

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن



جمهوری اسلامی ایران
وزارت مسکن و شهرسازی

مطالعه و بررسی سیستم ساختمانی سبک فولادی (LSF)

پژوهشگران (به ترتیب حروف الفبا):

دکتر همایون اربابیان (عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران)
مهندس سعید بختیاری (عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

دکتر فرشید خالقیان

مهندس مرتضی خرمی

دکتر نادر خواجه احمد عطاری (عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

دکتر محمدرضا عدل پرور (عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت ایران)

دکتر محمدحسن فلاح (عضو هیئت علمی دانشگاه شیراز)

مهندس مسعود قاسم‌زاده (عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

دکتر بهروز محمدکاری (عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن)

دکتر کاظم معمارضیاء (عضو هیئت علمی دانشگاه شیراز)

محمدجعفر هدایتی

تدوین: دکتر محمدحسن فلاح

گزارش تحقیقاتی

شماره نشر: گ - ۵۸۱

چاپ اول: ۱۳۹۰

عنوان و نام پدیدآور	مطالعه و بررسی سیستم ساختمانی سبک فولادی (LSF) / پژوهشگران همایون اربابیان ... [و دیگران]؛ تدوین محمدحسن فلاح.
مشخصات نشر	تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	۲۹۶ص: جدول، نمودار.
شابک	978-600-113-060-1
وضعیت فهرست‌نویسی	فیبیا
یادداشت	پژوهشگران همایون اربابیان، سعید بختیاری، فرتید خالقیان، مرتضی خرمی، نادر خواجه‌احمد عطاری، محمدرضا عدل‌پرو، محمدحسن فلاح ...
موضوع	ساختمان سازی سبک.
موضوع	فولاد ساختمانی - ایران
موضوع	ساختمان سازی یا فولاد پیش‌تند - ایران
موضوع	ساختمان سازی - ایران
شناسه افزوده	اربابیان، همایون، ۱۳۳۷-
شناسه افزوده	فلاح، محمدحسن
شناسه افزوده	مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
رده‌بندی کنگره	۱۳۹۰ م/۶۴/۸۶۶۳ T
رده‌بندی دیوپی	۶۲۴/۱
شماره کتابشناسی ملی	۲۳۲۵۳۵۵

مصوبه شماره ۹/۵۲۴/۹۰ چاپ کتاب، شورای علمی انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

مطالعه و بررسی سیستم ساختمانی سبک فولادی (LSF)

پژوهشگران (به ترتیب حروف الفبا): دکتر همایون اربابیان، مهندس سعید بختیاری، دکتر فرتید خالقیان، مهندس مرتضی خرمی، دکتر نادر خواجه‌احمد عطاری، دکتر محمدرضا عدل‌پرو، دکتر محمدحسن فلاح، مهندس مسعود قاسمی‌زاده، دکتر بهروز محمدکاری، دکتر کاظم معمارضیاء، محمدجعفر هدایتی تدوین: دکتر محمدحسن فلاح

شماره نشر: گ - ۵۸۱ چاپ اول: ۱۳۹۰
ناشر: انتشارات مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
تنظیم برای چاپ: نسرين مقدس
شمارگان: ۳۰۰ نسخه

بها: ۴۰۰۰۰ ریال

لیتوگرافی، چاپ و صحافی: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن
مسئولیت صحت دیدگاه‌های علمی بر عهده نگارندگان محترم می‌باشد.
کلیه حقوق چاپ و انتشار اثر به ناشر تعلق دارد.

نشانی: تهران، بزرگراه شیخ فضل ...، نوری، خیابان پاس فرهنگیان، خیابان ارشاد، خیابان سوم، صندوق پستی: ۱۳۱۴۵-۱۶۹۶
تلفن: ۸۸۲۵۵۹۴۲-۶ دورنگار: ۸۸۲۵۵۹۴۱

صفحه الکترونیکی: <http://www.bhrc.ac.ir>

president@bhrc.ac.ir

ISBN: 978-600-113-060-1

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۱۱۳-۰۶۰-۱

پیشگفتار

رشد سریع جمعیت جهان در چند دهه اخیر موجب افزایش نیازهای روزمره جوامع و عاملی در جهت برداشت بیش از حد از منابع محدود شناخته شده در طبیعت گردیده است. از طرف دیگر تبدیل این منابع طبیعی به محصولات مصرفی، عامل اساسی برای ایجاد آلودگی‌های نگران‌کننده محیط زیست در جهان شده است. بررسی شرایط فعلی محیط زیست نشان می‌دهد که در صورت تداوم این روند، جهان شاهد بحرانهای نگران‌کننده زیست‌محیطی خواهد شد. شرایط بحرانی گرم شدن کره زمین که یکی از تبعات فعالیت‌های بیش‌از ظرفیت محیط زیست می‌باشد، سبب نگرانی‌هایی در بین متخصصان امر برای ادامه حیات بشریت در این کره خاکی گردیده است. از سال‌های دهه هفتاد این موضوع در مجامع علمی بین‌المللی در تمام تخصص‌ها با حساسیت بیشتری مورد بحث و بررسی قرار گرفته است، به طوری که منجر به صدور بیانیه‌های متعدد جهانی گردیده است. آنها این تلاش‌ها را در قالب ملاحظات زیست‌محیطی برای دستیابی به توسعه پایدار در تمام تخصص‌ها مطرح می‌نمایند. این توجهات را آنها تلاشی برای ادامه حیات بشر در کره زمین و سلامت محیط زیست برای نسل حاضر قلمداد می‌کنند. در واقع آنها معتقدند با این تلاش‌ها ما می‌توانیم شرایط زندگی نسل حاضر را ارتقاء داده و همچنین امیدوار باشیم که نسل‌های آینده ما خواهند توانست در این کره خاکی ادامه حیات داده و یا مشکلات کنونی برای ادامه حیات خود خواهند داشت. متخصصان امر معتقدند، یکی از فعالیت‌های تأثیرگذار در تغییرات و آلودگی‌های محیطی، فعالیت‌های ساخت‌وساز ساختمان است. زیرا این صنعت حدوداً ۴۰٪ از منابع طبیعی و انرژی تولیدی را مصرف می‌کند. بر این اساس کشورهای توسعه‌یافته در تلاش هستند تا میزان مصرف منابع طبیعی و انرژی را در این صنعت تحت کنترل در آورند تا فعالیت‌های این صنعت نیز در راستای اهداف توسعه پایدار (تفکر و اندیشه پایداری) قرار گیرند. تفکر و اندیشه پایداری از سال ۱۹۹۰ به طور جدی مورد توجه خاص متخصصان و مسئولان امر ساخت‌وساز ساختمان در کشورهای توسعه‌یافته قرار گرفت. نتیجه توجهات فوق منجر به گسترش به کارگیری قطعات فولادی به نام Cold Formed Steel (CFS) (ورق‌های فولادی گالوانیزه سرد نوردشده) در قالب سیستم ساختمانی سبک فولادی (Lightweight Steel Framing (LSF) گردید. این سیستم ساختمانی مستلزم به کارگیری تکنیک‌های خاص تولید مصالح ساختمانی و ساخت‌وساز ساختمان برای دستیابی مطمئن و کامل به محسنات ذکر شده در مشخصات این سیستم ساختمانی می‌باشد. همچنین متخصصان کشورهای پیشرو توانسته‌اند با استفاده از قطعات فوق طرح‌های ساختمانی را به صورت ترکیبی با روش‌های رایج ساخت‌وساز ساختمان شروع نموده و گسترش دهند که با توجه به اهداف توسعه پایدار در صنعت ساختمان‌سازی قابل تأمل هستند. با توجه به مزایای بی‌شمار به کارگیری قطعات فوق در ساخت‌وساز ساختمان، به کارگیری قطعات فوق

و سیستم ساختمانی سبک فولادی به سرعت در اغلب کشورهای جهان جایگزین سیستم‌های رایج ساخت و ساز ساختمان می‌شوند. از مشخصات بارز این سیستم ساختمانی می‌توان به سبک بودن آن یعنی مصرف بهینه مصالح ساختمانی (نزدیک به یک سوم وزن سیستم‌های رایج)، امکان کنترل (بهینه‌سازی) مصرف انرژی در طراحی، ساخت، بهره‌برداری و تخریب بنا، و همچنین امکان تولید صنعتی ساختمان اشاره کرد.

از طرف دیگر، مطالعات و بررسی‌های صورت گرفته بر روی روش‌های رایج ساختمان‌سازی در کشور نشان می‌دهد این صنعت از نظر کمی و کیفی با مشکلات عدیده‌ای مواجه است. از نظر کیفی می‌توان به عدم پایداری و پایداری مناسب ساختمان‌های ساخته شده با استفاده از روش‌های رایج در برابر سوانح طبیعی (زلزله)، به کارگیری بیش از حد مصالح ساختمانی و اتلاف انرژی اشاره نمود. کمبودهای کمی موجود در بخش ساختمان‌سازی نیز به دلیل انجام عملیات ساخت و ساز در کارگاه ساختمانی و همچنین به کارگیری تعداد زیاد کارگر غیر ماهر در محل اجرای پروژه عنوان می‌شود. با توجه به مشکلات فوق و عدم اطمینان از شیوه‌های اجرایی ساختمان، مردم و مسئولان امر همیشه نگران ساختمان‌های موجود و در حال ساخت کشور (از جمله سیستم‌های اسکلت فولادی، بتنی و دیوار باربر) می‌باشند. در صورتی که مطالعات اولیه بر روی سیستم ساختمانی سبک فولادی حاکی از این است که این سیستم ساختمانی نه تنها مشکلات مطرح شده در روش‌های رایج ساخت و ساز ساختمان در کشور را ندارد بلکه می‌تواند محسنات زیست‌محیطی و اقتصادی فراوانی نیز برای این صنعت به ارمغان آورد.

با توجه به تلاش‌های جهانی برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار و شرایط حاکم بر صنعت ساختمان‌سازی کشور، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن بر اساس رسالت خود، یعنی تلاش برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار در صنعت ساختمان‌سازی کشور، اقدام به بررسی و تجزیه و تحلیل این سیستم ساختمانی نموده است. این مجموعه، حاصل این تلاش‌ها با توجه به دیدگاه‌های فوق جهت استفاده متخصصان و مسئولان امر تهیه شده است. امید می‌رود با تلاش‌های ارزنده متخصصان کشور در جهت تولید علم و یا تبیین مشخصات خاص برای شرایط ساخت و ساز ساختمان در کشور در مراکز پژوهشی و آموزشی کشور تلاش شود تا متخصصان کشور در چرخه تلاش‌های جهانی برای بهره‌برداری مناسب از این فناوری‌ها در جهت دستیابی به توسعه پایدار در صنعت ساختمان‌سازی کشور قرار گیرند و یافته‌های آنها به عنوان مرجع (کدهای قابل استناد) در منطقه و بیرون از مرزهای منطقه مورد استفاده قرار گیرد.

سید محمود فاطمی عقدا

رئیس مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

پیشگفتار پژوهشگران

به کارگیری مصالح ساختمانی مدرن در سیستم‌های رایج (روش‌های دستی) ساخت‌وساز ساختمان در کشور، یکی از مشخصه‌های بارز و مشکل‌ساز صنعت ساختمان‌سازی برای پاسخگویی به نیازهای کمی و کیفی این صنعت در کشور است. این شیوه‌های ساخت‌وساز ساختمان، سبب مشکلات فراوان زیست‌محیطی با توجه به اهداف توسعه پایدار در این صنعت می‌گردد.

فناوری‌های نوین در اغلب صنایع از جمله در صنعت ساختمان‌سازی سبب افزایش جمعیت جهان، معماری جدید، روش‌های جدید زندگی، افزایش مصرف انرژی و منابع طبیعی شده است. تحولات فوق و همچنین فعالیت‌های فوق موجب بروز مشکلات زیست‌محیطی در همه کشورهای جهان گردیده است. محققان کشور معتقدند در صورتی که با این پدیده به صورت اصولی و علمی برخورد شود، این پدیده ضمن به وجود آوردن امنیت اجتماعی، همچنین عاملی برای بهبود شرایط حاضر نیز خواهد گردید. آنها معتقدند مشکلات صنعت ساختمان‌سازی کشورمان مشابه مشکلات چند دهه اخیر کشورهای توسعه‌یافته هستند. قاعده‌تأ مشترک بودن مشکلات، اهداف مشترک و روش‌های مشابه را برای مقابله با مسائل زیست‌محیطی می‌طلبد. بر این اساس کشورهای پیشرو در این زمینه ایده‌های واحدی را برای به کارگیری فناوری‌های جدید، جهت برطرف نمودن مشکلات خود تدارک دیده‌اند و یا در حال تدارک می‌باشند. با توجه به این مسئله، متخصصان کشور می‌توانند با ملحوظ نمودن شرایط فرهنگی و امکانات صنعت ساختمان‌سازی کشور از روش‌ها و راه‌حل‌های ارائه شده جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار در این صنعت بهره‌مند شوند. در این راستا به عنوان نمونه می‌توان گرایش متخصصان امر برای استفاده از فولاد به عنوان مصالح ساختمانی پایدار در ساخت‌وساز ساختمان، که در اغلب کشورهای پیشرو متداول گردیده است، نام برد.

فولاد با دیدگاه‌ها و انتظارات فوق تا سال ۱۹۹۰، به دلیل عدم اقتصادی بودنش در بخش ساخت‌وساز مسکن، نتوانسته بود جایگاه مناسبی پیدا کند. اما در طول دهه‌های اخیر برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار، دست‌اندرکاران این صنعت به راه‌حل‌های واحدی برای به کارگیری فولاد در بخش مسکن دست یافتند. از آن جمله می‌توان از به کارگیری سیستم



ساختمانی (LSF) Lightweight Steel Framing که با استفاده از ورق‌های فولادی گالوانیزه سرد نورد شده Cold Formed Steel (CFS) شکل گرفته است، نام برد. به کارگیری این سیستم ساختمانی در کشورهای گوناگون اهداف متفاوتی داشته است. برای نمونه در کشور انگلستان و دیگر کشورهای اروپایی این سیستم ساختمانی را به دلیل کیفیت بالا در ساخت‌وساز، و سرعت بالای تولید جهت جایگزین کردن با سیستم‌های سنتی (آجری، بلوک سیمانی و سنگی) مورد توجه قرار داده‌اند. در آمریکا، کانادا، کشورهای اسکانديناوی و استرالیا این سیستم را بهترین گزینه برای جایگزین کردن با سیستم چوبی (به دلیل کمبود چوب و گرانی آن) در نظر گرفته‌اند. همچنین در ژاپن نیز تطابق آن با روش‌های ساختمان‌سازی، مقاومت بالا در برابر زلزله و کیفیت مناسب ساخت ساختمان در مقایسه با روش‌های رایج در ژاپن را دلیل اصلی برای استفاده از این سیستم ساختمانی عنوان می‌کنند. لازم به ذکر است به کارگیری قطعات فوق را متخصصان امر انقلابی در صنعت ساختمان‌سازی می‌دانند و حتی بعضی از محققان این تحولات را فناوری نانو در این صنعت عنوان می‌کنند. لذا با توجه به اهمیت موضوع و شرایط خاص کشور در امر ساخت‌وساز ساختمان ضروری است در صورت نیاز به بهره‌گیری از این روش ساخت‌وساز در کشور، بسترسازی مناسبی در جهت تدوین مدارک لازم برای رعایت اصول تعریف شده در به کارگیری آن به وجود آید تا بتوانیم به محسنات آن یعنی اهداف توسعه پایدار در صنعت ساختمان‌سازی دست یابیم.

بررسی‌های اولیه در رابطه با مشکلات و پتانسیل‌های موجود در صنعت ساختمان‌سازی کشور نشان می‌دهند که در صورت به کار بستن روش‌های تولید صنعتی ساختمان از جمله سیستم ساختمانی LSF با توجه به مزایا و ظرفیت‌های آن، این سیستم ساختمانی می‌تواند ضمن برطرف نمودن بخشی از مشکلات ساختمان‌سازی در کشور، همچنین در زمینه سازگار نمودن فعالیت‌های این صنعت در کشور با محیط زیست تحولات مؤثری ایجاد نماید. بر اساس دیدگاه‌ها و تفکرات پایداری و با توجه به مسئولیت‌های متخصصان ساختمان در طراحی و اجرا، متخصصان پایداری در دیدگاه‌های فوق برای طراحان ساختمان (مخصوصاً معماران) مسئولیت‌های سنگینی در نظر گرفته‌اند که از آن جمله است: انتخاب شیوه طراحی مناسب، انتخاب مصالح ساختمانی مناسب، انتخاب تکنیک‌های ساخت‌وساز مناسب و نهایتاً ارائه ایده‌های نو در صنعت ساختمان‌سازی برای دستیابی به توسعه پایدار. مطالعات نشان

می‌دهند اگر معماران بر اساس دیدگاه‌های فوق عمل نمایند می‌توانند با استفاده از فناوری‌های مناسب و ایده‌پردازی‌های سازگار با بوم‌شناسی در این صنعت، مخصوصاً با حفظ ارزش‌های معماری بومی، راهکارهای مناسب را تهیه و در اختیار جامعه مهندسی کشور قرار دهند.

تجربیات نشان داده، معماران با توجه به مسئولیتی که در طراحی ساختمان‌ها بر عهده دارند (رهبری تیم طراحی) امکان بررسی عمیق مسائل فنی را ندارند. بر این اساس، پیش‌بینی شده معماران با کمک متخصصان صنعت ساختمان‌سازی بتوانند با ارائه ایده‌های جدید در زمینه‌های تولید مصالح ساختمانی جدید، و شیوه‌های طراحی نو مخصوصاً طراحی سبز، صنایع مرتبط در صنعت ساختمان‌سازی را در جهت عملی نمودن ایده‌های خود ترغیب نمایند، و این صنعت را همیشه پویا، متحول و نوآور نگه دارند. این روند کمک خواهد کرد تا در جهت بومی‌سازی روش‌های نوین ساخت‌وساز ساختمان در کشور گام‌های مثبتی برداشته شود. زیرا تا زمانی که این نوع فناوری‌ها با نیازها، شرایط و امکانات منطقه انطباق داده نشده باشند، امکان بومی‌سازی (بهره‌برداری درست و بهینه) آنها ممکن نخواهد بود.

با این دیدگاه، سیستم ساختمانی سبک فولادی توسط متخصصان مربوط مورد بررسی قرار گرفت و مجموعه حاضر در دو بخش و ده فصل توسط این گروه تحقیقاتی تهیه و تدوین گردید. امید می‌رود با ادامه کار این گروه تحقیقاتی و ایجاد زمینه‌های مناسب جهت تدوین ضوابط و مقررات مورد نیاز، جامعه مهندسی کشور بتواند از این فناوری بهره‌برداری مناسب را کسب نماید. همچنین مراکز پژوهشی و آموزشی کشور بتوانند با بهره‌گیری از این پژوهش در جهت نهادینه کردن این فناوری برای برطرف کردن مشکلات این صنعت و به‌روزرسانی فعالیت‌های ساخت‌وساز ساختمان در کشور گام‌های مثبتی را بردارند. با توجه به اهمیت این فناوری، این سیستم ساختمانی، با توجه به دیدگاه‌های فوق مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفت.

به منظور آشنایی استفاده‌کنندگان از این طرح پژوهشی - کاربردی، فصول آن به طور خلاصه و به شرح ذیل معرفی می‌گردد.

- بخش نخست گزارش شامل سه فصل است:

- فصل اول: این فصل شامل تعاریف و معرفی دیدگاه‌های مطرح در زمینه‌های

تاریخچه و انتظارات از صنعت ساختمان‌سازی در دنیا و در کشور



می‌باشد که توسط جناب آقای دکتر معمار ضیاء عضو هیئت علمی دانشگاه شیراز، تدوین و ارائه گردیده است.

- فصل دوم: در این فصل وضعیت فعلی (مشکلات کمی، کیفی) صنعت ساختمان‌سازی در کشور توسط جناب آقای دکتر همایون اربابیان عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

- فصل سوم: تأثیرات به‌کارگیری ساخت و ساز خشک در صنعت ساختمان‌سازی کشور با توجه به تجربه تألیف و ترجمه کتاب "راهنمای سیستم‌های ساخت و ساز خشک (درای وال)" توسط جناب آقای دکتر محمدرضا عدل‌پرور عضو هیئت علمی دانشگاه علم و صنعت، که مؤلف کتاب فوق نیز می‌باشند تهیه و ارائه گردیده است.

- بخش دوم نیز شامل هفت فصل می‌باشد:

- فصل اول: در این فصل تلاش شده است تاریخچه‌ای از سیستم ساختمانی LSF و انگیزه‌های کشورهای پیشرو در بکارگیری این روش ساخت و ساز مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. همچنین تلاش شده برنامه کلی برای بکارگیری آن جهت برطرف کردن و یا کم کردن مشکلات موجود در صنعت ساختمان‌سازی کشور در کوتاه مدت، میان مدت و بلند مدت براساس تجارب آنها ارائه گردد. این فصل توسط مجری طرح، جناب آقای دکتر محمدحسن فلاح، تدوین و ارائه گردیده است.

- فصل دوم: روش‌های طراحی و محاسباتی سیستم ساختمانی LSF با توجه به آئین‌نامه‌های موجود در کشورهای پیشرو در به‌کارگیری این سیستم ساختمانی و تطبیق آنها با آئین‌نامه‌های رایج در کشور، توسط جناب



آقای دکتر نادر خواجه‌احمد عطاری، آقای دکتر فرشید خالقیان، آقای مهندس خرمی عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، و با مشاوره جناب آقای دکتر وطنی اسکونی مشاور مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

- فصل سوم: بررسی تبادل حرارتی سیستم ساختمانی LSF با توجه به انتظارات مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان، توسط جناب آقای دکتر کاری عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، تدوین و ارائه گردیده است.

- فصل چهارم: صدابندی در روش‌های ساخت و ساز خشک از جمله سیستم ساختمانی سبک فولادی LSF برای دستیابی به انتظارات مقررات ملی ساختمان در کشور، توسط جناب آقای محمدجعفر هدایتی عضو مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

- فصل پنجم: عملکرد سیستم ساختمانی LSF در برابر حریق با توجه به آئین‌نامه‌های داخل و خارج از کشور، توسط جناب آقای مهندس سعید بختیاری، عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

- فصل ششم: مسائل مرتبط با هزینه‌های ساخت و ساز ساختمان با استفاده از سیستم ساختمانی LSF به عنوان بررسی اقتصادی این سیستم ساختمانی، توسط جناب آقای مهندس مسعود قاسم‌زاده عضو هیئت علمی مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، مورد بررسی و تجزیه تحلیل قرار گرفته است.

- فصل هفتم: این فصل به عنوان ارزیابی به کارگیری سیستم ساختمانی LSF در کشور در قالب نتیجه‌گیری، و پیشنهادات گروه تحقیقاتی جهت استفاده از این سیستم ساختمانی در کشور، توسط مجری طرح، جناب آقای دکتر محمدحسن فلاح، تدوین و ارائه گردیده است.

پژوهشگران طرح پژوهشی- کاربردی
سیستم ساختمانی سبک فولادی (LSF)

www.ketab.ir

فهرست مطالب

عنوان

صفحه

فصل اول- صنعت ساختمان سازی کشور.....	۱
مقدمه.....	۱
۱-۱ افزایش حاصلخیزی صنعت ساختمان در ایران.....	۲
۱-۱-۱ نیازهای کمی و کیفی مسکن.....	۴
۱-۱-۱-۱ رابطه نیاز، تقاضا و عرضه مسکن.....	۸
۲-۱ درسی از تاریخ صنعتی کردن ساختمان در ایران.....	۹
۲-۱ متخصصان، مردم، و مسکن.....	۱۱
۴-۱ آشنایی با تفکر صنعتی و نحوه صنعتی کردن ساختمان.....	۱۳
۵-۱ حاصلخیزی در ساختمان.....	۱۵
۱-۵-۱ عقلانی نمودن صنعت ساختمان.....	۱۶
۲-۵-۱ عقلانی کردن طراحی.....	۱۷
۶-۱ بهینه سازی فنون ساختمانی.....	۱۸
۷-۱ عقلانی نمودن تولید و استفاده از مصالح ساختمانی.....	۲۰
۸-۱ ساختار و سازمان صنعت ساختمان در ایران.....	۲۰
۹-۱ نتیجه گیری.....	۲۴
منابع فصل اول.....	۲۷
فصل دوم- شرایط ساخت و ساز ساختمان در کشور.....	۳۱
مقدمه.....	۳۱
۱-۲ تعریف و ساختار صنعت ساخت و ساز.....	۳۱
۲-۲ آینده صنعت ساخت و ساز.....	۳۲
۳-۲ نقش صنعت ساخت و ساز در اقتصاد.....	۳۳
۴-۲ صنعت ساختمان و منابع انسانی.....	۳۳
۱-۴-۲ اهمیت آموزش و مهارت.....	۳۳
۵-۲ تأثیر فناوری نوین در روند اجرای کار.....	۳۴

۶-۲	صنعت ساختمان در ایران	۳۴
۶-۲-۱	تغییر در صنعت ساختمان ایران	۳۴
۶-۲-۲	مروری بر ساختمان سازی رایج در کشور	۳۵
۶-۲-۳	مشکلات روش های رایج ساخت و ساز در کشور	۳۵
۷-۲	مصرف انرژی در ساختمان	۳۶
۷-۲-۱	مشکلات اجرایی به کارگیری عایق حرارتی در دیوارسازیهای رایج	۳۸
۷-۲-۲	ضوابط و مقررات عایق کاری	۳۸
۸-۲	روند ساخت و ساز در کشور	۳۸
۹-۲	بررسی اقتصادی روش های رایج ساخت و ساز	۳۹
۱۰-۲	تولید صنعتی ساختمان در کشور	۴۰
۱۱-۲	توسعه پایدار و مشکلات زیست محیطی در صنعت ساختمان	۴۲
۱۱-۲-۱	مشکلات زیست محیطی	۴۴
۱۲-۲	ساختمان سازی کشور ناپوشان تحول	۴۵
۱۳-۲	مشکلات زلزله در ساختمان سازی کشور	۴۶
۱۴-۲	نتیجه گیری	۴۷
۴۷	منابع فصل دوم	
۴۹	فصل سوم- دیوارهای غیر باربر پانل گچی	
۴۹	مقدمه	
۵۱	۱-۳ نحوه ساخت و تولید صفحات گچی	
۵۳	۲-۳ محاسن پانل های ساختار گچی خشک	
۵۴	۱-۲-۲ مقاومت در مقابل آتش سوزی	
۵۵	۲-۲-۲ سبکی بنا و کاهش اثرات تخریبی زلزله	
۵۶	۳-۲-۲ هزینه بسیار کم در نصب	
۵۹	۴-۲-۲ سادگی اجرا در تزیین نهایی	
۶۰	۵-۲-۲ گستردگی استفاده	
۶۳	۶-۲-۲ قابلیت ترمیم مجدد و یا جا به جایی سیستم دیوارها	
۶۴	۷-۲-۲ زیبا، قابل انعطاف و شکل پذیر	
۶۴	۸-۲-۲ پانل های گچی به عنوان مصالح نوین در صنعت ساختمان کشور	
۶۴	۹-۲-۲ کنترل صدا با استفاده از تجهیزات مخصوص	



۱۰-۲-۳	نیاز به نیروی کار کمتر در اجرا	۶۵
۱۱-۲-۳	تمیزی محوطه کار پس از اجرا	۶۵
۱۲-۲-۳	پرت و دورریز کمتر مصالح	۶۶
۱۳-۲-۳	جلوگیری از دوباره‌کاری‌ها	۶۶
۱۴-۲-۳	اتصالات خشک برای نصب فوری	۶۷
۱۵-۲-۳	سرعت بالا در اجرا و پیشرفت سریع کار	۶۷
۱۶-۲-۳	فضای خالی دیوارها برای عبور لوله‌های تأسیسات (برقی و مکانیکی)	۶۷
۱۷-۲-۳	طیف وسیع استفاده از پانل‌ها در کشورهای پیشرفته	۶۸
۱۸-۲-۳	اقتصادی کردن ساخت‌وساز در صنعت ساختمان به دلیل کاهش هزینه نصب	۶۸
۱۹-۲-۳	انواع صفحات گچی ساختار خشک و تجهیزات	۶۸
۲۰-۲-۳	اجزای قاب	۸۱
۲۱-۲-۳	اتصال دهنده‌های صفحات گچی	۸۲
۲۲-۲-۳	نصب ساختار خشک بر روی پروفیل‌های فلزی	۸۸
۲۳-۲-۳	مزایای ساختار پروفیل‌های فلزی	۸۹
۲۴-۲-۳	همانگی قاب چوبی و پروفیل فلزی	۹۰
۲۵-۲-۳	نامگذاری تولیدات فلزی	۹۱
۲۶-۲-۳	تکیه‌گاه لوله آب و وسایل حمایتی سیم‌های برق	۹۱
۲۷-۲-۳	طرح‌های سطوح قوسی یا منحنی	۹۲
۲۸-۲-۳	بالکن‌ها (کنسول‌ها)	۹۸
۲۹-۲-۳	بازشوهای در و پنجره	۱۰۱
۳-۲	نتیجه‌گیری	۱۰۲
۱۰۲	منابع فصل سوم	۱۰۲

بخش دوم

فصل اول- مطالعه و بررسی قطعات فولادی سرد نورد شده CFS و سیستم ساختمانی سبک

فولادی LSF

مقدمه

۱-۱ قطعات فولادی سرد نورد شده CFS

۱-۱-۱ تاریخچه و مشخصات

۱-۱-۲ شیوه فرآوری قطعات CFS



۲-۱	معرفی سیستم ساختمانی سبک فولادی LSF	۱۰۹
۱-۲-۱	تاریخچه و دلایل به کارگیری سیستم ساختمانی LSF در کشورهای گوناگون	۱۰۹
۲-۲-۱	اجزای تشکیل دهنده سیستم ساختمانی LSF	۱۱۵
۲-۲-۱	شالوده برای نصب سیستم ساختمانی LSF	۱۱۶
۲-۲-۱	دیوارهای باربر و غیرباربر	۱۱۶
۲-۲-۱	شیوه اجرای سقفها و بام در سیستم ساختمانی LSF	۱۱۸
۲-۲-۱	شیوه اجرای نماسازی خارجی	۱۲۰
۲-۲-۱	شیوه های برپا کردن سیستم ساختمانی LSF	۱۲۲
۳-۱	محسّنات به کارگیری قطعات CFS و سیستم ساختمانی LSF	۱۲۲
۱-۳-۱	محسّنات به کارگیری قطعات CFS	۱۲۲
۲-۳-۱	محسّنات به کارگیری سیستم LSF	۱۲۲
۱-۲-۳-۱	ویژگی های معماری	۱۲۲
۲-۳-۳-۱	کاربری های ساختمان های احداث شده با استفاده از سیستم ساختمانی LSF	۱۲۴
۳-۲-۳-۱	سهولت تغییرات و نصب تأسیسات	۱۲۴
۴-۲-۳-۱	ویژگی های فن آوری	۱۲۵
۵-۲-۳-۱	سهولت در نصب قطعات LSF	۱۲۷
۶-۲-۳-۱	سرعت بالا در ساخت و ساز	۱۲۸
۷-۲-۳-۱	مقاومت مناسب سیستم در برابر زلزله	۱۲۸
۴-۱	امکان سنجی صنعت ساختمان در کشور	۱۲۹
۱-۴-۱	ورق های فولادی مورد نیاز سیستم	۱۳۱
۲-۴-۱	تخته های گچی	۱۳۲
۳-۴-۱	نیروهای متخصص و غیر متخصص	۱۳۴
۴-۴-۱	ماشین آلات و ابزار آلات مورد نیاز و متداول در صنعت ساختمان سازی	۱۳۵
۵-۴-۱	امکان ارزیابی و کنترل سیستم	۱۳۶
	منابع فصل اول	۱۴۲
	فصل دوم- بررسی سازدای سیستم ساختمانی LSF	۱۴۳
۱-۲	انواع ورق های فولادی	۱۴۳
۲-۲	انواع مقاطع سرد نورد شده	۱۴۵
۳-۲	بارگذاری و روش تحلیل	۱۴۶



۴-۲ آیین‌نامه (AISI).....	۱۴۷
۵-۲ روش طراحی عناصر سردنوردشده.....	۱۴۷
۶-۲ مشخصات مقطع.....	۱۴۸
۷-۲ اصول طراحی.....	۱۴۹
۱-۷-۲ قطعات فشاری نازک.....	۱۴۹
۱-۱-۷-۲ عرض موثر.....	۱۵۱
۳-۷-۲ قطعه تحت نیروی فشاری یکنواخت.....	۱۵۲
۱-۳-۷-۲ قطعات و اجزای سخت‌شده.....	۱۵۲
۲-۲-۷-۲ اجزای سخت‌نشده.....	۱۵۳
۴-۷-۲ جزء تحت تأثیرگرادیان تنش.....	۱۵۳
۸-۴-۷-۲ اجزای سخت‌شده.....	۱۵۳
۲-۴-۷-۲ اجزای سخت‌نشده.....	۱۵۴
۵-۷-۲ قطعه با سخت‌کننده به‌ای.....	۱۵۵
۱-۳-۷-۲ سخت‌کننده (لبه‌ساده در انتهای جزء).....	۱۵۵
۲-۳-۷-۲ جزء متصل به سخت‌کننده.....	۱۵۷
۶-۷-۲ قطعه با سخت‌کننده داخلی.....	۱۵۸
۸-۲ طراحی اعضا.....	۱۵۹
۱-۸-۲ اعضای فشاری.....	۱۶۰
۱-۱-۸-۲ مقاطع بدون کمانش پیچشی یا پیچش جانبی.....	۱۶۲
۲-۱-۸-۲ مقاطع تحت کمانش پیچشی یا خمشی-پیچشی.....	۱۶۲
۲-۸-۲ اعضای خمشی (تیرها).....	۱۶۳
۲-۲-۸-۲ تیر با کمانش جانبی.....	۱۶۴
۲-۸-۲ کنترل برش در اعضا.....	۱۶۷
۱-۳-۸-۲ لهیدگی جان.....	۱۶۷
۴-۸-۲ ترکیب خمش و برش.....	۱۶۹
۵-۸-۲ خمش همراه با لهیدگی جان.....	۱۷۰
۶-۸-۲ ترکیب خمش و نیروی محوری.....	۱۷۰
۹-۲ اتصالات.....	۱۷۲
۱۰-۲ اثرات عملیات نورد سرد.....	۱۷۳
منابع فصل دوم.....	۱۷۵

فصل سوم- بررسی فیزیکی سیستم ساختمانی سبک فولادی.....	۱۷۷
۱-۳ تشریح سیستم ساختمانی سبک فولادی.....	۱۷۷
۲-۳ عملکرد حرارتی سیستم.....	۱۷۸
۳-۳ تعیین مشخصات حرارتی سیستم.....	۱۷۸
۴-۳ تشریح ساختمان‌های ساخته‌شده با این سیستم.....	۱۸۰
۵-۳ نقاط ضعف سیستم (از دید حرارتی) و روش‌های رفع آنها.....	۱۸۲
۱-۵-۳ افزایش ضخامت و در نتیجه مقاومت حرارتی عایق حرارتی.....	۱۸۲
۲-۵-۳ قراردادن یک لایه نازک عایق حرارتی به عنوان پوشش خارجی دیوار.....	۱۸۲
۳-۵-۳ کاهش انتقال حرارت در اجزای فلزی.....	۱۸۴
۶-۳ ارزیابی عملکرد حرارتی سیستم و امکان پاسخ‌گویی به ضوابط تعیین‌شده در مبحث ۱۹ مقررات ملی ساختمان.....	۱۸۴
۷-۳ راه‌حل‌های فنی در شرایط استاندارد عوامل ویژه فرعی طرح.....	۱۸۵
فصل چهارم- صدابندی در سیستم ساختمانی سبک فولادی.....	۱۸۹
۱-۴ تشریح صدابندی در ساختمان‌ها.....	۱۸۹
۲-۴ بررسی افت صوتی یک جداکننده بدون متغیر در بسامدهای مختلف.....	۱۹۰
۴-۴ صدابندی کوبه‌ای جداکننده و شاخص آن.....	۱۹۲
۵-۴ ضوابط و مقررات صدابندی در ایران.....	۱۹۲
۷-۴ راه‌های افزایش صدابندی جداکننده در برابر صدای هوابرد.....	۱۹۳
۸-۴ بررسی صدابندی سیستم ساختمانی سبک فولادی.....	۱۹۴
فصل پنجم- رفتار سیستم ساختمانی سبک فولادی در برابر آتش.....	۱۹۷
۱-۵ مقاومت در برابر آتش.....	۱۹۷
۲-۵ الزامات مقاومت در برابر آتش برای اجزای ساختمانی.....	۱۹۸
۳-۵ مقاومت ساختارهای LSF در برابر آتش.....	۱۹۹
۴-۵ خواص فنی تخته‌های گچی و مقاومت آنها در برابر آتش.....	۲۰۰
۵-۵ مقاومت سیستم ساختمانی سبک فولادی در برابر آتش و مقایسه آن با سایر سیستم‌ها.....	۲۰۵
۶-۵ سیستم‌های دیوار باربر و غیر باربر.....	۲۰۶
۷-۵ یک نمونه دیوار LSF با دو ساعت مقاومت در برابر آتش.....	۲۰۷



۸-۵	یک نمونه دیوار LSF با سه ساعت مقاومت در برابر آتش.....	۲۰۸
۹-۵	سیستم‌های کف.....	۲۱۰
۲۱۰	منابع فصل پنجم.....	۲۱۰

فصل ششم- هزینه‌های ساخت و ساز در سیستم ساختمانی سبک فولادی (LSF).....	۲۱۱
۱-۶ بهینه‌کردن مصرف مصالح و فرآورده‌ها.....	۲۱۱
۱-۱-۶ تاثیر کاربرد سیستم ساختمانی بر وزن ساختمان.....	۲۱۲
۲-۱-۶ وضعیت مصرف مصالح ساختمانی.....	۲۱۲
۳-۱-۶ شمع حمل و نقل اقتصادی اجزا و فرآورده‌ها.....	۲۱۳
۲-۶ صرفه‌جویی در زمان.....	۲۱۳
۱-۲-۶ نوع و مقدار نیاز به ابزارها و امکانات اجرایی.....	۲۱۴
۲-۲-۶ امکان موازی کردن یا تلفیق فعالیت‌ها در روند اجرای ساختمان.....	۲۱۴
۳-۲-۶ میزان نیاز به عملیات فرآوری مواد و مصالح در کارگاه ساختمانی.....	۲۱۵
۴-۲-۶ میزان محدودیت‌های فصلی در روند اجرایی.....	۲۱۵
۳-۶ قابلیت‌های فنی و اجرایی برای نوع‌پذیری و انطباق با انتظارات استفاده‌کنندگان.....	۲۱۵
۱-۳-۶ امکان اتصال و ارتباط اجزای قطعات با یکدیگر.....	۲۱۵
۲-۳-۶ قابلیت تنوع ممکن در قطعات برای مصارف متفاوت.....	۲۱۶
۲-۳-۶ قابلیت کنترل کیفیت سهل‌تر، افزایش دolum و پایداری و نگهداری کم‌هزینه‌تر و آسانتر.....	۲۱۶
۴-۳-۶ سهولت ایجاد تغییرات، تعمیرات و اصلاح اشتباهات.....	۲۱۷
۵-۳-۶ هماهنگی ساختار اصلی سیستم با اجرای تاسیسات.....	۲۱۷
۶-۳-۶ میزان نیاز به تمهیدات خاص و هزینه‌بر برای انطباق با شرایط مطلوب آسایش، بهداشت و ایمنی در ساختمان.....	۲۱۷
۴-۶ راه‌کارهایی برای مطالعات موردی در آینده.....	۲۱۷
۱-۴-۶ مرحله نخست: برآوردهای لازم در هر سه طرح.....	۲۱۸
۲-۴-۶ مرحله دوم: اجرای پروژه نمونه.....	۲۱۹

فصل هفتم- نتیجه‌گیری و پیشنهادات.....	۲۲۱
ارزیابی به کارگیری سیستم ساختمانی سبک فولادی (LSF)، در کشور.....	۲۲۱
۱-۷ ارزیابی به کارگیری سیستم ساختمانی LSF در ساختمان‌سازی کشور.....	۲۲۲
۱-۱-۷ طراحی و برنامه‌ریزی.....	۲۲۲

۲۲۲	۲-۱-۷ روش‌های اجرایی در سیستم ساختمانی LSF
۲۲۴	۳-۱-۷ رفتار سیستم در شرایط زلزله
۲۲۵	۴-۱-۷ کیفیت ساخت
۲۲۵	۱-۵-۷ بررسی هزینه‌های ساخت
۲۲۶	۶-۱-۷ مزایای زیست‌محیطی سیستم
۲۲۷	۷-۱-۷ مشکلات و محدودیت‌ها در کاربرد سیستم ساختمانی LSF
۲۲۷	۲-۷ نتیجه‌گیری و پیشنهادات
	۱-۲-۷ به کارگیری ظرفیت‌های موجود در صنعت ساختمان‌سازی کشور برای اجرای سیستم ساختمانی LSF
۲۲۸	۲-۲-۷ تدوین و ترویج آیین‌نامه‌های سیستم ساختمانی LSF در کشور
۲۲۹	۳-۲-۷ به کارگیری سیستم ساختمانی LSF در تک‌سازی
۲۳۰	۴-۲-۷ طراحی و اجرای نمونه‌ای از سیستم ساختمانی LSF در مراکز تحقیقاتی برای مطالعه عملکرد سیستم
۲۳۰	۵-۲-۷ به کارگیری قطعات CFS به مرور در روش‌های رایج ساخت‌وساز
۲۳۰	۶-۲-۷ به کارگیری سیستم ساختمانی LSF برای اضافه اشکوب در ساختمان‌های موجود
۲۳۱	۷-۲-۷ پیشنهادهایی به سازمان حفاظت از محیط زیست
۲۳۱	۸-۲-۷ پیشنهاداتی به سازمان بهینه‌سازی مصرف سوخت
۲۳۲	پیوست‌ها
۲۳۵	پیوست اول: معرفی پروژه‌های اجرا شده در خارج از کشور
	پیوست دوم: ضوابط طراحی لرزه‌ای ساختمان‌ها با سیستم ساختمانی LSF بر اساس آیین‌نامه
۲۴۳	IBC 2003

چکیده

مطالعات و بررسی‌های متعدد در صنعت ساختمان‌سازی برای به کارگیری فناوری‌های نوین در این صنعت نشان می‌دهند که برای دستیابی بهینه به محسّنات آنها، ضروری است مشخصات فنی و پتانسیل‌های آنها قبل از به کارگیری مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد. همچنین لازم است منطقه و یا محل مورد نظر جهت بومی‌سازی امکان‌سنجی شوند. در این پروژه تحقیقاتی سعی شده است بر اساس مطالعات و تجربیات کشورهای پیشرو در این زمینه، سیستم ساختمانی سبک فولادی LSF با این دیدگاه مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

برای تبیین مبانی نظری مناسب و همچنین تدوین اهداف به کارگیری این سیستم ساختمانی در صنعت ساختمان‌سازی کشور، شواهد فعلی ساخت‌وساز ساختمان در کشور مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. بر این اساس مطالعه و بررسی بر روی روش‌های رایج ساخت‌وساز در کشور، دلایل مستدل‌تر و قوی‌تری برای به کارگیری روش‌های ساخت‌وساز جدید مخصوصاً سیستم ساختمانی سبک فولادی LSF را در کشور ارائه نمود.

بر اساس این دیدگاه، مشخصات فنی و پتانسیل‌های سیستم ساختمانی سبک فولادی LSF با دیدگاه‌های فوق مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. این بررسی‌ها نشان دادند این روش ساخت‌وساز با توجه به پتانسیل‌های خوبی که برای پاسخگویی به مشکلات صنعت ساختمان‌سازی در کشور دارد، می‌تواند یکی از آلترناتیوهای قابل تأمل برای رسیدن به اهداف کوتاه‌مدت و بلندمدت این صنعت قرار گیرد. همچنین ارزیابی این روش ساخت‌وساز در صنعت ساختمان‌سازی نشان داد با به کارگیری اصولی این روش ساخت‌وساز می‌توان بیشتر مشکلات موجود (کمی و کیفی) را برطرف و یا به حداقل رساند. جهت دستیابی به فناوری این سیستم ساختمانی راهکارهایی در این پروژه ارائه شده که در صورت اجرایی نمودن آنها می‌توان در حداقل زمان ممکن و با حداقل هزینه ممکن، این فناوری را بومی‌سازی کرد و فعالیت‌های صنعت ساختمان‌سازی کشور را در جهت اهداف توسعه پایدار در صنعت ساختمان‌سازی هماهنگ با کشورهای پیشرفته هدایت نمود.

سپاسگزاری و تشکر

تحولات و نوآوری‌های اخیر در صنعت ساختمان‌سازی در خارج از کشور و فرصت ادامه تحصیل در خارج از کشور، موقعیت مناسبی برای اینجانب پیش آورد تا چگونگی به کارگیری و استفاده مناسب از پتانسیل‌های این تحولات و نوآوری‌ها را به عنوان معمار (شاید بتوان گفت معماران به عنوان طراح، عاملان اصلی در به وجود آمدن نوآوری‌ها و به کارگیرنده نوآوری‌ها هستند)، مورد مطالعه و بررسی علمی قرار دهم. بررسی‌های اولیه در رابطه با این موضوع نشان داد تلاش‌های فراوانی در گذشته در کشور ما صورت گرفته ولی متأسفانه بنا به دلایلی موفق نبوده‌اند. عامل اصلی این عدم موفقیت را متخصصان امر، به کارگیری روش‌های ساخت‌وساز جدید بدون انجام کارهای مطالعاتی می‌دانند. لذا اینجانب سعی کردم از فرصت به دست آمده استفاده نموده و شیوه انجام کار تحقیقاتی را برای به کارگیری روش‌های ساخت‌وساز جدید در صنعت ساختمان‌سازی کشور مورد بررسی و مطالعه قرار دهم.

گزارش حاضر نتیجه بررسی موضوع با چنین دیدگاهی است. در این گزارش سعی شده است نتایج بررسی‌های صورت گرفته برای به کارگیری سیستم ساختمان LSF (در قالب طرح پژوهشی) را با همکاری متخصصان مربوط در کشور ارائه نمایم. امیدوارم که نتایج این پروژه قدمی هرچند کوچک برای استفاده مناسب از دستاوردهای این روش ساخت‌وساز در صنعت ساختمان کشورمان جهت برطرف کردن بعضی از مشکلات و کمبودها قرار گیرد. در اینجا جا دارد از مسئولان محترم مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن مخصوصاً از معاون محترم وقت تحقیقات، خانم دکتر پرهیزکار و مسئولان محترم بخش مسکن و سیستم‌های ساختمانی که این فرصت را در اختیار اینجانب قرار داده و همکاری لازم را مبذول داشته‌اند کمال تشکر و قدردانی را داشته باشم. در کنار مرکز تحقیقات از مسئولان محترم معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز، به ویژه از مسئولان محترم دانشکده هنر و معماری که در زمان انجام این پروژه کمال همکاری را داشته‌اند تشکر و قدردانی می‌نمایم. در انتها وظیفه خود می‌دانم از همکاران خوب و صبور پروژه (با توجه به طولانی شدن مراحل انجام پروژه)، که این حقیر را یاری کردند (و مطمئناً بدون همدلی و لطف دوستان انجام این پروژه امکان‌پذیر نمی‌بود) کمال تشکر و سپاسگزاری را داشته باشم.

محمدحسن فلاح