

استفاده از فناوری‌های نوین در شناخت و حفاظت میراث معماری*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۱/۲۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۸

کد مقاله: ۹۲۷۵۳

صفیه نامی^{۱*}، فرهاد آخوندی^۲

چکیده

بناهای تاریخی به عنوان میراث معماری، حاوی ارزش‌های ملی و هویتی هر سرزمین می‌باشد. بنابراین شناخت کامل، حفاظت و مقاوم‌سازی این بناها به گونه‌ای که ابتدا انتقال این بناها را برای نسل آینده و در صورت امکان احیا و استفاده مجدد آن‌ها را ممکن سازد؛ امری ضروری می‌باشد. امروزه استفاده از فناوری‌های نوین در حیطه میراث معماری رو به افزایش است. پیشرفت‌های روز افزون علم و فناوری در زمینه‌های شناخت، آزمایش‌های غیرمخرب، نظارت و تحلیل سازه‌ای بناهای تاریخی، در کنار دستورالعمل‌های جدید جهت احیا و حفاظت، امکان اقدامات اصلاحی ایمن‌تر، مقرون به صرفه‌تر و مناسب‌تر را فراهم می‌کنند. این مقاله به تشریح ارتباطات بین فناوری و شناخت و حفاظت میراث معماری و بیان چند نمونه از فناوری‌های نوین در این زمینه می‌پردازد. در این پژوهش چند نمونه از این فناوری‌هایی که در روند شناخت و مقاوم‌سازی، سازه یک دودکش بنایی صنعتی مربوط به دوره پهلوی اول انجام شده است مورد بررسی قرار می‌گیرد. دودکش مورد بررسی در این پژوهش دودکش شماره یک کارخانه چرم خسروی تبریز می‌باشد که با ورود مدرنیته و معماری صنعتی به ایران در دوره پهلوی اول به سبک معماری آلمانی ساخته شده است.

واژگان کلیدی: فناوری‌های نوین، میراث معماری، کارخانه چرم خسروی، آزمایش ارتعاش محیط، لیزر اسکن سه بعدی، آزمایش جک مسطح دوتایی

* مقاله حاضر برگرفته از رساله صفیه نامی تحت راهنمایی دکتر آخوندی در دوره کارشناسی ارشد فناوری معماری گرایش استحکام‌بخشی بناهای تاریخی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تحت عنوان بررسی لرزه‌ای و استحکام‌بخشی دودکش‌های کارخانه چرم خسروی (دانشگاه هنر اسلامی تبریز) می‌باشد.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد استحکام‌بخشی بناهای تاریخی دانشگاه هنر اسلامی تبریز (نویسنده مسئول)

safiyehnam@gmail.com

۲- عضو هیئت علمی دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز

المان‌ها و بناهای تاریخی نشان دهنده میراث تاریخی ما هستند، شاهدان تاریخی که تا عصر ما رسیده است. ما آنها را از نسل‌های گذشته به ارث برده‌ایم و وظیفه ما حفظ و انتقال آنها به نسل‌های آینده است. بنابراین ما باید میراث معماری خود را از فرسودگی و بلایای طبیعی مانند زلزله حفظ کنیم. برای این امر شناخت دقیق و حفاظت این بناها و میراث به یادگار مانده، حقیقتی غیرقابل انکار می‌باشد. باوجود پیشرفت در زمینه‌های مختلف همواره روش‌ها و فناوری‌های جدیدتری در دسترس قرار می‌گیرد که معماری و حفاظت میراث معماری نیز از آن‌ها مستثنی نبوده و همواره در حال پیشرفت می‌باشد. تمامی این فناوری‌ها در کنار روش‌های سنتی با هدف شناخت هر چه دقیق‌تر بنا با ایجاد کمترین مداخله و تخریب و در ادامه حفاظت ساختمان شکل می‌گیرند. به واسطه زلزله‌های مکرر، مداخلات صنعتی و به‌تأثیر از اتفاقات سیاسی ایران، شهر تبریز در دوره پهلوی اول، شاهد تغییرات زیادی در عرصه‌های معماری و شهری بوده است. در این دوره با ورود فناوری‌های ساخت و ایجاد سازه‌های جدید و اندیشه‌های حاکم بر آن، معماری صنعتی و کارخانه‌ای شکل گرفت. به طوری که به واسطه همسایگی با دولت روس و عثمانی و حضور مهندسان آلمانی و لهستانی عامل شکل‌گیری بناهای صنعتی در نقاط مختلف شهری آن است. (نژادابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۸، ۳۴) کارخانه چرم خسروی، نمونه زیبایی از معماری سنتی تبریز است که برگرفته از سبک معماری آلمانی در دوره پهلوی اول ساخته شده است. این کارخانه جزو تنها کارخانه‌های باقی مانده از میان کارخانه‌های متعدد دوره پهلوی می‌باشد که در حال حاضر سالم و قابل مطالعه است. ساختمان کارخانه چرم‌سازی از جمله ابنیه صنعتی تاریخی شهر، یادگاری ارزشمند از دوره ورود صنایع نوین به ایران محسوب می‌شود. در سال‌های اخیر و با تأسیس دانشگاه هنر اسلامی تبریز بنای متروکه کارخانه چرم‌سازی به‌سازی شد و تغییر کاربری یافت و در نهایت به مجموعه ساختمان‌های دانشگاه افزوده شد. (اصفی و همکاران، ۱۳۹۳، ۳۹) از این رو بررسی شرایط ایمنی دودکش‌ها به‌عنوان عضوی از این مجموعه حائز اهمیت می‌باشد.

هدف این مقاله آشنایی با میراث معماری و شناخت و حفاظت از آن با استفاده از فناوری‌های جدید و کارآمد در این زمینه می‌باشد. از آن جهت چند نمونه از این فناوری‌ها همانند لیزر اسکنر سه بعدی، آزمایش ارتعاش محیط و آزمایش جک مسطح دوتایی که در روند شناخت و مقاوم‌سازی دودکش کارخانه چرم خسروی استفاده شده است؛ مورد بررسی قرار می‌گیرد. در این پروژه با توجه به عدم دسترسی به نقشه‌ها و مدارک دودکش از فناوری لیزر اسکنر سه بعدی به‌عنوان یک فناوری غیرتماسی و غیر مخرب جهت ایجاد مدل ابرنقاط و برداشت دقیق بنا استفاده گردید. همین‌طور آزمایش ارتعاش محیط به‌عنوان یک آزمایش مبتنی بر خروجی جهت شناخت خصوصیات دینامیکی سازه دودکش بنایی شامل فرکانس‌های طبیعی و اشکال مودی که به منظور به‌روزرسانی مدل عددی و تحلیل‌های لازم جهت بررسی‌های حفاظتی آتی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ انجام گرفته است. باتوجه به اینکه شناخت ویژگی‌های مکانیکی مصالح به کار رفته در بنا از مهمترین مسائل جهت پیش‌برد تحلیل‌ها و ارائه بهترین طرح مقاوم‌سازی می‌باشد؛ در این پروژه آزمایش جک مسطح دوتایی به‌عنوان یک آزمایش نیمه مخرب مورد استفاده قرار گرفت.

۲- میراث معماری

عبارت "میراث معماری" باید شامل ویژگی‌های ثابت زیر در نظر گرفته شود:

- بناهای یادبود: به کلیه بناها و سازه‌های بارز تاریخی، باستان‌شناسی، هنری، علمی، اجتماعی یا فنی به همراه وسایل و متعلقات آنها اطلاق می‌شود.
- گروه‌های ساختمانی: گروه‌های همگن از ساختمان‌های شهری یا روستایی که به‌خاطر شرایط تاریخی، باستان‌شناسی، هنری، علمی، اجتماعی یا فنی‌شان قابل توجه هستند و به اندازه کافی منسجم هستند تا واحدهای قابل تعریف توپوگرافی را تشکیل دهند.
- سایت‌ها: از آنها به‌عنوان آثار ترکیبی انسان و طبیعت یاد می‌شود. مناطقی که تا حدی بر روی آنها ساخته شده‌اند و به اندازه کافی متمایز و همگن هستند که از نظر توپوگرافی قابل تعریف باشند و دارای شرایط تاریخی، باستان‌شناسی، هنری، علمی، اجتماعی یا فنی بارز هستند (طاهرطووع‌دل و همکاران، ۲۰۲۰، ۱)

۳- حفاظت میراث معماری

حفاظت به معنای حراست و نگهداری است. حفاظت از معماری به معنای حفظ معماری‌های ارزشمند یا ارزش‌های معماری است. از زمان شکل‌گیری معماری، حفظ و مرمت آن یک اصل تلقی شده است. (طاهرطووع‌دل و همکاران، ۲۰۲۰، ۲) در واقع حفاظت حوزه کاربرد خود را گسترش داده است و در ابتدا بناهای تاریخی را پوشش می‌دهد و به تدریج محیط اطراف این بناها، سکونتگاه‌های شهری و روستایی و مراکز و مناظر تاریخی را در بر می‌گیرد. (جرمانا، ۲۰۱۹، ۷۷) در یونان باستان، بناهای آسیب دیده به گونه‌ای تعمیر می‌شدند که شکل اولیه بنا حفظ می‌شد. در گذشته از روش‌های متعددی برای تعمیر ساختمان‌ها (بیشتر ساختمان‌های مذهبی) استفاده می‌شد. مطالعه انجام شده مربوط به حفاظت از میراث معماری قبل از قرن نوزدهم نشان می‌دهد

که حفاظت در درجه اول با مجموعه ای از اقدامات برای حذف عوامل فرسایشی و بهبود وضعیت فیزیکی میراث معماری و در برخی موارد توجه به جنبه های هنری، زیبایی شناختی و نمادین آنها مربوط می‌شود. از قرن نوزدهم، گرچه نظریه پردازان و معماران از مفهوم حفاظت برداشت‌های متفاوتی داشته‌اند، اما در همه موارد، بیش از مقوله‌های حسی و ناملموس میراث، به جنبه‌های ملموس و مرئی میراث توجه شده است. در چند دهه پیش با مطرح شدن برخی مفاهیم مرتبط با محیط، روان‌شناسی و رفتار انسان در حوزه‌های علوم، فلسفه و علوم محیطی، دیدگاه‌هایی درباره جنبه‌های کیفی و معنایی فضاها ایجاد شده و ابعاد ناملموس آن‌ها نیز در نظر گرفته شده است. چنین تغییری در نگرش‌ها، موضوع حفاظت از میراث معماری را نیز تحت تأثیر قرار داده است و محققان و صاحب نظران را بر آن داشته تا حفاظت را نه تنها به‌عنوان تلاشی برای بهینه‌سازی و حفظ جنبه‌های کالبدی بناها، بلکه به‌عنوان فرآیندی برای پرداختن به جنبه‌های معنایی میراث معماری بدانند. به طور کلی، حفاظت به دو سطح طبقه بندی می‌شود: حفاظت از جنبه های فیزیکی و جنبه های معنایی.

حفاظت از جنبه های فیزیکی مجموعه اقداماتی است که بر بهبود شرایط ملموس چه از طریق مداخله مستقیم به وسیله دستکاری فیزیکی و مصالح و چه از طریق مداخله غیرمستقیم به وسیله دستکاری محیط اطراف یا تغییر عوامل تأثیرگذار بنای تاریخی تکیه دارد. هرگونه مداخله ای که باعث کاهش یا به خطر انداختن ارزش میراث معماری شود، نامطلوب است و نباید رخ دهد. بر اساس منشور نارا، حفاظت از جنبه های معنایی ریشه در شناسایی ارزش های میراث معرفی شده دارد که حفاظت از آنها به توانایی درک ارزش های ناملموس وابسته می باشد. طبق منشور بورا در سال ۱۹۹۹، حفاظت مجموعه‌ای از اقدامات است که فرد را قادر می‌سازد تا به ارزش‌ها، معانی، پیام‌ها و مفاهیم نهفته در فضاهای میراث دست یابد. (طاهر طوع‌دل و همکاران، ۲۰۲۰، ۲)

۴- شناخت میراث معماری

حفاظت آثار معماری، مبتنی بر شناخت معماری است و معماری، ظرف زندگی انسان است. حفاظت، از شناخت آغاز می‌شود و پس از آن، رویکرد مداخله و روش‌ها و تمامی اقدامات حفاظتی تعیین می‌شود. (سعدوندی و کلانتری، ۱۳۹۹، ۳۲) با بررسی دقیق، آسیب نگاری و آسیب شناسی بنا تاریخی راه حل‌های مداخلاتی پیشنهادی به دست می‌آید. هر چقدر میزان شناخت نسبت به آثار تاریخی افزایش یابد روش مداخله مناسب‌تری در راستای حفاظت از بنا ارائه خواهد شد. (رضازاده اردبیلی و رضازاده اردبیلی، ۱۳۹۶، ۱) ابتدا با شناخت عناصر معماری موجود در محیط سعی می‌شود حداکثر اطلاعات اصلی از شیوه، فناوری و مصالح مصرفی در بقایای موجود از میراث معماری کسب شود. این عناصر معماری شامل نحوه چیدمان مصالح در بخش‌های مختلف و ابعاد اصلی آنها، نحوه اتصال اجزای مختلف به یکدیگر، شیوه به کارگیری عناصر تزئینی در بنا، نحوه اجرای آندود بر روی دیوارها و نهایتاً درک ارتباطات حاکم بین سازه و پلان کلی بنا می‌باشند.

با بررسی داده های کمی و کیفی، تحقیقات تاریخی، پایش و تحلیل‌های سازه‌ای شرایط موجود بنا تاریخی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. براساس اطلاعات جمع‌آوری شده از طریق این رویکردها، می‌توان تأثیر وقایع تاریخی همچون زلزله را شبیه‌سازی کرد و بنابراین، تأثیر احتمالی چنین اقداماتی را بر وضعیت فعلی ساختمان بررسی نمود.

تا آنجا که به بررسی تاریخی مربوط می‌شود، هدف آن درک مفهوم و ارزش ساختمان، تکنیک‌ها و مهارت‌های به کار رفته در ساخت آن، تغییرات بعدی در سازه و محیط آن و هر رویدادی است که ممکن است باعث آسیب شده باشد. (مانند جنگ، زلزله و سیل). به طور خلاصه هر گونه خرابی و آسیب، بازسازی، الحاق، تغییر، مرمت، اصلاح سازه و تغییر کاربری که منجر به شرایط فعلی شده است باید مورد توجه و تفسیر قرار گیرد.

در مورد بررسی‌ها، می‌توان آنها را بر اساس دو دیدگاه متفاوت در نظر گرفت: (۱) بررسی سازه (با مشاهده مستقیم) و (۲) انجام تحقیق در محل و آزمایشگاه. هدف مشاهده مستقیم شناسایی پوسیدگی و آسیب و همچنین هرگونه اثرات زیست محیطی مداوم بر ساختمان است. بعلاوه، این بررسی می‌تواند به تصمیم‌گیری در مورد وجود خطری فوری و نیاز احتمالی به انجام اقدامات سریع کمک کند. تحقیقات در محل به مورفولوژی داخلی، خواص مصالح (مکانیکی، فیزیکی، شیمیایی)، ارزیابی تنش‌ها و تغییر شکل سازه و وجود هرگونه ناپوستگی در سازه مربوط می‌شود. به عنوان یک قاعده کلی، در این مرحله آزمایش‌های غیر مخرب باید اتخاذ شود. در صورت امکان، باید از روش‌های مختلف استفاده کرد و نتایج را با هم مقایسه کرد.

منبع دیگر اطلاعات سازه‌ای پایش و نظارت است که می‌تواند بینشی در مورد وضعیت سازه و وجود فرآیندهای فعال مرتبط با آسیب افزایشی ارائه دهد. نتایج یک برنامه نظارتی باید همیشه در پرتو ماهیت تاریخی سازه تحلیل شود. با توجه به فرآیندهای طولانی مدت، که معمولاً دهه‌ها، قرن‌ها یا هزاره‌ها را در بر می‌گیرد، چالش تحلیلگر این است که در چارچوب زمانی کوچک فرضیه‌ها یا نتیجه‌گیری‌هایی را در مورد وضعیت سازه و پدیده‌هایی که بر روی آن عمل می‌کنند، را بررسی کند.

از نقطه نظر فنی، نظارت را می‌توان به صورت استاتیکی و دینامیکی دسته بندی کرد: هدف اول معمولاً ثبت تغییرات آهسته متغیر در تغییر شکل، ترک‌ها، دما و ... است. دومی برای ثبت داده های متغیر سریع مانند شتاب‌ها و مشخص کردن پاسخ دینامیکی ساختمان استفاده می‌شود. در هر صورت می‌توان از پایش برای به دست آوردن اطلاعات مفید در مراحل مختلف مطالعه یا کارهای

ساختمانی مانند قبل از مداخله (برای اهداف تشخیصی)، در حین اجرای اقدامات مقاوم سازی یا در بررسی های بلند مدت برای نظارت بر مقاوم سازی ساختمان استفاده کرد. (روکا و همکاران، ۲۰۱۹)

۵- فناوری های نوین در شناخت و حفاظت

همانطور که در پیش از این گفته شد مهم ترین موارد برای شروع بررسی و مداخله در یک سازه تاریخی داشتن اطلاعات کامل و صحیح از خود سازه می باشد. این داده ها شامل مواردی همچون اطلاعات دقیق از هندسه سازه، مشخصات مکانیکی مواد و مصالح آن، مشخصات دینامیکی سازه و ... می باشد که با استفاده از روش های مختلف به دست می آید. با پیشرفت روزافزون دانش این روش ها نیز همواره در حال تغییر بوده و یا با روش های جدید جایگزین می شود. در بناهای تاریخی به دلیل عدم دسترسی به اطلاعات هندسی برداشت دقیق امری ضروری بوده تا علاوه بر مشخصات هندسی با آسیب های احتمالی سازه نیز آشنا شویم. برای این امر می توان از ابزارها و تکنولوژی های به روز همچون لیزر اسکنر سه بعدی، فتوگرامتری و ... بهره برد که در پژوهش حاضر از دستگاه لیزر اسکنر سه بعدی برای این منظور استفاده شد.

گام مهم دیگر مشخصات مکانیکی مصالح بنا می باشد که می توان با تست جک مسطح یا جک مسطح دوتایی مقاومت فشاری و مدول الاستیسیته را به دست آورد که روش مورد استفاده در روند این پژوهش تست جک مسطح دوتایی بوده است. به منظور به دست آوردن اطلاعات دینامیکی سازه یعنی اشکال مودی و فرکانس ها هم از تست ارتعاش محیط که یک روش مبتنی بر داده های خروجی می باشد استفاده شد.

در این بخش چندین نمونه از کاربرد فناوری های مختلف در امر شناخت و حفاظت میراث معماری بررسی می شود:

۵-۱- اسکن لیزری سه بعدی

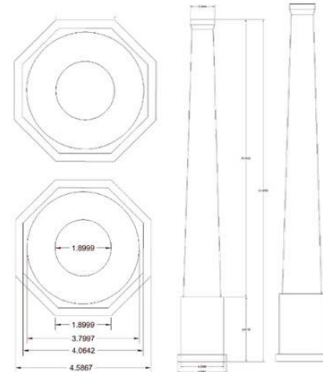
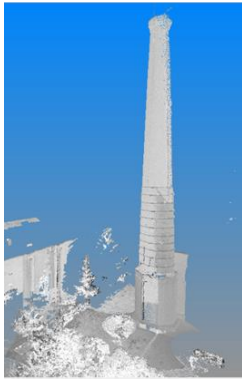
اسکن لیزری یک فرآیند خودکار، غیرتماسی و غیرمخرب است که طی آن اشیاء واقعی تقریباً به طور کامل بررسی و نمونه برداری می شوند تا مکان، اندازه، جهت و شکل آنها مشخص شود. در این سیستم، مجموعه ای از پرتوهای لیزری، به صورت سیستماتیک و با زاویه ثابت و مشخص، به سمت عارضه مورد اندازه گیری ارسال می شود سپس داده های جمع آوری شده می تواند برای ساخت مدل های سه بعدی دیجیتال استفاده شود. فناوری های اسکن لیزری سه بعدی می توانند برای مستندسازی و ثبت طیف وسیعی از اشیاء، سازه ها، ساختمان ها و توپوگرافی ها استفاده شوند. اسکن لیزری سه بعدی در نیمه آخر قرن بیستم در تلاش برای بازسازی دقیق سطوح اشیاء و مکان های مختلف توسعه یافت. این فناوری به ویژه در زمینه های تحقیق و طراحی مفید است. اولین فناوری اسکن سه بعدی در دهه ۱۹۶۰ ایجاد شد. اسکنرهای اولیه برای انجام این کار از نور، دوربین و پروژکتور استفاده می کردند. پس از سال ۱۹۸۵ آنها با اسکنرهای جایگزین شدند که می توانستند از نور سفید، لیزر و سایه برای گرفتن یک سطح معین استفاده کنند. اسکنرهای سه بعدی بسیار شبیه به دوربین ها هستند. آنها مانند دوربین ها میدان دید مخروطی مانند دارند و مانند دوربین ها فقط می توانند اطلاعات سطوحی را جمع آوری کنند که مبهم نیستند. (ابراهیم، ۲۰۱۴، ۲) میدان دید اسکنر به دلیل عدم استفاده از رفلکتور دقیقاً مانند چشم انسان می باشد. بدین معنی که اگر انسان به جای لیزراسکنر روی ایستگاه مربوطه ایستاده، هر چیزی را که انسان قادر به دیدن آن است توسط اسکنر برداشت می شود. به طور کلی یک سیستم لیزری سه بعدی از اجزای اندازه گیری زاویه و طول تشکیل شده است. فرآیند کار در لیزر اسکنرها عموماً از سه مرحله تشکیل شده می شود: ارسال پرتوهای لیزر اسکنر از طریق آینه های متحرک یا دوران کننده، بازتاب پرتوهای لیزر از سطح عارضه، دریافت و ثبت پرتوهای بازگشتی.

این دستگاه ها با استفاده از دسته ای از پرتوهای لیزری یک جسم را اسکن کرده و ابری از نقاط اندازه گیری شده را در عرض چند ثانیه ایجاد می کنند. این مجموعه خام از داده ها، که به عنوان «ابر نقطه ای» شناخته می شود، حاوی میلیون ها اندازه گیری دقیق به میلی متر یا کسری از میلی متر است که هر نقطه دقیقاً با مختصات x, y, z نسبت به سایر مکان های نقطه ای ارجاع داده می شود. ابر نقطه را می توان بلافاصله پس از اسکن مشاهده کرد و تجسم فوری داده ها را به عنوان یک تصویر سه بعدی فراهم می کند. با نگاشت نقاط می توان یک مدل سه بعدی دقیق ایجاد کرد.

برای اکثر سایت های تاریخی در معرض خطر، اولین ابزار مورد نیاز برای حفظ و بازسازی، بررسی دقیق و مطمئن سایت است. داده های اسکن لیزری سه بعدی را می توان به راحتی به CAD و سایر برنامه های تصویربرداری برای کارهای حفاظتی، مدیریتی و بازسازی و همچنین گردشگری مجازی، آموزش و انتشار اطلاعات تبدیل کرد. (ابراهیم، ۲۰۱۴، ۱۴) در پژوهش حاضر و در روند شناخت دودکش کارخانه چرم خسروی با توجه به در دسترس نبودن نقشه ها و مشخصات هندسی سازه از فناوری اسکن لیزری سه بعدی جهت برداشت و به دست آوردن مشخصات هندسی بنا استفاده شد. (شکل ۱)

۵-۱-۱- مدارک به دست آمده از بنا پس از برداشت

با استفاده از فناوری لیزر اسکنر سه بعدی مدل سه بعدی بنا مورد مطالعه به صورت کامل به دست آمده و تمامی ابعاد و اندازه ها و مدارک بنا به نحوی دقیق برداشت (شکل ۲)



شکل ۱- الف) نما کلی سازه ب) ابرنقاط تشکیل شده از برداشت لیزر اسکنر سه بعدی (مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۱)

شکل ۲- مدارک و رندر به دست آمده براساس از برداشت با لیزر اسکنر سه بعدی (مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۱)

۵-۲- آزمایش ارتعاش محیط

شناخت ویژگی‌های دینامیکی سازه در بسیاری از زمینه‌های صنعتی مانند خودروسازی، هوافضا، رباتیک، مهندسی عمران و ... دارای اهمیت بالایی می‌باشد. تحقیقات زیادی در مورد تکنیک‌های عددی و تجربی برای شناخت رفتار دینامیکی سازه‌ها انجام شده است. تجزیه و تحلیل مودال آزمایشگاهی روشی مناسب برای شناسایی پارامترهای دینامیکی سازه‌ها و ارائه یک مدل ریاضی یا مودال است. (قالیشویان، ۲۰۱۵، ۱). منظور از شناخت تجربی پارامترهای مودال در سازه‌ها به معنی استخراج پارامترهای مودال (فرکانس‌ها، نسبت‌های میرایی و شکل‌های مودی) از اندازه‌گیری‌های دینامیکی است. از این پارامترهای مودال می‌توان در به‌روز رسانی مدل اجزاء محدود، شناخت و مکان‌یابی آسیب‌های احتمالی در سازه‌ها، پایش طولانی مدت سلامت سازه‌ها و ارزیابی ایمنی سازه‌ها بعد از بارگذاری‌های شدید مانند زلزله استفاده کرد.

در سازه‌های مهندسی عمران، پاسخ‌های دینامیکی (خروجی‌ها) به طور مستقیم از رکوردهای ثبت شده توسط حسگرهای نصب شده در نقاط مختلف سازه به دست می‌آید. (یادگاری، ۱۳۸۹، ۱۲۳) در بسیاری از سازه‌های واقعی همچون سازه‌های بزرگ و نیز سازه‌های تاریخی امکان استفاده از آنالیز مودال تجربی برای به‌دست آوردن پارامترهای مودال وجود ندارد. به‌عنوان مثال، در سازه‌های بزرگ تحریک موثر سازه و اندازه‌گیری نیروی اعمالی به سازه امکان‌پذیر نیست. بسیاری از سازه‌ها تحت تاثیر نیروهای حاصل از عملکرد خود بطور موثر و مناسبی تحریک می‌شوند که اندازه‌گیری این نیروها غیرممکن است. به همین دلیل، روش‌هایی مورد توجه قرار گرفتند که تحریک و اندازه‌گیری نیروی ورودی به سازه جهت به‌دست آوردن پارامترهای مودال مورد نیاز نباشد. این روش‌ها، آنالیز مودال کارکردی یا آنالیز مودال محیطی نام دارند. چراکه تنها با ثبت پاسخ سازه ناشی از نیروهای اعمالی که حین شرایط کار در محیط طبیعی سازه به وجود می‌آیند، انجام می‌گیرد (صالحی، ۱۳۹۷، ۵۵).

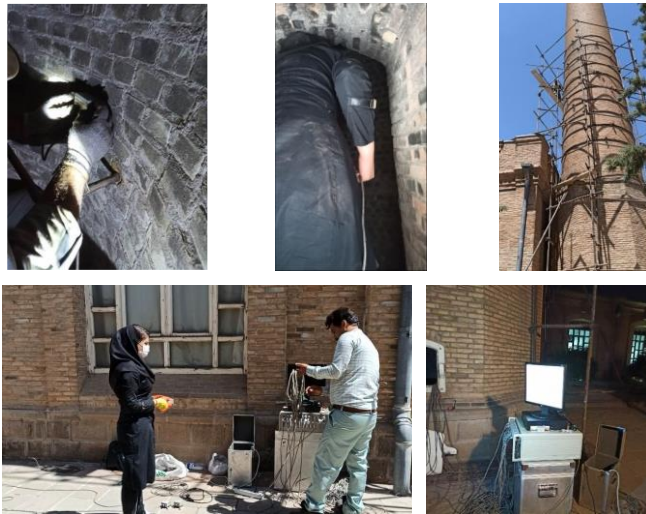
کیفیت ابزار اندازه‌گیری نقش اساسی در شناخت پارامترهای دینامیکی معتبر رفتار سازه ایفا می‌کند. انتخاب سخت افزار اندازه‌گیری، تعداد و چیدمان حسگرها، تکنیک‌های نصب و کالیبراسیون، جمع‌آوری داده‌ها و سایر شرایط اندازه‌گیری مانند ترتیب کابل‌کشی و روش‌های کنترل نویز اهمیت قابل توجهی دارند. مطمئناً، یک آزمایش موفقیت‌آمیز مبتنی بر ارتعاش، به تکنیک‌هایی برای جبران نویز و اثرات محیطی نیاز دارد. از آنجایی که آزمایش ارتعاش محیط یک آزمایش درجا است و با شرایط عادی و عملکردی سازه‌ها تداخلی ندارد تجزیه و تحلیل سازه مبتنی بر خروجی یک فرآیند ترجیحی برای سازه‌های عظیم و پیچیده مانند ساختمان‌ها، استادیوم‌ها، پل‌ها، سد‌ها و غیره است. سازه‌های عمرانی به طور کلی با دامنه کم و فرکانس پایین (تقریباً در محدوده ۱-۱۰ هرتز) ارتعاش می‌کنند. بنابراین آزمایش ارتعاش محیط به ابزارهای حساس و پیشرفته نیاز دارد.

سنسورها یکی از مهم‌ترین اجزای تست‌های مبتنی بر ارتعاش هستند. سنسورها بر اساس پارامترهای اندازه‌گیری دسته بندی می‌شوند. طیف گسترده‌ای از انواع مختلف شتاب‌سنج مانند پیزوالکتریک، موازنه نیرو، ارتعاش‌سنج لیزری و غیره وجود دارد. از حسگرها برای اندازه‌گیری شتاب، سرعت، جابجایی، کرنش، فشار و غیره استفاده می‌شود. در تست‌های ارتعاش محیطی بیشتر شتاب توسط حسگرهای شتاب‌سنج اندازه‌گیری می‌شود. برای اتخاذ یک حسگر مناسب برخی از ویژگی‌های مهم مانند هزینه، محدوده فرکانس، کمترین مقدار نویز، وضوح، پایداری، مصرف برق، نیازهای تهویه و غیره باید در نظر گرفته شود. انتخاب تعداد و طراحی چیدمان حسگرها به عنوان موضوعی بسیار مهم در تست‌های شناخت سازه مورد توجه قرار می‌گیرد. این امر در مورد سازه‌های مهندسی عمران مانند پل‌ها، استادیوم‌ها، سد‌ها و غیره به دلیل مشارکت جرمی و ابعاد بزرگ چالش برانگیزتر می‌شود. انتقال و ثبت داده‌ها توسط سیستم‌های جمع‌آوری داده‌ها انجام می‌شود. نقش جمع‌آوری داده‌ها تبدیل سیگنال‌های آنالوگ به دست آمده از حسگرها به سیگنال‌های دیجیتال است. پس از آن، سیگنال‌های دیجیتال، آماده پردازش توسط نرم افزارهای تحلیلی هستند. قابلیت اطمینان نتایج حاصله به ویژگی‌های حسگرها و سیستم‌های جمع‌آوری داده بستگی دارد. در واقع، سنسورها

و سیستم‌های جمع‌آوری داده‌ها باید با یکدیگر سازگار باشند. در غیر این صورت نتایج ممکن است نادرست یا اشتباه باشد. مشکلات سیم‌کشی‌های عظیم و گران‌قیمت و مشکلات ایجاد نویز و اختلال، به ویژه برای سازه‌های بزرگ و پیچیده عمرانی، مهندسین را ترغیب به پیگیری سیستم‌های اندازه‌گیری بی‌سیم می‌کند. تحقیقات در مورد سیستم‌های جمع‌آوری داده‌های بی‌سیم و شبکه‌های حسگر بی‌سیم در اواخر دهه ۱۹۹۰ آغاز شد و به تدریج توسعه یافت. اگرچه حسگرهای بی‌سیم مزایای خاص خود را دارد، اما به دلیل هزینه بیشتر و زمان نصب، به طور کامل جایگزین سیستم‌های سیمی نشده است. (قالیشویان، ۲۰۱۵، ۶)

۱-۲-۵- آزمایش ارتعاش محیط بر سازه دودکش

باتوجه به اینکه ارزیابی ایمنی سازه و حفظ برج‌های بنایی تاریخی در سال‌های اخیر مورد توجه فزاینده‌ای قرار گرفته است. فراتر از مسائلی که به طور کلی حفاظت از میراث معماری را مشخص می‌کند (یعنی پیری مصالح، وجود ترک و آسیب، اثرات تغییرات متوالی سازه‌ای و مداخلات تقویتی)، برج‌های بنایی سازه‌های نسبتاً باریکی هستند و تحت بارهای مرده قابل توجهی قرار می‌گیرند. در نتیجه، برج‌های تاریخی اغلب حساسیت بالایی نسبت به اقدامات دینامیکی، مانند ارتعاشات ناشی از ترافیک، نوسان زنگ، باد و زلزله از خود نشان می‌دهند. در این زمینه، آزمایش ارتعاش محیطی ابزارهای ایده‌آلی برای ارزیابی مستقیم رفتار دینامیکی سازه می‌باشد. (جنتایل، ۲۰۱۲، ۳)

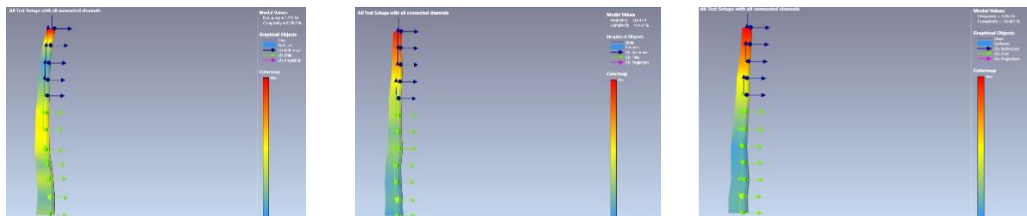


شکل ۳- مراحل انجام تست ارتعاش محیط (مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۱)

در روند پروژه مقاوم‌سازی دودکش کارخانه چرم‌خسروی از آزمایش ارتعاش محیط جهت شناخت ویژگی‌های دینامیکی سازه استفاده شد. نتایج حاصل از این آزمایشات شامل فرکانس‌های هر مود و اشکال مودی آن می‌باشد که در ادامه روند پروژه به منظور مدل‌سازی عددی و ارائه طرح مقاوم‌سازی بسیار ضروری و ارزشمند است.

جدول ۱- فرکانس مودهای سازه به دست آمده از آزمایش ارتعاش محیط (مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۱)

Mode No.	Mode 1	Mode 2	Mode 3	Mode 4	Mode 5	Mode 6	Mode 7	Mode 8	Mode 9
Freq. (Hz)	1.05	1.074	3.71	3.73	8.22	9.766	9.81	10.35	16.16
EFDD Method									



شکل ۴- الف) شکل مود اول سازه ب) شکل مود دوم سازه ج) شکل مود سوم سازه (مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۱)

۵-۳- تست جک مسطح دوتایی

این روش تست یک روش درجا را برای تعیین ویژگی تغییر شکل سازه بنایی موجود تشکیل شده از واحد جامد تقویت نشده می‌باشد. این روش مربوط به اندازه‌گیری خواص تغییر شکل پذیری در سازه‌های بنایی موجود با استفاده از صفحات صاف نازک کیسه مانند است که در اتصالات ملات بریده شده در دیوار بنایی نصب می‌شوند. این روش آزمایش ابزار نسبتاً غیر مخربی برای تعیین خواص مصالح بنایی است. (ASTM C1197)

۵-۳-۱- نحوه ی انجام تست جک مسطح بر اساس آیین نامه ASTM C1197

مراحل انجام تست براساس دستورالعمل موجود در استاندارد ASTM C1197-14a صورت گرفته است. در این روش با ایجاد دو برش موازی به فاصله چهار تا شش واحد بنایی در داخل دیوار بنایی قسمتی از دیوار به مثابه نمونه از سایر بخش‌های دیوار فاصله می‌گیرد فرض بر این است که این واحد جدا شده بدون تنش است سپس جک‌های تولید شده داخل شکاف‌ها قرار می‌گیرند و فاصله اولیه نقاط اندازه‌گیری می‌شوند همچنین از چهار عدد وسیله اندازه‌گیری با دقت یک هزارم میلیمتر برای اندازه‌گیری مقدار جابجایی بین دو جک استفاده می‌شود فاصله‌ی ابزارهای اندازه‌گیری از دو انتهای صفحات برابر با یک هشتم طول آن‌ها می‌باشد با ایجاد فشار توسط پمپ هیدرولیکی و وارد شدن بار ناشی از فشار ایجاد شده در جک‌های مسطح به نمونه یک حالت تنش محوری فشاری ایجاد می‌شود با افزایش فشار در جک‌های مسطح تغییر فاصله‌ها در گیج‌ها نشان داده می‌شود با افزایش فشار تدریجی می‌توان رابطه تنش کرنش را تعیین کرد بر اساس منحنی تنش کرنش حاصل می‌توان مدول الاستیسیته را محاسبه کرد. (امینی فر، ۱۴۰۰، ۴۷)

۵-۳-۲- تجهیزات مورد استفاده در انجام تست جک مسطح

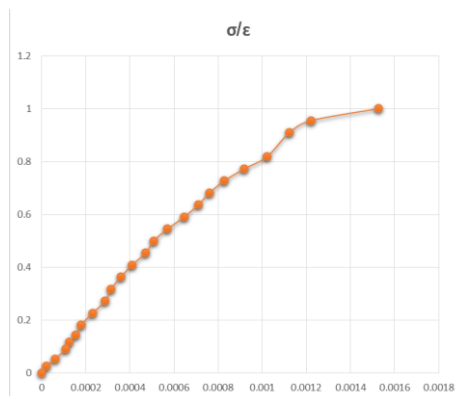
تجهیزات مورد نیاز برای انجام تست جک مسطح شامل صفحات فلت جک، پمپ هیدرولیکی، ابزارهای اندازه‌گیری (حسگرهای سنجش جابه‌جایی با دقت ۰،۰۰۱ میلی متر یا ۱ میکرون)، ابزار برش ملات، صفحات فلزی به عنوان پرکننده و پخش کننده یکنواخت نیرو و تجهیزات ایمنی می‌باشد.



شکل ۵- ابزارهای انجام تست جک مسطح دوتایی (مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۱)

۳-۳-۵- آزمایش جک مسطح دوتایی بر سازه دودکش

مطابق شکل نمودار تنش کرنش حاصل از آزمایش جک مسطح برای سازه مورد نظر، مقدار مقاومت فشاری نهایی واحد بنایی و مدول الاستیسیته آن به دست آمد.



شکل ۶- منحنی تنش - کرنش به دست آمده از آزمایش جک مسطح دوتایی (مأخذ: نگارنده، ۱۴۰۱)

۶- نتیجه گیری

در این مقاله مطالعه‌ای جهت آشنایی با فناوری‌های نوین در عرصه شناخت و حفاظت از میراث معماری انجام شده است. تمامی روش‌ها و فناوری‌های ذکر شده در این پژوهش طی روند تهیه طرح مقاوم‌سازی برای دودکش کارخانه چرم خسروی انجام گرفته است و نتایج برای تحلیل‌های لازم جهت بررسی‌ها و ارائه طرح مورد استفاده قرار گرفته است. براساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمایشات انجام شده در این پژوهش می‌توان عنوان کرد که شناخت کامل و صحیح و همچنین استفاده به جا از فناوری‌های نوین به جای برخی از روش‌های سنتی می‌تواند باعث تسریع روند پروژه شده و اطلاعات دقیق‌تری را با کمترین خسارت و آسیب به بنا در اختیار کارشناسان بگذارد.

منابع

۱. امینی فر ابراهیم، (۱۴۰۰)، آنالیز کیفی بناهای آجری تاریخی شهر تبریز در دوره قاجار، پایان نامه کارشناسی ارشد (M.A)، دانشگاه هنر اسلامی تبریز
۲. آصفی مازیار، رادمهر مهسا، ۱۳۹۳، ارتقای بهسازی میراث کالبدی، در حوزه فنی و مرمت معماری با رویکرد تفاهم بخشی دو دیدگاه، شهر ایرانی اسلامی، شماره ۱۶، ص ۲۹ - ۴۱
۳. رضازاده اردبیلی مجتبی و رضازاده اردبیلی رومینا (۱۳۹۶)، مطالعه و شناخت اثر تاریخی به منظور دستیابی به اصول مرمتی در شهر قزوین (مطالعه موردی: خانه اسدی در محله دیمج)، پنجمین کنگره بین المللی عمران، معماری و توسعه شهری، تهران
۴. سعدوندی مهدی و کلانتری مائده (۱۳۹۹)، « مراتب حفاظت از میراث معماری»، فصلنامه علمی مرمت و معماری ایران، شماره ۲۴، ص ۳۱ - ۴۲
۵. صالحی مهدی، اورک محمد، قربانی مهدی، احمدی بلوطکی محمد، (۱۳۹۷)، مطالعه تجربی عملکرد روش‌های مختلف آنالیز مودال محیطی با تحریک همزمان تصادفی و هارمونیک، نشریه پژوهشی مهندسی مکانیک ایران، دوره ۲۰، شماره ۲، ص ۵۴-۷۱
۶. نژادابراهیمی احد، فرخی شهین، شباهنگ مهسا، ۱۳۹۷، الگوشناسی معماری کارخانه‌های صنعتی پهلوی اول در تبریز، نقش جهان، دوره ۹، شماره ۱، ص ۳۳ - ۴۴
۷. یادگاری جواد، بهار امید، (۱۳۸۹)، شناسایی پارامترهای مودال بر اساس داده‌های آزمایش ارتعاش محیطی با نرم افزار جدید SIP، نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری، دوره ۴۴، شماره ۱، ص ۱۲۱-۱۳۰
8. ASTM, ASTM-C :1197-04 Standard test method for in situ measurement of masonry
9. Ebrahim, M A-B. (2014). 3D LASER SCANNERS: HISTORY, APPLICATIONS, AND FUTURE
10. Gentile Carmelo, Saisi Antonella, Cabboi Alessandro, (2012), Dynamic monitoring of a masonry tower, Proc. of the Int. Conf. SAHC 2012.
11. Germanà Maria Luisa. (2019). Technology and Architectural Heritage: Dynamic Connections, pp 77-92
12. Ghalishooyan Morteza, Shoostari Ahmad. (2015). Operational modal analysis techniques and their theoretical and practical aspects: A comprehensive review and introduction, 6th International Operational Modal Analysis Conference
13. Roca Pere, B. Lourenço Paulo, Gaetani Angelo. (2019). Historic Construction and Conservation Materials, Systems and Damage
14. Taher Tolou Del Mohammad Sadegh, Saleh Sedghpour Bahram, Kamali Tabrizi Sina. (2020). The semantic conservation of architectural heritage: the missing values, 8:70, pp 1-13.