

دانشگاه گیلان
پيام نور

روش‌های ساخت سازه‌های بتنی

(رشته مهندسی عمران)

دکتر آرمین منیرعباسی دکتر فرناد نصیرزاده

«امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.»^۱

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چند هزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان، تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاورد انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

۱. پیام مقام معظم رهبری به مناسبت آغاز هفته کتاب ۷۲/۱۰/۴

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «اقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

فهرست مطالب

سیزده

پیشگفتار

۱	فصل اول: سازه‌های بنایی، بتنی و فولادی
۱	هدف کلی
۱	هدف‌های یادگیری
۱	مقدمه
۲	۱-۱-۱ مختصری در مورد سازه‌های متداول و مقایسه آن‌ها
۴	۱-۱-۱-۱ مزایای ساختمان‌های بنایی
۵	۱-۱-۱-۲ معایب ساختمان‌های بنایی
۵	۲-۱ بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های بنایی
۶	۱-۲-۱ آسیب‌پذیری خارج از صفحه دیوارها
۶	۲-۲-۱ آسیب‌پذیری داخل صفحه دیوارها
۷	۳-۲-۱ آسیب‌پذیری دیوارهای با بازشو
۷	۴-۲-۱ ناپایداری موضعی
۸	۵-۲-۱ لغزش بین دیوارها و سقف
۹	۳-۱ سازه‌های بتنی
۱۰	۱-۳-۱ بتن مسلح و تاریخچه آن
۱۱	۲-۳-۱ سازگاری بتن و فولاد
۱۱	۳-۳-۱ مزایا و معایب بتن مسلح
۱۴	خلاصه فصل اول
۱۴	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول
۱۵	فصل دوم: آشنایی با مسائل تولید، نگهداری و مصرف مصالح بتن و موارد ایمنی
۱۵	هدف کلی
۱۵	هدف‌های یادگیری

۱۵	مقدمه
۱۶	۱-۲ تولید، نگهداری و مصرف مصالح بتن
۱۶	۱-۱-۲ تولید، حمل، انبارش و مصرف سیمان
۲۲	۲-۱-۲ تولید، حمل، انبارش و مصرف سنگدانه
۲۳	۳-۱-۲ تأمین، حمل، انبارش و مصرف میلگرد
۲۳	۴-۱-۲ انواع میلگرد از نظر رویه
۲۴	۵-۱-۲ گواهی نامه فنی
۲۶	۲-۲ ایمنی در کارگاه
۲۷	۱-۲-۲ ایمنی کارگاه‌های ساختمانی
۲۷	۲-۲-۲ طراحی
۲۷	۳-۲-۲ گودبرداری
۲۷	۴-۲-۲ پی‌سازی
۲۸	۵-۲-۲ اسکلت‌سازی
۳۰	خلاصه فصل دوم
۳۰	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم

فصل سوم: اجرای بتن

۳۳	هدف کلی
۳۳	هدف‌های یادگیری
۳۳	مقدمه
۳۴	۱-۳ ساخت بتن
۳۴	۱-۱-۳ ملاحظات فنی
۳۵	۲-۳ حمل بتن
۳۶	۱-۲-۳ تراک میکسر
۳۷	۲-۲-۳ پمپ بتن
۳۹	۳-۲-۳ بتن‌ریزی با جرثقیل و جام
۴۰	۴-۲-۳ بتن‌ریزی با تسمه‌نقاله
۴۱	۵-۲-۳ بتن‌ریزی با شوت
۴۲	۶-۲-۳ بتن‌ریزی با دراپ‌شوت
۴۲	۳-۳ ریختن بتن
۴۴	۴-۳ قطع و شروع بتن‌ریزی (سطوح واریز)
۴۵	۵-۳ متراکم کردن بتن
۴۶	۱-۵-۳ انواع روش‌های ایجاد تراکم
۴۷	۶-۳ عمل‌آوری
۴۹	۱-۶-۳ عمل‌آوری با آب
۵۱	۲-۶-۳ عمل‌آوری با اندودهای سطحی
۵۱	۳-۶-۳ عمل‌آوری با بخار

۵۲	خلاصه فصل سوم
۵۳	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم
۵۵	فصل چهارم: قالب‌بندی
۵۵	هدف کلی
۵۵	هدف‌های یادگیری
۵۵	مقدمه
۵۶	۴-۱ انواع قالب‌بندی
۵۶	۴-۱-۱ قالب آجری
۵۶	۴-۱-۲ قالب تخته‌ای
۵۶	۴-۱-۳ قالب فلزی
۵۷	۴-۲ مقایسه اقتصادی انواع قالب
۵۷	۴-۲-۱ شرایط کارگاهی
۵۷	۴-۲-۲ برنامه بتن‌ریزی
۵۸	۴-۲-۳ استفاده مجدد از قالب
۵۸	۴-۲-۴ حمل و نقل
۵۸	۴-۲-۵ سهولت تهیه
۵۸	۴-۲-۶ ساخت در کارگاه
۵۸	۴-۳ اصول اساسی طرح
۵۹	۴-۳-۱ درجه حرارت
۵۹	۴-۳-۲ بارها
۵۹	۴-۳-۳ مصالح بدنه قالب
۵۹	۴-۳-۴ بستن و بازکردن قالب
۵۹	۴-۴ روش محاسبه سازه قالب
۶۰	۴-۴-۱ مقاومت
۶۰	۴-۴-۲ تغییر شکل
۶۰	۴-۵ جزئیات طراحی قالب
۶۰	۴-۵-۱ امکان استفاده مجدد
۶۰	۴-۵-۲ بدنه قالب
۶۱	۴-۵-۳ لقمه‌ها و کلاف‌ها
۶۱	۴-۵-۴ قالب‌های عایق‌شده
۶۱	۴-۵-۵ درزها در قالب
۶۲	۴-۶ روغن قالب
۶۲	۴-۶-۱ انواع روغن قالب
۶۳	۴-۶-۲ روش کاربرد
۶۳	۴-۷ روش‌های قالب‌بندی
۶۴	۴-۷-۱ روش معمولی

۶۵	۲-۷-۴ روش جهنده
۶۶	۳-۷-۴ روش لغزنده
۶۸	۴-۷-۴ اجزای اصلی قالب لغزنده
۷۲	۵-۷-۴ عوامل مؤثر بر تعیین ارتفاع بدنه قالب لغزنده
۷۲	۶-۷-۴ نکات مهم حین بتن ریزی در قالب
۷۳	۷-۷-۴ مشخصات فنی بتن مصرفی در بتن ریزی با قالب لغزنده
۷۴	۸-۷-۴ توصیه‌ها درخصوص حمل و ریختن بتن در قالب‌های لغزنده
۷۵	خلاصه فصل چهارم
۷۵	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم
۷۷	فصل پنجم: آرماتوربندی
۷۷	هدف کلی
۷۷	هدف‌های یادگیری
۷۷	مقدمه
۷۹	۱-۵ نحوه خم کردن میلگردها
۸۰	۲-۵ نحوه برش میلگردها
۸۰	۳-۵ فاصله نگهدار یا لقمه
۸۱	۴-۵ آرماتوربندی پی
۸۲	۵-۵ نکات اجرایی عملیات آرماتوربندی
۸۳	۶-۵ وصله کردن آرماتورها
۸۴	خلاصه فصل پنجم
۸۴	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم
۸۷	فصل ششم: بتن ریزی در شرایط خاص
۸۷	هدف کلی
۸۷	هدف‌های یادگیری
۸۷	مقدمه
۸۸	۱-۶ بتن ریزی زیر آب
۸۸	۱-۱-۶ بتن ریزی با لوله ترمی
۹۰	۲-۱-۶ بتن ریزی با پمپ
۹۱	۳-۱-۶ روش بتن ریزی با سنگدانه پیش‌آکنده
۹۲	۴-۱-۶ بتن ضد آب‌شستگی (NDC)
۹۳	۲-۶ بتن ریزی در هوای گرم
۹۵	۳-۶ بتن ریزی در هوای سرد
۹۷	۴-۶ بتن ریزی در هوای مناطق خلیج فارس و دریای عمان
۹۹	۵-۶ بتن ریزی حجیم
۱۰۰	۱-۵-۶ معیارهای مهم در بتن حجیم

۱۰۰	۶-۵-۲ راه حل مقابله با مسائل حرارتی بتن حجیم
۱۰۰	۶-۵-۳ کاهش مقدار و سرعت گرمزایی بتن
۱۰۱	۶-۵-۴ کاهش دمای ساخت بتن
۱۰۱	۶-۵-۵ خروج گرما از بتن
۱۰۱	خلاصه فصل ششم
۱۰۲	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل ششم
۱۰۵	فصل هفتم: اجرای پی‌ها
۱۰۵	هدف کلی
۱۰۵	هدف‌های یادگیری
۱۰۵	مقدمه
۱۰۶	۷-۱ انواع پی‌ها
۱۰۶	۷-۱-۱ پی‌های کم عمق معروف به پی‌های سطحی
۱۰۹	۷-۱-۲ پی‌های نیمه عمیق یا پی‌های چاهی
۱۰۹	۷-۱-۳ پی‌های عمیق
۱۰۹	۷-۱-۴ پی‌های ویژه
۱۰۹	۷-۲ کرسی چینی
۱۱۰	۷-۳ شناژ
۱۱۰	۷-۴ قشر ماسه و سیمان زیر و روی فیروگونی
۱۱۱	۷-۵ اجرای پی
۱۱۱	۷-۵-۱ توصیه‌هایی برای تعیین مشخصات گمانه‌ها
۱۱۲	۷-۵-۲ پیاده کردن نقشه
۱۱۳	۷-۵-۳ درز انبساط
۱۱۴	۷-۵-۴ درز انقطاع
۱۱۴	۷-۵-۵ پی کنی
۱۱۵	۷-۵-۶ تراز کردن پی
۱۱۶	۷-۵-۷ اجرای بتن مگر در کف پی
۱۱۶	۷-۵-۸ قالب‌بندی پی
۱۱۸	۷-۵-۹ کرسی چینی
۱۱۹	خلاصه فصل هفتم
۱۱۹	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هفتم
۱۲۱	فصل هشتم: اجرای ستون، تیر، سقف و دیوار
۱۲۱	هدف کلی
۱۲۱	هدف‌های یادگیری
۱۲۱	مقدمه
۱۲۱	۸-۱ ستون

۱۲۲	۸-۱-۱ آماده سازی ریشه ها
۱۲۲	۸-۱-۲ آرماتوربندی ستون
۱۲۳	۸-۱-۳ استقرار سبد آرماتور
۱۲۳	۸-۱-۴ قالب بندی
۱۲۶	۸-۱-۵ بتن ریزی
۱۲۷	۸-۲ تیرها
۱۲۸	۸-۳ سقف ها
۱۲۹	۸-۳-۱ سقف های تیرچه و بلوک
۱۳۴	۸-۳-۲ دال بتنی
۱۴۱	۸-۴ اجرای هم زمان تیرها و سقف و راه پله
۱۴۲	۸-۴-۱ مراحل مختلف روش اجرای هم زمان تیر، سقف و پله
۱۴۶	۸-۵ اجرای دیوار برشی
۱۴۷	۸-۶ سایر نکات اجرایی اسکلت بتنی
۱۴۷	۸-۶-۱ ریشه
۱۴۸	۸-۶-۲ پوشش محافظ بتنی روی میلگرد
۱۴۹	۸-۷ دیوارچینی
۱۵۰	خلاصه فصل هشتم
۱۵۰	خودآزمایی چهارگزینه ای فصل هشتم
۱۵۳	فصل نهم: ساختمان های با مصالح بنایی
۱۵۳	هدف کلی
۱۵۳	هدف های یادگیری
۱۵۳	مقدمه
۱۵۴	۹-۱ ساختمان های آجری باکلاف
۱۵۴	۹-۱-۱ ساختگاه
۱۵۴	۹-۱-۲ الزامات عمومی
۱۵۵	۹-۱-۳ محدودیت های ارتفاع و تعداد طبقات ساختمان و پیش آمدگی ها
۱۵۵	۹-۱-۴ محدودیت های سازه
۱۵۶	۹-۱-۵ محدودیت های پی
۱۵۶	۹-۱-۶ محدودیت های کرسی چینی
۱۵۷	۹-۱-۷ محدودیت های دیوار
۱۵۸	۹-۱-۸ محدودیت های دیوارچینی
۱۵۹	۹-۱-۹ محدودیت های بازشوها و تقویت کننده های اطراف آن ها
۱۶۰	۹-۱-۱۰ کلاف ها
۱۶۰	۹-۱-۱۱ کلاف بندی افقی
۱۶۲	۹-۱-۱۲ کلاف بندی قائم
۱۶۳	۹-۱-۱۳ سقف

۱۶۶	۹-۱-۱۴ نما
۱۶۶	۹-۱-۱۵ دودکش
۱۶۶	۹-۱-۱۶ جان‌پناه
۱۶۶	۹-۱-۱۷ عایق‌کاری رطوبتی
۱۶۷	۹-۲- ساختمان‌های آجری بدون کلاف
۱۶۸	۹-۲-۱ محدودیت‌های ارتفاع و تعداد طبقات ساختمان و پیش‌آمدگی‌ها
۱۶۸	۹-۲-۲ محدودیت‌های دیوار
۱۷۰	۹-۲-۳ سقف
۱۷۰	۹-۳- ساختمان‌های سنگی
۱۷۱	۹-۳-۱ محدوده کاربرد
۱۷۱	۹-۳-۲ مصالح
۱۷۱	۹-۳-۳ طرح و اجرا
۱۷۳	۹-۳-۴ کلاف‌ها
۱۷۴	۹-۳-۵ سقف
۱۷۶	خلاصه فصل نهم
۱۷۷	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل نهم

فصل دهم: پانل‌های سه‌بعدی و سیستم‌های پیش‌ساخته بتنی

۱۷۹	هدف کلی
۱۷۹	هدف‌های یادگیری
۱۷۹	مقدمه
۱۸۰	۱۰-۱-۱ آشنایی با دیوارهای پانل سه‌بعدی
۱۸۱	۱۰-۱-۱-۱ مشخصات فنی پانل
۱۸۳	۱۰-۱-۱-۲ نحوه اجرای سیستم پانل سه‌بعدی
۱۸۵	۱۰-۲- سیستم پیش‌ساخته بتنی
۱۸۶	خلاصه فصل دهم
۱۸۶	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دهم

فصل یازدهم: آزمایش‌های کنترل کیفی بتن

۱۸۹	هدف کلی
۱۸۹	هدف‌های یادگیری
۱۸۹	مقدمه
۱۹۰	۱۱-۱- کارایی بتن
۱۹۰	۱۱-۱-۱ آزمایش اسلامپ
۱۹۱	۱۱-۱-۲ آزمایش ضریب تراکم
۱۹۲	۱۱-۱-۳ آزمایش وی‌بی
۱۹۳	۱۱-۱-۴ آزمایش توپ کلی

۱۹۴	۱۱-۵ آزمایش جریان اسلامپ
۱۹۴	۱۱-۲ مقاومت بتن
۱۹۵	۱۱-۲-۱ مقاومت فشاری بتن
۱۹۶	۱۱-۳ ارزیابی مقاومت بتن در سازه
۱۹۷	۱۱-۳-۱ آزمایش مغزه‌گیری
۱۹۹	۱۱-۳-۲ آزمایش عدد بازگشت یا چکش اشمیت
۲۰۲	۱۱-۳-۳ آزمایش سرعت پالس مافوق صوت
۲۰۶	۱۱-۳-۴ آزمایش بیرون‌کشیدن
۲۰۸	۱۱-۳-۵ آزمایش کشیدن از سطح
۲۱۱	خلاصه فصل یازدهم
۲۱۱	خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل یازدهم
۲۱۳	پاسخنامه
۲۱۵	مراجع

پیشگفتار

مدتهاست که غالب سازه‌ها، اسکلت فولادی یا بتنی دارند. در این میان، سازه‌های با اسکلت بتنی به دلیل ارزان بودن، امکان ایجاد اشکال مختلف، امکان ایجاد دهانه‌های بزرگ و بسیاری از مزایای دیگر روزبه‌روز در حال افزایش هستند. علاوه‌براین، در بسیاری از پروژه‌های صنعتی نیز طیف وسیعی از این گونه سازه‌ها دیده می‌شود. به‌عنوان مثال، برج‌های خنک‌کننده نیروگاه‌ها که در گذشته به‌صورت فولادی اجرا می‌شدند، امروزه به‌سهولت با استفاده از قالب‌های لغزنده به‌صورت بتنی اجرا می‌شوند. این رشد روز افزون در اجرای سازه‌های بتنی، آشنایی بیش از پیش با نکات، محدودیت‌ها، روش‌های اجرا و غیره در چنین سازه‌هایی را الزامی می‌کند. در این کتاب که منطبق با سرفصل وزارت علوم، تحقیقات و فناوری برای درس روش‌های ساخت ۱ در دوره کارشناسی مهندسی مدیریت پروژه نگاشته شده است. روش اجرا، محدودیت‌ها و بسیاری از نکات حساس سازه‌های بتنی به‌طور کامل شرح داده شده‌اند. در این کتاب ابتدا سازه‌های بنایی و بتنی معرفی و پس از آن درخصوص انبارش مصالح و نکات ایمنی توضیح داده شده‌اند. در ادامه؛ اجرای بتن، قالب‌بندی و آرماتوربندی و پس از آن بتن‌ریزی در شرایط خاص بیان شده‌است. در قسمت بعد؛ اجرای پی‌ها و اجرای ستون، تیر، سقف و دیوار شرح داده شده‌است. در بخش بعدی، ساختمان‌های با مصالح بنایی تا حدودی توضیح داده شده‌اند. در قسمت انتهایی کتاب نیز ابتدا پانل‌های سه‌بعدی و سیستم‌های پیش‌ساخته بتنی بیان شده و پس از آن آزمایش‌های کنترل کیفی بتن چه در حالت تازه و چه سخت‌شده ارائه شده‌اند.

امید است این کتاب بتواند سهمی هرچند اندک در ارتقای کیفیت سازه های بتنی در سراسر کشور داشته باشد. در هر حال این کتاب نیز مانند اغلب کتاب های دیگر خالی از عیب، نقص و اشکال نبوده، ولی با کمک خوانندگان محترم این موارد در آینده قابل اصلاح هستند.

دکتر آرمین منیرعباسی

دکتر فرناد نصیرزاده

فصل اول

سازه‌های بنایی، بتنی و فولادی

هدف کلی

هدف این فصل از کتاب معرفی اجمالی سازه‌های بنایی، بتنی و فولادی و مزایا و معایب آن‌ها است.

هدف‌های یادگیری

انتظار می‌رود که دانشجو پس از مطالعه این فصل بتواند موارد زیر را بیان کند:

۱. سازه‌های بنایی و معایب و مزایای آن‌ها کدام‌اند؟
۲. سازه‌های بتنی و معایب و مزایای آن‌ها چیست؟

مقدمه

ساختمان‌سازی از گذشته‌های دور تا به حال مورد توجه بشر بوده و این کار ابتدا برای ایجاد سرپناه انجام می‌شده است. اما پس از آن، رفته‌رفته ساختمان‌سازی برای هدف‌های دیگری مانند تولید، فروش، تفریح و غیره نیز به‌کار گرفته شد. به‌طور کلی سه نوع ساختمان وجود دارد.

دسته اول ساختمان‌های با مصالح بنایی که با استفاده از مصالح مرسوم و محلی ساخته می‌شوند و استحکام آن‌ها کمتر از ساختمان‌های دارای اسکلت است.

دسته دوم ساختمان‌های با اسکلت بتنی هستند که از نظر مقاومت و دوام و همچنین عملکرد در برابر بارهای لرزه‌ای از دسته اول مناسب‌تر هستند. در این ساختمان‌ها، اعضای بتن مسلح نقش اصلی در باربری را به عهده دارند. دسته سوم ساختمان‌های با اسکلت فلزی هستند که از بابت استحکام، مشابه ساختمان‌های با اسکلت بتنی بودند و می‌توانند مانند آن‌ها بارهای ثقلی و جانبی را به خوبی تحمل کنند.

لازم به ذکر است در برخی نقاط دنیا با توجه به فراوانی چوب، سازه‌های چوبی نیز طراحی و اجرا می‌شوند که با توجه به محدودیت منابع چوب در ایران این چنین سازه‌هایی به ندرت ساخته می‌شوند.

در پایان این نکته نیز یادآوری می‌شود که در بسیاری از موارد می‌توان از ترکیب این سازه‌ها برای ساخت یک ساختمان نیز استفاده کرد.

۱-۱ مختصری در مورد سازه‌های متداول و مقایسه آن‌ها

سال‌ها است که بحث و اختلاف سلیقه در بین طراحان و سازندگان در انتخاب و برتری سازه‌های فولادی و سازه‌های بتنی نسبت به یکدیگر، باعث شده که این سؤال و ابهام همواره ذهن متخصصین و حتی مردم عادی را به خود جلب کند و به همین دلیل، کارفرمایان و سازندگان گاهی تا آخرین لحظات قبل از طراحی سازه خود، در انتخاب نوع سازه با تردید مواجه می‌شوند. شاید دلیل این ابهام این باشد که اصولاً انتخاب نوع سازه، تابعی از مسائل اقتصادی، اقلیمی، فنی، اجرایی و معیارهای دیگر است و به عبارتی، هیچ‌کدام از این نوع سازه‌ها برتری مطلق نسبت به یکدیگر ندارند؛ بلکه وابسته به شرایط، ممکن است هر کدام برتری نسبی بر دیگری داشته باشند. در ابتدا یک تقسیم‌بندی کلی از سازه‌های متداول در کشور ارائه می‌شود:

- سازه‌های سنتی (سازه‌های با مصالح بنایی)

- سازه‌های بتنی

- سازه‌های فلزی

سازه بنایی یا ماسونری^۱ به نوعی از سازه گفته می‌شود که در ساخت آن مصالح سنتی مانند آجر به صورت لایه‌ای به کار می‌رود و در میان لایه‌ها از ملات استفاده می‌شود. معمولاً در ساخت سازه‌ها یا دیوارهای بنایی، از مصالحی مانند آجر، سنگ، بلوک سیمانی و اندودگچ، سیمان، گل و غیره استفاده می‌شود. گاهی سازه بنایی به صورت خشکه‌چین (بدون ملات) نیز اجرا می‌شود. در این روش که ابتدایی‌ترین نوع سازه بنایی است، فقط قطعات سنگ یا بلوک را روی همدیگر قرار می‌دهند. البته این روش ساخت مقاومت کمی دارد و فقط برای ساختمان‌ها یا دیوارهای موقت یا کم‌ارزش به کار برده می‌شود. همان‌گونه که از نام این سازه‌های سنتی پیداست، طراحی و محاسبات در سازه‌های سنتی برخلاف سازه‌های بتنی و فلزی بیشتر از اینکه محاسباتی و علمی باشد، تجربی بوده و آیین‌نامه‌ها و محدودیت‌های اجرایی در سازه‌های سنتی نیز بر اساس نمونه‌های آماری و تجربی تعیین شده است. نمونه‌ای از یک سازه بنایی قدیمی در شکل ۱-۱ آمده است. در سازه‌های سنتی، باید کمینه‌های آیین‌نامه ۲۸۰۰ طراحی در برابر زلزله و مبحث هشتم مقررات ملی ساختمان را رعایت کرده و بیشینه طبقات مجاز در سازه‌های سنتی در تمام شرایط و مناطق، دوطبقه و بیشینه ارتفاع مجاز نیز هشت متر از سطح زمین باشد. به علاوه در طراحی و اجرای پلان معماری باید محدودیت و ضوابط مربوطه به سازه‌های سنتی بر اساس آیین‌نامه ۲۸۰۰ ایران رعایت شود. در سازه‌های سنتی وظیفه تحمل بارهای قائم برعهده دیوارها است و کلاف و شناژهای بتن مسلح قائم و افقی نیز با دو هدف زیر اجرا می‌شوند:

- زنجیر کردن و اتصال تمام اعضای افقی و عمودی سازه شامل دیوارها و سقف به یکدیگر
- ایجاد اتصال مناسب و تراز و توزیع مناسب بار سقف بر روی دیوار که این وظیفه بیشتر توسط کلاف یا شناژهای افقی، تأمین می‌شود.



شکل ۱-۱. نمایی از یک ساختمان با مصالح بنایی قدیمی

۱-۱-۱ مزایای ساختمان‌های بنایی

مصالح سنتی با توجه به سابقه استفاده در کشور، به اندازه کافی وجود دارند، مانند آجر که در اکثر نقاط ایران تولید می‌شود و کفایت کیفیت آن استاندارد شود و در مقایسه با بتن و فولاد، به استاد کار ماهر و متخصص، نیاز ندارد. مصالح بنایی در مقایسه با بتن حساسیت کمتری در مقابل سرما و گرما دارند و با کمترین تمهیدات قابل اجرا هستند. رواداری در سازه‌های بنایی بیشتر است و با توجه به کنترل کم و نظارت غیرمستمر ساختمان‌های مسکونی، این مورد یک حسن به‌شمار می‌رود. آسانی امکان تعمیر و ترمیم در نقاطی از کشور که کیفیت ساختمان‌سازی پایینی دارند، در صورت بروز اشکال، حتی ترمیم مقدور است. از آنجایی که در این سیستم، از دیوارهای ضخیم‌تر استفاده می‌شود، از نظر جلوگیری از انتقال حرارت مناسب هستند که در نتیجه مصرف انرژی نیز کاهش پیدا خواهد کرد.

کم بودن احتمال پوسیدگی و زنگ‌زدگی و مقاومت بیشتر در مقابل آتش‌سوزی در مقایسه با ساختمان‌های فولادی و یا بتنی از دیگر مزایای ساختمان‌های بنایی هستند. ضمن اینکه داشتن هزینه کمتر یعنی اقتصادی بودن به علت مصرف کم آهن‌آلات نیز نوعی برتری این نوع ساختمان به‌شمار می‌آید.

در هر حال با توجه به تجربی بودن دستورالعمل‌ها و آیین‌نامه‌های اجرایی در این روش، هیچ مرجع علمی قادر به تضمین سازه‌های سنتی نیست و بنابراین تنها اجرای این نوع سازه‌ها، در مناطق دارای محدودیت‌های فنی و تکنولوژی توصیه می‌شود.

۱-۲-۱ معایب ساختمان‌های بنایی

سازه‌های بنایی، به علت سنگینی و چگالی بالا و جذب نیروی زیاد زلزله از یک طرف و ضعف آنها در برابر بارهای جانبی از طرف دیگر، در ضوابط ساخت‌وساز ساختمان محدودیت‌هایی مانند تعداد طبقات و شرایط خاص دیگری برای آن در نظر گرفته شده است. همچنین امکان انجام تحلیل مقاومت و پایداری این سازه‌ها به درستی وجود ندارد. سرعت ساخت در این سازه‌ها پایین‌تر از سازه‌های بتنی و فولادی است. همان‌طور که اشاره شد محدودیت تعداد طبقات در این سازه‌ها وجود دارد. از طرفی برای مقاوم‌سازی نسبی این سازه‌ها در برابر زلزله و بارهای جانبی، نیاز به اجرای کلاف‌های افقی و قائم در آنها بوده که این موضوع موجب افزایش هزینه‌های اجرای آن نیز می‌شود.

۱-۲-۲ بررسی آسیب‌پذیری ساختمان‌های بنایی

اکثر ساختمان‌های ساخته شده به دست بشر در گذشته، از جنس مصالح بنایی هستند که اگر با اصول مهندسی ساخته شده باشند، مقاومت لرزه‌ای تا حدودی مناسب دارند. اما اگر اصول مهندسی در آنها رعایت نشده باشد، به شدت تحت نیروهای لرزه‌ای آسیب‌پذیر هستند. تاکنون در زلزله‌های متعدد در سراسر جهان، تلفات جانی بی‌شماری ناشی از خرابی ساختمان‌های بنایی مشاهده شده است که از آن جمله می‌توان به زلزله بم در سال ۱۳۸۲ اشاره کرد و در آن بیش از ۴۰۰۰۰ نفر از بین رفتند. از طرفی دیگر، در بسیاری از بررسی‌های پس از زلزله مشاهده می‌شود که وجود دیوارهای بنایی نسبت به ساختمان‌های فاقد دیوار باربر، باعث حفظ ایستایی ساختمان شده است. در نتیجه اگر از مصالح بنایی به درستی و با در نظر گرفتن تعداد طبقات مجاز آن استفاده شود، می‌تواند مقاومت و شکل‌پذیری قابل قبولی را در ساختمان ایجاد کرده و آسیب‌پذیری آن را تحت نیروهای لرزه‌ای کاهش دهد. در این قسمت، انواع موردهای خرابی ساختمان‌های بنایی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲-۱ آسیب‌پذیری خارج از صفحه دیوارها

خطرناک‌ترین نوع آسیب‌پذیری دیوارهای بنایی، خرابی خارج از صفحه دیوارها است، زیرا این نوع آسیب‌پذیری می‌تواند باعث از بین رفتن تکیه‌گاه سقف و در نتیجه فروریختن آن شود. از طرفی شکست خارج از صفحه دیوارهای بنایی، باعث حذف خصوصیات مثبت داخل صفحه دیوار مانند سختی و مقاومت می‌شود. ترک‌های ناشی از حرکات خارج از صفحه دیوارها ناشی از نیروهای لرزه‌ای، اولین ترک‌هایی هستند که در ساختمان‌های بنایی اتفاق می‌افتند. تحت اثر نیروهای خارج از صفحه، دیوارها به صورت خمشی رفتار کرده و به علت مقاومت کششی کم مصالح بنایی، ترک‌های خمشی در سطح دیوار ایجاد می‌شود.

الگوی ترک‌های دیوارهای بنایی تحت اثر نیروهای خارج از صفحه به وضعیت تکیه‌گاهی بستگی دارد. اگر دیوار در تمام محیط خود توسط تیر و ستون احاطه شده و در نتیجه دارای تکیه‌گاه‌های مناسبی باشد، الگوی ترک‌خوردگی مانند خطوط سیلان یک دال چهارطرف گیردار است. بدین معنا که ترک‌ها از چهار گوشه دیوار به صورت مایل شروع شده و تا وسط دیوار ادامه می‌یابند. اگر دیوار تنها در بالا و پایین خود دارای تکیه‌گاه باشد، رفتار آن شبیه یک تیر دوسر ساده است و تنها یک ترک افقی در وسط آن ایجاد می‌شود. دیوارهایی که تنها در پایین دارای تکیه‌گاه هستند، مانند یک تیر طره رفتار می‌کنند و بسیار تحت اثر نیروهای خارج از صفحه آسیب‌پذیر هستند.

عواملی که باعث افزایش مقاومت خارج از صفحه دیوارها می‌شوند عبارت‌اند از:

- نسبت ارتفاع به ضخامت دیوارهای بنایی (لاغری دیوار)
- اتصال بین دیوار و اجزای پیرامونی، مانند سقف و ستون‌های اطراف
- بار قائم وارد بر دیوار. هرچه این نیرو بیشتر باشد، پایداری دیوار بیشتر است.
- فاصله بین تکیه‌گاه‌های جانبی. هرچه فاصله بین کلاف‌های قائم و یا دیوارهای متقاطع کمتر باشد، مقاومت خارج از صفحه دیوار بیشتر است.

۱-۲-۲ آسیب‌پذیری داخل صفحه دیوارها

دیوارهای بنایی در راستای داخل صفحه خود سختی و مقاومت بسیار زیادی دارند و باعث افزایش باربری جانبی ساختمان می‌شوند. نیروهای ایجادشده داخل صفحه در این

دیوارها باعث ایجاد ترک‌های درون صفحه می‌شوند که الگوی آن‌ها به نسبت ابعادی دیوار (ارتفاع به طول)، نیروی قائم، شرایط تکیه‌گاهی و مشخصات مصالح بنایی دیوار بستگی دارد. انواع ترک‌خوردگی‌های داخل صفحه دیوارهای بنایی عبارت‌اند از:

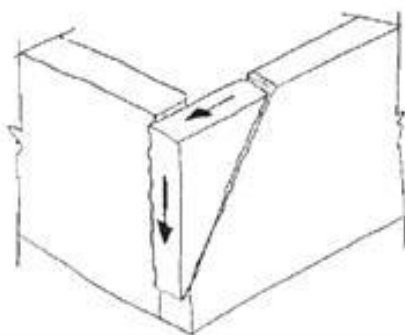
- **ترک‌های قطری کششی:** این گونه ترک‌ها به علت ایجاد تنش‌های کششی در دیوار تحت نیروی جانبی ایجاد می‌شوند. به علت ماهیت رفت و برگشتی نیروهای لرزه‌ای، این ترک‌ها به صورت ضرب‌دری شکل روی سطح دیوار ظاهر می‌شوند. پس ایجاد این ترک‌ها باعث می‌شود که مقاومت درون صفحه دیوار به شدت کاهش می‌یابد.
- **ترک‌های برشی:** این ترک‌ها به علت تنش‌های برشی ایجاد شده در ملات بین مصالح بنایی ایجاد و معمولاً به صورت پله‌ای بر روی سطح دیوار ظاهر می‌شوند.
- **ترک‌های ناشی از خردشدگی کنج:** این ترک‌ها به علت تمرکز تنش‌های فشاری در کنج‌های دیوار به وجود می‌آیند.
- **ترک‌های خمشی:** اگر نسبت ارتفاع به طول دیوار زیاد باشد، رفتار درون صفحه آن خمشی بوده و در نتیجه ترک‌های افقی خمشی در پایین دیوار ایجاد می‌شوند. این ترک‌ها به علت مقاومت کششی پایین مصالح بنایی در وجه کششی ایجاد می‌شود. به علت ماهیت رفت و برگشتی نیروهای لرزه‌ای، این ترک‌ها نیز در پایین و در دو طرف دیوار بنایی مشاهده می‌شوند.

۱-۲-۳ آسیب‌پذیری دیوارهای با بازشو

ترک‌خوردگی در گوشه بازشوها رایج‌ترین نوع ترک در دیوارهای بنایی هستند که به علت تمرکز تنش در این قسمت‌ها ایجاد می‌شوند. این ترک‌ها از گوشه‌ها آغاز شده و به صورت قطری به بالا و پایین دیوار ادامه می‌یابند.

۱-۲-۴ ناپایداری موضعی

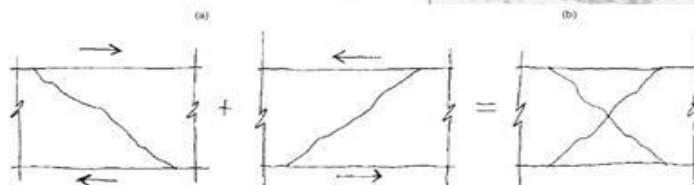
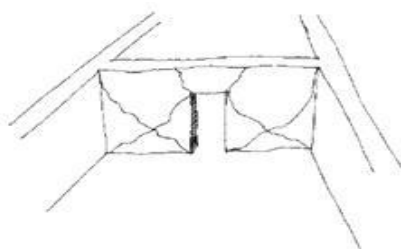
مجموع ترک‌های ایجاد شده در ساختمان می‌تواند باعث ایجاد قطعات جدا از هم و در نتیجه ناپایداری موضعی شود. این نوع آسیب‌پذیری معمولاً در انتهای دیوارها به علت وجود بازشوها ایجاد می‌شود. نمونه‌ای از ناپایداری موضعی در شکل ۱-۲ نشان داده شده است.



شکل ۱-۲. ناپایداری موضعی

۱-۲-۵ لغزش بین دیوارها و سقف

در ساختمان‌های با سقف سبک در صورتی که اتصال مناسبی بین سقف و دیوار وجود نداشته باشد، احتمال لغزش سقف بر روی دیوار تحت ارتعاشات لرزه‌ای وجود دارد. این نوع آسیب‌پذیری بسیار خطرناک است؛ زیرا در صورت افزایش جابه‌جایی نسبی سقف و دیوار، تیرچه‌های سقف امکان دارد از روی دیوار خارج شده و عملاً تکیه‌گاه خود را از دست بدهند، که در این صورت سقف به صورت یکپارچه فرو می‌ریزد. نمونه‌ای از این نوع ناپایداری در شکل ۱-۳ نشان داده شده است.



شکل ۱-۳. ترک‌خوردگی قطری به علت نیروهای داخل صفحه