

# پوشش سقف در کاخ آپادانای تخت جمشید؛ نگاهی نو به فناوری‌های ساختمانی هخامنشیان

مهدی معتمدمنش\*

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۲/۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۶/۱۱

## چکیده

کاخ‌های هخامنشی جلوه‌ای بارز از کاربست فناوری‌های پیشرفته معماری در جهان باستان به شمار می‌آیند؛ با این حال، تاکنون توجه علمی به شیوه‌های اجرایی این سازه‌ها محدود بوده است. پژوهش میان‌رشته‌ای حاضر با تمرکز بر نظام پوشش سقف کاخ آپادانا، به تحلیل انتقادی بازسازی‌های رایجی می‌پردازد که ریشه در نظریات معمار آلمانی فردریش کرفتر دارند. به منظور سنجش اعتبار دیدگاه غالب، این تحقیق با رویکرد ترکیبی و در بستر تاریخی، از روش‌های توصیفی تحلیلی و استدلال منطقی بهره می‌گیرد. نخست، پیشینه پژوهش، مسیر دو قرن بحث و نظریه‌پردازی پیرامون پوشش سقف کاخ‌ها را ترسیم می‌کند. بررسی سیر تحول تالارهای ستون‌دار در تمدن‌های باستان، وجوه اشتراک و افتراق معماری هخامنشی با دیگر فرهنگ‌ها را نمایش می‌دهد. در نهایت، شواهد سازه‌ای، اجرایی و باستان‌شناختی برای نقد کاستی‌های الگوی غالب بازسازی‌ها به کار می‌رود. بر پایه تحلیل معماری، اصول ساختمان‌سازی در دوران باستان، و داده‌های میدانی، این پژوهش به شناسایی فناوری مورد استفاده توسط معمار هخامنشی می‌پردازد. یافته‌ها نشان می‌دهد که سرستون‌ها علاوه بر نقش تزئینی، عملکرد سازه‌ای داشته‌اند: شاه‌تیرها درون فضای خالی میان سرستون‌ها جای می‌گرفتند و این چیدمان از نخستین تلاش‌های بشر برای مهار چرخش آزادانه دو سر تیر و ایجاد اتصالات بهینه برای انتقال تنش‌ها بوده است. همچنین با قرارگیری چوب در میان حفره سنگی، با به کارگیری اتصالات ساده و بدون تضعیف مصالح، معمار یکپارچگی ساختاری تیرها را تأمین می‌کرد. در این روش، شاه‌تیرها ستون‌ها را به صورت نواری به یکدیگر متصل و تیرهای عرضی، سازه سقف را کامل می‌کرده‌اند؛ آرایشی که در یکپارچگی رفتار سازه در برابر زلزله نقشی مؤثر داشت. این نتایج دریافتی تازه از فناوری ساخت هخامنشیان ارائه می‌دهد و نبوغ معمار ایرانی در طراحی و اجرای وسیع‌ترین تالارهای تخت‌پوش جهان باستان را آشکار می‌سازد.

## کلیدواژه‌ها:

فناوری پوشش سقف، تخت جمشید، کاخ آپادانا، تیر و ستون، زلزله.

\* استادیار، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه تربیت مدرس، m.motamed@modares.ac.ir

## پرسش‌های پژوهش

۱. نحوه پوشش سقف در کاخ هخامنشی آپادانا چگونه بوده است؟
۲. معمار هخامنشی از چه فناوری‌هایی برای دستیابی به وسیع‌ترین دهانه‌های دنیای باستان بهره برده است؟

## مقدمه

در نگارش تاریخ معماری ایران باستان، پژوهشگران غربی نقشی محوری ایفا کرده‌اند. دیدگاه‌هایی که آنان در قرون گذشته بنیان نهادند، به تدریج به منزله مبانی تاریخ معماری و مهندسی ایران تلقی شده، در بسیاری از پژوهش‌های متأخر بدون نقد بنیادین تکرار شده‌اند (معمدمنش ۱۳۹۷، ۸). با این حال، تحلیل‌های این دسته از محققان، عموماً با گرایشی آشکار به ترسیم وابستگی شرق به میراث غرب و برجسته‌سازی نقش تمدن‌های کلاسیک در شکل‌گیری تمدن جهانی همراه بوده است (khatchadourian 2012, 963). افزون بر این، محدودیت‌های زمانی انجام پژوهش‌ها، سطحی‌نگری در دانش فنی، و کم‌توجهی به ابعاد مهندسی در این مطالعات، ضرورت بازنگری انتقادی در روایت‌های موجود را با اتکا به دستاوردهای نوین علمی دوچندان می‌سازد (Motamedmanesh 2022, 301). این مسئله در حوزه هنر و معماری هخامنشی نمود ویژه‌ای یافته است.

امپراتوری هخامنشی (۵۵۰-۳۳۰ پ.م)، به عنوان بزرگ‌ترین امپراتوری جهان باستان، همواره در کانون توجه پژوهش‌های تاریخی، فرهنگی و هنری قرار داشته است. با وجود این، یکی از چالش‌های جدی در مطالعات این دوره، تمرکز مفرط بر منشأیابی عناصر معماری آن در تمدن‌های پیشین و غفلت از وجوه اصیل و نوآورانه آن است. چنین رویکردی موجب شده است تا معماری هخامنشی در نگاه بسیاری از باستان‌شناسان کلاسیک، ترکیبی صرفاً ساده و نمادین از عناصر برگرفته از فرهنگ‌های پیشین تلقی شود (Calmeyer 1973, 147). اگرچه در دهه‌های اخیر، رویکردهای انتقادی نوینی در تاریخ‌نگاری هنر این دوره توسط پژوهشگرانی چون هلن سانسسی - ووردنبورخ<sup>۱</sup> و مارگارت روت مطرح شده است (Root 1979)، این تلاش‌ها به حوزه تحلیل فنی و سازهای معماری هخامنشی کمتر راه یافته‌اند. در میان اینبینه شاخص هخامنشی، کاخ‌های ستون‌دار تخت‌جمشید و شوش، نمود بارزی از تلفیق هوشمندانه زیبایی‌شناسی، عملکرد فضایی و فناوری ساخت هستند. با این حال، بررسی‌های فنی در خصوص فناوری پوشش سقف این تالارهای وسیع، به‌ویژه در آپادانا تخت‌جمشید، محدود بوده و عمدتاً بر بازسازی رایج فردریش کرفتر<sup>۲</sup>، معمار آلمانی فعال در حفاری‌های اوایل قرن بیستم در تخت‌جمشید، تکیه دارند. کرفتر مدلی را ارائه کرد که در آن، یک تیر چوبی حدواسط در فضای خالی میان دو سرستون جانوری قرار گرفته و نقش نگهدارنده سه تیر موازی را ایفا می‌کند. این دیدگاه، با وجود پذیرش گسترده در بازسازی‌های فیزیکی و دیجیتال، چنان‌که اینجا نشان داده می‌شود، از منظر ساختاری و باستان‌شناسی با چالش‌های جدی مواجه است. پژوهش حاضر، با تکیه بر شواهد فنی، معماری و باستان‌شناسی در جست‌وجوی مدلی جایگزین برآمده است.

روش تحقیق، ترکیبی بوده، در بستری تاریخی صورت می‌گیرد و از شیوه‌های توصیفی تحلیلی و استدلال منطقی برای اثبات فرضیه تحقیق بهره برده است. ابتدا سیر تحول تالارهای ستون‌دار و تمایز آن‌ها با نمونه‌های مشابه در دیگر تمدن‌های باستانی بررسی شده، سپس با واکاوی نظریه‌های موجود در خصوص پوشش سقف کاخ‌های هخامنشی، نقاط ضعف الگوی رایج تبیین گردیده است. در ادامه، با تحلیل مصالح، سیستم تیر و ستون، و اصول ساخت در دنیای باستان، الگویی بدیل برای سازه سقف پیشنهاد شده که هم‌راستا با شواهد باستان‌شناختی و مبانی مکانیکی است.

## ۱. پیشینه پژوهش

فواصل قابل توجه ستون‌ها از یکدیگر در کاخ‌های هخامنشی (جدول ۱) استفاده از سنگ برای پوشش دهانه‌ها را منتفی می‌ساخت. مکتوبات برجای‌مانده از عصر هخامنشی، استفاده از چوب را در مجموعه اذعان داشته (Pope 1977،

27) و تاریخ‌نویس یونانی کویتوس کورتیوس<sup>۳</sup> کاربرد فراوان چوب در تخت‌جمشید را یادآور شده است (Perrot and Chipiez 1892, 80). گزارش‌های بازدیدکنندگان از مجموعه در دو قرن گذشته به یافت شدن آثار زغال‌های حاصل از آتش‌سوزی که اسکندر مقدونی راه انداخت اشاره دارد (Dieulafoy 1885, vol. 3: 5). از این‌رو، اگرچه شبهه‌ای در پوشش سقف به‌وسیله چوب وجود ندارد، درخصوص نحوه اتصالات اتفاق آراء وجود ندارد.

با افزایش مرادفات شرق با اروپا در عصر روشنگری، در گزارش‌های شرق‌شناسان غربی، به‌تکرار به آثار هخامنشی اشاره شده است (Mousavi 2012, 96-154). اگر بازدیدکنندگان اولیه به شرح ویرانی‌ها و جزئیات باقی‌مانده پرداختند، مؤلفان متأخر به بیان چگونگی ارتباط آثار موجود با یکدیگر پرداختند. فراتر از نقشه‌های ابتدایی، طرح‌های گرافیکی آنان بازسازی کاخ‌ها را نمایش می‌داد. به‌دلیل فاصله زیاد میان ستون‌ها، بسیاری بر نبود پوشش سقف تأکید، یا ادعای ناتمام ماندن مجموعه را داشتند. گزارش‌هایی که از قرن نوزدهم به بعد تهیه شدند، عموماً بر مبنای مشاهدات بالنسبه کامل‌تر و یا حفاری‌های محدود بودند. تکسیر فرانسوی اولین مشاهدات از این‌دست را صورت داد (Texier 1842). طرح‌های بازسازی او برای آپادانا کاخ را مجموعه‌ای از ستون‌های جدا از هم که تشکیل سایه‌بان‌هایی مستقل داده بودند (تصویر ۱ ب) معرفی می‌کند. عدم انطباق طرح‌های بازسازی او با نقشه‌های ترسیمی خودش، نیز نمایش دیوارها به‌اندازه نیمه از ارتفاع واقعی آن‌ها نقصان‌های این بازسازی‌ها هستند.

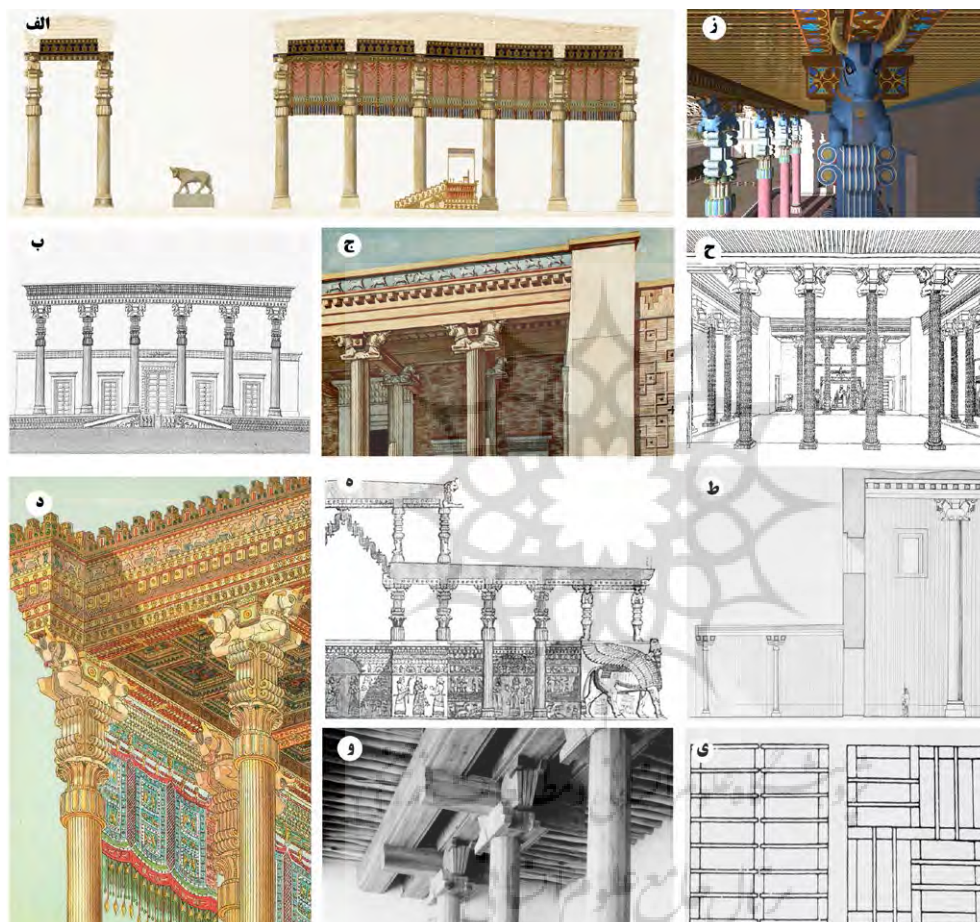
در میانه قرن نوزدهم میلادی، شرق‌شناسان فرانسوی، فلاندن و کاست<sup>۴</sup> دقیق‌ترین برداشت‌ها از آثار هخامنشی را انجام دادند (Motamedmanesh 2016, 13-14)، اما در طرح‌های بازسازی‌شان با در نظر نگرفتن دیوارهای پیرامونی، کاخ‌ها را به‌صورت تک بناهای پراکنده معرفی کردند که برای در امان ماندن از آفتاب، وابستگی شدید به پرده داشتند (تصویر ۱ الف). با اینکه آنان ارتباط سرستون‌ها و تیرهای چوبی میانشان را درک کرده بودند، احتمالاً متأثر از سازه‌های تاریخی اروپا یا معماری رومن‌ها استفاده از خرپا برای پوشش سقف را پیشنهاد دادند (Flandin and Coste 1851, vol. 2: 3).

فرگوسن<sup>۵</sup> اسکاتلندی، اولین محقق است که به وجود دیوارها برای ارتباط میان تک‌ستون‌های آزاد و ایجاد فضایی کاربردی اشاره می‌کند. طرح بازسازی او برای آپادانا جزئیات پوشش سقف را نشان نمی‌دهد و به‌دلیل نمایش اختلاف سطح میان بخش‌های مختلف از دیدگاه علمی قابل توجه نیست (Fergusson 1851). در طرح بازسازی که فرگوسن برای کاخ خورساباد (نینوا) ارائه داد (تصویر ۱ ه) با آنکه به‌اشتباه از سرستون‌های هخامنشی بهره گرفته شده، می‌توان دیدگاه وی برای کاربرد این عناصر را دریافت. استفاده آزادانه او از این عناصر نشانگر نادیده گرفتن نقش سازه‌های آن‌هاست.

طرح‌های بازسازی زوج فرانسوی، مارسل و جان دیالافوا<sup>۶</sup> با جزئیات دقیقی همراه بود و آنان گام بزرگی در تحلیل فنی آثار هخامنشی برداشتند؛ به‌ویژه تحصیلات مارسل در رشته مهندسی سازه، وی را قادر ساخت تا درکی فناورانه از بناهای تاریخی داشته باشد. ضمن یافتن ارتباط منطقی میان اعضای سازه‌ای کاخ‌ها، آنان بهترین بازسازی‌ها از آپادانا شوش (Dieulafoy 1890) و کاخ‌های تخت‌جمشید و پاسارگاد (Idem 1885) ارائه دادند. آنان به شباهت سازه‌های چوبی که در خانه‌های روستایی دیده می‌شد و حجاری‌های نقش‌رستم پی برده (Ibid vol. 2: 46-48)، متعاقباً طرح‌های بازسازی خود را تهیه کردند. در طرح‌های آنان سرستون‌ها به حمل پایین‌ترین تراز تیرها و برقراری ارتباط میان ستون‌ها و دیوارهای جانبی می‌پردازند (تصویر ۱ ج). با این حال، این طرح‌ها به‌دلیل عدم برخورداری از مقیاس مناسب میان اجزاء، ایده وجود ارتفاع بیشتر در تالار میانی، نیز عدم نمایش برخی دیوارهای پیرامون ضعف‌هایی دارد.

پروت و چیپیز<sup>۷</sup> آثار هخامنشی را ندیده بودند و تنها از نوشته‌های همعصرانشان برای طرح‌های بازسازی‌شان بهره جستند، اما تلاشی قابل توجه برای بیان تاریخ و چگونگی پوشش تالارهای ستون‌دار کردند (Perrot and Chipiez 1892, 499-503). آن‌ها نیز دیوارهای پیرامونی را نادیده گرفتند و با تغییر دادن جهت سرستون‌ها در کنج تالار، سعی بر حل کردن مشکل اتصالات در کنج‌ها داشتند (تصویر ۱ د). با نمایش سقف در پوششی دوگانه، این شرق‌شناسان انگلیسی سازه‌های سنگین را معرفی می‌کنند و ایده ستون‌های با ارتفاع بیشتر در بخش مرکزی پلان، اشاعه دیدگاه‌های

پیش‌تر مطرح‌شده توسط فرگوسن بود. در اواخر قرن نوزدهم، برخی از دیگر محققان فرانسوی همچون ویوله لدوک<sup>۱</sup> (Viollet-le-Duc 1868, 40) و شوازی<sup>۲</sup> (Choisy 18499, 141) به اشاعه دیدگاه‌های مطرح‌شده توسط دی‌لا‌فوآها پرداختند. جالب آنکه این مکتب فکری تا دهه‌ها بعدتر در میان پژوهشگران فرانسوی تداوم یافت (Ghirshman 1964, 214; Perrot 2013, xiv).

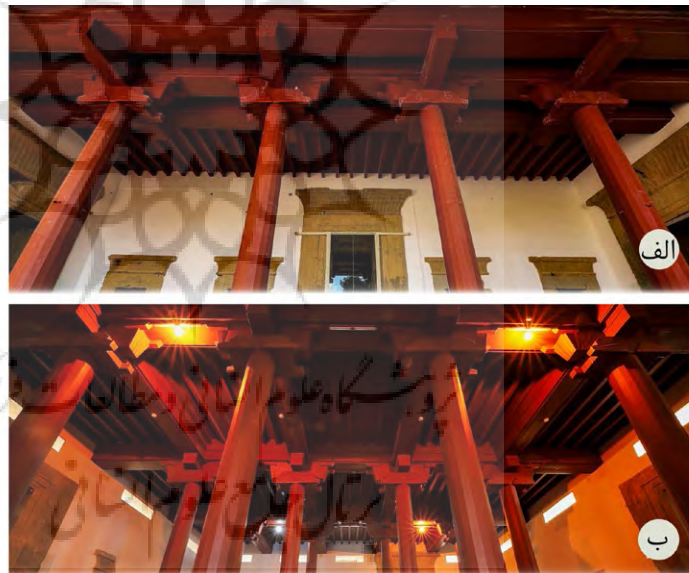


تصویر ۱: پوشش تالارهای ستون‌دار براساس بازسازی‌های صورت‌گرفته: الف. (Flandin and Cošte 1851, PL. 112)؛ ب. (Texier 1842, PL. 103)؛ ج. (Dieulafoy 1885, vol. 3: PL. X)؛ د. (Perrot and Chipiez 1892, 315)؛ ه. (Fergusson 1851, no. 31)؛ و. (Tilia 1972)؛ ز. (Getty 2024)؛ ح. (Krefter 1971, Beilag. 32)؛ ط. (Stronach 1978, Foldout. 4)؛ ی. (پیرنیا و معماریان ۱۳۸۳، ۵۹).

انتشار بازسازی‌های جدید از کاخ‌های هخامنشی تا پس از کاوش‌های ارنست هرتزفلد<sup>۳</sup> آلمانی (۱۹۳۱-۱۹۳۵) به تعویق افتاد. این بازسازی‌ها توسط معمار گروه، فردریش کرفتر تهیه شد و هرتزفلد آن‌ها را چاپ کرد (Herzfeld 1941, fig. 48, 50, 58). به پشتوانه حفاری‌ها، این طرح‌ها به ارائه نکات فنی پرداخت که در بازسازی‌های قبلی دیده نمی‌شد. با آگاهی از همه عناصر سازه‌ای که برای برپا نگه داشتن تالارها در اختیار معمار بود، کرفتر به ارائه فرضیات خود درخصوص نحوه پوشش تالارها پرداخت. وی فضای خالی میان سرستون‌ها را به‌منزله زینی دانست که روی آن تیر چوبی واسطه‌ای قرار می‌گرفت که حمل‌کننده تیرهای چوبی سه‌گانه‌ای می‌شد که بار حاصل از تیرچه‌های

پوشش‌دهنده<sup>۱۱</sup> و سقف را انتقال می‌داد. این ایده در طرح بازسازی فیزیکی حرم خشایارشا (۱۹۳۱-۱۹۳۲) اجرا شد (تصویر ۱ و) (تصویر ۲ الف).

نقش واسطه‌ای برای سرستون‌ها مورد استقبال محققان دیگر قرار گرفت. پوپ با دنبال کردن تاریخچه فرم‌های جانور شکل سرستون‌ها در تمدن‌های ایران تا آسیای صغیر، ایده کرفت‌ر برای پوشش سقف را می‌پذیرد (Pope 1977, vol. 1: 326, 335). د فرانکوویچ<sup>۱۲</sup> که اشتباهات رایج در معماری هخامنشی را بررسی کرد، ایده کرفت‌ر را اشاعه می‌کند (De Francovich 1966, 221-24). طرح‌های پیشنهادی استروناخ<sup>۱۳</sup> برای بازسازی کاخ‌های پاسارگاد (تصویر ۱ ط) نیز همین الگو را دنبال می‌کند (Stronach 1978, Foldout. 4). این گونه زمانی که ایزمئو<sup>۱۴</sup> در ۱۹۷۱ به بازسازی مجدد حرم خشایارشا مشغول می‌شود (Tilia 1972, 58-59)، به‌رغم رفع ایرادات مرمت‌های هیئت حفاری پیشین و بازسازی سقف‌هایی که در گذر ده‌ها سال دچار فرسودگی شده بودند، شیوه ساخت پیشینیانشان را دنبال کرد. آنان نیز در ایوان حرم خشایارشا، شاه‌تیرهای سه‌گانه و منفصل از یکدیگر را که بر روی تیرک چوبی میانی قرار می‌گرفتند، در بالای ستون‌ها استوار نمودند و تیرهای چوبی نهایی را بر روی این تیرهای سه‌گانه قرار دادند (تصویر ۲ الف)، اما در تالار مرکزی برای تیر چوبی میان سرستون نقش سازه‌ای در نظر نگرفته و شاه‌تیرهای متقاطع را در تراز فوقانی آن لحاظ نمودند (تصویر ۲ ب). دی‌آنجلیس<sup>۱۵</sup> که نظریاتش رهنمونگر این گروه بود، استفاده از سرستون‌های سنگی را تنها برای کاهش دهانه‌ها دانسته است (De Angelis 1977).



تصویر ۲. پوشش سقف در حرم خشایارشا (موزه تخت جمشید): الف. ایوان ورودی؛ ب. تالار مرکزی (گروه خبر استان فارس ۱۴۰۰)

در میان محققان ایرانی نیز تأثیر دیدگاه‌های کرفت‌ر مشهود است. برای نمونه، تألیفات استاد پیرنیا درخصوص نحوه عملکرد سرستون‌ها و چگونگی تیریزی سقف ابهاماتی نشان می‌دهد؛ باینکه نویسنده به‌دلیل آشنایی با چپستی معماری ایرانی، استفاده از روشی را که منجر به استفاده هوشمندانه از مصالح شود، پیشنهاد می‌دهد (پیرنیا ۱۳۸۳، ۵۹)، اما از تصاویری استفاده می‌کند که استروناخ و کرفت‌ر تهیه کردند. تصاویر ارائه‌شده برای جانمایی تیرهای بام شماتیک بوده و به‌دلیل جابه‌جایی مکرر محل تیرهای طولی و عرضی یادآور سبدهایی است (تصویر ۱ ی). درحقیقت، بدون در نظر گرفتن امکاناتی که امروزه رایانه از عملکرد سازه در اختیار قرار می‌دهد، نویسندگان متأخر همگی دیدگاه‌های کرفت‌ر را تأیید، در جست‌وجوی یافتن روشی دیگر برنیا شده‌اند (Wright 2009, fig. 132; Getty 2024). از این‌رو، پژوهش

حاضر برای اولین بار با نگاهی فناورانه و در بستر تاریخی که ابنیه هخامنشی ساخته شده‌اند، در جست‌وجوی روشی برآمده که از سوی معمار هخامنشی برای پوشش تالارهای عظیم مورد استفاده قرار گرفته بود.

## ۲. تالارهای ستون‌دار: ریشه‌ها و تفاوت‌ها

پیدایی تالارهای ستون‌دار در ایران به دوره‌های دوم و سوم از عصر آهن و معماری بومی مناطق مرکزی و شمالی زاگرس بازمی‌گردد که آثار آن در گودین تپه، حسنلو، نوشیجان و باباجان تپه یافت شده است (Stronach 1978, 71; Nylander 1970, 14; Gopnik 2010, 195). استفاده از ستون برای ساخت سیستم ساختمانی سه‌سنگی از هزاران سال پیش در معماری مصر دوران پادشاهی جدید و یونان دوره آرکائیک آغاز، و با استفاده از سنگ و چوب فضاهای متعدد مسقف شده بودند. یکی دیگر از قدیم‌ترین نمونه‌های این نوع سیستم سه‌سنگی و پوششی، معبد مالت است. باین‌حال، این سیستم در دوره هخامنشیان، به تکاملی دست یافت که تا پیش از عصر مدرن بی‌رقیب ماند. اوج هنر و فناوری در کاخ‌های بار عام (همچون آپادانا در تخت‌جمشید و شوش) دیده می‌شود.

صرف‌نظر از معابد تاریک و بسته مصر باستان، که در آن‌ها فاصله میان ستون‌ها هرگز از قطر آن‌ها فراتر نمی‌رفت (Pope 1965, 29, 40)، تنها رقیب جدی سازه‌های ستون‌دار هخامنشی را می‌توان در معماری یونان جست. در معبد پارتئون، که هم‌زمان با دوران هخامنشی ساخته شد، ستون‌ها دارای ارتفاعی معادل ۱۰ متر، قطری برابر با ۱/۹ متر، و فاصله‌ای در حدود ۳/۵ متر از یکدیگر بودند. این درحالی است که در کاخ آپادانا، ستون‌ها با ارتفاعی معادل ۱۹ متر و قطری حداکثر برابر با ۱/۵۸ متر، با فاصله محور به محور ۸/۶۵ متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند؛ مقیاسی که ابعاد پارتئون در برابر آن ناچیز می‌نماید. حتی چند قرن بعد، این رکورد در ساخت بزرگ‌ترین بنای سبک ایونی، یعنی معبد آرتیمیس در افسوس – که یکی از عجایب هفت‌گانه جهان باستان به شمار می‌رود – شکسته نشد. این دهانه‌های وسیع و نسبت‌های بی‌سابقه میان توده و فضا، تجربه‌ای فضایی کاملاً نوآورانه خلق می‌کردند که پیش‌تر در معماری باستان سابقه نداشت.

جدول ۱: مقایسه سیستم باربر متکی بر تیر و ستون در بناهای یونانی، مصری و هخامنشی (Krefter 1971; Stronach 1978, 73; Perrot and Chipiez 1890, 53-58; Fletcher 1996)

| نمونه                          | فاصله بین ستون‌ها در قیاس با قطر ستون            | ارتفاع ستون در قیاس با قطر ستون            |
|--------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| معابد مصری (دوره پادشاهی جدید) | ۱ ≤ عموماً<br>۲ ≤ ندرتاً                         | ۴ ≤ عموماً<br>۶ یا ۵ ≤ ندرتاً              |
| معابد یونانی                   | ۱,۲۸ ≤ مرحله آغازین<br>۲,۶۶ ≤ مرحله توسعه‌یافتگی | ۹ ≤ عموماً<br>۵/۱۱ ≤ بزرگ‌ترین معبد یونانی |
| کاخ‌های هخامنشی                | در پاسارگاد ۷<br>در تخت‌جمشید عموماً ۴ تا ۶      | ۶/۱۲ ≤ پاسارگاد<br>۱۲ ≤ تخت‌جمشید          |

## مطالعات پیشین ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی  
شماره ۲۷ - بهار و تابستان ۱۴۰۴

۱۸۶

در معابد مصری، تنها راه برای درک فضا قرار گرفتن در میان ردیف ستون‌ها بود و با خارج شدن از آن، پایه‌های سنگی دید را مختل می‌کردند. در معابد یونانی نیز فضای معبد بین ردیف ستون‌های بیرونی و درونی که به‌وسیله دیوارهای حائل از هم جدا می‌شد، تقسیم می‌گردید. از این‌رو، کاخ‌های هخامنشی اولین بناهایی هستند که امکان تجمع جمعیت انبوه را در زیر یک سقف و بهره بردن همگان به‌صورت یکسان از فضای مسقف (Gopnik 2010, 201-202) فراهم آوردند. از این‌رو، شناسایی روش‌هایی که معمار هخامنشی را قادر ساخت تا از یک سو مصالح را به‌نحوی استفاده کند که تیرهای طویل میان ستون‌ها تحت تأثیر وزن خودشان شکم ندهند و از سوی دیگر، کاخی ساخته‌شده از عناصر باربر افقی و قائم با حداقل ابعاد بتواند در برابر زمین‌لرزه‌های ویرانگر فلات قاره ایران مقاومت نماید (Motamedmanesh 2021, 10)، حائز اهمیت است.

### ۳. دیدگاه‌های کرفت‌ر برای پوشش کاخ‌های هخامنشی

کرفت‌ر در ۱۹۲۸ به ایران آمد تا در کاوش‌های پاسارگاد با باستان‌شناسان آلمانی<sup>۱۶</sup> همکاری داشته باشد. سپس وی گروه حفاری تخت‌جمشید را که با حمایت مؤسسه شرقی دانشگاه شیکاگو و به سرپرستی هرتزفلد مشغول کاوش شد (۱۹۳۱-۱۹۳۴) همراهی می‌کند. با برکناری هرتزفلد، او تا حضور اریک اشمیت<sup>۱۷</sup> سرپرستی کاوش‌ها را عهده‌دار شد. با در اختیار بودن نقشه‌های کامل‌تر از مجموعه، کرفت‌ر در پایان دهه شصت میلادی دو ماکت از مجموعه تهیه کرد (Krefter 1971, 106-110). کرفت‌ر تمام عمر خود را وقف تخت‌جمشید نمود. تألیفات وی حکایت از آن دارد که او حتی ده‌ها سال پس از ترک ایران نیز کاوش‌ها را دنبال می‌کرد، اما این موضوع در نظریات او برای طرح‌های بازسازی خللی وارد نکرد. برای نمونه، در کتابش که در دهه هفتاد میلادی انتشار یافت، کرفت‌ر بارها اعلام می‌دارد که نظریاتش همان‌هایی است که در ۱۹۳۵ بیان داشته بود (Ibid, 48, 58).

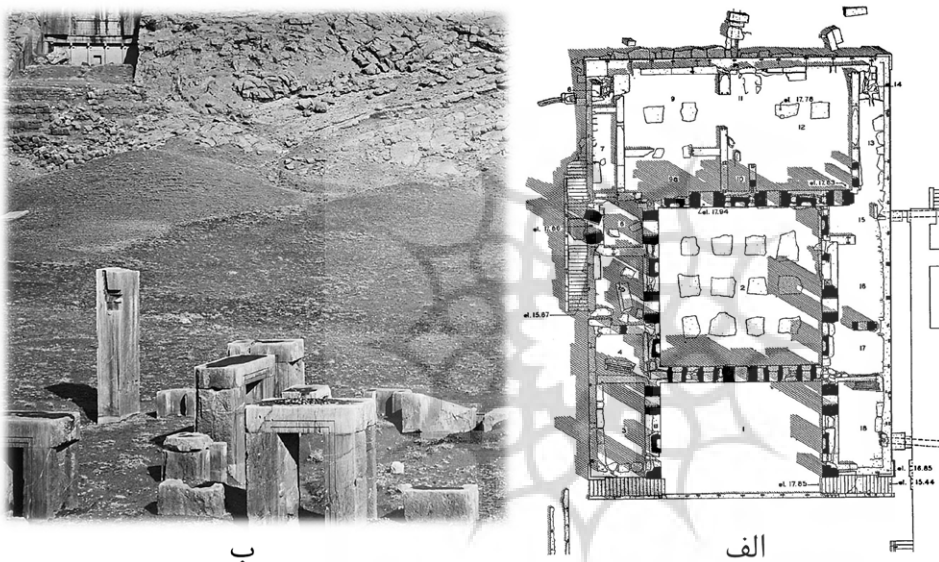
تألیفات و فعالیت‌های کرفت‌ر از هوش سرشار وی نشان دارد؛ دقت به جزئیات و آگاهی به ادبیات پیشین در آثار او دیده می‌شود. زمانی که به نقد بازسازی‌های سایر محققان می‌پردازد، کرفت‌ر با ارجاع به فناوری‌های ساختمانی باستان، گذشته بنا را نیز تحلیل می‌کند. اما تعمیم عجولانه برخی پیش‌فرض‌ها در زمره ایرادات وارده بر تألیفات اوست؛ پیش‌فرض‌هایی که بهره بردن از آن‌ها در طرح‌های منطقی نیست، یا از فهم نادرست مطالعات دیگران منجر شده است. برای مثال، گرچه وی با ارجاع به لوح‌های خزانه در جست‌وجوی شواهدی از کارهای چوبی پوشش سقف، و حتی سرستون‌های چوبی و الوارهای برش‌خورده برآمده (Ibid, 27)، لوح‌هایی که کرفت‌ر بدان‌ها ارجاع می‌کند، تنها به کاربرد چوب برای کارهای ساختمانی و تزیینات اشاره دارند.<sup>۱۸</sup>

ایده عنصر حدواسط چوبی را که فضای تهی میان سرستون‌ها را پر کند، اولین بار تکسیر مطرح کرد. تفاوت عمده طرح‌های کرفت‌ر با او، کاربرد تیرهای سه‌گانه است. اینکه استفاده از چنین تیرهایی برای انتقال بار سقف در مشاهدات کرفت‌ر از گوردخمه قیزقاپان و معماری بومی غرب ایران ریشه دارد، یا آنکه آیات کتب مقدس درخصوص کاخ سلیمان محل ارجاع بوده (The First Book of the Kings, c. vii. ver. 3.4.6, 1)، یا برخی محاسبات احتمالی سبب نشئت گرفتن این ایده باشد، محل بحث است. براساس مکتوبات برجای‌مانده از کرفت‌ر، اینکه در برخی کاخ‌ها مرکز خارجی‌ترین ردیف ستون‌های ایوان داخل‌تر از محل حجاری‌های برجای‌مانده در جرزهای سنگی طرفین ایوان است، عاملی بود که کرفت‌ر را به ایده حضور تیرهایی در خارج از مرکزیت ستون راهنمایی کرد (Krefter 1971, 25, 49, 58).

اما میزان صحت پیش‌فرض خارج از مرکز بودن ستون‌ها خود محل بحث است. هرتزفلد گزارش مکتوبی از کاوش‌های تخت‌جمشید ارائه نداد و یافتن اطلاعاتی از وضعیت دقیق بنا در زمان کاوش‌ها مشکل است. اما عکس‌های تاریخی (تصویر ۳، چپ)، دفترچه یادداشت‌های هرتزفلد، نیز کتابی که کرفت‌ر چند دهه بعد از کاوش‌ها منتشر کرد، در روشن شدن زوایای پنهان این کاوش‌ها کمک می‌کند. این‌گونه آشکار می‌شود که در کاخ داریوش (تچر) و حرم خشایارشا که تنها کاخ‌های تخت‌جمشید هستند که جرزهای سنگی حجاری‌شده برای قرارگیری تیرهای سقف را همراه دارند، میزان آسیب‌های وارده و مداخلات انسانی در گذر زمان در حدی بود که در زمان کاوش پایه ستونی در ایوان این بناها وجود نداشت (Herzfeld 1930-1931, vol. 2, no.18, 19, 21; Krefter 1971, 26). این موضوع را می‌توان به‌وضوح در نقشه‌هایی که اشمیت در دهه پنجاه میلادی از وضعیت این بناها منتشر نمود، ملاحظه کرد (تصویر ۳، راست). از این‌رو، نتیجه‌گیری‌های کرفت‌ر درخصوص محل ستون‌ها و ارتباط میان مرکز آن‌ها و برش‌های جرزسنگی، احتمالاً برآمده از نظرات شخصی وی، نیز مشاوری و تأیید سرپرست گروه حفاری هرتزفلد بوده که برخی باستان‌شناسان مطرح، نقدهای اساسی بر رویه وی در حفاری و بحث‌های علمی‌اش وارد داشته‌اند.<sup>۱۹</sup>

ازسوی دیگر، ایده تیرهای سه‌گانه در همه کاخ‌های هخامنشی قابل تعمیم نیست؛ مثلاً در تالار سپاه با آنکه دهانه ستون‌ها ۳/۸۱ متر (فاصله ردیف‌ها از یکدیگر ۴/۲ متر) است، فاصله مرکز آخرین ردیف ستون تا لبه بیرونی حصار آن قدر محدود است (۸۰ تا ۸۵ سانتی‌متر) که کرفت‌ر در طرح‌هایش مجبور به استفاده از دو تیر (ضخامت ۹۰ سانتی‌متر) می‌شود (Krefter 1971, 60). کاخ‌های پاسارگاد به دلیل داشتن سیستمی از پی‌های دوگانه، شواهد مستحکم‌تری از

محل دقیق ستون‌ها و رابطه آن‌ها با جرزهای ایوان در اختیار قرار می‌دهند. در کاخ اس، استروناخ (Stronach 1978, 65) با بیان آنکه محل قرار گرفتن بیرونی‌ترین ردیف ستون‌های ایوان خیلی داخل‌تر از جرز سنگی پیرامونی است، لزوم وجود فاصله قابل توجه میان تیرهای سه‌گانه گرفتار (تصویر ۱ ط) را یادآوری می‌کند. این گونه در بازسازی استروناخ، تیرهای سه‌گانه ۱/۳ متر عرض دارند. در کاخ پی، استروناخ کاربرد تیرهای سه‌گانه‌ای را که با فاصله‌ای قابل توجه از هم قرار می‌گیرند، پیشنهاد داد. اما چنان‌که خود اشاره دارد، این روش به دلیل عدم انطباق محور تیرهای فرضی با برش‌های جرزسنگی قانع‌کننده نیست (Ibid, 89). اگر فرضیه استروناخ برای در نظر گرفتن سه تیر به جای یک تیر (که آثار آن در جرزهای سنگی دوسوی ایوان باقی‌مانده) را بپذیریم، عرض کلی این تیرها به حدود ۲/۲ متر خواهد رسید. رقمی که با در نظر گرفتن فاصله ستون‌ها، از حدود رایج در دیگر کاخ‌های هخامنشی فراتر رفته و فاقد توجیه سازه‌ای است.



تصویر ۳: الف. وضعیت کاخ داریوش در زمان حفاری‌ها (Schmidt 1953, 217)؛ ب. وضعیت حرم خشایارشا پیش از شروع حفاری‌ها (Smithsonian Institution 2016)

بنابراین، هم از منظر مهندسی و هم بر پایه شواهد باستان‌شناسی، مکتب فکری بنیان‌گذاری‌شده توسط گرفتار با کاستی‌های اساسی مواجه است. به‌رغم آنکه این دیدگاه در طی دهه‌ها در محافل پژوهشی مورد اقبال قرار گرفته، چنین ایرادات ساختاری، بازنگری بنیادین در آن را ضروری می‌سازد.

#### ۴. اصول معماری و ساخت در دوران هخامنشی و پوشش کاخ‌ها

آثار تاریخی معماری ایران نشان از آن دارد که ایرانیان تنها به فرم و زیبایی بها نمی‌دادند، بلکه برایشان کاربری از اهمیت والایی برخوردار بود (Nylander 1970, 147). این همان اصل چندعملکردی در معماری است که در برساو کردن اشکال و فناوری‌های دیگر تمدن‌ها، هخامنشیان بدان وفادار ماندند. درحقیقت، معمار هخامنشی آموخته بود که ارزش آثار هنری بدان وابسته است که از تزیین صرف فراتر برود؛ از این‌رو، فنون را ساده‌سازی، و اصول اجرایی را انعطاف‌پذیر می‌دید (Godard 1965, 118). آثار معماری هخامنشی ثابت می‌کنند در این عصر توجه فراوانی به بهبود عملکرد سیستم‌های ساختمانی، کاربرد اقتصادی مصالح، و روش‌های مقابله با زلزله معطوف بود و همسازی میان معماری و سازه از خلق آثار ساختمانی جدایی‌ناپذیر بود (Motamedmanesh 2022, 314-315). مقایسه سنت‌های ساختمانی در محدوده جغرافیایی خاور نزدیک و هم‌عصر با هخامنشیان، کاربرد پیچیده مصالح و روش‌های اجرا در امپراتوری پارسیان

را مؤکد می‌کند (Nylander 1970, 53). مشاهده کاربرد فناوری مصلح بنایی (که بالنسبه فراوان بودند) شکی بر جای نمی‌گذارد که معمار در کاربرد چوب ارزشمندی که از فرسخ‌ها دورتر تهیه می‌شد، هوشمندانه رفتار کرده باشد.

#### ۴.۱. مصلح

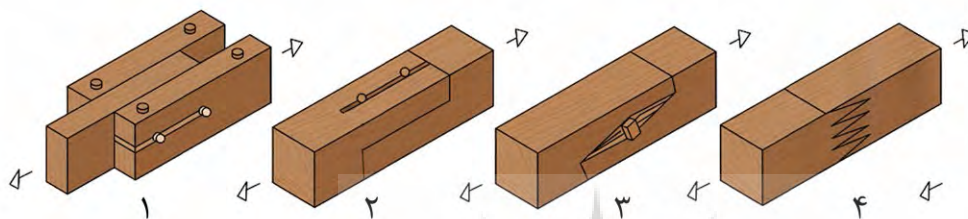
با توجه به اینکه شرایط آب‌وهوایی اکثر مناطق فلات ایران امکان رشد مناسب گیاهان را فراهم نمی‌آورد، هخامنشیان مجبور بودند تا چوب مورد نیازشان را از سایر نواحی قلمروشان تهیه کنند. به گواهی کتیبه‌های کاخ شوش، چوب‌های به‌کارگرفته‌شده در این کاخ، از جنس سدر و یاکا (ساج) بودند که از کوهستان‌های لبنان و گاندارا (قندهار) و کارمانیا آورده می‌شدند (Pope 1965, 27). احتمالاً از مصلح چوبی برای پوشش سقف، ساخت بازشوها، کتیبه درب و پنجره‌ها، و عناصر تزئینی استفاده می‌شد. تحلیل زغال یافت‌شده در تخت‌جمشید نشان می‌دهد پوشش سقف از چوب سدر بوده است. تاریخ‌نگارانی که از کاخ‌های هخامنشی دیدن کردند، اذعان دارند که چوب سدر، آبنوس و ساج با استفاده از طلا اندود شده و با عاج، فلزات گران‌بها، سرپانتین سبز و هماتیت قرمز منبت‌کاری شده بود. پولیبیوس<sup>۲۰</sup> در قرن دوم پیش از میلاد گزارش مختصر و موجزی از شهر اکباتان، تاریخ و ابنیه آن می‌دهد. او با اشاره به استفاده از چوب سدر در پوشش سقف، توضیح می‌دهد که چوب با فلزات ارزشمند پوشیده شده بود (Polybius 2<sup>nd</sup> century BC, Book X, ch. 27). احتمالاً این تزئینات در آپادانا، برجسته‌ترین کاخ هخامنشی، نیز به کار گرفته شده بود (Pope 1965, 35). هردوت<sup>۲۱</sup> نیز در گزارش‌هایش به اکباتان و استفاده فراوان از چوب در ساخت سقف‌ها اشاره دارد (Herodotus 5<sup>th</sup> century BC, Book I, ch. 98).

سدر لبنانی<sup>۲۲</sup> درختی است از خانواده کاج. چوب آن سخت، خوشبو (به‌واسطه آن ضد موربانه)، با ضریب ارتجاعی بالا و وزن مخصوص زیاد است که اهمیت زیادی در دنیای باستان داشت. در بسیاری از سنگ‌نوشته‌ها، متون باستانی (Vitruvius 1<sup>st</sup> century BC, Book II, ch. 9) و حتی در کتب مقدس همچون تورات از آن نام برده شده است. از این چوب ارزشمند در ساخت بسیاری از ابنیه باستانی همچون معبد سلیمان، معبد خدای خورشید بابلان<sup>۲۳</sup> و نیز در ادیون هردوس<sup>۲۴</sup> در آتن استفاده شده بود (Livius 2012). کاربرد سدر محدود به ساخت ابنیه نبود و در ساخت تابوت و مجسمه‌های مدفون در گورهای باستانی مصر نیز کاربرد داشت. نحوه کاربرد این چوب بر ارزشمند بودن آن تأکید می‌کند؛ مثلاً در ساخت مجسمه‌هایی که به‌راحتی می‌توانستند یکپارچه اجرا شوند، وصله‌هایی دیده می‌شود که یادآور توجه سازندگان به کاربرد همه بخش‌های چوب است.

درخت سدر تا ارتفاع ۴۰ متر رشد کرده و ضخامت تنه آن به ۳ متر می‌رسد (فرشاد ۱۳۷۶، ۳۵-۳۶) و با در اختیار قرار دادن قطعات چوبی پیوسته می‌توانست راهگشای یکی از مشکلات کار با چوب در دنیای کهن یعنی اتصالات باشد. با این حال، ابعاد قابل توجه دهانه‌هایی که باید پوشیده می‌شد، در کنار مشکل انتقال عناصر چوبی طویل از فواصل هزاران کیلومتری، و به‌خصوص نیاز به مقاطع متفاوت برای ساخت عناصر گوناگون، معمار هخامنشی را به استفاده از عناصر چوبی برش‌خورده و در قطعی کوچک‌تر از اجزای باربر نهایی مجبور می‌کرد.

پیش از ایجاد اتصالات مؤثر فلزی، امکان استفاده از سطح مقطع مؤثر عناصر چوبی مهیا نبود. از آنجاکه چوب یک ماده همگن<sup>۲۵</sup> نیست، تنش‌ها در موازات رگه‌های داخلی ماده انتقال می‌یابد، اما با وارد شدن تنش‌های برشی، چوب در راستای رگه‌ها بریده می‌شود (Wright 2005, 17). در یک اسکلت باربر، نیروهای برشی در محل اتصال تیر به ستون بروز می‌کنند. سازه‌های چوبی تاریخی نشان می‌دهند که معماران غالباً از روش‌های اتصالات بهره می‌جستند و کاربرد میخ محدود بود (Ibid, 264). پاره‌ای از اتصالات که برای ادامه یافتن مصلح در امتداد افق با استفاده از روش‌های کهن قابل دستیابی بودند، در تصویر ۴ دیده می‌شوند. انتقال نیروهای کششی در همه این الگوها به‌جز مورد (۴) سبب گسترش نیروی برشی در طول رگه‌ها شده، در صورتی که اتصالات از طریق بست یا میخ حاصل آمده باشند، شکست چوب اجتناب‌ناپذیر است. برای جلوگیری از این اتفاق، ادامه یافتن مصلح در دو سوی محل اتصال ضروری خواهد بود و این موضوع موجب اتلاف مصلح، نیز سختی در اجرای اتصال می‌گردد (موارد ۲ و ۳). در صورتی که روش (۱) استفاده گردد، با بروز نیروی گریز از مرکز، اضافه کردن مصلح اجتناب‌ناپذیر می‌شود. اگر همانند نمونه (۴) تیر در امتداد صفحه

قبلی ادامه یابد، نیاز به برش‌های متعدد خواهد بود که موجب ضعف سازه می‌گردد (Mainstone 2001, 55-56). از این‌رو، داشتن قطعات چوبی یک تکه، یا فراهم بودن بخش‌هایی در میان عناصر باربر عمودی که با استفاده از اتصالات ساده امکان تداوم مصالح چوبی را در صفحه افق فراهم آورد، فرصتی در اختیار سازندگان قرار می‌داد تا با استفاده از حداقل سطح مقطع باربر، حداکثر بارها را انتقال دهند. سرستون‌های سنگی چنین نقشی ایفا کرده و با تأمین فضای نشست تیرهای چوبی، محملی برای اتصالات ساده‌ای که بخش‌های مختلف یک تیر را به هم پیوند می‌داد، فراهم می‌آوردند.



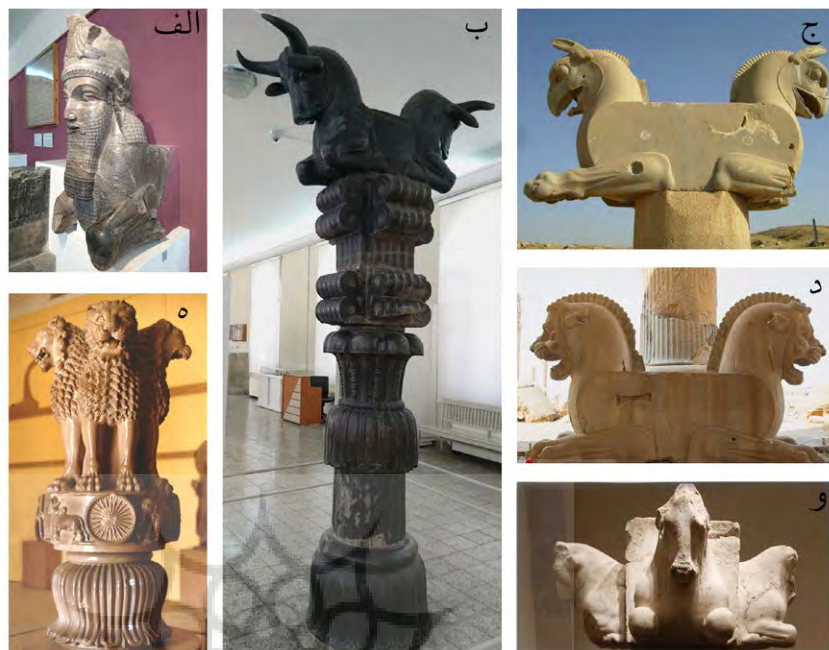
تصویر ۴: الگوهای اتصال چوب براساس فناوری‌های در دسترس در دوران باستان (Mainstone 2001, fig. 3-13). رنگ و ترسیم مجدد توسط نویسنده

## ۴.۲. مکانیک نیروها و فرم‌های معماری

برای معمار امروزی که با استفاده از فناوری‌های طراحی، محاسباتی و اجرا هرآنچه را در ذهن تجسم می‌کند به واقعیت نزدیک می‌سازد، تصور مشکلات اجرایی که در دنیای کهن و به‌واسطه بهره بردن از حداقل ابزارها وجود داشت، مشکل می‌نماید. آثار معماری تمدن‌های باستان حکایت از آن دارند که پیدایی بسیاری از فرم‌های معماری و تداوم آن‌ها در گذر زمان برآمده از منطق انتقال نیروها، و مسائل اجرایی بوده است (Ibid, 22-23). در معماری هخامنشی وجود چنین رابطه تنگاتنگی میان معماری و سازه دور از ذهن نیست.

ستون‌های هخامنشی ترکیبی از عناصر مکاتب مختلف معماری را نمایش می‌دهد. پایه‌های زنگوله‌ای شکل و یا پله‌پله، پایین‌ترین بخش است. استوانه ستون از روی هم قرار گرفتن چندین قطعه سنگ ساخته شده که با افزایش فاصله از سطح زمین، ارتفاع و سطح مقطع آن کاهش می‌یابد. بخش نهایی، سرستون‌ها هستند که گونه‌های مختلفی از آن‌ها یافت شده است. کامل‌ترین الگوشان (که در ستون‌هایی به ارتفاع ۱۹ متر حدود ۸ متر بلند دارد)، از سه بخش تشکیل شده است. در پایین‌ترین تراز، اشکال گیاهی به‌صورت برگ‌های واژگون که یادآور عناصر هنری هیتییک دوران متأخر (قرن هشتم پیش از میلاد) است دیده می‌شوند که بر روی آن‌ها با الگوهای تزیینی مصر باستان آرایش می‌یافت. بلافاصله روی این مجموعه ترکیبی متقارن و زیبا از حلزونی‌های به‌هم‌پیوسته قرار داشت. اما عنصر نهایی سرستون است که وجه بارز معماری هخامنشی دانسته شده (Herzfeld 1941, 238) و شامل مجسمه‌های عظیمی است که به شکل حیوانات افسانه‌ای تراش خورده‌اند. اگرچه فرم حیوانات زانورده و به یکدیگر تکیه‌داده در آثار تزیینی ساختمان، مهره‌ها و مجسمه‌های دوره‌های تاریخی پیش از هخامنشیان دیده می‌شود، این فرم از سرستون اولین بار در معماری هخامنشی دیده شد (Stronach 1978, 74). شواهد معماری نشان از آن دارند که معمار استفاده آزادانه‌ای از ترکیب عناصر ستون با یکدیگر داشته و در بخش‌های مختلف یک مجموعه ترکیبات مختلف اجزای سرستون‌ها به نمایش درمی‌آمد. اما آنچه هیچ‌گاه تغییر نمی‌کرد، بخش نهایی سرستون‌هاست که بخش میانی اشکال گوناگون آن (تصویر ۵)، همواره خالی باقی می‌ماند.

پوپ (Pope 1965, 39) و بسیاری از پژوهشگران، نقش اصلی سرستون‌های هخامنشی را در بعد تزیینی و نمادین آن‌ها می‌دانند؛ با این حال، با توجه به دستاوردهای چشمگیر مهندسی در معماری هخامنشی (جدول ۱)، دور از ذهن نیست که سرستون‌های سنگی نقشی مؤثر در ایستایی سازه نیز ایفا کرده باشند. هخامنشیان به‌ویژه در حوزه روش‌های



تصویر ۵: انواع سرستون‌های هخامنشی و نمونه‌های یافت‌شده در تمدن‌های متأثر از آنان

اتصال، حساسیت و دقت بالایی از خود نشان داده‌اند (Nylander 1970) و از این رو، به نظر می‌رسد که شکل خاص سرستون‌ها و نحوه برش ناحیه میانی آن‌ها انتخابی تصادفی نبوده باشد.

فرم ستون‌های هخامنشی از پایه تا تراز سرستون کاملاً متقارن است؛ اما این تقارن در ناحیه بالایی با ظهور عناصر جانور شکل شکسته می‌شود. کالبد جانور به شکل برآمدگی‌هایی نامتقارن از بدنه ستون خارج می‌شود و در محور میانی سرستون سنگ تراشی شده، حفره‌ای تعبیه می‌گردد. بنابر طرح پیشنهادی کرفت، عمود بر راستای سرستون و در درون این فضای خالی، تیرک میانی قرار می‌گرفت که از دو سوی سرستون بیرون زده، وظیفه انتقال بار از شاه‌تیرهای سقف را عهده‌دار می‌شده است (تصویر ۲ الف). استفاده از چنین الگویی منجر به بارگذاری نامتقارن ستون‌هایی می‌شد که با توجه به ارتفاع زیاد و ضریب لاغری بالایشان، نسبت به ناپایداری جانبی بسیار حساس بودند. اختلاف وزن میان تیرک میانی و اجزای جانبی آن می‌توانست در نخستین مرحله از جابجاری شاه‌تیرها، منجر به ناپایداری و در نهایت واژگونی ستون گردد. براساس رابطه کلاسیک واژگونی جانبی (لنگر = نیرو  $\times$  فاصله تا نقطه اثر نیرو)، این مدل ساخت برخلاف اصول مهندسی در سازه‌های بلند است که در آن‌ها، بارگذاری باید تا حد امکان هم‌محور باشد. همچنین، باید توجه داشت که مقطع ستون‌ها در معماری هخامنشی با افزایش ارتفاع به‌طور پیوسته کاهش می‌یافت؛ به گونه‌ای که این سطح مقطع در بالاترین نقطه تنها حدود ۱/۸ بخش پایینی آن بود. این کاهش سطح مقطع، حساسیت سازه به بارگذاری جانبی را افزایش می‌دهد و اجرای طرح کرفت را با دشواری جدی مواجه می‌سازد. از این رو، دیدگاه کرفت از لحاظ منطق سازه‌ای و اجرایی قابل دفاع نیست.

در صورتی که نقش سرستون صرفاً فراهم ساختن محلی برای قرارگیری تیرک چوبی میانی باشد، این پرسش پیش می‌آید که چرا معمار و سنگ‌تراش هخامنشی - که مهارت بی‌نظیر خود را در حجاری‌های ظریف و ساخت قطعات سنگی عظیم‌الجثه به‌وضوح نشان داده - اقدام به طراحی سرستون‌هایی متقارن نکرده بود؛ سرستون‌هایی که از چهار جهت دارای تکیه‌گاه سنگی بوده و در نتیجه خطر واژگونی ناشی از بارگذاری نامتقارن را از میان می‌برد. نمونه‌هایی از چنین سرستون‌هایی نه تنها در نگاره‌های مصر باستان قابل مشاهده‌اند، بلکه در آثار به‌جامانده از امپراتوری مائوریا در شمال

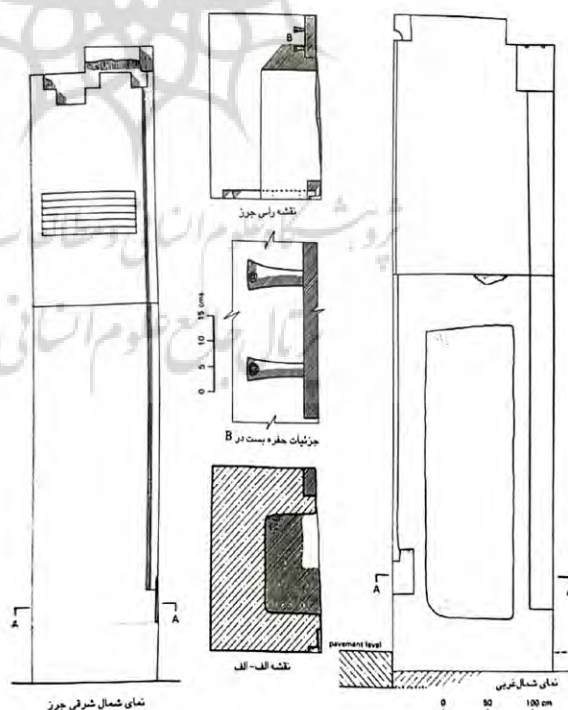
هند (۳۲۲-۱۸۵ پ.م) نیز دیده می‌شوند (تصویر ۵ ه)؛ فرهنگی که بنا بر نظر محققان، از سنت‌های معماری هخامنشی تأثیر پذیرفته است (Ghirshman 1964, 356). شواهدی از همین نوع ساختارهای سرستون را همچنین می‌توان در سیدون، واقع در ناحیه کنونی لبنان مشاهده کرد (تصویر ۵ و). از این رو، تنها در صورتی می‌توان فرم غیرمقارن و خاص سرستون‌های هخامنشی را توجیه‌پذیر دانست که مزایای عملکردی آن‌ها به گونه‌ای چشمگیر بر ضعف‌های سازه‌ای ناشی از عدم تقارن غالب باشد. چنان‌که معماری هخامنشی را به عنوان نقطه تداوم و ارتقای سنت‌های ساختمانی پیش از خود در نظر بگیریم، این احتمال تقویت می‌شود که تجربه‌های حاصل ساخت از مقابر صخره‌ای مادی و اورارتویی - که در آن‌ها فرم سرستون‌هایی با الگوهای ابتدایی دیده می‌شود - در طراحی سرستون‌های کاخ‌ها نقش داشته‌اند. در این چارچوب، به نظر می‌رسد که معمار هخامنشی با شناخت محدودیت‌های الگوهای پیشین و با اصلاح آن‌ها، اقدام به خلق سرستون‌هایی کرد که نه تنها بر توانایی باربری کلی سازه می‌افزود، بلکه بهره‌وری سیستم سقف را به میزان محسوسی ارتقا می‌بخشید.

آنچه در ایستایی یک تیر اهمیت دارد، یافتن راهی برای جلوگیری از چرخش آزادانه آن و ایجاد اتصالی گیردار است؛ تیری که از چرخش دو سر آن ممانعت به عمل آید، از منظر ایستایی سازه‌ای نامعین است و این سازه‌ها در استفاده از مصالح کارایی بیشتری دارند (MacDonald 2001, 142-43). از آنجا که تنش خمشی در یک تیر با گشتاور خمشی نسبتی مستقیم دارد، در تیرهایی با اتصال گیردار بالاترین تنش‌ها در قسمت انتهایی دهانه ایجاد، متعاقباً تیرهای گیردار ۱/۵ برابر قوی‌تر از تیرهای ساده‌اند (Ibid, 53). تا پیش از کاربرد مصالح مهندسی شده مدرن دستیابی به اتصالات گیردار واقعی ممکن نبود، اما تاریخ معماری نمونه‌های متعدد از تلاش استادکاران برای افزایش بهره‌وری سازه‌های اسکلتی و بهینه‌سازی اتصالات را نمایش می‌دهد (Zander 1968, 305; Mainstone 2001, 160, 196-97). تلاش‌هایی که می‌توان آن‌ها را ایجاد اتصالات شبه‌گیردار نامید.



تصویر ۶: الگوی پیشنهادی نویسنده برای سازه پوشش‌دهنده سقف

سرستون‌های هخامنشی با جای دادن تیر چوبی میان دو جداره سنگی مانع از چرخش آن بر اثر بارگذاری نامتقارن می‌شدند. ترکیب نیروی فشاری حاصل از وزن سقف با سختی بالای سرستون سنگی، موجب تثبیت بیشتر تیر در محل قرارگیری آن می‌گردید. از سوی دیگر، وجود این بستر پیوسته که امکان عبور مصالح چوبی از میان آن را بدون نیاز به اتصالات پیچیده فراهم می‌ساخت، زمینه‌ای برای گسترش مؤثر سازه در امتداد افق پدید می‌آورد و اجازه می‌داد از مقطع باربر تیر چوبی به شکلی بهینه بهره‌برداری شود (تصویر ۶). در نتیجه، با حداقل اتصالات مکانیکی و بدون ضعیف ساختن مصالح چوبی بر اثر کاربرد برش‌های خاص، شاه‌تیرهای مستحکمی ایجاد می‌شدند که در محل سرستون‌ها به یکدیگر پیوند خورده و در صفحه موازی با افق تداوم می‌یافتند. آگاهی معمار هخامنشی از لزوم مهار چرخش تیرها برای افزایش کارایی آن‌ها را می‌توان در شواهد برجای‌مانده از کاخ پی در پاسارگاد مشاهده کرد. در بالای جرزه‌های سنگی ایوان، که همچنان پابرجا هستند، نشانه‌هایی از وصالی قابل مشاهده است (تصویر ۷). این وصالی‌ها با استفاده از بست‌های آهنی، تیرهای چوبی را به جرزه‌های سنگی متصل می‌کرده و نقش کلیدی در تقویت انسجام سامانه سقف ایفا می‌نموده‌اند. استفاده از شاه‌تیرهایی که با عبور از همه سرستون‌ها در دیوارهای ستبر انتهایی (نسبت ارتفاع به ضخامت: تقریباً ۴) قرار می‌گرفتند (Schmidt 1953, 78) مزایای ارزشمند دیگری را به دنبال داشت. هخامنشیان توجه ویژه‌ای به زلزله داشتند و از روش‌های متفاوتی برای مقابله با نیروی ویرانگر طبیعت بهره برده‌اند (Motamedmanesh 2021). به نظر می‌رسد با اتصال مؤثر ستون‌ها به یکدیگر (به وسیله شاه‌تیرهای چوبی) و نیز برقراری اتصال میان ستون‌ها و دیوارهای محیطی کاخ، در صورت بروز زمین‌لرزه بخش‌های مختلف سیستم سقف با یکدیگر می‌لرزیدند که در لرزش‌های کوچک مانع آسیب می‌شد (Ibid, 13). احتمالاً این الگو راهنمایی برای طراحی سیستم کام و زبانه به نام دوگونگ<sup>۲۶</sup> بوده که موجب تحول در معماری چین باستان در سده دوم و سوم پیش از میلاد گردید. در آن سرزمین نیز موضوع پوشش دهانه‌های وسیع و مقابله در برابر نیروی ویرانگر زمین‌لرزه در کانون توجه معماران قرار داشت (Idem 2025).



تصویر ۷: جرزه سنگی کاخ پی در پاسارگاد و محل قرارگیری بست‌های آهنی در رأس آن (Stronach 1978, fig. 35)

کرفتور باور داشت که طرح‌های او برای بازسازی منجر به بهره‌وری بیشتر در مصرف مصالح شده و کاهش چشمگیری در مقاطع چوبی مورد نیاز به همراه دارد؛ چنان که اعداد ارائه‌شده توسط او در این زمینه به‌طرز شگفت‌انگیزی کوچک گزارش شده‌اند (Krefter 1971, 49-50). با این حال، ضعف‌های سازه‌ای این الگوی پوشش سقف، در عمل محقق شدن دیدگاه‌های کرفتور را با چالش مواجه ساخت. وی در نهایت ناگزیر شد برای صرفه‌جویی در مصرف چوب، ایده تیرهای سه‌گانه را تنها در ایوان حرم خشایارشا به کار گیرد و سقف تالار مرکزی با تیرهای منفرد و متداخل بازسازی گردید (Ibid, 27). این تغییر، گواهی‌ای است بر ناپایداری مدل پیشنهادی اولیه و تلاش برای انطباق آن با واقعیت‌های اجرایی.

بار وارده بر سازه سقف کاخ‌ها شامل وزن لایه‌های مصالح عایق‌کننده بنا در مقابل رطوبت، ورقه‌های فلزی پوشاننده چوب‌ها، و خود تیرها بوده است. برخلاف محققانی که به استفاده از حجم انبوه خاک بر روی سقف (ضخامت ۳ تا ۴/۵ متر) اشاره دارند (Pope 1965, 35; Dieulafoy 1890; Herzfeld 1941, 229)، از منظر مصرف مصالح چنین روشی بهینه نخواهد بود. برای کاهش یافتن بار مرده بنا و متعاقباً کاهش سطح مقطع چوب مورد نیاز، باید حداقل مصالح برای پوشش سقف و ضد آب ساختن آن به کار گرفته می‌شد. مقایسه الگوهای اجرای سقف با مصالح بنایی در بناهای تاریخی ایران (Zander 1968, 156-157, 300, 408)، نیز روش‌هایی که امروزه در مناطق روستایی به کار می‌روند، نشان می‌دهد ضخامت سقف در حدود ۰/۶ تا ۰/۷ متر برای تأمین نیازهای کاربردی بنا کفایت می‌کند. در نتیجه، انتظار می‌رود ضخامت سازه سقف از حاصل جمع ابعاد تیرها (قابل محاسبه از فضای خالی میان سرستون‌ها)، شاه‌تیر قرار گرفته بر روی آن (قابل محاسبه از نسبت میان دو تیر عمود برهم در حجاری‌های مقابر)، و ضخامت لایه‌های پوشش‌دهنده سقف برای ضد رطوبت ساختن آن فراتر نرود. دور از انتظار نیست با توجه به قدرت مالی و گستره تمدنی امپراتوری هخامنشی، در اندود ساختن سقف به جای کاربرد صرف کاهگل و خاک، از قیر استفاده شده باشد که نمونه این مصالح در کاوش‌های تخت جمشید و به‌ویژه در کاخ آپادانا به دست آمده است (Schmidt 1953, 73, 80, 286). این گونه با کاهش بار مرده سقف، کاهش قابل توجهی در ظرفیت مورد نیاز برای باربری تیر وارد می‌آمد.

### ۳.۴. شواهد باستانی

محوطه‌های باستانی شواهدی محکم از دنیای کهن را در خود ذخیره کرده‌اند. با بهره بردن از نگاه تیزبین، نیز تفسیر مناسب مشاهدات، آن‌ها می‌توانند به‌منزله زبانی گویا از گذشته‌های دور عمل نمایند. از آنجاکه چوب یک ماده ارگانیک است، در برابر عوامل اقلیمی ناپایدار بوده، به‌سرعت تجزیه می‌شود. در نتیجه، شناخت وضعیت عناصر چوبی باستانی باید بر مبنای آثاری که چوب روی مواد ماندگارتر بر جای می‌گذارد، همچنین توجه به ویژگی‌های فیزیکی چوب، یا یادداشت‌ها و تصاویر برجای‌مانده از دوران باستان صورت گیرد (Wright 2005, 1).

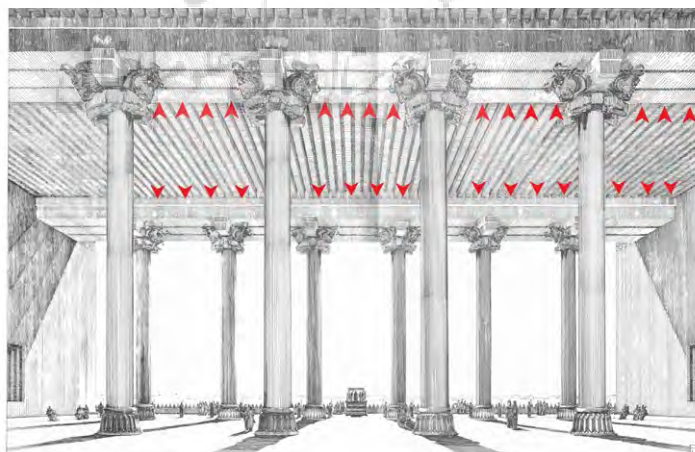
سنگ‌تراشی هخامنشی هنری بسیار ظریف، دقیق و نظام‌مند بود؛ به‌گونه‌ای که نمونه‌برداری‌های حجاری‌ها با دقتی چشمگیر انجام شده‌اند (Pope 1965, 36). صرف‌نظر از برخی اغراق‌های تعمدی، نسبت‌های یکنواخت در بزرگ‌نمایی یا کوچک‌نمایی سایر عناصر کاملاً مشهود است. از این‌رو، نقش برجسته‌های هخامنشی علاوه بر کارکرد روایی و تاریخی، در تحلیل دقیق جزئیات سازه‌ای و شناخت اشیاء نیز ارزشمندند. در حجاری‌های مقابر سلطنتی هخامنشی، نحوه جانمایی عناصر سازه‌ای سقف به‌وضوح قابل مشاهده است (تصویر ۸). در چینش اجزای چوبی سقف بر روی یکدیگر، جزئیاتی مشاهده می‌شود که به اعتقاد محققان بنام تاریخ‌مهندسی ساختمان در ایران (Hejazi 1997, 19؛ فرشاد ۱۳۷۶، ۲۹۷) حکایت از آگاهی سازندگان باستانی نسبت به اصول ایستایی و رفتار سازه‌ای مصالح دارد. برای نمونه، تیر قرار گرفته میان سرستون‌ها، از دو مقطع چوبی با عرض‌های متفاوت تشکیل شده که به‌صورت مرکب به فرم حرف T بر روی یکدیگر سوار شده‌اند (تصویر ۸). این ترکیب با قرار دادن مصالح در فاصله بیشتری از محور خشی، موجب افزایش ممان اینرسی در صفحه اصلی خمش تیر شده،<sup>۳۷</sup> باعث می‌شود تیر سخت‌تر خم شود و تمایل به چرخش آزادانه آن کمتر شود (MacDonald 2001, 136). اگرچه استفاده از سطح مقطع یکپارچه با فرم مشابه می‌توانست همین رفتار سازه‌ای را منجر گردد، به‌دلیل مؤلفه‌های اجرایی معمار هخامنشی از ترکیب دو تیر مکعب‌مستطیل استفاده نموده است. با توجه

به ارزش والای مصالح چوبی، دقت بالایی در کاهش دورریز آن‌ها می‌شده است. درحالی‌که استفاده از دو تیر با مقطع مستطیل‌شکل کمترین دورریز را در برش الوارها به دنبال داشت، در صورت برش تنه درخت به شکل T، بخشی از چوب به قطعات کوچک غیرقابل استفاده تبدیل می‌گردید. این انتخاب هوشمندانه در انتخاب مقطع و نحوه برش آن را می‌توان در امتداد پژوهش‌های اخیر دانست که ثابت کرده هخامنشیان از دانش سازه‌ای پیشرفته برخوردار بودند که در تمامی اجزای معماری کاخ‌هایشان نمود یافته و تصمیماتشان درخصوص سازه و معماری با در نظر گرفتن تبعات اقتصادی آن‌ها صورت می‌گرفت (Motamedmanesh 2022, 313-314).



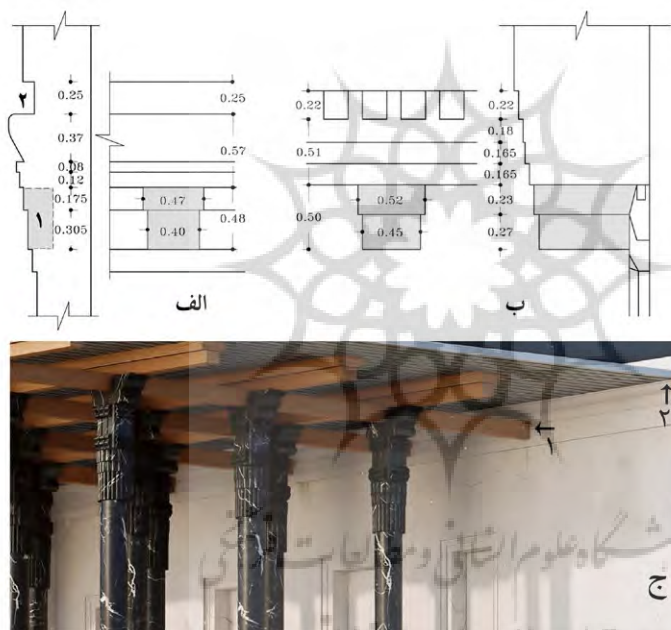
تصویر ۸: جزئیات عناصر پوشش‌دهنده سقف کاخ‌ها در حجاری‌های مقابر در نقش‌رستم

براساس شواهد موجود در نقش‌برجسته‌ها، حتی بدون انجام محاسبات مهندسی نیز می‌توان فرضیه کرفتر را رد کرد. در صورت پذیرش الگوی تیریزی سه‌گانه، به دلیل آنکه اتصالی میان تیرهای سه‌گانه برقرار نبوده است (تصویر ۹)، بار مرده حاصل از هر دهانه بر بیرونی‌ترین ردیف از تیرها اعمال می‌شد. درحقیقت به دلیل مکانیک انتقال تنش‌ها، اولین نقطه‌ای که در آن تیرچه سقف بر روی تیر می‌نشیند، محل انتقال همه تنش‌ها به زمین خواهد بود. این‌گونه، تیر منفصل میانی - که در امتداد محور ستون و در موقعیتی مناسب برای انتقال نیرو قرار داشت - عملاً نقشی در تحمل بار مرده عناصر پوشاننده دهانه ایفا نمی‌کرد. در چنین شرایطی، تیرک کوتاه میان سرستون باید به‌تنهایی قابلیت انتقال کل بار دهانه را دارا باشد.



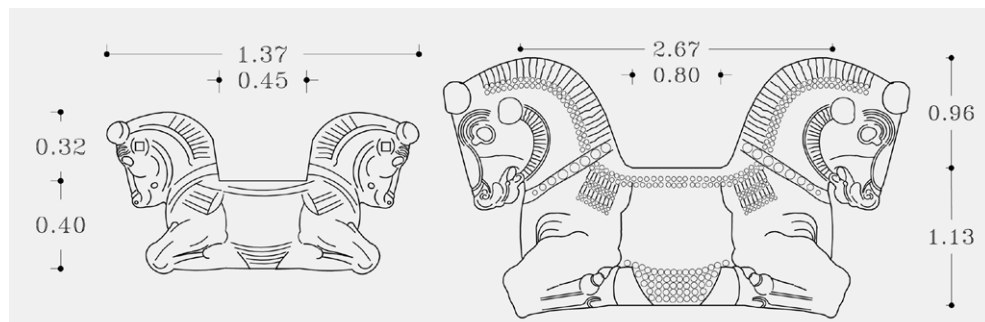
تصویر ۹: طرح بازسازی کرفتر برای کاخ آپادانا. فلش‌های قرمز محل انتقال تنش‌ها از تیرچه‌ها به شاه‌تیرها را نمایش می‌دهد (Krefter 1971, Beilag 28)، تغییرات توسط نویسنده

بالین حال، نمای کاخ‌ها در نقوش برجسته مقابر نشان می‌دهد که تیرک حدواسط (که در تراز پایین‌تری قرار دارد)، دارای مقطعی کوچک‌تر نسبت به تیر بالای است (تیری که منطقاً تنها بخشی از بار را حمل می‌کند). این ناهماهنگی با فرضیه کرفتر در تضاد است و ثابت می‌کند که درک نقش واسط برای تیرک میانی، اشتباهی تحلیلی است. افزون بر این، همین حجاری‌ها اختلاف تناسب میان تیرهای متعامد تشکیل‌دهنده سقف را نیز آشکار می‌سازند (تصویر ۱۰ الف، ب). در تبیین پژوهش حاضر، در پایین‌ترین تراز که در آن گام‌های نخستین بشر برای ساخت اتصالات شبه‌گیردار دیده می‌شود، تیرها با سطح مقطع کمتری طراحی شده‌اند، چراکه بهره‌وری این نوع اتصالات به کاهش حجم مصالح مورد نیاز منجر می‌شود. در مقابل، تیرهای واقع در ترازهای بالاتر که از اتصالات ساده (مفصلی) برخوردار بوده‌اند، برای انتقال باری هم‌وزن، به مقاطع بزرگ‌تری از مصالح نیاز داشته‌اند. از آنجاکه پلان سقف کاخ‌های هخامنشی عمدتاً به صورت مربع بوده، توزیع بار در تمام جهات یکسان است؛ بنابراین افزایش ابعاد تیرهای تراز بالایی در حجاری‌ها تأییدی است بر این تحلیل سازه‌ای.



تصویر ۱۰: جزئیات عناصر پوشش‌دهنده سقف در حجاری‌ها: الف. ضلع شمالی اتاق شماره چهار از حرم خشایارشا؛ ب. مقبره داریوش؛ ج. مدل سه‌بعدی از وضعیت اتصال عناصر سقف در ضلع شمالی اتاق شماره چهار از حرم خشایارشا (منبع: نگارنده، اندازه‌ها براساس Schmidt 1953; 1970)

اندازه متفاوت سرستون‌ها در کاخ‌ها فارغ از مسائل زیبایی‌شناسانه، نشان از آن دارد که معمار بنابر فواصل دهانه‌ها و متعاقباً افزایش یا کاهش ابعاد عناصر باربر افقی، اندازه سرستون‌ها را که محل قرارگیری و مستحکم ساختن تیرها بودند، تغییر می‌داد. در صورت نیاز به استفاده از تیرهای ضخیم، اشکال متنوع سرستون بدون نیاز به بزرگ شدن بیش از اندازه مقاطع سنگی، عمق مورد نیاز برای بستر نشستن تیر را فراهم می‌آورد. مثلاً مقایسه ابعاد سرستون‌های هم‌شکل برجای‌مانده در کاخ‌ها با حجاری گوردخمه‌ها (تصویر ۱۱)، وجود نسبت‌های متفاوت میان حفرة میانی (محل قرارگیری شاه‌تیر چوبی) را نمایش می‌دهد. درحالی‌که در حجاری گوردخمه‌ها و سرستون‌های ایوان شاهی در ضلع جنوبی آپادانا (که فواصل میان ستون‌های آن‌ها محدود است) این نسبت  $۰/۸$  است، در تالار مرکزی آپادانا و ایوان‌های آن، نیز دروازه ملل و دروازه ناتمام (که همه دهانه‌های تقریباً برابر دارند) این نسبت به  $۰/۸۵$  می‌رسد که از افزایش ابعاد حفرة میان سرستون در دهانه‌های وسیع‌تر حکایت دارد. این دست از جزئیات از تسلط معمار هخامنشی بر دانش سازه حکایت دارد.



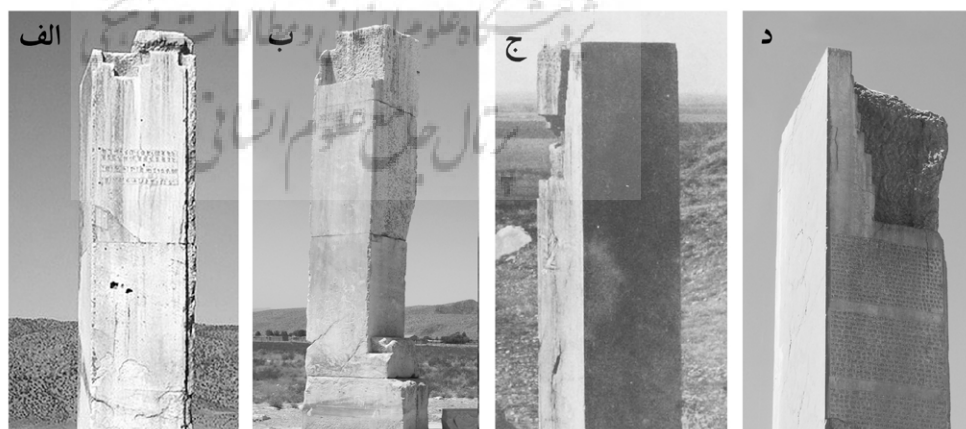
تصویر ۱۱: تناسب بخش‌های مختلف سرستون در کاخ‌های با دهانه‌های مختلف. راست: سرستون ایوان شمالی آپادانا. چپ: سرستون دروازه شاهی (منبع: نگارنده براساس Schmidt 1953, fig. 44, 48)

در چهار کاخ واقع در تخت جمشید و پاسارگاد، بقایای جرزهای سنگی در مجاورت ایوان‌ها هنوز باقی است که بر روی آن‌ها، حجاری‌هایی دقیق محل، نوع اتصالات و ابعاد تیرهای چوبی را نمایش می‌دهد (تصویر ۱۲). همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، فاصله میان بیرونی‌ترین ردیف ستون‌های ایوان و محل برش‌های موجود در این جرزها، در شکل‌گیری ایده «تیرهای سه‌گانه» نقشی اساسی ایفا کرد. این تیرهای فرضی وظیفه انتقال بار سقف را بر عهده داشته و ابعاد آن‌ها تابعی از فواصل دهانه‌ها بوده است. با توجه به یکنواختی سیستم پوشش سقف در کاخ‌های مختلف و در نتیجه، برابری بارهای وارد بر تیرهای سه‌گانه، انتظار منطقی آن است که در بناهایی با دهانه‌های بزرگ‌تر، تیرهایی با ابعاد بزرگ‌تر به کار رفته باشد. با این حال، مقایسه ابعاد الوارها و حجم چوب مصرفی ناشی از کاربرد تیرهای سه‌گانه (قابل محاسبه از حاصل ضرب عرض محتمل برای قرارگیری تیرهای سه‌گانه در ارتفاع تیرچوبی قابل نصب در فضای خالی بین سرستون) در ایوان این چهار کاخ نتایج متفاوت به دست می‌دهد (جدول ۲). برای نمونه، در کاخ داریوش که مساحت پوشش داده شده توسط سقف در حدود  $\frac{2}{3}$  متر مربع کمتر از حرم خشایارشا است، حجم چوب مورد نیاز  $\frac{0}{55}$  متر مکعب بیشتر خواهد بود. مقایسه‌ای مشابه را می‌توان در خصوص حرم خشایارشا و کاخ پی لحاظ کرد. با این حال، باید توجه داشت که با توجه به ارزش بالای چوب، معمار هخامنشی قطعاً از کاربرد چوب فراتر از نیازهای معماری و سازه اجتناب می‌کرد. اگر بنای موسوم به «تالار سپاه» را - که الگوی طراحی ایوان آن (فاصله میان بیرونی‌ترین ردیف ستون‌ها تا دیوار

## مطالعات ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی  
شماره ۲۷ - بهار و تابستان ۱۴۰۴

۱۹۷



تصویر ۱۲: جرزهای سنگی ایوان‌ها: الف. کاخ پی؛ ب. کاخ اس؛ ج. حرم خشایارشا؛ د. کاخ داریوش (منبع تصویر ج: Stolze and Andreas 1882, vol. 2, Fig. 1)

مجاور ایوان) محدودیت‌های خاصی را نشان می‌دهد - به بررسی خود اضافه کنیم، ایرادات جدی‌تری به چشم می‌آید. در نگاه اول عرض به مراتب محدودی که در آن، فضا برای کنار هم چیدن تیرهای سه‌گانه فراهم می‌آید، با مساحت قابل توجه پوشش سقف هماهنگی ندارد. حتی اگر فرض کنیم که معمار هخامنشی از تیرهای با ضخامت بالا استفاده کرده تا محدودیت ناشی از عرض اندک تیرها را جبران نماید، در این صورت ضخامت قابل توجه چنین تیرهای فرضی با تناسبات حفرة موجود در سرستون هماهنگی نخواهد داشت. این‌دست تحلیل‌های کمی نشان می‌دهد که فرضیه گرفتار درخصوص ارتباط میان محل تعبیه شیارها در سنگ و نحوه انتقال بار سقف، از منظر شواهد معماری موجود نمی‌تواند صحیح باشد.

جدول ۲: فواصل و دهانه‌ها در ایوان کاخ‌ها و ابعاد تیرهای سه‌گانه مطابق با دیدگاه گرفتار (نگارنده براساس Schmidt 1953; Stronach 1978; Krefter 1971)

| نام بنا          | فاصله مرکز تا مرکز ستون‌ها در هر ردیف (متر) | فاصله مرکز تا مرکز ردیف ستون‌ها از هم (متر) | مساحت پوشش داده‌شده توسط تیرریزی (متر مربع) | عرض محتمل برای تیرهای چندگانه فرضی (متر) | ارتفاع تیر چوبی (متر) | حجم چوب مورد نیاز (متر مکعب) |
|------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------|-----------------------|------------------------------|
| کاخ بی           | ۳/۴                                         | ۳/۷                                         | ۱۲/۵۸                                       | ۲/۲                                      | ۰/۵۹                  | ۱/۳                          |
| کاخ اس           | ۲/۰۷                                        | ۴/۵                                         | ۹/۳۱                                        | ۱/۳                                      | ۰/۷۰                  | ۰/۹                          |
| تالار سپاه       | ۳/۸                                         | ۴/۲                                         | ۱۵/۹۶                                       | ۰/۹                                      | نامشخص                | نامشخص                       |
| کاخ داریوش (تچر) | ۳/۱۵                                        | ۳/۸                                         | ۱۱/۷۸                                       | ۱/۷                                      | ۰/۶۳                  | ۱/۷                          |
| حرم خشایارشا     | ۳                                           | ۴/۷                                         | ۱۴/۱                                        | ۱/۷                                      | ۰/۶۸                  | ۱/۱۶                         |

علاوه بر موارد فوق، جزئیات سرستون‌های سنگی نیز با ایده تیرهای سه‌گانه در تضاد است؛ در صورت استفاده از تیرهایی در خارج از محور سرستون، گوش‌ها و شاخ‌ها که امتدادشان تا تراز بالای سر جانور ادامه می‌یافت، دیده نمی‌شوند. با بررسی وضعیت موجود در تخت‌جمشید و آثار برجای‌مانده از سرستون‌های جانوری در تمدن‌های در تماس با هخامنشیان، زیدل<sup>۲۸</sup> ادعا دارد سرستون‌ها به‌نحوی قرار داشتند که از نمای روبه‌رو بتوان سینه مجسمه را تماشا کرد (Seidl 2003, 75). اما همان‌گونه که وی اشاره دارد، به‌دلیل عدم انطباق محور ستون با محل تراش‌خورده در سنگ، این فرضیه با مشکل روبه‌رو می‌شود. از این‌رو به نظر می‌رسد عقب‌نشستگی ستون از محل شروع حجاری‌ها صرفاً پاسخ‌گوی نیازهای کاربردی عناصر معماری (مثلاً در امان ماندن بیرونی‌ترین ستون‌های رنگ‌شده ایوان از گزند عوامل اقلیمی)، نیز روابط زیبایی‌شناسی برای ترکیب بخش‌های مختلف بنا بوده باشد. در ضلع هم‌جوار با فضای باز ایوان و در فواصل دورتر از مرکز بیرونی‌ترین ردیف ستون‌ها، تعبیه ردیفی از تیر چوبی نیازهای کاربردی فوق را تأمین می‌کرد (تصویر ۱۳). این تیر انتقال بار ناشی از وزن خویش، بخش محدودی از سقف، و جان‌پناه بام را بر عهده داشت. از آنجاکه این‌دست تیرها در مجاورت با فضای باز بودند و احتمال واژگونی آن‌ها وجود داشت، محل تعبیه‌شده در سنگ از واژگونی‌شان جلوگیری می‌کرد. با توجه به اینکه جرزهای سنگی تنها در کاخ‌های با دهانه‌های کوچک دیده می‌شوند، می‌توان تصور کرد در کاخ‌های بزرگ‌تر که ضخامت دیوارهای خشتی پیرامونی افزایش می‌یافت (ضخامت دیوار ۵/۵ متری آپادانا در مقابل دیوار ۱/۵ متری تچر) قرار گرفتن تیرها در عمق مصالح بنایی عاملی مؤثر بر عدم واژگونی ردیف انتهایی این‌دست از تیرها می‌گردید.

دست آخر آنکه، آثار برجای‌مانده از دیوارهای بخش غربی حرم خشایارشا، به‌ویژه اتاق شماره چهار، مستندات از وضعیت دیوارهای بنا از کف تا سقف را در اختیار می‌گذارد. صفت سنگی کاخ هدیش که دیوار شمالی این اتاق را شکل داده، محل و چگونگی قرارگیری تیرهای چوبی را در خود مسطور دارد. در تراز ۵/۷ متری از کف اتاق، سنگ

حجاری شده، حفره‌هایی را شکل داده که تیرهای سقف را در خود جای می‌داد. با آنکه کرفت‌ها از مشاهدات هاینس<sup>۲۹</sup> معمار جایگزین خود و همکار اشمیت، آگاه بود (Schmidt 1953, 68) فرضیه‌ی وی مبنی بر قرار گرفتن تیرهای عبوری از سرستون‌ها در میان این حفره‌ها را رد می‌کند؛ تنها با بیان اینکه در این کاخ جهت تیرریزی تغییر می‌کرد (Krefter 1971, 42) کرفت‌ها از ارائه‌ی پاسخ برای استدلال‌های هاینس خودداری می‌کند. با این حال، تراش و پرداخت سنگ در تراز‌ی که مطابق با ایده‌ی کرفت‌ها بالاتر از محل قرارگیری تیرها قرار داشت، بیانگر آن است که این بخش از دیوار در داخل اتاق و در معرض دید بوده است. دیدگاه پژوهش حاضر درخصوص پوشش سقف با استفاده از تیرهای مطبق در این دیواره‌ی سنگی به‌خوبی دیده می‌شود؛ درحالی که حفره‌ی تعبیه‌شده در سنگ (تصویر ۱۰ الف - ۱) جایگاه شاه‌تیر چوبی بود، در تورفتگی که ۵۷ سانتی‌متر بالاتر قرار داشت (تصویر ۱۰ الف - ۲)، تیرک‌های بام می‌نشستند (تصویر ۱۰ ج). این برش‌ها با حجاری‌های مقبره‌داریوش (تصویر ۱۰ ب) در هماهنگی کامل است.



تصویر ۱۳: جزئیات عناصر پوشش‌دهنده، پیش‌آمدگی و اتصالات سقف در ایوان کاخ‌ها (منبع: Motamedmanesh 2022, 309).  
تغییرات توسط نویسنده

## نتیجه

بررسی الگوهای پیشنهادی برای پوشش سقف کاخ‌های هخامنشی نشان از آن دارد که در تمام بازسازی‌های اخیر، نگاهی فنی به جزئیات اجرایی در بستر فناوریانه‌ی دوره‌ای که این‌ها در آن ساخته شدند، وجود نداشته و دیدگاهی که اولین بار کرفت مطرح کرد، به‌تدریج مورد پذیرش دیگر محققان قرار گرفته است. این دیدگاه بر قرار گرفتن تیرک واسط چوبی در میانه‌ی سرستون سنگی اشاره دارد که حمل‌کننده‌ی سه تیر می‌شود. چنان که اینجا نشان داده شد، چنین روشی از منظر سازه‌ای و اجرا ضعف‌هایی را نشان می‌دهد و نمایانگر استفاده‌ی ناکارآمد از چوب است. براساس مستندات پژوهش حاضر، سرستون‌های جانور شکل علاوه بر نقششان در غنای بصری بنا، از منظر ایستایی نقش پررنگی بر عهده داشتند. تیرریزی سقف در چند سطح انجام شده بود؛ در پایین‌ترین تراز در میان سرستون‌ها، شاه‌تیر چوبی که ستون‌های مختلف واقع در یک ردیف را به یکدیگر، و نیز ستون‌ها و دیوارها را به هم پیوند می‌داد قرار داشت. در جهت عمود و بر روی این شاه‌تیر، تیرهایی قرار می‌گرفتند که در تراز بالایی آن‌ها به‌صورت کام‌وزبانه، محل قرارگیری تیرچه‌های نهایی بام تعبیه می‌شد. به نظر می‌رسد حجاری‌های جرزهای سنگی ایوان تنها نشانگر محل بیرونی‌ترین ردیف از عناصر افقی است که پیش‌آمدگی سقف را برپا می‌داشتند تا ستون‌ها را از عوامل جوّی مصون دارند.

1. Heleen Sancisi-Weerdenburg
2. Friedrich Krefter
3. Quintus Curtius
4. Flandin and Cošte
5. Fergusson
6. Marcel and Jane Dieulafoy
7. Perrot and Chipiez
8. Viollet-le-Duc
9. Choisy
10. Ernst Herzfeld
11. Perlin
12. Francovich
13. Stronach
14. ISMEO
15. De Angelis
16. Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft
17. Eric Schmidt

۱۸. برای فهرست کامل این فعالیت‌ها ر.ک: Cameron 1948, 83, 85, 114, 118, 124, 126, 137.

۱۹. برای نمونه، اشمیت و بارنت در تألیفاتشان درخصوص تخت‌جمشید از حفاری‌های هرتزفلد و به‌ویژه عدم رویدادنگاری علمی یافته‌ها شکایت داشته‌اند و دیوید استروناخ هم درخصوص فعالیت‌های هرتزفلد در پاسارگاد به گزارش‌های سطحی، تضاد در تاریخ‌نگاری‌ها و به‌ویژه سکوت وی در مقابل فکت‌هایی که فرضیاتش را زیر سؤال می‌برند، اشاره داشته است. همه این موارد باعث شده که برخی حتی توانایی او به‌عنوان یک باستان‌شناس را نیز زیر سؤال برده‌اند (Barnet 1957, 59; Schmidt 1953, ix; Stronach 2005).

20. Polybius
21. Herodotus
22. Cedrus libani
23. Temple of Šamaš in Sippar
24. Odeon of Herodes
25. Isotropic
26. Dougong Brackets

۲۷. ممان اینرسی خمشی مقطع نسبت به یک محور، طبق تعریف:  $I = \int y^2 dA$

در این فرمول،  $y$  برابر فاصله عنصر سطح  $dA$  از محور خنثی است. هرچه  $y$  بزرگ‌تر باشد، سهم آن قسمت در ممان اینرسی بیشتر است.

28. Seidl
29. Heines

## منابع

- پیرنیا، محمد کریم، و غلامحسین معماریان. ۱۳۸۳. سبک‌شناسی معماری ایران. تهران: معمار.
- فرشاد، مهدی. ۱۳۷۶. تاریخ مهندسی در ایران. تهران: بلخ.
- گروه خبر استان فارس. ۱۴۰۰. موزه میراث جهانی تخت جمشید، گنجینه شکوه و عظمت ایرانیان. آژانس خبری میراث آریا. ۳۰ اردیبهشت ۱۴۰۰. <https://www.chtn.ir/photo/14000230534268> (دسترسی در ۱۳/۰۵/۱۴۰۴)
- معتمدمنش، مهدی. ۱۳۹۷. معماری سلطنتی هخامنشی: نمادی از فناوری و خرد انسانی در عهد باستان. مطالعات معماری ایران، ش. ۱۳: ۳۲-۵. DOI: 10.22052/1.13.5
- Barnet, R. 1957. Persepolis. *Iraq* (19): 55-77.
- Calmeyer, P. 1973. Zur Genese Altiranischer Motive I. Herrscher über Schützfiguren. *Archäologische Mitteilungen aus Iran* (6): 135-152
- Cameron, G. 1948. *Persepolis Treasury Tablets*. Chicago: University of Chicago Press.
- Choisy, A. 1899. *Histoire de l'architecture*. Paris: Gauthier-Villars. [In French].
- De Angelis D'Ossat, G. 1977. L'esprit architectural chez les Achéménides et les Grecs: significations et destinées, dans L'architettura in Grecia. In *Atti del XVI Congresso di storia. L'architettura in Grecia*, 131-140. Athens: Centro Di Studi Per La Storia Dell'Architettura. [In Italian].
- De Francovich, G. 1966. Problems of Achaemenid Architecture. *East and West* (16): 201-260.
- Dieulafoy, M. 1890. *L'acropole de Suse*. Paris: Hachette. [In French].
- Dieulafoy, M. 1885. *L'art Antique de la Perse*, Paris: Librairie Centrale d'Architecture. [In French].
- Fergusson, J. 1851. *The Palaces of Nineveh and Persepolis Restored: An Essay on Ancient Assyrian and Persian Architecture*, London: J. Murray.
- Flandin, E., and P. Coste. 1851. *Voyage en Perse de. Relation du voyage*. Paris: Baudry [In French].
- Fletcher, B. 1996. *Banister Fletcher's A History of Architecture*. Oxford: Architectural Press.
- Ghirshman, R. 1964. *Iran: Protoiranien, Meder, Achämeniden*. München: C. H. Beck. [In German].
- Godard, A. 1965. *The Art of Iran*. New York: Praeger.
- Gopnik, H. 2010. Why Columned Halls?. In *The World of Achaemenid Persia History, Art and Society in Iran and the Ancient Near East*, 195-206. London: I.B. Tauris.
- Hejazi, M. 1997. *Historical Buildings of Iran: Their Architecture and Structure*, Southampton: Computational Mechanics.
- Herodotus. 5<sup>th</sup> century BC. *Histories*. Edited by G. P. Goold. 1975. Cambridge: Harvard University Press.
- Herzfeld, E. 1941. *Iran in the Ancient East*. London: Oxford University Press.
- Herzfeld, E. 1930-31. Series 2: Sketchbooks; Subseries 2.07: Damascus, Spring 1930; Persepolis, Spring 1931: Sketchbook 18. Freer Gallery of Art & Arthur Sackler Gallery Archives. Smithsonian Institution, Washington, D.C. <https://www.si.edu/object/archives/sova-fsa-a-06> (accessed July 21, 2015).
- Khatchadourian, L. 2012. The Achaemenid Provinces in Archaeological Perspective. In *A Companion to the Archaeology of the Ancient Near East*, 963-983. Malden: Wiley-Blackwell.
- Krefter, F. 1971. *Persepolis Rekonstruktion*. Berlin: Gebr. Mann. [In German].

- Livius. 2012. Lebanon Cedar. <http://www.livius.org/misc/cedar/> (accessed January 11, 2025)
- MacDonald, A. J. 2001. *Structure and Architecture*. Oxford: Architectural Press.
- Mainstone, R. 2001. *Developments in Structural Form*. Boston: Architectural Press.
- Motamedmanesh, M. 2025. Zoomorphic Imposts and Dougong Brackets: A Cross-Cultural Examination of Intellectual Influences between Achaemenid Persia and Ancient China. *Journal of Sisian and Baluchistan Studies* 5 (1): 21-36. DOI: 10.22034/jsbs.2025.514596.1079
- Motamedmanesh, M. 2022. Achaemenid Building Technology: The Key to a New Reading of Royal Achaemenid Architecture. *Journal of the Society of Architectural Historians* 81 (3): 299-319. DOI: 10.1525/jsah.2022.81.3.299
- Motamedmanesh, M. 2021. Precursors of Aseismic Design: The Case of Achaemenid Monumental Architecture. In *History of Construction Cultures, Vol.2*, 9-16. Boca Raton: CRC Press.
- Motamedmanesh, M. 2016. Authenticity and Restoration: The Benefits of Historical Studies on Re-Examining the Implemented Restorations in Persepolis. *Arts* 5 (1): 1-19. DOI: 10.3390/arts5010002
- Mousavi, A. 2012. *Persepolis: Discovery and Afterlife of a World Wonder*. Boston: Walter de Gruyter.
- Nylander, C. 1970. *Ionians in Pasargadae*. Stockholm: Uppsala Universitet.
- Perrot, G., and C. Chipiez. 1892. *History of Art in Persia*. London: Chapman and Hall.
- Perrot, J. 2013. *The Palace of Darius at Susa*. New York: I.B. Tauris & Co. Ltd.
- Getty. 2024. Persepolis Reimagined <https://persepolis.getty.edu/> (accessed August 14, 2024)
- Polybius. 2nd century BC. *The Histories of Polybius*. Translated from the text of F. Hultsch by E. Shuckburgh. 1889. London: MacMillan and Co.
- Pope, A. U. 1965. *Persian Architecture*. London: Thames and Hudson.
- Pope, A. U. 1977. *A Survey of Persian Art*. vol. 1. Tehran: Soroush
- Root, M. C. 1979. *The King and Kingship in Achaemenid Art*. Leiden: Brill.
- Schmidt, E. 1953. *Persepolis I: Structures, Reliefs, Inscriptions*. Chicago: University of Chicago Press.
- Schmidt, E. 1970. *Persepolis, III: Royal Tombs and Other Monuments*. Chicago: University of Chicago Press
- Seidl, U. 2003. Wie Waren Die Achämenidischen Doppelprotomen-Kapitelle Ausgerichtet?. *Achaemenid History* 13: 67-77.
- Smithsonian Institution 2016. Persepolis Archive. [Image]. <https://www.si.edu/> (accessed August 16, 2016).
- Stolze, F., and F. C. Andreas. 1882. *Die Achamenidischen und Sasanidischen Denkmäler und Inschriften von Persepolis, Isfah, Pasargadae, Shapur*. 2 vols. Berlin: A. Asher.
- Stronach, D. 2005. Herzfeld and Pasargadae. In *Ernst Herzfeld and the Development of Near Eastern Studies, 1900-1950*, 103-135. Leiden: Brill.
- Stronach, D. 1978. *Pasargadae: A Report on the Excavations Conducted by the British Institute of Persian Studies from 1961 to 1963*. Oxford: Clarendon Press.
- Texier, C. 1842. *Description de l'Arménie, la Perse et la Mésopotamie* 1. Paris: Firmin-Didot. [In French].

- The First Book of the Kings, available online at <https://oll.libertyfund.org/titles/authors-the-first-book-of-kings-kjv> (accessed August 21, 2023)
- Tilia, A. B. 1972. *Studies and Restorations at Persepolis and Other Sites of Fars*, Vol.1. Rome: IsMEO.
- Viollet-le-Duc, E. 1868. *Entretiens sur l'architecture, tome premier*, Paris: Morel. [In French].
- Vitruvius. 1st century BC. *The Ten Books on Architecture*. Translated by M. H. Morgan. 1914. Cambridge: Harvard University Press.
- Wright, G. R. H. 2009. *Ancient Building Technology*. Vol. 3. Leiden: Brill.
- Wright, G. R. H. 2005. *Ancient Building Technology*, Vol. 2. Leiden: Brill.
- Zander, G. 1968. *Travaux de restauration de monuments historiques en Iran*. Rome: IsMEO. [In French].



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
پرتال جامع علوم انسانی

## مطالعات معماری ایران

دو فصلنامه معماری ایرانی  
شماره ۲۷ - بهار و تابستان ۱۴۰۴

## ■ The Roof Structure of the Apadana Palace at Persepolis: A New Perspective on Achaemenid Construction Technologies

**Mahdi Motamedmanesh**

Assistant Professor, Faculty of Arts and Architecture, Tarbiat Modares University

The royal monuments of the Achaemenid Empire exemplify the deployment of advanced architectural technology in the ancient world. However, scholarly attention to the construction techniques of these structures has remained comparatively limited. This interdisciplinary study focuses on the roof-covering system of the Apadana Palace, critically examining the prevailing reconstructions that derive from the early twentieth-century hypotheses of the German architect Friedrich Krefter. To assess the validity of the dominant interpretation, the research adopts a mixed-methods approach within a historical framework, combining descriptive-analytical procedures with logical reasoning. The enquiry begins with a review of the literature, tracing two centuries of debate and theorization concerning the roofing systems of Achaemenid palaces. It proceeds by situating the Apadana within the broader evolution of columned halls in the ancient world, identifying both convergences and divergences between Achaemenid architecture and that of other civilisations. Structural, constructional, and archaeological evidence is then brought to bear in exposing the shortcomings of the dominant reconstruction model. Drawing on architectural analysis, ancient engineering principles, and field data, the study seeks to identify the technique employed by the Achaemenid master builder. Findings reveal that column capitals, beyond their decorative role, fulfilled a structural function: principal beams were seated within carved sockets in the capitals, representing one of humanity's earliest attempts to restrict the free rotation of beam ends and to create optimised joints for stress transfer. Furthermore, by seating timber within the secure recess of stone and employing specialised joinery that does not compromise the integrity of the wood, the architect achieved a structural integration of the beams. In this arrangement, the principal beams linked the columns in continuous bands, while transverse beams completed the roof framework, contributing to the building's seismic resilience. The results offer a new understanding of Achaemenid construction technology, revealing the ingenuity of the Persian architect in the realisation and execution of the most expansive, flat-roofed halls of the ancient world.

**Keywords:** Roof-covering Technology, Persepolis, Apadana Palace, Beam-and-Column System, Earthquake.