بررسی ساختمان های بنایی موجود

تعیین مشخصات سازه‌ای ساختمان‌های بنایی موجود

متخصصان طراحی بر اعداد تکیه می‌کنند. برخی از این اعداد مهم می‌توانند نشان‌دهنده‌ی بارهای وارد بر سازه طی یک رخداد با احتمال وقوع مشخص باشند، نشان‌دهنده‌ی ظرفیت سازه با یک هندسه‌ی مشخص یا نشان‌دهنده‌ی خواص مصالح سازه و اتصالات آن باشند.

در یک سازه‌ی جدید ساخته شده، مقادیر مذکور معمولاً شناخته شده هستند و در مدارک و اسناد پروژه آرشیو و دسته‌بندی شده‌اند. بارهای طراحی بر اساس طراحی تعیین می‌گردند. مشخصات و ویژگی‌های مصالح توسط مهندس طراح تعیین می‌گردند و از طریق انجام آزمایش مورد تائید قرار می‌گیرند.

به هر حال زمانی که شما می‌خواهید یک ساختمان با مصالح بنایی که قدیمی‌ساز است را معامله کنید و اسناد طراحی پروژه‌ی آن در دسترس نیست و بارها مورد اصلاح و بازسازی قرارگرفته باشد، پارامترهای بحرانی ساختمان مذکور مثل مشخصات مصالح آن را چطور تعیین می‌کنید؟

کشف و بررسی و انجام آزمایش

کشف و بررسی و انجام آزمایش روی سازه‌ی واقعی دقیق‌ترین اطلاعات را به طراح سازه در رابطه با اساس طراحی آن می‌دهد. روش‌های انجام کشف و بررسی سازه شامل نمونه‌برداری از سازه برای انجام تست در آزمایشگاه، انجام آزمایش مصالح در محل و انجام تکنیک‌های آزمایشی غیر مخرب می‌باشند.

آزمایش ساخت (انجام تست روی نمونه)

آیین‌نامه‌ی سازه‌هایی با مصالح بنایی (TMS 402-13/ACI530-13/ASCE5-13 TMS 402) اجازه‌ی انجام آزمایش نمونه‌های منشوری (نمونه با مقطع ثابت در طول) جدا شده از سازه را برای تعیین مقاومت آن می‌دهد. قطعات مصالح بنایی منشوری شکل را می‌توان از روی سازه‌ی واقعی به‌عنوان نمونه جدا کرد و به انجام تست روی آن در آزمایشگاه مبادرت نمود.

به هر حال این موضوع که حفاظت‌های ویژه‌ای روی نمونه‌ی آزمایشگاهی جدا شده از سازه از مرحله برداشت تا حمل به آزمایشگاه انجام شود، یک بحران محسوب می‌شود چرا که نمونه جدا شده باید دست‌نخورده باقی بماند تا شرایط واقعی و موجود سازه توسط آن نمونه ارائه گردد.

کلیه‌ی مراحل برداشت نمونه، انتخاب نمونه و حمل آن به شکل منشوری باید طبق پروسه‌ی تعریف‌شده‌ی ASTM C1532 دنبال شود که یک استاندارد کاربردی برای انتخاب، برداشت و حمل نمونه‌ی آزمایشگاهی جدا شده از سازه‌ی ساخته شده با مصالح بنایی به‌صورت واحد (آجر) یا به‌صورت کلی (نمونه منشوری) می‌باشد. نمونه‌ها باید نماینده‌ی کل سازه یا نشان‌دهنده‌ی مشخصات مصالح بخش خاصی از آن باشند و شرایط فیزیکی سازه مثل آب‌وهوا و درجه زوال و از بین رفتگی آن را مشخص نمایند تا بتوان مشخصات را از روی آن‌ها اندازه‌گیری نمود.

نمونه‌های منشوری یعنی قطعات بزرگ‌تر از واحد معمولاً از دیوارهای موجود در سازه توسط نیروی تیغه‌ی الماسی اره‌ی مخصوصی، برش داده می‌شوند. معمولاً ابتدا یک برش در سطح پایینی نمونه‌ی منشوری مدنظر داده می‌شود، سپس صفحات فلزی داخل شیار ایجادشده قرار می‌گیرند تا تکیه‌گاهی برای وزن نمونه‌ی منشوری باشند. تا زمانی که برش سطح بالایی و برش سایر وجوه آن داده نشده صفحه مذکور سر جای خود باقی می‌ماند. نمونه‌های منشوری باید قبل از جابجایی محصور و محافظت شوند که این کار می‌تواند توسط تسمه یا صفحات پیچ شده در بالا و پایین آن انجام گردد. چنان چه قطعات منشوری حمل گردند، باید توسط بالشتک‌های محافظ بسته‌بندی‌شده تا از آسیب‌های وارده در امان بمانند.

اغلب آزمایش‌های متعددی که روی قطعات منشوری مصالح بنایی جداشده از سازه‌های موجود انجام می‌گردند، شامل مقاومت فشاری طبق ASTM C1314، ظرفیت خمشی بندکشی دیوار طبق ASTM C1072 می‌باشند.

شکل ۱) دستگاه انجام آزمایش تعیین مقاومت خمشی بندکشی

شکل ۲) آچار آزمایش پیوستگی بندکشی در کارگاه

مقاومت خمشی بندکشی در آجرچینی توسط دستگاهی که در شکل ۱ نشان داده‌شده است مورد آزمایش قرار می‌گیرد که قطعه‌ی منشوری در آن گیر ثابت‌شده و گشتاوری به بالای آن وارد می‌گردد تا چسبندگی بین واحدهای تشکیل‌دهنده آن گسیخته شود.

آزمایش مصالح بنایی در محل

شکل ۳) شکل کلی انجام آزمایش قابلیت تغییر شکل مصالح بنایی توسط جک‌ها و کرنش‌سنج‌های مخصوص

به‌عنوان یک گزینه‌ی جایگزین جهت حذف برداشت نمونه و حمل به آزمایشگاه، روش‌هایی کارگاهی در محل برای بررسی مقاومت فشاری مصالح بنایی و بررسی سختی و مقاومت خمشی بندکشی آن وجود دارند. مقاومت فشاری و سختی مصالح بنایی در محل کارگاه طبق ASTM C1197 اندازه‌گیری می‌شود، سند مذکور استانداردی برای آزمایش محلی و اندازه‌گیری ویژگی‌های شکل‌پذیری مصالح بنایی توسط جک می‌باشد. در این آزمایش، کیسه‌های هیدرولیکی موسوم به جک‌های تخت به داخل شیارهای ایجادشده در محل اتصال ملات با دیوار در یک مقطعی مشخص و در بالا و پایین آن قرارگرفته و آزمایش انجام می‌شود. این آزمایش پنج بار بین جک‌های مسطح انجام می‌گردد سپس جک‌های مسطح فشار را اعمال می‌کنند تا تنش فشاری بر مصالح بنایی وارد شود در همین حین کرنش سطحی اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری کرنش به‌صورت دستی یا به‌صورت الکترونیکی توسط مبدل‌های دیفرانسیل خطی متغیر (LVTDs) انجام می‌گردد. نتایج آزمایش را می‌توان جهت ایجاد منحنی تنش کرنش مصالح بنایی در محل استفاده کرد. اگر چنانچه طی انجام آزمایش، شکست فشاری رخ دهد، ظرفیت فشاری مصالح را به‌صورت مستقیم می‌توان اندازه‌گیری نمود؛ اما اگر شکست طی آزمایش رخ ندهد، ظرفیت فشاری مصالح بنایی را می‌توان با استفاده از قانون همبستگی سختی (رابطه خطی نیرو تغییر مکان) تخمین زد.

شکل ۴) آزمایش برشی طبق روش B در سمت چپ و روش C در سمت راست

آزمایش برش در محل مصالح بنایی را می‌توان با استفاده از سه روش مجزا که در ASTM C1531 شرح داده‌شده انجام داد. سند مذکور استانداردی برای انجام آزمایش تعیین مقاومت برشی ملات اتصال مصالح بنایی در محل می‌باشد. روش A با استفاده از جک‌های مسطح انجام می‌گردد که در بالا و پایین یک واحد آجر قرار می‌گیرد تا توسط آن یک فشار معینی اعمال شود و هم‌زمان با آن میزان نیروی جک جهت هول دادن آجر به‌صورت افقی به سمت گره اتصال مجاور که ملات آن قبلاً پاک‌سازی‌شده اندازه‌گیری می‌گردد. تنش فشاری کنترل‌شده‌ی جک را می‌توان به‌صورت گام‌به‌گام افزایش داد تا از این طریق میزان نیروی لازم برای به حرکت درآوردن آجر واحد قابل‌اندازه‌گیری باشد و از روی آن ضریب اصطکاک بین ملات و آجر (در لحظه‌ی حرکت آجر) را بتوان محاسبه نمود. روش B شامل استفاده از یک پیستون هیدرولیکی برای حرکت و هول دادن آجر واحد به‌صورت افقی مشابه روش A می‌باشد. با این حال، محقق یا طراح باید به‌جای کنترل تنش فشاری وارد بر واحد مورد آزمایش، مقادیر بارهای واردشده‌ی بیش‌ازحد را از مقادیر بارهای آزمایشگاهی کسر کند.

روش C مشابه روش B می‌باشد، با این تفاوت که در این روش از یک جک تخت با سایز مخصوص در داخل گره خالی‌شده‌ی اتصال برای اعمال بار جانبی استفاده می‌گردد. مزیت روش C نسبت به B این است که فقط دو گره ملات یعنی بند ملات در دیوار خالی می‌گردد. این موضوع باعث می‌شود تعمیرات بعد از آزمایش به حداقل برسد. یکی از روش‌های برداشت نمونه شامل سوراخ‌کاری جهت برش نمونه می‌باشد. آیین‌نامه بین‌المللی ساختمان‌های موجود (IEBC) – A106.3.3.2 اجازه‌ی انجام تست‌های کششی مجزا روی نمونه‌هایی با قطر ۸ اینچ (۲۰,۳۲ سانتی‌متر) را جهت تعیین کیفیت مصالح بنایی به‌جای انجام آزمایش‌های برش، می‌دهد. این روش کر گیری از دیوار باعث فراهم کردن شرایط بازرسی چشمی مناسب از مقطع دیوار و بررسی کیفیت ساخت آن می‌گردد. برای ملات ریزی دیوارهایی با آجرهای چندضلعی، مقاومت برشی چسب ملات در محل اتصال و دو آجر چندضلعی را می‌توان طبق روش آزمایش کالیفرنیای ۶۴۴ بررسی نمود.

اجزای تشکیل‌دهنده‌ی مصالح مورد آزمایش

در بعضی از موارد، برداشت یک نمونه‌ی کامل منشوری (نه یک واحد آجر) از دیوار به دلیل زوال مصالح و از هم گسستگی آن امکان‌پذیر نیست. واحدهای آجر را می‌توان از محل‌های مورد انتخاب سرتاسر سازه به‌دقت جدا نمود و برخی از خواص مصالح مثل مقاومت فشاری و جذب آب آن‌ها را جهت انتخاب مصالح مناسب جایگزین و تعمیری سازگار با آن را مورد بررسی قرار داد. آجرهای جداشده از سازه را می‌توان جهت ساخت نمونه‌ی منشوری آزمایشگاهی مورد استفاده قرار داد تا مصالح بنایی دیوار برای آزمایش مدل‌سازی شود. اطلاعات راجع به خواص ملات اصلی برای ساخت نمونه‌ی منشوری مورد نیاز هستند تا شرایط واقعی سازه اصلی فراهم گردد. یک روش جایگزین به‌جای آزمایش نمونه‌ی منشوری، روش تعیین مقاومت واحد مصالح یعنی آجر جهت تعیین مقاومت فشاری سازه بنایی اصلی است که از طریق تعیین مقاومت فشاری واحد مصالح و ملات آن حاصل می‌گردد. ازاین‌رو از اجزای تشکیل‌دهنده یعنی ملات و آجر یک مقاومت فشاری محافظه‌کارانه برای مونتاژ آن دو با یکدیگر با استفاده از یک جدول به دست می‌آید که به مقاومت فشاری مونتاژ شده‌ی مصالح مربوط می‌گردد. مقدار f'm جدول‌بندی شده بر اساس اطلاعات مصالح بنایی مدرن می‌باشد و قابل بسط برای سازه‌های بنایی قدیمی نیست.

بررسی ملات، تعیین مشخصات (مشخصات شیمیایی و سنگ‌نگاری)

تعیین نوع ملات برای سهولت برآورد مقاومت واحد مصالح مفید است و به انطباق با مقادیر آیین‌نامه‌های طراحی کمک می‌کند. در بیشتر موارد متداول، تحلیل ملات طوری انجام می‌گردد که ملات تعمیری و جایگزین را بتوان از روی آن مشخص نمود به گون ای که با شرایط اصلی سازگار باشد. روش‌های مختلف زیادی برای بررسی وجود دارد که اغلب آن‌ها با استفاده از تحلیل عامل چسبندگی توسط اسیدها انجام می‌گیرند. اکثر روش‌های تحلیلی برای تعیین نسبت چسبندگی به میزان مصالح سنگ‌دانه برای تعیین ترکیبات شیمیایی انجام می‌گردند تا نوع چسب ملات شناسایی شود.

انکرها

شکل ۵) شکل کلی آزمایش مهار کششی مصالح بنایی

ظرفیت متعلقات دیوار بنایی موجود را می‌توان از طریق ملاحظات استاندارد ASTM E488 – ۹۶ (۲۰۰۳) که روش آزمایشگاهی برای تعیین مقاومت مهاری المان‌های بتنی و مصالح بنایی می‌باشد، مورد بررسی قرار داد. مهارها ممکن است درکشش یا در برش آزمایش گردند و به نوع کاربرد آن‌ها در سازه اصلی بستگی دارد. ASTM E488 همچنین مکانیسم‌های خرابی مثل گسیختگی و شکستگی المان‌ها را نیز شامل می‌شود. به‌عنوان مثال، گسیختگی ناشی از بیرون‌زدگی مهار، ترک‌خوردگی لایه‌های زیرین یا تسلیم و جاری شدن مهارها را می‌توان نام برد. ASTM E488 هیچ محدوده‌ای برای تغییر مکان مهار به‌عنوان معیار شکست آن را در نظر نگرفته است. به هر حال در سازه‌های بنایی قدیمی، مهارها قبل از هر خرابی مصیبت‌بار، تحت تغییر شکل‌های بسیار بزرگی قرار می‌گیرند و همین تغییر شکل‌های بزرگ، طراحی مهارها را تحت تأثیر قرار می‌دهند.

معیار تغییر مکان مهار در بخش A107 از IEBC و در آیین‌نامه‌های ساختمانی UBC 21-7 (آزمایش مهارهای دیوارهای بنایی غیرمسلح) برای دست یافتن به عملکرد موفقیت‌آمیز مهارها شرح داده‌شده است.

در ساختمان‌های قدیمی بنایی، مهارها به تحمل مقادیر تغییر مکان‌های بزرگی بدون وقوع هیچ خرابی مصیبت باری تمایل دارند. در برخی موارد، مهارها را می‌توان با اعمال بارهای بسیار بزرگی تحت آزمایش قرار داد بدون اینکه دچار شکست یا تغییر شکل غیر ارتجاعی گردند اما تغییر مکان‌های بزرگی حاصل می‌شود (به‌اندازه ظرفیت نهایی دستگاه آزمایش یا نزدیک به آن)؛ بنابراین در نظر گرفتن معیار تغییر مکان برای مصالح بنایی این‌گونه سازه‌ها کار مناسبی می‌باشد.

جدول ۱) آزمایش‌های مورد نیاز طبق استاندارد ASCE 41-13

سطح آزمایش	آیا مقاومت مشخصه معلوم است؟	تعداد آزمایش‌ها
معمولی	F'm مشخص است	حداقل دو آزمایش از سرتاسر ساختمان برای مقاومت فشاری مصالح بنایی
	F'm مشخص نیست	حداقل شش آزمایش کلی یا حداقل یک آزمایش از هر جزء سازه‌ای
جامع و تفصیلی	در صورت وجود یا عدم وجود مقاومت مشخصه (F'm)	حداقل ۸ آزمایش در هر ساختمان
		حداقل دو آزمایش برای هر دیوار یا المان دیوار واقع در یک راستا که مقاومت جانبی همان راستا را تأمین می‌کند
		ضریب تغییرات مقادیر آزمایشگاهی بیش از ۲۵ درصد باشد، تعداد آزمایش‌ها را باید دو برابر کرد.
		اگر چنانچه میانگین مقادیر آزمایشگاهی انجام‌شده در سایت کمتر از مقادیر لیست شده پیش‌فرض باشد تعداد آزمایش‌ها را باید دو برابر کرد
	F'm مشخص است	اگر چنانچه اسناد و مدارک اصلی ساخت‌وساز در دسترس باشد، حداقل سه آزمایش برای هر نوع مصالح و برای هر سه‌طبقه یا ۳۰۰۰ فوت مربع معادل ۲۷۸,۷ مترمربع سطح دیوار
	F'm مشخص نیست	اگر چنان چه اسناد و مدارک اصلی ساخت‌وساز در دسترس نباشد، حداقل شش آزمایش برای هر نوع مصالح و برای هر سه‌طبقه یا ۳۰۰۰ مترمربع معادل ۲۷۸,۷ مترمربع سطح دیوار

آزمایش‌های مصالح بنایی که در محل انجام می‌گردند، جهت تعیین کمیت خواص مکانیکی مصالح بنایی لازم هستند تا از طریق این خواص، ظرفیت تحلیل سازه و طراحی آن جهت مقاوم‌سازی سیستم تعیین گردند. آزمایش‌ها مبتنی بر ملاحظات روش‌های آزمایش ASTM همان‌گونه که در بالا شرح داده شد و تعداد آزمایش‌ها بر اساس اطلاعات و ملاحظات ASCE 41 که آیین‌نامه‌ی بازسازی ساختمان‌های موجود محسوب می‌گردد، می‌باشند.

بسته به نوع کاربری ساختمان و عملکرد مورد انتظار از آن، طراح باید سطح کیفیت آزمایش‌ها را جامع یا معمولی انتخاب کند. تعداد آزمایش‌های بیشتر منجر به حصول اطمینان بیشتر در نتایج آزمایش‌هایی می‌گردد که در محل انجام‌شده اند. چنانچه مهندسان از صحت خواص مصالح اطمینان نداشته باشند، به سمت طراحی محافظه‌کارانه متمایل می‌گردند. جدول ۱ و ۲ لیست آزمایش‌های مورد توصیه‌ی ASCE 41-13 و IEBC را برای سطوح کیفیت معمولی و جامع خلاصه‌سازی کرده‌اند.

جدول ۲) آزمایش‌های مورد نیاز طبق استاندارد IEBC

نوع خاصیت	تعداد آزمایش‌ها
مقاومت برشی گره اتصال بستر (بند ملات)	• تعداد آزمایش‌ها نباید برای هر ۱۵۰۰ فوت مربع معادل ۱۳۹ و سه‌دهم مترمربع سطح دیوار از یک نمونه کمتر گردد • تعداد کلی آزمایش‌ها از هشت نمونه برای کل ساختمان کمتر نگردد.
مهارهای کششی موجود	۴ آزمایش برای هر طبقه یا ده درصد کل ساختمان
مهارهای کششی جدید	• تعداد آزمایش‌ها برابر ۵ درصد تعداد بولت‌های مهاری جدید در تنش مستقیم • برای بولت‌های مهاری که از داخل صفحات مهاری عبور می‌کنند نیازی به انجام آزمایش نیست

نتیجه‌گیری

سازه‌های بنایی موجود می‌توانند چندین بحران و پیچیدگی را برای طراح سازه به همراه داشته باشند. این بحران‌ها از خواص ناشناخته‌ی مصالح و کیفیت متغیر ساخت سازه ناشی می‌گردند. خوشبختانه روش‌های آزمایشگاهی استانداردی وجود دارند که بررسی مصالح در محل و نمونه‌برداری جهت بررسی آزمایشگاهی را شامل می‌شوند و زمانی مؤثر واقع خواهند شد که توسط افراد مجرب انجام شوند. برنامه‌ریزی کامل و موفقیت‌آمیز به طراحان سازه اطلاعاتی را می‌دهد که از طرح ارائه شده‌ی خودشان اطمینان حاصل کنند.

مترجم: ابوالفضل فرقدانی

منبع:

http://www.structuremag.org/?p=12283