Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

نخستین یادگار دوران اسلامی کاشان؛
بررسی فرم، سازه و شیوهٔ ساخت منارهٔ مسجدجامع کاشان

علمی پژوهشی

بابک عالمی*
صدیقه کمالی زارچی**
نغمه اسدی چیمه***

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۷/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۵/۱۵

چکیده
آثار معماری به‌جامانده از گذشته را می‌توان از جوانب گوناگون و با رویکردهای مختلف مطالعه کرد. فرم معماری، سازه و فنون ساخت، تزیینات و جزئیات بناها و سیر تحول و تطور آن‌ها از زمان شکل‌گیری تا امروز، موضوعاتی کلی است که می‌توان در بناهای گذشته بررسی کرد. علاوه بر بناها، برخی اجزا و عناصر معماری گذشته نیز به‌دلیل برخورداری از ویژگی‌های منحصربه‌فرد و جالب توجه، واجد ارزش هستند و می‌توانند موضوع بررسی باشند. در این مقاله، به‌طور ویژه به منارهٔ مسجدجامع کاشان پرداخته می‌شود که اولین بنای تاریخ‌دار کاشان در دورهٔ اسلامی به حساب می‌آید. پایداری این بنا پس از گذشت قرن‌ها و با وجود وقوع زمین‌لرزه‌های متعدد در کاشان، ضرورت بررسی و مستندنگاری آن را تبیین می‌کند. بنابراین هدف این پژوهش آن است که ضمن توجه به پیشینهٔ تاریخی مناره و مستندنگاری دقیق اجزای مختلف آن، شیوهٔ ساخت هریک از این اجزا و فرم سازه‌ای و جریان نیروها در مناره بررسی شود و سپس تحلیل لرزه‌ای صورت گیرد. برای رسیدن به این هدف، بخش مهمی از داده‌های پژوهش از راه حضور در مسجدجامع کاشان و پیمایش مناره و برداشت آن به دست آمده است؛ همچنین از منابع کتابخانه‌ای و شفاهی برای کنترل یافته‌های میدانی و دانستن سرگذشت مسجد استفاده شده است. راهبرد اصلی این پژوهش توصیفی‌تحلیلی است و آن بخش از نتایج پژوهش که به تحلیل لرزه‌ای مربوط است، حاصل تحلیل مناره با استفاده از نرم‌افزار SAP2000 است. نتیجهٔ این پژوهش نشان می‌دهد در ساخت منارهٔ مسجدجامع که به استناد کتیبهٔ روی آن یک منارهٔ سلجوقی است، تدابیری به کار گرفته شده؛ از جمله فرم باریک‌شوندهٔ مناره، کاهش ضخامت اجزای آن با افزایش ارتفاع، کاهش صلبیت بنا، ایجاد فضاهای خالی با اجرای دو پلکان و کاربرد چوب در ساختمان آن. کاربست چنین تمهیدات معمارانه‌ای است که مناره را از آسیب جدی در طول قرن‌ها مصون داشته است.

کلیدواژه‌ها:
مسجدجامع کاشان، مناره، شیوهٔ ساخت، سازه.

* استادیار، دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان، نویسنده مسئول، alemi@kashanu.ac.ir
** کارشناس ارشد معماری، دانشگاه شهید بهشتی
*** کارشناس ارشد مطالعات معماری ایران، دانشگاه هنر اصفهان

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

پرسش‌های پژوهش

۱. ویژگی‌های کالبدی منارۀ مسجدجامع کاشان چیست؟
۲. در ساخت این مناره از چه مصالح، روش‌ها و فنونی استفاده شده است؟
۳. رفتار سازه‌ای و لرزه‌ای مناره در برابر بارهای گوناگون چگونه است؟

مقدمه

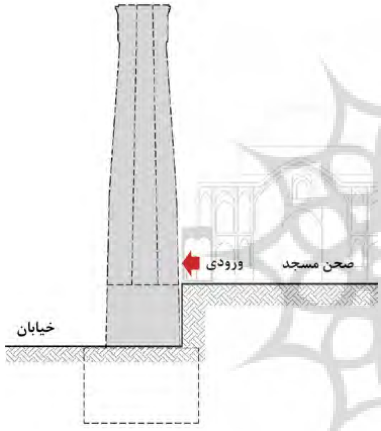
تک‌بناهای به‌جامانده از گذشته و اجزا و عناصر کالبدی آن‌ها، از جهات مختلف می‌توانند موضوع پژوهش قرار گیرند. این بناها را می‌توان از حیث تاریخی، فرهنگی و کالبدی مورد توجه قرار دارد. در اغلب مطالعاتی که روی این بناها انجام می‌گیرد، کمتر به یک بنا از همۀ جوانب توجه می‌شود و بیشتر یک بنا با رویکردی خاص مورد بررسی قرار می‌گیرد. گستردگی بناها از یک سو، پیچیدگی آن‌ها و نبود اطلاعات کافی از همۀ جوانب آن، شناخت کامل بنا را با مشکل مواجه می‌کند. همچنین به نظر می‌رسد پردازش یک تحقیق با موضوعات متنوع، نیازمند زمان کافی و پژوهشی گسترده باشد. ازاین‌رو در این نوشتار تلاش می‌شود به‌جای پرداختن به یک بنا، یک جزء از آن معرفی و از حیث سازه و فن اجرا بررسی شود. موضوع این پژوهش به‌طور ویژه، منارۀ مسجدجامع کاشان است که یکی از قدیمی‌ترین عناصر معماری شهر کاشان در دورۀ اسلامی به حساب می‌آید. این مناره با پشت‌سر گذاردن حوادثی چون زمین‌لرزه‌های متعدد، به‌ویژه زمین‌لرزۀ سال ۱۱۹۲ق، کمتر دچار آسیب جدی شده و هنوز پابرجاست. ازاین‌رو بررسی دقیق آن و پی بردن به رمز دوام این فرم موضوعی حائز اهمیت است. از طرفی توجه به پیشینۀ ثبت مسجدجامع کاشان به‌عنوان اثر ملی و بررسی اجمالی پروندۀ ثبتی این اثر، نشان می‌دهد که نخستین جزء ثبت‌شدۀ مسجد، منارۀ آن است که در سال ۱۳۱۵ خورشیدی و شصت سال پیش از ثبت مسجدجامع کاشان، توسط وزارت فرهنگ و هنر به ثبت رسیده است. این موضوع، خود حاکی از اهمیت مناره است و ضرورت پرداختن به آن را تبیین می‌کند. با وجود این، تاکنون پژوهش چندانی دربارۀ منارۀ مسجدجامع کاشان صورت نگرفته است. تنها نوشته‌ای که پیش از این دربارۀ این مناره منتشر شده، مقاله‌ای با عنوان «منار عنصر هویت‌بخش در مسجدجامع کاشان» است که در آن، توصیفی کلی از وضع موجود مناره و تزیینات آن بدون تحلیل و بررسی ارائه شده است (ارجمندفر و زمانی‌فرد ۱۳۷۸). اما در زمینۀ بررسی و تحلیل سازۀ مناره‌ها، در سال‌های اخیر، پژوهش‌هایی صورت گرفته؛ از جمله مهم‌ترین آن‌ها، مقالۀ «آنالیز لرزه‌ای منارهای تاریخی آجری ایرانی» است که در آن، آسیب‌پذیری ۹ مناره، به‌جز منارۀ کاشان، در برابر نیروهای وزن و زلزله به کمک نرم‌افزار، تحلیل و بررسی شده است (حجازی، مویدیان، و داعی ۱۳۹۴). همچنین مقالۀ «تحلیل رفتار سازه‌ای مناره (نمونۀ موردی: مسجد ملک بن عباس)» را می‌توان نام برد که در آن منارۀ این مسجد در برابر نیروهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته است (قاسمی‌زاده و ایمان‌طلب ۱۳۹۵). بنابراین تاکنون مطالعۀ جامعی روی منارۀ مسجدجامع کاشان صورت نگرفته است و منبعی دربارۀ آن در دست نیست. ازاین‌رو، داده‌های این پژوهش اغلب از راه مطالعۀ میدانی و پیمایش و برداشت مناره و دقت در کالبد آن گردآوری شده است. در ضمن مطالعات میدانی، مستندنگاری دقیقی نیز از مناره صورت گرفته و نقشۀ مناره و جزئیات آن به‌دقت برداشت و ترسیم شده‌اند. داده‌های مربوط به سرگذشت مسجدجامع و منارۀ آن از خلال منابع مکتوب و اطلاعات مربوط به فن ساخت نیز از طریق بررسی بنا و کنترل یافته‌ها با استادکاران سنتی به دست آمده است. روش تحقیق توصیفی‌تحلیلی است و در آن ضمن تحلیل فرم بنا، تحلیل سازه نیز با کمک نرم‌افزار SAP2000 صورت گرفته است. این مقاله شامل پنج بخش اصلی است: بخش اول آن به معرفی مسجدجامع و بخش دوم به شرح منارۀ این مسجد اختصاص دارد. در سومین بخش، شیوۀ ساخت مناره ارائه و در بخش چهارم نیروهای وارد بر آن بررسی شده است. در آخرین بخش مقاله نیز تحلیل سازه‌ای و لرزه‌ای مناره با کمک نرم‌افزار صورت گرفته و سپس مطالب، جمع‌بندی و در قالب نتیجه ارائه شده‌اند.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

۱. مسجدجامع کاشان

مسجدجامع کاشان واقع در محلهٔ میدان کهنه، یکی کهن‌ترین آثار دورهٔ اسلامی در کاشان به حساب می‌آید. این بنا در سطحی بالاتر از معبر مجاور ساخته شده شامل صحن، ایوان‌هایی در جبهه‌های جنوبی و شمالی، گنبدخانه، شبستان‌هایی در غرب و تک‌مناره‌ای در شمال شرقی مسجد است (تصویر ۱). قدیمی‌ترین جزء مسجد فعلی، منارهٔ آن است که کتیبه‌ای با تاریخ ۴۶۶ هجری قمری روی آن ثبت شده است. علاوه بر این کتیبه، کتیبه‌ای گچی نیز بر محراب شبستان مسجد وجود دارد که مطالعات باستان‌شناسی آن را به پیش از دورهٔ تیموری نسبت می‌دهند (یونسی، عسگرپور، بحرالعلومی ۱۳۹۶، ۸۴). هرچند تاریخ موجود روی مناره مربوط به زمان اندکی پس از به تخت نشستن جلال‌الدین ملکشاه سلجوقی و چهار دهه پس از حضور سلجوقیان در ایران است و نشان می‌دهد که این بنا یا دست‌کم منارهٔ آن مربوط به دورهٔ سلجوقی است، تاریخ‌گذاری مسجد و تعیین تاریخ شکل‌گیری هستهٔ اولیهٔ آن محل اختلاف است و به بررسی‌های دقیق‌تری نیاز دارد.

تصویر ۱: موقعیت مسجدجامع کاشان و موقعیت مناره نسبت به مسجد
(نقشه وضع موجود براساس Google Earth)



تصویر ۲: نسبت مناره با معبر مجاور و مسجد

این مسجد در طول ادوار مختلف، بارها رو به افول و ویرانی گذاشته و بر اثر بی‌توجهی، اوضاع نابسامانی را از سر گذرانده است. از سویی، منابع از زمین‌لرزه‌های متعددی نیز در کاشان خبر می‌دهند که اگرچه از شدت و بزرگی آن‌ها خبری در دست نیست، هریک منجر به خرابی‌های بسیاری در کاشان شده‌اند. بر اساس کتاب *تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران*، دامنهٔ زلزلهٔ ری در سال ۲۴۱ قمری و زلزله‌ای در شمال بخش مرکزی ایران در سال ۳۴۶ هجری قمری، به کاشان نیز رسیده است (امبرسز و ملویل ۱۳۷۰، ۱۳۱ـ۱۳۷). همچنین زمین‌لرزه‌هایی در سال‌های ۱۱۶۹ و ۱۱۹۲ هجری قمری در کاشان رخ داده (فیروزی آرانی ۱۳۸۵، ۲۵ـ۲۶) که از میان آن دو، زلزلهٔ سال ۱۱۹۲ به مسجدجامع شهر نیز خساراتی وارد کرده است؛ گزارشی مختصر از مرمت مسجد پس از این زمین‌لرزه را در محراب گنبدخانه می‌توان دید.[۱] بنابراین کالبد مسجد پس از این زمین‌لرزه و در جریان مرمت‌های بعدی، دچار تغییرات بسیار شده است.

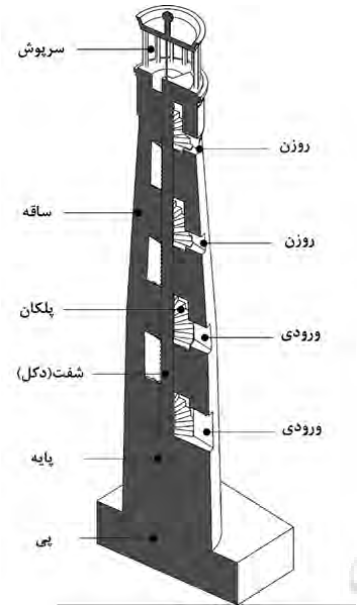
۲. منارهٔ مسجدجامع کاشان

این مناره که در شمال شرقی صحن مسجد واقع شده، با تاریخ ۴۶۶ هجری قمری، قدیمی‌ترین بخش تاریخ‌دار مسجدجامع کاشان و سومین منارهٔ تاریخ‌دار ایران بعد از منارهٔ مسجد میدان ساوه (۴۵۳ق) و مسجد پامنار زواره (۴۶۱ق) است. فرم کلی مناره به شکل مخروط و سطح مقطع آن دایره است. اما یافتن هندسهٔ دقیق پایه و اندازهٔ قطر آن به‌سبب محصور بودن پایه در فضاهای غیرقابل دسترس، دشوار است و به کاوش باستان‌شناسی نیاز دارد (تصویر ۳). بررسی

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

بخش در دسترس و قابل مشاهدهٔ پایه نشان می‌دهد که این مناره در پایین‌ترین قسمت دارای قطری بیش از ۴۶۰ سانتی‌متر است و این اندازه با افزایش ارتفاع، کاهش می‌یابد. فرم مخروطی آن با شیب ثابتی در سراسر مناره همراه نیست؛ به‌گونه‌ای که تا ارتفاع ۹۵۵ سانتی‌متر از پایه، قطر مناره با شیب ۲درصد از ۴۶۰ سانتی‌متر به ۴۱۷ سانتی‌متر می‌رسد و پس از آن با شیب ۷درصد در بالاترین قسمت مخروط و در ارتفاع ۱۸۹۶سانتی‌متری، قطری معادل ۲۹۰ سانتی‌متر دارد. پس از آن، قطر به ۳۱۰ سانتی‌متر افزایش می‌یابد و این ضخامت تا رأس مناره و سرپوش آن ثابت می‌ماند. مناره دارای دو ورودی است: ورودی نخست به ابعاد ۷۵×۱۷۰ سانتی‌متر، به‌طور مستقیم از صحن قابل دسترسی است. دیگری ۱۲۰×۷۵ سانتی‌متر ابعاد دارد و دسترسی به آن از روی بام در ارتفاع ۸/۶۲ متری ممکن است. دو روزن نیز در ارتفاع ۱۳/۳۹ متری و ۱۷/۷۵ متری به‌ترتیب با ابعاد ۷۰×۶۵ و ۷۰×۶۰ سانتی‌متر و هم‌محور با ورودی‌ها وجود دارد که جهت نورگیری و تهویهٔ فضای راه‌پله تعبیه شده‌اند. این مناره شامل چهار بخش اصلی پی، پایه، ساقه و سرپوش است و پوسته‌ای آجری، نمای این مجموعه را تشکیل می‌دهد (تصویر ۴).

تصویر ۳: راست: نمای مناره از معبر مجاور مسجد؛ چپ: تصویر مناره از روی بام مسجد

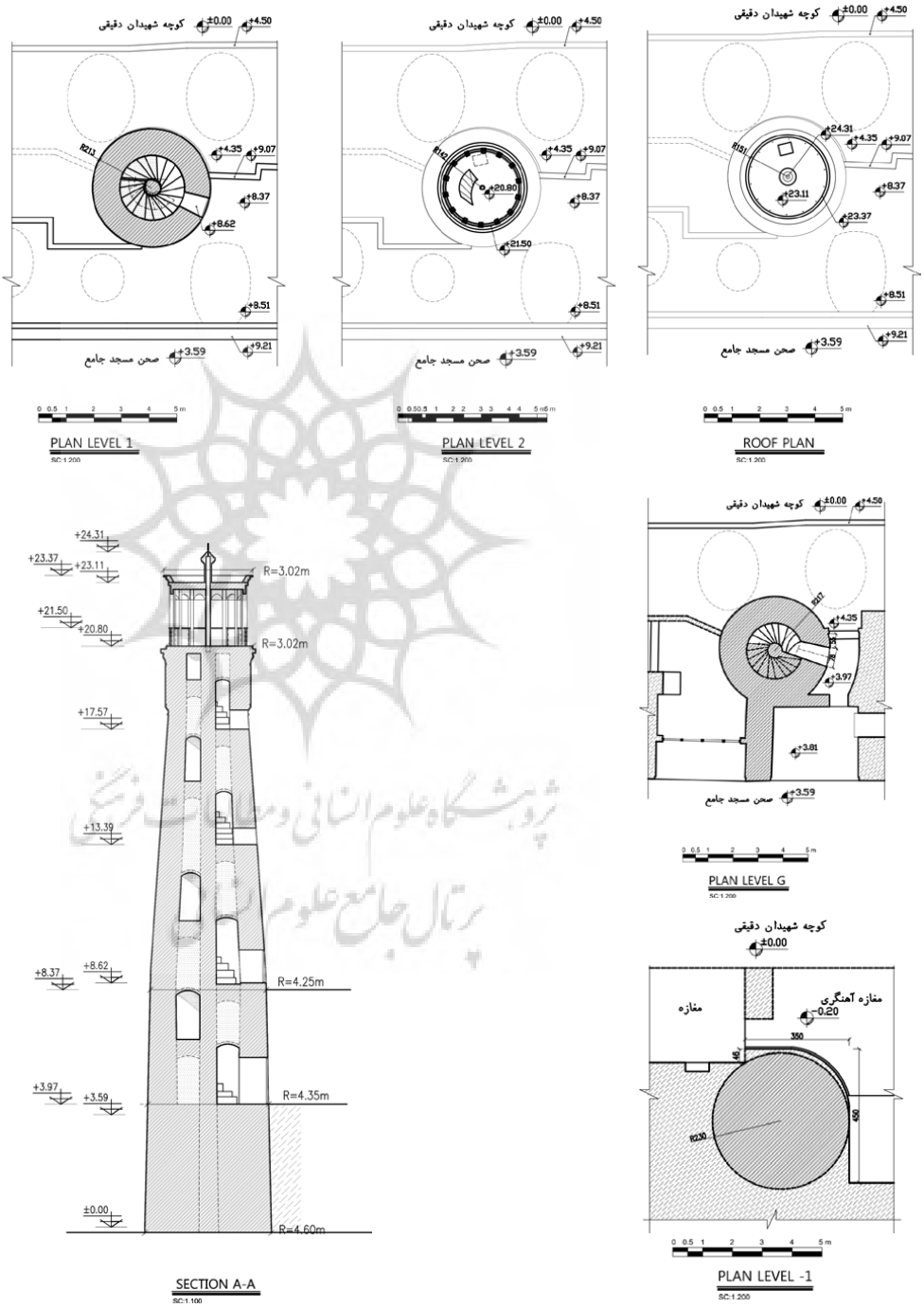


تصویر ۴: اجزای مختلف مناره

یافتن اطلاعات دقیق از پی مناره میسر نیست و به گمانه‌زنی نیاز دارد. اما در بخش‌های آتی، به‌تفصیل به آن پرداخته می‌شود. ساقهٔ مناره خود از سه بخش بدنهٔ ساقه، پلکان و دکل یا شفت میانی تشکیل شده است. مقصود از بدنه، جدارهٔ خارجی مناره است که پلکان را در بر می‌گیرد. در این مناره، این بخش تا ۱۲ متر بعد از تراز ورودی از خشت با ابعاد ۷×۳۲×۳۲ و پس از آن از خشت به ابعاد ۵×۲۰×۲۰ سانتی‌متر ساخته شده است. اندازه‌گیری ضخامت بدنه در محل دو ورودی مناره و دو روزن نورگیر، کاهش ضخامت بدنه توأم با افزایش ارتفاع آن را نشان می‌دهد؛ به‌طوری که این ضخامت در ارتفاعی هم‌تراز با ورودی اول ۱۰۶ سانتی‌متر، ورودی دوم ۹۸ سانتی‌متر و در محل روزنه‌های بالایی به‌ترتیب ۸۰ و ۷۰ سانتی‌متر است. ورودی مناره در صحن مسجد و در محلی بالاتر از سطح معبر قرار دارد و پلکان مناره نیز از مقابل همین ورودی آغاز می‌شوند. تعداد پله‌ها از این محل تا کف سرپوش مناره در ارتفاع ۲۰/۸۰ متری، ۷۰ پله است که با ارتفاع میانگین ۲۴ سانتی‌متر، در خلاف جهت عقربه‌های ساعت، حول شفت میانی چرخیده‌اند (تصویر ۵). کاهش قطر مناره از پایین تا بالا بر طول پله‌ها نیز اثر گذاشته است، به‌طوری که طول آن‌ها

تصویر ۵: فضای داخلی مناره و پلکان آن

در محل ورودی حدود ۸۰ سانتی‌متر است و در انتها به طولی حدود ۵۵ سانتی‌متر می‌رسد. علاوه بر ضخامت بدنه و طول پله‌ها، قطر شفت میانی نیز که سطح مقطعی شبیه به بیضی دارد، از پایین تا بالا کم می‌شود (تصویر ۶ و ۷).



تصویر ۶: پلان مناره در ترازهای مختلف

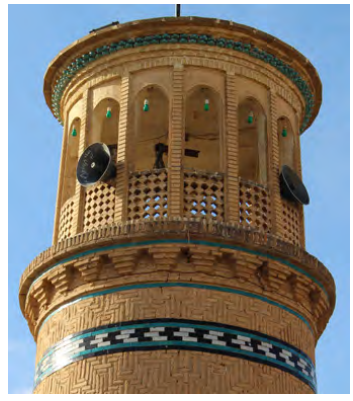
تصویر ۷: برش مناره

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

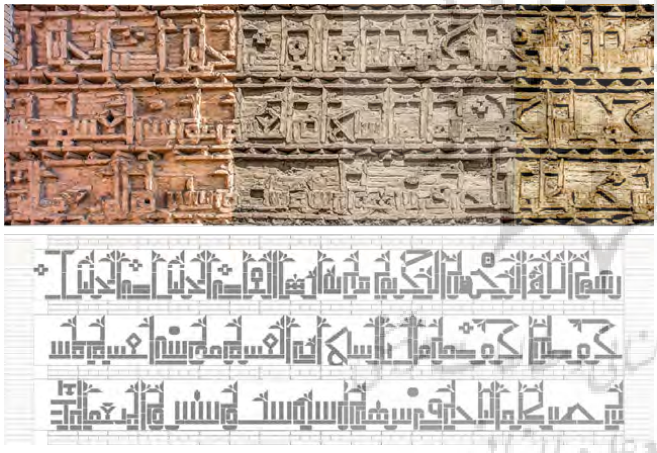
بالاترین جزء مناره سرپوش آن است که با ارتفاع ۲/۳۰ متر در تراز ۲۰/۸۰ متری به مناره اتصال یافته از ۱۴ ستونک باریک تشکیل شده است. تصاویر قدیمی‌تر نشان می‌دهد که این بخش از مناره در حادثه‌ای نامعلوم تخریب و دوباره بازسازی شده است. جنس این ستونک‌ها از فلز با روکشی از سیمان سفید و آجر است و در فاصلهٔ میان آن‌ها نیز طاق‌هایی از همین جنس و شبکه‌ای آجری به‌عنوان جان‌پناه وجود دارد (تصویر ۸). اما توصیف کلانتر ضرابی از مسجدجامع کاشان نشان می‌دهد که پیش از تخریب و ساخت مجدد آن با فلز، این جزء از مسجد چوبی بوده است.[۲]

برخلاف یکپارچگی و به‌هم‌پیوستگی اجزای مناره، نمای خارجی آن به‌صورت پوسته‌ای مجزا از بدنه اجرا شده است. به عبارتی، اتصال هشت‌وگیری که درون مناره و میان پله‌ها با بدنه و شفت دیده می‌شود، میان نما و بدنه وجود ندارد. تصاویر قدیمی این مناره به‌خوبی جدایی نما از سازه را تأیید می‌کند و نشان می‌دهد تزیینات مناره دست‌کم در نیمهٔ بالایی آن مرمت شده است (تصویر ۹). کتیبهٔ آجری روی بدنهٔ مناره نیز طی این تعمیرات و به‌سبب مرمت نادرست و پوشش بخشی از آن با جدارهٔ مسجد، به‌طور کامل قابل خواندن نیست. شیلا بلر متن آن را به این صورت خوانده است: «بسم الله الرحمن الرحیم امر ببنائها القاضی الجلیل الشهید ابو ح {مد؟} بن احمد من مال (؟) الشیخ ابی القاسم موسی بن محمد... فی شهور سنهٔ ست و ستین و اربعمائه»[۳] (بلر ۱۳۹۴، ۲۲۷). بر اساس خوانش نگارندگان، در وضعیت فعلی در پایان هر سطر واژهٔ قبلی تکرار شده است و تکمیل خوانش بلر از کتیبه میسر نیست. این متن به خط کوفی و با استفاده از همنشینی قطعات آجر نوشته شده و در بعضی قسمت‌ها، همچون انتهای حروف قائم آجر پیش‌بُر و تراشیده به کار رفته است تا ایجاد فرم تزیینی برگ‌مانندی بر بالای این حروف میسر شود (تصویر ۱۰).



تصویر ۸: سرپوش مناره در وضع موجود

تصویر ۹: منارهٔ آسیب‌دیدهٔ مسجدجامع کاشان در سال ۱۳۲۰ خورشیدی (ساروخانی ۱۳۹۶، ۷۵)



تصویر ۱۰: مستندنگاری کتیبهٔ آجری مناره

۳. شیوهٔ ساخت مناره

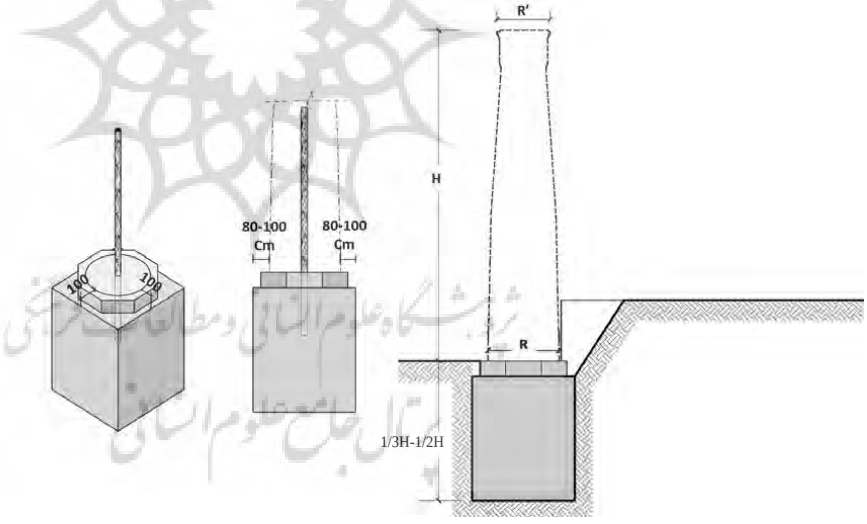
همچون بسیاری از بناها، شیوهٔ ساخت منارهٔ مسجدجامع کاشان مشخص نیست و تاکنون مورد بررسی قرار نگرفته و منبعی که به‌طور ویژه به فن ساخت آن اشاره کرده باشد نیز وجود ندارد. اما با بررسی‌های میدانی و کنترل یافته‌ها با نظریات استادکاران معماری سنتی، فرایند ساخت مناره و فنون به‌کاررفته در ساخت بخش‌های مختلف آن به دست آمده است و در ادامه به تفکیک شرح داده می‌شود. نخستین مرحله از فرایند ساخت مناره، انتخاب موقعیت استقرار آن است. این جانمایی باید به‌صورتی باشد که از طرفی مناره در ارتباط با سایر قسمت‌های مسجد، ساختاری همگن پدید آورد و از سوی دیگر، زمین از شرایط مناسب برای قرارگیری سازهٔ مناره برخوردار باشد. مراحل بعدی ساخت مناره شامل پی‌سازی، ساخت پایه، ساخت ساقه و در آخر ساخت سرپوش است که هریک به‌تفکیک شرح داده می‌شود.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

۱.۳. خاک‌برداری و پی‌سازی

پس از انتخاب محل مناسب، همچون اغلب بناها کندن محل استقرار مناره تا رسیدن به بستر سخت و ایجاد شالوده‌ای محکم، دومین مرحلهٔ ساخت مناره است. از آنجا که نسبت ارتفاع به سطح مقطع مناره و در نتیجه نسبت جرم به سطح مقطع آن زیاد است، سطح زیرین مناره فشار بسیاری متحمل می‌شود. در منارهٔ مسجدجامع کاشان ارتفاع مناره ۵ برابر قطر پایهٔ آن است و جرمی حدود ۴۰۰۰۰۰ کیلوگرم به سطحی حدود ۱۶ مترمربع وارد می‌شود.[۴] ازاین‌رو وجود شالوده‌ای مستحکم و مناسب ضروری بوده است. با توجه به اینکه بخشی از پایهٔ مناره در تراز معبر و در مغازهٔ مجاور مسجد قابل مشاهده است، پی و شالودهٔ مناره در تراز زیر سطح معبر اجرا شده است. بنابراین تعیین هندسه و ابعاد دقیق پی این مناره بدون پی‌گردی و گمانه‌زنی ممکن نیست. اما بر اساس تحقیقات میدانی می‌توان گفت پایهٔ این مناره مربع است و هیلن‌برند نیز بر اساس تجربیات گذشتگان، مربع بودن پایهٔ مناره‌ها را تأیید می‌کند (هیلن برند ۱۳۸۰، ۱۵۲). به نظر آرتور پوپ نیز قدیمی‌ترین مناره‌ها در پایین‌ترین بخش خود، دارای فرم مکعبی بوده‌اند (پوپ و اکرمن ۱۳۸۷، ج. ۳: ۱۲۳۲)؛ زیرا هندسهٔ چهارگوش برای انتقال بار به زمین از دایره و چندضلعی‌ها مناسب‌تر عمل می‌کرده است (گلابچی، جوانی، و جهانی‌نوق ۱۳۹۵، ۲۵۸).

اگرچه ابعاد دقیق این حجم مکعبی قابل دستیابی نیست، بر اساس نظر استادکاران می‌توان گفت که به‌احتمال قوی، ارتفاع آن حدود نصف یا یک‌سوم ارتفاع مناره و عرض آن نیز از هر طرف، حدود ۵۰ تا ۱۰۰ سانتی‌متر از قطر مناره بیشتر است. اتصال پی با سطح مقطع چهارگوش به مناره با سطح مقطع مدور، بدون واسطه صورت نمی‌گیرد. بلکه تغییر فرم و تبدیل چهارگوشه به هشت‌ضلعی این اتصال و انتقال نیرو را میسر می‌کند[۵] (تصویر ۱۱).



تصویر ۱۱: راست: پی مناره، وسط: قرارگیری چوب گرده در پی؛ چپ: تغییر فرم پی از چهارگوش به هشت‌گوش

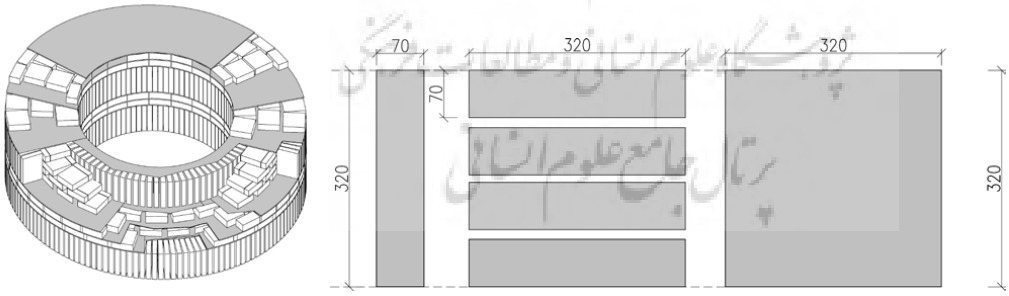
علاوه بر فرم و ابعاد پی، عامل دیگر مؤثر در مقاومت آن، مصالحی است که در ساخت پی به کار گرفته شده است. تشخیص نوع مصالح به‌کاررفته نیز بدون گمانه‌زنی میسر نیست. اما به‌طور معمول و بر اساس اطلاعاتی که از شالودهٔ سایر بناهای تاریخی در دست است،[۶] مصالح با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی و محیطی محل و همچنین میزان دسترسی به آن‌ها انتخاب می‌شده است. یکی از عواملی که در انتخاب مصالح به‌کاررفته و در ترکیب آن‌ها نقش داشته، مقابله با رطوبت خاک محل است. از آنجا که قناتی موسوم به قنات میرباقر از محلهٔ میدان کهنه عبور می‌کند (ضرابی ۱۳۷۸، ۹۷)، به نظر می‌رسد سازندگان منارهٔ مسجدجامع کاشان نیز با موضوع رطوبت خاک مواجه

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

بوده‌اند. هرچند به‌طور ویژه تدبیر آن‌ها برای مقابله با رطوبت در هنگام ساخت منارهٔ این مسجد مشخص نیست، به نظر نمی‌رسد مصالح انتخاب‌شده توسط آن‌ها جز مصالح به‌کاررفته در سایر بناها باشد. پرکاربردترین این مصالح مخلوطی از آهک، آب، خاک رس و خرده‌سنگ بوده است که با نام شفته‌آهک شناخته شده و علاوه بر مقاومت قابل قبول در برابر رطوبت، به‌دلیل وجود خرده‌سنگ‌ها نیروی وزن را هم به‌خوبی تحمل می‌کند. بر اساس نظر استادکاران سنتی، در کاشان به شفته‌آهک، ساروج نیز اضافه می‌شده که خود از ترکیب خاک رس سرندشده، آهک، موی بز و خاکستر (سوختهٔ چوب) حاصل می‌شده است. ملات دیگری که به گفتهٔ پیرنیا در پی‌سازی بناها به کار می‌رفته، ملات قیرچارو است که به‌دلیل مقاومت بسیار آن در برابر نفوذ آب، در سازه‌های آبی همچون پل‌ها و سدها استفاده می‌شده است (پیرنیا ۱۳۸۸، ۵۱۳). در این مناره هنگام اجرای پی و در مرکز آن، قطعه چوب بلندی به‌صورت گرده بینه قرار گرفته و پی، پایه و سپس مناره حول این محور ساخته شده‌اند. این عنصر چوبی که به‌عنوان شفت میانی، میان پی، مناره و اجزای آن همچون بدنه و پلکان پیوستگی ایجاد می‌کند، در تصویر ۱۱ نشان داده شده است.

۲.۳. پایه و سکو

پایه یا سکو به پایین‌ترین بخش مناره اطلاق می‌شود که هندسه‌ای مدور، چندضلعی یا چهارگوش دارد و ورودی مناره در سطحی بالای آن قرار دارد. پایه در انتقال نیرو به پی نقش اساسی ایفا می‌کند و ازاین‌رو کمترین سستی در آن، منجر به فروپاشی مناره می‌شود.[۷] پایهٔ منارهٔ مسجدجامع کاشان همچون سایر مناره‌های متصل به یک بنا، توسط کالبد مسجد و مغازه‌های مجاور آن در بر گرفته شده است و بخش قابل مشاهدهٔ آن به‌صورت بخشی از یک مخروط دیده می‌شود. دایرهٔ قاعدهٔ این مخروط، به مرکز چوبِ کار گذاشته شده در پی و شعاع در نظر گرفته شده برای مناره، با ریسمان و گچ، روی سطح پی پیاده شده است. در تعیین ارتفاع پایه، به این دلیل که منارهٔ این مسجد از داخل صحن و در جایی تقریباً هم‌تراز با آن قابل دسترسی باشد، حد فاصل معبر تا سطح صحن که ارتفاعی حدود ۴ متر دارد، به‌عنوان پایهٔ توپر در نظر گرفته شده است تا پایداری مناره نیز تضمین شود. این پایه از خشت به ابعاد ۷×۳۲×۳۲ سانتی‌متر ساخته شده که به‌صورت رج‌های عمودی به شکل هره چیده شده است. ابعاد خشت به‌گونه‌ای انتخاب شده است که با قرارگیری چهار خشت روی هم به‌صورت افقی و با احتساب ضخامت ملات میان آن‌ها، ارتفاعی معادل یک خشت هره حاصل می‌شود و نقش مورد نظر را تکمیل می‌کند (تصویر ۱۲).

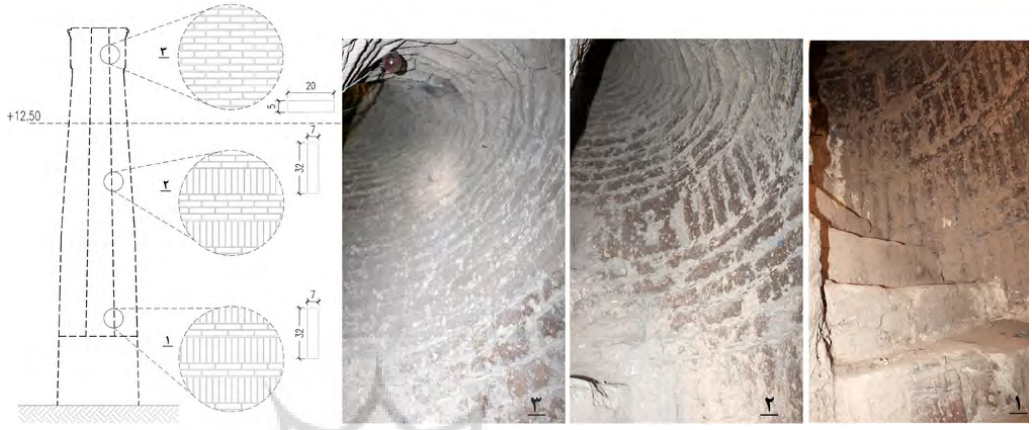


تصویر ۱۲: تناسبات خشت‌ها و کاربرد این تناسبات در رج‌چینی پلکان

برای تفاوت در چیدمان خشت‌ها در پایه با سایر بخش‌های مناره می‌توان سه علت برشمرد: نخست کاهش ضخامت جرز مناره و باریک‌تر شدن آن، دوم افزایش مقاومت مناره در برابر فشارهای جانبی وارد بر آن و سوم تسریع در ساخت پایهٔ مناره با چینش آجرها به‌صورت عمودی (تصویر ۱۳). به‌منظور ایجاد مخروط ناقص با چینش خشت‌ها و همچنین کنترل شعاع در همهٔ بخش‌های پایه، از نوعی شاقول استفاده می‌شده که نزد استادکاران کاشانی به «قپان» معروف است. قپان خود از حداقل دو چوب چهارتراش تشکیل شده که به‌صورت متقاطع روی هم بسته می‌شده‌اند و

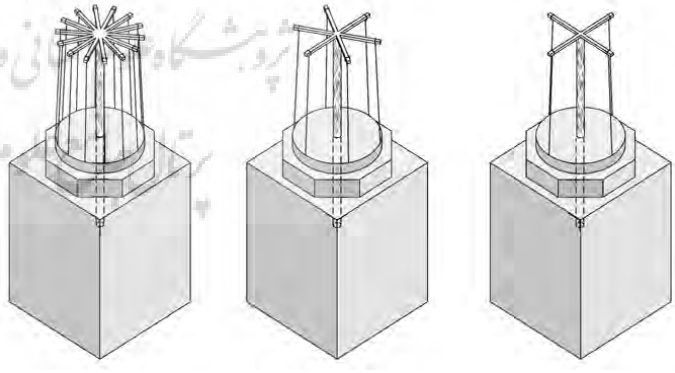
Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

محل تقاطع، روی چوب میانی پایه منطبق می‌شده است. طول چوب‌های قپان برابر با قطر پایین‌ترین بخش پایه بوده و وجود تعداد بیشتری از آن‌ها امکان کنترل بهتر و دقیق‌تر شعاع مناره را فراهم می‌کرده است (تصویر ۱۴).



تصویر ۱۳: چیدمان آجرها در بخش‌های مختلف پایه

در ابتدای کار و برای آجرچینی رج اول پایه، ابتدای چوب‌های قپان با نخ‌هایی از جنس موی بز، به رج اول متصل می‌شده و با افزایش ارتفاع، این نخ به‌اندازهٔ برابر، روی هر چوب به‌سمت مرکز تقاطع چوب‌ها جابه‌جا می‌شده است تا شیب بدنه به دست آید. شیب ایجادشده در قسمت پایه، تا بالاترین قسمت مناره رعایت می‌شده است. بنابراین با افزایش ارتفاع مناره، قپان در تراز بالاتر نصب می‌شده و در نهایت به‌عنوان پوشش سقف سرپوش (مأذنه) از آن استفاده می‌شده است. نمونه‌ای از قپان باقی‌مانده در سرپوش مناره را به‌خوبی در منارهٔ گلپایگان می‌توان دید (تصویر ۱۵). بر اساس ستونک‌های فعلی مناره، به نظر می‌رسد در منارهٔ مسجدجامع کاشان از ۷ چوب استفاده شده که در اتصال با هم ۱۴ قپان را تشکیل داده‌اند.



تصویر ۱۴: قپان و نحوهٔ کاربرد آن در تعیین شیب مناره

تصویر ۱۵: قپان به‌جامانده در منارهٔ گلپایگان

۳.۳. ساقه

برخلاف پایه که ساختار نسبتاً ساده‌ای دارد، ساقهٔ مناره خود شامل اجزایی چون بدنه، پلکان و شفت میانی است و در ساخت آن علاوه بر توجه به شیب بدنه، ارتباط و اتصال این اجزا با یکدیگر نیز اهمیت دارد. در منارهٔ مسجدجامع کاشان پلکان به شفت میانی از یک سو و به بدنه از سوی دیگر متصل است؛ بنابراین همهٔ این اجزا به‌طور هم‌زمان ساخته

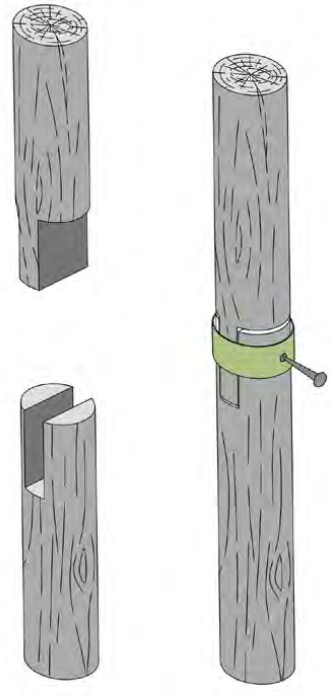
Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

شده‌اند. در ساختار مناره علاوه بر خشت که در کالبد آن نمایان است، از چوب نیز استفاده شده است. با وجود آنکه چوب به‌کاررفته در مناره قابل مشاهده نیست، از مقایسهٔ آن با سایر مناره‌ها و بر اساس تحقیقات محلی و منابعی که پیش از این فن ساخت مناره‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند، می‌توان از کاربرد چوب در ساخت مناره اطمینان حاصل کرد. بر این اساس از چوب به دو طریق در مناره استفاده شده است: نخست در ابزار کمکی همچون داربست، شمشه و قپان برای کنترل قطر و شیب بدنهٔ مناره که در بخش پایه به آن پرداخته شد و دوم در ساختار مناره به‌عنوان جزئی از سازه.

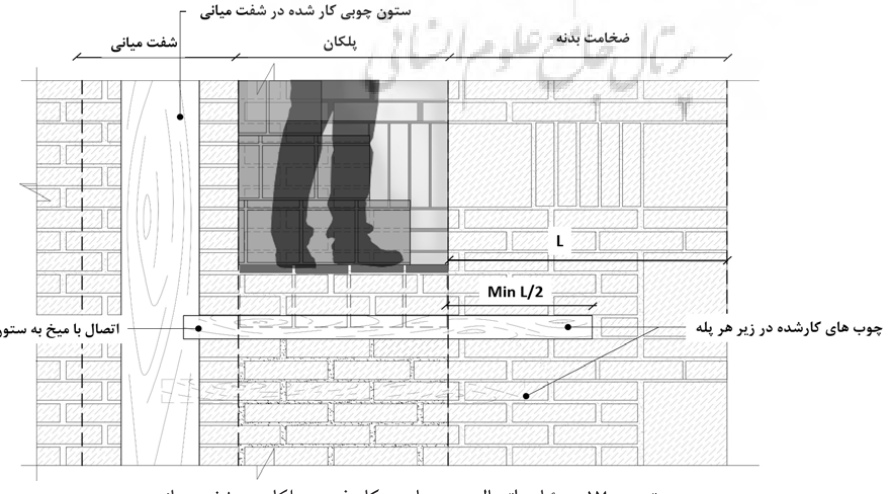
کاربرد چوب در ساختار مناره خود به دو صورت است که در هر دو صورت چوب به‌عنوان کلاف و عامل یکپارچگی اجزای مناره عمل می‌کند؛ صورت اول، استفاده از چوب در شفت میانی است. چوب میانی ساقهٔ مناره، در امتداد چوب به کاررفته در پایه قرار گرفته و به‌صورت کام و زبانه و به‌واسطهٔ تسمهٔ فلزی و میخ به آن متصل شده است (تصویر ۱۶). به‌طور معمول، این اتصال در طول ساقهٔ مناره نیز تکرار می‌شود؛ زیرا دسترسی به چوبی به ارتفاع مناره با قطر یکسان در ابتدا و انتها، دشوار بوده است. قرار دادن این چوب در مرکز مناره، علاوه بر یکپارچه کردن ساختار ساقه با پایه، امکان اتصال کلاف چوبی پله‌ها به مرکزی‌ترین بخش سازه را نیز فراهم و همگن بودن سازه را تضمین می‌کند.

صورت دوم از کاربرد چوب، استفاده از آن در ساختار پلکان است. هرچند در ظاهر پلکان منارهٔ مسجدجامع اثری از چوب مشخص نیست، بر اساس مطالعات پیشین دربارهٔ ساختار مناره‌ها و نظر استادکاران سنتی، می‌توان گفت که در این مناره نیز چوب به کار رفته است. بر این اساس، چوب یا در ساختار پله به کار می‌رود و با اتصال به میل میانی و بدنه، مقاومت مناره را در برابر نیروهای جانبی افزایش می‌دهد و یا با نصب در لبهٔ پلکان، از آسیب دیدن لبه‌ها بر اثر آمدوشد پیشگیری می‌کند. در منارهٔ مسجدجامع کاشان، در لبهٔ پله‌ها از چوب استفاده نشده است.

در این مناره یک پلکان حول محور میانی به چشم می‌خورد؛ اما برداشت‌ها و بررسی‌های میدانی و گفت‌وگو با استادکار نشان می‌دهد که به‌احتمال بسیار، مناره از تلفیق دو پلکان ساخته شده است. پلکان اول، همان پله‌هایی است که با بالا رفتن از آن‌ها می‌توان ارتفاع مناره را پیمود و به مأذنه رسید. ازاین‌رو مقاومت آن در برابر بار زنده با به‌کارگیری کلاف چوبی در هر پله تضمین شده است. این کلاف‌ها، چوب‌هایی چهارتراش با سطح مقطع ۱۰×۱۵ سانتی‌متر و طولی معادل طول پله هستند؛ به‌طوری که چوب از یک طرف در میانهٔ ضخامت بدنه قرار می‌گیرد و از طرف دیگر توسط میخ به چوب میانی متصل می‌شود (تصویر ۱۷). هر پله از سه ردیف خشت تشکیل شده که با خیز کم و مشابه طاق ضربی کنار هم قرار گرفته‌اند و این چوب در بین ردیف خشت‌ها و نزدیک به پایین‌ترین ردیف تعبیه شده است تا علاوه بر افزایش مقاومت کششی پله، احتمال دسترسی موریانه به آن نیز کاهش یابد. شیوهٔ قرارگیری خشت‌ها در کنار هم در پلکان در تصویر ۱۸ نشان داده شده است.

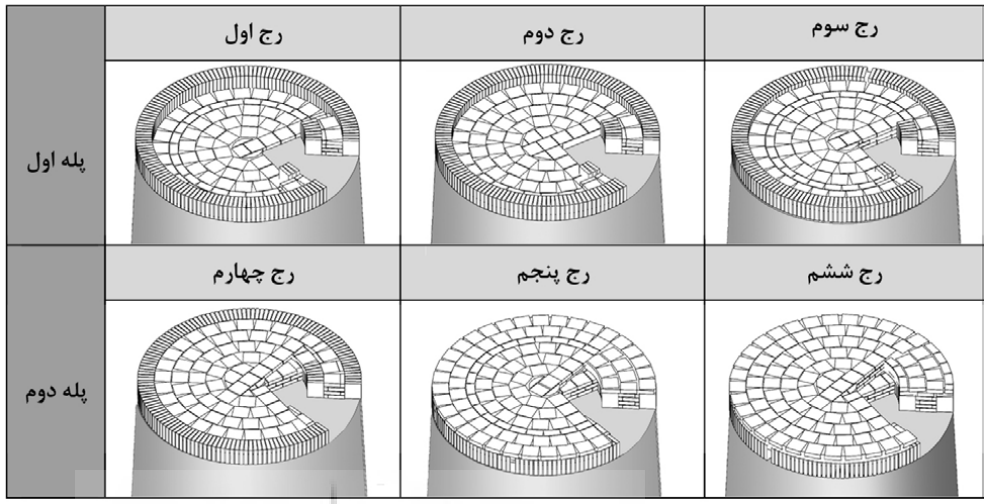


تصویر ۱۶: اتصال چوب‌های شفت میانی



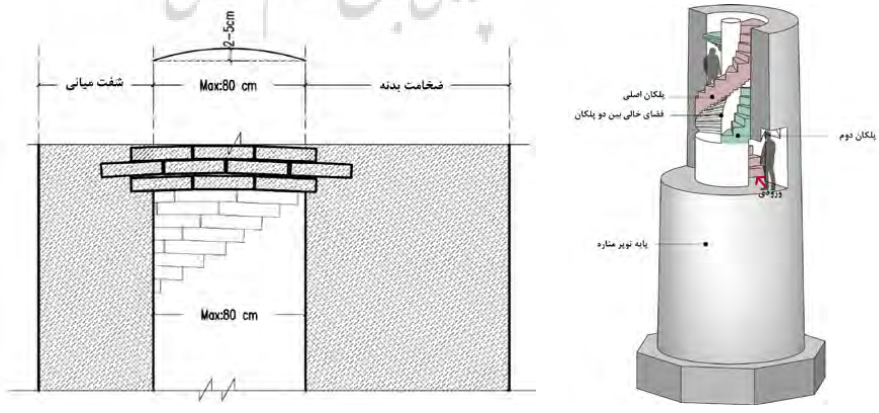
تصویر ۱۷: جزئیات اتصال چوب‌های به‌کاررفته در پلکان به شفت میانی

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019



تصویر ۱۸: چیدمان خشت‌ها در پلکان مناره

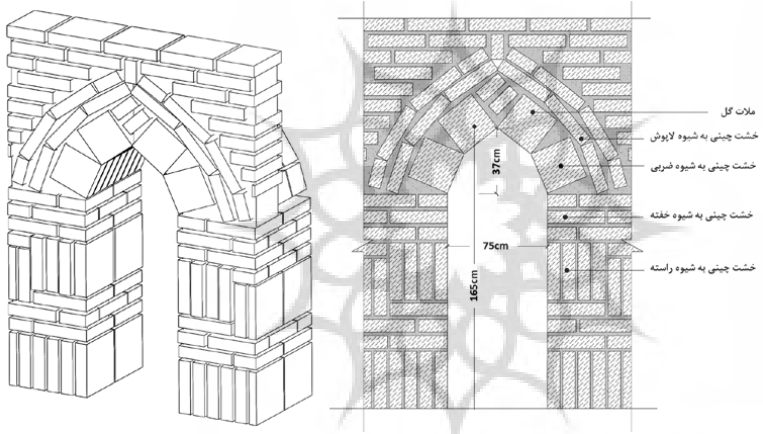
بررسی تراز ارتفاعی که با طی کردن پلکان اول و در جایی درست بالای ورودی هم سطح صحن به دست می‌آید، نشان می‌دهد که فضای مابین سقف پله‌های اول و کف پله‌ها با طی کردن زاویهٔ ۳۶۰ درجه، ارتفاعی حدود ۲۸۰ سانتی‌متر دارد. ساختار درونی این فضای میانی بدون حفر گمانه (سونداژ) قابل تشخیص نیست. اما بدان سبب که ضروری است پوستهٔ مناره، در نقاط مختلف کلاف‌بندی شود و از سویی پر بودن این حجم نیز منجر به سنگینی بیش از حد مناره و اتلاف مصالح می‌شود، به نظر می‌رسد این حجم توپر نیست و شامل دو پوستهٔ شیب‌دار یا پلکانی است که یکی پلهٔ بالارونده مناره است و دیگری سقف تراز پایین‌تر را تشکیل می‌دهد. اما هر دو در نقش کلاف، پوسته را به شفت میانی پیوند می‌دهند. آنچه از کم‌وکیف این فضا قابل مشاهده است، تنها بخش زیرین آن است که سقف پله‌های پایین را تشکیل می‌دهد و به نظر می‌رسد خود ساختاری شبیه پله داشته باشد که از تراز ۱/۶۰ سانتی‌متر آغاز شده و به موازات پلکان اصلی، حول شفت میانی چرخیده است (تصویر ۱۹). در این نوشتار، این پلکان که در ظاهر مناره، قابل تشخیص نیست، به‌عنوان پلکان دوم معرفی شده است. با فرض ساختار پلکانی این فضا، می‌توان شیوهٔ ساخت آن را نیز مشابه پلکان اصلی تصور کرد. با این تفاوت که به‌دلیل در دسترس نبودن پلکان دوم و در نتیجه وارد نشدن بار زنده به آن، به کار بردن چوب در تمامی پله‌ها و توجه به کیفیت مصالح چندان مورد توجه نبوده است. به این ترتیب می‌توان گفت که ساختار پلکان مناره با به‌کارگیری یک فن واحد شکل گرفته است.



تصویر ۱۹: پلکان اصلی و پلکان دوم مناره

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

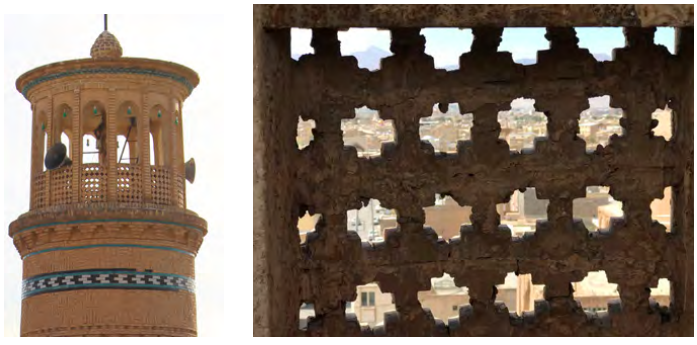
همان‌طور که پیش از این گفته شد، هم‌زمان با ساخت پله‌ها، بدنهٔ مناره نیز ساخته شده و تقدم و تأخری میان ساخت اجزای ساقهٔ مناره وجود نداشته است. اما تصاویر موجود از زمان آسیب‌دیدگی مناره نشان می‌دهد که تزیینات آجری، به‌صورت پوسته‌ای مجزا از ساختار بدنه بر روی آن اجرا شده است. بنابراین ساقهٔ مناره به طول ۱۶۶۰ سانتی‌متر، ابتدا به‌صورت یکدست، بدون تزیینات و با در نظر گرفتن گشودگی ورودی‌ها و روزن‌های تأمین‌کنندهٔ نور ساخته شده است. در حال حاضر، ورودی اصلی با ابعاد ۷۵×۱۷۰ سانتی‌متر، بزرگ‌ترین گشودگی روی مناره است. این گشودگی با تویزه‌ای به دهانهٔ ۷۰ سانتی‌متر متشکل از خشت‌هایی به ابعاد ۷×۳۲×۳۲ سانتی‌متر و به‌صورت ضربی پوشانده شده (تصویر ۲۰) ولی در سایر روزن‌های مناره، از چوب به‌عنوان نعل درگاه استفاده شده که درست در محور میانی ضخامت بدنه و روی روزن تعبیه شده‌اند. همچنین در قسمت‌هایی روی پوستهٔ بیرونی حفره‌هایی وجود دارد که به‌منظور نصب داربست هنگام اجرای تزیینات یا تعمیرات آن ایجاد شده است. این حفره‌ها که «مشتو» نام دارند[۸] در حال حاضر روی پوستهٔ خارجی مناره قابل رؤیت هستند، اما با توجه به نیاز احتمالی به داربست در هنگام ساخت بدنه و توجه به مرمت‌پذیری آن در آینده، عمق این حفره‌ها به ضخامت بدنه منتهی شده است.



تصویر ۲۰: جزئیات طاق ورودی مناره

٤.۳. سرپوش

پیش از تعمیرات اخیر مناره و تغییرات مأذنهٔ آن، ساختار این بخش از مناره متشکل از قپانی با ۱۴ چوب در سقف و پایه‌های آجری بوده است. اما در حال حاضر از پروفیل‌های فولادی در ستونک‌ها و سازهٔ سقف استفاده شده است. میان این چهارده ستون که منطبق بر محل چوب‌های قپان در نظر گرفته شده‌اند، با آجر و به‌صورت ضربی پر شده و شبکه‌ای آجری به ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر نیز به‌عنوان جان‌پناه تعبیه شده است (تصویر ۲۱).



تصویر ۲۱: جزئیات جان‌پناه سرپوش مناره

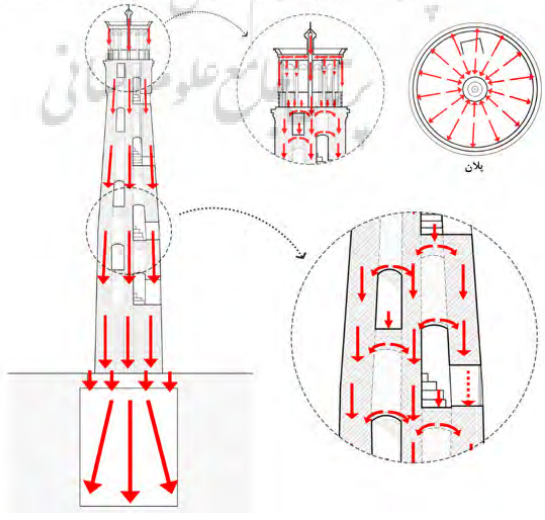
Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

٤. بررسی نیروهای وارد بر مناره

آنچه دربارهٔ فرم‌های ساختهٔ بشر یا فرم‌های مصنوع می‌توان گفت، آن است که این فرم‌ها نیاز دارند بر اساس قوانین سازه و پایداری جرم که خود زیرمجموعهٔ قوانین فیزیک هستند شکل بگیرند. بنابراین طبیعی است که همهٔ فرم‌های پایدار مطابق این قوانین باشند. این موضوع دربارهٔ فرم‌ها ایجادشده توسط گذشتگان نیز صادق است. نگاهی به فنون ساخت در فرم‌های سنتی ایران نشان می‌دهد در ایجاد آن‌ها، اغلب از مصالحی با مقاومت فشاری همچون خشت، آجر و سنگ استفاده شده و به‌دلیل در دسترس نبودن مصالح دارای خاصیت کششی مانند چوب، این دست مصالح به‌ندرت در بناها به کار رفته است (عالمی، پوردیهیمی، و مشایخ فریدنی ۱۳۹۵، ۱۳۱). استفاده از مصالح فشاری، به ایجاد بناهایی با جرزهای قطور و جرم بسیار زیاد انجامیده و منارهٔ مسجدجامع کاشان نیز نمونه‌ای از این بناهاست. این مناره در بخش‌های پایینی دارای وزن و تراکم بسیار است و با افزایش ارتفاع، با کاهش قطر، کاهش ضخامت بدنه و افزایش خلل و فرج، سبک‌تر می‌شود. بنابراین بزرگی نیروها از بالا به پایین مناره افزایش می‌یابد.

در بررسی این نیروها باید به دو دسته نیرو توجه شود: دستهٔ اول نیروهای ناشی از بار مرده (وزن بنا) و بار زنده (وزن کاربران) و دستهٔ دوم بارهای جانبی. بار مرده همان جرم ساختمان است و به جرم مخصوص مصالح بستگی دارد. در ساختمانی با مصالح بنایی همچون مناره، این جرم مقدار قابل توجهی است و با نزدیک شدن به بخش‌های پایینی مناره، این مقدار افزایش می‌یابد. همان طور که در تصویر ۲۲ مشخص است، برآیند نیروی وزن بر مرکز ثقل فرم اثر می‌گذارد. از آنجا که نیروی ثقل از بالا به پایین در حال افزایش است، انتظار می‌رود میزان مصرف مصالح (ضخامت جرز) در بخش‌های پایین‌تر بیشتر باشد تا ظرفیت مقابله با نیروی ثقل ایجاد شود. در پی ساختمان که واسطهٔ انتقال بارها به زمین است، برای افزایش تحمل در برابر نیروها و همچنین جلوگیری از ایجاد برش و پانچ شدن خاک، مصالح تغییر می‌کند تا مقاومت آن افزایش یابد و از طرف دیگر، به سطح تماس با خاک نیز بیشتر می‌شود و این افزایش سطح، افزایش نیروی اصطکاک مابین خاک و پی را به همراه دارد و بدین طریق ظرفیت باربری فرم افزایش می یابد.

دستهٔ دوم، نیروهای جانبی است که نیروی باد و زلزله را در بر می‌گیرد. با توجه به شکل مناسب مناره و وزن زیاد آن، نیروی باد اثر چندانی بر پایداری فرم ندارد و بنابراین نیروی جانبی مؤثر بر فرم، زلزله است. به‌ویژه آنکه با توجه به وزن بسیار زیاد سازه، تأثیر زلزله تشدید می‌شود. انتخاب زمین مناسب، پی‌سازی مطلوب، ایجاد فرم مناسب برای مناره، وجود شفت مرکزی، استفاده از چوب در بخش‌هایی از مناره، به‌کارگیری سطوح پلکانی درون بدنه، و هم‌بندی پوسته با سایر اجزا که با خردمندی معمار مناره صورت گرفته، عواملی هستند که سبب مقاومت بی‌نظیر این فرم در مقابل زلزله‌های مهیب اعصار گذشته شده است.



تصویر ۲۲: انتقال نیروها در مناره

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

۵. تحلیل سازه‌ای و لرزه‌ای مناره

در این بخش، رفتار سازه‌ای مناره به‌صورت جداگانه از بنای مسجد و همجواری‌های آن در نظر گرفته شده و تحلیل سازه‌ای به روش Method Element Finite مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور از نرم‌افزار SAP 2000 برای مدل‌سازی و آنالیز استفاده شده است. برای مدل‌سازی پوستهٔ مناره از المان[۹] SHELL و برای پلکان از المان FRAME به همراه بار ثقلی هر پله در نظر گرفته شده است.[۱۰] مصالح در نظر گرفته شده برای پوسته، مصالح بنایی خشک و برای پلکان و شفت میانی، چوب است و جدول ۱ و ۲ خواص مکانیکی هریک را نشان می‌دهد.[۱۱]

جدول ۱: خصوصیات مکانیکی خشت (حجازی و دیگران ۱۳۹۴، ۷۶)

وزن مخصوص (kg/m3)	۱۶۰۰
مدول الاستیسیته (MPa)	۱۰۵
ضریب پواسون	۰/۱۷
مقاومت فشاری (MPa)	۰/۳۶
مقاومت کششی (MPa)	۰/۰۳۶

جدول ۲: خصوصیات مکانیکی چوب (دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، مصالح و فرآورده‌های ساختمانی ۱۳۹۶؛ دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، راهنمای قالب‌بندی ساختمان‌های بتن آرمه ۱۳۸۷)

وزن مخصوص (kg/m3)	۶۰۰
مدول الاستیسیته (MPa)	۸۰۰
ضریب پواسون	۰/۴۷
تنش فشاری (MPa)	۳
تنش کششی (MPa)	۶

به‌طور کلی، نیروها و بارهای وارد بر اجزا و بدنهٔ بنا شامل بار ثقلی (بارهای مردهٔ ناشی از وزن بنا)، بارهای زنده (بارهای متحرک) و بارهای جانبی (بار زلزله، باد، انفجار و...) هستند. بام مناره مساحت کمی دارد و اثر بارهای زندهٔ ناشی از برف با توجه به اقلیم منطقهٔ کاشان بسیار ناچیز است. همچنین بنا کاربر چندانی نیز ندارد؛ به‌طوری که در گذشته تنها مؤذن حق ورود به مناره را داشته و امروز نیز با پیشرفت تکنولوژی، اقامهٔ اذان در مأذنه منسوخ شده است. از آنجا که بار زنده در مناره، از حداقل مقدار بار در نظر گرفته شده در مبحث ششم مقرارت ملی کمتر است، از در نظر گرفتن بار زنده در تحلیل چشم‌پوشی شده است.

بنابراین بارهای وارد بر مناره شامل بار مرده (وزن سازه) و بار زلزله به‌عنوان بار جانبی است. سازه تحت اثر این بارها و ترکیب بار $1.2D+0.7Q$[۱۲]، تحلیل شده که در آن D معادل بار مرده و Q برابر بار زلزله است. بار زلزله بر اساس مبحث ششم مقررات ملی در ضریب ۰/۷ ضرب شده است (دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان، بارهای وارده بر ساختمان ۱۳۹۲). به‌منظور بررسی تأثیر پلکان و شفت میانی در مقاومت و رفتار سازه‌ای مناره، این نیروها به‌صورت مجزا در دو حالت پوستهٔ مناره و پوسته به همراه پلکان به ساختار وارد و آنالیز شده است. آنالیزهای مختلفی از جمله آنالیز تحت بار مرده، آنالیز تحت بار لرزه‌ای و آنالیز تحت بار ترکیبی روی بنا انجام شده است که در ادامه به‌تفکیک به آن‌ها پرداخته می‌شود.

۱.۵. آنالیز تحت بار مرده (بار وزن)

بارگذاری تحت بار مرده، توسط نرم‌افزار و با توجه به وزن مناره و وزن مخصوص مصالح صورت گرفته و میزان بار مردهٔ فرم در چهار حالت مختلف بررسی شده است.

نتایج حاصل از تغییر جابه‌جایی و تنش به‌صورت زیر است:

جدول ۳: وزن مناره (kg)

مناره بدون بخش پایهٔ توپر		منارهٔ کامل	
پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان
۲۸۲۷۹۷/۸۲	۳۰۷۰۶۴/۱	۳۱۶۱۲۴/۹۹	۳۴۰۳۹۱/۲۷
وزن قسمت پایه (kg)		۳۳۳۲۷/۱۷	

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

جدول ۴: بیشترین تأثیرات در سازه بر اثر بار مرده

بیشترین تنش در سازه بر اثر بار مرده (برحسب N/mm۲)				بیشترین جابه‌جایی در سازه بر اثر بار مرده (برحسب Cm)			
مناره بدون بخش پایهٔ توپر		منارهٔ کامل		مناره بدون بخش پایهٔ توپر		منارهٔ کامل	
پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان
۰/۴۱۲	۱/۱۴۷	۳/۷۲۶	۳/۹۰۵	۰/۰۶۴	−۱/۵۷	۰/۰۶۴	۰/۰۶۹

با مقایسهٔ تنش‌های حاصل از آنالیز با تنش فشاری مصالح، پوسته در حالت بدون پلکان بر اثر نیروی وزن خود فرومی‌ریزد؛ درحالی‌که با وجود پلکانی با ساختار چوبی، سازهٔ مناره پایدار است.

۲.۵. آنالیز تحت ترکیب بار

برای این بررسی، بارگذاری ناشی از ترکیب بار ثقلی به همراه ۷۰درصد بار زلزله در جهت محور X[۱۳] بر سازه صورت گرفته است. جدول ۵ نتایج حاصل از تغییر جابه‌جایی و تنش را نشان می‌دهد.

جدول ۵: بیشترین تأثیرات در سازه بر اثر بار ترکیبی

بیشترین تنش در سازه بر اثر بار ثقل (برحسب N/mm2)				بیشترین جابه‌جایی (در رأس مناره) در سازه بر اثر بار ثقل (برحسب Cm)			
مناره بدون بخش پایهٔ توپر		منارهٔ کامل		مناره بدون بخش پایهٔ توپر		منارهٔ کامل	
پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان
۱/۱۹۴	۳/۹۸۶	۱۳/۰۰۴	۱۵/۰۳۳	۱۸/۸۸	۱۲/۷۶	۱۸/۰۸	۲۱/۹۰

با مقایسهٔ تنش‌های حاصل از آنالیز با تنش فشاری مصالح، پوسته در هر حالت فرومی‌ریزد و در برابر نیروهای جانبی نسبتاً بزرگ بسیار ضعیف عمل می‌کند.

۳.۵. آنالیز تحت بار زلزله

بارهای لرزه‌ای مطابق آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله و مبحث ششم مقررات ملی ساختمان محاسبه شده است. برای دستیابی به تأثیر پلکان و شفت میانی، آنالیز در دو حالت (حالت اول پوستهٔ مناره و حالت دوم پوسته به همراه پلکان) در نظر گرفته شده و از آنجا که شروع پلکان و شفت بعد از پایهٔ توپر است و بیشترین تأثیر را در آن بخش از بنا خواهد گذاشت، در یک حالت دیگر نیز از بخش پایهٔ توپر صرف‌نظر شده و تراز پایه[۱۴] در بالای پایهٔ توپر در نظر گرفته شده است. در این آنالیز، نوع خاکی که بنا بر آن احداث شده نوع (IV) است و منطقهٔ مورد نظر از حیث لرزه‌خیزی نیز واقع بر پهنه‌ای با خطر نسبی زیاد است. حداکثر شتاب زمین[۱۵] نیز برابر ۰/۳۰ در نظر گرفته است. جدول ۶ مشخصات بارگذاری لرزه‌ای را نشان می‌دهد. در این جدول، T زمان تناوب اصلی نوسان برحسب ثانیه است. با توجه به پیشنهاد آیین‌نامه مبنی بر محاسبهٔ زمان تناوب اصلی این‌گونه بناها بر اساس تحلیل دینامیکی، زمان به‌دست‌آمده از این تحلیل در جدول ۷ ارائه شده است.

جدول ۶: پارامترهای محاسبهٔ بار زلزله

(A)	(I)	(R)	پارامتر مربوط به محاسبهٔ ضریب بازتاب			
			خطر زمین نوع (IV)[۱۸]			
شتاب مبنای طرح برحسب g[۱۶]	ضریب اهمیت ساختمان	ضریب رفتار ساختمان[۱۷]	T_S	T_O	S	S_O
۰/۳	۱	۲/۵	۰/۱۵	۱	۱/۷۵	۱/۱

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

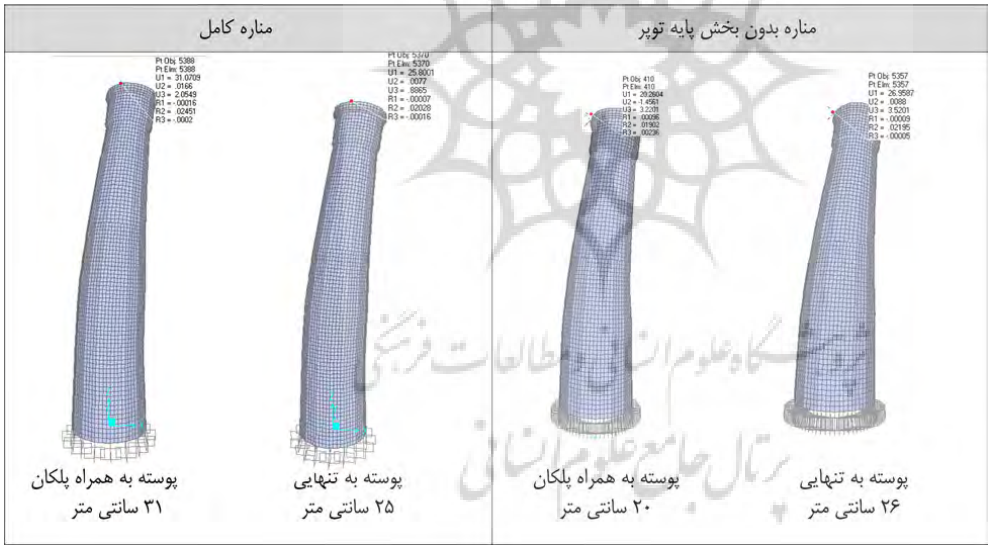
جدول ۷: زمان تناوب اصلی برحسب ثانیه

منارهٔ کامل		مناره بدون بخش پایهٔ توپر	
پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی
۱/۲۲	۱/۲۰	۰/۹۶	۱/۱۹

مطابق آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰، ابتدا ضریب بازتاب[۱۹] (B) برای چهار حالت محاسبه شده و در نهایت، ضریب زلزله در حالت پوسته به‌تنهایی و پوسته به همراه پلکان (منارهٔ کامل و بدون پایهٔ توپر) به‌ترتیب ۰/۲۸ و ۰/۳۳ محاسبه شده است.

فرمول زلزله $V = C.W$ فرمول ضریب زلزله $C = \frac{ABI}{R}$

طبق آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰، ساختمان باید در دو امتداد عمود بر هم در برابر نیروی زلزله ارزیابی شود که می‌توان در هریک از امتدادها به‌صورت مجزا و بدون در نظر گرفتن نیرو در جهت دیگر بر ساختمان اعمال کرد. برای این منظور، نیروی زلزله باید با زاویهٔ مناسبی که دست‌کم بیشترین اثر را ایجاد کند انتخاب شود و یا می‌توان نیروی زلزله را با ۳۰ درصد آن نیرو در امتداد عمود بر آن ترکیب کرد (آیین‌نامهٔ ۲۸۰۰، ۱۳۹۴). با توجه به هندسهٔ دوار و قرینگی کامل هندسهٔ مناره، می‌توان فرض کرد که نیروی زلزله تنها در یک جهت به فرم وارد می‌شود. بنابراین نیروی زلزله در راستای X و در مرکز ثقل جسم وارد شده است. نتایج حاصل از آنالیز لرزه‌ای در جدول ۸ و تصویر ۲۳ تا ۲۶ آمده است.

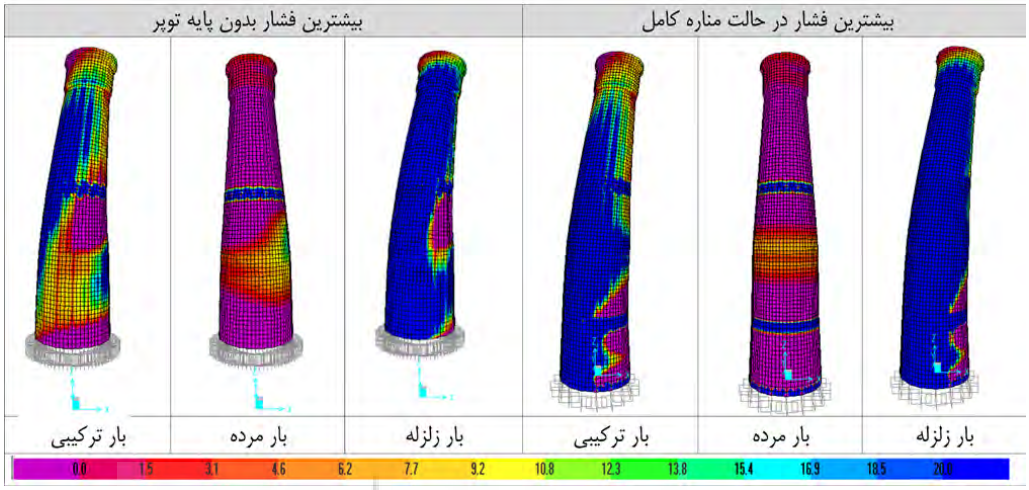


تصویر ۲۳: بیشترین مقدار جابه‌جایی (در رأس مناره) بر اثر نیروی زلزله

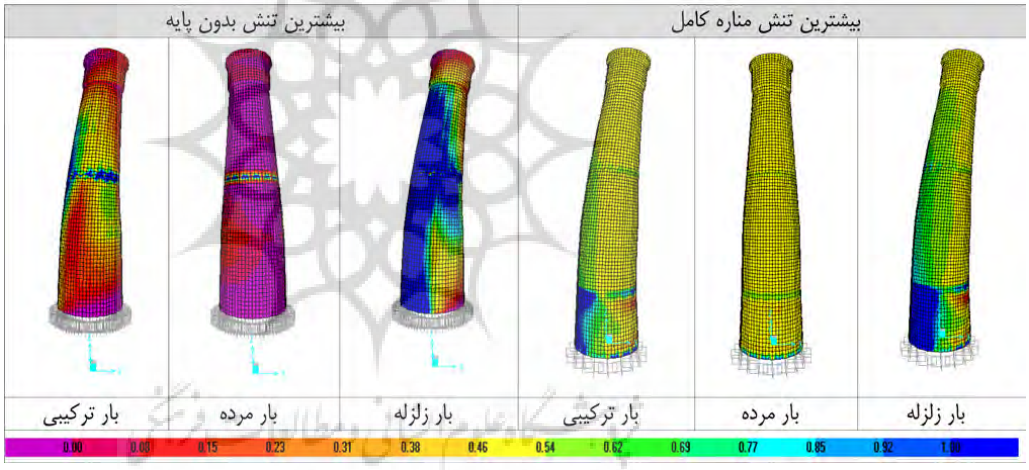
جدول ۸: بیشترین جابه‌جایی سازه بر اثر نیروی زلزله

بیشترین جابه‌جایی (در رأس مناره) در سازه بر اثر نیروی زلزله (برحسب Cm)				بیشترین تنش در سازه بر اثر نیروی زلزله (برحسب N/mm2)			
منارهٔ کامل		منارهٔ بدون بخش پایهٔ توپر		منارهٔ کامل		منارهٔ بدون بخش پایهٔ توپر	
پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان	پوسته به‌تنهایی
۳۱/۲۹	۲۵/۸۲	۲۰/۴۸	۲۶/۹۶	۱۵/۹۰۲	۱۳/۲۵۴	۲/۸۳۳	۱/۱۲۴

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019



تصویر ۲۴: تأثیر فشار بر اثر نیروی زلزله



تصویر ۲۵: تأثیر تنش بر اثر نیروی زلزله

تصویر ۲۶: نمودار برش، لنگر و جابه‌جایی در طول مناره

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

برای سنجش سختی مناره در حالت پوسته به‌تنهایی و پوسته با پلکان، سازهٔ مناره تحت یک بار مشخصp برابر با ۱۰۰۰ کیلوگرم قرار داده شد. این بار در یک نقطه در بالاترین ارتفاع سازه اعمال می‌شود. مقدار جابه‌جایی بر اثر نیرویp در جدول زیر آورده شده است.

بیشترین جابه‌جایی در سازه بر اثر نیروی p (برحسب Cm)	
پوسته به‌تنهایی	پوسته به همراه پلکان
۰/۸۸	۰/۶۷

بر اساس این تحلیل، میزان جابه‌جایی در پوسته با پلکان بسیار کمتر از پوسته به‌تنهایی است و این نشان می‌دهد که پلکان و شفت میانی، به سازهٔ مناره سختی بیشتری بخشیده است. همچنین این آنالیز مشخص می‌کند هنگامی که پایهٔ توپر بنا در تحلیل لرزه‌ای در نظر گرفته نشده، پلکان علاوه بر یکپارچگی اجزای مناره، سبب افزایش سختی جانبی بنا در برابر نیرو های زلزله نیز شده است. اما در حالت کلی، میزان وزن بنا بسیار زیاد است و نیروی درونی در پلکان در مقابل وزن ناچیز بوده و در تغییر شکل جانبی تأثیری نمی‌گذارد. به این ترتیب می‌توان نتیجه گرفت که پلکان و عناصر آن باعث یکپارچگی سازه می‌شود و بنا را از گسستگی در برابر نیروی ناشی از بار وزن مصون می‌دارد.

از طرفی در مناره‌ها به‌دلیل طرح مدور، تقارن، ساختار مجوف، فرم باریک‌شونده و کاهش جرم واحد طول در راستای قائم، ایستایی قابل قبولی دارند و مرکز اثر زلزله در آن‌ها به تراز پایه نزدیک‌تر است و این امر از احتمال فروپاشی مناره می‌کاهد. در این بررسی‌ها، نیروی زلزله بسیار بزرگ‌تر از آنچه تاکنون رخ داده در نظر گرفته شده است و پایداری بنا نشان می‌دهد که زمین‌لرزه‌های پیشین، نیرویی کمتر از مقدار محاسباتی به مناره وارد کرده‌اند. بنابراین برای مقاومت مناره در برابر نیروهایی نزدیک به مقادیر لحاظ‌شده در این پژوهش، تحکیم برخی از اجزای آن ضروری است.

نتیجه

در این مقاله تلاش شد منارهٔ مسجدجامع کاشان که پس از طی قرون و اعصار، بدون آسیب جدی پابرجا مانده است، بررسی شود. بخش نخست مقاله، به معرفی مسجد و منارهٔ آن اختصاص یافت. در این بخش بر اساس اسناد موجود، اجزای مناره از جمله پایه، بدنه و سرپوش و همچنین تزیینات روی مناره و به‌ویژه کتیبهٔ آجری تاریخ‌دار آن معرفی و با بررسی‌های میدانی و برداشت‌های دقیق، نقشه‌های مناره و جزئیات و تزیینات آن برداشت و ترسیم شد. سپس فن و شیوهٔ ساخت اجزای مختلف مناره مورد بررسی قرار گرفت. روش کار در این بخش متکی بر حضور در بنا و مطالعات میدانی، برداشت‌های دقیق، منابع شفاهی و بررسی منابع متعدد در زمینهٔ تاریخچهٔ بنا بود. بر اساس یافته‌های این بخش، هریک از چهار بخش اصلی مناره، ساختاری متفاوت با جزء دیگر دارد و فنون مختلفی در ساخت آن‌ها به کار گرفته شده است. مشخص شد که پی و پایه به‌عنوان پایین‌ترین بخش‌های مناره با بیشترین قطر به‌صورت توپر و با تراکم مصالح اجرا شده‌اند و در ساختار پایه که خود واسط میان ساقهٔ مناره و پی است، علاوه بر مصالح بنایی با مقاومت فشاری بالا، از چوب به‌عنوان عنصری مقاوم در برابر کشش در مرکز پایه استفاده شده است. در فاصلهٔ پایه تا سرپوش، همین ترکیب مصالح کششی و فشاری در پلکان و شفت میانی مناره نیز دیده می‌شود. بر اساس این پژوهش، معمار مناره برای سبک‌تر شدن سازه و یکپارچگی آن، در همین بخش از مناره فنونی را به کار برده است. اجرای دو پلکان در مناره، استفاده از چوب در پلکان و اتصال دو سویهٔ چوب‌ها با شفت میانی و بدنه، کاهش عرض پله‌ها، کاهش ضخامت شفت میانی و پوستهٔ بیرونی مناره و و به‌طور کلی کاهش قطر مناره نمونه‌ای از این فنون است.

یافته‌های این بخش از مقاله و دانستن چگونگی اجرای بخش‌های مختلف مناره و درک بهتر از بخش‌های ناپیدای آن، علاوه بر آنکه بخشی از مستندنگاری مناره است، در تحلیل اثر بارهای مختلف بر پیکر مناره و نیز در تحلیل

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

سازه با کمک نرم‌افزار نیز به کار گرفته شد. با شناخت مناره و ساختار آن، مشخص شد که چه نیروهایی بر پیکر آن تأثیرگذارند و باید مورد بررسی قرار گیرند. بنابراین با چشم‌پوشی از بارها و نیروها با اثر ناچیز همچون بار زنده، بار برف و نیروی باد، دو بار مؤثر وزن و زلزله مورد بررسی قرار گرفت. در تحلیل وضعیت مناره در برابر بار وزن، مشخص شد که وجود پلکان با ساختار چوبی، مناره را از فروپاشی بر اثر بار ثقلی مصون می‌دارد.

در تحلیل اثر بار جانبی، به‌دلیل در دست نبودن اطلاعی از زمین‌لرزه‌های گذشته، با لحاظ کردن نیروی زلزله با بالاترین مقدار، وضعیت مناره در مقابل اعمال شدیدترین نیروی ممکن بررسی شد و نتایج نشان داد که مناره در برابر نیروهای محاسباتی در نظر گرفته شده، ممکن است ضعیف عمل کند. اما پابرجایی آن نشان می‌دهد که تاکنون نیرویی با بزرگی در نظر گرفته شده در محاسبات به آن وارد نشده است و برای مقاومت آن در برابر زمین‌لرزه‌هایی با نیروی نزدیک به مقادیر لحاظ‌شده در این پژوهش، تحکیم برخی از اجزای مناره همچون نما و بخش‌های دارای بیشترین تنش همچون محل اتصال پایه به ساقه و ساقه به سرپوش ضروری است. از سویی در تحلیل اثر نیروی جانبی نیز نمی‌توان تأثیر پلکان در ساختمان مناره را نادیده گرفت. میزان جابه‌جایی پوستهٔ مناره با پلکان در مقایسه با این جابه‌جایی بدون در نظر گرفتن پلکان بسیار کمتر است. بنابراین اثر پلکان مناره در یکپارچگی و سختی سازه و پایداری آن اثر قابل‌توجهی است. علاوه بر نقش پلکان، مشخص شد که پایداری مناره در برابر زمین‌لرزه در اعصار گذشته، مرهون فرم باریک‌شوندهٔ مناره، کاهش ضخامت اجزای آن با افزایش ارتفاع و کاهش صلبیت بنا و ایجاد فضاهای خالی با اجرای دو پلکان است که با دانش معمار سنتی و آگاهی از رفتار بنا، از اثرات مخرب زمین‌لرزه کاسته است.

پی‌نوشت‌ها

۱. بخشی از این تعمیرات در سال‌های اندکی پس از زمین‌لرزهٔ سال ۱۱۹۲ هجری قمری صورت گرفته و در کتیبهٔ محراب شبستان با تاریخ ۱۱۹۴ ثبت شده است (نراقی ۱۳۴۸، ۱۱۸). کتیبهٔ دیگری که نشان‌دهندهٔ تعمیرات پس از این زمین‌لرزه است، با تاریخ ۱۲۰۷ هجری قمری و عبارت «تعمیر عبدالرزاق خان بعد از زلزلهٔ باعث ویرانی»، بر محراب گنبدخانه وجود دارد و نشان می‌دهد که بنا در دوران زندیه و در زمان حاکمیت عبدالرزاق خان در شهر کاشان تعمیر شده است.

۲. در کتاب *تاریخ کاشان* آمده است: «یکی دیگر از بناهای معظمهٔ کاشان مسجدجامع است که در محلهٔ میدان کهنه شهره قرب زیارت پنجه‌شاه مسجد عالی عظیم در تحت گنبدی بزرگ و از گچ و آجر و کاشی ساخته شده و در طرف جنوب آن مسجد یک مناره رفیع که بر فرازش از چوب گلدسته ساخته‌اند، برای اذان اخبار و مناجات شب‌خوانان بنیاد کرده‌اند» (ضرابی ۱۳۷۸، ۴۲۵).

۳. شرودر تصاویری از پیش از مرمت منارهٔ مسجدجامع کاشان تهیه کرده و در سال ۱۹۳۵ میلادی، مقاله‌ای با عنوان "Preliminary Note On Work In Persia and Afghanistan" منتشر کرده است (Eric schroeder 1936). شیلا بلر نیز به استناد این تصویر، ناخوانا بودن متن کتیبه را به مرمت آن نسبت داده است. برای اطلاعات بیشتر نک: بلر ۱۳۸۷، ۲۲۸.

۴. محاسبات جرم مناره در جدول ۴ و ۵ شرح داده شده است.

۵. توسلی (استادکار سنتی)، مصاحبه با نگارندگان، خرداد ۱۳۹۸.

۶. همان.

۷. برای اطلاعات بیشتر نک: هیلن برند ۱۳۸۰، ۱۵۲.

۸. این مشتوها در تصویر ۸ قابل مشاهده هستند.

۹. المان SHELL قادر است رفتار غشایی مانند کشش، فشار و برش داخل صفحه و خمش در خارج از صفحه را در محاسبات منظور نماید و سختی‌های درون صفحه‌ای و خارج از صفحه‌ای را شبیه‌سازی کند. به تعبیری دیگر، در تمامی جهات دارای سختی است و از آنجا که سیستم مناره دیوار باربر است، این المان رفتاری نزدیک به رفتار واقعی مناره شبیه‌سازی می‌کند.

۱۰. با توجه به اینکه برای ساخت شفت میانی و پلکان از تیرهای چوبی استفاده شده، در مدل نیز از تیرهای با مصالح چوب به همراه بار گسترده معادل بار مرده (بار وزن) هر پله روی تیرها اعمال شده است.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

۱۱. برای تعیین خواص خشت، نمونه‌هایی از آن در آزمایشگاه بررسی شده است. اما به‌دلیل نبود امکان نمونه‌برداری از بنا و کم بودن تعداد نمونه‌ها، در اینجا به مقالهٔ «خصوصیات مکانیکی خشت» (حجازی و دیگران ۱۳۹۴، ۷۶) استناد شده است.
۱۲. مقدار نیروی ترکیب بار برحسب فرمول شیوهٔ تنش مجاز ترکیب بار (بار زلزله و و بار مرده) مبحث ششم مقررات ملی ساختمان در نظر گرفته شده است.
۱۳. در صورت احتمال هم‌زمانی بارها از ترکیب بار استفاده می‌شود، مطابق مبحث ششم مقرارت ملی ساختمان، برحسب ضرایبی از بار اضافه شده (باد، برف، و ...) یا ضریبی از بار وزن سازه به بار مرده اضافه می‌شود.
۱۴. ترازی است که در هنگام زلزله از آن تراز به پایین اختلاف حرکتی بین ساختمان و زمین وجود نداشته باشد.
۱۵. نسبت شتاب مبنای طرح به شتاب ثقل در مناطق مختلف کشور که بر اساس میزان خطر لرزه‌خیزی آن‌ها در چهار منطقه تعیین می‌شود.
۱۶. شتاب زمین.
۱۷. ضریب رفتار ساختمان دربرگیرندهٔ خصوصیاتی مانند شکل‌پذیری، نامعینی و اضافهٔ مقاومت موجود در سازهٔ ساختمان است که با توجه به سیستم‌های سازه‌ای و سیستم مقاومت در برابر نیروی جانبی بنا تعیین می‌شود.
۱۸. جنس خاک در شبکهٔ شتاب‌نگاری زلزله‌های ایران وابسته به مرکز تحقیقات مسکن، راه و شهرسازی، برای شهر کاشان از نوع IV مشخص شده است. بدین منظور جنس خاک بر همین اساس در تمامی محاسبات لحاظ شده است.
۱۹. ضریب بازتاب بیانگر نحوهٔ پاسخ ساختمان به حرکت زمین با توجه به نوع آن است.

منابع

ـ ارجمندفر، مسعود، و علی زمانی‌فرد. ۱۳۸۷. منار عنصر هویت‌بخش در مسجدجامع کاشان. دومین *کنگرهٔ معماری و شهرسازی ایران*، کرمان: ارگ بم.
ـ امبرسز، ن.ن، و چ.پ ملویل. ۱۳۷۰. *تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران*. ترجمهٔ ابوالحسن رده. تهران: آگاه.
ـ بلر، شیلا. ۱۳۹۴. *نخستین کتیبه‌ها در معماری دوران اسلامی ایران*. ترجمهٔ مهدی گلچین‌عارفی. تهران: فرهنگستان هنر.
ـ پوپ، آرتور، و فیلیس اکرمن. ۱۳۸۷. *سیری در هنر ایران*. تدوین سیروس پرهام. تهران: علمی و فرهنگی.
ـ پیرنیا، محمدکریم. ۱۳۸۸. *سبک‌شناسی معماری ایرانی*. تهران: سروش دانش.
ـ حجازی، مهرداد، بینا حجازی، حامد مهداد، و صبا حجازی. ۱۳۹۴. مطالعهٔ تخریب لرزه‌ای یک حجرهٔ خشتی در ارگ بم و ارائهٔ طرح مرمت آن. مجلهٔ *مرمت و معماری ایران* ۹ (۵): ۸۶ـ۷۱.
ـ حجازی، مهرداد، محمد مویدیان، و مریم داعی. ۱۳۹۴. آنالیز لرزه‌ای مناره‌های تاریخی آجری ایرانی. فصلنامهٔ *مهندسی عمران فردوسی* ۱ (۲۷).
ـ دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان. ۱۳۹۶. مبحث پنجم مقررات ملی ساختمان: مصالح و فراورده‌های ساختمانی.
ـ دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان. ۱۳۹۲. مبحث ششم مقررات ملی ساختمان: بارهای وارده بر ساختمان.
ـ دفتر تدوین و ترویج مقررات ملی ساختمان. ۱۳۸۷. مبحث نهم مقررات ملی ساختمان: طرح و اجرای ساختمان‌های بتن‌آرمه.
ـ ساروخانی، زهرا. ۱۳۹۶. *کاشان قدیم به روایت تصویر*. کاشان: سورهٔ تماشا.
ـ ضرابی، عبدالرحیم کلانتر (سهیل کاشانی). ۱۳۷۸. *تاریخ کاشان*. به کوشش ایرج افشار. تهران: امیرکبیر.
ـ عالمی، بابک، شهرام پوردیهیمی، و سعید مشایخ فریدنی. ۱۳۹۵. سازه، فرم و معماری. مجلهٔ *مطالعات معماری ایران* ۹ (۵): ۱۴۰ـ۱۲۳.
ـ فیروزی آرانی، حسن. ۱۳۸۵. *زلزله در کاشان و آران‌وبیدگل*. کاشان: مرنجاب.
ـ قاسمی‌زاده بندرعباسی، مهدیس، و حامد ایمان‌طلب. ۱۳۹۵. تحلیل رفتار سازه‌ای مناره (نمونهٔ موردی: مسجد ملک بن عباس). دومین *همایش بین‌المللی معماری، عمران و شهرسازی در آغاز هزارهٔ سوم*. تهران.
ـ گلابچی محمود، آیدین جوانی، و مجید جهانی‌نوق. ۱۳۹۵. *فن‌شناسی معماری ایران*. تهران: دانشگاه تهران.

ـ کمیتهٔ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله. ۱۳۹۴. آیین‌نامهٔ طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله، استاندارد ۲۸۰۰. تهران: مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی.
ـ نراقی، حسن. ۱۳۴۸. *آثار تاریخی شهرستان‌های کاشان و نطنز*. تهران: انجمن آثار و مفاخر فرهنگی.
ـ هیلن برند، روبرت. ۱۳۸۰. *معماری اسلامی*. ترجمهٔ باقر آیت‌الله‌زاده شیرازی. تهران: روزنه.
ـ یونسی، محسن، وحید عسگرپور، و فرانک بحرالعلومی. ۱۳۹۶. مطالعهٔ باستان‌سنجی روی گچ‌بری محراب بزرگ و تزیینات مسجدجامع کاشان. *پژوهشنامهٔ کاشان* ۱۰ (۱۸): ۶۸ـ۸۷.
-schroeder, Eric. 1936. Perminilari note on work in Persia and Afghanistan. *Bulletin of the American Institute for Persian Art and Archaeology* 3(4): 130-135.

Downloaded from jias.kashanu.ac.ir at 14:34 +0330 on Tuesday September 24th 2019

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی