

ساختمان‌های بلند و خیلی بلند

برنامه‌ریزی و طراحی

ترجمه:

ندا حقیقی

حمیدرضا مرادنژاد



نشر عالم عمران

www.elme-omran.com

Info@elme-omran.com

عضو:



انجمن فنی‌نگارانشناسان کتاب‌نگاری

این اثر مشمول قانون حمایت مولفان و مصنفان و هنرمندان مصوب ۱۳۴۸ است، هر کس تمام یا قسمتی از این اثر را بدون اجازه ناشر و مؤلف، نشر یا پخش یا عرضه کند مورد پیگرد قانونی قرار خواهد گرفت.

عنوان و پدیدآورنده:	ساختمان‌های بلند و خیلی بلند: برنامه‌ریزی و طراحی / [ویراستار اکبر تامبلی]: ترجمه ندا حقیقی، حمیدرضا مرادنژاد.
مشخصات نشر:	تهران: علم عمران، ۱۳۹۷.
مشخصات ظاهری:	۲۹۷ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک:	۸-۵۶-۵۱۷۶-۶۰۰-۹۷۸: ۲۵۰۰۰۰ ریال
یادداشت:	عنوان اصلی: Tall and supertall buildings: planning and design, [2014].
موضوع:	ساختمان‌های بلند -- طرح و ساختمان - Tall buildings -- Design and construction - ساختمان‌های بلند -- طرح و نقشه - Tall buildings -- Designs and plans
شناسه افزوده:	تامبلی، اکبر، ویراستار - Tamboli, Akbar R - مرادنژاد، حمیدرضا، ۱۳۵۵ - مترجم - حقیقی، ندا، ۱۳۶۴ - مترجم
رده‌بندی کنگره:	THA۴۵/س۱۶ ۱۳۹۷
رده‌بندی دیویی:	۷۲۰/۴۸۳
شماره کتابخانه ملی:	۵۳۳۲۴۵۷



نشر علم عمران

ساختمان‌های بلند و خیلی بلند، برنامه‌ریزی و طراحی

ترجمه: ندا حقیقی - حمیدرضا مرادنژاد

چاپ اول	تابستان ۱۳۹۷
تعداد و قطع صفحات	۳۰۲ - خشتی
حروف چینی و صفحه‌آرایی	علم عمران
شمارگان	۱۰۰۰
بهای کتاب	۳۰۰۰۰۰ ریال
شابک: ۸-۵۶-۵۱۷۶-۶۰۰-۹۷۸	ISBN:978-600-5176-56-8

نشر علم عمران: تهران، یوسف آباد، خیابان جهان آرا، بین خیابان‌های ۱۶ و ۱۸، پلاک ۳۳، طبقه دوم، واحد ۱۱،

تلفن: ۸۸۳۵۳۹۳۰ دورنگار: ۸۸۳۵۳۹۳۲

حقوق چاپ و نشر برای نشر علم عمران محفوظ است.

تقدیم به

تمامی مهندسان زحماتش سرزمینم

که برای آبادانی مهین در تلاشند

و تمام دوستانی که صمیمانه دوستان دارم

ندا حقیقی

مقدمه مترجم

اگر دانشی مرد گوید سخن

تو بشنو که دانش نگردد کهن

فردوسی

از آنجا که نقش برنامه‌ریزی و اهمیت طراحی در پروژه‌های بزرگ نقش کلیدی‌تری می‌یابد، لزوم بهره‌گیری از تجربیات ارزشمند در پروژه‌های ساختمان‌های بلند و خیلی بلند که شهرت جهانی یافته‌اند را ضروری دانستم تا گامی جهت بالا بردن سطح دانش نظری و فنی مهندسان سرزمینم برداشته باشم. نسخه حاضر، ترجمه کتاب ارزشمند ساختمان‌های بلند و خیلی بلند نوشته اکبر تامبولی است. نزدیک به پنج دهه تجربه، اکبر تامبولی به جهت توانایی خود در حل مسائل پیچیده مرتبط با طراحی سازه و مدیریت ساخت پروژه‌های بزرگ فولادی و بتنی، شناخته شده است. وی مدیریت ساخت سازه‌هایی چون بیمارستان، آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، ساختمان‌های بلند مرتبه اداری، مسکونی و هتل‌ها را در ایالات متحده، اروپا، آسیا و خاورمیانه برعهده داشته است. علی‌رغم دقت فراوانی که در ترجمه کتاب به کار گرفته شد، یقین دارم کتاب بدون اشکال نیست. لذا از مهندسان عزیز و گرامی تقاضا دارم بازخوردهای سازنده خود را جهت بهبود در چاپ‌های بعدی اعلام نمایند. پشاپیش از همکاری صمیمانه‌تان سپاسگزارم.

ندا حقیقی

تابستان ۱۳۹۷

تقدیم به

روح پدر بزرگوارم

مادر مهربان و فداکارم

همسر و فرزندانم سارینا و پارسای عزیزم

به خاطر تمام زحماتی که برای من کشیدند

حمید رضامراد نژاد

مقدمه مترجم

توسعه روزافزون شهرها و همچنین نیاز برای ایجاد فضاهای مسکونی و اداری و تجاری و آموزشی و اقامتی، ساخت سازه‌های بلند را بیش از پیش ضروری ساخته است. از سوی دیگر ساختمان‌های بلند و خیلی بلند (آسمان خراش‌ها) به دلیل ارتفاع بسیار زیاد و نیز اهمیت عملکرد، بیش از سایر سازه‌ها در معرض توجه متخصصین قرار دارند. کتاب ساختمان‌های بلند و خیلی بلند (آسمان خراش‌ها) گردآوری شده توسط دکتر اکبر تامبولی یکی از مراجع معتبر و وزین در مورد سازه‌های بلند می‌باشد که مورد استناد بسیاری از کتاب‌های مهندسی و مقالات تخصصی است که توسط جمعی از دانشمندان و متخصصین مهندسی عمران و معماری و تأسیسات در یازده فصل تهیه شده است. این کتاب خصوصیات ویژه‌ای دارد که با بسیاری از کتاب‌های موجود در بازار تفاوت دارد و آن این موضوع است که بسیاری از پروژه‌های موفق ساخته شده در اقصی نقاط جهان را به صورت کامل و از زوایای مختلف بررسی و تحلیل نموده است. سازه‌های بلندی همچون برج‌های سیرز و پتروناس و تایپه ۱۰۱ و شانگ‌های و خلیفه و کینگدام که هر کدام از این پروژه‌ها، مثالی از پیشرفت غیرقابل تصور مهندسی می‌باشند. موضوعاتی که در این کتاب بسیار حرفه‌ای و کاربردی به آن‌ها پرداخته شده است، کمتر در کتابی دیده شده است، به عنوان مثال مطالبی در مورد مهندسی سازه و مباحث تخصصی مهندسی باد و تأسیسات مکانیکی و برقی و تهویه مطبوع، مهندسی پی و فونداسیون و همچنین آینده‌پژوهی در علم سازه و باد.

در انتها از کلیه اساتید و همکاران و دوستان به ویژه جناب آقایان دکتر سید مهدی داودنوبی و دکتر نادر فنایی و همکاران هلدینگ سازیران به خصوص مهندس هومن حسین و مهندس آرام آقاجانی و مهندس برهانی، که به اینجانب در آماده کردن این کتاب یاری نمودند، تشکر فراوان دارم. بی شک این کتاب بدون زحمات سرکار خانم مهندس ندا حقیقی که در بهترین دانشگاه‌های کانادا مشغول به تحصیل می‌باشند، میسر نبود. همچنین از مدیریت محترم انتشارات علم عمران و سرکار خانم غریبی سپاسگزار می‌باشم. واضح است که نواقص موجود در ترجمه، چیزی از ارزش‌های کتاب نمی‌کاهد و مترجمین تلاش و اهتمام دارند که ایرادات احتمالی را با کمک خوانندگان برطرف نمایند، لذا خواهشمندم در صورت مشاهده موردی، نقطه نظر خود را به info@saziran.com منعکس نمایید.

حمیدرضا مرادنژاد

تابستان ۱۳۹۷

فهرست

۲۷	۷-۱- نماهای خارجی.....	۱۱	مقدمه.....
۲۸	۸-۱- خلاصه.....	۱۱	اکبر تامبولی.....
۲۹	فصل دوم.....	۱۳	پیشگفتل.....
۲۹	۱-۲- مقدمه و تاریخچه.....	۱۳	شورای استاندارد بین‌المللی.....
۳۰	۲-۲- استفاده از انرژی پایدار در ساختمان‌های بلند.....	۱۵	فصل اول.....
۳۱	۳-۲- طراحی یکپارچه.....	۱۵	۱-۱- مقدمه.....
۳۵	۴-۲- سیستم خنک‌کننده اولیه ساختمان بلند مرتبه: هوا و آب.....	۱۶	۲-۱- استانداردها و آیین‌نامه‌های کاربردی.....
۳۷	۵-۲- دستگاه مرکزی و سیستم‌های خنک‌کننده محلی (آب سرد DX).....	۱۷	۳-۱- سیستم‌های سازه‌ای.....
۴۱	۶-۲- سیستم گرمایش اولیه.....	۲۱	۴-۱- مهندسی باد.....
۴۳	۶-۲-۱- اثر دودکش و سیستم‌های گرمایشی.....	۲۱	۴-۱-۱- آزمایش تونل باد.....
۴۳	۷-۲- سیستم‌های فن مرکزی.....	۲۱	۴-۱-۲- جهت‌گیری و شکل ظاهری.....
۴۴	۷-۲-۱- سیستم‌های هوایی در دمای پایین.....	۲۲	۴-۱-۳- کشش و اثر باد مخالف.....
۴۵	۸-۲- توزیع هوا از کف.....	۲۲	۴-۱-۴- گردباد و ضربه.....
۴۷	۹-۲- تیرهای خنک‌کننده.....	۲۳	۴-۱-۵- تغییر مکان جانبی نسبی طبقه.....
۴۹	۱۰-۲- عملکرد حرارتی نما.....	۲۳	۴-۱-۶- شتاب‌های ساختمان.....
۵۱	۱۱-۲- تولید همزمان / ترکیبی گرما و برق.....	۲۳	۵-۱- مهندسی لرزه‌ای.....
۵۳	۱۲-۲- انرژی خورشیدی.....	۲۴	۵-۱-۱- رفتار دینامیکی پیچیده.....
۵۵	فصل سوم.....	۲۴	۵-۱-۲- نیروهای محوری.....
۵۵	۱-۳- مقدمه.....	۲۴	۵-۱-۳- اثرات ابعاد و اندازه.....
۵۶	۲-۳- مفهوم طراحی.....	۲۵	۵-۱-۴- میرایی.....
۵۹	۳-۳- تشریح سازه.....	۲۵	۵-۱-۵- دستورالعمل‌هایی در طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد.....
۶۴	۴-۳- معیارهای طراحی.....	۲۵	۶-۱- کوتاه شدگی الاستیک طول اعضا سازه‌ای، خزش و نشست.....
۶۴	۴-۳-۱- بارهای ثقلی.....	۲۶	۶-۱-۱- تجزیه و تحلیل.....

۹۳	۱۲-۴- دیوار غیربرابر.....	۶۴	۲-۴- بار باد.....
۹۴	۱۳-۴- راس برج.....	۶۶	۳-۴- طراحی لرزه‌ای.....
۹۷	۱۴-۴- پل میانی دو برج.....	۶۶	۵-۳- معیارهای طراحی اعضا.....
۱۰۱	فصل پنجم.....	۶۶	۱-۵-۳- ستون‌ها.....
۱۰۱	۱-۵- ویژگی‌های طراحی معماری.....	۶۶	۲-۵-۳- تیرهای قاب.....
۱۰۲	۲-۵- معیارهای طراحی و انتخاب مصالح.....	۶۶	۳-۵-۳- منطقه پیل.....
۱۰۳	۳-۵- انتخاب و اجرای سیستم مقاوم در برابر بار جانبی.....	۶۷	۴-۵-۳- دمای ستون.....
۱۰۸	۴-۵- معیارهای کنترل باد.....	۶۷	۶-۳- تحلیل و طراحی.....
۱۱۱	۵-۵- معیارهای کاهش خستگی باد.....	۶۹	۷-۳- طراحی فونداسیون.....
۱۱۴	۶-۵- ویژگی‌های طراحی لرزه‌ای.....	۶۹	۸-۳- ساخت.....
۱۱۶	۷-۵- ویژگی‌های مسیر بار ویژه.....	۶۹	۱-۸-۳- برنامه‌ریزی سریع.....
۱۱۶	۸-۵- انتخاب فونداسیون عمیق.....	۶۹	۲-۸-۳- زیرسازی.....
۱۱۷	۹-۵- تدابیر خاک‌برداری مرحله‌ای.....	۷۱	۳-۸-۳- روسازی.....
۱۱۸	۱۰-۵- ساخت و طراحی ستون‌های با مقطع قوطی.....	۷۲	۹-۳- تیغه.....
۱۱۸	۱۱-۵- تدابیر نصب مناره مخروطی شکل.....	۷۲	۱۰-۳- شستشوی پنجره.....
۱۱۹	۱۲-۵- تدابیر آسانسور.....	۷۳	۱۱-۳- آسانسور.....
۱۱۹	۱۳-۵- زلزله در زمان ساخت و ساز.....	۷۳	۱۲-۳- آبیاش‌های آتشنشانی.....
۱۱۹	۱۴-۵- وضعیت LEED.....	۷۴	۱۳-۳- تاریخچه به روز رسانی.....
۱۲۱	فصل ششم.....	۷۴	۱-۱۳-۳- آنتن‌ها.....
۱۲۳	۱-۶- ایجاد یک شهر عمودی.....	۷۴	۲-۱۳-۳- تجدید نظر.....
۱۲۴	۲-۶- برج پایدار.....	۷۵	۳-۱۳-۳- سیرز سال ۲۰۰۰.....
۱۲۵	۳-۶- تدابیر سبز.....	۷۵	۴-۱۳-۳- بالکن.....
۱۲۵	۴-۶- سرعت ساخت آسمان‌خراش.....	۷۶	۱-۴-۳- خلاصه.....
۱۲۶	۵-۶- اولویت‌های بسیار برای چین.....	۷۷	فصل چهارم.....
۱۲۷	۶-۶- اصلاح نهایی شکل برج.....	۷۷	۱-۴- طراحی معماری.....
۱۲۹	۷-۶- دیوارهای پیرامونی (Curtain Wall).....	۷۹	۲-۴- ضوابط طراحی سازه.....
۱۲۹	۸-۶- به حداقل رساندن انعکاس و تابش خیره‌کننده.....	۸۰	۳-۴- بررسی‌های دقیق باد.....
۱۲۹	۹-۶- سیستم جانبی.....	۸۲	۴-۴- فونداسیون‌ها و جابجایی مکان برج.....
۱۳۰	۱۰-۶- چالش‌های طراحی سازه.....	۸۵	۵-۴- جرم بتن.....
۱۳۱	۱۱-۶- چاره‌سازی‌های اسکلت فولادی.....	۸۵	۶-۴- استراتژی ترازبندی و طراحی هسته.....
۱۳۲	۱۲-۶- آیین‌نامه طراحی سازه.....	۸۶	۷-۴- بار ثقلی خروج از مرکز.....
۱۳۲	۱۳-۶- انتخاب حرکات زمین.....	۸۷	۸-۴- قاب‌بندی محیطی.....
۱۳۳	۱۴-۶- مدل تحلیلی.....	۸۹	۹-۴- ملاحظات مقاومت بتن.....
۱۳۳	۱۵-۶- رفتار غیرخطی.....	۹۰	۱۰-۴- خزش و افت.....
۱۳۴	۱۶-۶- سطوح عملکرد.....	۹۱	۱۱-۴- قاب‌بندی طبقه.....

۱۸۲	۳-۹- تخمین سوانح لرزه‌ای در محل احداث.....	۱۳۴	۱۷-۶- نتایج تحلیل.....
۱۸۲	۱-۳-۹- ارزیابی سوانح لرزه‌ای.....	۱۳۶	۱۸-۶- نتیجه‌گیری.....
۱۸۳	۲-۳-۹- اهداف عملکردی.....	۱۳۷	فصل هفتم.....
۱۸۳	۳-۳-۹- طبقه‌بندی سایت.....	۱۳۷	۱-۷- بررسی اجمالی.....
۱۸۳	۴-۳-۹- پاسخ اختصاصی سایت.....	۱۳۷	۲-۷- مفهوم طراحی.....
۱۸۵	۵-۳-۹- تاریخچه‌های زمانی شتاب برای ارزیابی و طراحی سازه.....	۱۳۸	۳-۷- طراحی معماری.....
۱۸۶	۴-۹- انتخاب و تحلیل پی.....	۱۳۹	۴-۷- مهندسی Y: هسته مستحکم.....
۱۸۶	۱-۴-۹- مقدمه.....	۱۳۹	۵-۷- شرح سیستم سازه‌ای.....
۱۸۷	۲-۴-۹- سیستم‌های پی ساختمان برای سازه‌های فوق بلند.....	۱۴۰	۶-۷- تحلیل و طراحی سازه.....
۱۸۸	۳-۴-۹- ملاحظات طراحی.....	۱۴۲	۷-۷- فونداسیون‌های برج.....
۱۹۱	۴-۴-۹- محاسبات ظرفیت ژئوتکنیکی.....	۱۴۳	۸-۷- مهندسی باد.....
۱۹۳	۵-۴-۹- نشست پی.....	۱۴۶	۹-۷- تکنولوژی و روش‌های ساخت.....
۱۹۵	۶-۴-۹- تحلیل المان محدود.....	۱۴۷	۱۰-۷- نتیجه‌گیری.....
۱۹۹	۵-۹- ساختار شمع‌زنی پشتیبان (حائل) برای حفاری زیرزمین سازه - طراحی و ساخت.....	۱۴۹	فصل هشتم.....
۱۹۹	۱-۵-۹- مقدمه.....	۱۴۹	۱-۸- بررسی اجمالی پروژه.....
۱۹۹	۲-۵-۹- عوامل لحاظ‌شده در انتخاب دیوارهای پشتیبان.....	۱۵۱	۲-۸- چهارچوب نظارتی.....
۲۰۴	۳-۵-۹- سیستم‌های مهاربندی.....	۱۵۲	۳-۸- سیستم سازه‌ای و نحوه توسعه آن.....
۲۰۵	۴-۵-۹- ملاحظات طراحی و ساخت.....	۱۵۲	۴-۸- خلاصه‌ای از اصول سیستم سازه‌ای.....
۲۰۶	۶-۹- قابلیت ساخت، کنترل و تضمین کیفیت.....	۱۵۶	۵-۸- جنبه‌های مهندسی باد.....
۲۰۶	۱-۶-۹- مقدمه.....	۱۵۹	۶-۸- ملاحظات لرزه‌ای.....
۲۰۶	۲-۶-۹- قابلیت ساخت سیستم‌های مختلف پی ساختمان.....	۱۶۰	۷-۸- چالش‌های خاص.....
۲۱۱	۳-۶-۹- اسناد ساخت.....	۱۶۰	۱-۷-۸- تحلیل توالی زمانی برای تغییر شکل الاستیک، خزشی و انقباضی بتن.....
۲۱۲	۴-۶-۹- تست، مشاهده و تایید.....	۱۶۱	۲-۷-۸- پایداری سازه‌ای و مقاومت در برابر فروپاشی غیرتناسبی.....
۲۱۳	۵-۶-۹- کنترل و تضمین کیفیت.....	۱۶۲	۸-۸- دیوار خارجی.....
۲۱۵	فصل دهم.....	۱۶۵	۹-۸- ملاحظات زیست محیطی.....
۲۱۵	۱-۱۰- مقدمه.....	۱۶۵	۱۰-۸- زمان‌بندی و مرحله‌بندی عملیات ساخت.....
۲۱۶	۲-۱۰- شرایط جوی باد و ماهیت آن.....	۱۶۵	۱۱-۸- نظارت بر سلامت بلندمدت سازه.....
۲۱۶	۱-۲-۱۰- مقدمه.....	۱۶۶	۱۲-۸- هزینه‌ها و تامین مالی.....
۲۱۷	۲-۲-۱۰- داده‌ها.....	۱۶۷	فصل نهم.....
۲۲۱	۳-۲-۱۰- سایت نظارتی.....	۱۶۷	۱-۹- مقدمه.....
۲۲۳	۴-۲-۱۰- شرایط جوی در محل سایت.....	۱۶۷	۲-۹- اکتشاف سایت.....
۲۲۵	۵-۲-۱۰- رویکرد تجزیه و تحلیل شرایط حدی.....	۱۶۷	۱-۲-۹- اکتشاف سایت.....
۲۲۹	۳-۱۰- نیروی عملکرد باد نسبت به ساختمان‌های بلند.....	۱۶۸	۲-۲-۹- برنامه‌ریزی بازرسی‌ها.....
۲۲۹	۱-۳-۱۰- بارهای هم‌راستا با جهت وزش باد ناشی از جریان بادی توربولانس تصادفی.....	۱۷۰	۳-۲-۹- بررسی‌های زیرزمینی.....
۲۳۰	۲-۳-۱۰- بارهای متقاطع بر جریان باد ناشی از برخورد گردبادی.....	۱۸۱	۴-۲-۹- گزارشات ژئوتکنیکی.....

فصل یازدهم	۲۶۵	۳-۳-۱۰- حرکت القا شده ناشی از جریان باد	۲۳۱
۱-۱۱- مقدمه	۲۶۵	۴-۱۰- تست تونل باد	۲۳۲
۲-۱۱- شرایط جوی ورزش باد	۲۶۶	۱-۴-۱۰- شبیه‌سازی‌های تونل باد	۲۳۳
۱-۲-۱۱- انواع مختلف از طوفان	۲۶۶	۲-۴-۱۰- تکنیک‌های اندازه‌گیری	۲۳۴
۲-۲-۱۱- داده‌های باد سطح زمین	۲۶۷	۳-۴-۱۰- تست فشار باد برای مولفه‌ها و روکش ها	۲۳۴
۳-۲-۱۱- داده‌های بادی بالن هواشناسی	۲۶۹	۴-۴-۱۰- تست بارگذاری بادی سازه‌ای	۲۳۴
۴-۲-۱۱- داده‌های باد و مدل مقیاس مزو	۲۶۹	۵-۱۰- کنترل نیروهای باد و پاسخ ساختمان	۲۳۶
۳-۱۱- پروفایل‌های تونل باد	۲۷۰	۱-۵-۱۰- سیستم‌های میراکننده	۲۳۹
۱-۳-۱۱- لایه مرزی	۲۷۰	۲-۵-۱۰- میراکننده‌های تنظیم جرمی	۲۴۱
۲-۳-۱۱- فناوری شبکه	۲۷۲	۳-۵-۱۰- میراکننده تنظیمی مایع	۲۴۵
۴-۱۱- آزمایش تونل باد	۲۷۴	۴-۵-۱۰- میراکننده‌های ویکسوز	۲۴۸
۱-۴-۱۱- تکنیک‌های آزمایش	۲۷۶	۵-۵-۱۰- میراکننده‌های جرمی فعال	۲۴۸
۵-۱۱- سایر مسائل بادی مرتبط با سازه‌های فوق بلند	۲۹۰	۶-۵-۱۰- میراکننده‌های جرمی هیبرید	۲۴۹
۱-۵-۱۱- راحتی ساکنان	۲۹۰	۷-۵-۱۰- نتیجه‌گیری	۲۴۹
۲-۵-۱۱- حالت حدی طراحی در مقابل حالت حدی نهایی	۲۹۲	۶-۱۰- محیط بادی- خورشیدی در نواحی عبور و مرور افراد	۲۵۰
۳-۵-۱۱- راحتی افراد حاضر در پیاده‌روها (خارج از ساختمان)	۲۹۲	۷-۱۰- ملاحظات قابلیت اطمینان ساختمان	۲۵۶
۴-۵-۱۱- اثر دودکشی	۲۹۲	۸-۱۰- بارهای بادی در حین ساخت و ساز	۲۵۸
۵-۵-۱۱- توربین‌های بادی ادغام شده در ساختمان	۲۹۳	۹-۱۰- آثار دودکشی در ساختمان‌های بلند	۲۶۰
۶-۱۱- چالش‌های آبی آزمایش تونل باد سازه‌های فوق بلند	۲۹۴	۱۰-۱۰- نتیجه‌گیری	۲۶۴

مقدمه

کتاب حاضر، گردآوری و توضیحی است در مورد برنامه‌ریزی، طراحی و ساخت ساختمان‌های بلند و بسیار بلند که برای کمک به معماران و مهندسان و دانشجویان مهندسی عمران، مهندسی مکانیک و معماری به عنوان یک مرجع معتبر در زمینه ساختمان‌های بلند و خیلی بلند در نظر گرفته شده است. ساختمان‌های تحت پوشش، بسیاری از ساختمان‌های بلند و خیلی بلند با موقعیت هنری خاص از برج سیرز (برج ویلیس) تا برج سلطنتی، می‌باشند.

فصل طراحی به ضوابط بارگذاری مورد استفاده، از جمله زمین‌لرزه و دیگر ملاحظات زیست محیطی اختصاص داده شده است. نیروهای باد بیشترین تاثیر را در طراحی ساختمان‌های خیلی بلند دارند. مبحث فوق در دو فصل، توسط کارشناسان برجسته، به تفصیل ارائه گردیده است. از آنجا که هر سایت پروژه با شرایط خاص در طراحی فونداسیون مواجه است، فصل فونداسیون به بررسی چگونگی استفاده از انواع مختلف فونداسیون در موقعیت‌های مختلف می‌پردازد. سیستم‌های مکانیکی تاثیر بسیار زیادی بر جنبه‌های سازه‌ای دارند؛ بنابراین، در فصلی به صورت ویژه، کارآمدترین راه مقابله با این وضعیت توضیح داده شده است. تعامل معماری در به حداقل رساندن تاثیر بارگذاری باد در بسیاری از فصول به دلیل تاثیر بسیار زیاد آن بر طراحی، توضیح داده شده است. ۱۱ فصل کتاب، توسط ۳۰ نفر از همکاران انتخابی از لحاظ برتری و تجربه گسترده‌شان در پروژه‌های ساختمان‌های بلند و خیلی بلند، نوشته شده است. آن‌ها مطالب خود را به صورت آماده برای استفاده، عرضه کرده‌اند. هر فصل، پروژه‌های بزرگ را به تفصیل مورد بحث قرار می‌دهد. همکاران، با قضاوت خود، مطالبی را که برای بیشترین تعداد از کاربران مفید است انتخاب می‌کنند. با این حال، برای سایر مطالب که در بسیاری از موضوعات نمی‌تواند با جزئیات مورد بحث قرار گیرد، منابعی ذکر شده است. مفاهیم و روش‌های توضیح داده شده در این فصول در راهنمای طراحی و تصمیم‌گیری‌ها در برنامه‌ریزی برای ساختمان‌های بلند و خیلی بلند مفید خواهد بود. این کتاب به عنوان یک کتابچه راهنمای کار برای مهندسان، معماران، مقامات دولتی و نیز مورد نیاز افرادی که وظیفه آن‌ها تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی و طراحی ساختمان‌های بلند و خیلی بلند است، می‌باشد. هر فصل با دقت و با هدف به حداقل رساندن نسخه برداری از محتوا و با توجه به اینکه موضوعات مهم به طور کامل تحت پوشش قرار گیرند، مرتب شده است.

اکبر تامبولی

پیشگفتار

شورای ساختمان‌های بلند و زیستگاه شهری (CTBUH)، مرکز پیشرو جهان برای حرفه‌های متمرکز بر طراحی، ساخت و بهره‌برداری ساختمان‌های بلند و شهرهای آتی است. یک سازمان غیر انتفاعی، در سال ۱۹۶۹ در موسسه فناوری ایلینویس شیکاگو، تاسیس و مستقر شد. گروه فوق، تبادل آخرین دانش موجود در حوزه ساختمان‌های بلند در سراسر جهان را از طریق حوادث، انتشارات، پژوهش، گروه‌های کاری، منابع اینترنتی و شبکه گسترده‌ای از نمایندگان بین‌المللی، تسهیل می‌بخشد. در همین زمان، بخش تحقیقات این کمیسیون، تحقیقات مربوط به نسل بعدی ساختمان‌های بلند را با کمک تحقیقات اولیه بر روی پایداری و موضوعات کلیدی توسعه رهبری می‌کند. این شورا همچنین، بزرگترین پایگاه داده رایگان در جهان در حوزه ساختمان‌های بلند، مرکز آسمان‌خراش، را نگهداری می‌کند که به صورت روزانه با اطلاعات دقیق، تصاویر و اخبار در مورد هزاران ساختمان بلند در سراسر جهان به روز می‌گردد. CTBUH همچنین استانداردهای بین‌المللی برای اندازه‌گیری ارتفاع ساختمان بلند را توسعه داد و به عنوان داور اهدای عنوان "بلندترین ساختمان جهان" شناخته می‌شود.

شورای استاندارد بین‌المللی

شورای استاندارد بین‌المللی (ICC) یک انجمن عضو محور است. این انجمن به توسعه استانداردها و مدل‌های مورد استفاده در طراحی، ساخت، و روند انطباق با هدف ساخت سازه‌های امن، پایدار، مقرون به صرفه، و انعطاف پذیر، اختصاص داده شده است. بیشتر جوامع ایالات متحده و بسیاری از بازارهای جهانی استانداردهای بین‌المللی را انتخاب می‌نمایند. سرویس ارزیابی (ICC-ES)، پیشرو صنعتی در انجام ارزیابی‌های فنی برای ایجاد انطباق استاندارد طراحی و ساخت و ساز ایمن و پایدار است.

فصل اول

ملاحظات طراحی برای ساختمان‌های بلند و خیلی بلند

Ron Klemencic

Magnusson Klemencic Associates

۱-۱- مقدمه

طراحی سازه ساختمان‌های بلند و خیلی بلند به عنوان یک هنر و نیز یک علم است. اولین و مهم‌ترین نیاز، توجه عمیق به نیروهای طبیعت است. این نیروهای خارق‌العاده ناشی از گرانش زمین، باد، اثرات لرزه‌ای، شرایط حرارتی و زیستگاهی هستند و باید به دقت مدیریت شود. مهارت زیادی در تنظیم و متناسب کردن سیستم سازه، مورد نیاز است به طوری که عملکرد ساختمان حاصل، انتظارات مالکان و ساکنان و نیز نکات ایمنی و بهره‌وری در نظر گرفته شده باشد. برای رسیدن به یک طراحی سازه کارآمد، همکاری نزدیک معمار و مهندسین مکانیک / برق مورد نیاز است. اگر چه ممکن است "قابل اجرا بودن" یک طراحی سازه برای یک دید معمارانه، ساده به نظر برسد، اما به احتمال زیاد ساختمان منتج شده، در مدیریت نیروها و توزیع مصالح ناکارآمد خواهد بود.

همکاری نزدیک تیم طراحی به طوری که مفاهیم سازه‌ای به صورت جدایی ناپذیر با معماری و توابع ساختمان باشند، به بهترین نتیجه کلی (جایزه سازه اقتصادی و پلاتین LEED) منجر خواهد شد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- شماره ۳۰۰ لاسل شمالی

۱-۲- استانداردها و آیین‌نامه‌های کاربردی

استانداردهای ساختمان در سراسر جهان به طور کلی با ساختمان‌هایی در مقیاس متوسط ایجاد شده‌اند. این استانداردها به طور مستقیم، جنبه‌های منحصر به فرد ساختمان‌های بلند را در نظر نمی‌گیرند و در برخی موارد، مفاد استانداردهای فعلی ممکن است برای به کارگیری در ساختمان‌های بلند مناسب نباشد. یکی از ملاحظات طراحی حائز اهمیت برای بسیاری از ساختمان‌های بلند، واکنش در برابر نیروی باد است. اگرچه در استانداردهای ساختمان، نیروهای حداقل در نظر گرفته می‌شود، اما باید حداقل نیاز ساختمان در عملکردهای خاص، مرتفع شود. در مورد ساختمان‌های بلند، میزان تغییر مکان جانبی نسبی هر طبقه و راحتی ساکنین به طور کلی از محدودیت‌های کنترل طراحی می‌باشند.

حداقل نیروهای باد مشخص شده در بسیاری از استانداردها، پاسخ دینامیکی بالقوه یک برج بلند را در نظر نمی‌گیرد و در نتیجه سطوح نیاز، به شدت دست‌کم گرفته می‌شود. در برخی از سازه‌های بلند و لاغر، گردباد می‌تواند منجر به اثرات باد مخالف زیادی شود که به دفعات، تراز نیروها توسط استاندارد درج شده است. علاوه بر این، ضربه باد از ساختمان‌های بلند مجاور نیز ممکن است نیازها را افزایش دهد. به این دلایل، مطالعات تونل باد به طور کلی روشی مناسب برای توصیف بهتر پاسخ یک ساختمان بلند به باد می‌باشد.

حوزه‌های محلی کمی شامل مجموعه‌ای از دستورالعمل‌ها می‌باشند. به عنوان مثال زمانی که مطالعه تونل باد مورد نیاز است، قضاوت حرفه‌ای طراحی، جایگزین این

روش می‌شود. در تعیین اینکه آیا یک مطالعه تونل باد تضمین شده است، دقت کافی باید اعمال شود زیرا ارتفاع ساختمان تنها مورد حائز اهمیت نمی‌باشد. یک ساختمان بسیار لاغر با ارتفاعی بیش از مقدار متوسط و با هندسه منحصر به فرد یا جابجایی به همان اندازه به اثرات تشدید دینامیکی باد ممکن است حساس باشد. منابع مختلفی برای طراحی حرفه‌ای جهت راهنمایی در مورد تصمیم‌گیری‌های مربوط به بارگذاری باد و توصیه‌هایی برای معیارهای پذیرش عملکرد مناسب ساختمان موجود می‌باشد. تعدادی از این منابع عبارتند از:

- بارهای طراحی حداقل برای ساختمان‌ها و سازه‌های دیگر (ASCE/SEI7-10)
- معیارهای قابل قبول برای حرکات ناشی از باد در ساختمان‌های بلند، نیکلاس ایسومو
- کتاب مرجع ساختمان‌های بلند، پارکر و وود
- رفتار باد بر سازه‌ها، سازمان بین‌المللی استاندارد

در مناطق معتدل از نظر زلزله‌خیزی تا زلزله‌خیزترین مناطق، بیشتر استانداردهای ساختمان، به اندازه کافی جنبه‌های منحصر به فرد ساختمان‌های بلند را عنوان نمی‌کند. به طور خاص، ساختمان‌های بلند به لرزش زمین به شیوه‌ای پیچیده پاسخ می‌دهند، آنجا که مود بنیادی ارتعاش، لزوماً پاسخ کنترل‌کننده نیست. بالاترین مود ارتعاش، توسط لرزش شدید زمین در محدوده نوسان یک تا سه ثانیه واقع شده که ممکن است بر پاسخ لرزه‌ای یک برج بلند غالب گردد. نیازهای خمش و برش می‌تواند بسیار بیشتر از مقدار پیش‌بینی شده توسط مفاد استاندارد باشد، و توزیع این نیازها می‌تواند به طور کامل متناقض با اولین مود پاسخ نمونه طبیعی مقرر شده در مفاد استاندارد ساختمان باشد. با به رسمیت شناختن پاسخ انحصاری ساختمان‌های بلند، طراحی لرزه‌ای مبتنی بر عملکرد (PBSD)، در دهه گذشته بیشتر رایج شده است. با روش PBSD، تقاضای لرزه‌ای خاص یک محل، با دقت بیشتر در دو یا چند تراز مختلف زمین تعریف شده است. طراحی سازه یک برج بلند، به هدف عملکرد خاص و در زمانی که ترازهای مختلف زمین در معرض لرزش باشند، متناسب و دقیق شده است. به جای تلاش برای رسیدن به اهداف عملکرد از طریق مفاد استانداردهای مقرر شده، تایید بسیار صریح و مستقیم عملکرد، از طریق شبیه‌سازی کامپیوتری دقیق حاصل می‌شود. نتایج طراحی، یک سطح ایمنی و قابلیت اطمینان جهت رسیدن به طرح سازه‌ای مشابه، منطبق با مفاد استانداردهای مقرر ایجاد می‌کند. پیکره دانش و تجربه در حمایت از PBSD همچنان در حال گسترش و اصلاحات است. چند منبع برای کمک به حرفه طراحی، عبارتند از:

- "راهنمای طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های بلند بر اساس عملکرد"
- "روش جایگزین برای تجزیه و تحلیل لرزه‌ای و طراحی ساختمان‌های بلند واقع در منطقه لس آنجلس"
- "توصیه‌هایی برای طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های بلند مرتبه"

۱-۳- سیستم‌های سازه‌ای

سیستم‌های سازه‌ای مورد استفاده در ساخت و ساز ساختمان‌های بلند در دهه گذشته رشد یافته است و بر اساس نوع و زمان قابل دست‌بندی می‌باشند. ساختمان‌های بلند اولیه با سیستم دیوارهای باربر ساخته شدند. ساختمان موندنوک در شیکاگو (شکل ۱-۲) از ساختمان‌های معروف که در آن دیوارهای آجری بیرونی با ضخامت بیش از ۶ فوت در ۱۶ طبقه و ارتفاع ۱۵۰ فوت می‌باشد. با ظهور سازه‌های فولادی، سری جدیدی از ساختمان‌های بلندتر متشکل از فریم‌های سه‌بعدی شامل تیرها و ستون‌ها به وجود آمدند، مانند مرکز کمکست، در فیلادلفیا، پنسیلوانیا، (شکل ۱-۳). بسیاری اوقات، بخش‌هایی از قاب‌ها با آجر، کاشی سفالی و یا بتن برای سختی بیشتر، پر شده بودند. در اوایل دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰، مجموعه‌ای از ساختمان‌های بلندتر تکامل یافت که در آن‌ها سیستم‌های مهاربندی بیرونی گنجانده شده بود و برای اولین بار، معماری ساختمان‌های بلند، نشان از سیستم سازه‌ای بود. فضلورخان یکی از با نفوذترین پیشروان در توسعه سیستم‌های سازه‌ای کارآمد منطبق با معماری یک برج بلند بود. ساختمان جان هنکاک (شکل ۱-۴) و نیز برج ویلیس (سیرز) (شکل ۱-۵)، هر دو واقع در شیکاگو، دو برج معروف از این دوره می‌باشند.



شکل ۱-۳- مرکز کمکست، در فیلادلفیا، پنسیلوانیا



شکل ۱-۲- ساختمان موندانوک در شیکاگو



شکل ۱-۵- برج ویلیس (سیرز) در شیکاگو

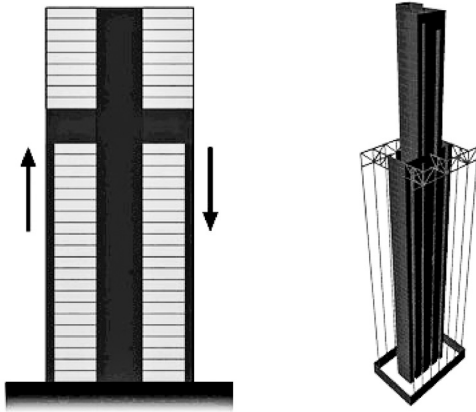


شکل ۱-۴- ساختمان جان هنکاک در شیکاگو

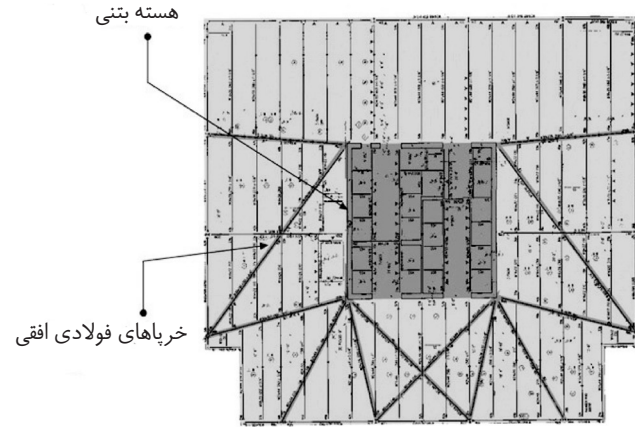
فشارها در بازار املاک و مستغلات برای به حداکثر رساندن بازده و ارائه دیدگاه‌های سبکبار برای مستاجران باعث شد تا مهندسان به نوبه خود از سیستم‌های مهاربندی جانبی دوری کرده و سیستم‌های سازه‌ای مبتنی بر هسته‌ی مرکزی را برگزینند. یک هسته مرکزی سخت و قوی، اطراف آسانسور، پله‌ها، و فضاهای تکیه‌گاهی یک برج، حداکثر انعطاف پذیری طرح پلان و دید کاملاً بدون مانع را فراهم می‌کند. به عنوان مثال می‌توان ساختمان شماره ۱۱۱ ویکر جنوبی، واقع در شیکاگو (شکل ۱-۶ و ۱-۷) را یادآور شد. یک سیستم مهاربندی مبتنی بر هسته، با این حال، تنها به یک ارتفاع خاص (به دلایل مربوط به نسبت ابعاد) با توجه به عرض محدود هسته، کارآمد می‌باشد. هنگامی که یک هسته تنها، سختی کافی را برای کنترل نیروهای نوسانی یک برج فراهم نمی‌کند، سیستم‌های مهاربازویی، اضافه می‌شوند که به طور موثر ایستایی برج را افزایش می‌دهند (شکل ۱-۸). برای کارآمد بودن، مهارهای بازویی باید محیط ستون را احاطه کنند، که می‌تواند کمی بزرگ در نظر گرفته شوند. این روش در برج‌هایی که دارای ستون‌های بزرگ هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد، مانند تایپه ۱۰۱ در تایوان (شکل ۱-۹ و ۱-۱۰). بیشترین موج اخیر ساختمان‌های بلند نشان‌دهنده تجدید حیات برخی از مفاهیم ساختاری پیش از آن است. محبوبیت به اصطلاح معماری افراطی منجر به اعمال مجدد سیستم مهاربند جانبی می‌شود به عنوان مثال، برج CCTV در پکن به عنوان مثال نخست (شکل ۱-۱۱) و در مورد ساختمان خیلی بلند، برج خلیفه در دبی (شکل ۱-۱۲)، که بازگشتی است به سیستم دیوارهای باربر.



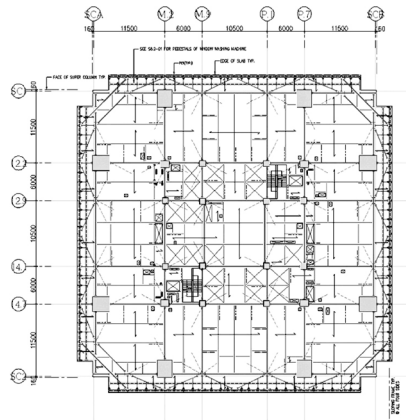
شکل ۱-۶- ساختمان شماره ۱۱۱ ویکر جنوبی، واقع در شیکاگو



شکل ۱-۸- سیستم مهار بازویی



شکل ۱-۷- ساختمان شماره ۱۱۱ ویکر جنوبی، واقع در شیکاگو
پلان کف طبقات



پلان قاب‌بندی برج - طبقه ۴۲

شکل ۱-۱۰- تایپتی ۱۰۱ در تایوان، پلان کف طبقات



شکل ۱-۹- تایپتی ۱۰۱ در تایوان



شکل ۱-۱۲- برج خلیفه در دبی



شکل ۱-۱۱- برج CCTV در پکن

۱-۴- مهندسی باد

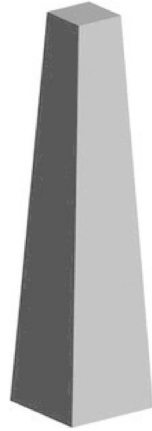
باد، در بسیاری از موارد، نیروی جانبی غالب وارد شده بر یک ساختمان بلند است. حتی در مناطق زلزله‌خیز مانند کالیفرنیا و آسیای جنوب شرقی، نیازهای باد و توجه به راحتی ساکنین، مقاومت مورد نیاز و سختی یک برج را به خوبی کنترل می‌کند. نکته جالب توجه اینکه، استانداردهای ساختمان در سراسر جهان به طور کلی تنها پرداختن به نیازهای مقاومت است. استانداردهای ساختمان به طور کلی، عملکرد سطح خدمات مربوط به اثرات حرکات ساختمان پس از اتمام معماری و نما و اثرات شتاب ساختمان بر آسایش ساکنین را تنظیم نمی‌کند. تعریف و کنترل اهداف عملکرد خاص برای حرکات ساختمان و شتاب‌ها به صلاح‌دید حرفه طراحی واگذار شده است. البته، ایمنی در درجه اول قرار دارد. ساختمان‌های بلند اغلب، تأثیرات بارگذاری دینامیکی باد را تجربه می‌کنند که در بیشتر آن‌ها به علت تعامل دینامیکی بالقوه با باد، مشروط به استانداردهای ساختمان شده‌اند. به منظور بررسی و تعیین مقدار تقویت دینامیکی احتمالی اثرات بارگذاری باد، مطالعات تونل باد به طور معمول انجام می‌شود.

۱-۴-۱- آزمایش تونل باد

آزمایش تونل باد به منظور تعیین پاسخ سازه‌ای یک برج بلند می‌تواند نقش اساسی در تعیین هردو عامل مقاومت مورد نیاز و عملکرد خدمت‌پذیر، داشته باشد. اثرات باد می‌تواند در تونل باد بر اساس مکان خاص، جهت‌گیری، شکل، و ویژگی دینامیکی سازه اندازه‌گیری شود. این پاسخ‌های خاص ساختمان می‌تواند مستقیماً با هماهنگی و متناسب با سازه برای یک طراحی موثر و کارآمد به کار گرفته شوند. در بسیاری از موارد، اثرات باد از طریق در نظر گرفتن جهت‌های متناوب برج، اشکال و یا سیستم‌های سازه‌ای، کاهش می‌یابد.

۱-۴-۲- جهت‌گیری و شکل ظاهری

جهت‌گیری و شکل‌گیری ساختارهای بلندمرتبه می‌تواند نقش مهمی در پاسخ حاصل از برج در معرض باد، ایفا کند. در برخی مکان‌ها، یک جهت باد غالب وجود دارد. با چرخش جهت‌گیری برج و با توجه به جهت باد غالب، نیروها و جنبش حاصل از برج می‌تواند به طور موثر مدیریت و به حداقل برسد. علاوه بر این، شکل ظاهری یک برج بلند نیز می‌تواند نقش مهمی در مدیریت اثرات باد ایفا کند. گسترش اشکال منشوری در ارتفاعات قابل توجه، می‌تواند به شکل‌گیری گردباد منجر شود، زیرا باد تمایل به "سازماندهی" در اطراف اشکال منظم با گوشه‌های تیز دارد. تغییر شکل برج در پلان یا کاهش تدریجی در ارتفاع برج، اثرات باد را می‌تواند عمیقاً کاهش دهد. گوشه‌های گرد ساختمان، گوشه‌های برش خورده و کاهش تدریجی در ارتفاع یک برج همگی نشان دهنده استراتژی‌ست برای به حداقل رساندن پتانسیل باد جهت سازماندهی در قالب گردبادهای قابل توجه (شکل ۱-۱۳، ۱-۱۴ و ۱-۱۵).



شکل ۱-۱۵- کاهش تدریجی در ارتفاع برج



شکل ۱-۱۴- گوشه‌های برش خورده



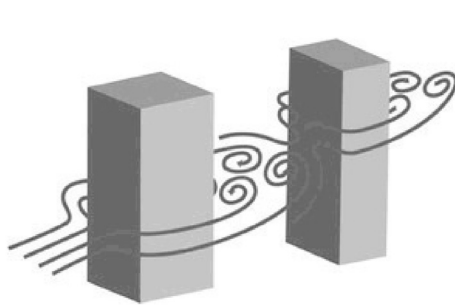
شکل ۱-۱۳- گوشه‌های گرد

۱-۴-۳- کشش و اثر باد مخالف

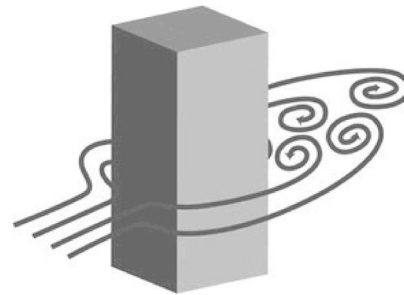
کاملاً مشهود است که اثر باد بر روی یک سطح، باعث فشار می‌شود که در یک ساختمان بلند، موجب نوسان جهت باد در امتداد برج (کشیدن) می‌گردد. آنچه کمتر به چشم می‌خورد این است که جهت وزش باد یکسان در واقع می‌تواند باعث نوسان برج حول محور موازی جهت باد شود. این پدیده اثر مخالف نامیده می‌شود. نوسان برج عمود بر جهت باد باعث اختلاف فشار ایجاد شده توسط گردباد میشود. در برخی موارد، تاثیر باد مخالف ممکن است در نتیجه نیازها روی سازه به طور قابل توجهی بیشتر از اثرات کشش باشد.

۱-۴-۴- گردباد و ضربه

همه ساختمان‌ها به طور مستقیم دارای ویژگی‌های دینامیکی می‌باشند که به جرم، سختی و میرایی ذاتی آن‌ها مربوط می‌شود. در ساختمان‌های بلند، پاسخ دینامیکی برج ممکن است با سرعت‌های مختلف باد در ارتباط باشد و در نتیجه، شکل‌گیری گردبادهای عبوری از برج (شکل ۱-۱۶). اگر شکل‌گیری و جریان آبی این گردبادها، تبدیل به رزونانس با ویژگی‌های دینامیکی برج شود، تقویت قابل توجهی ناشی از بار باد وارد شده می‌تواند رخ دهد. ضربه از ساختمان‌های بلند مجاور در محیط‌های متراکم شهری همچنین می‌تواند به طور قابل توجهی نیروهای وارد بر یک برج (شکل ۱-۱۷) را تحت تاثیر قرار دهد.



شکل ۱-۱۷- ضربه از ساختمان‌های بلند مجاور



شکل ۱-۱۶- گردبادهای عبوری از برج

۱-۴-۵- تغییر مکان جانبی نسبی طبقه

به طور معمول، یکی از پارامترهای کنترل طراحی برای یک برج بلند، تغییر مکان جانبی نسبی طبقه است. تغییر مکان جانبی نسبی بیش از حد طبقه، می‌تواند اثرات نامطلوب بر روی معماری و سیستم‌های نما ساختمان داشته باشد. محدود کردن تغییر مکان‌های جانبی برج به مقدار قابل قبول، برای عملکرد کلی برج مهم است. با این حال، بسیاری از استانداردهای ساختمان، محدودیت مشخصی را برای تغییر مکان‌های جانبی طبقه، مذکور نمی‌شوند و تعریف و کاربرد آن‌ها به صلاحدید حرفه طراحی واگذار می‌کنند. در نتیجه، طیف گسترده‌ای از میزان نیازها و محدودیت‌های تغییر مکان جانبی قابل قبول استفاده شده است. سطوح نیاز باد که معمولاً با تعیین تغییر مکان جانبی نسبی طبقه، سنجیده می‌شوند، ۵۰ ساله، ۲۰ ساله و حتی گاهی اوقات با دوره بازگشت ۱۰ ساله می‌باشند. معمولاً بادهای پنجاه ساله در نظر گرفته شده‌اند به این دلیل که بر نیروهای مورد نیاز ارائه شده مبتنی بر استانداردهای سنتی، استوار است. با این حال، در بسیاری از موارد، این سطح نیاز، بیش از اندازه فرض شده است، مثلاً بادهای ۲۰ یا ۱۰ ساله در نظر گرفته شده است.

محدودیت‌های سنتی تغییر مکان جانبی نسبی طبقه، مربوط با این سطوح نیاز به طور معمول از H/400 تا H/500، پذیرفته می‌شود (H، ارتفاع طبقه می‌باشد). برای توضیحات بسیار دقیق‌تر درباره این موضوع می‌توان به کتاب "حالت حدی بهره‌برداری تحت بار باد" مراجعه کرد.

۱-۴-۶- شتاب‌های ساختمان

شتاب‌های ساختمان با توجه به رفتارهای دینامیکی یک برج و اثرات ایجاد شده بر آسایش ساکنین نیز اغلب از ملاحظات کنترل طراحی هستند. از طریق مطالعات تونل باد، شتاب‌های ساختمان را می‌توان پیش‌بینی و عموماً با معیارهای قابل پذیرش مقایسه کرد. به طور سنتی، این معیار قابل پذیرش با در نظر گرفتن بادهای با دوره بازگشت ۱۰ ساله در ارتباط بوده است که به شرح زیر تعریف می‌گردند:

دستر کاری برج ۲۰ - ۲۵ mg

برج‌های مسکونی و هتل ۱۵ - ۱۸ mg

اخیراً، معیار قابل پذیرش با تمرکز بر بیشترین تکرار بادهای با فاصله بازگشت ۱ سال تصویب شد. علاوه بر این، تحقیقات نشان داده است که راحتی ساکنین مربوط به فرکانس ساختمان، ایجاد شده در مجموعه‌ای پیچیده‌تر از معیارهای پذیرش است. یک مرجع برای توضیحات بیشتر در مورد این موضوع کتاب "اساس طراحی سازه‌ها- خدمت‌پذیری ساختمان‌ها و گردشگاه‌ها در برابر لرزش" پیشنهاد می‌گردد.

۱-۵- مهندسی لرزه‌ای

مهندسی لرزه‌ای ساختمان‌های بلند به طور قابل توجهی در دهه گذشته پیشرفت کرده است. در تشخیص پاسخ منحصر به فرد سازه‌های بلند به لرزش‌های قوی زمین، یک روش طراحی بر اساس اصول PBSD، توسعه یافته است. PBSD به طور مستقیم و با دقت به نیازهای لرزه‌ای مکان خاص در دو یا چند سطح تکان‌های زمین را مورد بررسی قرار می‌دهد. طراحی سازه یک برج بلند، متناسب و دقیق برای رسیدن به اهداف عملکرد خاص می‌باشد در زمانی که هر سطح در معرض تکان زمین لرزه باشد. به جای امید برای رسیدن به اهداف عملکرد از طریق مقررات استاندارد موجود، تایید عملکرد بسیار صریح و روشن‌تر و مستقیم از طریق شبیه‌سازی کامپیوتری دقیق حاصل می‌شود. طرح‌های نهایی، یک سطح ایمنی و قابلیت اطمینان برای سازه طراحی شده مشابه، مطابق با مقررات استاندارد موجود، حاصل می‌کند.

برخی از ویژگی‌های منحصر به فرد ساختمان‌های بلند که بهتر و به طور مستقیم از طریق PBSD عنوان شده‌اند، عبارتند از:

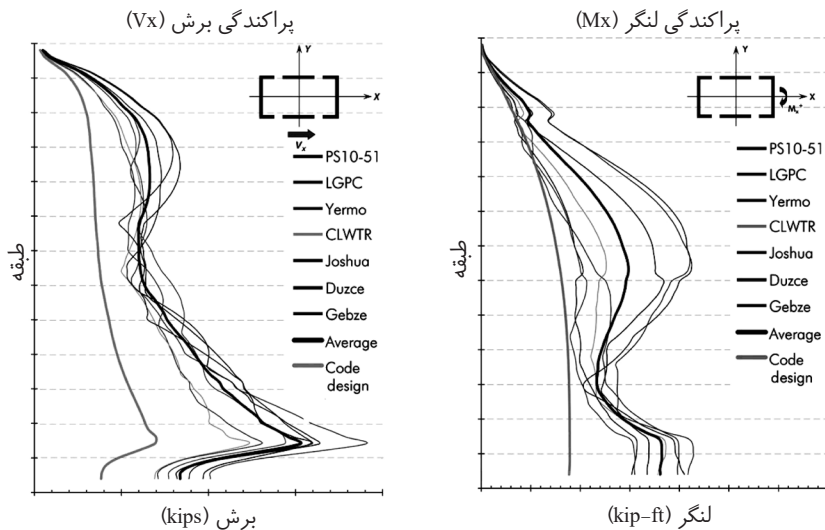
- رفتار دینامیکی پیچیده
- نیروهای محوری
- اثرات ابعاد و اندازه
- میرایی

1- "Serviceability Limit States Under Wind Load" (L. G. Griffis, AJSC Engineering Journal, First Quarter, 1993).

2- "Basis for Design of Structures—Serviceability of Buildings and Walkways Against Vibration" (ISO 10137:2007(E), November 2007).

۱-۵-۱- رفتار دینامیکی پیچیده

به طور معمول، پاسخ یک ساختمان بلند به شدت تحت تاثیر رفتار دینامیکی پیچیده می‌باشد، از جمله اثرات مودهای بالاتر لرزش در هنگامی که در معرض تکان قوی زمین قرار دارد. عمل مهندسی سنتی تنها بر اولین مود جابجایی ارتعاش هنگام تنظیم مقاومت مورد نیاز و توزیع نیروی جانبی، متمرکز شده است. برای ساختمان‌های بلند، مود دوم و یا حتی سوم ارتعاش ممکن است مساوی باشند به شرط آنکه در طراحی کلی مهم نباشند. تاثیر این مودهای بالاتر لرزش می‌تواند موجب نیازهای خمشی خیلی بالاتر شود که در بالای پایه یک ساختمان هستند (شکل ۱-۱۸)، و همچنین نیازهای برشی، سه تا چهار بار بیشتر از نیازهای پیش‌بینی شده توسط طراحی معمولی ارائه شده، می‌باشد (شکل ۱-۱۹)^۲. عدم تشخیص و ترکیب این نیازها به طراحی یک برج می‌تواند به نتایج نامطلوب و بالقوه ناامن منجر شود.



شکل ۱-۱۹- پراکندگی برش (kips) نیاز برشی مربوط به مودهای بالاتر از ارتعاش

شکل ۱-۱۸- پراکندگی لنگر (kip-ft) نیاز خمشی مربوط به مودهای بالاتر از ارتعاش

۱-۵-۲- نیروهای محوری

در ساختمان‌های بلند، با توجه به تعداد قابل توجه ترازهای کف، در ستون‌ها و دیوارهای باربر، نیروهای محوری معمولاً از اهمیت بالایی برخوردار می‌شوند. جهت تحمل این نیروهای عظیم، ستون‌ها و دیوارها ممکن است بزرگ شوند. با بزرگ‌تر و بزرگ‌تر شدن این اعضا، آن‌ها قادر به جذب نیروهای محوری اضافی جهت تعامل با سیستم قابی کف و/یا سیستم مهاربندی، خواهند شد. تجمع این اثرات ممکن است قابل توجه باشد. احتیاط بسیاری در طراحی سازه برج باید اعمال شود برای رسیدن به این احتمال و نیز محافظت از ستون در برابر شکست محوری، که می‌تواند فاجعه‌آور باشد.

۱-۵-۳- اثرات ابعاد و اندازه

با بلندتر شدن ساختمان‌ها، اندازه ستون‌ها، دیوارها و فونداسیون‌ها به تناسب، بزرگتر می‌شوند. بسیاری از تحقیقات موجود، اساس مقررات طراحی در استانداردهای ساختمان را تشکیل می‌دهد که برای فولاد و بتن در نتیجه آزمایش در مقیاس کوچک می‌باشد. از آنجا که اعضای سازه‌ای به اندازه‌های بسیار بزرگ می‌رسند، برونیابی نتایج تحقیقات و مقررات استاندارد مرتبط، سوال برانگیز می‌شود. به عنوان مثال، یک ستون در پایه یک ساختمان بلند با سطح مقطع ۳/۰ متر مربع و ارتفاع طبقه برابر ۴/۰ متر را

1- (Courtesy of Magnusson Klemencic Associates.)

2- (Courtesy of Magnusson Klemencic Associates.)

در نظر بگیرید. مقررات آیین‌نامه و تحقیقات اساسی به وضوح درباره چنین نسبتی تأمل نمی‌کند.

۱-۵-۴- میرایی

مقدار متوسط داده در رابطه با میرایی طبیعی ذاتی در یک ساختمان بلند وجود دارد. متأسفانه، مقدار کمی از ابزار ساختمان‌های بلند وجود دارد، به ویژه آن‌ها که در معرض تکان شدید زمین قرار دارند. اطلاعات در دسترس، نشان می‌دهد که مقدار میرایی طبیعی ذاتی در ساختمان‌های بلند متوسط است، در محدوده ۲ تا ۳ درصد، این مقدار بسیار کمتر از مقدار سنتی آن یعنی ۵٪ که به طور معمول در طراحی لرزه‌ای در نظر گرفته می‌شده است، می‌باشد. مقادیر کمتر میرایی طبیعی ممکن است به سطح نیاز لرزه‌ای بالاتر در سرتاسر ارتفاع برج منجر شود. دقت نظر در مقدار میرایی فرض شده در تجزیه و تحلیل الاستیک خطی یا محاسبه تجزیه و تحلیل غیرخطی تاریخیچه پاسخ باید به دقت در نظر گرفته شود.

۱-۵-۵- دستورالعمل‌هایی در طراحی لرزه‌ای بر اساس عملکرد

دستورالعمل‌ها و توصیه‌ها برای استفاده مطمئن از PBSD توسط تعدادی از گروه‌های مهندسی سازه، منتشر شده است از جمله:

▪ انجمن مهندسين سازه كاليفرنياي شمالي^۱

▪ دپارتمان بازرسی ساختمان، از شهر سان فرانسیسکو^۲

▪ شورای طراحی سازه ساختمان‌های بلند لس آنجلس^۳

▪ مرکز تحقیقات مهندسی زلزله پسیفیک (اقیانوس آرام)^۴

▪ شورای ساختمان‌های بلند و زیستگاه شهری^۵

اگر چه تفاوت‌هایی در توصیه‌های خاص ارائه شده توسط هر یک از این گروه‌ها وجود دارد، اما توافق همه آن‌ها در این است که PBSD اجازه می‌دهد تا مهندسين سازه، مناسب‌تر و به طور مستقیم به جنبه‌های منحصر به فرد در طراحی لرزه‌ای ساختمان‌های بلند رسیدگی کنند.

۱-۶- کوتاه شدگی الاستیک طول اعضا سازه‌ای، خزش و نشست

کوتاه شدگی الاستیک طول اعضا سازه‌ای و اثرات بلند مدت خزش در عناصر باربر عمودی و نشست یک ساختمان بلندمرتبه، از ملاحظات مهم طراحی هستند. توزیع تنش در سراسر برج و عدم هم ترازی عمومی دال‌های طبقه به طور مستقیم توسط هر یک از این اثرات تحت فشار قرار می‌گیرند.

هرچند ممکن است محاسبه اثرات مربوط به کوتاه شدن الاستیک طول اعضا سازه‌ای به وضوح و حتی تا حدودی بی‌اهمیت به نظر برسد، اما با این حال، تأثیر قابل اندازه‌گیری بر سازه ساختمان دارد. در واقع، مدیریت کوتاه شدگی عمودی یک برج بلند یکی از سخت‌ترین چالش‌های موجود برای حرفه طراحی می‌باشد. بسیاری از متغیرهای موثر بر خروجی حاصل از اطلاعات ورودی، عبارتند از:

▪ مراحل ساخت و ساز

▪ درجه حرارت

▪ رطوبت

▪ ویژگی‌های مصالح واقعی

▪ بارهای واقعی تحمیل شده بر ساختمان

با توجه به این متغیرها، پیش‌بینی حرکات ساختمان عمودی، با فقط یک خروجی، محاسبه دقیقی نیست. تجزیه و تحلیل حساس به بارهای متغیر، منجر به طیف وسیعی

1- Structural Engineers Association of Northern California

2- Department of Building inspection, City and County of San Francisco

3- Los Angeles Tall Buildings Structural Design Council

4- Pacific Earthquake Engineering Research Center

5- Council on Tall Buildings and Urban Habitat

از نتایج ممکن می‌گردد. دقیق‌ترین تجزیه و تحلیل، تمام موضوعات قبلی ذکر شده در یک شبیه‌سازی پی در پی کامپیوتری از برنامه ساخت و ساز برنامه‌ریزی شده را در نظر می‌گیرد. طیف وسیعی از نتایج ممکن باید برای تمامی اثرات جانبی احتمالی، به دقت ارزیابی شود.

علاوه بر کوتاه‌شدگی الاستیک و خزش اعضای باربر عمودی، نشست فونداسیون نیز می‌تواند به توزیع نامطلوب تنش‌ها و/یا حرکات‌های ساختمان کمک کند. همکاری نزدیک مهندس سازه با مهندس ژئوتکنیک پروژه جهت درک و تشخیص اثرات تعامل بین سازه و فونداسیون ساختمان و نیز اساس خاک و سنگ، بسیار مهم است. حرکات عمودی حاصل از نشست فونداسیون گاهی اوقات ممکن است، مساوی یا بیشتر از حرکات حاصل از کوتاه‌شدگی عمودی و خزش باشد.

جهت ارزیابی مناسب عملکرد احتمالی فونداسیون یک برج، تجزیه و تحلیل تکراری ممکن است برای رسیدن به انطباق بین توزیع بار پیش‌بینی شده توسط مهندس سازه و پیش‌بینی‌های نشست محاسبه شده توسط مهندس ژئوتکنیک، لازم باشد.

ترکیب پیش‌بینی‌های مهندسی با نظارت دقیق در طول ساخت و ساز امکان اعمال اصلاحات در طول ساخت و ساز را فراهم می‌کند. این اصلاحات ممکن است شامل ساخت برج با ارتفاعات بالاتر در همان ابتدا و یا گاهی اوقات آراستن، هموار کردن و یا اصلاح کردن المان‌های باربر عمودی برج باشد. اگر چه هدف، ساخت طبقات برج، تا حد امکان محکم، می‌باشد اما این احتمال وجود دارد که ارتفاع کف در نهایت با این تئوری منطبق نباشد. برای رسیدن به این واقعیت، باید در معرفی تمام جزئیات برج، متفکرانه و صبورانه عمل کرد.

۱-۶-۱ - تجزیه و تحلیل

امروزه برنامه‌های کامپیوتری قدرتمندی که "به طور خودکار" بسیاری از فرایندهای طراحی سازه را انجام می‌دهند، در دسترس هستند. در ساختمان‌های بلند، باید برای رویکردهای تحلیلی و فرضیات ایجاد شده توجه زیادی به کار گرفته شود.

رویکرد تحلیلی و تجزیه و تحلیل الاستیک

اکثر برنامه‌های کامپیوتری برای تجزیه و تحلیل الاستیک، ابتدا ماتریس سختی کامل سازه از فونداسیون تا سقف را ایجاد می‌کند. سپس ماتریس سختی کامل با ماتریس بارگذاری برای محاسبه تنش و تغییر شکل حاصل ترکیب می‌شود. سپس برنامه‌های پس پردازش، گاهی اوقات برای تکمیل انتخاب مقطع سازه و یا طراحی بدون هیچگونه بررسی و یا تعامل با حرفه طراحی، استفاده می‌شود. اگر چه این روند می‌تواند کاملاً کارآمد باشد، اما به خصوص با توجه به مقیاس ساختمان‌های بلند، ممکن است مملو از نتایج اشتباه باشد.

ساختمان‌های بلند معمولاً از فونداسیون تا سقف با بارگذاری تجربی تدریجی ساخته می‌شوند. بسته به آرایش سیستم سازه، تنش‌های غیرواقعی قابل توجهی با توجه بر اثر نیروی گرانش زمین ممکن است توسط یک تجزیه و تحلیل ساده کامپیوتری گزارش شود که دقت نظر به این مسئله حائز اهمیت است. در بسیاری از موارد، گرانش و تحلیل بارگذاری جانبی به صورت جداگانه انجام می‌شود و نتایج برای جلوگیری از چنین مواردی، اضافه می‌شوند. در موارد دیگر، تحلیل ترتیبی دقیق‌تری انجام می‌شود به اینصورت که سازه عملاً ساخته و بارگذاری تدریجی آن توسط شبیه‌سازی کامپیوتری انجام شده است. این روش دوم کاملاً عددی و امری عادی است.

علاوه بر ملاحظات دقیق در روند کلی مدل‌سازی کامپیوتری، توجه بسیاری باید در فرضیات مدل‌سازی اعمال گردد:

- طراحی در مقابل ویژگی‌های واقعی (پیش‌بینی شده) مواد
- پارامترهای سختی موثر با در نظر گرفتن اثرات ترک خوردگی بتن
- شرایط مرزی
- سختی دیافراگم
- مقادیر میرایی

تحلیل غیر خطی

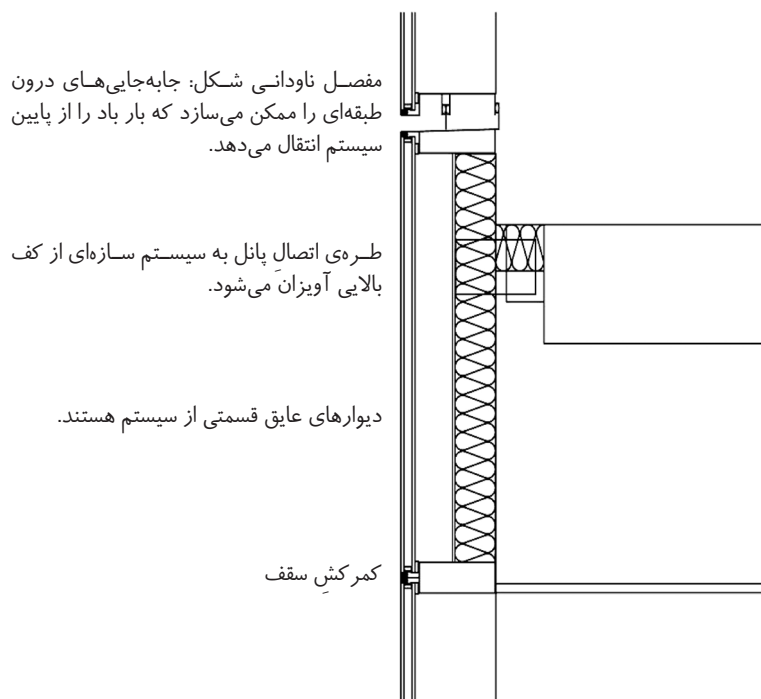
در سال‌های اخیر، تحلیل غیر خطی به عنوان محبوب‌ترین نرم افزار کامپیوتری تبدیل شده است که به دلیل در دسترس بودن و کاربری آسان آن است. این امر به ویژه برای

طراحی لرزه‌ای که در آن پاسخ غیرخطی به فلسفه کلی طراحی مسئله‌ای بنیادی است، مطرح می‌باشد. اگر چه این برنامه‌های کامپیوتری در توانایی‌های خود قدرتمند هستند، اما توجهی حتی بیشتر باید به توسعه دادن پارامترهای پاسخ غیرخطی برای اعضای مختلف ساختمان، اعمال شود. علاوه بر این، تفسیر نتایج تحلیلی، در مقابل نتایج تحقیق و آزمایش، نیاز به بینش و درک گسترده‌ای از حساسیت‌ها در نظر گرفته می‌شود.

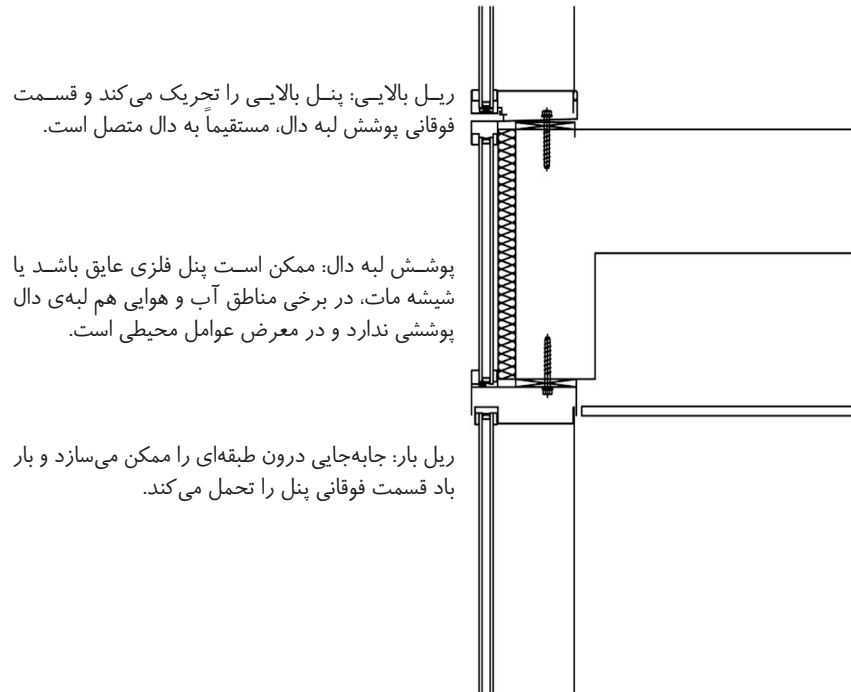
۱-۷- نماهای خارجی

باربری سیستم‌های دیوار خارجی، یک چالش مهم در طراحی ساختمان‌های بلند است. کاهش خطی طول عمودی برج به علت گرانش، تغییر شکل‌های متغیر کف و تغییر مکان جانی نسبی طبقات در اثر باد یا حرکات لرزه‌ای، همگی بر طراحی و جزئیات نمای خارجی تاثیر می‌گذارد. بسیاری از سیستم‌های دیوار خارجی به طور کلی به دو دسته گروه‌بندی می‌شوند:

- ۱- سیستم دیوارهای غیرباربر، جایی که سیستم نما، پیوسته و خارج از سیستم کف سازه است (شکل ۱-۲۰).
- ۲- سیستم دیوارهای بازشودار، جایی که سیستم نما پیوسته نیست اما در عوض در بالای هر طبقه قرار می‌گیرد (شکل ۱-۲۱).



شکل ۱-۲۰- سیستم دیوارهای غیرباربر



شکل ۱-۲۱- سیستم دیوارهای بازشودار

در هر صورت، توانایی سیستم دیوار برای پاسخ به حرکات مورد انتظار سازه، حیاتی است. این حرکات عبارتند از:

- کوتاه شدگی عمودی برج به علت بارهای ثقلی
 - حرکات متغیر یک طبقه نسبت به طبقه مجاور
 - تغییر مکان جانبی نسبی طبقه (نوسان)، بر اثر حرکت افقی در سراسر سطح نما
- این حرکات مختلف باید بطور کامل در اتصالات نما برای جلوگیری از حرکات نامطلوب و یا ایجاد آسیب، در نظر گرفته شود. علاوه بر این، رواداری باید در مکان‌های مختلف اتصال ساخته شود زیرا بسیار بعید است که دال‌های کف در محل طراحی دقیق خود باشند.

۱-۸- خلاصه

طراحی ساختمان‌های بلند بسیار تخصصی است. اگر چه ابزارهای قدرتمند گرافیکی و تحلیلی امروزه وجود دارند که امکان طراحی و تصور کردن برج‌های پیچیده را فراهم می‌کند، اما این ابزارها نمی‌توانند جایگزین چندین دهه تجربه علمی و عملی بدست آمده از طریق ساخت و سازهای بی‌شماری برج‌های بلند شوند. بهترین طراحی‌ها، بهره‌برداری کامل از این دانش تجربی و ترکیب آن با ابزارهای قدرتمند امروزی برای رویارویی با نسل آینده برج‌ها، خواهد بود.

فصل دوم

سیستم‌های تهویه مطبوع^۱ و ملاحظات پایداری انرژی

Asif Syed

STE Engineering

۱-۲ - مقدمه و تاریخچه

کنترل حرارتی و زیست محیطی ساخت و ساز عمودی، به بلوک برج‌ها در شهر شبام در یمن^۲ برمی‌گردد. برج‌هایی ساخته شده در قرن ۱۶، از آجرهای خشتی در ۵ تا ۱۶ طبقه و هر طبقه با کاربری مسکونی. کاربرد برج‌ها و تمرکز بالای ساکنین به دلایل امنیتی و جهت جلوگیری از حملات اعراب بادیه نشین بود. (سایت میراث جهانی این شهر (شبام) را همچون منهن یا شیکاگوی صحرا توصیف می‌کند). شهر شبام یکی از نمونه‌های اولیه معماری و برنامه‌ریزی شهری در ساخت و سازهای بلند مرتبه می‌باشد. دیوارهای گلی ضخیم به کار گرفته شده، شرایط اینرسی حرارتی موجود را برای حفظ درجه حرارت به میزان آستانه آرامش در داخل خانه، با استفاده از نوسانات درجه حرارت روزانه بیابان، ارائه می‌دهد. مغربی‌های^۳ چوبی (پنجره‌های چوبی مشبک حکاکی شده) و یا کوره‌های تزئینی امکان تهویه مطبوع را فراهم می‌کند اما در مقابل از میزان بهره‌مندی از حرارت خورشیدی^۴ کاهش می‌یابد. سازه‌های بلند مرتبه اولیه شامل قطب منار^۵ (با ارتفاع ۷۲/۵ متر برابر با ۲۳۷/۸ فوت)، ساخته شده در سال ۱۰۶۰ میلادی در دهلی نو در هند بود با هدف نشان دادن قدرت اقتصادی، سیاسی و نظامی قطب‌الدین ایبک^۶. سازه‌های بلند مرتبه مدرن باید محیطی مملو از آسایش برای ساکنین ایجاد کنند. اولین ساختمان‌های بلندمرتبه مدرن، مانند ساختمان امپایر استیت^۷ ساخته شده در دهه ۱۹۳۰ و ساختمان هلمزلی^۸ ساخته شده در سال ۱۹۲۹، شامل سیستم‌های مکانیکی برای حفظ آسایش بودند. رادیاتورهای بخار که از بخار تبدیل شده به آب، برای تولید گرما و جبران اتلاف حرارت در دیوارهای پیرامون و پنجره‌ها، استفاده می‌شد. بخار تولید شده دارای حرارت بسیار بالا در واحد جرم (۱۰۰۰ BTU / پوند) و لوله‌های

1- HVAC Systems

2- Shibam in Yemeni

3- mashrabiyas

4- Langmead and Gamaut, 2001

5- Qutub Minar

6- Qutb-ud-din-Aibak

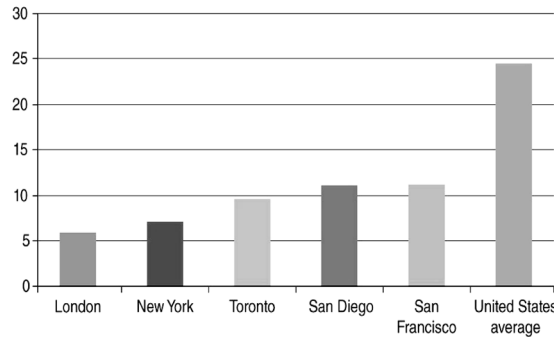
7- Empire State Building built in the 1930s

8- Helmsley Building built in 1929

کوچک عمودی جریان بالایی، موقعیت یا مساحت طبقه مشخصی را بر عهده نمی‌گرفتند. در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، در این ساختمان‌ها، تهویه مطبوع با یخچال‌های مکانیکی انجام شد. رایج‌ترین روش سیستم‌های تهویه مطبوع، یک سیستم هوای مرکزی برای فضای داخلی و یک سیستم آبی در امتداد محیط پیرامونی بود. سیستم مرکزی معمولاً، شامل پنکه‌های بزرگ گردش هوا، که در مرکز یا در وسط، در پایین، در بالا و یا در تمام سه مکان قرار می‌گیرد. در محیط پیرامونی ساختمان، به طور کلی در حدود ۱۲ تا ۱۵ فوت از دیوار خارجی، از سیستم‌های آبی استفاده شد. سیستم آبی یک قسمت ماریجی داشت که در آن آب گرم و یا سرد بسته به فصل گرم یا سرد، گردش داشت. واحدهای مذکور با سیستم دو لوله‌ای، روشی متداول در بسیاری از ساختمان‌های ساخته شده در دهه‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۴۰ و در دهه‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰ تهویه مطبوع شده بودند. در مدت زمان فوق روش گردش هوا در محیط پیرامونی آغاز شد. واحدهای مذکور یک اتصال تولید هوای اولیه دارند که از یک سیستم هوای مرکزی تغذیه می‌شود. هوای اولیه به عنوان یک نیروی محرک جهت گردش هوا در محیط پیرامونی استفاده می‌شود. حدود یک سوم از کل هوا، هوای اولیه است. با استفاده از یک سوم هوای اولیه و با حرکت هوا حول قسمت ماریجی، فضا گرم و یا سرد می‌شود. این ایده، ساده اما بسیار خلاق، موثر و کارآمد بود، راه‌حل مشکلات متعدد تهویه مطبوع و چالش‌های ساختمان‌های دهه ۱۹۵۰ است که هنوز در در ساختمان‌های مدرن امروزی استفاده می‌گردد.

۲-۲- استفاده از انرژی پایدار در ساختمان‌های بلند

ساختمان‌های بلند ذاتاً از لحاظ انرژی پایدارتر و کارآمدتر از ساختمان‌های با ارتفاع کمتر در یک منطقه وسیع و با امکانات کمتر و زیرساخت معمولی، می‌باشند و این برخلاف این باور است که ساختمان‌های بلند و خیلی بلند و عظیم، دارای آلاینده‌های هوای گاز منوکسید کربن^۱ حجیم می‌باشند. این موضوع با انتشار فهرستی از گازهای گلخانه‌ای شهرهای بزرگ در مقایسه با میانگین ملی (دفتر عملیاتی شهردار^۲) نشان داده شد. فهرست مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای شهر نیویورک نشان می‌دهد که سهم شهرها در ایجاد حدود یک چهارم از گازهای گلخانه‌ای (GHG) در مقایسه با میانگین ملی در ایالات متحده، می‌باشد. سهم شهر نیویورک تنها یک درصد از کل ایالات متحده با ۲/۷ درصد از جمعیت کشور، می‌باشد. تولید گازهای گلخانه‌ای که شامل دی اکسید کربن حاصل از سوزاندن سوخت‌های فسیلی می‌شود، به صورت شایع‌ترین نوع انرژی برای HVAC در ساختمان‌ها عامل اصلی تغییرات آب و هوایی هستند (شکل ۲-۱).



شکل ۲-۱- سرانه انتشار CO₂ برحسب تن متر

کاهش گازهای گلخانه‌ای و اثربخشی اصلی آن در زیر آمده است:

- ۱- بهره‌وری مساحت طبقه به زمین
- ۲- استفاده از زیرساخت متداول جاده‌ها، راه آهن، آب، فاضلاب، رواناب طوفان و برق
- ۳- سرانه استفاده پایین از مساحت طبقه

1- Gas Guzzlers

2- Mayor's Office of Operations