

بررسی نظام پیمون در معماری هخامنشی: مطالعه‌ی موردی کاخ آپادانا و صد ستون^۱

فاطمه جوانمردی^I، کاظم ملازاده^{II}، صاحب محمدیان منصور^{III}

شناسه‌ی دیجیتالی (DOI): 10.22084/mbs.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 تکیه بر میراث سایر تمدن‌های باستان، به ترکیبی نوین و پیشرفته در استفاده از پیمون دست یافت که پیش از آن، هرگز مشاهده نشده بود؛ و آن مشتمل بر استفاده از شبکه بندی پنهان و خشت به عنوان 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 بر روی مطالعه‌ی روشمند نظام پیمون در معماری هخامنشی تخت جمشید است. روش تحقیق این پژوهش توصیفی 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 متلب 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 رایج در دو کاخ آپادانا و صد ستون 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) شکل گرفته است؛ همچنین، این نظام تحت تأثیر 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 تخت جمشید سنتی ترکیبی از پیمون خشتی بابلی و واحدهای اندازه‌گیری یونانی است. این نظام به کمک روش شبکه بندی مصری بر روی 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، شبکه بندی، تخت جمشید، کاخ آپادانا، صد ستون.

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

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. از جمله چهارچوب‌ها و ضوابط تعیین‌کننده‌ی معماری، می‌توان به هندسه، تناسبات و نظام پیمون اشاره کرد که در مجموع، اساس معماری هر سرزمین را شکل می‌دهد. از این میان «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 تخت جمشید (دو کاخ آپادانا و صدستون) هدف این پژوهش قرار گرفت و در آن، تلاش شده 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 در نهایت 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 به نام «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 به هم پیوند می‌خورند؛ همچنین پیمون به اندازه‌ی معین و مقیاس مشخصی گفته می‌شود که در طرح تکرار می‌شود (فلاح 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،

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 جزئیات 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 به کار می‌رفت و در نظام ساختمان سازی 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 در نمی‌آمد 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، به تقریب از عصر رنسانس به بعد 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 به دست آمده 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 دست یافت.

پیشینه‌ی استفاده از پیمون و واحدهای اندازه‌گیری

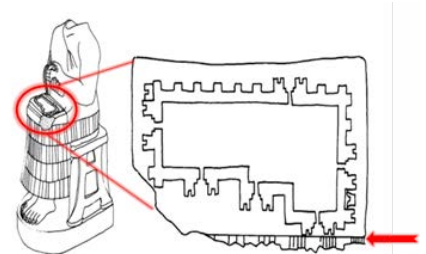
استفاده از ابزارهای اندازه‌گیری در معماری سابقه‌ی طولانی دارد. ابزارهای اندازه‌گیری در: سومر، مصر، آشور، هند، یونان و ایران مورد استفاده بوده، اما مشخص نیست که این نظام نخستین بار در کدام منطقه مورد استفاده قرار گرفته است. بسیاری از پژوهشگران اتفاق نظر دارند که تقریباً در تمام ساختمان‌های باستانی از واحدهای غیر متریک چون ذراع، پا و کف دست استفاده شده است (Lelgemann, 2004: 2). این واحدهای طولی به ترتیب 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 (Sergre, 1994: 74). براساس شواهد موجود، قدیمی‌ترین مورد استفاده از واحدهای اندازه‌گیری استاندارد در

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 استانداردهای سازی شده و در مناطق مختلف رواج پیدا کرد (Bertman, 2005: 257). در سال ۱۹۱۶ م. «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 استاندارد 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 آن را از نخستین ابزارهای اندازه‌گیری طول که تاکنون به دست آمده، دانست.

علاوه بر نمونه‌ی نیپور بر روی مجسمه‌ی گودآ در لاگاش نیز شاخص اندازه‌گیری دیگری به دست آمده که متعلق به ۲۱۰۰ ق. م. است (Lelgemann, 2004: 2). بر روی 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؛ به طور 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 به همراه 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 حفاصل سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۴۵ م.، باستان‌شناسان در خانه‌ی F نیپور به کتیبه‌های بابل قدیم دست یافتند 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.



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 مورد استفاده در معابد به توازن،

▲ 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).

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

واحدهای اندازه‌گیری	پژوهشگران			
	(Sergré, 1994: 74)	(Sergré, 1994: 74)	(Høyrup, 2001: 17)	(Jones, 2004: 320)
	سومر	اکد	بابل	آشور
دانه‌ی جو	۲,۸mm	mm ۲,۸	—	—
انگشت	۱,۶۷mm	۱,۶۷mm	۲ cm	۲ cm
پا	—	—	—	۳۲,۸۹ cm
ذراع کوچک	۵۰ cm	۵۰ cm	—	—
ذراع	—	—	۵۰ cm	۵۴,۸۳ cm
ذراع بزرگ (شاهی)	—	—	—	—
میله‌ی اندازه‌گیری	۶m	۶ m	۶m	—
دسته (گروه)	۱۰,۸ km	۱۰,۸ km	۱۰,۸ km	—

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

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

تقارن و نسبت‌های ایده‌آل بدن انسان بسیار توجه می‌کردند؛ در نتیجه استفاده از شبکه‌های مشتمل بر مربع‌های متقارن، هنرمند را در رسیدن به این ایده‌آل‌ها کمک می‌کرد. این شبکه‌ها علاوه بر 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 بر اساس ذراع شاهی ترسیم شده و مقداری برابر با ۶/۱ ذراع داشتند (Clarke, 2008: 58). یک نمونه‌ی مناسب استفاده از شبکه‌بندی متعلق به یک پایپروس از قرن ۱۸ ق.م. (?) به دست آمده است که به نظر می‌رسد یک نسخه‌ی اصلی از طراحی نمای ورودی یک معبد است. در این پایپروس، معمار از یک کاغذ شطرنجی با جوهر قرمز استفاده کرده که بر روی آن با جوهر سیاه رنگ طرح معبد را پیاده کرده است (Robins & Fowler, 1994, 92). چنین به نظر می‌رسد که یونانیان علاقه‌ی چندانی به استفاده از شبکه‌بندی در معماری و تزییبات معماری نداشته‌اند (رف، ۱۳۸۱: ۱۱)

پیمون در معماری دوره‌ی هخامنشی

متأسفانه از دوره‌ی هخامنشی اطلاعات مکتوب قابل توجهی در ارتباط با نظام پیمون این دوره به دست نیامده است؛ لذا برای مطالعه‌ی این نظام تنها به معماری هخامنشی متکی هستیم. در این ارتباط، نخستین بار در سال ۱۸۹۰ م. «دیولافوا» و «بابین» بودند که با مطالعه‌ی ابعاد موجود بر روی نقشه‌ی تخت جمشید، پاسارگاد

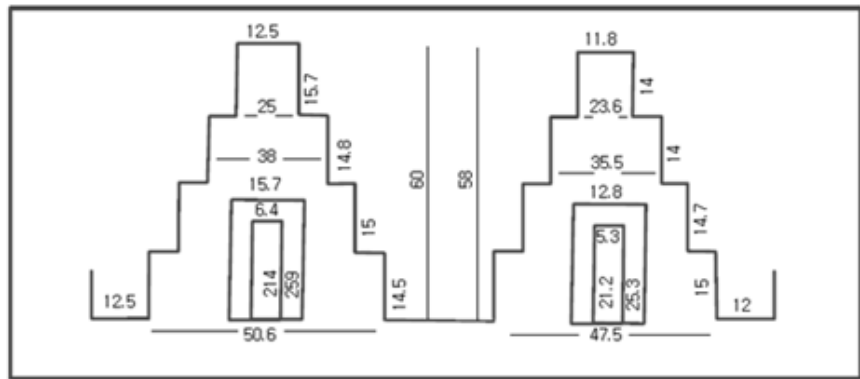
و استخر به معرفی واحد «ارش» پرداخته‌اند (کرفتور، ۱۳۸۸: ۳۰). نتایج به دست آمده توسط بابین و دیولافوا با همه‌ی دقتی که در تفسیر مقیاس، ابعاد و اندازه‌گیری‌ها به کار بستند، تفاوت معناداری با آن چه اشمیت بعدها منتشر کرد، دارند (جدول ۳). نکته‌ی قابل توجه این‌که در مطالعات بابین هیچ ارتباط ریاضی بین یک پا و یک ارش که به ترتیب ۳۳ و ۵۲ سانتی متر معرفی شده، وجود ندارد؛ درحالی‌که در نظام‌های به کار گرفته شده، هر کدام از پیمون‌ها در ارتباط با واحدهای کوچک‌تر یا بزرگ‌تر از خود هستند. همچنین بابین با مطالعه‌ی کاخ‌های مختلف هخامنشی به مقادیر متفاوتی دست یافته 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.

«کرفتور» 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 تخت جمشید معرفی کرد. وی نخستین کسی است که در تحقیقات خود به انطباق ابعاد خشت‌های استاندارد تخت جمشید (۱۰×۳۳×۳۳ سانتی متر) با پیمون پا در تخت جمشید اشاره می‌کند (همان: ۳۱). تحقیقات کرفتور در بحث پیمون معماری هخامنشی بسیار ارزشمند است (جدول ۳). بعد از کرفتور، «هسه»^۳ نیز با استفاده از روش‌های آماری و محاسبات ریاضی به بررسی ابعاد آجرهای به کار رفته در کاخ‌های هخامنشی شوش پرداخت. وی همچنین به مطالعه‌ی ابعاد لوح عیلامی داریوش در شوش پرداخت و اشاره کرد که هر ضلع آن قابل مقایسه با یک ذراع بابلی است (گرشویچ، ۱۳۹۰: ۷۴۷). در سال ۱۹۷۸ م. «مایکل ژف» به مطالعه‌ی واحدهای اندازه‌گیری تخت جمشید، به ویژه تچرو و هدیش پرداخت (Roaf, 1978: 68). اساس مطالعه‌ی وی، بر روی علائمی است که بر روی حاشیه‌ی سکوی تچرو و هدیش حک شده است. وی به بررسی فاصله‌ی هر یک از علائم پرداخته و بر اساس آن واحدهای اندازه‌گیری طول را در تخت جمشید معرفی کرده و پیمون به دست آمده را به سایر کاخ‌ها یا تزیینات معماری تخت جمشید تعمیم داده است (شکل ۲). ژف اشاره می‌کند که رایج‌ترین پیمون در تخت جمشید ذراع است که بیشتر ابعاد کلیدی بناها بر اساس این پیمون ساخته شده‌اند (Ibid).

واحدهای اندازه‌گیری	پژوهشگران		
	(Babin, 1891; 347)	(کرفتور، 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	—	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	—	۶۸,۴۸ cm	—

جدول ۳. واحدهای اندازه‌گیری پیشنهادی طول بر حسب سانتی متر در دوره‌ی هخامنشی (نگارندگان، ۱۳۹۶). ◀

► شکل ۲. بررسی جان پناه پلکان شمالی آپادانا براساس پیمون کف دست مایکل ژف: سمت راست، اندازه‌ها به سانتی‌متر؛ و سمت چپ، براساس پیمون کف دست پیشنهادی مایکل ژف (Roaf, 1978: 74).



مطالعات مربوط به پیمون هخامنشی همواره از رویکرد صرف ریاضی محور برخوردار بوده و این مسأله باعث شده است تا محققان هر کدام اعداد محدودی را انتخاب و در صورت سازگاری پیمون پیشنهادی با آن‌ها، به معرفی آن عدد به عنوان پیمون استاندارد بپردازند؛ به عنوان مثال، مایکل ژف 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 صورتی که 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 بر روی سایر اعداد کلیدی بنا خودداری کرده‌اند.

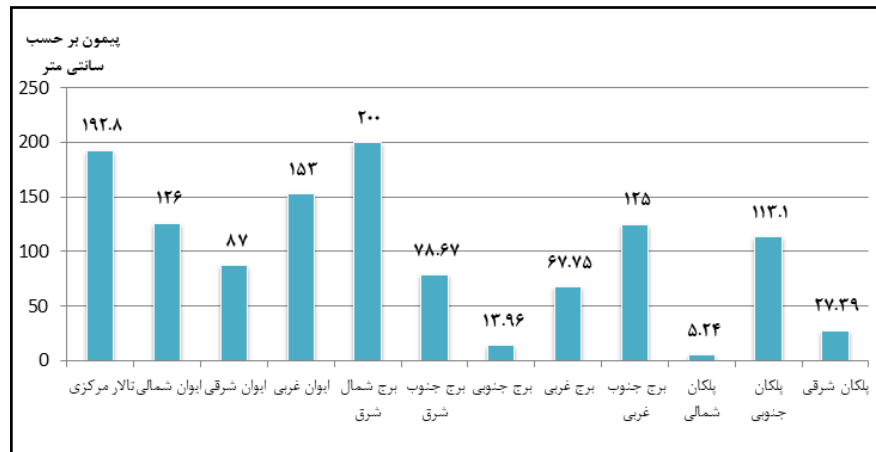
روش‌های مطالعه‌ی نظام پیمون در کاخ آپادانا

کاخ آپادانا توسط داریوش اول به عنوان تالار بارعام یا شاهی، در غربی‌ترین ضلع صفه‌ی تخت جمشید 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 نقشه برداری پلان باشد)؛ لذا پلان تهیه شده می‌تواند مطابقت صد درصدی با نقشه‌ی اجرایی و اولیه‌ی معمار دوره‌ی هخامنشی نداشته باشد. از این رو 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 پیش‌روی 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

می‌شود که به هنگام مطالعه‌ی هریک 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 ریاضی محور است که توسط پیتیری، کرفتر، ژف 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 صورتی که عددی بر روی نقشه در آنالیز نهایی با پیمون مطابقت نداشته باشد، بتوان آن را به راحتی 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 پایه ستون، قطر شالی ستون، فاصله‌ی آکس بندی 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. بدین صورت 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 به حال 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. بدین صورت که نرم‌افزار، تنها اعدادی را که جواب خارج قسمت تقسیم آن‌ها به صورت عدد صحیح (پیمون کامل) یا اعداد اعشاری که رقم بعد از اعشار آن‌ها به صورت ۰،۲۵ (۴/۱ پیمون)، ۰،۵۰ (۲/۱ پیمون)، ۰،۷۵ (۴/۳ پیمون) باشد را نگه داشته 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



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

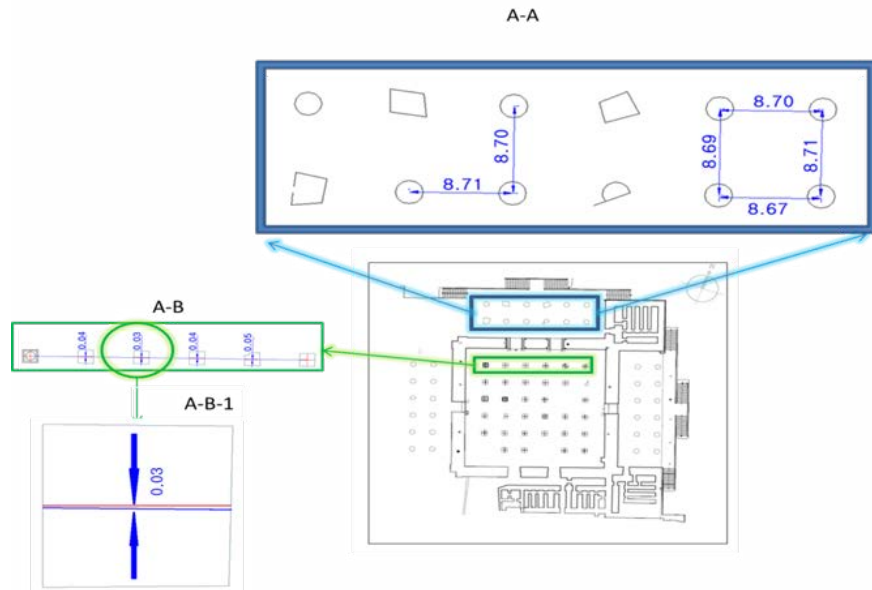
شمالی بین ۸۶۴-۸۷۱ سانتی متر در نوسان است و تنها بین ۶ ستون باقی مانده تنها دو ستون ابعاد یکسانی دارند. این وضعیت سبب می شود که میانگین فواصل آکس ستون های ایوان های شمالی، شرقی و غربی بیش از ۷۰ سانتی متر با یکدیگر اختلاف داشته باشد. این مسئله کاملاً غیرمنطقی به نظر می رسد که در کاخی همچون آپادانا برای هر فضا یک پیمون مجزا با چنین اختلافی کاربرد داشته باشد. در نتیجه با ادامه ی انجام این روش بر روی 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 می تواند معلول وجود ابعاد متغیری باشد که بر روی پلان برای یک فاصله ی مشخص (آکس بندی) وجود دارد؛ به طور مثال، در تالار مرکزی کاخ آپادانا، فواصل بین ستون ها و فواصل بین آکس ستون ها، یک مقدار ثابت نیست و گاهی بیش از ۱۰ سانتی متر در نوسان است. از طرفی نرم افزار قادر به تشخیص اعداد قابل اطمینان بین این میزان نوسانات، جهت یکسان و استانداردسازی سایر اعداد نیست. بنابراین نرم افزار، پیمونی را معرفی می کند که به میانگین همه ی اعداد آن فضا، بخش پذیر باشد؛ به طور مثال، ممکن است علت متغیر بودن ضخامت دیوارها در آپادانا، به دلایل انجام مرمت و آسیب های انسانی و طبیعی و یا متغیر بودن اندازه های فواصل بین آکس ستون ها به علت جابه جایی ستون ها باشد؛ اما این میزان از خطا در نرم افزار هرگز قابل تشخیص نیست. از طرفی دیگر هر گونه اقدام جهت ارائه ی ورودی های مطمئن تر به نرم افزار باید روشمند باشد و برای این کار باید براساس شواهد و مدارک موجود در بنا، اقدام به گزینش اعداد و سپس آنالیز آن ها کرد؛ بنابراین روش آنالیز عددی به تنهایی نمی تواند راهگشا باشد. از این رو اعتبار استفاده انحصاری از این روش برای استخراج پیمون در سایر کاخ ها از بین می رود و هرگونه مطالعه ی ریاضی محور صرف را در این ارتباط فاقد اعتبار کافی معرفی می کند.

بررسی نظام پیمون آپادانا با کمک شبکه بندی

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

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 بر روی 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. علاوه بر 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 به هم 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 بر اساس 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 به صورت 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 به صورت 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 بر اساس 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 بر اساس 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، علاوه بر 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

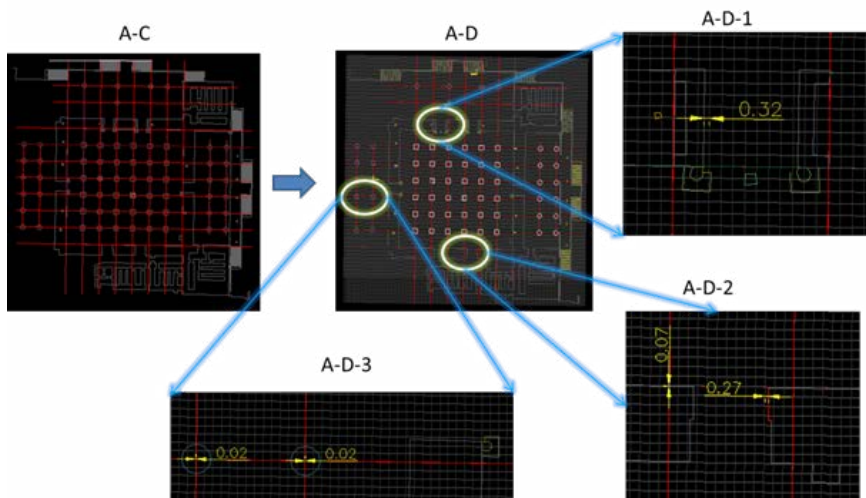


► پلان ۱. مراحل بررسی بهترین آکس استاندارد در کاخ آپادانا، مقیاس نقشه ۱:۵۰۰۰۰۰ (نگارندگان، ۱۳۹۶).

اشمیت، که عدد ۸۶۵ سانتی متر است، قابل استناد نمی باشد. استفاده از این روش باعث می شود تا دو بار عدد استاندارد معرفی شده آزموده شود. پس از حصول اطمینان از آکس بندی ستون ها، تقسیم فضای بین آکس ها انجام گرفت (شبکه بندی). براساس این روش، عدد ۸۶۷ را به اعدادی بین ۵ تا ۱۰ تقسیم شد. نتیجه، سطحی شبکه بندی شده است که در آن، هر مربع نقش یک پیمون را ایفا می کند. علت انتخاب این بازه ی عددی این است که حاصل تقسیم آکس استاندارد مورد نظر به عدد ۵ تا ۱۰، بیشترین (۱۷۳ سانتی متر) و کمترین (۲ سانتی متر) پیمون احتمالی را شامل می شود؛ چراکه در نظام های پیمون پیشین هرگز به واحدی کمتر از ۲ سانتی متر و بیشتر از ۷۰ سانتی متر اشاره نشده است. نتایج به دست آمده از این تقسیم در واقع هر یک پیمونی احتمالی هستند که براساس آن شبکه بندی می کنیم. پس از ترسیم ۲۹۶ پلان شبکه بندی شده، به بررسی میزان انحراف شبکه ها از خطوط اصلی پلان و نهایتاً انتخاب بهترین شبکه از نظر بیشترین میزان هم پوشانی با پلان پرداخته شد.

ملاک تصمیم گیری در اینجا بر مبنای بهترین هم پوشانی شبکه با پلان و یا کمترین میزان انحراف شبکه ها از آکس بندی های تالار مرکزی، ایوان های شرقی و غربی، پایه ستون ها، طول و عرض ورودی ها و ضخامت دیوارها است. نتایج این آنالیز در جدول ۴ ارائه شده اند. پس از انتخاب شبکه های برتر، به بررسی بهترین پیمون در شبکه ها و رتبه بندی پیمون های حاصل از شبکه بندی پلان پرداخته شد. لازم به ذکر است که به دلیل تعداد کثیر شبکه بندی های آپادانا (۲۹۶ پلان شبکه بندی شده) و به تبع آن نتایج رتبه بندی آن در جدول ۴، صرفاً به ارائه ی ۱۰ شبکه پرداخته شده است. جدول فوق الذکر نشانگر دو شبکه ی برتر (ردیف ۱-۲) و ۸ شبکه ی دیگر (ردیف ۳-۱۰) است؛ بنابراین عدد رتبه بندی در جدول، نشانگر رتبه ی آن ها در میان کل شبکه ها است.

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

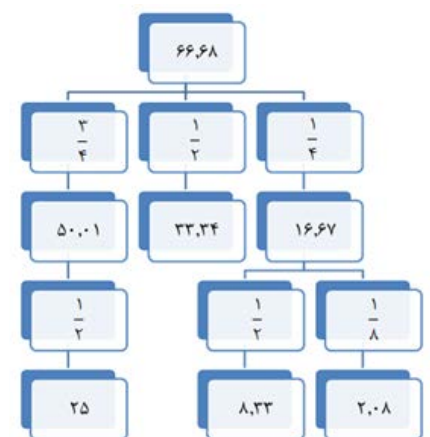


پلان ۲. مراحل آکس بندی براساس عدد استاندارد ۸۶۷ سانتی متر و بررسی انحراف یکی از برترین شبکه ها با تقسیمات ۶۶,۶۸ سانتی متری از پلان، (نگارندگان، ۱۳۹۶).

شبکه بندی ۳۳,۳۴ سانتی متر است. انحراف سایر فضاهای اشاره شده در جدول نیز نسبت به این شبکه بندی محاسبه شده است. با توجه به ستون رتبه بندی متوجه خواهیم شد که این عدد و همچنین عدد ۶۶,۶۸ به ترتیب در رتبه ی اول و دوم ۲۹۶ جدول شبکه بندی شده قرار دارند. رابطه ی عددی بین این دو که دقیقاً یکی، دو برابر دیگری است؛ نشان می دهد که بین پیمون های استفاده شده در دوره ی هخامنشی ارتباط عددی معناداری وجود داشته و این یافته، خلاف مطالعات محققان پیشین چون مایکل ژف و فردریش کرفتر است. پس از تحلیل جدول رتبه بندی، به انتخاب پیمون های برتر در هر جدول و سپس به بررسی روابط بین آن ها و آنالیز عددی آن ها پرداخته شد (نمودار ۴).

به نظر می رسد بین واحدهای نظام پیمون دوره ی هخامنشی روابط منطقی وجود داشته است. برای این کار، ابتدا دو پیمون برتر در صدر نتایج آنالیز شبکه بندی را که بین آن ها روابط عددی نیز وجود داشت را مورد مطالعه قرار داده و موفق به کشف روابط عددی فوق العاده ای در میان آن ها شدیم. نظر به وجود مقادیر خرده و ثابت در نظام های پیمون پیشین همچون اعداد ۴/۱۲/۱ و ۴/۳ و 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 به دست آمده، شد. نمودار ۴، نشانگر چگونگی برقراری ارتباط بین پیمون های برتر و استخراج سایر پیمون ها از پیمون ذراع شاهی آپادانا (۶۶,۶۸ سانتی متر) را نشان می دهد؛ به طور مثال، در این جدول، بزرگ ترین عدد ۶۶,۶۸ سانتی متر است. با تقسیم آن به مقادیر خردی که پیش تر بدان اشاره شد به اعدادی می رسیم که پیمون های ریزتر و احتمالی هخامنشی هستند.

این تقسیمات خرد تا اندازه ای ادامه پیدا می کند که ریزترین مقدار ممکن در پیمون حاصل شود. اعدادی که از این تقسیمات به دست می آیند، در پلان های شبکه بندی شده نیز وجود دارند و نسبت به سایر اعداد از برتری نسبی برخوردار هستند؛ بنابراین نتایج محاسبات عددی انجام شده نه تنها در راستای نتایج جداول شبکه بندی است، بلکه بسیاری از اعدادی را که در شبکه ها چندان برجسته و گویا نیستند را نیز برای ما روشن می کند.



▲ جدول ۴. نتایج آنالیز شبکه بندی در کاخ آپادانا بر حسب سانتی متر (نگارندگان، ۱۳۹۶).

► جدول ۴. نتایج آنالیز شبکه بندی در کاخ آپادانا بر حسب سانتی متر (نگارندگان، ۱۳۹۶).

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

اعداد به دست آمده از نمودار بالا هر کدام یک پیمون احتمالی محسوب می شوند که در جدول ۱-۵ معرفی و نام گذاری شده اند. لازم به ذکر است که مبنای نام گذاری هر کدام از پیمون ها، مقایسه ی اعداد به دست آمده با پیمون های شناخته شده در تمدن های دیگر است. در آخر، برای حصول اطمینان از صحت این پیمون ها به بررسی آن ها بر روی پلان پرداختیم. در این مرحله، ابعاد کلیدی پلان با پیمون های احتمالی مورد آزمایش قرار داده شد. در پلان ۳، مشاهده می شود که هر پیمون به سیستم متریک امروزی، بر روی 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 اندازه های اولیه ی خود باقی مانده باشند که این امر تقریباً غیرممکن به نظر می رسد. در نتیجه نیازمند در نظر گرفتن مقداری از خطا به صورت مجاز هستیم. این خطا در کل روند تحقیقات برابر با عدد $5 \pm$ است؛ لازم به ذکر است که این مقدار خطا در مطالعات پیشین محققان در تخت جمشید $25 \pm$ است. بنابراین هر مقدار خطا کمتر از $5 \pm$ کاملاً غیرممکن و غیرموجه به نظر می رسد؛ به طور مثال در پلان 4-A-A می بینیم که حاصل تقسیم طول ورودی شمالی تالار آپادانا به پیمون پای شاهی برابر با مقادیر ذیل است:

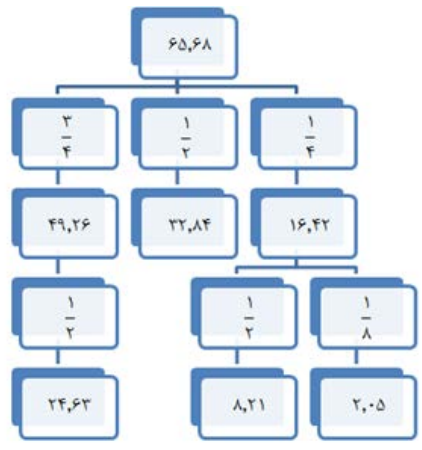
$$\frac{527}{33.34} = 15.80 \approx 15 \frac{3}{4}$$

بدین صورت هرگونه خطای مجاز که در روند آزمایش پیمون بر روی ابعاد کلیدی پلان رویت می شود با علامت * نشان داده می شود (پلان ۴، A-A). از این علامت برای نشان دادن ابعاد پرخطا هم در جداول و هم بر روی 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 می دهد که پیمون معرفی شده در آپادانا با تمامی اندازه های کلیدی پلان مطابقت دارد. این میزان همپوشانی پیمون با نقشه ی بدون شک بی نظیر است؛ چراکه در تحقیقات پیشین توسط مایکل ژف، پیمون های ارائه شده تنها بر روی ۶ عدد کلیدی پلان آپادانا آزموده

شده‌اند. اما در تحقیق حاضر، ابعاد بر روی ۱۲ نقطه‌ی نقشه مورد آزمایش قرار گرفته و در جدول ۴ ارائه شده‌اند؛ بنابراین پیمون‌های معرفی شده در جدول مذکور مورد تأیید 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 ۶۸,۶۳×۶۸,۷۱ سانتی متر با ۱۰ ردیف ستون ۱۰ تایی است. طول این تالار حدوداً ۸ متر از کاخ آپادانا بیشتر است. در این کاخ، ازاره‌ی دیوارها به ارتفاع ۴۰ سانتی متر از سنگ مرمر سیاه بوده است. تمامی مراحل صورت گرفته جهت رسیدن به ابعاد یکسان و قابل اطمینان در آکس بندی ستون‌های تالار مرکزی که پیش تر به تفصیل در کاخ آپادانا شرح داده شد، در این کاخ نیز صورت گرفته است (نمودار ۱). در کاخ صدستون پس از حصول به آکس استاندارد ۶۲۴ سانتی استاندارد به تقسیمات درون آکسی 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 شبکه بندی ۳۲,۸۴ سانتی متر 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 فوق الذکر و بررسی روابط عددی آن‌ها پرداخته شد. همچنین پس از آزمایش پیمون‌های احتمالی بر روی 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 معرفی شده در کاخ صدستون دارای حداکثر اختلاف ۳ میلی متر با پیمون آپادانا است که از نظر محاسباتی، نشانگر دقت بالای شبکه بندی‌ها است.



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

استفاده از شبکه بندی در کاخ‌های آپادانا و صدستون

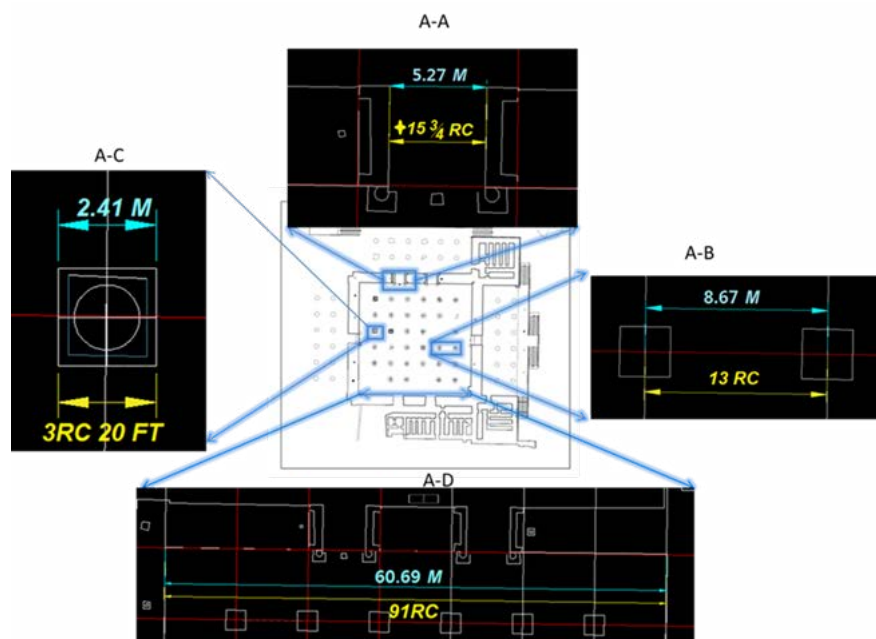
کاخ آپادانا به عنوان اولین نمونه‌ی مورد بررسی، داده‌های بسیار ارزشمندی را نشان

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

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

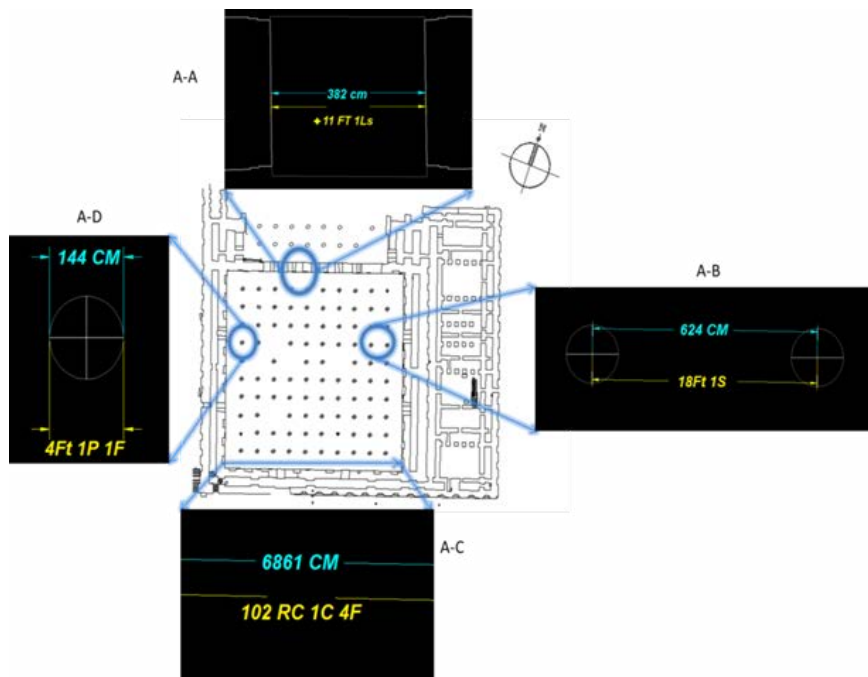
► جدول ۶. بررسی ابعاد کلیدی آپادانا براساس پیمون هخامنشی (RC ذراع شاهی)، (C ذراع)، (Ft پا)، (P کف دست)، (S وجب)، (نگارندگان، ۱۳۹۶).

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	۱۲C و ۱S
3	پایه‌ستون	۲۴۱	۷ FT و ۱P
4	طول تالار	۶۰۶۹	۹۱ RC
5	فاصله‌ی بین ستون‌های ایوان‌ها	۶۳۳	۹RC و ۱FT
6	عرض ایوان شرقی	۱۹۵۹	۲۹RC و ۱S
7	طول ایوان شرقی	۵۹۶۵	۸۹RC و ۱FT
8	عرض ایوان شمالی	۱۹۷۳	۲۹RC و ۱FT و ۳F
9	طول ایوان شمالی	۵۹۸۳	۸۹RC و ۱C
10	عرض پله شرقی	۴۹۱	۱۴FT و ۱P
11	عرض پله شمالی	۴۹۳	۱۴FT و ۱P



► 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، به نحوی که با بررسی آن می‌توان به شبکه‌بندی اولیه‌ی معمار دوره‌ی هخامنشی دست یافت. 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 به قدری زیاد است که اگر نقشه‌ی آپادانا به صورت مجزا به کمک



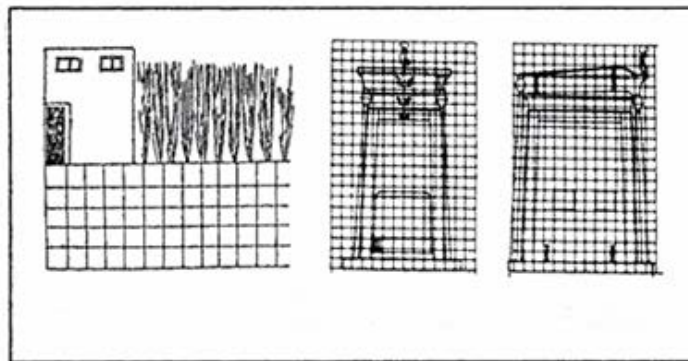
پلان ۴. بررسی ابعاد کلیدی کاخ صدستون با دو نظام متریک (خطوط آبی) و پیمون هخامنشی (خط زرد)، (RC ذراع شاهی)، (Ft)، (پا)، (نگارندگان، ۱۳۹۶).

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 بر روی 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 تا حدی 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. این کار مزایای بسیاری از جمله تسهیل تبدیل مقیاس، تخمین ابعاد و اندازه‌های نقشه و همچنین تسهیل ترسیم و قرینه‌سازی نقشه را به دنبال دارد. استفاده از این شبکه‌های شطرنجی در طراحی فضای معماری در مصر بسیار رایج

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 این حال، 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 پایپروس گوروب (Chyutin, 2006: 212).

استفاده از پیمون خشتی در معماری هخامنشی

نکته‌ی قابل ملاحظه دیگری که در مورد پیمون کاخ آپادانا مشاهده شد، استفاده از خشت یا آجرهای استاندارد به ابعاد $۱۳ \times ۳۳ \times ۳۳$ 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. بدین معنا 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 بدین معناست که معمار به هنگام طراحی یک فضا ابتدا ابعاد خشت‌ها را در نظر 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 این صورت، 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 انجام گرفته (Briant, 2002: 172)، می‌توان احتمال داد نظام پیمون خشتی

بابل برروی نظام معماری هخامنشی تأثیر گذاشته باشد. البته نه 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 تخت جمشید متأثر از نظام‌های مصری، بابلی و یونانی و انطباق آن‌ها با شرایط ویژه‌ی معماری فلات ایران است.

جدول ۸. مقایسه‌ی نظام پیمون در تخت جمشید 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	-----	-----	۳۲٫۸۹-۳۹٫۹۷	(?)	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	۱۵٫۳۹-۱۵٫۴۳
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 به دست آمده با توجه به شرایط کنونی، تنها ۳ میلی‌متر با پیمون کاخ آپادانا اختلاف دارد. با این حال، 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. با توجه به این کاخ صدستون حدود ۲۰ سال بعد از آپادانا (که البته فاصله‌ی زمانی زیادی نیست) ساخته شده، اختلاف موجود می‌تواند ناشی از این مسأله باشد که بعد از دوره‌ی داریوش اول استفاده از واحد ذراع شاهی در کاخ صدستون کنار گذاشته شده و به جای 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 خشایارشا 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 به نظر می‌رسد به دو صورت پیمون بزرگ و کوچک در معماری هخامنشی مورد استفاده قرار می‌گرفته است.

استفاده از پیمون بزرگ در نظام معماری هخامنشی در تخت جمشید 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 تخت جمشید، سنتی ترکیبی از پیمون خشتی بابلی و واحدهای اندازه‌گیری یونانی است. این نظام به کمک روش شبکه‌بندی مصری بر روی پلان اجرا شده است؛ بنابراین آنچه در تخت جمشید 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 به نظر 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 قابل مقایسه 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 به عمل 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 تخت جمشید. ترجمه‌ی هوشنگ غیاثی، تهران: انتشارات گنجینه هنر.
- روزبهانی، زهره؛ و رایتی‌مقدم، حسین، ۱۳۹۲، «بربست و طرح‌ریزی معماری در ایران براساس آموزه‌های 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.

- کرفتر، فردریش، ۱۳۸۸، طرح‌های بازسازی تخت جمشید. فرانک بحرالعلومی، تهران: میراث فرهنگی، بنیاد پژوهشی پارسه- پاسارگاد.

- Babin, C. S., 1891, "Note sur la M'etrologie et les proportions dans les monuments Achéménid de la perse". *Revue Archéologique* (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, *From 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.