زیست[٣]



کند [۳]. منابع طبیعی در محیطی که ما زندگی می‌کنیم محدود است و عمل‌آوری آن‌ها نیز سبب آلوده شدن آب و هوا می‌شود حتی این عمل‌آوری نیاز به مصرف مقدار زیادی انرژی دارد تا تبدیل به تولیدات مفید شود. درشکل ۱ ، سیر تولید، استخراج، استفاده، به کارگیری مجدد، بازسازی، بازیافت و درنهایت تبدیل آن به ضایعات پرکنندهٔ زمین نشان داده می‌شود، شاید بتوان گفت این چرخهٔ دومین شکل‌دهندهٔ طبیعت است که خود ما معمار شکل دهندهٔ آن هستیم.

در رشتهٔ معماری و ساختمان نیز مثل سایر رشته‌ها موضوع حفاظت از محیط زیست و توسعهٔ پایدار به طور گسترده‌ای مورد توجه متخصصان قرار گرفته است، مخصوصاً در رشتهٔ معماری گفته می‌شود طرح نامناسب معمار تأثیر جبران‌ناپذیری بر محیط زیست خواهد گذاشت. درک و تفسیر توسعهٔ‌پایدار در ساختمان و ساخت‌وساز دستخوش تغییراتی در سال‌های اخیر شده است. درابتدا، موضوع تأکید بر محدودیت منابع، مخصوصاً انرژی و چگونگی کم کردن تأثیر آن بر محیط طبیعی بود؛ دردههٔ گذشته تأکید بر مسائل تکنیکی موضوع در ساختمان‌سازی مثل مصالح، قطعات ساختمان، تکنیک‌های ساخت و انرژی بر اساس مفهوم طراحی مطرح شد؛ امروزه نیز درک قابل توجهی از موضوعات غیرتکنیکی رشد کرده ومورد توجه قرار گرفته است. مسائل اقتصادی و توسعهٔ اجتماعی نیز به مثابهٔ شاخص‌های توسعهٔ پایدار به نوعی مطرح است[۱]. در بخش ساختمان‌سازی متخصصان درصدد استفاده از راهکارهایی چون انتخاب مصالح ساختمانی مناسب هستند و با اعمال روش‌های جدید مهندسی ساختمان (روش‌های تولید صنعتی، پیش‌ساخته) دست‌یابی به اهداف بلندمدت زیست محیطی و توسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان را پی‌گیری می‌کنند[۲]. استفادهٔ بهینه از مصالح ساختمانی، به حداقل رساندن مصرف مواد اولیه و بازیافت آن‌ها، تولید صنعتی ساختمان و نگهداری ساختمان با حداقل هزینه از جمله عواملی است که صنعت ساختمان‌سازی را به سمت توسعهٔ پایدار سوق می‌دهد.

توسعهٔ پایدار

توسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان سیاست محوری در جوامع بین الملل قرار گرفته است، البته تا مدتی ماهیت این سیاست در صنعت میان دولت مردان و متخصصان نامشخص بود و در واقع نتوانسته بودند تعریف کلی یا چارچوب خاصی برای این امر تدوین کنند. برای آشنایی با اهداف اصلی این تفکر سؤالاتی به شرح ذیل مطرح می‌شد:

- آیا ما مطمئن‌ترین و مناسب‌ترین نوع مصالح را به کار می‌بریم؟
- آیا ما به اصول اولیهٔ پایداری آگاهی کامل پیدا کرده‌ایم؟
- آیا مصالح ساختمانی انتخاب شده شرایط خوبی برای اجراء فراهم می‌کنند؟ آیا بدون از دست دادن ارزش مواد و بدون نیاز به جایگزین کردن موادِ با ارزش این عمل انجام می‌گیرد؟
- آیا زمانی که عمر مفید ساختمان به اتمام می‌رسد می‌توان قطعات آن را از طریق فروش در بازار دست دوم به دست مصرف‌کننده رساند؟

برای ارزیابی روش‌مند این پدیده اخیراً تکنیکی به نام LCA (Life Cycle Assessment) طراحی شده که ارزیابی فوق را به شکل کمیتی امکان‌پذیر می‌کند. در واقع LCA کنترل‌کنندهٔ سیر تکاملی و نحوهٔ به‌کارگیری مواد از گهواره تا گور و نیز وسیله‌ای برای تعیین ضایعات زیست‌محیطی مواد است. ضایعاتی که بر اثر استفاده از مواد، مصرف انرژی، آلودگی آب و هوا و ضایعات جامدِ به وجود آمده را در هر مرحله از چرخش مواد معین می‌کند. مؤسسهٔ استاندارد ISO نیز گواهینامهٔ مدیریت با محوریت زیست‌محیطی ISO-14000 را برای استفاده در بخش تجارت، دستگاه‌های دولتی و مؤسسات به هدف مدیریت در انتخاب و به‌کارگیری مواد معرفی کرده است. ارزیابی فوق این امکان را به‌وجود آورده است تا معیاری برای مقایسهٔ ضایعات زیست‌محیطی و ارتباط آن با پایداری مواد گوناگون در دست باشد. برای نمونه، دولت آلمان در مطالعه‌ای برای رسیدن به توسعهٔ پایدار از سه راهبرد اصلی: کنترل کامل

چرخش زنجیرهٔ مواد (بستن حلقهٔ استفاده از مواد)، صرفه‌جویی در مصرف انرژی (برای عمل‌آوری)، و بهبود کیفی تولید مواد (هدف دو برابرکردن عمر مفید تولیدات) موفق شد اهداف توسعهٔ پایدار را تدوین کند.

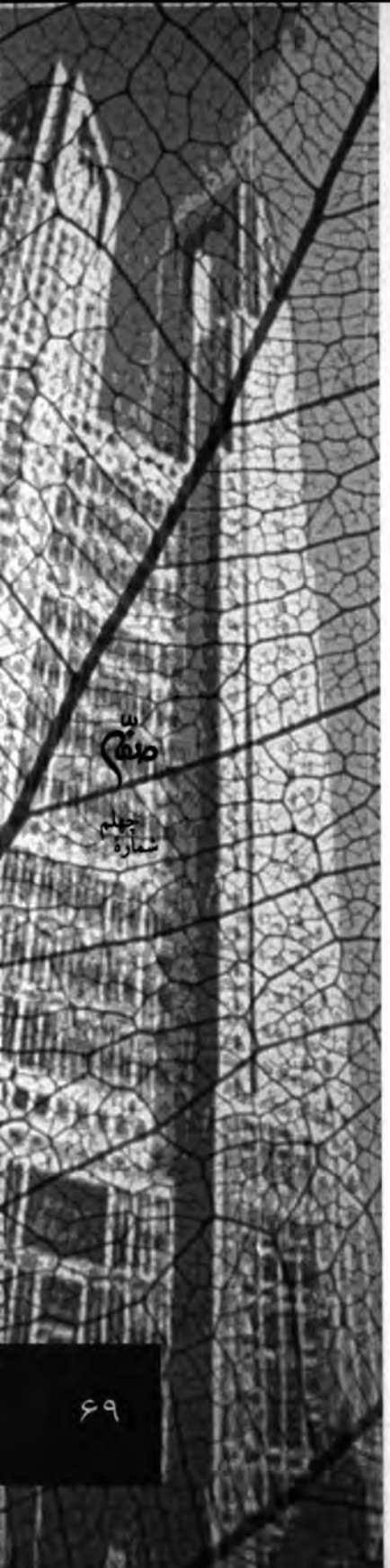
نقش فولاد در توسعهٔ پایدار

مطالعات نشان می‌دهد یکی از مصالح ساختمانی، که بازیافت آن نسبت به دیگر مصالح نظیر بتن، بهتر است و همچنین به نیازهای محیط زیست و توسعهٔ پایدار پاسخ مناسب می‌دهد فولاد است. فولاد چهارمین مادهٔ معدنی فراوان در کرهٔ زمین است و معمولاً این معادن بر اثر فعالیت‌های شهرسازی ازبین رفته، یا غیر قابل استفاده می‌شوند. پیشرفت علوم در تولید انواع آهن با سختی بالا و استفادهٔ بهینهٔ آن (حجم کمتر) باعث کاهش مصرف آن شده است. برای مثال، در ساخت اتومبیل نسبت به پنج سال گذشته ۳۸۰ پاند کمترآهن استفاده می‌شود[٤].

ساخت مسکن و فن‌آوری

آمارها در اغلب کشورها نشان می‌دهد نحوهٔ ساخت‌وساز مسکن نقشی اساسی در آلودگی هوا، گسترش به کارگیری مصالح ساختمانیِ مناسب و روش‌های نوین ساخت‌وساز ساختمان دارد، زیرا بیشترین بخش ساختمان‌سازی در اغلب کشورها را ساخت‌وساز مسکن تشکیل می‌دهد. از قرن‌ها پیش ساخت‌وساز واحدهای مسکونی براساس مصالح ساختمانی قابل دست‌یابی در منطقه، سنت‌ها، فرهنگ‌ها و عوامل اجتماعی صورت می‌گرفت و در واقع این روند براساس نحوهٔ حفاظت از محل سکونت در برابر محیط خارج با استفاده از پتانسیل‌های منطقه، تکامل پیدا می‌کرد. فن‌آوری در بخش‌های گوناگون صنعت بر این روند تأثیر گذاشته به‌طوری که استفاده از مصالح ساختمانی مناسب غیرمنطقه‌ای برای حفاظت از محیط زیست و توسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان را توجیه‌پذیر کرده است. این حرکت باعث شده است حفاظت از منابع طبیعی و استفادهٔ بهینه از انرژی به شکل مناسبی امکان‌پذیر شود.

شکل ۲. سیستم‌های رایج ساخت‌وساز ساختمان



شکل ۳. تخریب ساختمان بتنی بر اثر زلزله

مروری بر ساختمان‌سازی رایج در ایران

ساختمان‌سازی ایران با استفاده از سه روش (دیوار باربر، اسکلتی و پیش ساخته) و مصالح ساختمانی متفاوت انجام می‌گیرد. به کارگیری مصالح ساختمانی مدرن (مخصوصاً فولاد) با استفاده از روش‌های سنتی در ساخت‌وسازهای اسکلت فلزی و بتنی در شهرهای بزرگ کشور، مخصوصاً در استان تهران و شهر تهران متداول است. آخرین سرشماری سال ۷۶ دربارهٔ سیستم‌های ساختمان‌سازی نشان داده است ۹۲ درصد از ساخت‌وسازها با استفاده از یکی از دو روش دیوار باربر و سیستم اسکلتی انجام می‌شود، بنابراین استفاده از سیستم‌های پیش‌ساخته در کشور چندان متداول نیست. گرچه سیاست دولت در چهار دههٔ گذشته در جهت تشویق برای صنعتی کردن ساختمان‌سازی بوده است، اما به دلایل مختلف (تکنیک بالای ساخت) در جامعه‌ای مثل ایران که در حال توسعه است این سیاست با شکست مواجه شد. باوجود این شکست‌ها، مطالعات متعددی نشان داده است که تولید صنعتی ساختمان در کشور تنها راه‌حل برای مقابله با مشکلات جاری (کمبود مسکن وکیفیت پائین ساخت‌وساز مخصوصاً برای پاسخ‌گویی به مشکلات زیست‌محیطی) است [۵].

مشکلات زیست‌محیطی

تاریخچهٔ صنعت ساختمان‌سازی در کشور نشان می‌دهد وابستگی روش‌های متداول ساخت‌وساز در کشور به نیروهای کارگری، و کمبود کارگران ماهر، مدیریت ضعیف، ارتباط ضعیف بین مراکز قانون‌گذار و سازندگان و کمبود ضوابط و مقررات در صنعت ساختمان‌سازی کشور، این صنعت را با کمبودهایی مخصوصاً در بخش مسکن و کیفیت نامناسب در تولید مواجه ساخته است. نتیجهٔ موارد فوق، ساخت‌وساز ساختمان‌های غیرمقاوم در برابر زلزله است (این در شرایطی است که بیشتر بخش‌های کشور در مناطق زلزله‌خیز قرار دارد). برای نمونه، بیشتر ساختمان‌های اسکلتی در مواجهه با زلزله تخریب یا ویران شده‌اند. در حالی که جزئیات مناسب (محاسبه شده) ارائه شده بود[٦]. این فعالیت مشکلات دیگری مانند هدر رفتن بیش از حد مصالح ساختمانی در کارگاه، هدر رفتن انرژی به دلیل نداشتن عایق‌کاری حرارتی، و هزینهٔ بالای نگهداری ساختمان را نیز به همراه دارد. بیشتر ساختمان‌ها خصوصاً مسکن در شهرهای شلوغ کشور ساخته می‌شود، این نوع ساخت‌وسازها سبب مشکلات فراوانی برای همسایه‌ها می‌شود مثل سروصدا و آلوده کردن محله در مدت زمان عملیات ساخت. مطالعه در زمینهٔ منابع، امکانات و فن ساختمان‌سازی درکشور نشان می‌دهد صنعت ساختمان کشور به حدکافی پتانسیل برای پاسخگویی به تقاضای ساختمان جدید را دارد اما بنا به دلایلی که اشاره شد و درخواست مسئولین امر برای تغییر در روش‌های ساختمان‌سازی کشور و همسازی با محیط زیست و توسعه پایدار، نیاز است سیستم‌های رایج ساختمان‌سازی تغییر یابد و از فن‌آوری روز در این بخش استفاده شود[۷].

معیارهای ساخت‌وساز مناسب

مطالعات و بررسی‌ها نشان می‌دهد شیوه‌های ساختمان‌سازی در کشور نیازبه تحول و نوآوری دارد و از طرفی شکست‌های چند دهه اخیر در رابطه با به کارگیری سیستم‌های ساختمانی جدید این موضوع را مطرح می‌سازد

که چه نوع مصالح یا چه نوع سیستم‌های ساختمانی می‌تواند در شرایط کنونی کشور موفق باشد. برای دستیابی به اطلاعاتی که بتوان با کمک آن‌ها به ارزیابی مناسبی از به‌کارگیری مصالح ساختمانی و فن‌آوری در صنعت ساختمان رسید، نیازمند بررسی مشکلات جاری و پتانسیل‌های صنعت ساختمان‌سازی کشور هستیم تا بتوانیم معیاری برای انتخاب و به کارگیری مصالح ساختمانی و سیستم ساخت‌وساز مناسب برای نیل به اهداف بلند مدت صنعت ساختمان‌سازی کشور (منطبق با زیست‌محیطی کردن فعالیت‌های ساخت‌وساز) تدوین کنیم[۵].

۱. عوامل زیست محیطی

متخصصان ساختمان برای رسیدن به اهداف زیست‌محیطی در صنعت ساختمان نظرها و پیشنهادهای خود را به شرح ذیل جمع بندی و ارائه کرده‌اند:

- بازسازی ساختمان‌ها به‌جای خراب‌کردن آن‌ها ؛ یا
- تخریب ساختمان و استفادهٔ دوباره از قطعات ؛ یا
- تخریب ساختمان و بازیافت مصالح ساختمانی به صورت مواد اولیه[۵].

برای ارزیابی موارد فوق طرح ارزیابی چرخش حیات (LCA) را به‌کار گرفته‌اند و برای این منظور اقدام به تدوین اطلاعات مورد نیاز از طرف تولیدکنندگان مصالح ساختمانی براساس استانداردها شده است. برای نمونه بیشتر کشورهای اروپائی جهت استفادهٔ بهینه از امکانات فوق، استانداردهای خود را در مورد مسائل ساخت‌وساز مسکن به تدریج تغییر داده و به سمت زیست‌محیطی کردن ساخت‌وسازها در کل قاره حرکت می‌کنند.

۲. محیط زیست و سایت کارگاهی

استفاده از سیستم‌های تولید صنعتی به خاطر سرعت بالای برپا کردن ساختمان در کارگاه می‌تواند تأثیر زیادی در ایجاد محیط مناسب برای اجرای ساختمان داشته، بر محیط زندگی همسایگان نیز اثر بگذارد. زیرا قطعات ساختمان فقط در زمان برپائی ساختمان به کارگاه حمل می‌شود و این عمل نیاز به انبار برای مصالح و قطعات ساختمانی درکارگاه را به حداقل می‌رساند. لذا استفاده از سیستم‌های تولید صنعتی ساختمان باید براساس شرایط فنی ساختمان‌سازی کشور انتخاب و به مرور توسعه داده شود. میزان نخالهٔ تولید شده بر اثر تخریب ساختمان‌ها در کارگاه‌های ساختمانی نشان می‌دهد فولاد ایده‌آل‌ترین مصالح ساختمانی برای کم‌کردن حجم نخاله در کارگاه است، زیرا این مصالح قابل بازیافت است. حتی در بعضی از کشورها جهت استفادهٔ مجدد از آن، مراکزی برای فروش مصالح ساختمانی دست دوم دایر کرده‌اند. این مطالعه نشان می‌دهد سیستم‌های بتنی و سیستم‌های بنایی، سیستم‌های ساختمانی هستند که بیشترین میزان نخاله را در کشور تولید می‌کنند (۸۰ تا ۸۵ درصد در اثر تخریب استراکچر ساختمان‌ها). استفاده از مصالح ساختمانی مثل فولاد کمک شایانی در کم‌کردن میزان نخالهٔ تولید شده بر اثر تخریب ساختمان‌ها خواهد داشت[۲].

۳. مصرف انرژی و محیط زیست

متخصصان مهندسی محیط زیست در این موضوع اتفاق نظر دارند که مشکل گرم شدن هوا در جهان در حال حاضر مهم‌ترین تهدید برای زندگی بشر است و در واقع برای سالم نگه داشتن جهانی که در آن زندگی می‌کنیم مشکل‌ساز و خطرناک است. همان طوری که قبلاً اشاره شد، بخش ساختمان‌سازی بالاترین تولیدکنندهٔ ضایعات و تولیدکنندهٔ Co_2 در بخش صنایع است. بر این اساس اهمیت سوزاندن سوخت فسیلی برای گرم کردن و خنک کردن ساختمان، که باعث گرم شدن هوای کرهٔ زمین می‌شود، مورد توجه شدید مسئولان امر قرار گرفته است، به طوری که استفاده از عایق‌بندی مناسب در ساختمان‌ها را براساس استانداردهای مورد نظر برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی ضروری دانسته و اجباری کرده‌اند. برای نمونه تحقیقی در کشورهای اروپایی نشان می‌دهد بخش ساختمان نزدیک به ۵۰ درصد از کل انرژی تولید شده در این کشورها را مصرف می‌کند که اغلب آن برای گرم کردن یا خنک کردن ساختمان است. مصرف انرژی معمولاً در منازل برای موارد ذیل است:

- گرم کردن و خنک کردن خانه (بستگی به شرایط آب و هوایی منطقه دارد)،
- روشنایی، استفاده از وسایل خانگی.

برای کم کردن مصرف انرژی یا صرفه‌جویی در مصرف آن می‌توان از روش‌های پیشنهادی متخصصان استفاده کرد:

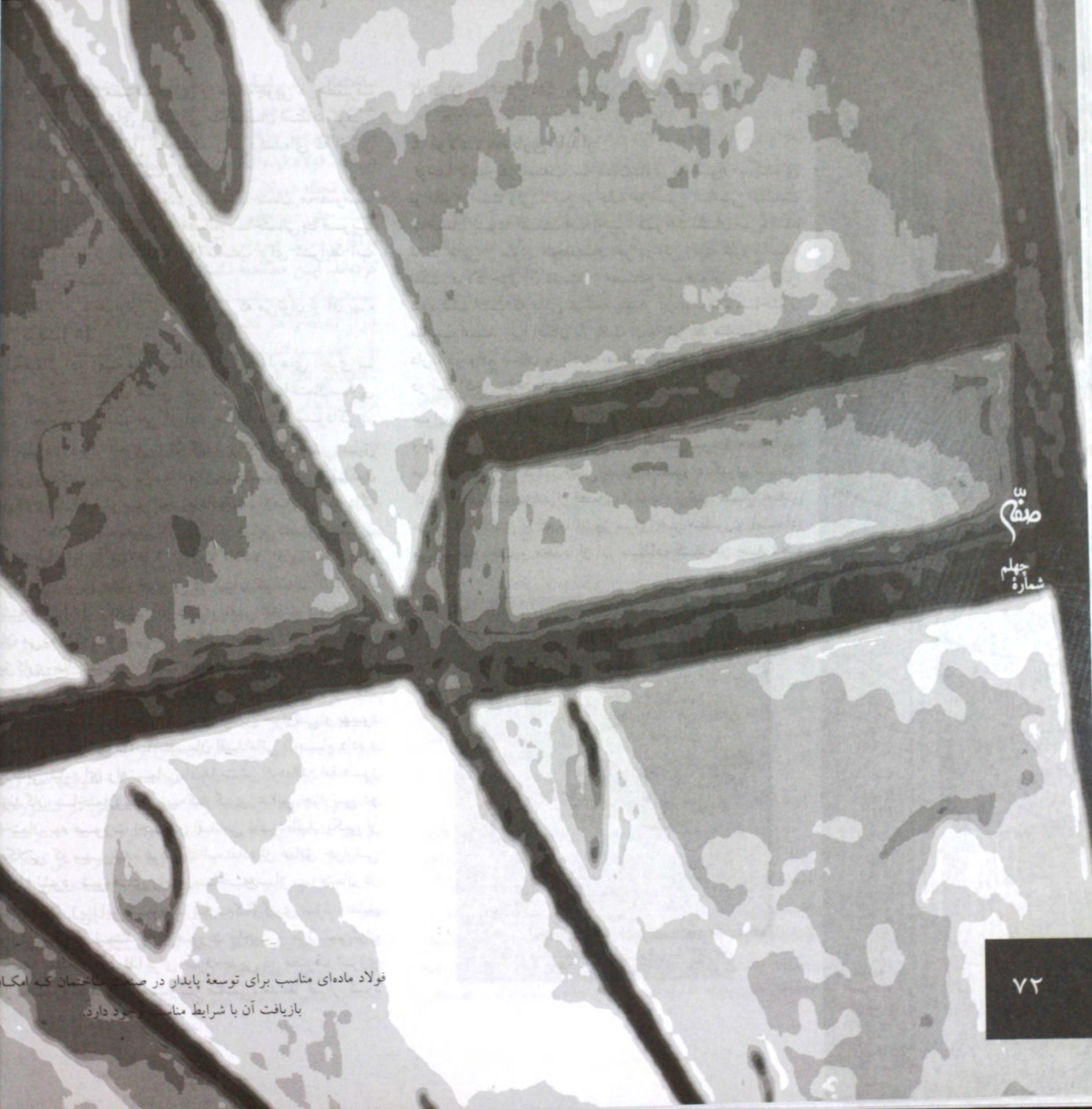
- به کارگیری وسایل گرم‌کننده و سردکننده‌ای که انرژی کمتری مصرف می‌کنند،
- قبول یا رعایت مقررات ساختمان، مخصوصاً عایق‌کاری و استفاده از مصالح ساختمانی با ضریب انتقال حرارتی (U-value) مناسب برای شرایط آب و هوایی منطقه،
- ایجاد جرم حرارتی برای مواقعی که می‌توان از آن بهره گرفت[۵].

تحقیقاتی در زمینهٔ میزان U-value دیوارهای آجری با عایق حرارتی و بدون عایق حرارتی در ساختمان‌سازی کشور انجام شده است. این آزمایش‌ها را دکتر سوداگر در ۲۲۰ میلی‌متر دیوار آجری با کارگذاری ۱۷ میلی‌متر عایق حرارتی و دکتر ریاضی با استفاده از ضخامت‌های گوناگون عایق‌کاری تا ۷۲ میلی‌متر انجام داده‌اند. آزمایش سوداگر نشان می‌دهد که ضخامت ۱۷ میلی‌متر عایق‌کاری میزان U-value را از ۲/۲۶ w/m^2k به ۱/۱۳ w/m^2k تقلیل داده و محل قرارگیری عایق حرارتی در میزان کم شدن آن تأثیری نداشته است[۸]. آزمایشی که دکتر ریاضی انجام داده است نشان می‌دهد که ۵۰ میلی‌متر عایق، ضخامت بهینه برای عایق‌کاری ساختمان در حالت معمول است. دست‌اندرکاران صنعت ساختمان در کشور، جهت تشویق سازندگان ساختمان برای به‌کارگیری عایق حرارتی و بهبود مصرف انرژی در ساختمان اقداماتی انجام داده و اطلاعاتی نیز برای راهنمایی آن‌ها منتشر کرده‌اند؛ اما هنوز سازندگان ساختمان برای به‌کارگیری عایق حرارتی در ساختمان به صورت اجباری اقدامی نکرده‌اند. یکی از مشکلاتی که سبب شده فرهنگ استفاده از عایق حرارتی متداول نشود، شیوه‌های رایج ساخت‌وساز ساختمان در کشور است، زیرا این شیوه‌ها با به‌کارگیری مؤثر عایق حرارتی سازگار نیستند یا به صورت راحت و مؤثر نمی‌توان از آن‌ها استفاده کرد. لذا برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی نیاز است روش‌های ساخت‌وساز مناسبی، مدنظر قرار گیرد که بتوان به راحتی عایق حرارتی را به‌کارگرفت.[۹]

٤. فولاد و معماری پایدار

توسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان‌سازی به عنوان پدیده‌ای نو مطرح است ولی تا این مرحله موضوع اساسی صنعت ساختمان نبوده است، اما اخیراً شواهد نشان می‌دهد، تلاش‌هایی از سوی متخصصان امر در این زمینه شروع شده است. فولاد جزو آن دسته از مصالح ساختمانی تشخیص داده شده است که برای توسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان مناسب است، زیرا امکان بازیافت آن با شرایط مناسب وجود دارد، در واقع امکان بازیافت مصالح ساختمانی به کار رفته در استراکچر ساختمان نیز مهیا می‌شود و می‌توان چنین عنوان کرد که ساختمانی را که ما امروز می‌سازیم این امکان وجود دارد که بتوان مصالح آن را بازیافت نمود و مجدداً به مواد اولیه تبدیل کرده، حتی برای منظور دیگری نیز به کاربرد (استفادهٔ مجدد از قطعات)، بدین ترتیب نسل بعدی می‌تواند فولادی را که ما امروز برای هر منظوری استفاده می‌کنیم بازیافت و مجدداً از آن استفاده کند. در چند دههٔ

شکل ٤. ورق فولادی تولیدی درشرکت مبارکه



فولاد ماده‌ای مناسب برای توسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان که امکا
بازیافت آن با شرایط مناسب وجود دارد.

گذشته فولاد یکی از مهم‌ترین مصالح ساختمانی در ساخت‌وسازهای شهری بوده و با استفاده از دو روش ساختمان‌سازی باربر و غیرباربر استفاده شده است. قطعات این نوع ساختمان‌ها در درجهٔ اول قابل بازکردن است و در بعضی از مواقع به راحتی می‌توان از آن‌ها به همان شکل استفاده کرد. حتی در صورت نبود امکان به کارگیری مجدد قطعات، فولاد را جزو موادی می‌دانند که چندین بار می‌توان آن را بازیافت کرد بدون اینکه کیفیت مواد آن کاهش یابد.

مطالعات نشان می‌دهد در چند دههٔ اخیر متخصصان موفق شده‌اند تحولی اساسی در کاربری فولاد به وجود آورند. در واقع استفاده از فولاد به صرفه‌تر و کارآمدتر شده است، برای مثال آن‌ها توانسته‌اند ماشینی طراحی کنند که نسبت به سال ۱۹۶۰ فولاد به کار رفته را ۵۰ درصد کمتر و قوطی حلبی را ۳۰ درصد سبک‌ترکند. در واقع کارخانجات تولیدکنندهٔ فولاد، آلیاژ آن را بهبود و به نوعی قابلیت آن را افزایش داده‌اند. آن‌ها همچنین پیش‌بینی کرده‌اند که میزان فولاد مورد نیاز در ساختمان ۲۰ تا ۳۰ درصد نسبت به ساختمان‌های امروزی کمتر خواهد شد. در واقع فولاد از نظر به‌کارگیری (رشد و گسترش) و بهبود کیفی معماری پایدار، همسو با توسعهٔ پایدار قرار گرفته است. به طور خلاصه فولاد قابلیت بازیافت ۱۰۰ درصد با حفظ کیفیت اولیه را دارد و در حال حاضر به طور متوسط ۲۸ درصد از فولاد موجود در بازار از فولاد بازیافت شده است. بنابراین استفاده از مواد اولیه به حداقل می‌رسد و در واقع ذخیره‌ای برای نسل آینده خواهد بود. این حرکت باعث پر نشدن زمین از نخاله‌های ساختمانی و از بین نرفتن زمین‌های کشاورزی نیز خواهد بود. طبق آمار هر سال حدود ۵۰۰ میلیون تن فولاد (این برابر است با بازیافت ۱۵۰ مرتبه آهن به کار رفته در برج ایفل یا ۱/۲ میلیون ماشین در هر روز) در جهان بازیافت می‌شود که بیشتر از هر مصالح دیگر حتی کاغذ، آلومینیوم، شیشه و پلاستیک است. مهم‌ترین عامل برای این کار را پیشرفت در فن‌آوری تولید فولاد و بازیافت آن می‌دانند، زیرا مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید و بازیافت آن نسبت به سال‌های قبل کمترشده است[۱۰].

شکل ۵. سقف‌زنی در سیستم ساختمانی 3D

شکل ٦. بتن‌پاشی روی دیوار در سیستم ساختمانی 3D

سیستم‌های ساختمانی و توسعهٔ پایدار

در دهه‌های اخیر سیستم‌های ساختمانی با مدنظر قرار دادن حل مشکل محیط زیست در کشورهای گوناگون شکل گرفته، یا بخش‌هایی از سیستم‌های رایج به نوعی تغییر یافته است که در جهت توسعهٔ پایدار صنعت ساختمان برای حل مشکلات زیست‌محیطی باشد. از این نوع سیستم‌ها سیستم‌های ساختمانی 3D و سیستم ساختمانی قاب فلزی سبک را می‌توان نام برد. سیستم ساختمانی 3D با استفاده از شبکه‌های فولادی بافته شده در دو طرف ورق پلی استایرین برای نگهداری بتن پاشیده شده (شاتکریت) انجام می‌شود که در واقع به شکل سیستم پانلی بار ساختمان را انتقال می‌دهد. سقف این سیستم نیز به صورت پانلی است که دو طرفش شبکهٔ مش و وسط پلی استایرین اجرا می‌شود(شکل‌های ۵ و ٦). لازم است یادآوری شود این سیستم با توجه به مصرف کم فولاد در این مقاله به مثابهٔ سیستم جدید ساختمانی نیمه‌صنعتی در این حد معرفی شده است.

مهم‌ترین مصالح ساختمانی در سیستم ساختمانی قاب فلزی سبک، درست برعکس سیستم ساختمانی 3D فولاد است (هم برای المان‌های باربر و هم پرکنندهٔ دیوارها). لذا با توجه به معرفی آنچه دربارهٔ نقش فولاد در معماری پایدار بیان شد سیستم قاب فلزی سبک را به طور کامل‌تری جهت آشنایی با مشخصات (پتانسیل‌ها و محاسن) سیستم بررسی و مطالعه می‌کنیم.

سیستم ساختمانی قاب فلزی سبک

الف) تاریخچه

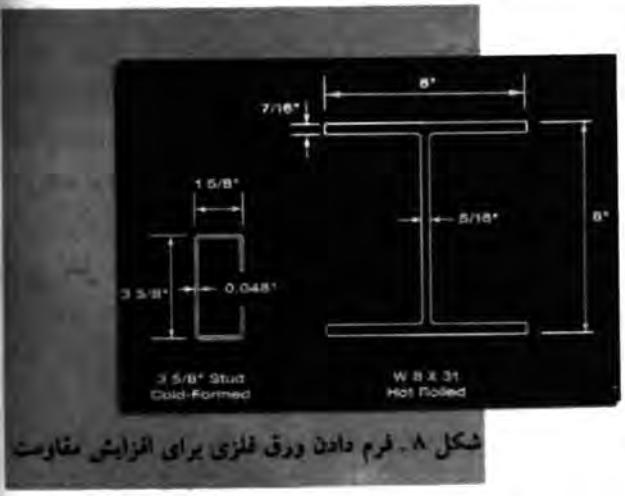
قابلیت‌های فولاد (پایداری و سازگاری) برای ساخت ساختمان با توجه به کاربرد بیش از صد سالهٔ آن در شهرها و نیز کاربردهای دیگر آن درساخت وسایل منزل به اثبات رسیده است. یکی از روش‌های معمول ساختمان‌سازی با استفاده از فولاد، سیستم اسکلت فلزی است که قطعات اصلی آن از گروه فلزات گرم یا ساخته شده از ورق‌های فلزی است. روش دیگری که کمتر معمول است اما رواج سریعی پیدا کرده است قطعات ساخته شده از ورق‌های فولادی شکل داده

شکل ۷. شیوهٔ به کارگیری ورق فرم داده شده

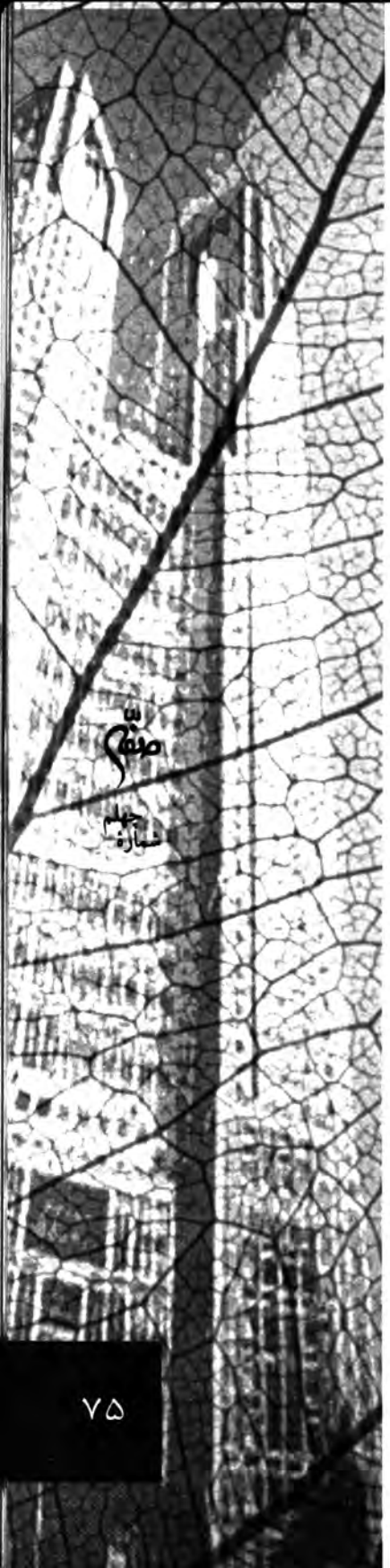
شده در حالت سرد CFS (Cold Formed Steel) است. در چند دههٔ گذشته این نوع قطعات به صورت المان‌های ثانویه در ساختمان‌سازی (تیرریزی Z شکل و قاب‌بندی برای دیوارهای پرده‌ای) و اغلب در ساختمان‌های تجاری به‌کارگرفته می‌شد[۱۱]. اما به دلیل مسائل مربوط به محیط زیست و توسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان و اقتصادی کردن ساختمان‌سازی، استفاده از این نوع قطعات توسعه یافت، به طوری که خانه‌سازان نیز برای ساخت واحدهای مسکونی به شکل تک‌سازی یا در چند طبقه به شکل پیش‌ساخته و تولید صنعتی ازآن استفاده می‌کنند. استفاده از قطعات CFS در UK و US مخصوصاً در ۱۰ سال گذشته رشد فراوانی داشته است.

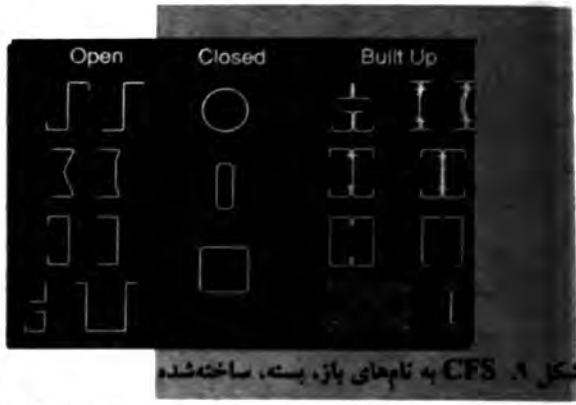
ب) مشخصات فنی سیستم

قطعات فولادی CFS از فولاد گالوانیزه و یا ضد زنگ ساخته می‌شود. از مشخصات بارز آن‌ها می‌توان به سختی بالای قطعات نسبت به وزن آن‌ها (شکل ۸) اشاره کرد. فرق بین قطعات ساخته شده از فولاد گرم در مقایسه با فولاد سرد، تنوع قطعات ساخته شده از فولاد فرم داده شده در حالت سرد نسبت به فولاد گرم است که این نوع قطعات را قطعات باز، بسته و ساخته‌شده می‌نامند (شکل ۹). قطعات فلزی CFS با ضخامت‌های گوناگون (بین ۰/۵ میلی متر و ۸ میلی‌متر) با استفاده از شیوه‌های مختلف از جمله فرم دادن رولی، پرس کردن ورق‌های فلزی فرم داده می‌شود. عیار فولاد به‌کار رفته در این نوع قطعات فلزی ۳۵۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع در مقایسه با ۲۴۰ نیوتن بر میلی‌متر مربع برای قطعات فولاد گرم است که هزینهٔ اضافی برای عیار بالای به‌کار رفته دراین سیستم به دلیل تقلیل مصرف فولاد در ساختمان قابل چشم پوشی است. این قطعات پتانسیل مناسبی برای معماران و مهندسان فراهم می‌کند که دقیقاً قطعهٔ مورد نظر خود را براساس محاسبهٔ دقیق انتخاب کنند. فلزهای ورقی شکل (CFS) معمولاً در عرض ۱/۵ متر در کارخانجات ذوب آهن تولید و در کارخانجات مخصوص دیگری فرم داده می‌شود و به اشکال گوناگون در می‌آید. اندازهٔ قطعات در جان معمولاً بین ۵۰ تا ۳۰۰ میلی‌متر است.



شکل ۸. فرم دادن ورق فلزی برای افزایش مقاومت



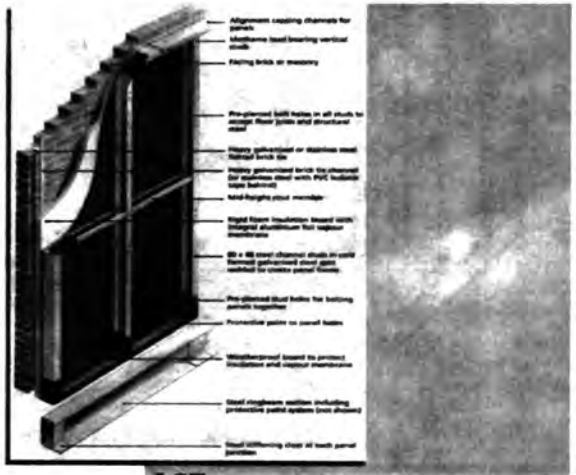


شکل ۹. CFS به نام‌های باز، بسته، ساخته‌شده

قطعات اصلی سیستم عبارتند از استادها (Studs)، رانرها (Runner)، Tracks و تیرچه‌ها(Joists) که با استفاده از سه روش مختلف می‌توان قطعات سیستم LSF را تصال داد: سیستم اتصال درجا که از طریق اتصال قطعات فوق در کارگاه ساختمان ساخته می‌شود (شکل ۱۱)، سیستم پانلی که پانل‌ها در کارخانه تهیه (پیش ساخته شده) و در کارگاه ساختمان را برپا می‌کنند و دیگری سیستم کانکسی (جعبه‌ایModular System) که کل قطعات سیستم در کارخانه نصب شده و به صورت آماده به کارگاه حمل و در محل مورد نظر نصب می‌شود (شکل ۱۲). المان‌های اصلی دیوارهای خارجی و داخلی سیستم از استادها و رانرها تشکیل می‌شود که این قطعات با استفاده از عایق حرارتی، پانل‌های گچی و نماسازی پوشش داده می‌شوند. اصولاً دیوارهای خارجی برای بارهای عمودی و افقی طراحی شده‌اند و دیوارهای غیر باربر برای جداسازی فضاها مورد استفاده قرار می‌گیرند. اتصالات سیستم اغلب به‌صورت پیچ‌ومهره و در حالات خاصی پرچ و جوش است.

برای کف‌سازی، در سیستم ساختمانی LSF از قطعات فولادی C شکل در حکم تیرچه‌ای که از قطعات CFS همراه با ورق فولادی فرم داده شده جهت قالب‌بندی با پنج سانتی‌متر بتن برای پوشش فرم استفاده می‌شود و به نام سقف‌سازی مرکب(Composite or Decking) معروف است. سیستم دیگر برای پوشش تیرریزی‌ها با استفاده از چوب و نئوپان است که بیشتر در اروپا و امریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

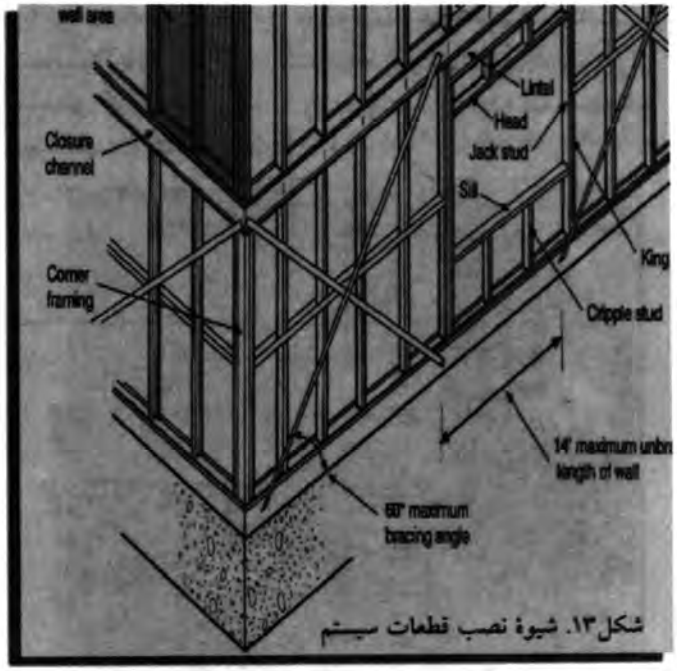
یکی از مزایای مهم سیستم LSF، داشتن پتانسیل تطبیق با انواع نماسازی‌های رایج درکشورهای گوناگون است. نماسازی‌های معمول در کشور آجرکاری، سیمان‌کاری، دیوار پرده‌ای از فلز ورقی شکل و نمای سنگی است که همه با این سیستم قابل اجراست[۱۲].



شکل ۱۰. شیوه ساخت دیوار در سیستم LSF

شکل ۱۱. سیستم LSF درجا

شکل ۱۲. سیستم کانکسی LSF



شکل۱۳. شیوهٔ نصب قطعات سیستم

ج) مزایای زیست‌محیطی و توسعهٔ پایدار سیستم

همسازی زیست‌محیطی سیستم ساختمانی LSF برای ساختمان‌سازی از منطقه‌ای به منطقه دیگر متفاوت گزارش شده است. در واقع این همسازی وابسته به اهداف و خواست سازنده است زیرا ممکن است در منطقه‌ای بهبود کیفیت ساخت مدنظر باشد، و در جای دیگر تأکید بر سرعت اجرای سیستم باشد، یا ممکن است مقاومت در برابر زلزله مورد نظر باشد یا زیاد کردن سود سرمایه گذار (بهبود بخشیدن به جریان پول). سرعت بالای ساختمان‌سازی با استفاده از سیستم قاب فلزی سبک جایگزین مناسبی برای حل کمبود منابع کارگری مثل جوشکار، آجرکار و گچکار باشد. سبکی قطعات سیستم توجیه اقتصادی نیز دارد زیرا حمل و نقل قطعات توسط کارگران بدون استفاده از ماشین‌آلات سنگین امکان پذیر می‌شود. قطعات مورد نیاز (استادها، رانرها، پشم شیشه و پانل) را می‌توان براساس ابعاد و اندازه‌ها و مقدار مورد نیاز سفارش داد و این کار سبب کاهش ضایعات ساختمانی و اشغال جا در کارگاه می‌شود[۱۳].

فولاد ذاتاً مادهٔ مناسبی برای شکل‌پذیری در مقابل نیروهای وارده است و مقاومت زیادی نسبت به وزنش دارد. در واقع سختی زیاد و مقاومت در برابر بارهای غیرمنتظره از ویژگی‌های آن است. از آنجا که اغلب نقاط کشور، با خطرات طبیعی از جمله خطر زلزله مواجه است و وزن ساختمان‌های ساخته شده با استفاده از سیستم ساختمانی LSF حدود ۱۵۰ کیلوگرم بر مترمربع (چیزی که $\frac{1}{6}$ وزن ساختمان‌های ساخته شده با بتن درجا برآورد شده است)، لذا سبکی سیستم و استفاده از شیوهٔ ساخت مناسب سبب پابرجا ماندن ساختمان در برابر زلزله می‌شود و این یعنی ضایعات کمتر، عمر طولانی‌تر و هدررفتن کمتر مصالح ساختمانی درصنعت ساختمان‌سازی. سبکی وزن قطعات غیر از حمل‌ونقل راحت سبب استفادهٔ کمتر از مواد خام می‌شود. همچنین جاهایی که شرایط خاک سست است. می‌توان سیستم را بدون ساخت پی گرانقیمت بنا کرد. به طور خلاصه مهم‌ترین مزایای سیستم را می‌توان با جمع‌بندی موارد فوق در چند بند به شرح ذیل عنوان کرد:

- سرعت بالای ساخت‌وساز،
- مقاومت مناسب سیستم در مقابل زلزله،
- استفاده از اتصالات پیچ و مهره،
- حداقل هزینهٔ ساخت،
- امکان استفاده مجدد از فولاد به کار رفته،
- افزایش عمر مفید ساختمان،
- صرفه‌جویی در مصرف انرژی،
- مناسب بودن برای اقلیم‌های خشک و مرطوب به دلیل استفاده از ورق‌های ضدزنگ،
- تولید صنعتی و پیش‌ساختهٔ ساختمان[۱۴].

لذا بهبود کیفیت ساخت‌وساز ساختمان با استفاده از سیستم(LSF) ، در مقایسه با سیستم‌های سنتی، می‌تواند موجب طولانی شدن قابل توجه عمر مفید ساختمان‌های ساخته شده شود.

د) هزینه‌های ساخت

هزینهٔ ساخت مناسب سیستم، یکی دیگر از مزایای زیست محیطی آن در کشورهای گوناگون است. به‌طور مثال،

مؤسسه SCI (Steel Construction Institute) در انگلستان اعلام کرده است که با استفاده از سیستم ساختمانی LSF، با همان مقدار سرمایه می‌توان ۵۰ درصد بیشتر از سیستم‌های سنتی، ساختمان ساخت، یا در سرمایه‌گذاری برای تولید انبوه ساختمان، در مقایسه با سیستم‌های رایج، ۳۹ درصد سرمایهٔ کمتری مورد نیاز است. همان مؤسسه در گزارش دیگری عنوان کرده است که در مقایسه با سیستم‌های رایج ساختمان‌سازی، با سیستم LSF ۲۰۰۰ پوند کمتر (برای ۱۳۳ مترمربع خانه) مورد نیاز است. در امریکا نیز شبیه این نتایج اعلام شده است، یک بررسی در سال ۱۹۹۷ نشان می‌دهد برای ساخت ۲۵۰ مترمربع خانهٔ چوبی ۲۰۰۰ دلار هزینهٔ بیشتری در مقایسه با سیستم ساختمانی LSF مورد نیاز است.

ه) سیستم LSF و مصرف انرژی

سیستم ساختمانی LSF می‌تواند به طور مناسبی با عایق حرارتی ترکیب شود و به بهترین شرایط اجرا نسبت به سیستم‌های سنتی ساختمان‌سازی برسد. البته می‌توان با اضافه کردن ضخامت عایق حرارتی در دیوارهای خارجی به حد مطلوب U-value دست یافت. در واقع به کارگیری عایق حرارتی در این سیستم ساختمانی بدون تمهیدات خاص یکی دیگر از مهم‌ترین مزایای زیست‌محیطی بودن سیستم است. براساس مطالعات و بررسی در این سیستم دیوارها و سقف‌ها معمولاً با استفاده از پشم شیشه عایق حرارتی می‌شود و به U-value مناسب دست می‌یابد برای نمونه با استفاده از ۳۵ میلی‌متر عایق توانسته‌اند به U-value حدود w/m^2k ۰/۳۷دست یابند. همچنین با استفاده از ۵۰ میلی‌متر عایق این رقم به w/m^2k ۰/۲۸ رسیده است. بررسی هزینهٔ گرمایی در این نوع ساختمان‌ها نشان می‌دهد کارگذاری عایق حرارتی سبب کم شدن ۴۸ درصد هزینهٔ گرمایی ساختمان می‌شود. این اطلاعات براساس نمونهٔ ساختمان خوابگاه دانشجویان در دانشگاه آکسفورد به دست آمده که با استفاده از سیستم LSF ساخته شده است.

شکل ۱۴. نمونه‌ای از ساختمان با استفاده از سیستم LSF

شکل ۱۵. شیوهٔ نصب دیوار پانلی در سیستم LSF

شکل ۱۶. ابزارآلات مورد نیاز برای نصب قطعات سیستم LSF

و) بازیافت مصالح ساختمانی

استفاده از سیستم ساختمانی LSF مزایای دیگری نیز به همراه دارد. مواد اصلی این سیستم (فولاد) جزو چهارمین مواد معدنی غنی در جهان است و معادن آن معمولاً در مناطق کویری قرار گرفته است. پیشرفت فن‌آوری باعث شده است تولید و بازیافت فولاد مؤثرتر و کارآمدتر شود. بر اساس مطالعاتی در کشور امریکا، برای ۲۰۰ مترمربع خانهٔ چوبی ٤٠ تا ٥٠ درخت مورد نیاز است، درصورتی که همان خانه را با استفاده از سیستم LSF فقط با شش ماشین قراضه می‌توان ساخت، و در صورت تمام شدن عمر مفید ساختمان می‌توان فولاد به‌کار رفته را بازیافت و برای ساخت شش اتومبیل نو استفاده کرد. پشم شیشه - یکی دیگر از مصالح اصلی سیستم - نیز قابل بازیافت است به طوری که ۷۵ درصد از پشم شیشه موجود در بازار از مواد بازیافت شده است. پانل گچی نیز قابل بازیافت است، زیرا مطالعات نشان داده است پانل‌های گچی موجود در بازار نیز از صفر تا ۱۰ درصد از گچ بازیافت شده تولید می‌شوند.

ز) مزایای اجرایی LSF

از دیگر مزایای زیست‌محیطی سیستم ساختمانی LSF در مرحلهٔ ساخت‌وساز است. این مزایا را می‌توان به طور خلاصه به شرح ذیل ارائه کرد:

- قطعات ساختمان قابلیت آماده‌سازی در خارج از کارگاه را دارد و می‌توان آن را پیش‌سازی کرد،
- قطعات فولاد در محیط قابل کنترل از نظر فنی به شکل پیش‌ساخته آماده می‌شود،
- کنترل آن با افراد متخصص در شرایط مطلوب امکان‌پذیر است،
- کارگاه ساختمانی تمیز، خشک و بدون گرد و غبار است،
- زمان کمتری برای برپا کردن بنا مورد نیاز است،
- محل کمتری برای انبار کردن در کارگاه مورد نیاز است، چرا که قطعات در زمان مورد نیاز برای برپا کردن به کارگاه حمل می‌شود،
- ضایعات در کارگاه کمتر است، در واقع فولاد در کارگاه هدر نمی‌شود، در نتیجه نیاز به حمل و نقل برای خارج کردن ضایعات از کارگاه به حداقل می‌رسد[١٦].

نتیجه‌گیری

با توجه به فن‌آوری جدید در تولید مصالح ساختمانی، تنوع این مصالح و نیز دانش ساخت‌وساز ساختمان به اتکای ابزارهای نوین مهندسی گسترش زیادی یافته و می‌یابد بهره‌گیری مناسب از مشخصات فنی و مهندسی مصالح ساختمان در هنگام انتخاب آن‌ها و استفاده از روش ساخت مناسب جهت اجرای جزئیات ساختمان سبب بهبود کیفیت ساخت‌وساز، بازیافت مصالح ساختمانی، کاهش هزینه‌های نگهداری ساختمان، مصرف حداقل انرژی و افزایش عمر مفید بنا و درواقع زیست‌محیطی کردن فعالیت‌های ساخت‌وساز خواهد شد. به‌کارگیری این روش یعنی استفادهٔ بهینه از مصالح ساختمانی و اعمال روش‌های نوین مهندسی در صنعت ساختمان‌سازی برای تولید صنعتی ساختمان کمک زیادی برای دست‌یابی به اهداف کمّی، کیفی، محیط زیست و توسعهٔ پایدار در صنعت ساختمان‌سازی کشور خواهد کرد. سیستم ساختمانی LSF با برخورداری از مزایایی چون زیست‌محیطی بودن و فعالیت در زمینهٔ معماری پایدار مورد استقبال کشورهای پیشرفته قرار گرفته است. با توجه به پتانسیل خوب و مناسب کشور برای به‌کارگیری سیستم قاب فلزی سبک، که در واقع شکل پیشرفتهٔ سیستم اسکلت فلزی رایج در کشور است، به راحتی می‌توان با به‌کارگیری آن به اهداف تعیین شده در معیارهای زیست‌محیطی و توسعهٔ پایدار رسید و صنعت ساختمان‌سازی کشور را متحول کرد.

منابع

1. Sjöstöm, S "Approaches to Sustainability in building Construction", Steel in Sustainable Construction, Conference Proceeding, 2002.
2. British Steel, "Ecobuild in Steel" ,1995.
3. Swedish Institute of Steel Construction (SBI), "Constructional steel and the environment", http:/www.sbi.se/envir2.htm, 1997.
4. International Iron and Steel Institute (IISI), "Steel in Housing, International Seminar", 1995.
5. Fallah, M.H., "The potential use of lightweight steel framing for residential building construction in Iran" Ph.D. Thesis, University of Sheffield, 2001.
6. Arbabian, H., "Changes in building construction in an earthquake country", Ph.D. Thesis, University of Manchester, 1997.
7. Fallah, M.H., "Application of lightweight steel framing (LSF) for the provision of low-cost housing in Iran" Postgraduate research student poster competition, The University of Leeds 11th may 2000.
8. Sodagar, B., "An investigation into the thermal performance of housing in the hot dry climate of Iran", Ph.D Dissertation, the Building Science Section, School of Architecture, University of Newcastle Upon Tyne, February 1991.

۹. ریاضی، جمشید.، "اتلاف حرارت و میعان در ساختمان‌های متداول" ،مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، شمارهٔ انتشارات ۱۲۷، ۱۳۶۹.

10. Scharff, R., "Residential Steel Framing Handbook", Walls & Ceilings Magazine, 1996.
11. Yu, W.W., "Cold-formed steel structures (design analysis construction)", 1973.
12. Hacker H. John and Gorges A. Julie, "Residential steel design and construction (Energy efficiency cost savings code complacence)", 1997.

۱۳. فلاح، محمد حسن، وطنی اسکوئی، اصغر، "قاب سبک فلزی و افزایش بهره‌وری در صنعت ساختمان" ، ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، اردیبهشت ۱۳۸۲.

14. Fallah, M.H., "Innovation in steel for construction residential in Iran", 7th Iranian Students Seminar in Europe, UMIST, Manchester, UK 20-21 May 2000.

۱۵. فلاح، محمد حسن، مفیدی شمیرانی، سید مجید، "نقش سیستم قاب سبک فلزی (LSF) در کاهش مصرف انرژی"، دومین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان، مرکز همایش‌های بین‌المللی صدا و سیما، ٦ و ٧ اسفند ماه ۱۳۸۱.

۱٦. فلاح، محمد حسن، وطنی اسکوئی، اصغر، "امکان‌سنجی سیستم قاب سبک فلزی (LSF) در صنعت ساختمان"، نهمین همایش توسعهٔ مسکن، سازمان ملی زمین و مسکن، تهران، مهر ماه ۱۳۸۱.