پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران
شماره ۲۲، دوره نهم، پاییز ۱۳۹۸
P. ISSN: 2345-5225 & E. ISSN: 2345-5500

بررسی نظام پیمون در معماری هخامنشی: مطالعه‌ی موردی کاخ آپادانا و صد ستون[1]

فاطمه جوانمردی[I]، کاظم ملازاده[II]، صاحب محمدیان‌منصور[III]

شناسه‌ی دیجیتال (DOI): 10.22084/nbsh.2019.17557.1838
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۸/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲
(از ص ۱۲۳ تا ۱۴۲)

چکیده

دوره‌ی هخامنشی یکی از اعصار طلایی فرهنگ و تمدن ایرانی است که در آن هنر و معماری اعتلا پیدا می‌کند. در این دوره‌ی معماری هخامنشی با تکیه‌بر میراث سایر تمدن‌های باستان، به ترکیبی نوین و پیشرفته در استفاده از پیمون دست‌یافت که پیش از آن، هرگز مشاهده نشده بود؛ و آن مشتمل‌بر استفاده از شبکه‌بندی پنهان و خشت به‌عنوان پیمون است. متأسفانه ابهامات اساسی در ارتباط با شکل‌گیری و سیر تحول و تغییرات پیمون معماری دوره‌های مختلف تاریخی ایران وجود دارد. تمرکز این پژوهش برروی مطالعه‌ی روشمند نظام پیمون در معماری هخامنشی تخت‌جمشید است. روش تحقیق این پژوهش توصیفیِ تاریخی-تحلیلی است که جمع‌آوری اطلاعات آن با استفاده از اسناد و نقشه‌های کتابخانه‌ای، مشاهده و ثبت میدانی و روش تحلیل و آنالیز اطلاعات هم به کمک نرم‌افزار مَتلب و اتوکد صورت گرفته است. این پژوهش در راستای پاسخ به پرسش‌هایی هم‌چون: مبانی شکل‌گیری نظام پیمون هخامنشی، میزان تأثیرپذیری معماری این دوره از نظام‌های رایج پیمون و بررسی پیمون رایج در دو کاخ آپادانا و صدستون می‌باشد. نتایج حاصل از بررسی‌ها، نشان می‌دهد که اساس نظام پیمون هخامنشی بر پایه‌ی پیمون خشتی و ابعاد استاندارد خشت‌های متداول این دوره (۱۳×۳۳×۳۳ سانتی‌متری) شکل‌گرفته است؛ همچنین، این نظام تحت‌تأثیر نظام پیمون خشتی رایج در بابل و نیز متأثر از واحدهای اندازه‌گیری طول در یونان بوده است. پیمون رایج در این دو کاخ «ذراع شاهی» و «ذراع» است که در ارتباط مستقیم با کاربری کاخ‌ها مورد استفاده بوده است. نظام پیمون در معماری تخت‌جمشید سنتی ترکیبی از پیمون خشتی بابلی و واحدهای اندازه‌گیری یونانی است. این نظام به کمک روش شبکه‌بندی مصری برروی پلان اجرا شده است و سنتی کاملاً ترکیبی، اما مستقل از سایر نظام‌های پیمون است. برآیند این تحقیق، هرگونه مطالعات پیشین در زمینه‌ی پیمون هخامنشی توسط مایکل رف و فردریش کرفتر را مردود می‌شمارد.

کلیدواژگان: نظام پیمون، معماری هخامنشی، شبکه‌بندی، تخت‌جمشید، کاخ آپادانا، صدستون.

I. دانش‌آموخته‌ی کارشناسی‌ارشد باستان‌شناسی دانشگاه بوعلی سینا.
II. دانشیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه بوعلی‌سینا (نویسنده‌ی مسئول).
mollazadeh@basu.ac.ir
III. استادیار گروه معماری دانشگاه بوعلی‌سینا.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

معماری، در درجه‌ی نخست پاسخ‌گوی یکی از نیازهای اساسی بشر، یعنی سرپناه و امنیت بوده است؛ اما با پیشرفت‌های صورت‌گرفته، معماری به نظامی هماهنگ، متناسب و قانون‌مند تبدیل شد. ازجمله چهارچوب‌ها و ضوابط تعیین‌کننده‌ی معماری، می‌توان به هندسه، تناسبات و نظام پیمون اشاره کرد که درمجموع، اساس معماری هر سرزمین را شکل می‌دهد. از این‌میان «مدول» و یا «پیمون» به‌عنوان یکی از مؤلفه‌های کمتر شناخته شده، نقش اساسی در ساخت یک بنا ایفا می‌کند.

متأسفانه ابهامات اساسی در ارتباط با شکل‌گیری و سیر تحول و تغییرات پیمون معماری دوره‌های مختلف تاریخی ایران وجود دارد. از زمان و مراحل شکل‌گیری این نظام، ابداعی یا اقتباسی بودن آن، تأثیر نظام‌های تمدن‌های مجاور در آن، وجود و یا عدم وجود چند نظام همزمان در معماری مناطق مختلف ایران و یا تداوم یا عدم تداوم نظام پیمون دوره‌ی تاریخی در دوره‌ی اسلامی آگاه نیستیم. در این ارتباط، بقایای قابل‌توجه، ساختار سنگی و مهندسی معماری هخامنشی، در مقایسه با معماری دوره‌های قبل، امکان مطالعه‌ی بهتری را فراهم می‌کند؛ لذا مطالعه‌ی نظام پیمون با تکیه به داده‌های معماری تخت‌جمشید (دو کاخ آپادانا و صدستون) هدف این پژوهش قرار گرفت و در آن، تلاش‌شده به ابهامات موجود در ارتباط با پیشینه‌ی نظام پیمون و نحوه‌ی به‌کارگیری آن در معماری هخامنشی و میزان تأثیرپذیری سایر نظام‌های پیمون جهان باستان بر معماری هخامنشی پاسخ داده شود و درنهایت نظام پیمون در معماری هخامنشی شناسایی گردد.

پرسش‌های پژوهش: این پژوهش در راستای پاسخ به پرسش‌هایی هم‌چون: مبانی شکل‌گیری نظام پیمون هخامنشی، میزان تأثیرپذیری معماری این دوره از نظام‌های رایج پیمون و بررسی پیمون رایج در دو کاخ آپادانا و صدستون می‌باشد.

روش پژوهش: روش تحقیق این پژوهش توصیفی است که جمع‌آوری اطلاعات آن با استفاده از اسناد و نقشه‌های کتابخانه‌ای، مشاهده و ثبت میدانی و روش تحلیل و آنالیز اطلاعات هم به کمک نرم‌افزار متلب (Matlab) و اتوکد (AutoCAD) صورت گرفته است.

نظام پیمون، اهمیت و کاربرد آن در معماری

برای برقراری تناسبات لازم بین بخش‌های مختلف بنا و انسان‌وار کردن آن، از ضابطه‌ای به‌نام «پیمون» و یا «مدول» استفاده شده است. در لغت‌نامه‌ی دهخدا عبارت «پیمون» معادل واژه‌ی «مدول» گرفته شده است؛ اما این برابری در لفظ به معنای برابری در معنی نیست. پیمون به معنای «اندازه و معیارهایی است که تناسب اندام‌های ساختمان را از نظر درستی طرح، تناسب، استواری و زیبایی تضمین نموده است» (بمانیان، ۱۳۸۱: ۱). با استفاده از پیمون، اجزا و اندام‌های بنا در بهترین صورت ممکن از نظر زیبایی و کارکرد به‌هم پیوند می‌خورند؛ همچنین پیمون به اندازه‌ی معین و مقیاس مشخصی گفته می‌شود که در طرح تکرار می‌شود (فلاحت و محمدی، ۱۳۹۰: ۳). در مقابل، مدول که برای رعایت تناسبات در معماری کلاسیک یونان و رُم به‌کار می‌رفت، به ظاهر نزدیک‌ترین ضابطه‌ی مشابه با پیمون است؛ مدول،

www.SID.ir

عبارتست از: یک واحد اندازه‌گیری یا کاربردی که در نقشه‌کشی، ثبت و ساخت بنا مورد استفاده قرار می‌گیرد (Harris, 2006: 639)؛ اما در عمل، اختلافات چندی پیمون و مدول را از یکدیگر متمایز می‌کند. مدول به منزله‌ی الگوی حاکم است و در اصل برابر با قطر ستون است که خود برقرارکننده‌ی تناسبات بنا می‌باشد. معمار با استفاده از مدول، کمترین میزان آزادی عمل در انتخاب جزییات و نقوش را دارد؛ وی برای خلق اثری که حجم کلی آن در دست است، طول مدول را در قیاس با بناهای موجود، محاسبه و مشخص می‌کند و پس از آن، براساس تناسبات مقرر پیش می‌رود. او به ناچار ابعاد تمام قسمت‌های ساختمان را در تناسب با سایر اجزای ساختمان به یک نسبت کوچک یا بزرگ می‌کند و به ناچار، بنا خارج از میزان انسانی شده و معمولاً مانند معابد یونانی فاقد مقیاس انسانی می‌گردد؛ درحالی‌که پیمون ایرانی در دو نوع پیمون بزرگ و کوچک به‌کار می‌رفت و در نظام ساختمان‌سازی هرکدام از این پیمون‌ها دارای ابعادی بودند که اندازه‌ی آن‌ها همواره از اجزا و عناصر معماری بنا تبعیت می‌کند. با استفاده از این پیمون هیچ دو ساختمانی یکسان درنمی‌آمد و هر یک ویژگی خود را داشت، اگرچه از یک پیمون در آن‌ها پیروی شده بود (بمانیان و دیگران، ۱۳۸۹: ۱۸۰). از همه مهم‌تر، پیمون براساس آسایش و تناسبات انسانی طراحی شده بود.

از آنجا که مکتب‌ها و روش‌های معماری، به‌تقریب از عصر رنسانس به‌بعد مکتوب و مستند شده، از وجود قطعی نظام پیمون در بناهای پیش از این دوره نمی‌توان با قاطعیت سخن گفت؛ در نتیجه برای جستجوی نظام پیمون، ابتدا به بررسی ابزارهای اندازه‌گیری و نحوه‌ی به‌کارگیری آن‌ها در معماری می‌پردازیم. چراکه استفاده از پیمون یک مرحله‌ی پیشرفته و تکوینی در معماری محسوب می‌شود. در این زمینه، همواره دو منبع مورد مطالعه قرار می‌گیرند که شامل اسناد مکتوب و داده‌های باستان‌شناسی می‌شوند. از سومر، بابل، آشور، مصر و ایران، اسناد مکتوبی به‌دست‌آمده که در آن‌ها به استفاده از واحدهای اندازه‌گیری نظیر طول، وزن، حجم و غیره اشاره شده است. یکی دیگر از منابع مورد استفاده، داده‌های باستان‌شناسی هم‌چون ابزارهای اندازه‌گیری و بقایای معماری هستند که با مطالعه‌ی آن‌ها می‌توان به اطلاعات ارزشمندی دست‌یافت.

پیشینه‌ی استفاده از پیمون و واحدهای اندازه‌گیری

استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری در معماری سابقه‌ی طولانی دارد. ابزارهای اندازه‌گیری در: سومر، مصر، آشور، هند، یونان و ایران مورد استفاده بوده، اما مشخص نیست که این نظام نخستین‌بار در کدام منطقه مورد استفاده قرار گرفته است. بسیاری از پژوهشگران اتفاق‌نظر دارند که تقریباً در تمام ساختمان‌های باستانی از واحدهای غیر متریکی چون ذراع، پا و کف دست استفاده شده است (Lelgemann, 2004: 2). این واحدهای طولی به‌ترتیب از کوچک‌ترین به بزرگ‌ترین شامل: دانه‌ی جو، انگشت، کف دست، پا (کوچک و شاهی)، ذراع (کوچک، استاندارد و شاهی)، نی (عصا)، شاخص، ریسمان، خط و دسته (گروه) بودند (Sergré, 1994: 74). براساس شواهد موجود، قدیمی‌ترین مورد استفاده از واحدهای اندازه‌گیری استاندارد در

www.SID.ir

Archive of SID

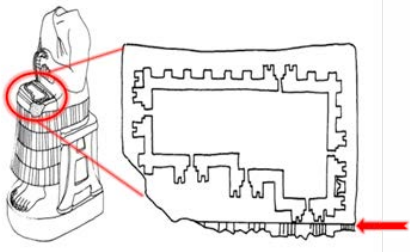
بین‌النهرین دیده شده است. در سومر تبادلات بازرگانی نیاز به استفاده از واحدهای اندازه‌گیری استاندارد وزنی و طولی را ضروری می‌ساخت. احتمالاً در آغاز واحدهای متفاوتی در دولت‌شهرهای سومری رواج داشته است؛ اما در مراحل بعد، کارآمدترین و متداول‌ترین آن‌ها استانداردسازی شده و در مناطق مختلف رواج پیدا کرد (Bertman, 2005: 257). در سال ۱۹۱۶م. «اکهارد آنگر»[۲] آشورشناس آلمانی در حین کاوش در نیپور موفق به کشف یک میله‌ی مفرغی شد که به عقیده‌ی وی قدیمی‌ترین میله و ابزار اندازه‌گیری طول متعلق به ۲۶۵۰ ق. م. است(شکل ۱). وی معتقد است که این ابزار دارای اندازه‌های استانداردی است که نشانگر قدیمی‌ترین ذراع سومری برابر با ۵۱.۸۵ سانتی‌متر است (Ibid)؛ هرچند شواهد موجود، امروزه نشان می‌دهد که این وسیله نمی‌تواند وسیله‌ی اندازه‌گیری واحد ذراع باشد، اما می‌توان آن‌را از نخستین ابزارهای اندازه‌گیری طول که تاکنون به‌دست آمده، دانست.

علاوه‌بر نمونه‌ی نیپور برروی مجسمه‌ی گودآ در لاگاش نیز شاخص اندازه‌گیری دیگری به‌دست آمده که متعلق به ۲۱۰۰ ق.م. است (Lelgemann, 2004: 2). برروی پای مجسمه‌ی گودآ نقشه‌ی معبدی قرار دارد که کتیبه‌های اطراف مجسمه اطلاعات دقیقی نسبت به ابعاد هر یک از اضلاع آن ارائه می‌دهد؛ همچنین در کنار نقشه‌ی معبد نیز خطکش اندازه‌گیری حجاری شده است که یک ذراع را نمایش می‌دهد (شکل ۱).

خوشبختانه استفاده از این میله‌های اندازه‌گیری در سراسر دوره‌ی تاریخی دیده می‌شود؛ به‌طور مثال، در لوح حمورابی می‌بینیم که خدای شمش، یک میله‌ی اندازه‌گیری و یک حلقه را به حمورابی اعطا می‌کند که نماد قدرت و پادشاهی هستند. این میله‌ی اندازه‌گیری به‌همراه حلقه، دارای مفاهیم ضمنی چون توان پادشاه در ساخت طبقات اجتماعی، رتبه‌بندی آن و درجه‌بندی عادلانه‌ی زندگی مردم در هر طبقه و اجرای بهتر قانون است (Kleiner, 2015: 44).

استفاده از واحدها و ابزارهای اندازه‌گیری در بین‌النهرین پس از سومر به اکد، بابل و نهایتاً آشور انتقال یافت. در جدول ۱ و ۲، به تفصیل به معرفی واحدهای اندازه‌گیری مورد استفاده در بین‌النهرین و سایر حکومت‌های همجوار اشاره شده است. لازم به ذکر است که پژوهشگران بر مقدار یک واحد مشخص در دوره‌های مختلف توافق نظر چندانی ندارند.

در حدفاصل سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۵ م.، باستان‌شناسان در خانه‌ی F نیپور به کتیبه‌های بابل قدیم دست‌یافتند که در آن‌ها کاتبان به تمرین محاسبات ریاضی درباره‌ی مسائل مربوط به ابعاد طولی یک بنا بر حسب واحدهای اندازه‌گیری مختلف طول پرداخته بودند. چنین داده‌های مکتوبی به مورخان این امکان را می‌دهد که با اطمینان هرچه بیشتر به معرفی و بررسی واحدهای طول در دوره‌های مختلف بپردازند.



▲ شکل ۱. مجسمه‌ی گودآ حاکم شهر لاگاش، حجاری نقشه‌ی یک معبد با خطکشی نمادین در کنار آن، ۲۱۰۰ ق.م.، سنگ دیوریت، ابعاد مجسمه ۶۲×۴۶×۹۳ سانتی‌متر، ابعاد پلان ۱۶×۲۶ سانتی‌متر (Robson, 2000: 104).

پیشینه‌ی استفاده از شبکه‌بندی در معماری

استفاده از شبکه‌های شطرنجی در معماری، دارای سابقه‌ای دیرینه است؛ چنان‌چه مصریان از شبکه‌های شطرنجی برای پیاده کردن نقاشی‌ها و حجاری‌های معابد استفاده می‌کردند. از آنجا که مصریان در هنرهای مورداستفاده در معابد به توازن،

www.SID.ir

Archive of SID

واحدهای اندازه گیری	پژوهشگران			
	(Sergré, 1994: 74)	(Sergré, 1994: 74)	(HØyrup, 2001: 17)	(Jones, 2004: 320)
	سومر	اکد	بابل	آشور
دانه‌ی جو	۲٫۸mm	mm ۲٫۸	ـــــ	ـــــ
انگشت	۱٫۶۷mm	۱٫۶۷mm	۲cm	۲cm
پا	ـــــ	ـــــ	ـــــ	۳۲٫۸۹cm
ذراع کوچک	۵۰cm	۵۰cm	ـــــ	ـــــ
ذراع	ـــــ	ـــــ	۵۰cm	۵۴٫۸۳ cm
ذراع بزرگ (شاهی)	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ
میله‌ی اندازه‌گیری	٦m	٦m	٦m	ـــــ
دسته (گروه)	۱۰٫۸km	۱۰٫۸km	۱۰٫۸km	ـــــ

◄ جدول ۱. واحدهای اندازه‌گیری طول در بین‌النهرین (نگارندگان، ۱۳۹۷).

واحدهای اندازه‌گیری	مصر		یونان	
	پژوهشگران			
	(Rossi, 2007: 61)	(Herz-Fischer, 2000:176)	(Beding, 2016: 232)	(Stone, 2014:5)
دانه‌ی جو	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ
انگشت	۱٫۸۷cm	۱٫۸ cm	۹.۱ cm	۱٫۹ cm
پا	۹(؟) cm	ـــــ	۳۰٫۸ cm	۳۰٫۷ cm
ذراع کوچک	۴۵ cm	ـــــ	ـــــ	ـــــ
ذراع	ـــــ	ـــــ	۴۶٫۳ cm	۴۶٫۳ cm
ذراع بزرگ (شاهی)	۵۲٫۵ cm	۵۲٫۵ cm	ـــــ	ـــــ
میله‌ی اندازه‌گیری	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ
دسته (گروه)	ـــــ	ـــــ	ـــــ	ـــــ

◄جدول ۲. واحدهای اندازه‌گیری طول در مصر و یونان (نگارندگان، ۱۳۹۶).

تقارن و نسبت‌های ایده‌آل بدن انسان بسیار توجه می‌کردند؛ درنتیجه استفاده از شبکه‌های مشتمل‌بر مربع‌های متقارن، هنرمند را در رسیدن به این ایده‌آل‌ها کمک می‌کرد. این شبکه‌ها علاوه‌بر تضمین قرینه‌سازی این امکان را برای هنرمند فراهم می‌کردند تا پیکره‌ها را بر اساس اندازه‌های مقدس و نسبت‌های استاندارد مصری ترسیم کند. هرکدام از این شبکه‌ها براساس ذراع شاهی ترسیم شده و مقداری برابر با ۶/۱ ذراع داشتند (Clarke, 2008: 58). یک نمونه‌ی مناسب استفاده از شبکه‌بندی متعلق به یک پاپیروس از قرن ۱۸ ق.م.(؟) به‌دست آمده است که به‌نظر می‌رسد یک نسخه‌ی اصلی از طراحی نمای ورودی یک معبد است. در این پاپیروس، معمار از یک کاغذ شطرنجی با جوهر قرمز استفاده کرده که برروی آن با جوهر سیاه رنگ طرح معبد را پیاده کرده است (Robins & Fowler, 1994, 92). چنین به‌نظر می‌رسد که یونانیان علاقه‌ی چندانی به استفاده از شبکه‌بندی در معماری و تزیینات معماری نداشته‌اند (رف، ۱۳۸۱: ۱۱)

پیمون در معماری دوره‌ی هخامنشی

متأسفانه از دوره‌ی هخامنشی اطلاعات مکتوب قابل‌توجهی در ارتباط با نظام پیمون این دوره به‌دست نیامده است؛ لذا برای مطالعه‌ی این نظام تنها به معماری هخامنشی متکی هستیم. در این ارتباط، نخستین‌بار در سال ۱۸۹۰م. «دیولافوا» و «بابین» بودند که با مطالعه‌ی ابعاد موجود برروی نقشه‌ی تخت‌جمشید، پاسارگاد

www.SID.ir

Archive of SID

و استخر به معرفی واحد «ارش» پرداخته‌اند (کرفتر، ۱۳۸۸: ۳۰). نتایج به‌دست آمده توسط بابین و دیولافوا با همه‌ی دقتی که در تفسیر مقیاس، ابعاد و اندازه‌گیری‌ها به‌کار بستند، تفاوت معناداری با آن‌چه اشمیت بعدها منتشر کرد، دارند (جدول ۳). نکته‌ی قابل‌توجه این‌که در مطالعات بابین هیچ ارتباط ریاضی بین یک پا و یک ارش که به‌ترتیب ۳۳ و ۵۲ سانتی‌متر معرفی شده، وجود ندارد؛ درحالی‌که در نظام‌های به‌کار گرفته شده، هرکدام از پیمون‌ها در ارتباط با واحدهای کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از خود هستند. همچنین بابین با مطالعه‌ی کاخ‌های مختلف هخامنشی به مقادیر متفاوتی دست‌یافته است (همان). دیولافوا نیز به نتایج مشابهی دست پیدا می‌کند (همان). اساس مطالعه‌ی وی بر مبنای ابعاد مختلف پایه‌ستون‌های آپادانای شوش در ایوان و تالار مرکزی آن قرار گرفته است.

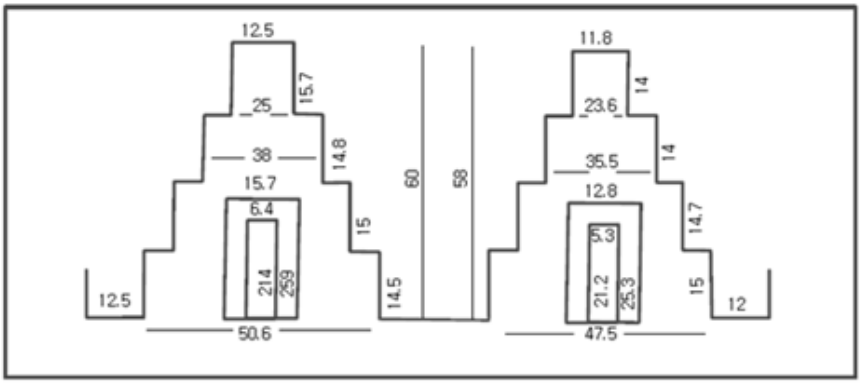
«کرفتر» نیز در سال ۱۹۷۱ م. به مطالعه‌ی بخش‌های سنگی کاخ تچر، دروازه‌ی ملل، دروازه‌ی شاهی و تالارهای بارعام آپادانا پرداخت و مجموعه‌ای از واحدهای اندازه‌گیری طول در تخت‌جمشید معرفی کرد. وی نخستین کسی است که در تحقیقات خود به انطباق ابعاد خشت‌های استاندارد تخت‌جمشید (۱۰×۳۳×۳۳ سانتی‌متر) با پیمون پا در تخت‌جمشید اشاره می‌کند (همان:۳۱). تحقیقات کرفتر در بحث پیمون معماری هخامنشی بسیار ارزشمند است (جدول ۳). بعد از کرفتر، «هسه»[۳] نیز با استفاده از روش‌های آماری و محاسبات ریاضی به بررسی ابعاد آجرهای به‌کار رفته در کاخ‌های هخامنشی شوش پرداخت. وی همچنین به مطالعه‌ی ابعاد لوح عیلامی داریوش در شوش پرداخت و اشاره کرد که هر ضلع آن قابل‌مقایسه با یک ذراع بابلی است (گرشویچ، ۱۳۹۰: ۷۴۷).

در سال ۱۹۷۸ م. «مایکل رُف» به مطالعه‌ی واحدهای اندازه‌گیری تخت‌جمشید، به‌ویژه تچر و هدیش پرداخت (Roaf, 1978: 68). اساس مطالعه‌ی وی، برروی علائمی است که برروی حاشیه‌ی سکوی تچر و هدیش حک شده است. وی به بررسی فاصله‌ی هر یک از علائم پرداخته و براساس آن واحدهای اندازه‌گیری طول را در تخت‌جمشید معرفی کرده و پیمون به‌دست آمده را به سایر کاخ‌ها یا تزیینات معماری تخت‌جمشید تعمیم داده است (شکل ۲). رُف اشاره می‌کند که رایج‌ترین پیمون در تخت‌جمشید ذراع است که بیشتر ابعاد کلیدی بناها براساس این پیمون ساخته شده‌اند (Ibid).

جدول ۳. واحدهای اندازه‌گیری پیشنهادی طول بر حسب سانتی‌متر در دوره‌ی هخامنشی (نگارندگان، ۱۳۹۶).◄

واحدهای اندازه‌گیری	پژوهشگران		
	(Babin, 1891; 347)	(کرفتر، ۱۳۸۸: ۳۰)	(Roaf, 1978: 68)
انگشت	۲,۷۵ cm	۲,۱۴ cm	۲,۲ cm
کف دست	۳۳ cm	۸,۵ cm	۸,۷ cm
پا	ـــــ	۳۴,۲۴ cm	۳۴,۸ cm ۳۴,۷ cm
ذراع (ارش)	۵۵ cm	۵۱,۳۶ cm	۵۲,۱ cm ۵۲,۲ cm
ذراع (ارش) شاهی	ـــــ	۶۸,۴۸ cm	ـــــ

www.SID.ir



◄شکل ۲. بررسی جان‌پناه پلکان شمالی آپادانا براساس پیمون کف دست مایکل رُف: سمت راست، اندازه‌ها به سانتی‌متر؛ و سمت چپ، براساس پیمون کف دست پیشنهادی مایکل رف (Roaf, 1978: 74).

مطالعات مربوط به پیمون هخامنشی همواره از رویکرد صرف ریاضی‌محور برخوردار بوده و این مسأله باعث‌شده است تا محققان هر کدام اعداد محدودی را انتخاب و در صورت سازگاری پیمون پیشنهادی با آن‌ها، به معرفی آن عدد به‌عنوان پیمون استاندارد بپردازند؛ به‌عنوان مثال، مایکل رُف اشاره می‌کند که پیمون مورد نظر در آپادانا با چهار عدد کلیدی معماری همچون پایه‌ستون، شالی‌ستون، قطر ستون و آکس‌بندی ستون‌ها هم‌خوانی دارد (Ibid: 73). در صورتی‌که تنها تالار مرکزی آپادانا فضایی است به طول ۶۱ متر که در چنین مجموعه‌ای هم‌خوانی صرف چهار عدد نمی‌تواند پاسخ‌گوی پرسش اصلی تحقیق باشد. مشکل اساسی دیگری که در تحقیقات پیشین دیده می‌شود، این واقعیت است که محققان صرفاً اعداد محدودی را گزینش کرده و از گسترش تحقیقات خود برروی سایر اعداد کلیدی بنا خودداری کرده‌اند.

روش‌های مطالعه‌ی نظام پیمون در کاخ آپادانا

کاخ آپادانا توسط داریوش اول به‌عنوان تالار بارعام یا شاهی، در غربی‌ترین ضلع صفه‌ی تخت‌جمشید ساخته شد. هسته‌ی اصلی این بنا، تالاری است با ۳۶ ستون و سه ایوان در سه ضلع شمالی، شرقی و غربی هرکدام با ۱۲ ستون است. جهت استخراج نظام پیمون کاخ آپادانا و در کل معماری هخامنشی، با توجه به فقدان مدارک مکتوب، نیازمند ابعاد مستند و دقیقی از بنا، با کم‌ترین میزان خطا هستیم. از آن‌جا که نقشه‌های تهیه شده وضعیت موجود بنا را نشان می‌دهند که احتمال می‌رود با درصدی از خطا همراه باشد (این خطا می‌تواند نتیجه‌ی اشتباه در طراحی پلان، خطای اجرا، خطای ابزارهای اندازه‌گیری امروزی و یا خطا در نقشه‌برداری پلان باشد)؛ لذا پلان تهیه شده می‌تواند مطابقت صد درصدی با نقشه‌ی اجرایی و اولیه‌ی معمار دوره‌ی هخامنشی نداشته باشد. از این‌رو برای کشف هرگونه نظام پیمون مجبور به استفاده از شواهد و مدارک موجود و دستیابی به نزدیک‌ترین پلان به نقشه‌ی اولیه‌ی آپادانا و سایر کاخ‌های هخامنشی هستیم. برای وصول بدین مهم، همواره دو روش در پیشِ‌روی ما قرار دارد که یکی استفاده از روش «آنالیز عددی» و دیگری «شبکه‌بندی پلان» است. در ادامه به معرفی این دو روش در کاخ آپادانا می‌پردازیم. لازم به ذکر است که روش مطالعه‌ی ارائه شده در این بخش، یک رویکرد فراگیر در هر دو کاخ محسوب

www.SID.ir

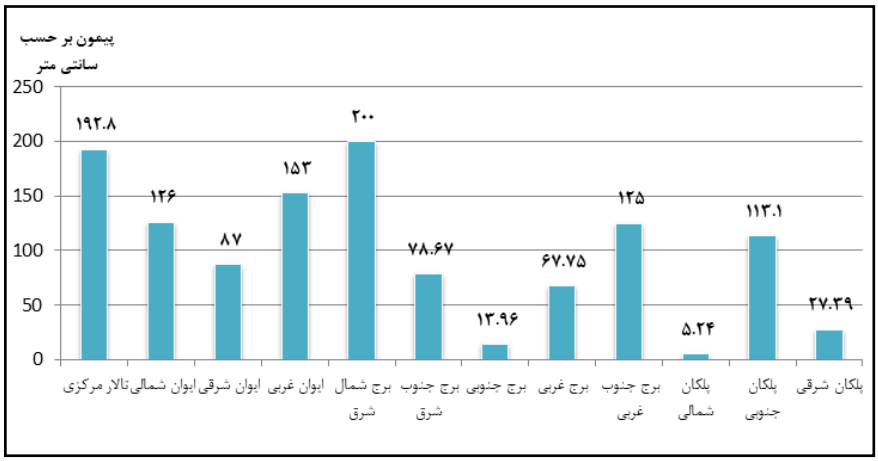
Archive of SID

می‌شود که به هنگام مطالعه‌ی هر یک از کاخ‌ها مورد استفاده قرار گرفته و قابل تعمیم است.

بررسی نظام پیمون در آپادانا به کمک روش آنالیز عددی

نخستین روش مورد استفاده در بحث استخراج پیمون، استفاده از رویکرد رایج ریاضی‌محور است که توسط پیتری، کرفتر، رُف و غیره مورد استفاده قرار گرفته است (کرفتر، ۱۳۸۸: ۲۹). مبنای این روش، وجود رابطه‌ی عددی بین بیشتر ابعاد کلیدی پلان است؛ از جمله مزیت‌های این روش، عدم دخالت هرگونه فاکتور انسانی و یا پیش‌داوری در انتخاب اعداد جهت استخراج پیمون است. چراکه خروجی‌های منتخب توسط نرم‌افزار متلب (Matlab) محاسبه و ارائه می‌شوند. با این روش، ابتدا فضای داخلی کاخ آپادانا به ۱۳ بخش تقسیم شد که در آن فضاهایی مانند ایوان شمالی، انبار غربی و تالار مرکزی، هر کدام بخش مجزایی را شکل می‌دهند. این مرحله، کمک می‌کند تا در صورتی‌که عددی برروی نقشه در آنالیز نهایی با پیمون مطابقت نداشته باشد، بتوان آن‌را به‌راحتی پیدا کرده و مورد بررسی قرار داد. پس از این مرحله، ابعاد کلیدی چون طول و عرض تالار، طول و عرض ایوان، طول و عرض ورودی‌ها، طول و عرض پایه‌ستون، قطر شالی‌ستون، فاصله‌ی آکس‌بندی ستون‌ها، ضخامت دیوار، عرض پله‌ها و فواصل آکس ستون‌ها تا دیوارهای کناری برداشت شد. لازم به ذکر است که این ابعاد از روی نقشه‌ی اتوکدی مجموعه‌ی پژوهشی بنیاد پارسه استخراج شد. در مرحله‌ی بعد، اعداد با استفاده از نرم‌افزار متلب آنالیز شدند. بدین‌صورت که مجموع اعداد روی نقشه به اعدادی بین ۱ تا ۲۰۰ سانتی‌متر با گام‌های یک میلی‌متری تقسیم شد. علت انتخاب این بازه‌ی عددی این است که در نظام‌های پیمون عددی که پیش‌تر به آن‌ها اشاره شد، هیچ پیمونی (معماری) تا به‌حال از یک سانتی‌متر کمتر و یا از ۷۰ سانتی‌متر بیشتر نبوده است. نتیجه‌ی آنالیز ۳۰۰ عدد در کل فضاهای آپادانا و تقسیم آن‌ها به بازه‌ی فوق‌الذکر بیش از ۳۰۰,۰۰۰ عدد شد. در مرحله‌ی بعد برای حذف اعدادی که با پیمون مورد نظر مرتبط نبودند، به کدگذاری و فیلترگذاری در نرم‌افزار متلب پرداخته شد. بدین‌صورت که نرم‌افزار، تنها اعدادی را که جواب خارج قسمت تقسیم آن‌ها به‌صورت عدد صحیح (پیمون کامل) یا اعداد اعشاری که رقم بعد از اعشار آن‌ها به‌صورت ۰,۲۵ (۴/۱ پیمون)، ۰,۵۰ (۲/۱ پیمون)، ۰,۷۵ (۴/۳ پیمون) باشد را نگه‌داشته و بقیه را از دور مطالعه خارج می‌کند. علت انتخاب این پیمون‌های خُرد، رایج بودن و ثابت بودن آن‌ها در نظام‌های پیشین معماری و ثبت آن‌ها در لوحه‌های محاسبات پیمونی است که پیش‌تر بدان‌ها اشاره شد. پس از کدگذاری در نرم‌افزار، تنها ۵۰۰۰ عدد باقی‌ماند که از آن میان در هر فضا بهترین عدد که پیمون احتمالی آن فضا در کاخ آپادانا بود، انتخاب شد (نمودار ۱). ملاک انتخاب پیمون برتر در هر فضا، بیشترین میزان هم‌خوانی هر پیمون با اکثر اعداد منتخب در آن فضا است. این اعداد، بهترین پیمون برای هر بخش آپادانا هستند. نمودار ۱، نشان می‌دهد که حتی در یک کاخ مشخص مانند آپادانا، بهترین پیمون در یک فضا با فضای مشابه کنار خود هم‌خوانی ندارد؛ به‌طور مثال، آکس ستون‌ها در ایوان

www.SID.ir



◄ نمودار ۱. پیمون پیشنهادی حاصل از آنالیز عددی در کاخ آپادانا (نگارندگان، ۱۳۹۶).

شمالی بین ۸۶۴-۸۷۱ سانتی‌متر در نوسان است و تنها بین ۶ ستون باقی‌مانده تنها دو ستون ابعاد یکسانی دارند. این وضعیت سبب می‌شود که میانگین فواصل آکس ستون‌های ایوان‌های شمالی، شرقی و غربی بیش از ۷۰ سانتی‌متر با یکدیگر اختلاف داشته باشد. این مسئله کاملاً غیرمنطقی به‌نظر می‌رسد که در کاخی همچون آپادانا برای هر فضا یک پیمون مجزا با چنین اختلافی کاربرد داشته باشد. در نتیجه با ادامه‌ی انجام این روش برروی سه کاخ دیگر و آنالیز مجموعاً بیش از ۳/۰۰۰/۰۰۰ عدد، این نتیجه حاصل شد که این روش عملاً به استخراج یک پیمون مشترک در بین تمامی فضاهای یک کاخ، کمکی نخواهد کرد. این عدم تطابق می‌تواند معلول وجود ابعاد متغیری باشد که برروی پلان برای یک فاصله‌ی مشخص (آکس‌بندی) وجود دارد؛ به‌طور مثال، در تالار مرکزی کاخ آپادانا، فواصل بین ستون‌ها و فواصل بین آکس ستون‌ها، یک مقدار ثابت نیست و گاهاً بیش از ۱۰ سانتی‌متر در نوسان است. ازطرفی نرم‌افزار قادر به تشخیص اعداد قابل‌اطمینان بین این میزان نوسانات، جهت یکسان و استانداردسازی سایر اعداد نیست. بنابراین نرم‌افزار، پیمونی را معرفی می‌کند که به میانگین همه‌ی اعداد آن فضا، بخش‌پذیر باشد؛ به‌طور مثال، ممکن است علت متغیر بودن ضخامت دیوارها در آپادانا، به‌دلایل انجام مرمت و آسیب‌های انسانی و طبیعی و یا متغیر بودن اندازه‌های فواصل بین آکس ستون‌ها به‌علت جابه‌جایی ستون‌ها باشد؛ اما این میزان از خطا در نرم‌افزار هرگز قابل تشخیص نیست. از طرفی دیگر هر گونه اقدام جهت ارائه‌ی ورودی‌های مطمئن‌تر به نرم‌افزار باید روشمند باشد و برای این‌کار باید براساس شواهد و مدارک موجود در بنا، اقدام به گزینش اعداد و سپس آنالیز آن‌ها کرد؛ بنابراین روش آنالیز عددی به تنهایی نمی‌تواند راهگشا باشد. از این‌رو اعتبار استفاده انحصاری از این روش برای استخراج پیمون در سایر کاخ‌ها از بین می‌رود و هرگونه مطالعه‌ی ریاضی‌محور صرف را در این ارتباط فاقد اعتبار کافی معرفی می‌کند.

بررسی نظام پیمون آپادانا با کمک شبکه‌بندی

با توجه ناکارآمدی روش آنالیز عددی، روش شبکه‌بندی مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به مشکلی که در بحث دستیابی به نقشه‌ی دقیق و اولیه وجود دارد و نیز خطاهای

www.SID.ir

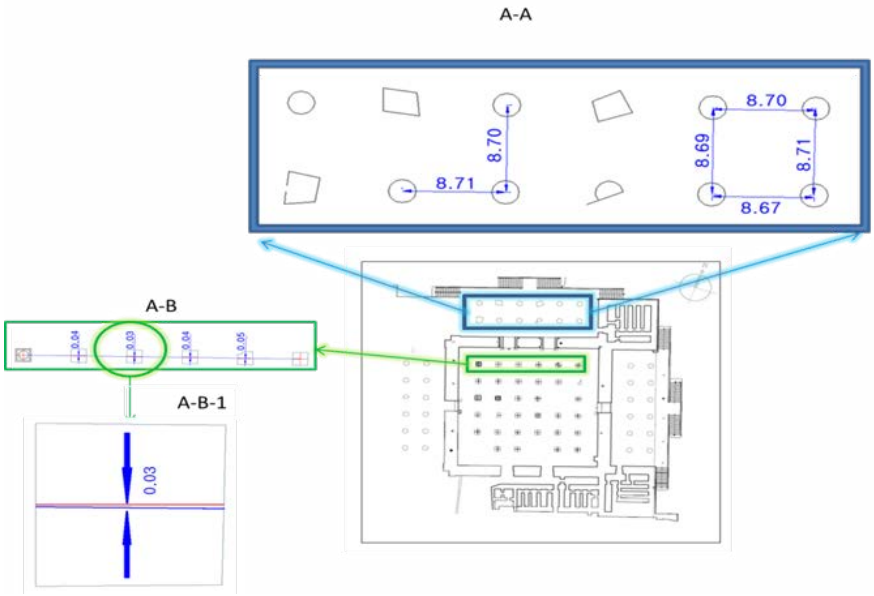
Archive of SID

انسانی و تغییراتی که در گذر زمان حادث شده، در هر فضا برای یک فاصله‌ی مشخص، مثلاً فواصل آکس‌بندی ستون‌های تالار مرکزی با ابعاد متفاوتی روبه‌رو هستیم که گاه تا ۴۰ سانتی‌متر با یکدیگر اختلاف دارند؛ لذا برای هر فاصله‌ی مشخص به یک اندازه‌ی استاندارد نیاز هست تا بتوان برروی آن مطالعه‌ی دقیق‌تری انجام داد. در این ارتباط، تالار مرکزی آپادانا با ۳۶ ستون سنگی زمینه‌ی مناسب‌تری برای مطالعه‌ی فراهم می‌سازد. از آنجا که فاصله‌ی هر ستون با ستون دیگر هم از جنبه‌ی استاتیک و تناسبات معماری بسیار مهم و کلیدی است؛ بنابراین در جاگذاری ستون‌ها از پیمون دقیقی استفاده می‌شده است. علاوه‌بر این بحث، آکس‌بندی در معماری یک موضوع کلیدی و حائز اهمیت است. از آنجا که متأسفانه حوادث گوناگونی چون آتش‌سوزی، زلزله، رانش و غیره منجر به فرسایش لبه‌ی ستون‌ها شده است؛ بنابراین نمی‌توان به فواصل لبه‌ی ستون‌ها نسبت به‌هم اطمینان کرد. در این شرایط قابل‌اعتمادترین ابعاد برای استخراج پیمون، فواصل آکس‌بندی ستون‌ها است. پیش‌تر اشاره کردیم که در این اندازه نیز متأسفانه اختلاف‌هایی دیده می‌شود؛ لذا به معیاری نیاز هست تا به کمک آن میزان انحراف یا تغییر هر ستون از آکس ابتدایی و اصلی خود تعیین شود. از این‌رو در مرحله‌ی اول، ابتدا به ترسیم مجزای آکس هر ستون براساس موقعیت فعلی آن پرداخته شده، سپس خط محوری از مرکز آکس اولین ستون در ردیف افقی تا آکس آخرین ستون در همان ردیف کشیده شده است. این روند در ردیف عمودی نیز انجام شده است. آکس مرکزی به‌صورت فرضی ترسیم شده و در عمل در نقشه وجود ندارد. در مرحله‌ی بعد، میزان انحراف آکس هر ستون (خط قرمز رنگ) نسبت به این خط محوری (خط آبی رنگ) در تمام ردیف‌ها محاسبه شده است. خط آکس‌بندی محوری به‌صورت طبیعی از آکس فعلی هر ستون اندکی فاصله دارد؛ این انحراف در کاخ آپادانا حداقل ۱ میلی‌متر و حداکثر ۹ میلی‌متر است. در مرحله‌ی بعدی به انتخاب دو ردیف برتر در دو جهت عمودی و افقی پرداخته شد. در اینجا معیار برترین ردیف وجود کمترین میزان انحراف آکس مرکزی با آکس هر ستون است. پس از انتخاب دو ردیف برتر در محور افقی و محور عمودی فاصله‌ی موجود بین آکس‌های آن‌ها را به تعداد دهانه‌ی ستون بین آن‌ها تقسیم گردید؛ به‌طور مثال، فاصله‌ی دو آکس‌بندی برتر ردیف عمودی آپادانا، ۱۷۳۵ سانتی‌متر است و تعداد دو دهانه‌ی ستون بین آن‌ها قرار می‌گیرد. بنابراین فاصله‌ی استاندارد احتمالی آکس آپادانا ۸۶۷ سانتی‌متر است. با این نتیجه، آکس‌بندی مجدد کاخ براساس ابعاد استاندارد ۸۶۷ انجام شد.

با این روش ابعاد طول و عرض تالار، فواصل آکس‌بندی تالار و همچنین ایوان‌ها استاندارد و یکسان می‌شود. برای اطمینان از صحت عدد مورد نظر، آکس‌بندی مجدد ستون‌ها براساس ۸۶۷ سانتی‌متر انجام شد. این آکس‌بندی در نقشه تا جایی انجام شده که آخرین ردیف آکس‌ها در دو جهت افقی و عمودی در کنار دیوارهای خشتی و ورودی سنگی (که موقعیت ثابت و مستندتری دارد) قرار بگیرد. در این روش، علاوه‌بر عدد ۸۶۷ سایر اعداد همچون اعداد بین ۸۶۵-۸۶۹ نیز آزموده شد. بهترین نتیجه در آکس‌بندی ۸۶۷ سانتی‌متر است که در کمترین فاصله با دیوارهای آپادانا و ورودی سنگی قرار می‌گیرد. این روش نشان می‌دهد که آکس معرفی شده از جانب

www.SID.ir

Archive of SID



◄ پلان ۱. مراحل بررسی بهترین آکس استاندارد در کاخ آپادانا، مقیاس نقشه ۱:۵۰۰۰۰۰ (نگارندگان، ۱۳۹۶).

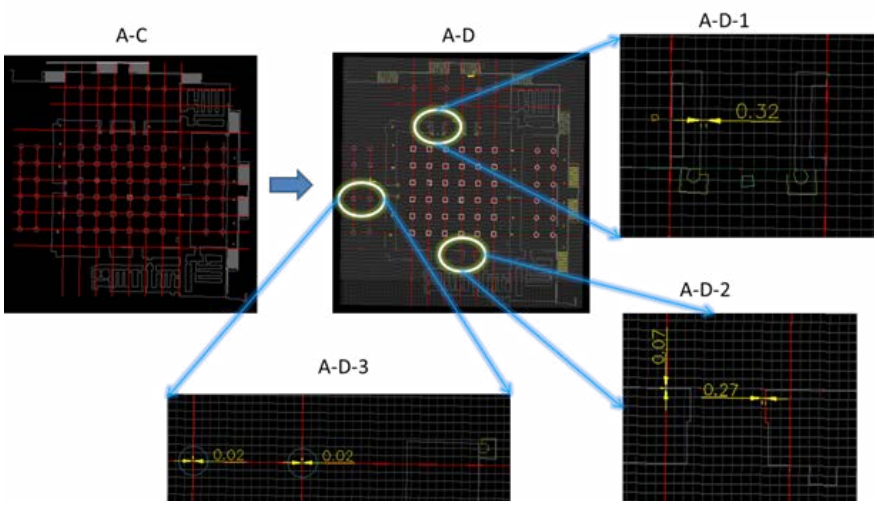
اشمیت، که عدد ۸۶۵ سانتی‌متر است، قابل استناد نمی‌باشد. استفاده از این روش باعث می‌شود تا دو بار عدد استاندارد معرفی‌شده آزموده شود. پس از حصول اطمینان از آکس‌بندی ستون‌ها، تقسیم فضای بین آکس‌ها انجام گرفت (شبکه‌بندی). براساس این روش، عدد ۸۶۷ را به اعدادی بین ۵ تا ۱۰۰ تقسیم شد. نتیجه، سطحی شبکه‌بندی شده است که در آن، هر مربع نقش یک پیمون را ایفا می‌کند. علت انتخاب این بازه‌ی عددی این است که حاصل تقسیم آکس استاندارد موردنظر به عدد ۵ تا ۱۰۰، بیشترین (۱۷۳ سانتی‌متر) و کمترین (۲ سانتی‌متر) پیمون احتمالی را شامل می‌شود؛ چراکه در نظام‌های پیمون پیشین هرگز به واحدی کمتر از ۲ سانتی‌متر و بیشتر از ۷۰ سانتی‌متر اشاره نشده است. نتایج به‌دست آمده از این تقسیم درواقع هر یک پیمونی احتمالی هستند که براساس آن شبکه‌بندی می‌کنیم. پس از ترسیم ۲۹۶ پلان شبکه‌بندی شده، به بررسی میزان انحراف شبکه‌ها از خطوط اصلی پلان و نهایتاً انتخاب بهترین شبکه از نظر بیشترین میزان هم‌پوشانی با پلان پرداخته شد.

ملاک تصمیم‌گیری در اینجا برمبنای بهترین هم‌پوشانی شبکه با پلان و یا کمترین میزان انحراف شبکه‌ها از آکس‌بندی‌های تالار مرکزی، ایوان‌های شرقی و غربی، پایه‌ستون‌ها، طول و عرض ورودی‌ها و ضخامت دیوارها است. نتایج این آنالیز در جدول ۴ ارائه شده‌اند. پس از انتخاب شبکه‌های برتر، به بررسی بهترین پیمون در شبکه‌ها و رتبه‌بندی پیمون‌های حاصل از شبکه‌بندی پلان پرداخته شد. لازم به ذکر است که به‌دلیل تعداد کثیر شبکه‌بندی‌های آپادانا (۲۹۶ پلان شبکه‌بندی شده) و به‌تبع آن نتایج رتبه‌بندی آن در جدول ۴، صرفاً به ارائه‌ی ۱۰ شبکه پرداخته شده است. جدول فوق‌الذکر نشانگر دو شبکه‌ی برتر (ردیف ۱-۲) و ۸ شبکه‌ی دیگر (ردیف ۳-۱۰) است؛ بنابراین عدد رتبه‌بندی در جدول، نشانگر رتبه‌ی آن‌ها در میان کل شبکه‌ها است.

در جدول ۴ در ردیف ۶، حاصل تقسیم آکس استاندارد ۸۶۷ به ۲۶ برابر با عدد ۳۳,۳۴ سانتی‌متر است که حکم پیمون در بنا را دارد؛ بدین‌معنا که ابعاد هر مربع در

www.SID.ir

Archive of SID

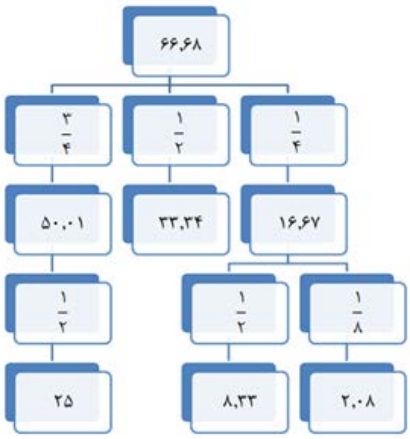


پلان ۲. مراحل آکس‌بندی براساس عدد استاندارد ۸۶۷ سانتی‌متر و بررسی انحراف یکی از برترین شبکه‌ها با تقسیمات ۶۶,۶۸ سانتی‌متری از پلان، (نگارندگان، ۱۳۹۶). ◄

شبکه‌بندی ۳۳,۳۴ سانتی‌متر است. انحراف سایر فضاهای اشاره شده در جدول نیز نسبت به این شبکه‌بندی محاسبه شده است. با توجه به ستون رتبه‌بندی متوجه خواهیم شد که این عدد و همچنین عدد ۶۶,۶۸ به‌ترتیب در رتبه‌ی اول و دوم ۲۹۶ جدول شبکه‌بندی شده قرار دارند. رابطه‌ی عددی بین این دو که دقیقاً یکی، دو برابر دیگری است؛ نشان می‌دهد که بین پیمون‌های استفاده شده در دوره‌ی هخامنشی ارتباط عددی معناداری وجود داشته و این یافته، خلاف مطالعات محققان پیشین چون مایکل رُف و فردریش کرفتر است. پس از تحلیل جدول رتبه‌بندی، به انتخاب پیمون‌های برتر در هر جدول و سپس به بررسی روابط بین آن‌ها و آنالیز عددی آن‌ها پرداخته شد (نمودار ۴).

به‌نظر می‌رسد بین واحدهای نظام پیمون دوره‌ی هخامنشی روابط منطقی وجود داشته است. برای این‌کار، ابتدا دو پیمون برتر در صدر نتایج آنالیز شبکه‌بندی را که بین آن‌ها روابط عددی نیز وجود داشت را مورد مطالعه قرار داده و موفق به کشف روابط عددی فوق‌العاده‌ای در میان آن‌ها شدیم. نظر به‌وجود مقادیر خرده و ثابت در نظام‌های پیمون پیشین همچون اعداد ۴/۱ ۲/۱ و ۴/۳ عدد ۶۶,۶۸ را که احتمالاً واحد پیمون ذراع شاهی هخامنشی است را به این اعداد تقسیم نمودیم؛ سپس اقدام به بررسی روابط عددی بین پیمون به‌دست آمده، شد. نمودار ۴، نشانگر چگونگی برقراری ارتباط بین پیمون‌های برتر و استخراج سایر پیمون‌ها از پیمون ذراع شاهی آپادانا (۶۶,۶۸ سانتی‌متر) را نشان می‌دهد؛ به‌طور مثال، در این جدول، بزرگ‌ترین عدد ۶۶,۶۸ سانتی‌متر است. با تقسیم آن به مقادیر خردی که پیش‌تر بدان اشاره شد به اعدادی می‌رسیم که پیمون‌های ریزتر و احتمالی هخامنشی هستند.

این تقسیمات خرد تا اندازه‌ای ادامه پیدا می‌کند که ریزترین مقدار ممکن در پیمون حاصل شود. اعدادی که از این تقسیمات به‌دست می‌آیند، در پلان‌های شبکه‌بندی شده نیز وجود دارند و نسبت به سایر اعداد از برتری نسبی برخوردار هستند؛ بنابراین نتایج محاسبات عددی انجام شده نه‌تنها در راستای نتایج جداول شبکه‌بندی است، بلکه بسیاری از اعدادی را که در شبکه‌ها چندان برجسته و گویا نیستند را نیز برای ما روشن می‌کند.



▲ جدول ۴. نتایج آنالیز شبکه‌بندی در کاخ آپادانا بر حسب سانتی‌متر (نگارندگان، ۱۳۹۶).

www.SID.ir

Archive of SID

◄جدول ۴. نتایج آنالیز شبکه‌بندی در کاخ آپادانا بر حسب سانتی متر (نگارندگان، ۱۳۹۶).

ردیف	تقسیمات درون آکسی	پیمون احتمالی	انحراف آکس ایوان شمالی از شبکه	انحراف آکس ایوان شرقی از شبکه	انحراف آکس ایوان غربی از شبکه	انحراف ورودی‌های شرقی و غربی از شبکه	انحراف ورودی‌های شمالی و جنوبی از شبکه	انحراف دیوارهای شرقی و غربی از شبکه	انحراف دیوارهای شمالی و جنوبی از شبکه	رتبه‌بندی بهترین شبکه
۱	۶	۱۴۴،۰۵	۴۷	۴۲	۴۷	۱۹-۲۲	۴۴-۴۸	۳۲-۱۹	۴۴-۴۰	۱۰
۲	۹	۹۶،۳۳	۴۸	۴۷	۴۷	۱۵-۱۹	۱۹-۲۶	۴-۹	۴۳-۴	۹
۳	۱۳	۶۶،۶۸	۲	۲	۳	۲۲-۲۴	۳۲-۳	۲۴-۱۷	۱mm-۴	۲
۴	۱۷	۵۱	۲۰	۲۲	۲۳	۱۲-۱۵	۱۵-۲۴	۱۸-۱۰	۲۵-۲۳	۷
۵	۲۴	۳۶،۱۲	۱۱	۶	۱۱	۱۳-۱۵	۸-۱۸	۱۰-۶	۳-۵	۵
۶	۲۶	۳۳،۳۴	۲	۲	۱-۳	۱-۳	۹-۹	۶-۱۷	۹-۲۵	۱
۷	۲۷	۳۲،۱۱	۱۵	۹	۱۶	۱۳-۱۵	۲۲-۱۵	۱۴-۱۵	۴-۳	۶
۸	۲۹	۲۹،۸۹	۷	۲	۷	۱۵-۱۲	۱-۴	۸-۸	۱۰-۱۵	۳
۹	۳۰	۲۸،۰۹	۱۸	۱۳	۱۰	۹-۶	۵-۳	۵-۶	۳-۵	۸
۱۰	۳۲	۲۷،۰۹	۱۰	۱۱	۵	۱۳-۱۲	۱۸-۱۶	۸-۹	۲۲-۱۲	۴

اعداد به‌دست آمده از نمودار بالا هر کدام یک پیمون احتمالی محسوب می‌شوند که در جدول ۱-۵ معرفی و نام‌گذاری شده‌اند. لازم به ذکر است که مبنای نام‌گذاری هر کدام از پیمون‌ها، مقایسه‌ی اعداد به‌دست آمده با پیمون‌های شناخته‌شده در تمدن‌های دیگر است. در آخر، برای حصول اطمینان از صحت این پیمون‌ها به بررسی آن‌ها برروی پلان پرداختیم. در این مرحله، ابعاد کلیدی پلان با پیمون‌های احتمالی مورد آزمایش قرار داده شد. در پلان ۳، مشاهده می‌شود که هر پیمون به سیستم متریک امروزی، برروی پلان، معادل چه مقدار پیمون هخامنشی است. لازم به ذکر است که با توجه به فاکتورهای خطای احتمالی در پلان، طبیعی است که هیچ پیمونی دقیقاً برابر واحد متریک امروزی آن نخواهد بود، مگر در شرایطی که ابعاد لزوماً با اندازه‌های اولیه‌ی خود باقی‌مانده باشند که این امر تقریباً غیرممکن به‌نظر می‌رسد. در نتیجه نیازمند درنظر گرفتن مقداری از خطا به‌صورت مجاز هستیم. این خطا در کل روند تحقیقات برابر با عدد ±۵ است؛ لازم به ذکر است که این مقدار خطا در مطالعات پیشین محققان در تخت‌جمشید ±۲۵ است. بنابراین هر مقدار خطا کمتر از ±۵ کاملاً غیرممکن و غیرموجه به‌نظر می‌رسد؛ به‌طور مثال در پلان 4-4A-A می‌بینیم که حاصل تقسیم طول ورودی شمالی تالار آپادانا به پیمون پای شاهی برابر با مقادیر ذیل است:

$$\frac{527}{33.34} = 15.80 \approx 15\frac{3}{4}$$

بدین‌صورت هرگونه خطای مجاز که در روند آزمایش پیمون برروی ابعاد کلیدی پلان رویت می‌شود با علامت * نشان داده می شود (پلان ۴، A-A). از این علامت برای نشان دادن ابعاد پرخطا هم در جداول و هم برروی پلان استفاده شده است.

در جدول ۶ و پلان ۳، سایر ابعاد متریک موجود در کاخ آپادانا و معادل پیمون هخامنشی آن بررسی شده است. لازم به ذکر است که نتایج نشان می‌دهد که پیمون معرفی شده در آپادانا با تمامی اندازه‌های کلیدی پلان مطابقت دارد. این میزان همپوشانی پیمون با نقشه‌ی بدون‌شک بی‌نظیر است؛ چراکه در تحقیقات پیشین توسط مایکل رُف، پیمون‌های ارائه شده تنها برروی ۶ عدد کلیدی پلان آپادانا آزموده

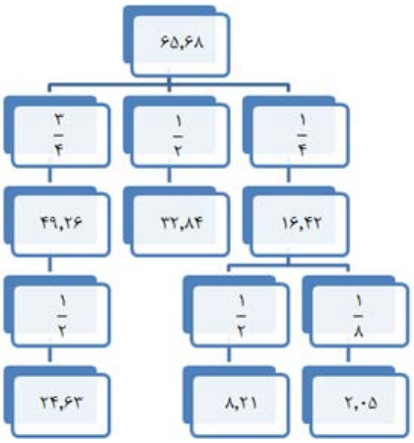
www.SID.ir

Archive of SID

شده‌اند. اما در تحقیق حاضر، ابعاد بر روی ۱۲ نقطه‌ی نقشه مورد آزمایش قرار گرفته و در جدول ۴ ارائه شده‌اند؛ بنابراین پیمون‌های معرفی‌شده در جدول مذکور مورد تائید قرار می‌گیرد.

بررسی نظام پیمون در کاخ صدستون

کاخ صدستون پس از آپادانا، دومین تالار بزرگی است که ساخت آن در زمان خشایارشا آغاز و در دوره‌ی اردشیر یکم به پایان رسیده است. هسته‌ی مرکزی این بنا یک تالار ستوندار به وسعت ۶۸,۶۳×۶۸۷۱ سانتی‌متر با ۱۰ ردیف ستون ۱۰تایی است. طول این تالار حدوداً ۸ متر از کاخ آپادانا بیشتر است. در این کاخ، ازاره‌ی دیوارها به ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر از سنگ مرمر سیاه بوده است. تمامی مراحل صورت‌گرفته جهت رسیدن به ابعاد یکسان و قابل‌اطمینان در آکس‌بندی ستون‌های تالار مرکزی که پیش‌تر به تفصیل در کاخ آپادانا شرح داده شد، در این کاخ نیز صورت گرفته است (نمودار۱). در کاخ صدستون پس از حصول به آکس استاندارد ۶۲۴ سانتی استاندارد به تقسیمات درون‌آکسی پرداخته شد. این تقسیمات در بازه‌ی عددی بین ۵ تا ۵۷ صورت گرفت. پس از بررسی میزان انحراف شبکه‌ها از پلان به انتخاب بهترین شبکه پرداخته شد. بهترین عدد در نتایج آنالیز شبکه‌بندی ۳۲,۸۴ سانتی‌متر است؛ بنابراین به استخراج پیمون از این عدد و بررسی روابط عددی بین پیمون‌های احتمالی کاخ صدستون پرداخته شد. در نمودار ۵ به معرفی پیمون‌های احتمالی مستخرج از عدد فوق‌الذکر و بررسی روابط عددی آن‌ها پرداخته شد. همچنین پس از آزمایش پیمون‌های احتمالی برروی ابعاد کلیدی پلان (پلان ۴) و تأیید آن، به معرفی نظام پیمون در کاخ صدستون پرداخته شد (جدول ۷). لازم به ذکر است که پیمون معرفی‌شده در کاخ صدستون دارای حداکثر اختلاف ۳ میلی‌متر با پیمون آپادانا است که از نظر محاسباتی، نشانگر دقت بالای شبکه‌بندی‌ها است.



▲ نمودار ۵. ارتباط عددی بین پیمون‌های هخامنشی براساس آکس ۶۲۴ سانتی‌متر در کاخ صدستون، ابعاد بر حسب سانتی‌متر (نگارندگان، ۱۳۹۶).

استفاده از شبکه‌بندی در کاخ‌های آپادانا و صدستون

کاخ آپادانا به‌عنوان اولین نمونه‌ی مورد بررسی، داده‌های بسیار ارزشمندی را نشان

جدول ۵. معرفی پیمون‌های هخامنشی در کاخ آپادانا (نگارندگان، ۱۳۹۶). ◄

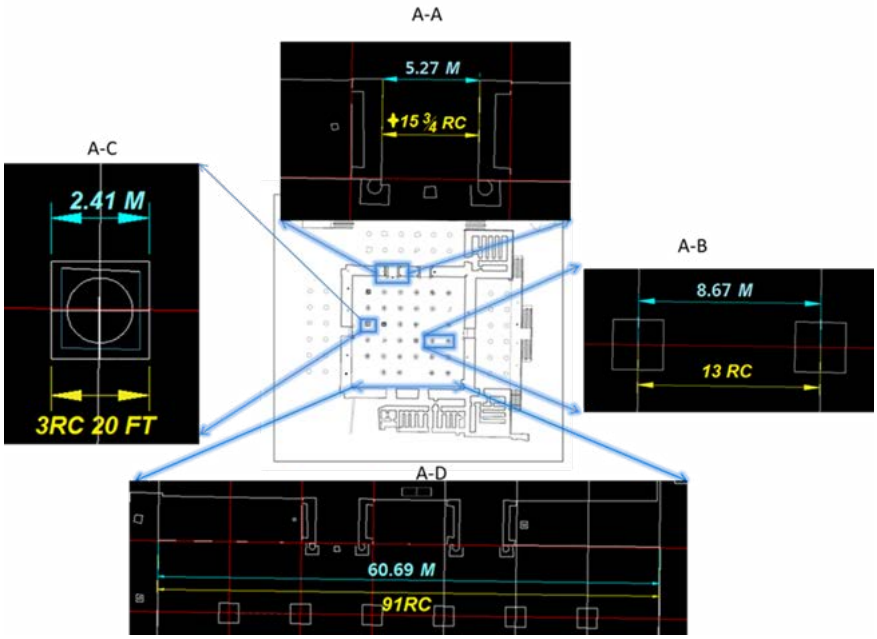
پیمون هخامنشی	معادل انگلیسی	معادل پیمون به سانتی متر
ذراع شاهی	*Royal cubit*	۶۶,۶۸ *cm*
ذراع	*Cubit*	۵۰,۰۱ *cm*
پا	*Foot*	۳۳,۳۴ *cm*
وجب شاهی	*Royal Span*	۲۵ *cm*
وجب	*Span*	۱۶,۶۷ *cm*
کف دست	*Palm*	۸,۳۲ *cm*
انگشت	*Finger*	۲,۰۸ *cm*

www.SID.ir

Archive of SID

ردیف	فضاهای کاخ آپادانا	اندازه به سانتی‌متر	معادل به پیمون هخامنشی
1	فاصله‌ی بین آکس ستون	۸۶۷	۱۳ *RC*
2	فاصله‌ی بین ستون‌های تالار	۶۲۵	۱ *S* و ۱۲*C*
3	پایه‌ستون	۲۴۱	۱ *P* و ۷ *FT*
4	طول تالار	۶۰۶۹	۹۱ *RC*
5	فاصله‌ی بین ستون‌های ایوان‌ها	۶۳۳	۱*FT* و ۹*RC*
6	عرض ایوان شرقی	۱۹۵۹	۱ *S* و ۲۹*RC*
7	طول ایوان شرقی	۵۹۶۵	۱*FT* و ۸۹*RC*
8	عرض ایوان شمالی	۱۹۷۳	۳ *F* و ۱*FT* و ۲۹*RC*
9	طول ایوان شمالی	۵۹۸۳	۱*C* و ۸۹*RC*
10	عرض پله شرقی	۴۹۱	۱*P* و ۱۴*FT*
11	عرض پله شمالی	۴۹۳	۱*P* و ۱۴*FT*

◄ **جدول ۶. بررسی ابعاد کلیدی آپادانا براساس پیمون هخامنشی (RC ذراع شاهی)، (C ذراع)، (Ft پا)، (P کف دست)، (S وجب)، (نگارندگان، ۱۳۹۶).**

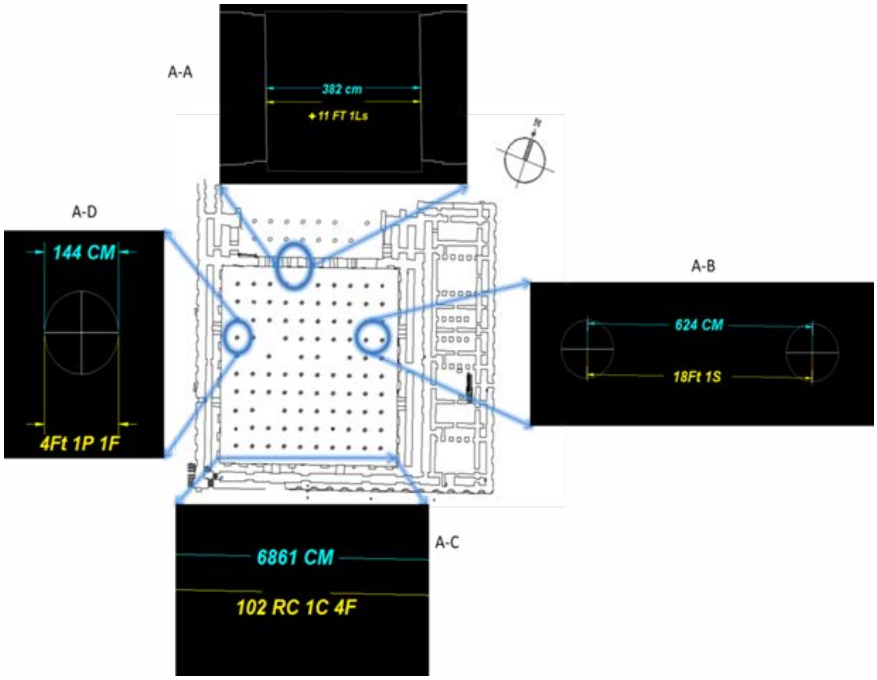


◄ **پلان ۳. بررسی ابعاد کلیدی کاخ آپادانا با دو نظام متریک (خطوط آبی) و پیمون هخامنشی (خط زرد)، (RC ذراع شاهی)، (Ft پا)، (نگارندگان، ۱۳۹۶).**

می‌دهد. شبکه‌بندی منتخب صورت‌گرفته در این کاخ از دقت بسیار بالایی برخوردار است، به‌نحوی که با بررسی آن می‌توان به شبکه‌بندی اولیه‌ی معمار دوره‌ی هخامنشی دست‌یافت. این شبکه ۳۳,۳۴ سانتی‌متری با همپوشانی فوق‌العاده‌ی آن ما را از وجود شبکه‌بندی در طراحی و ترسیم پلان‌های معماری در دوره‌ی هخامنشی آگاه می‌کند و پیشینه‌ی استفاده از شبکه‌بندی را به پیش از دوره‌های اسلامی در تاریخ معماری ایران برمی‌گرداند. با دقت در این شبکه‌بندی‌ها متوجه خطوط اصلی بنا خواهیم شد که اندکی از محور اصلی خارج شده‌اند که این مسأله می‌تواند نتیجه‌ی خطای اجرا، مرمت و بازسازی نادرست باشد. همپوشانی شبکه‌بندی فوق‌الذکر با خطوط اصلی بنا به‌قدری زیاد است که اگر نقشه‌ی آپادانا به‌صورت مجزا به کمک

www.SID.ir

Archive of SID



پلان ۴. بررسی ابعاد کلیدی کاخ صدستون با دو نظام متریک (خطوط آبی) و پیمون هخامنشی (خط زرد)، (RC ذراع شاهی)، (Ft پا)، (نگارندگان، ۱۳۹۶). ◄

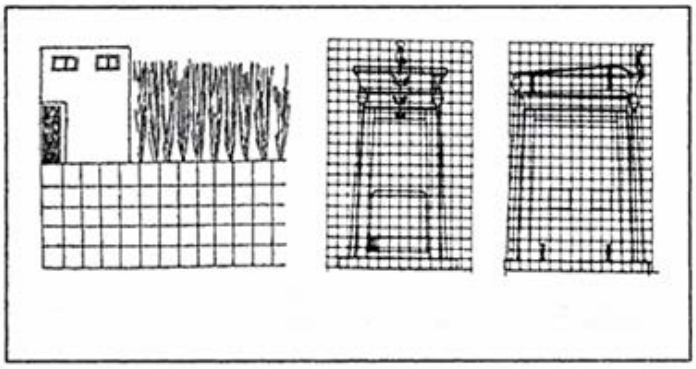
جدول ۷. مقایسه پیمون کاخ آپادانا و صدستون (نگارندگان، ۱۳۹۶). ◄

نام پیمون	کاخ آپادانا	کاخ صدستون
ذراع شاهی	۶۶٫۶۸ *cm*	۶۶٫۷۰ *cm*
ذراع	۵۰٫۰۱ *cm*	۵۰٫۰۲ *cm*
پا	۳۳٫۰۴ *cm*	۳۳٫۳۵ *cm*
وجب	۲۵ *cm*	۲۵٫۰۱ *cm*
وجب کوچک	۱۶٫۶۷ *cm*	۱۶٫۶۷ *cm*
کف دست	۸٫۳۲ *cm*	۸٫۳۳ *cm*
انگشت	۲٫۰۸ *cm*	۲٫۰۸ *cm*

شبکه‌بندی ترسیم شود و برروی پلان فعلی قرار داده شود، تا حدودی زیادی برهم منطبق خواهند شد. لازم به ذکر است که در بخش‌های خشتی که هیچ‌گونه شواهد و مدارک کافی جهت استانداردسازی ابعاد وجود نداشت، هیچ اقدامی در راستای اعمال تغییر در ابعاد و اندازه‌ها صورت نگرفت. با این حال، دیوارهای خشتی نیز تاحدی زیادی بر شبکه‌بندی فوق‌الذکر منطبق است؛ لذا می‌توان ادعا کرد معمار هخامنشی از صفحات شبکه‌بندی که هر مربع آن حکم یک پیمون داشته، برای طراحی کاخ‌ها استفاده نموده است. این‌کار مزایای بسیاری ازجمله تسهیل تبدیل مقیاس، تخمین ابعاد و اندازه‌های نقشه و همچنین تسهیل ترسیم و قرینه‌سازی نقشه را به‌دنبال دارد. استفاده از این شبکه های شطرنجی در طراحی فضای معماری در مصر بسیار رایج

www.SID.ir

بوده است (Robins & Fowler, 1994: 49). همچنین احتمال دارد شبکه‌بندی‌های دوره‌ی اسلامی (روزبهانی و رایتی‌مقدم، ۱۳۹۲: ۵۹) تداوم نمونه‌های دوره‌ی قبل از اسلام باشند. تاکنون هیچ‌گونه مطالعه‌ای درخصوص استفاده از شبکه‌بندی در معماری پیش از هخامنشی صورت نگرفته است؛ با این‌حال، این احتمال وجود دارد که معماران هخامنشی در این زمینه از تجارب معماران مصری استفاده کرده باشند. استفاده از شبکه‌بندی در مصر هم در بحث معماری و هم تزیینات معماری رواج گسترده‌ای داشته است (Chyutin, 2006: 212)، (شکل ۳).



◄ شکل ۳. استفاده از شبکه‌های شطرنجی مدولار در مساحی زمین اطراف معبد در پاپیروس گوروب (Chyutin, 2006: 212).

استفاده از پیمون خشتی در معماری هخامنشی

نکته‌ی قابل‌ملاحظه دیگری که در مورد پیمون کاخ آپادانا مشاهده شد، استفاده از خشت یا آجرهای استاندارد به ابعاد ۱۳×۳۳×۳۳ سانتی‌متر است (Schmidt, 1970: 72). این مسئله درحالی‌ست که طول و عرض خشت‌های مذکور براساس یک پیمون پا در این دو کاخ، یعنی ۳۳,۳۴ سانتی‌متر است. بدین‌معنا که تنها هر خشت ۳ میلی‌متر با پیمون معرفی پا معرفی شده اختلاف دارد و این مسئله با توجه به خشتی بودن این گونه مصالح، طبیعی است. خشتی بودن تمام دیوارهای آپادانا و صدستون و از طرفی دیگر، یکسان بودن هر خشت با ابعاد پیمون، فرض انطباق پیمون مورد استفاده با ابعاد خشت‌های استاندارد این دوره در این دو کاخ را ایجاد می‌کند. استفاده از پیمون خشتی بدین‌معناست که معمار به هنگام طراحی یک فضا ابتدا ابعاد خشت‌ها را درنظر می‌گیرد و سپس براساس آن ضخامت متوسط ملاط را محاسبه کرده و به محاسبه‌ی ابعاد بنا می‌پردازد. در صورتی‌که این روند در معماری فاقد پیمون خشتی، بلعکس بوده است؛ چراکه معمار ابتدا ابعاد را محاسبه می‌کند و سپس براساس آن به انتخاب مصالح سازگار با ابعاد می‌پردازد.

در صورتی‌که پیمون مورد استفاده در معماری هخامنشی خشتی بوده باشد و هر خشت براساس ابعاد استاندارد یک پیمون معین ساخته شده باشد؛ در این‌صورت، این امکان برای معماران فراهم می‌شود تا ابعاد یک پروژه‌ی ساختمانی را با شمارش آجرها و بدون استفاده از میله‌ی اندازه‌گیری مشخص کنند. پیشینه‌ی استفاده از این نظام در معماری بابل و محوطه‌ی ای-سگیل دیده شده است (George, 1995: 176). با توجه به این‌که ساخت آجرها و احتمالاً خشت‌های هخامنشی شوش توسط بابلی‌ها انجام‌گرفته (Briant, 2002: 172)، می‌توان احتمال داد نظام پیمون خشتی

www.SID.ir

Archive of SID

بابل برروی نظام معماری هخامنشی تأثیر گذاشته باشد. البته نَه در اندازه و ابعاد، چراکه یافته‌های دیگر نشان می‌دهد که مقادیر واحدهای پیمون هخامنشی متأثر از نظام پیمون یونانی است (جدول ۸)؛ بنابراین نظام پیمون تخت‌جمشید متأثر از نظام‌های مصری، بابلی و یونانی و انطباق آن‌ها با شرایط ویژه‌ی معماری فلات ایران است.

جدول ۸. مقایسه‌ی نظام پیمون در تخت‌جمشید با سایر نظام‌های پیمون بر حسب سانتی‌متر (نگارندگان، ۱۳۹۶). ◄

واحد پیمون	سومر و اکد	بابل	آشور	مصر	یونان	هخامنشی (پیمون بزرگ)	هخامنشی (پیمون خرد)
ذراع شاهی	--------	۶۲-۶۲,۷۵	۶۴,۱۶-۶۴	۵۲,۳۶-۵۷	-----	۶۶,۶۸-۶۶,۷	۶۱,۱۸-۶۱,۷۲
ذراع	۵۰	۵۰-۵۰,۱	۴-۴۹-۶۱,۷۷	۴۵-۵۱,۸	۴۵-۴۶,۳	۵۰,۰۱-۵۰,۰۲	۴۵,۸۸-۴۶,۲۹
پا	--------	--------	۳۲,۸۹-۲۹,۹۷	(؟)۹	۲۹,۹-۳۰,۸	۳۳,۳۵-۳۳,۳۴	۳۰,۸۶-۳۰,۵۹
وجب	--------	--------	۲۷,۴۰	۲۵	۲۳,۱-۲۳,۰۴	۲۵-۲۵,۰۱	۲۲,۹۴-۲۳,۱۴
وجب کوچک	--------	--------	--------	۲۲,۵-۲۶,۱۸	۱۵,۴	۱۶,۶۷	۱۵,۲۹-۱۵,۴۳
کف دست	--------	--------	۸,۰۲	۷,۵	۷,۷	۸,۳۳	۷,۶۴-۷,۷۱
انگشت	۱,۶۷	۱,۷-۲	۲,۵۶-۲,۷۱	۱,۸-۱,۹۳	۱,۹	۲,۰۸	۱,۹۱-۱,۹۲

بررسی تفاوت پیمون رایج در کاخ‌های آپادانا و صدستون

از دیگر یافته‌ی ارزشمند این پژوهش، شناخت تفاوت‌های موجود میان پیمون‌های رایج در کاخ‌های آپادانا و صدستون است. در کاخ صدستون، بهترین پیمون به‌دست آمده با توجه به شرایط کنونی، تنها ۳ میلی‌متر با پیمون کاخ آپادانا اختلاف دارد. با این‌حال، در این زمینه تفاوت‌هایی نیز وجود دارد؛ به‌طور مثال، در کاخ صدستون باوجود استفاده از پیمون بزرگ، شاهد کاهش استفاده از پیمون ذراع شاهی هستیم. باتوجه به این کاخ صدستون حدود ۲۰ سال بعد از آپادانا (که البته فاصله‌ی زمانی زیادی نیست) ساخته شده، اختلاف موجود می‌توان ناشی از این مسأله باشد که بعد از دوره‌ی داریوش اول استفاده از واحد ذراع شاهی در کاخ صدستون کنار گذاشته شده و به‌جای آن از واحد ذراع استفاده شده است. این تغییر می‌تواند بازتابی از افول تدریجی معماری هخامنشی باشد که با کاهش در مقادیر پیمون همراه شده است. این فرضیه را، کاهش دقت معماران هخامنشی در استانداردسازی ابعاد کاخ صدستون و نوسانات آشکار آن تأیید می‌کنند؛ همچنین افزایش میزان انحراف توجیه‌ناپذیر آکس ستون‌ها می‌تواند نمونه‌ی دیگری از کاهش دقت در این دوره باشد. فرضیه‌ی دیگر، می‌تواند بومی‌سازی نظام معماری دوره‌ی خشیارشاه و اردشیر اول و عدم حضور استادکاران یونانی باشد که در دوره‌ی داریوش اول به‌کار گماشته شده بودند. در دوره‌ی خشایارشا و اردشیر، در کتیبه‌ها دیگر ذکری از معماران و استادکاران غیرایرانی دیده نمی‌شود.

نتیجه‌گیری

استفاده از پیمون به‌عنوان وسیله‌ای جهت تنظیم ابعاد، اندازه‌ها و هندسه به‌عنوان راهنمای معمار در تأمین تناسبات بنا همواره در معماری نقشی تعیین‌کننده دارد که به‌نظر می‌رسد به دو صورت پیمون بزرگ و کوچک در معماری هخامنشی مورد استفاده قرار می‌گرفته است.

www.SID.ir

استفاده از پیمون بزرگ در نظام معماری هخامنشی در تخت‌جمشید و در کاخ آپادانا و صدستون با توجه به کاربری عمومی یا تالار بارعام آن‌ها، به تبعیت نظام پیمون هخامنشی از کاربری فضا اشاره دارد و پیشینه‌ی نظام‌های پیمون بزرگ و خرد دوره‌ی اسلامی را قطعاً به بازه‌ای متقدم‌تر می‌رساند؛ همچنین نظام پیمون در معماری تخت‌جمشید، سنتی ترکیبی از پیمون خشتی بابلی و واحدهای اندازه‌گیری یونانی است. این نظام به کمک روش شبکه‌بندی مصری برروی پلان اجرا شده است؛ بنابراین آنچه در تخت‌جمشید دیده می‌شود، سنتی کاملاً ترکیبی اما مستقل از سایر نظام‌های پیمون است. شایان ذکر است که نظام پیمون مدونی که در دوره‌ی اسلامی دیده می‌شود پیشینه‌ای بسیار غنی در معماری ایران داشته است و به‌نظر می‌رسد محصول سال‌ها تجارب معماران ایرانی است.

لازم به ذکر است که نتایج این تحقیق، هرگونه مطالعات پیشین در زمینه‌ی پیمون هخامنشی توسط مایکل رف و فردریش کرفتر را مردود می‌شمارد؛ هرچند مراحل مطالعاتی صورت‌گرفته توسط این محققان بسیار ارزشمند است. دو محقق فوق‌الذکر در تحقیقات خود، هرگز اشاره‌ای به پیمون بزرگ و خرد نکرده و تنها به ارائه‌ی تعدادی از پیمون‌های هخامنشی پرداخته‌اند. همچنین هر دو پژوهشگر اشاره کرده‌اند که پیمون‌های هخامنشی فاقد ارتباط عددی با یکدیگر هستند که این مسئله با داده‌های پژوهش حاضر قابل‌مقایسه نیست.

پی‌نوشت

۱. با تشکر از بنیاد پژوهشی پارسه-پاسارگاد که نقشه‌های خود را در اختیار نویسندگان قرار داده و نهایت همکاری و مساعدت لازم را به‌عمل آوردند.

2. Unger Eckhard
3. Hesse

کتابنامه

- بمانیان، محمدرضا، ۱۳۸۱، «مقدمه‌ای بر نقش و کاربرد پیمون در معماری ایرانی». مجله هنر و معماری: مدرس هنر، شماره‌ی اول، صص: ۱۰-۱.
- بمانیان، محمدرضا؛ اخوت، هانیه؛ و بقایی، پرهام، ۱۳۸۹، کاربرد هندسه و تناسبات در معماری. تهران: انتشارات نشر هله.
- رف، مایکل، ۱۳۸۱، نقش برجسته‌ها و حجاران تخت‌جمشید. ترجمه‌ی هوشنگ غیاثی، تهران: انتشارات گنجینه هنر.
- روزبهانی، زهره؛ و رایتی‌مقدم، حسین، ۱۳۹۲، «بربست و طرح‌ریزی معماری در ایران براساس آموزه های محمدکریم پیرنیا». اثر، شماره‌ی ۶۰، صص: ۵۵-۶۸.
- فلاحت، محمدصادق؛ محمدی، حسین، ۱۳۹۰، «از پیمون در معماری سنتی تا مدولارسازی در سازه‌های فضاکار». مجموعه مقالات سومین کنفرانس ملی سازه‌های فضاکار، تهران: صص: ۹-۱.
- گرشوییچ، ایلیا، ۱۳۹۰، تاریخ کمبریج: تاریخ ایران دوره‌ی ماد. تهران: انتشارات جامی، چاپ دوم.

www.SID.ir

Archive of SID

- کرفتر، فردریش، ۱۳۸۸، طرح‌های بازسازی تخت‌جمشید. فرانک بحرالعلومی، تهران: میراث‌فرهنگی، بنیاد پژوهشی پارسه-پاسارگاد.

- Babin, C. S., 1891, "Note sur la M'etrologie et les proportions dans les monuments Achéménid de la perse". *Revue Archéologiue* (20): 80-105.

- Bertman, S., 2005, *Handbook to Life in Ancient Mesopotamia: Facts on File Library of world history*. Newyork, OUP USA publication.

- Briant, P., 2002, F*rom Cyrus to Alexander: A history of the Persian Empire.* volume I, United states of America, Eisenbrauns,.

- Chyutin, M., 2006, *Architecture and Utopia in the Temple Era*. London, T & T Clark.

- Clarke, S. & Engelbach, R., 1930, *Ancient Egyptian construction and Architecture*. New York, Dover Publications.

- George, A. R., 1995, "the bricks of E-Sagil". *Iraq*, Vol. 57: 173-197.

- Harris, C. M., 2006, *The dictionary of architecture and construction, United States.* McGraw-Hill publication, fourth edition.

- Herz-Fischer, R., 2000, *The shape of the great Pyramid*. Ontario,Wilfrid Lourier university press.

- Høyrup, J., 2010, *Length, Width, Surfaces: A portrait of old Babylonian Algebra and its kin*. New York, Springer New York.

- Jones, A. T., 2004, *Empire of Bible*. Fort Oglethorpe, Teach services INC.

- Kleiner, S. F., 2015, *Gardner's art through the ages: A global History*. Boston ,Cengage Learning Publications.

- Roaf, M. 1978, "Persepolitan Metrology". *Iran*, 16: 67-78.

- Robins, G., & Fowler, S. A., 1994, *Proportions and Style in Ancient Egyptian Art*. Texas, University of Texas Press.

- Robson, E., 2000, Mathematics across cultures: "The history of non-western mathematics". Selin. H. (ed), *The uses of mathematics in ancient Iraq:6000-600 B.C.,* Dordrecht, Kliwer academic publishers (2): 93-113.

- Schmidt, F., 1970, *Persepolis I: Structures, reliefs and inscriptions*. Chicago, Oriental University of Chicago press.

www.SID.ir