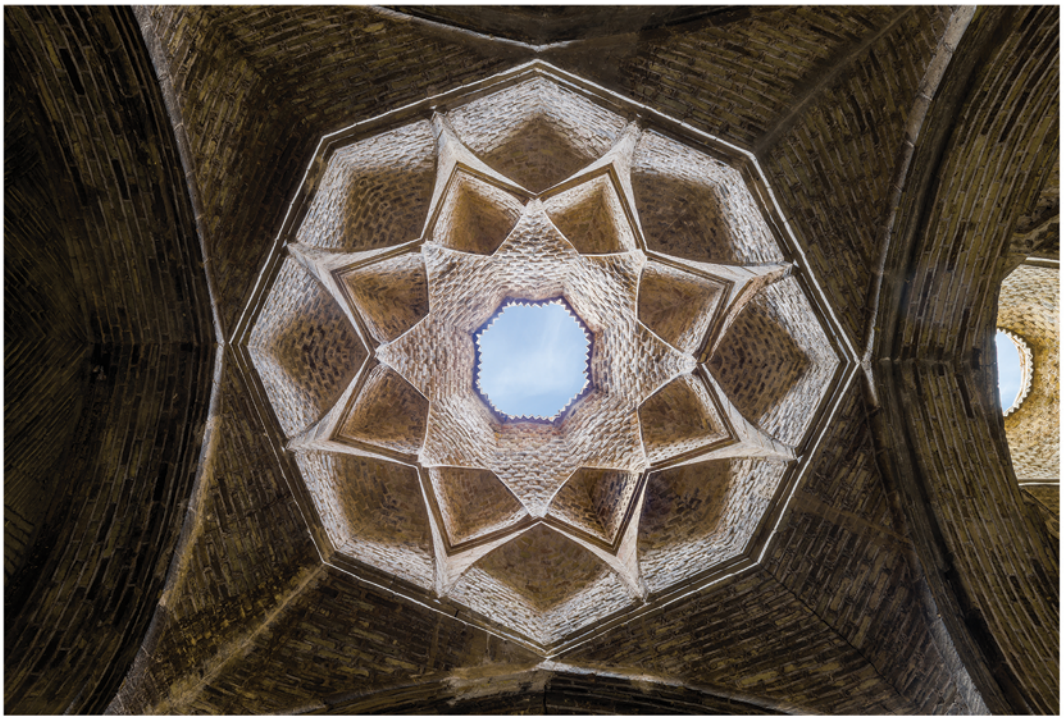
مطالعات معماری ایران ۱۳

دوفصلنامه علمی پژوهشی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال هفتم، شماره ۱۳، بهار و تابستان ۱۳۹۷



◆ معماریِ سلطنتیِ هخامنشی: نمادی از فناوری و خِرد انسانی در عهد باستان
● مهدی معتمدمنش

◆ جایگاه مفهوم معماری در نظام طبقه‌بندی علوم مسلمانان در سده‌های نخست هجری، با تکیه بر اندیشه‌های ابونصر فارابی
● مهرداد قیومی بیدهندی/ روح‌اله مجتهدزاده

◆ بررسی رفتار حرارتی شوادان، نمونهٔ موردی: خانهٔ سوزنگر دزفول
● مصطفی مسعودی‌نژاد/ منصوره طاهباز/ سید مجید مفیدی شمیرانی

◆ تجربهٔ معنای مکان فضای شهری: کاربرد تحلیل محتوای کیفی در کشف معنای «باغ فردوس»
● آزاده لک/ سحر جلالیان

◆ بررسی میزان مصرف انرژی ساختمان زیرزمینی در مقایسه با مدل مشابه بر روی سطح زمین در اقلیم‌های تهران، یزد و تبریز
● فاطمه ایمانی/ شاهین حیدری

◆ جایگاه علوم انسانی در آموزش رشتهٔ بیونیک معماری
● مسعود ناری قمی

◆ تحلیل کارایی انرژی در مدل‌های بافت شهری اقلیم گرم و خشک، نمونهٔ موردی: شهر اصفهان
● مریم فرخی/ محمدسعید ایزدی/ مهرداد کریمی مشاور

◆ گزارش علمی: خلاصه‌ای از نظریهٔ «راه جاویدان در طراحی و ساخت در هنر و معماری اسلامی»

مطالعات معماری ایران

دوفصلنامه علمی پژوهشی دانشکده معماری و هنر، دانشگاه کاشان

سال هفتم، شماره ۱۳، بهار و تابستان ۱۳۹۷
صاحب امتیاز: دانشگاه کاشان
مدیر مسئول: دکتر علی عمرانی‌پور
سردبیر: دکتر غلامحسین معماریان
مدیر داخلی: دکتر بابک عالمی

هیئت تحریریه (به‌ترتیب الفبا):
دکتر ایرج اعتصام. استاد دانشگاه آزاد اسلامی. واحد علوم و تحقیقات
دکتر مجتبی انصاری. دانشیار دانشگاه تربیت مدرس
دکتر امیرحسین چیت‌سازیان. دانشیار دانشگاه کاشان
دکتر پیروز حناچی. استاد دانشگاه تهران
دکتر شاهین حیدری. استاد دانشگاه تهران
دکتر ابوالقاسم دادور. استاد دانشگاه الزهرا (س)
دکتر حسین زمرشیدی. استاد دانشگاه شهید رجایی
دکتر علی عمرانی پور. استادیار دانشگاه کاشان
دکتر حسین کلانتری خلیل‌آباد. استاد جهاد دانشگاهی
دکتر اصغر محمد مرادی. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر غلامحسین معماریان. استاد دانشگاه علم و صنعت ایران
دکتر محسن نیازی. استاد دانشگاه کاشان

داوران این شماره:
دکتر اعظم‌السادات رضوی زاده
دکتر بابک عالمی
دکتر حمیدرضا جیحانی
دکتر ریما فیاض
دکتر زهرا زمانی
دکتر زهره تفضلی
دکتر علی بهادری
دکتر محسن بینا
دکتر محمد تحصیلدوست
دکتر محمدباقر کبیرصابر
دکتر محمدمهدی عبدالله زاده
دکتر هادی پندار
دکتر هانیه صنایعیان

درجه علمی پژوهشی دوفصلنامه مطالعات معماری ایران طی نامه شماره ۱۶۱۶۷۶ مورخ ۱۳۹۰/۰۸/۲۱ دبیرخانه کمیسیون نشریات علمی کشور، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری ابلاغ گردیده است.

پروانه انتشار این نشریه به شماره ۹۰/۲۳۰۳۰ مورخ ۹۱/۹/۷ از وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی صادر شده است.

این نشریه حاصل همکاری مشترک علمی دانشگاه کاشان با دانشکده معماری دانشگاه تهران، دانشگاه تربیت مدرس، دانشگاه الزهرا (س)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه شهید رجایی و پژوهشکده فرهنگ، هنر و معماری جهاد دانشگاهی است.

نشریه مطالعات معماری ایران در پایگاه استنادی علوم کشورهای اسلامی (ISC)، پایگاه اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی (SID)، پایگاه مجلات تخصصی نور (noormags.ir)، پرتال جامع علوم انسانی (ensani.ir) و بانک اطلاعات نشریات کشور (magiran.com) نمایه می‌شود.

تصاویر بدون استناد در هر مقاله، متعلق به نویسنده آن مقاله است.

(نسخه الکترونیکی مقاله‌های این مجله، با تصاویر رنگی در تارنمای نشریه قابل دریافت است.)

عکس روی جلد: محمد موحدنژاد
(مسجد جامع اصفهان، اصفهان)

ویراستار ادبی فارسی: معصومه عدالت‌پور
ویراستار انگلیسی: مهندس غزل نفیسه تابنده

دورنگار: ۵۵۹۱۳۱۳۲-۰۳۱

نشانی دفتر نشریه: کاشان، بلوار قطب راوندی، دانشگاه کاشان، دانشکده معماری و هنر، کدپستی: ۸۷۳۱۷-۵۳۱۵۳

رایانامه: j.ir.arch.s@gmail.com
پایگاه اینترنتی: jias.kashanu.ac.ir

شاپا: ۲۲۵۲-۰۶۳۵

بهاء: ۱۰۰۰۰۰ ریال

فهرست

۵ **معماریِ سلطنتیِ هخامنشی: نمادی از فناوری و خِرد انسانی در عهد باستان**
مهدی معتمدمنش

۳۳ **جایگاه مفهوم معماری در نظام طبقه‌بندی علوم مسلمانان در سده‌های نخست هجری، با تکیه بر اندیشه‌های ابونصر فارابی**
مهرداد قیومی بیدهندی/ روح‌اله مجتهدزاده

۴۹ **بررسی رفتار حرارتی شوادان، نمونهٔ موردی: خانهٔ سوزنگر دزفول**
مصطفی مسعودی‌نژاد/ منصوره طاهباز/ سید مجید مفیدی شمیرانی

۷۱ **تجربهٔ معنای مکان فضای شهری: کاربرد تحلیل محتوای کیفی در کشف معنای «باغ فردوس»**
آزاده لک/ سحر جلالیان

۸۹ **بررسی میزان مصرف انرژی ساختمان زیرزمینی در مقایسه با مدل مشابه بر روی سطح زمین در اقلیم‌های تهران، یزد و تبریز**
فاطمه ایمانی/ شاهین حیدری

۱۰۷ **جایگاه علوم انسانی در آموزش رشتهٔ بیونیک معماری**
مسعود ناری قمی

۱۲۷ **تحلیل کارایی انرژی در مدل‌های بافت شهری اقلیم گرم و خشک، نمونهٔ موردی: شهر اصفهان**
مریم فرخی/ محمدسعید ایزدی/ مهرداد کریمی مشاور

۱۴۹ **گزارش علمی: خلاصه‌ای از نظریهٔ «راه جاویدان در طراحی و ساخت در هنر و معماری اسلامی»**
محمد علی‌آبادی

۱۵۵ **راهنمای تدوین و ارسال مقاله**

۱۵۷ **بخش انگلیسی**

معماریِ سلطنتیِ هخامنشی: نمادی از فناوری و خِرد انسانی در عهد باستانَ

مهدی معتمدمنش*

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۵/۲۰

چکیده

دستاوردهای هنری و معماری هخامنشیان از دیرباز توجه محققان را به خود جلب کرده‌اند، اما بیشتر تحقیقات صورت‌گرفته در این حوزه‌ها به یافتن ریشه‌های آثار امپراتوری هخامنشی در دیگر تمدن‌های باستان معطوف بوده است. در دهه‌های اخیر، تلاش‌های ارزشمندی برای شناخت مستقلی از تاریخ و ارزش‌های هنری آثار هخامنشی صورت گرفته، اما معماری و به‌ویژه فناوری به‌کارگرفته‌شده توسط آنان، تنها به‌صورت محدود و پراکنده بررسی گردیده است. چنین مطالعاتی نمی‌تواند افق‌های جدیدی را برای درک بهتر فرهنگ ساختمان‌سازیِ آن عصر پیش روی محققان باز کند. تحقیق حاضر در جست‌وجوی پر نمودن این خلأ دانش است. با در نظر گرفتن ویژگی‌های منحصربه‌فرد مهندسی در کاخ‌های هخامنشی، شناخت فناوری‌هایی که برای اجرای این بناها به کار گرفته شده، اهمیت فراوان دارد. با استفاده از پژوهش تاریخی‌تفسیری و تحلیل مهندسی از اسناد باستان‌شناسی، این مقاله روش‌های کاربرد مصالح و فنون ساختمانی، چگونگی مقابله با نیروهای ویرانگر طبیعت و روند توسعهٔ فناوری معماری در امپراتوری هخامنشی را معرفی می‌کند. درک تقریبی از ویژگی‌های مصالح ساختمانی و نحوهٔ جریان یافتن نیروها، همچنین کاربرد و ترکیب فناوری‌های موجود و توسعهٔ هوشمندانهٔ روش‌های جدید برای بهبود رفتار سازه‌ای بنا، از جمله مواردی بودند که ساخت بناهای عظیم سلطنتی هخامنشی را امکان‌پذیر ساخت.

کلیدواژه‌ها:

فناوری ساختمان، معماری التقاطی، فرهنگ ساختمان‌سازی، زمین‌لرزه، سیستم تیر و ستون.

* دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه صنعتی برلین، mahdi.motamedmanesh@gmail.com

پرسش پژوهش

کدام فناوری‌های سازه و اجرا در خلق دستاوردهای بدیع معماری در عصر هخامنشی تأثیر گذارده‌اند؟

مقدمه

هخامنشیان پایه‌گذار اولین امپراتوری عظیم عهد باستان بودند (۵۵۰ـ ۳۳۰ق.م) و بیش از دو سده، بخش وسیعی از دنیای متمدن روزگار خویش را تحت تسلط درآورده بودند. ویرانه‌های عظیم برجای‌مانده از عصر هخامنشی، از دیرباز توجه شرق‌شناسان اروپایی و سیاحانی را که از ایران عبور می‌کردند، به خود جلب کرده‌اند. اگرچه تفاسیر اولیه از این آثار با خرافات و افسانه همراه بود، از قرن نوزدهم میلادی تلاش برای شناخت ریشه‌های تاریخی و به‌ویژه شکل این بناها مورد توجه محققان غربی قرار گرفت. با این حال در آثار روایت‌وار برجای‌مانده از این دوره، به‌خوبی می‌توان تأثیر تحریف تاریخ باستان توسط یونانیان و نیز شرایط سیاسی‌اجتماعی عصر را که نویسندگان غربی را وادار می‌کرد تا به انتقاد از شرق بپردازند، مشاهده نمود (Morgan 2017, 2-4). در قرن بیستم و با آغاز رسمی مطالعهٔ تاریخ معماری ایران توسط باستان‌شناسان خارجی (ناری قمی ۱۳۹۴، ۹۶) چنین رویه‌ای ادامه یافت. مطالعات صورت‌گرفته در حوزهٔ معماری هخامنشی از دو عامل دیگر نیز تأثیر فراوان پذیرفت. از یک سو در آثار امپراتوری هخامنشی، فرم‌های ساختمانی و هنری دیگر تمدن‌های باستان به‌آسانی قابل مشاهده است (ولایتی ۱۳۸۹)؛ از سوی دیگر، ظهور یک‌بارهٔ یک معماری مترقی در سرزمینی که به ظن نسل اول از محققان غربی، عاری از هرگونه فرهنگ ساختمانی پیشرفته بود، فرضیهٔ التقاطی بودن آثار هخامنشی را دامن زد. نتیجه آنکه علی‌رغم توجه وافری که در دو قرن اخیر به آثار برجای‌مانده از این تمدن باستانی معطوف شده، بیشتر مطالعات تنها در جست‌وجوی یافتن ریشه‌های هنر آن عصر برآمده‌اند. نتیجهٔ چنین نگاهی این می‌شود که هنر هخامنشی را ترکیبی ساده از همهٔ هنرهای اقوام تابعه و در نتیجه، هنری التقاطی برای ایجاد «فرم‌های نمادین» نامیده‌اند (Calmeyer 1973, 147).[1] متعاقباً آن را «هنر سلطنتی» دانسته‌اند که در خدمت به‌نمایش‌گذاردن ایدئولوژی پادشاهی و تسلط هرچه تمام‌تر بر ملل تحت حاکمیت بوده است. سرنوشت این مکتب هنری و معماری‌ای که به همراه آورده بود، با فروپاشی نیروی سیاسی پشتیبانِ آن پیوند خورده، منحط و بدون ایجاد اثرات بعدی دانسته شده است.[2]

در اینکه معماری در خدمتِ به‌نمایش‌گذاردن جهان‌بینی و خواسته‌های حاکمین باشد شکی وجود ندارد، اما نقصانی که در تطبیق دادن معماری هخامنشی با دیگر آثار معماری برجای‌مانده از تسلط دیگر قدرت‌های مالی و سیاسی عهد باستان دیده می‌شود، میزان شباهت و تداوم آثار است. از یک‌سو فرم‌های به‌کاررفته در هنر و معماری هخامنشی در عین آنکه مشابهت‌هایی با آثار تمدن‌های تحت سلطهٔ آنان دارند، از هیچ روی با این آثار یکسان نبوده و گویی دستاوردهای ملل مغلوب در ترکیبی دوباره و بر مبنای اندیشه و ذائقهٔ هخامنشیان استوار گشته باشند (Nylander 1979, 356). از دیگر سو، اگر آثار ساختمانی در نتیجهٔ ترکیب صرفاً ساده از آخرین امکانات و دستاوردهای فناوری، مرغوب‌ترین مصالح و اجرای متبحرترین مجریان باشند، محصول تولیدیِ چنین روشی نمی‌تواند چیزی فراتر از برترین دست‌یافته‌های موجود در ریشه‌های این ترکیب را عرضه نماید. این در حالی است که آثار برجای‌مانده از دوران هخامنشی درجات بالاتری از فناوری را در قیاس با دستاوردهای ملل تابعه نشان می‌دهد. علاوه بر این‌ها، تداوم سنت و فرهنگ ساختمانی در یک معماریِ صرفاً التقاطی بی‌معنا می‌نماید. حال آنکه فناوری معماری با سنگ که در جغرافیای زمانی و مکانی عصر هخامنشی تحول یافته بود، پس از فروپاشی امپراتوری توسط استادکاران تربیت‌یافته در این فرهنگ با گسترش در شرق، معماری سنگی دوران مائوری هند (Maurya Empire) و به‌ویژه امپراتوری آشوکا (Asoka) را دستخوش تحول ساخت (Spooner 1915) که بعدتر معماری کل شبه‌جزیرهٔ هند از هنر آنان بهره‌مند گشت (Pope 1965, 45).[3] همچنین با توجه به برپا بودن رابطه‌ای پیوسته میان استادکارانی که در ایران و اِفسوس (Ephesus) فعالیت داشتند (Nylander 1970, 147)، هنر هخامنشی در کرانه‌های غربی آسیای صغیر گسترش یافت و در نهایت، سرمشقی برای سبک آیونیک در بخش شرقی تمدن هلنی[4] گردید (دانجلیس ۱۳۶۶، ۲۱) که در قیاس با سبک دوریک که پیش‌تر

متداول بود، نشان از تهور و زیباییِ بدیع دارد. فراتر از این‌ها معماری هخامنشی حتی در معماری و هنر آتن به‌عنوان مرکز سیاسی و گهوارهٔ تمدن هلنی نیز تأثیر می‌گذارد (همان، ۲۲؛ Miller 1997, 218-239).[۵] مهم‌تر از همه، دستاوردهای معماری هخامنشی میراث و سرمشقی برای بازیابی معماری ایران‌زمین در عصر ساسانیان بود که خود متعاقباً شالودهٔ معماریِ تمدن اسلامی را بنا نهاد. فرهنگ ساختمانی‌ای که چنین تأثیر فزاینده‌ای داشته باشد، نمی‌تواند نتیجهٔ یک اتفاق ساده باشد یا آنکه به‌صورت تصادفی و بدون بهره بردن از یک نظام جامع فکری به وجود آید.

کاخ‌های سلطنتی در پایتخت‌های امپراتوری هخامنشی همچون پاسارگاد، اکباتان، شوش و نیز محل جشن‌های آیینی در پرسپولیس، دربرگیرندهٔ برجسته‌ترین شاهکارهای هنری و مهندسی این تمدن ایرانی‌اند. نه‌تنها در آثار تقریرشده از سوی تاریخ‌نگارانی که در عهد باستان از این ابنیه دیدن کرده‌اند می‌توان نظاره‌گر شکوه و عظمت این بناها بود، بلکه ویرانه‌های این کاخ‌ها نیز پس از ۲۵۰۰ سال ایستادگی در مقابل تازیانه‌های روزگار، کماکان از برجستگی دستاوردهای معماران ایرانِ کهن نشان دارد. تالارهای ستون‌دار فی‌النفسه الگوی جدیدی در معماری نیمه‌اول از هزارهٔ دوم پیش از میلاد نبودند و در آثار تمدن‌های کهنِ اورارتو، ماد، یونان و مصر، نمونه‌های آن فراوان دیده می‌شد. روند تحول تالارهای ستون‌دار به‌خوبی نشانگر آن است که مسئلهٔ پوشش فضای خالی میان ستون‌ها دغدغهٔ اصلی بسیاری از سازندگان عهد باستان بوده و ازاین‌رو تنها در کاربری‌های خاص فرهنگی یا اجتماعی این الگو مورد استفاده قرار می‌گرفت (Gopnik 2010).[۶] با این حال معماران هخامنشی به‌کرات آن را در آثار خویش به کار بردند و اگرچه کاخ‌های برجستهٔ این تمدن نمونه‌های ارزندهٔ این تالارها را در خود جای داده‌اند، این الگوی چیدمان فضا در کاخ‌های کوچک‌تر همچون مجموعه سه کاخ هخامنشی در برازجان (کریمیان، سرفراز، و ابراهیمی ۱۳۸۹)، آثار یافت‌شده در شمال شرقی مرودشت (Tilia 1978, 73-91) و نیز کاخ‌های کوچکی که اخیراً در منطقهٔ قفقاز از خاک بیرون کشیده شده‌اند (Knauss et al. 2010) تکرار گشته و در حقیقت این ترکیب ساختمانی یکی از بارزه‌های سبک معماری در این دوره بوده است.

این الگوی آشنا و مورد کاربرد از گذشته‌های دور در معماری هخامنشی دچار تحول شد تا بدانجا که باستان‌شناس و معمار برجستهٔ ایتالیایی، گوگلیلمو دانجلیس، آن را «به‌مثابهٔ جسورانه‌ترین و معنوی‌ترین بیان معماری سه‌جنبه‌ای عصر کهن» می‌شمارد (دانجلیس ۱۳۶۶، ۱۵). اگرچه ممکن است تالارهای ستون‌دار هخامنشی در ظاهر با آثار برجای‌مانده از دیگر تمدن‌های باستانی شباهت داشته باشند، از دیدگاه فناوری سازه و اجرا، این آثار تفاوت‌های فاحشی دارند.[۷] برای مثال، ستون‌های عظیم سنگی که برای نگه‌داشتن تیرهای سنگی پوشش‌دهندهٔ تالارهای مصر باستان به کار رفته‌اند، آن‌چنان ضخیم تراش خورده‌اند که حتی ارتفاع قابل توجهشان (بیشتر ستون‌های معبد کارناک ۱۰ متر ارتفاع دارند) ناچیز جلوه داده می‌شود. فواصل میان دهانه‌ها به‌ندرت فراتر از قطر ستون می‌رود و عدم امکانِ راه یافتنِ مؤثر نور به بخش‌های مختلف تالار، فضایی غمگین و تاریک را ایجاد می‌کرد. به‌علاوه، توجه ویژه به محور میانی که از ارتفاع و عرض بیشتری برخوردار بود، کیفیت فضایی بخش‌های مختلف تالار را تحت تأثیر قرار می‌داد.[۸] به‌دلیل کاربرد سنگ در ساخت تیرهای پوشش‌دهندهٔ فواصل میان ستون‌های بخش بیرونی معابد یونانی که پس از عهدِ عتیق (Archaic) ساخته شدند، محدودیت در فاصلهٔ میان عناصر باربر و نیز استفاده از ستون‌های قطور اجتناب‌ناپذیر بود. همچنین دیوار ضخیمی از مصالح بنایی که در میان ایوانِ بیرونی و بخش داخلی مجموعه قرار می‌گرفت، عملاً اطلاق نام تالارِ ستون‌دار بدین آثار را دچار چالش می‌سازد و ازاین‌رو شاید بهتر باشد معابد یونانی را «ایوانِ ستون‌دار» بنامیم. قطعاً اگر شاعر یونانی آنتیپاترِ سیدون (Antipater of Sidon) فرصت تماشای ویرانه‌های تخت‌جمشید را داشت، دیگر معبد آرتمیس (دوران متأخر) در افِسوس او را عمیقاً متأثر نمی‌ساخت (Tobin 2011) و به‌جای آن تالار آپادانا را در لیست خود از عجایب هفت‌گانهٔ جهان قرار می‌داد؛ چراکه ستون‌های ۱۹٫۲۵ متری آپادانا که فاصلهٔ میان مراکزشان بالغ بر ۸٫۶۵ متر است، تنها ۱٫۵۵ متر ضخامت دارند و ازاین‌رو در قیاس با معبد آرتمیس، که البته سال‌ها بعدتر ساخته شد، درجات بالاتری از مهارت در اجرا و نوآوری سازه‌ای را به نمایش گذارده است. با درنظرگرفتن فاصلهٔ میان مرکز ستون‌ها و نیز نسبت ارتفاع به قطر ستون، حتی معبد اِرِکثیون (Erechtheion) (۴۲۱ـ۴۰۶ ق.م) که به‌دلیل داشتن

ستون‌هایی به بلندی ۷٫۶۴ متر که قطر عریض‌ترین بخش آن‌ها تنها ۰٫۸۱ متر است، یکی از ظریف‌ترین سازه‌های سبک آیونی (Ionic Order) دانسته شده (وبگاه هاپر)، نمی‌تواند با آپادانای هخامنشی رقابت کند. در حقیقت، مسئلهٔ کمانش و واژگونی ستون‌های بسیار بلند کاخ‌های هخامنشی، همچنین خم‌شدن تیرهای چوبی که فواصل بدیع میان ستون‌ها را می‌پوشاندند، چالش بزرگی بوده است. ساخت بلندترین ستون‌ها و وسیع‌ترین دهانه‌های مسطح دنیای باستان در کاخ‌هایی که مساحتشان تا پیش از عصر مدرن و استفاده از مصالح نوین دست‌نیافتنی ماند،[۹] تنها با بهره‌گیری از ذکاوتی میسر شده که امروز بر ما ناپیداست.

ویژگی‌های منحصربه‌فردی که ذکرشان رفت، در نتیجهٔ نگاهی خاص به مقولهٔ طراحی و اجرای ساختمان، و همچنین آشنایی با عملکرد سیستم‌های انتقال بار ممکن شده است. در نتیجه به نظر می‌رسد برای رسیدن به درکی از چرایی یکتایی معماری هخامنشی، باید از ظاهر معماری و بحث‌های هنری انتزاعی در مورد شکل آثار، جدا شده و به‌جای آن چگونگی کارکرد بناها را مورد توجه قرار داد.[۱۰] این تحقیق به‌طور ویژه در جست‌وجوی به‌نمایش‌گذاردن دستاوردهای فناورانه‌ای است که معماری هخامنشی را در فرم‌های به‌کارگرفته‌شدهٔ منحصربه‌فرد و در عملکردِ سازه‌ای دست‌نیافتنی ساخت. برخلاف بیشتر مطالعات باستان‌شناسی که به‌صورت جغرافیایی معماری هخامنشیان را بررسی کرده‌اند، این تحقیق با نگاهی موضوعی، آثار این امپراتوری را مطالعه می‌کند. این بدان معنی است که در هر بخش از تحقیق، آن دسته از بناهایی که ویژگی‌های متمایزکنندهٔ هنرِ مهندسی هخامنشیان را نمایش می‌دهند، مورد استناد قرار گرفته‌اند. مقالهٔ حاضر نتیجهٔ پژوهشی بین‌رشته‌ای میان باستان‌شناسی، معماری و مهندسی سازه است. روش تحقیق به‌کاررفتهٔ پژوهش، تاریخی‌تفسیری است که در معنای عام آن، پدیده‌ای کالبدی را در زمینه‌ای پیچیده، به‌صورت تبیینی‌روایتی و کل‌نگر بررسی می‌کند (گروت و وانگ ۱۳۹۰، ۱۳۶). در سطح راهبردی، داشتنِ نظری معرفت‌شناختی برای تفسیر شرایط گذشته، از ملزومات چنین روشی از پژوهش است. همچنین شناسایی و سازمان‌دهی مدارک، ارزیابی و تحلیل آن‌ها، و نهایتاً ارائهٔ یک روایت کل‌نگر، واقع‌بینانه و باورپذیر، مراحل اصلی تحقیق را تشکیل می‌دهند (همان، ۱۳۷ و ۱۶۵). تدابیر به‌کاررفته برای پیشبرد تحقیق حاضر به‌طور خلاصه عبارت‌اند از: مراجعه به اسناد دست‌اول (آثار معماری برجای‌مانده، مدارک باستانی، اصول مکانیک نیروها) و اسناد دست دوم (آثار محققین در خصوص معماری هخامنشی، مقایسه با وضعیت‌های مشابه از دیگر سازه‌های تاریخی) و ارزیابی منسجم و منطقی این مدارک. تنوع منابع نیز وجود ایده‌های گوناگون برای تحلیل آثار باستانی (که عمدتاً ناشی از محدودیت‌های مرتبط با جست‌وجوی تجربی شواهدی است که در گذر زمان دچار تخریب شده‌اند)، ارزیابی دقیق چنین اسنادی را ضروری می‌سازد. ازاین‌رو در ابتدا شرح کوتاهی از مطالعات صورت‌گرفته و کاستی‌های موجود در حوزهٔ پژوهش ارائه می‌گردد. سپس با مشاهده و بررسی مستندات ساختمانی برجای‌مانده از عصر هخامنشی، برداشت‌های میدانی مجدد آن‌ها، و به‌ویژه با استفاده از تفسیر، تحلیل و استدلال منطقی‌ای که شرایط جغرافیایی و زمانی ساخت آثار را مورد توجه قرار می‌دهد، فناوری به‌کاررفته در ساخت این آثار مورد شناسایی قرار خواهد گرفت. در این میان، سعی خواهد شد تا رابطهٔ منطقی میان مطالعات پراکنده‌ای که تابه‌حال صورت‌گرفته ایجاد شده، همچنین آثار باستانی‌ای که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌اند مجدداً ارزیابی شوند تا نهایتاً بتوان به درک بهتری از فرهنگ ساختمان‌سازی در امپراتوری هخامنشی دست یافت. نحوهٔ بهره‌بردن از خصوصیات مکانیکی مصالح و فناوری در اختیار، روش‌های مقابله با نیروهای ویرانگر طبیعت و نیز سیر تحول در تعامل میان فناوری و محصول معماری سرفصل‌هایی هستند که از طریق آن‌ها این هدف دنبال می‌شود.

۱. پیشینهٔ تحقیق

تاریخ دنیای باستان و روند تکامل معماری در ایران را یا مستقیماً محققان غربی به رشتهٔ تحریر درآورده‌اند یا آنکه در قرن گذشته، آنان پایه‌گذار دیدگاه‌هایی بوده‌اند که در دوره‌های بعد از سوی محققان به‌عنوان شالودهٔ تحقیقات مورد پذیرش واقع شده است. نه‌تنها بازبینی تألیفات قدیمی با بهره‌مندی از یافته‌های جدیدتر یکی از اصول باستان‌شناسی است،[۱۱] بلکه با درنظرگرفتن این موضوع که در بسیاری از تحلیل‌های اولیهٔ صورت‌گرفته از آثار ایران باستان توسط

اروپاییان، عدم علاقهٔ متخصصین باستان‌شناسی کلاسیک به هنر مشرق‌زمین (دانجلیس۱۳۶۶، ۱۳)، تلاش برای نشان دادن بربریت مردمان مشرق، و نیز وابستگی تمدن شرق به غرب[۱۲] به‌وضوح مشاهده می‌شود (Khatch-adourian 2010, 963) امروز بار سنگینی بر دوش محقق ایرانی است. همان طور که اشاره شد یکی از مشکلات مطالعات اولیه در حوزهٔ امپراتوری هخامنشی، تلاشی است که برای یافتن ریشه‌های هنر آنان صورت گرفته، بدون آنکه ویژگی‌های متمایزکنندهٔ آثارشان مورد بررسی قرار گیرد. از دههٔ هفتاد میلادی به این سو، مطالعات خوبی در خصوص جنبه‌های هنری آثار هخامنشی و ویژگی‌های فرمالی که آنان را از آثار دیگر تمدن‌های باستانی متفاوت می‌سازد، انجام شده است. در این میان می‌توان به کتاب تأثیرگذار مارگارت روت (Root 1979) [۱۳]، تلاش‌های هِلین سنچیزی–ویردنبورگ (Heleen Sancisi-Weerdenburg) و همکارانش برای برگزاری سمینارهای شناخت تاریخ هخامنشی،[۱۴] اثر منحصربه‌فرد مارگارت میلر (Miller 1997) [۱۵] و نیز آثار مورخ فرانسوی پیر بریان (Pierre Briant) اشاره کرد. این‌ها درمجموع نشانگر تلاش برای بهره بردن از نگاهی واقع‌گرایانه در تحلیل تاریخ و هنر هخامنشی هستند.[۱۶] با این حال، چنین دیدگاهی هنوز در تحلیل مهندسیِ بناهای هخامنشی بازتاب نیافته است. این موضوع عجیب نیست؛ چراکه به‌عنوان یک قاعدهٔ کلی در مطالعات معماری، تاریخ‌نگاران تمایل دارند تا توجه خود را به توسعهٔ ظاهری سبک‌ها، نمادگرایی و شناخت آن معطوف کنند و ازاین‌رو از پرداختن به رابطهٔ مهم میان سبک معماری و سیستم ساختمانی در معماریِ باستان خودداری می‌کنند (Mark 1990, xv, 9).[۱۷] انتظار می‌رود در مطالعات آتی در حوزهٔ معماری ایران، این کاستی مورد توجه قرار گیرد.

اول بار در میانهٔ قرن نوزدهم بود که متعاقب از برقراری رابطه‌ای نوین میان ایران و غرب، اروپاییان تصور بهتری نسبت به ایران و آثار تاریخی آن کسب کرده و بناهای تاریخی کشورمان به تألیفات دنیای غرب راه پیدا می‌کنند. تا پیش از آن، تصور مردمان اروپا از ایران محدود به افسانه‌ها یا برآمده از نوشتار یا نقاشی‌هایی بود که جهانگردان از این سرزمین تهیه می‌کردند. تداوم ارتباطات میان هیئت‌های سیاسی، تجاری، مذهبی، و همچنین سفر متخصصان به ایران (Motamedamanesh 2016) در تغییر این شناخت مؤثر افتاد. اولین افرادی که تلاش کردند تا به تحلیلی علمی در خصوص آثار معماری ایران باستان و از جمله معماری هخامنشی بپردازند، زوج فرانسوی ژان و مارسل دیالافوآ هستند (Mousavi 2012, 146). در اواخر قرن نوزدهم و در طی سفرهای اکتشافی‌شان، آن‌ها کاخ‌های هخامنشی در شوش را حفاری کرده و از طریق مقایسه با آثار تمدن‌های بابل، آشور و یونان به تحلیلِ چگونگی ساخته‌شدن ابنیهٔ هخامنشی پرداختند (Dieulafoy 1885). تقریباً در همان زمان، چیپیز و پروت تحلیل تاریخی‌فناورانهٔ خود از معماری باستانی ایرانِ را ارائه دادند (Perrot and Chippiez 1892). با توجه به اینکه این دو هرگز ایران را ندیده بودند، اثرشان شدیداً وابسته به دستاوردهای محققین فرانسوی پیش از خود، آثار تاریخ‌نگاران یونان باستان و نیز برداشت‌های ذهنی خویش بود. جالب آنکه روحیهٔ عقل‌گرایانهٔ اواخر قرن نوزدهم، چیپیز را بر آن داشت تا در طرح‌هایی که تهیه می‌کرد، از ارتفاع ستون‌های هخامنشی کاسته و بر ضخامت آن‌ها بیفزاید (دانجلیس ۱۳۶۶، ۱۵). آگوست شوازی نیز در کتاب *تاریخ معماری*‌اش، به تحلیل مهندسی آثار ایران باستان پرداخت (Choisy 1899, 119-153). او سعی داشت تا با رمزگشایی هندسی آثار هخامنشی، تحلیلی علمی از نحوهٔ طراحی آن‌ها ارائه کند.

کاوش‌های ارنست هرتزفلد آلمانی در سایت‌های هخامنشی فارس، به چند دهه انحصار فرانسویان در حوزهٔ باستان‌شناسی ایران پایان داد. در این زمان، متأثر از حجم قابل توجهی از یافته‌های باستان‌شناسی که در دهه‌های پیشین به دست آمده بود، همچنین حضور فردریش کرفتر، معمار هوشمند آلمانی، که به همراه هرتزفلد رهسپار پرسپولیس شده بود، دیدگاه‌های جدیدی در خصوص نحوهٔ اجرای سازه‌های عظیم سنگی و نحوهٔ پوشش کاخ‌ها ارائه گردید (Herzfeld 1941). با ادامه یافتن فرایند کاوش در تخت‌جمشید و دریافت‌های کامل‌تر از وضعیت صفه و چگونگی ارتباط میان ابنیهٔ ساخته‌شده روی آن، تقریباً دو دهه بعدتر، کرفتر به ارائهٔ طرح بازسازی تخت‌جمشید مبادرت ورزید (Krefter 1971). با این حال او نیز به‌طور عمده، به مقایسهٔ معماری هخامنشی و یونان باستان پرداخت و در روش پیشنهادی خویش برای بازسازی بخش‌های از میان رفتهٔ بناها به روابط میان عناصر ساختمانی،

آن گونه که در معماری یونان متداول بود، تکیه کرد. همان طور که در ادامهٔ این مقاله خواهیم دید، این روش از مشکلات متعدد رنج می‌برد. تقریباً در همین زمان، کارل نیلاندر سوئدی نقش استادکاران یونانی در ساخته شدن پاسارگاد را مطالعه می‌کند و در آثار خویش به مقایسهٔ شباهت‌های موجود میان فناوری‌های ساخت در فارس و افسوس می‌پردازد (Nylander 1966; Nylander 1970). نه‌تنها او صحبتی از چگونگی منحصربه‌فرد شدن آثار هخامنشی نمی‌کند (Ibid 1970, 102) بلکه هنر ایرانی و شرقی را در مقابل هنرهای یونانی ناچیز دانسته و به تأثیر بی‌بدیل یونانیان در ساخته شدن آثار معماری و فرهنگ ساختمانی هخامنشی تأکید می‌ورزد (همان، ۷۲ـ۷۳).[۱۸] این افراط تا جایی پیش رفته که باستان‌شناس برجستهٔ اسکاتلندی، دیوید استروناخ، روش نیلاندر مبنی بر طبقه‌بندی آثار هخامنشی براساس الگوی تراش سنگ، ادعاهای او در خصوص ریشهٔ غربی برخی بناها، همچنین اتکای نیلاندر بر تفاسیر شخصی در مواردی را که شواهد علمی به حد کافی موجود نباشد، مورد انتقاد قرار داده است (Stronach 1973 & 1978, 72). با این حال استروناخ در اثر ارزشمند خویش در خصوص آثار باستانی پاسارگاد تا میزان زیادی، نظریات کرفتر و نیلاندر در مورد فناوری هخامنشیان را پذیرفته است. آثار تألیف‌شده توسط بنیاد شرق‌شناسی دانشگاه شیکاگو نیز به‌ترتیبی مشابه یا در خصوص مسائل مربوط به فناوری سکوت اختیار می‌کنند، یا آنکه ترویج‌گر نظریات کرفتر می‌شوند (Schmidt 1953 & 1970). آرتور پوپ امریکایی نیز رویهٔ دیگر هم‌قطارانش را ادامه داد (Pope 1965). متأثر از نزدیک به دو دهه عملیات مرمت و بازسازی در سایت‌های هخامنشی فارس توسط مؤسسهٔ ایتالیایی ایزمئو، زوج تیلیا و همکارانشان نکات ظریفی از چگونگی اجرای این سازه‌های باستانی ارائه دادند (Tilia 1968, 1972 & 1978). در همین زمان، مایکل روآف تحلیل قابل توجهی از سیستم اندازه‌گیری رایج در تخت‌جمشید ارائه می‌دهد (Roaf 1978). در سال‌های اخیر مهدی فرشاد (فرشاد ۱۳۷۶، ۲۹۵ـ۲۹۸) و مهرداد حجازی (Hejzai 1997, 19-21) اشارات محدودی به جنبه‌های فناورانهٔ فرم‌های به‌کاررفته در معماری هخامنشی داشته‌اند و جورج رایت در مجموعه کتاب‌هایش که به فناوری معماری در عصر باستان پرداخته، آثار ساختمانی هخامنشی را نیز بررسی کرده است (Wright 2000, 79-88). با بهره‌مندی از روش آرکئوژئوفیزیک، رمی بوشارلا نیز مشابهت‌های فناورانه میان آثار هخامنشی و یونانی را مطالعه کرده است (Boucharlat 2003). بنیاد پژوهشی پارسه پاسارگاد مطالعات محدودی در خصوص شیوه‌های معدن‌کاری، حجاری و مرمت سنگ در معماری هخامنشی، همچنین کاربرد کانال‌های آب، تعمیرات صورت‌گرفته بر روی ابنیه و نیز تغییرات اعمال‌شده بر روی خشت و معماری خشتی در مشهورترین ابنیهٔ هخامنشی داشته است (وبگاه بنیاد پژوهشی پارسه پاسارگاد).

۲. اصول حاکم بر ساخت آثار معماری در دوران هخامنشی

۱.۲. مصالح و اجرا

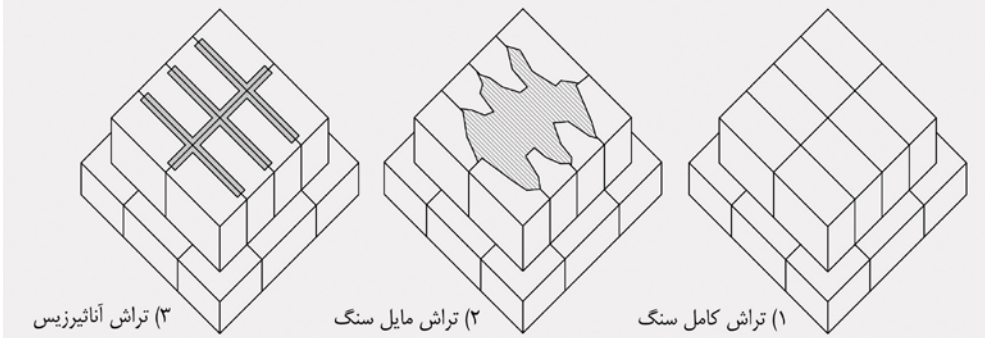
فرهنگ ساختمان‌سازی هخامنشیان تنها از جهت محصولات نهایی‌اش منحصربه‌فرد نیست: فرایند شکل‌گیری معماری، روش‌های اجرا و فنون به‌کاررفته در کاربرد مصالح نیز نکات جالب توجهی را نشان می‌دهند. استفاده از مصالحی که به بهترین نحو، پاسخگوی نیازهای کاربردی بنا باشند، مهم‌ترین رکنی بود که معمار هخامنشی را در فرایند انتخاب و ترکیب مواد مختلف هدایت می‌کرد. برای مثال، درحالی‌که شرایط جغرافیایی ایران دسترسی به انواع سنگ‌های مختلف ساختمانی را فراهم می‌آورد، معماران هخامنشی در ساخت تخت‌جمشید، عظیم‌ترین پروژهٔ ساختمانی در سراسر امپراتوری، به استفاده از سنگ‌های آهکی روی آوردند. این سنگ‌ها در میانهٔ طیفِ آسانی در قابلیت پرداخت و استحکام قرار دارند (Hunt 2008). در قیاس با بناهای عظیمی که پیش‌تر در مصر ساخته شده بودند (ماسه‌سنگ و گرانیت) و نمونه‌های هم‌عصر از یونان (سنگ مرمر)، استفادهٔ هخامنشیان از سنگ‌های آهکی، کاربرد مصالحی را نشان می‌دهد که علاوه بر داشتن استحکام و سختی مورد نیاز، به‌آسانی تراش می‌خورد، پرداخت می‌شد و ازاین‌رو راحتی در اجرای بنا را سبب می‌گشت. بررسی معادن باستانی متعددی که برای استخراج سنگ مورد استفاده قرار گرفته، نشان از آن دارد که سازندگان توجه ویژه‌ای به استحصال بهترین رگه‌های سنگ داشتند و حتی در برخی از

این معادن که در ساخت تخت‌جمشید مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند، تا یازده گمانهٔ مختلف برای برداشت سنگ دیده می‌شود (زارع ۱۳۸۲). مجموعه تخت‌جمشید از دو نوع مختلف سنگ ساخته شده است: درحالی‌که بخش اصلی صفه و عناصر باربر کاخ‌ها از سنگ‌های آهکی بالنسبه روشن و خاکستری‌رنگی که معدن آن در نزدیکی مجموعهٔ یافت‌شده ساخته شده‌اند، سنگ‌های تیره‌تر و نرم‌تری که از معدن مجدآباد که چهل کیلومتر دورتر از محل ساختمان‌سازی قرار داشت آورده می‌شدند، برای ساخت اجزایی که حجاری‌ها روی آن‌ها صورت می‌گرفت، به کار رفته‌اند (Tilia 1968).

در چگونگی و چرایی کاربرد مصالح مختلف در کنار یکدیگر و نیز فنون به‌کاررفته برای اتصالات نیز نکات ظریفی وجود دارد. عناصر سنگی کاخ‌های هخامنشی تا حد امکان به‌صورت یکپارچه و از قطعات عظیم ساخته شده‌اند. تا جایی که کرفتر عبارت «تراش‌صخره» را برای این گونهٔ خاص از معماری مناسب‌تر یافته است (Krefter 1971, 32). گویی حتی در ساخت اجزای بنا همچون پله‌ها، چهارچوب ورودی‌ها، و پنجره‌ها نیز مجسمه‌سازی به کار رفته باشد. استفاده از این روش (که البته دشواری‌هایی در مرحلهٔ حمل و اجرا داشت) بر رفتار یکپارچهٔ بنا در زمان بروز زمین‌لرزه تأثیر فراوانی داشته است. بخش قابل توجهی از دیوارهای باربر پیرامون کاخ‌ها با استفاده از مصالح خشتی یا آجری اجرا می‌گردید که به‌واسطهٔ ویژگی‌های ذاتی خاک (ضعف در کشش) در برابر نیروهای ویرانگر و بارهای زندهٔ طبیعت، مقاومت چندانی از خود نشان نمی‌دادند. ضعف ابنیهٔ ساخته‌شده از خشت، عموماً در محل اتصالات و بازشوها که بروز تنش‌های کششی در آن‌ها اجتناب‌ناپذیر است، بروز کرده و سبب از هم گسیختن اجزای سازه می‌گردد. ازاین‌رو قطعات سنگی یکپارچه که در میان دیوارهای خشتی بیشتر کاخ‌های هخامنشی قرار گرفته بودند (تصویر ۱) فارغ از نقشی که به‌عنوان بازشو و عناصر تزیینی بنا ایفا می‌کردند، انتقال تنش‌های کششی را به‌نحو مؤثری بر عهده گرفته و از بروز ترک یا آسیب جدی به بنا جلوگیری به عمل می‌آوردند.[۱۹] این قطعات بزرگ سنگ در محل اتصال با خشت‌ها از داخل خالی شده‌اند تا علاوه بر آنکه بار مردهٔ ساختمان کاهش یافته و انتقال مصالح به محل ساختمان‌سازی راحت‌تر انجام شود، اتصال مصالح مختلف به یکدیگر نیز به نحو مؤثرتری صورت پذیرد.

تصویر ۱: عناصر سنگی تشکیل‌دهندهٔ بازشوها در میان دیواره‌های خشتی و آجری جای گرفته‌اند.

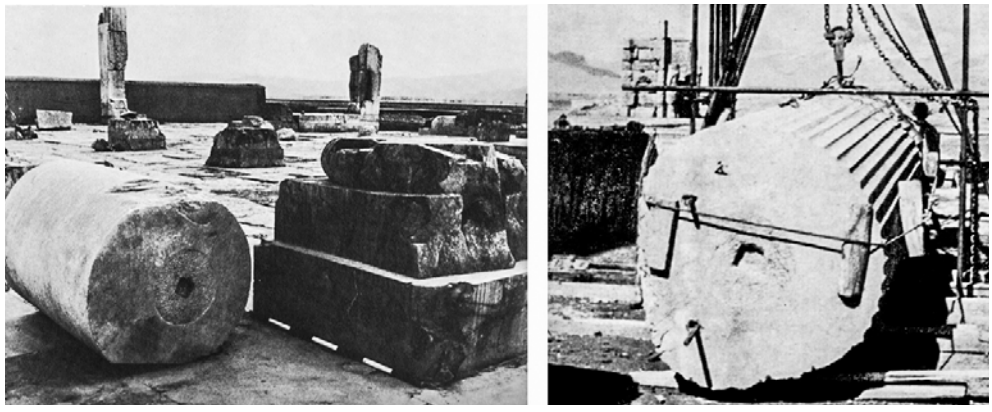
نحوهٔ تراش و چگونگی اتصال اجزای سنگی درخور توجه است. برای تراش دو قطعه‌سنگی که قرار است در کنار یکدیگر بنشینند سه حالت اصلی را می‌توان در نظر گرفت: تراش سنگ در سراسر محورهایی که در تماس با یکدیگرند، تراش مایل به‌نحوی که تنها بخش‌هایی که در طرح نهایی کنار یکدیگر دیده می‌شوند به‌دقت برش می‌خورند، و نهایتاً استفاده از تراش آناثیرزیس (Anathyrosis) برای ایجاد اتصالات (Nylander 1970, 58-59). استفاده از روش اول مستلزم هزینهٔ زیاد زمانی و مالی در اجراست، تکنیک دوم به‌دلیل چیدمان نامناسب مصالح درکنار یکدیگر، که حرکت آزادانهٔ قطعات در صورت اعمال نیروی افقی زمین‌لرزه را ممکن می‌سازد، مستعد بروز ضعف‌های سازه‌ای است، و در نهایت این روش سوم است که تعادل مناسبی میان نیازهای باربری بنا و هزینه‌های اجرایی برقرار می‌کند (تصویر ۲). دستیابی به الگوی دوم به‌راحتی میسر بوده و نمونه‌های آن به‌وفور در معماری برجای‌مانده از دیگر تمدن‌های باستانی دیده می‌شود. اما به نظر می‌رسد با آگاهی از ضعف سازه‌ای نهان در این روش، هخامنشیان تمایلی به استفاده از آن نداشته‌اند.[۲۰] در اتصالات آناثیرزیس بخش مرکزیِ قطعاتی که در تماس با یکدیگر قرار می‌گیرند، به‌صورت ناهموار و زبرِ موجود در سطحِ طبیعیِ سنگ باقی‌مانده (در ترازی پایین‌تر از محل تماس دو قطعه) و تنها در پیرامون این هستهٔ مرکزی اقدام به صاف و صیقلی‌کردن سطوح می‌شود. به این ترتیب با حذف زمان پرداختِ سنگ در نقاطی که عملاً از نظر بصری بدان نیازی نیست، سرعت اجرا افزایش چشمگیری پیدا می‌کند. از سوی دیگر، این الگوی تراش سنگ به کمرنگ ساختن درزِ میان اتصالات و نیز ایجاد همگونی بصری میان قطعات منجر می‌شود. تکنیک آناثیرزیس از عهد عتیق در یونان مورد استفاده بود، اما در خارج از یونان، اول بار در ایران هخامنشی به کار گرفته شد و پس از آن به‌تدریج در سایر نقاط خاورِ نزدیک متداول گردید (همان، ۶۱). علی‌رغم مزیت‌های ذکرشده در بالا، با توجه به کاهش‌یافتن سطح مقطع مؤثر در انتقال بار در این حالت، عملاً مصالح به‌صورت بهینه مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. سازندگان هخامنشی از این نقیصه آگاهی داشتند و ازاین‌رو در بخش‌هایی از بنا که نیازهای باربری در اولویت قرار داشت، تکنیک آناثیرزیس مورد استفاده قرار نمی‌گرفت (تصویر ۳).



تصویر ۲: الگوهای مختلف اتصال قطعات سنگی به یکدیگر

در معماری هخامنشی، سنگ‌ها بدون استفاده از ملاط و تنها با استفاده از بست‌های آهنی در کنار یکدیگر محکم می‌شدند. این بست‌ها نه‌تنها از بروز حرکت‌های اضافی و یا منفرد قطعات سنگی جلوگیری به‌عمل می‌آوردند، بلکه با افزایش یکپارچگی بنا، مقاومت بهتری در برابر نیروهای کششی و نیز تنش‌های برشی که به‌صورت پیش‌بینی‌نشده در سازه ایجاد می‌شد فراهم می‌آمد (Wright 2005, 254). به‌طور کلی دو گونهٔ مختلف از بست‌ها در معماری دنیای باستان دیده می‌شود: بست‌های افقی و عمودی. استفاده از بست‌ها اول بار در دوران پادشاهی در مصر آغاز شد و بعدها در دوران برنز در آسیای صغیر و بین‌النهرین نیز به‌صورت محدود ادامه یافت (Nylander 1966, 132). با این حال، این فن به‌فراوانی در بناهای هخامنشی استفاده گردید. این موضوع از توجه ویژهٔ معماران این امپراتوری به استحکام بناهایی که می‌ساختند حکایت دارد. سیر تحول بست‌ها در معماری هخامنشی، نشانگر عبور از بست‌های سادهٔ دم‌چلچله‌ای

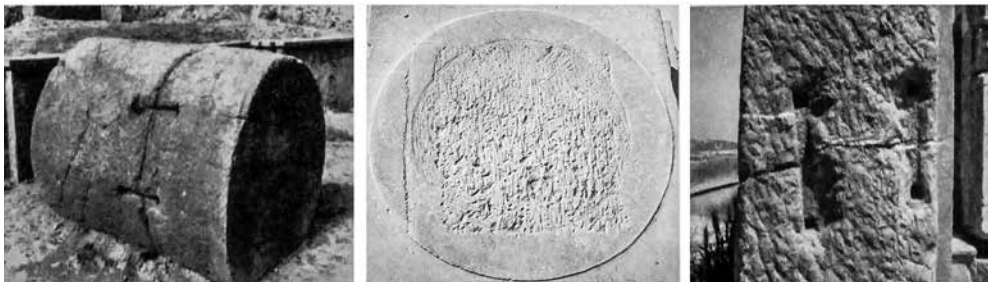
(سنگی، چوبی، مسی و برنزی) در اوان عصر هخامنشی به‌سوی استفاده از بست‌های خطی‌شکلی است که در دو انتهایشان زواید عمودی تعبیه شده بود تا با فرورفتن در عمق سنگ، اتصالات بهتر و عمیق‌تری را فراهم آورند (همان، ۱۳۷ـ۱۴۱). سطح بیرونی این قلاب آهنی نهایتاً با استفاده از سرب[۲۱] مذاب پوشیده می‌شد. تفاوت چشمگیر در شکل و نحوهٔ عملکرد بست‌ها در بناهای اولیه (پاسارگاد) و نمونه‌های متأخر (تخت‌جمشید) حکایت از افزایش درکِ سازندگانِ نسبت به رفتار سازه‌ای اتصالات و نیز تلاش برای بهبود بهره‌وری مصالح دارد؛ چراکه در طیِ روند تحول بست‌ها نهایتاً اتصالات مؤثرتر با استفاده از مصالح کمتر ایجاد شدند. اگرچه بست‌های افقی به‌وفور و تقریباً در همه‌جا دیده می‌شوند، بست‌های عمودی (که در مقام مقایسه اجرای سخت‌تر و پیچیده‌تری دارند)[۲۲] تنها در بخش‌هایی از بنا (نظیر ستون‌ها، جان‌پناه‌ها، باروها) که به‌دلیل بروز تنش‌های خاص امکان ازهم‌پاشیدگی سازه وجود داشت، به کار رفته‌اند (Nylander 1970, 45). برای اتصال قطعات تشکیل‌دهندهٔ ستون‌ها عموماً از بست‌های چوبی به‌صورت کام و زبانه استفاده می‌شد و این تغییر در الگو و مصالح اتصال‌دهندهٔ اجزا می‌تواند به‌دلیل رفتار ارتجاعی و انعطاف‌پذیر چوب باشد که در سرزمین لرزه‌خیزی همچون ایران، امکان حرکت‌های محدود افقی را در نقطهٔ اتصال بخش‌های منفرد سازه فراهم می‌آورد. به‌دلیل مشابه، در برخی موارد اتصال عمودی قطعات از طریق فلز قلع میسر شده است (فرشاد ۱۳۷۶، ۵۹).



تصویر ۳: استفادهٔ محدود از تکنیک آنائیرزیس در اجرای ستون‌ها در پاسارگاد (چپ) و تخت‌جمشید (راست) (Stronach 1978; Tilia 1972)

مشاهدهٔ تعمیرات متعددی که در مصالح سنگی کاخ‌های برجستهٔ هخامنشی صورت گرفته (Tilia 1968) و اصلاح بی‌پروایانهٔ سنگ با استفاده از آهن و سرب (Krefter 1971, 55) همچنین کاربرد مجدد مصالح سنگیِ پیش‌تر استفاده‌شده، که به‌ویژه در ساخت صفه تخت‌جمشید یا پایه‌ستون‌های کاخ شوش دیده می‌شود (Perrot 2013, 145; Tilia 1978, 13)، از توجه سازندگان به استفادهٔ بهینه از مصالح، حتی آن دسته از آن‌ها همچون سنگ که به‌وفور یافت می‌شدند، حکایت می‌کند (تصویر ۴). انتظار می‌رود چنین دقتی در کاربرد مصالح چوبی (که بنا بر گواهی کتیبه‌های باستانی از هزاران کیلومتر دورتر به محل ساختمان‌سازی حمل شده‌اند)[۲۳] نیز مورد توجه قرار گرفته باشد.

با آنکه امروز شواهد متقنی از چگونگی کاربرد چوب در معماری هخامنشی باقی نمانده است، هنوز در برخی کاخ‌ها و نیز در مقابر صخره‌ای که به‌طرز جالب توجهی از نمای کاخ‌ها کپی‌برداری شده‌اند، می‌توان چگونگی کاربرد مصالح چوبی را پیدا کرد. آثار برجای‌مانده از ستون‌های چوبی کاخ‌های کوچک‌تر در تخت‌جمشید (همچون عمارت خوابگاه و خزانه) حکایت از پوشش سطح چوب با لایه‌هایی از قیر، الیاف گیاهی (مشابه با طناب) و گچ دارد (فرشاد ۱۳۷۶، ۶۹؛ Schmidt 1953, 160) که درمجموع، پوشش خوبی برای محافظت از چوب در برابر آسیب‌های ناشی از رطوبت و حشرات فراهم می‌آورد. همچنین قرار گرفتن ستون‌ها بر روی پایهٔ سنگی از انتقال رطوبت موجود در کف ساختمان به هستهٔ چوبی جلوگیری می‌کرد. در مقابر صخره‌ای هخامنشی، ترکیبی از تیرها که از بخش میانی سرستون‌های به شکل

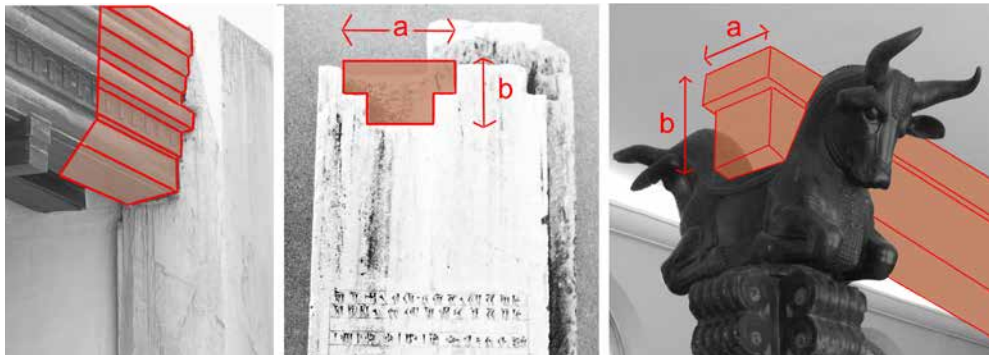


تصویر ۴: تعمیر و استفادهٔ مجدد از مصالح سنگی که اشتباه تراش خورده یا شکسته‌اند
(Nylander 1970; Schmidt 1953; Stronach 1978).

گاوهای به‌هم‌چسبیده عبور کرده‌اند، حجاری شده است. در قیاس با الگوی تیرریزی سقف که در مقابر صخره‌ای یا آثار ساختمانی دیگر تمدن‌های باستان یافت شده، فرم هخامنشی ناآشنا به نظر می‌رسد. در اینجا شاه‌تیر سقف از رویِ هم قرار گرفتن دو تیر با عرض و ارتفاع مختلف تشکیل شده که بنا بر اعتقاد محققان، شاهدی بر توجه و آگاهی مهندسین هخامنشی از اصول مکانیک است؛[۲۴] چراکه با افزایش ممان اینرسی سطحی، مقاومت تیر در برابر تغییر وضعیت و ناپایداری افزایش یافته است (فرشاد ۱۳۷۶، ۲۹۶).[۲۵] فرم سرستون‌ها و الگوی تراش جرزهای سنگی‌ای که انتهای تیرهای سقف را در خود جای داده بودند نیز تلاش مهندسین باستان برای ارتقای اتصالات در تیرریزی سقف را نمایش می‌دهد. یکی از موضوعات مهم در استفادهٔ بهینه از یک تیر، یافتن راهی برای جلوگیری از چرخش آزادانهٔ آن است که عموماً به‌صورت فنونی برای مهارِ دو سوی تیر محقق می‌گردد. این موضوع به‌وفور در آثار برجای‌مانده از تمدن‌های کهن دیده می‌شود. کاربرد اتصالات کام و زبانه، میل مهار یا اتصالات بادبندی در دو سوی تیر،[۲۶] همچنین تعبیهٔ حفره‌هایی در مصالح سنگی دیوارهای اطراف به‌نحوی که تیرهای سقف در آنجا استحکام یابند، از جمله روش‌های به‌کارگرفته‌شده تا پیش از عصر مدرن و استفاده از مصالح آهنی و بتنی در ساختمان‌سازی است. در معماری هخامنشی نیز روش‌های بدیعی برای رسیدن به اتصالات مناسب به کار گرفته شده و در حقیقت، راز دستیابی معمار هخامنشی به وسیع‌ترین دهانه‌های مسطح دنیای باستان که برای اولین بار جسارت معماری را از حد خود فراتر برد (دانجلیس ۱۳۶۶، ۱۵)، کاربرد هوشمندانهٔ مصالح چوبی است. سرستون‌هایی که از به‌هم‌پیوستن مجسمه‌هایی به شکل حیوانات اساطیری ساخته شده‌اند، حفره‌هایی را در محل اتصال دو نیم‌تنهٔ جانوری در خود جای داده‌اند که نمونهٔ آن در هیچ‌یک از تمدن‌های پیش از هخامنشی دیده نمی‌شود (Stronach 1978, 74). به نظر می‌رسد این سرستون‌ها نقش مؤثری برای جلوگیری از گردش تیرهای سقف و برقراری اتصالاتی بهینه بر عهده داشتند. در چهار کاخ هخامنشی در پاسارگاد و تخت‌جمشید، آثاری از جرزهای سنگی بر جای مانده که در بخش بالایی آن‌ها محل، ابعاد و چگونگی قرارگیری تیر چوبی پوشش‌دهندهٔ بخش بیرونی ایوان و عناصر تشکیل‌دهندهٔ جان‌پناه بام به‌دقت حجاری شده است (تصویر ۵).[۲۷]

در نهایت اینکه شواهد ساختمانی نشان از آن دارند که سازندگان هخامنشی به بهترین نحو، از دستاوردهای فنی موجود در عصر خویش برای برپایی سازه‌های منحصربه‌فردشان بهره برده‌اند. مقایسهٔ اجزای ستون‌ها در تخت‌جمشید[۲۸] و پاسارگاد از کاهش طول قلمه‌های ستون حکایت دارد که می‌تواند نشانی از کاربرد نمونه‌های اولیهٔ جرثقیل برای ساخت بناها باشد.[۲۹] به ترتیب مشابه و چنان‌که در ادامه اشاره می‌شود، تیرهای سنگی تشکیل‌دهنده سقف کعبهٔ زرتشت نیز در قیاس با زندان سلیمان، ابعاد کوچک‌تری پیدا کرده‌اند. نمونه قرقره‌های برنزی و آهنی که در اتاق خزانهٔ تخت‌جمشید یافت شده (Schmidt 1957, 103)، استفاده از ماشین‌های اولیه در برپا کردن این سازهٔ عظیم را تأیید می‌کند (فرشاد ۱۳۷۶، ۸۱). آثار برجستگی‌هایی که در دو انتهای قلمهٔ ستون‌های یافت‌شده در مجاورت دروازهٔ ناتمام دیده می‌شود نیز استفاده از ابزارهای اولیه‌ای را که برای انتقال آسان‌تر مصالح عظیم سنگی در عهد باستان کاربرد داشتند،[۳۰] نشان می‌دهد. مطابق با سنگ‌نوشته‌های یافت‌شده در شوش، مصالح مختلف ساختمانی از اقصی‌نقاط دنیا به

پایتخت حکومت هخامنشی انتقال می‌یافت و متبحرترین هنرمندان و سازندگان که از سراسر دنیای متمدن آن روزگار گرد هم آمده بودند، این مصالح را برای ساخت کاخ‌ها مورد استفاده قرار می‌دادند. این موضوع خود نشان از اهمیت دادن به استفاده از برترین‌ها در معماری هخامنشی می‌کند.

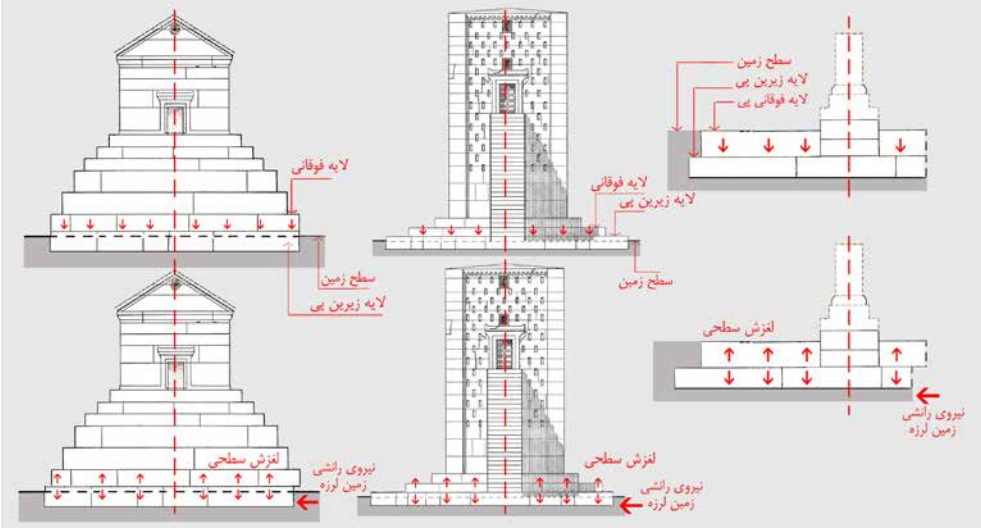


تصویر ۵: چگونگی ارتباط میان حجاری‌های بالای جرزهای سنگی و تیرریزی سقف

۲.۲. مقابله با نیروهای ویرانگر طبیعت

آثار به‌دست‌آمده از ساخت پل بر روی خندقی که وظیفهٔ هدایت و دفع آب‌های سطحی در پاسارگاد را بر عهده داشت (Stronach 1978, 113) همچنین یافت‌شدن مجموعهٔ منظمی از مجاری انتقال آب باران که درون صفهٔ تل‌تخت (همان، ۱۵۱)، تخت‌جمشید (ShapurShahbazi 2012) و شوش (Ladiray 2013, 142-144) از پیش تعیین شده بودند و با دور ساختن و دفع آب‌های سطحی به زهکشی مجموعه می‌پرداختند، نشان از توجه هوشمندانه و اصولیِ هخامنشیان به نیروهای ویرانگر طبیعت دارد. جالب آنکه حتی در تراز فوقانی از صخره‌هایی که مقابر سلطنتی هخامنشی را در خود جای داده‌اند، نیز می‌توان مسیرهایی برای هدایت و دورساختن آب‌های جاری مشاهده کرد (Tilia 1972, 63). چنین نکاتی عموماً از سوی محققانی که به معماری هخامنشی پرداخته‌اند، مورد تأکید قرار گرفته است. علاوه بر این موارد، استفاده از روش‌های مؤثر مقابله با نیروهای ویرانگرتر طبیعت همچون زمین‌لرزه، از اولین بناهایی که توسط هخامنشیان ساخته شدند، مورد توجه قرار داشت.

یکی از ویژگی‌های ممتاز ابنیهٔ هخامنشی سیستم پی‌سازی به‌کاررفته در آن‌هاست. آثار برجای‌مانده از آن عصر در پاسارگاد نشان از فن خاصی در پی‌سازی می‌دهد. برای مثال، کف‌سازی‌های کاخ بارِ عام کوروش از دو لایه‌سنگ مشابه با مرمر که بر روی یکدیگر قرار گرفته‌اند، تشکیل شده است. سنگ‌های لایهٔ بیرونی که بین ۱ تا بیش از ۳ متر طول و حدود ۴۰ سانتی‌متر ضخامت دارند، به‌دقت با یکدیگر چفت شده و سطح یکپارچه‌ای را تشکیل داده‌اند (سامی ۱۳۳۰، ۵۹ـ۶۰). در زمان بروز رانش‌های زمین درحالی‌که سطح زیرینِ پی به همراه خاکی که در اطراف آن قرار داشت در سطح افقی حرکت می‌کرد، لایهٔ بالایی پی در غیاب اصطکاک سطحی روی لایهٔ سنگیِ صیقل‌خوردهٔ زیرین می‌لغزید و در نتیجه، جابه‌جایی اندکی پیدا می‌کرد (تصویر ۶). این‌گونه با فراهم بودنِ امکان لغزش قطعات سنگی بر روی یکدیگر، نوع اولیه‌ای از سیستم جداکنندهٔ لرزه‌ای ایجاد گردیده بود که در زمان بروز زمین‌لرزه، کاخ را از آسیب مصون می‌داشت (شاه‌کرمی ۱۳۸۴، ۷۷). وجود بخشی مطبق که از سه لایه‌سنگ صیقل‌خورده که روی یک پی مستقل و به‌هم‌پیوسته سوار شده‌اند[۳۱] و در پایین‌ترین تراز زندان سلیمان (Stronach 1978, 119) و کعبهٔ زرتشت (Schmidt 1970, 41-44) دیده می‌شود، می‌تواند نشانگر استفاده از سیستمی مشابه بوده باشد. نمونهٔ برجسته از این فن پی‌سازی در آرامگاه کوروش به کار گرفته شده که محققان آن را به‌عنوان اولین نمونه از سیستم جداکنندهٔ لرزه‌ای در تاریخ مهندسی دانسته‌اند (Saiful Islam, Jameel and Jumaat 2011, 101).



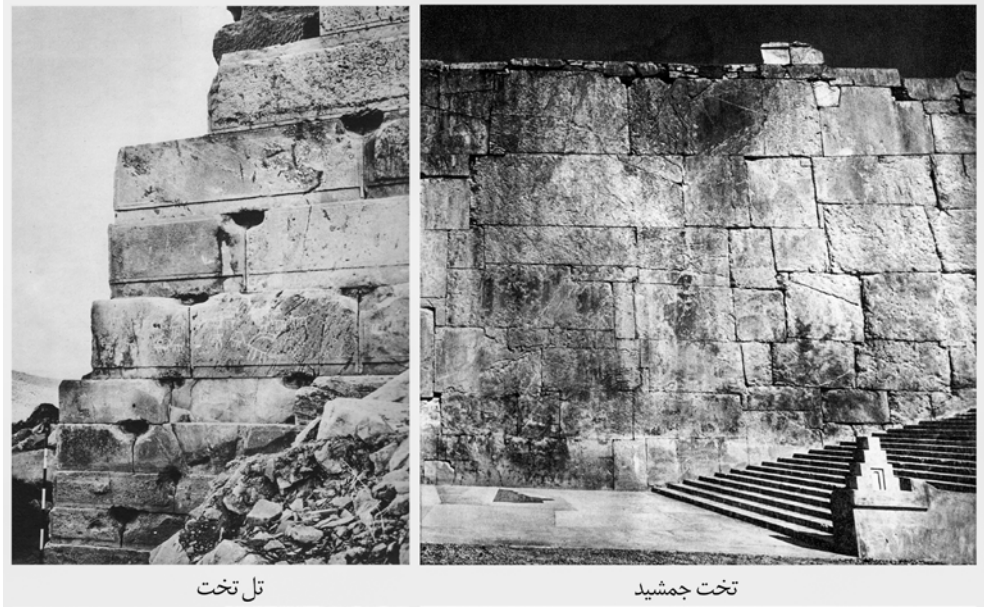
تصویر ۶: جزئیات پی‌سازی در بناهای هخامنشی در پاسارگاد و الگوی شماتیک از نحوهٔ ایستادگی آن‌ها در برابر نیروی افقی ناشی از زمین‌لرزه

در مجموعه‌های بزرگ‌تر و پیچیده‌تری که بعدها در تخت‌جمشید و شوش ساخته شدند، این الگوی پی‌سازی به‌صورت صفه‌هایی یکپارچه در خارج از سطح زمین خودنمایی می‌کند. در توضیح چرایی ساخته‌شدن مجموعه تخت‌جمشید بر روی صفه، دیدگاه‌های امنیتی یا تأثیر بصری حاصل از قرار گرفتن بنا بر روی یک سطح بلند، از سوی محققان مختلف مورد تأکید قرار داشته است. با این حال، باستان‌شناس آلمانی، ولفرام کلایس، دیدگاه کاربردی از این فرم معماری را بیان می‌دارد. به عقیدهٔ وی شکل برپایی بنا در کوهستان و در سرزمین‌های با سرمای سخت (همچون قلمرو اورارتوها که معماری‌شان منشأ این الگوی خاص دانسته شده) ساخت بنا بر روی صفه را الزامی می‌ساخته است (کلایس ۱۳۶۷، ۸۶). بررسی چگونگی اجرای این سکوها نشانگر آن است که سازندگان اورارتو دقت فراوانی را برای ساخت آنان مبذول می‌داشتند و حتی به‌جهت ایجاد یکپارچگی بهتر میان عناصر تشکیل‌دهندهٔ صفه، درز میان قطعات سنگی بزرگ و حجاری‌نشده با استفاده از سنگ‌های ریز و درشت و لاشه‌سنگ پر می‌شد تا از این طریق زیرسازی استحکام بیشتری پیدا نماید (همان، ۸۸). مشابه این روش در ساخت سکوهای عظیم هخامنشی هم به کار گرفته شده است (Tilia 1978, 23).

کتیبه‌های برجای‌مانده در شوش و تخت‌جمشید، توضیحات منحصربه‌فردی از چگونگی ساخت سکوهایی که این مجموعه‌ها بر روی آن‌ها واقع شده‌اند ارائه می‌دهند. در شوش که زمین درنظرگرفته‌شده برای ساخت‌وساز از سنگ پوشیده نشده بود، کتیبهٔ برجای‌مانده از دوران داریوش اول به‌خوبی نحوهٔ کندن سطح زمین برای رسیدن به لایه‌سنگ دژ را توضیح داده است.[۳۲] کاوش‌های معاصر نشان داد که سیستم منسجم و پیچیده‌ای برای پی‌سازی بناها بر روی این بستر سخت به کار گرفته شده بود. برای مثال، اکثر دیوارهای کاخ‌های شوش بر روی پی‌های مستقل و ضخیمی از جنس آجر که با سنگریزه از محیط اطرافشان جدا گشته، قرار گرفته‌اند. برای جلوگیری از نفوذ رطوبت به پای دیوارها، این پی آجری در بخش بالایی آن با سنگ‌ریزه پوشیده و با قیر عایق می‌شد تا در نهایت روی چنین بستری دیوار کاخ ساخته شود (Ladiray 2013, 142). چنین جزئیاتی سبب توزیع وزن قابل توجه کاخ‌ها و جلوگیری از نشست‌های ناموزون زمین می‌شده است. بنا بر گواهی کتیبهٔ سنگی که در ضلع جنوبی تخت‌جمشید قرار گرفته، ساخت صفه در جایی آغاز گردید که پیش‌تر از آن، هیچ مجموعه‌ای در آن ساخته نشده بود (Tilia 1978, 3). در حقیقت، این صفه بر روی دامنهٔ کوهی که در مجاورت مجموعه قرار دارد، ساخته شده است. فرایند ساخت با ترازکردن سطح زمین آغاز، سپس تراس‌بندی صورت گرفته و در نهایت فشرده‌کردن خاک، مراحل ساخت را پایان بخشیده است (Shapur-

Shahbazi 2012). با اینکه حداکثر ارتفاع نمایانِ این سکو در بخش غربی به حدود ۱۴ متر می‌رسد، حفاری‌ها نشان دادند که زیرسازی نمای صفه تا حدود ۳ متر پایین‌تر نیز ادامه یافته و در حقیقت، سازندگان حتی برای این صفهٔ عظیم نیز یک پی مستقل در نظر گرفته‌اند (Tilia 1978, 3-28). جالب آنکه نه‌تنها بخش‌های سازندهٔ جدارهٔ بیرونی صفه نشانگر نظمی دقیق در چیدمان مصالح سنگی است، بلکه در طی حفاری‌هایی که در زمان مرمت‌های دههٔ هفتاد میلادی صورت گرفت، تداوم چیدمان منظم مصالح سازندهٔ سکو در بخش‌های میانی آن نیز مشخص گردید (همان، ۲۳). علاوه بر این، با توجه به ساخته‌شدن تخت‌جمشید بر روی صفه‌ای یکپارچه، در صورت بروز حرکات افقی در لایه‌های زمین، امکان لرزیدن مجموعهٔ صفه و بناهای روی آن با یکدیگر فراهم بوده است. چنین چیدمانی مشابهت با اصول اولیهٔ ساخت بناهای مدرن ضد زلزله دارد. کاربرد چنین جزئیاتی تنها محدود به شوش و تخت‌جمشید نبود و در ساخت تل‌تخت در پاسارگاد نیز نکات ظریفی دیده می‌شود (Nylander 1970, 75-81)؛ چراکه به‌کمک چیدمان منظم سنگ‌های لاشه و مهار آن‌ها با دیوارهای حائل قدم بزرگی برای جلوگیری از نشست‌های پی تحت اثر نیروهای فشاری قائم برداشته شده بود.[۳۳]

به‌دلیل اینکه صفهٔ تخت‌جمشید در طی مدت زمان طولانی از حکومت هخامنشیان تحت عملیات ساختمانی بوده (Kleiss 1971, 70) می‌توان در آن، شاهد تحول در روش‌های ساختمان‌سازی امپراتوری در گذر زمان بود. نمای این صفه که برای ایجاد پایداری بیشتر به سمت داخل متمایل گشته، با استفاده از قطعات سنگی عظیمی شکل گرفته که در بخش‌های مختلفِ سکو، الگوی تراش و اتصالاتشان با یکدیگر تفاوت دارد. درحالی‌که بخش‌های واقع در اضلاع جنوبی و آن دسته از دیواره‌هایی که در ابتدای عملیات ساختمان‌سازی اجرا شده‌اند الگوهای منظم‌تر و چهارتراش را نشان می‌دهند، بخش‌هایی که از الحاقات بعدی به صفه به‌شمار می‌روند، یا آنکه در مراحل نهایی از عملیات ساختمانی ساخته شده‌اند (همچون دیواره‌های مجاور با پلکان غربی)، از قطعاتی که به‌صورت نامنظم تراش خورده، تشکیل شده است.[۳۴] مقایسهٔ این فن از تراش سنگ با الگوی منظمی که اول بار در تل‌تخت[۳۵] به کار گرفته شد (تصویر ۷) حکایت از درکِ بهتر رفتار سازه توسط سازندگان دارد. در حقیقت، در دوران متأخر از الگوهایی استفاده شده که به‌دلیل سطوح تماس بیشتر و نامنظم‌تر سنگ‌ها، پایداری بیشتر دیواره در برابر نیروهای



تخت جمشید　　تل تخت

تصویر ۷: الگوهای مختلف تراش سنگ در صفه‌های هخامنشی (Ghirshman 1964; Stronach 1978)

افقی ناشی از زلزله را سبب می‌شود. این الگوی اتصالات نیازمند اجرا در محل و نیز برش دقیق سنگ در تناسب با قطعات مجاور بود که متعاقباً هزینهٔ بیشتر اجرا و زمان طولانی‌تر ساخت را در پی داشت. با این حال، عملکرد سازه‌ای بهتر این فن چیدمان می‌تواند یکی از دلایل کاربرد آن توسط هخامنشیان (و بسیاری از دیگر تمدن‌های باستانی) بوده باشد. به‌علاوه، چنین الگوی نامنظمی امکان استفادهٔ بهینه از هر آنچه از معادن سنگ استخراج می‌شد را نیز فراهم می‌آورد؛ چراکه رگه‌های مختلف معدن، سنگ‌هایی با کیفیت متفاوت ارائه می‌دهند و در صورت کاربرد یک الگوی مشخص و منظم، میزان زیادی از مصالح اتلاف می‌شد (Tilia 1978, 11). مضافاً اینکه با استفاده از این الگو در مصرف بست‌های ارزشمندِ آهنی صرفه‌جویی می‌شد (همان، ۲۱). جالب آنکه علی‌رغم استفاده از الگوی مشابه در نمای دیوارهای حائل در مصر باستان (Wright 2009, 83-84) و صفهٔ تخت‌جمشید، آن‌ها از نظر جزئیات داخلی بسیار متفاوت‌اند. ضعف در پی‌سازی و بروزِ نشست، یکی از دلایل اصلی فروپاشی برخی آثار مصر باستان همچون هرم مدیوم و معبد لوکسور بود. این موضوع اصولاً به‌دلیل ساخت پی با استفاده از مصالح به‌دست‌آمده از تخریب بناهای قدیمی‌تر و فشرده نساختن این صفه‌های مصنوعی ایجاد می‌گشت.[۳۶] همان طور که در بالا دیدیم، در معماری هخامنشی با توجه ویژه‌ای که به ساخت پی مبذول می‌شد این ضعف به‌نحو مؤثری حل شده بود.

سیر تحول کاخ‌های هخامنشی نمایانگر گذر از پلان‌های نامتقارن و مستطیل‌شکل به پلان‌های متقارن و مربع‌شکل است[۳۷] (جدول ۱)؛ به‌نحوی که نهایتاً معماری هخامنشی مبتنی بر تکرار یاخته‌های مربع‌شکل می‌شود (دانجلیس ۱۳۶۶، ۱۷). درحالی‌که کاخ‌های پاسارگاد و برازجان و نیز سازه‌های اولیه بر روی صفهٔ تخت‌جمشید (همچون طرح اولیهٔ کاخ آپادانا و صدستون)[۳۸] از پلان مستطیل‌شکل برخوردارند، در کاخ‌هایی که بعدها ساخته می‌شوند، هندسهٔ مربع غلبه می‌کند. ایران‌شناس برجسته، آرتور پوپ، رفتن به‌سوی پلان‌های منظم‌تر را در جهت افزایش وقار بنا می‌داند که یکی از ملزومات فضاهایی است که در آن‌ها جشن‌های رسمی برگزار می‌گردید (Pope 1965, 40). با این حال علاوه بر ویژگی‌های زیبایی‌شناسانه معماریِ حاصل از پلان مربع که تا به امروز نیز در معماری ایرانی تداوم یافته، از دیدگاه چگونگی جریان یافتن نیروها در اشکال مربع و مستطیل تفاوت‌های چشمگیری وجود دارد؛ چراکه سازه‌های متقارن (از جمله بناهای مربع‌شکل) پایداری بهتری در برابر زلزله و به‌ویژه پیچش حاصل از آن از خود نشان می‌دهند. نحوهٔ جایگزاری ستون‌ها در پلان و فاصلهٔ میان آن‌ها نیز در طول دوران هخامنشی تغییر می‌کند: درحالی‌که در بناهای اولیه در پاسارگاد، فاصلهٔ میان ستون‌ها در هر ردیف، نیز بین ردیف‌های متوالی متفاوت است (Stronach 1978, 46 & 56)، در اکثر کاخ‌هایی که روی صفهٔ تخت‌جمشید ساخته شدند، سازندگان به‌استفاده از دهانه‌های برابر روی آوردند. همچنین الگوی جانمایی ستون‌ها به‌صورت ترکیبی از تعداد دهانه‌های نابرابر در جهات طولی و عرضی پلان که در کاخ‌های اولیهٔ تخت‌جمشید همچون کاخ داریوش دیده می‌شود، در بناهایی که پس از آن ساخته شدند تغییر کرد و تعداد دهانه‌ها در همهٔ جهات با یکدیگر برابر می‌شوند. در گذر زمان، مقطع کاخ‌های هخامنشی نیز تغییرات عمده‌ای می‌کند: درحالی‌که در کاخ‌های پاسارگاد ارتفاع ایوان و تالار مرکزی به‌طرز قابل توجهی با یکدیگر تفاوت داشت، چنین اختلاف ارتفاعی در کاخ‌هایی که روی صفهٔ تخت‌جمشید ساخته شدند دیده نمی‌شود. جزئیات ستون‌ها نیز توجه سازندگان به اصول مکانیک نیروها را نمایش می‌دهد. کاخ‌های پاسارگاد علی‌رغم برخورداری از دهانه‌هایی وسیع (۵٫۶ و ۸ متر در کاخ شرقی، نیز ۶٫۴۵ و ۷٫۹ متر در کاخ بار عام کوروش) و نیز ارتفاعی قابل توجه (کاخ شرقی ۱۶ متر و کاخ اختصاصی کوروش طبق محاسبات کرفتر ۱۶ متر) ستون‌های بسیار لاغری داشتند (نسبت ارتفاع به قطر ستون ۱۴) که احتمال واژگونی در اثر پدیدهٔ کمانش را بالا می‌برده است. این نقیصه در کاخ‌های ساخته‌شده در تخت‌جمشید (ضریب لاغری ستون به‌طور متوسط بین ۱۰ تا ۱۲) تعدیل می‌شود.

جدول ۱: مقایسهٔ پلان کاخ‌های هخامنشی
(کریمیان، سرفراز، و ابراهیمی ۱۳۸۹؛ Schmidt 1953; Henkelman 2012; Stronach 1978)

نام بنا	تاریخ ساخت (ق‌م)	ابعاد (متر)	نام بنا	تاریخ ساخت (ق‌م)	ابعاد (متر)
کاخ شرقی در پاسارگاد	۵۳۰ـ۵۵۹ یا حتی قدیمی‌تر	۲۶,۴۰×۲۲,۲۰	کاخ تچر در تخت‌جمشید	۴۸۰ـ۵۰۰	۱۵,۱۵×۱۵,۴۱
کاخ بار عام کوروش در پاسارگاد	۵۳۰ـ۵۵۹	۳۲,۳۵×۲۲,۱۴	کاخ آپادانا در تخت‌جمشید	۴۶۵ـ۵۲۰	۶۰×۶۰
کاخ اختصاصی کوروش در پاسارگاد	۵۳۰ـ۵۵۹	۳۱,۱۰×۲۲,۱۰	کاخ صدستون در تخت‌جمشید	۴۲۵ـ۴۸۶	۶۸,۵×۶۸,۵
کاخ سنگ سیاه در برازجان	۵۳۰ـ۵۵۹	۲۴,۴×۲۰,۵	کاخ مرکزی یا سه‌دروازه	۴۲۴ـ۴۶۵	۱۵,۴۶×۱۵,۴۶
کاخ بردک سیاه در برازجان	۵۳۰ـ۵۵۹ یا ۵۲۲ـ۴۸۶	۱۸,۵۰×۱۷	کاخ آپادانا در شوش[۳۹]	۳۵۹ـ۴۰۴	۵۸×۵۸

۲.۳. روند تکاملی فناوری ساخت

ساختمان‌ها نمایانگر تلاش هنرمندان و سازندگان برای به‌تصویرکشیدن تصورات ذهنی خویشتن، باورهای فرهنگی جامعه، خواسته‌های غالب اجتماعی و دستاوردهای مادیِ دنیایی است که در اختیار قرار دارد. سیر تحول ابنیه نشانگر برهم‌کنش این مجموعه عوامل بوده و ازاین‌رو آیینه‌ای تمام‌نما از ویژگی‌های فرهنگِ ساختمانی در هر عصر است. سیر تحول فرم‌های معماری و جزئیات سازه در دوران هخامنشی می‌تواند ویژگی‌های فرهنگ ساختمانی این حکومت را آشکار سازد. معماری امپراتوری هخامنشی را به دو مرحلهٔ اصلی تقسیم کرده‌اند: معماری مرحلهٔ اول که از زمان نخستین پادشاهان این امپراتوری تا روی کارآمدن داریوش اول را در بر می‌گیرد و بیشتر وام‌دار معماری بومی ایران و تمدن‌های جریان‌یافته در بستر آن است. معماری مرحلهٔ دوم با گسترش قلمرو هخامنشی در عصر داریوش آغاز، و به پیوند میان فنون تمدن‌های مختلف منجر شد (هژبری، مهاجر وطن، و افهمی ۱۳۹۴، ۲۷۹ـ۲۸۲). انتظار می‌رود جزئیات اجرایی و سازه نیز در طی این دو مرحله دچار تحول شده باشند.

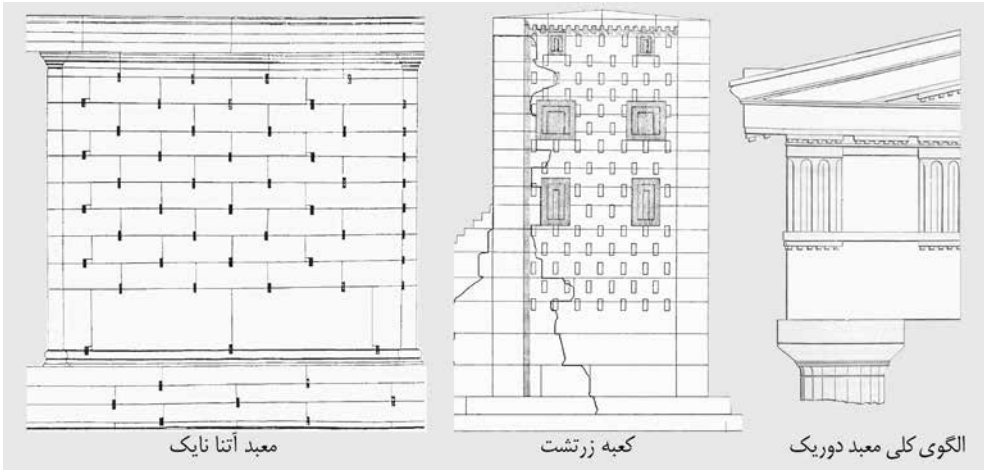
تصویر ۸: کعبه زرتشت و زندان سلیمان. الگوی چیدمان و اتصالات سنگ‌ها، نیز شکل پلان

تنها بناهای تمام‌سنگی هخامنشی که در ظاهر یکسان می‌نمایند، چگونگی تحول در معماری این امپراتوری را به‌صورت مؤثری به تصویر کشیده‌اند. به اعتقاد استروناخ، استفاده از الگوهای مکعب‌شکل در معماری هخامنشی،

ریشه‌ای اورارتویی دارد (Stronach 1967). علی‌رغم تأثیر قابل توجه اورارتوها بر معماری هخامنشی، فرم مربع خالص تنها در دو نمونه از آثار این امپراتوری دیده می‌شود. بنای موسوم به زندان سلیمان (۵۲۰ـ۵۴۰ق.م) اولین نمونه از این الگوی ساختمانی در معماری هخامنشی است. همان طور که اشاره شد، چیدمان مصالح سنگی در آن عصر بدون استفاده از ملاط و به‌صورت خشکه‌چین صورت می‌گرفت و در عوض، مجموعه‌ای کارآمد از بست‌های آهنی سبب حفظ مصالح درکنار یکدیگر می‌شد. در ساخت بنای زندان به‌دلیل استفادهٔ محدود از بست‌های آهنی[۴۰] (Stronach 1978, 115) و احتمالاً در اثر لرزش زمین، وزن قابل توجه تیرهای سنگیِ پوشش‌دهندهٔ بنا سبب رانش دیوارهای جانبی و نهایتاً از هم پاشیدن سازه شده است. این در حالی است که در ساخت کعبهٔ زرتشت که کمی بعدتر (احتمالاً ۵۲۰ـ۵۰۰ق.م) ساخته شد،[۴۱] متأثر از تجربیات قبلی، سازنده به استفادهٔ فراوان از بست‌های آهنی روی آورد. در حقیقت علی‌رغم ظاهر یکسان، در جزئیات اجرایی این دو بنا تفاوت چشمگیری با یکدیگر دارند. در زندان سنگ‌های سازندهٔ دیواره‌های بنا به‌صورت کاملاً منظم برش خورده‌اند، اما در کعبهٔ زرتشت استفاده از سنگ‌های منظم تنها به چهارگوشهٔ بنا محدود و سازندهٔ نوعی قاب پیرامونی شده که سنگ‌های نامنظم میانی را در بر می‌گیرد. الگوی نامنظم چیدمان مصالح در عمل به‌دلیل درگیری بهتر و مؤثرتر میان سنگ‌ها، سبب ایجاد اتصالات پایدارتر در برابر نیروهای افقی ناشی از زمین‌لرزه می‌شود (تصویر ۸). سقف کعبه نیز در قیاس با زندان، نوآوری‌هاییِ را نشان می‌دهد: برخلاف سقف سنگین و دولایهٔ زندان (لایهٔ مسطح اولیه به ضخامت ۸۴ سانتی‌متر و لایهٔ دوم تقریباً به همین ضخامت ولی به‌صورت محدب) سقف کعبه تنها از یک لایه به ضخامت تقریبی ۱ متر ساخته شده است (همان، ۱۳۱ـ۱۳۲).کاهش وزن سقف (بار مردهٔ ساختمان) قطعاً تأثیر بسزایی در ایستادگی دیواره‌های جانبی در برابر نیروی رانشی حاصل از لرزش‌های زمین داشته است. از جمله تغییرات صورت‌گرفته در داخل بنا نیز می‌توان به استفاده از دیوارهای با ضخامت برابر در چهار طرف بنای کعبه اشاره کرد که نشان از توجه معمار به ایجاد تقارن در پلان (با توجه به تأثیر مهم آن در رفتار سازه در برابر زلزله) دارد. شاید مجموع این عوامل درکنار یکدیگر سبب شده تا در قیاس با زندان، بنای کعبه در وضعیت بهتری تا به امروز حفظ شده باشد.

تغییرات حادثه در جزئیات این دو بنا نشانگر عبور از دیدگاه‌های صرفاً زیبایی‌شناختی به نفع بهبود در عملکرد باربری بناست. در معابد سنگی یونانی، بست‌های آهنی اتصال‌دهندهٔ اجزای سنگی به‌صورت توأمان در ترکیبی عمودی و افقی به کار می‌رفت. این بست‌ها که نهایتاً با لایه‌ای از سرب پوشش داده می‌شدند، بخش‌های مختلف سازه را به یکدیگر پیوند می‌داد (Wright 2005, 262-263). در هر دو بنای مکعب‌شکل موجود در فارس، معمار با تقلید صرف از این سیستم اجرایی و علی‌رغم عدم استفاده از بست‌های آهنی خارجی، حفره‌هایی را در سنگ به‌صورت تزیینی تعبیه کرده است. به‌تعبیری، این حفره‌ها همان نقش تزیینی‌ای را بر عهده دارند که تریگلیف‌ها (triglyphs) و دندان‌موشی‌ها[۴۲] (denticulations) در معابد یونانی (Zannos 1987, 25) بر عهده داشتند (تصویر ۹). ارتفاع مصالح سنگی تشکیل‌دهندهٔ دیوارهای زندان سلیمان متعاقب از افزایش فاصله از سطح زمین کاهش می‌یابد. این الگوی ترکیب مصالح مشابهت با فنونی دارد که در یونان باستان برای ارتقای غنای بصری و زیبایی اثر معماری با استفاده از دانش اپتیک کاربرد داشت[۴۳] (Nylander 1970, 98-100) و ازاین‌رو صرفاً نقشی تزیینی دارند. در اجرای کعبهٔ زرتشت، این ناهمگونی در ارتفاع مصالح حذف شده و بست‌های نهان آهنی به کار گرفته می‌شوند. در حقیقت در بنای متأخر، سازنده تمام تلاش خویش را برای دستیابی به تقارن در فرم و جزئیات معماری، نیز کمال مهارت در به‌کارگیری اجزای سازه‌ای نمایش داده است.

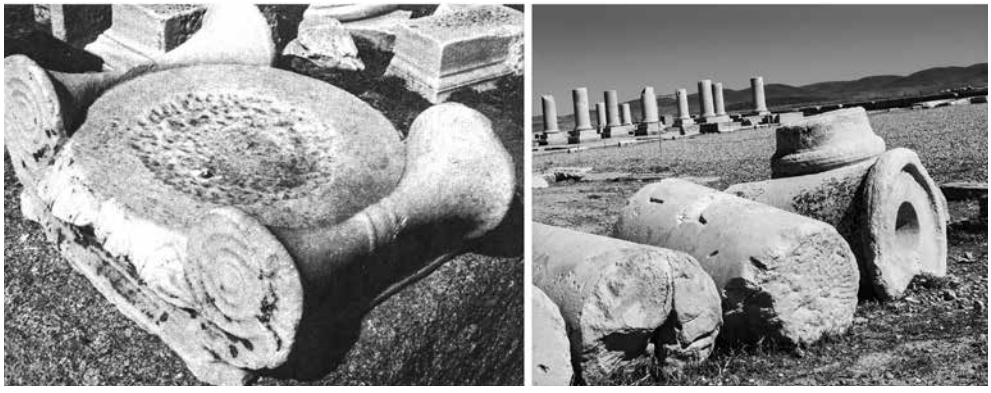
در هنر یونان باستان، توجه وافری به حذف خطای باصره می‌شد و برای جلوگیری از سردرگمیِ بیننده، سعی بر آن داشتند تا بخش‌های متفاوت از یک عنصر باربر، به‌راحتی از یکدیگر قابل تمایز باشند[۴۴] (Perrot and Chipiez 1892, 90). این دیدگاه هنریِ انتزاعی در عمل، اشکال گوناگونی به خود می‌گرفت. برای مثال در اجرای بخش‌های تشکیل‌دهندهٔ یک ستون، بخش مرکزی عناصر سنگی از میان تراشیده شده و در ارتفاع پایین‌تری در قیاس با جدارهٔ بیرونی قرار می‌گرفت. عدم استفاده از مقطع مؤثر ستون در این حالت، سبب بروز ضعف‌های سازه‌ای می‌شد و نهایتاً در



تصویر ۹: مشابهت ظاهری میان فرم‌ها و جزئیات به‌کارگرفته‌شده در معماری یونان و معماری هخامنشی در مرحلهٔ آغازین از توسعهٔ آن (Wright 2005; Stronach 1978)

بناهایی که بعدها ساخته شدند، سازندگان این روش تراش‌سنگ را کنار گذاشتند (Zannos 1987, 23). همان طور که در تصویر ۱۰ دیده می‌شود، آثار برجای‌مانده در پاسارگاد، استفاده از روشی مشابه در تراش ستون را نمایش می‌دهند. در بناهایی که بعدها در تخت‌جمشید اجرا شدند، این الگوی اجرا حذف گردید. استفاده از مصالح سنگی با رنگ‌های متفاوت (تصویر ۱۱) که در ساخت پایه‌ستون‌های بناهای دوران اول هخامنشی همچون کاخ بارِ عام و اختصاصی کوروش در پاسارگاد، نیز مجموعه کاخ‌های برازجان دیده می‌شود (کریمیان، سرفراز، و ابراهیمی ۱۳۸۹)، می‌تواند ناشی از غلبهٔ دیدگاه‌هایِ یونانیِ معتقد به چندرنگی (bichromatism) برای تشخیص و تمایز راحت‌تر عناصر باربر از یکدیگر باشد (Stronach 1978, 73). در بناهایی که هخامنشیان در پرسپولیس و شوش ساختند چنین تأثیر و تأثر فرهنگی که منفعت فیزیکی در پی نداشت، کنار گذاشته می‌شود (تصویر ۱۱). جالب‌آنکه همان طور که پیش‌تر اشاره شد، چندرنگی‌ای که در تخت‌جمشید دیده می‌شود، به‌جهت استفادهٔ هوشمندانه از سنگ‌های گوناگون با ویژگی‌های مختلف فیزیکی و برحسب نیازهای کاربردی بوده است.[۴۵]

برخلاف معماری یونان باستان که توجه ویژه‌ای به کاربرد تزیینات در معماری (صرفاً برای افزایش غنای بصری) مبذول می‌داشت و حتی در مواردی تزیینات به‌کارگرفته‌شده سبب بروز ضعف‌های سازه‌ای می‌شدند (Carpenter 1962, 228)[۴۶] در فرهنگِ ساختمانی هخامنشی (به‌ویژه پس از اولین تجربیات ساختمان‌سازیِ بزرگ‌مقیاس در پاسارگاد) استفاده از عناصر تزیینی معماری عموماً در راستای بهبود عملکرد بنا (بهره‌وری سازه یا راحتی فرایند اجرا) معنا می‌یافته است.[۴۷] به‌تعبیر آندره گدار، معمار هخامنشی دریافته بود که ارزش یک کار هنری تزیینی در آن است که تنها نقش تزیینی ایفا نکند، ازاین‌رو او روش‌های ساده را برمی‌گزید و در انتخاب این روش‌ها انعطاف‌پذیری به‌خرج می‌داد (Godar 1965, 118). جالب آنکه حتی آن دسته از جزئیات اجرایی که در نگاه اول، تنها می‌توانند کاربردی تزیینی داشته باشند نیز در اصل، نتیجه‌ای از روش‌های اجرایی بوده‌اند. برای مثال، الگوی تراش سنگ در صفهٔ تل‌تخت (حاشیه‌های صاف و صیقل‌خورده که اندکی از قسمت تراش‌نخوردهٔ میانی داخل‌تر ایستاده‌اند، تصویر ۷ چپ) که در تمدن‌های میان‌رودان هم رواج داشت، در اصل روشی بود که بدان طریق فرایند روی هم قرار دادن سنگ‌ها و نیز اتصالات میان آن‌ها آسان شده و به‌ویژه برای ایجاد اطمینان از مستقیم‌ماندن اجرای خطوط افقی کاربرد داشت (Reisner, Fisher, and Lyon 1924, 103-109). به طریق مشابه، استفاده از آجرهای لعاب‌دار با ارتفاع بیشتر در نمونه‌های متأخری که در عصر اردشیر دوم به کار می‌رفتند، سبب می‌شد تا با کاهش تعداد درزهای افقی، سرعت اجرا افزایش یابد (Azarpay 1987, 195-196).



تصویر ۱۰: مشابهت میان الگوی تراش سنگ در دِلوس یونان (چپ) و پاسارگاد (راست). (تصویر راست برگرفته از: Zannos 1987)

فرم ستون‌های هخامنشی که با افزایش ارتفاعشان از سطح زمین باریک می‌شوند، نیز تفاوت فراوانی با فرم ستون‌های یونانی دارد که در بخش مرکزی از بلندای آن‌ها، سازنده با استفاده از فن خاصی از تراش سنگ موسوم به اِنتسیس[۴۸] به افزایش سطح مقطع ستون مبادرت می‌ورزید. فرم ستون‌های هخامنشی بر مبنای منطق انتقال بار استوار گردیده؛ چراکه بخش‌های پایینی که تنش‌های فشاری بیشتری دریافت می‌کنند، از سطح مقطع بیشتری برخوردارند. با این حال، آن‌چنان‌که از منابع کهن معماری همچون کتاب‌های هیرو الکساندریا (Hero of Alexandria) و ویترویوس برمی‌آید، روش یونانیان براساس اصلاح خطای باصره و مسائل مربوط به هندسه و زیبایی‌شناسی شکل گرفته بود.[۴۹] در فرهنگ ساختمان‌سازی یونان باستان، چگونگی رابطهٔ کمّی میان عناصر باربر بنا و بخش‌های مختلف ساختمان، برآمده از تناسباتی ازپیش‌تعیین‌شده بود که توسط اصول نهان در سبک‌های مختلف معماری مقرر می‌گشت (Gelernter 1995, 57).[۵۰] در نقطهٔ مقابل در معماری هخامنشی، چنین وابستگی‌های انتزاعی وجود نداشت[۵۱] و به نظر می‌رسد نوعی انعطاف‌پذیری در روابطِ میان بخش‌های بنا دیده می‌شود. این موضوع تا بدان جا پیش رفته که یافت‌نشدن استانداردی مشخص برای تناسبات میان عناصر سازه‌ای و معماری را نقصانی بر معماری هخامنشی دانسته‌اند (Nylander 1970, 56; Pope 1977, 334).[۵۲] با این حال همان طور که در ادامه نشان می‌دهیم، ابعاد عناصر سازه‌ای و روابط میان بخش‌های مختلف بنا در معماری هخامنشی صرفاً برآمده از قراردادهای ثابتِ انسانی نبود، بلکه درجست‌وجوی پاسخ به نیازهای کاربردی بنا و نیز انتقال ایمن نیروها برمی‌آمد. ازاین‌رو همان طور که درستی شکل یک عنصر سازه‌ای بر اساس انتقال روان و سادهٔ نیروها به آن عنصر تناسباتی می‌بخشد که همانند تناسبات موجود در طبیعت زیبا و مطلوب است، آثار معماری هخامنشی نیز به همین دلیل زیبا به نظر می‌رسند.

تصویر ۱۱: انواع پایه‌ستون‌های هخامنشی

فردریش کرفتر، معمار آلمانی که نقش مؤثری در اولین دورِ کاوش‌ها در تخت‌جمشید داشت، برای به‌دست‌آوردن ابعاد عناصر از میان‌رفته در طرح‌های بازسازی که برای این مجموعه ارائه می‌دهد، به استفاده از تناسبات ساده میان ارتفاع اجزای موجود در کاخ‌های مختلف روی آورد (Krefter 1971). شاید برآمده از دانش وی در خصوص معماری یونانی و غلبهٔ چنین روابطی در این سبک از معماری بوده که وی این روش را برای بناهای هخامنشی نیز به کار می‌گیرد.[۵۳] با این حال، چنان‌که خود وی نیز در موارد متعدد متذکر شده، استفاده از روشی خطی و مبتنی بر کوچک و بزرگ‌کردن همهٔ اجزای بنا بر اساس یک مقیاس ثابت، در همه‌جا به نتایج منطقی منجر نمی‌شود. برای مثال، استفاده از این روش ستون‌هایی خپل و کوتاه را برای بنای موسوم به سه‌دروازه (Tripylon) پیشنهاد می‌دهد که با فرم غالب و روحیهٔ بلندپروازانهٔ معماری هخامنشی در تضاد است،[۵۴] در صدستون ارتفاع ستون‌های پیشنهادی کوتاه‌تر از سردرهای سنگی باقی‌مانده در محل است (همان، ۳۶ـ۳۹) و به ترتیبی مشابه، استفاده از این روش در دروازهٔ ناتمام نیز با مقایسه با آثار باستانی برجای مانده در محل به شکست منجر می‌شود.[۵۵]

همان‌طور که تناسبات ستون‌های هخامنشی یونانی نیست (Nylander 1970, 121)، در ایجاد روابط میان بخش‌های مختلف بنا نیز این مکتبِ معماری از اصول خویش پیروی می‌کرده است. به نظر می‌رسد که استفاده از یک مقیاس ثابت برای تعیین ابعاد عناصر مختلف یک بنا (همانند نقشی که عرض پایه‌ستون یا تریگلیف در تناسبات سبک دوریک بازی می‌کرد)[۵۶] در معماری هخامنشی معنا نداشت و روابط میان عناصر مختلف بنا به‌صورت انعطاف‌پذیرتری تعیین می‌گشت. درحالی‌که ارتفاع بنا و جزئیات سایر عناصر معماری بر اساس کاربری‌های خاصی که داشتند (مثلاً در جان‌پناه برای جلوگیری از سقوط از بام و در عین حال امکان دید نگهبان از بالای بنا)[۵۷] و صد البته عامل زیبایی تعیین می‌شد، ابعاد و فرم عناصر باربر ساختمانی برآمده از فواصل دهانه‌ها و نیازهای باربری مشخص می‌گردید. مقایسهٔ روابط میان دهانه‌ها، ابعاد ستون‌ها و سرستون‌ها (که بخش میانی آن دربرگیرندهٔ تیرریزی سقف بود) در چهار بنایی که تا حد خوبی، عناصر اصلی اولیه خود را حفظ کرده‌اند (جدول ۲)، به‌خوبی نشانگر صحت این فرضیه است. داده‌های جدول زیر آزادی طراح و سازنده در استفاده از اندازه‌های مختلف را نمایش می‌دهد. جالب آنکه نه‌تنها روابط میان عناصر معماری منطبق با دیدگاه‌های سازندگان هخامنشی تعیین می‌شد، بلکه حتی مقیاس‌های به‌کارگرفته‌شده در هنر برآمده از این تمدن نیز متعلق به خودشان بود و در ساخت آثار هنری بر این موضوع تأکید می‌شده است.[۵۸] برای مثال با آنکه مجسمهٔ داریوش که در کاخ شوش قرار داشت در مصر و توسط استادکاران مصری ساخته شد، مبنای کارِ سنگ‌تراشان، سیستم اندازه‌گیری رایج در قلمرو هخامنشیان بوده است (Azarpay 1987, 190).

جدول ۲: مقایسهٔ ابعاد عناصر باربر بنا در چهار بنای هخامنشی در پرسپولیس
بر اساس (Schmidt 1953; Krefter 1971; Herzfeld 1932-1934) و برداشت‌های موردی که برای این مقاله توسط بنیاد پژوهشی پارسه پاسارگاد صورت گرفته است.

نام بنا*	فواصل میان مرکز ستون‌ها	قطر پایین‌ترین بخش ستون**	ارتفاع کل ستون در تالار مرکزی	ارتفاع سرستون حیوانی	بخش مختلط***	ارتفاع قلمه ستون	ارتفاع پایه ستون
سه‌دروازه	۵٫۲۳	۱٫۰۵	۵٫۷۹+؟	۱٫۷۰	۳٫۰۸	؟	۱٫۰۱
دروازهٔ ملل	۸٫۲۰	۱٫۳۰	۱۶٫۶۴	۱٫۷۸	۴٫۹۷	۸٫۵۵	۱٫۳۴
آپادانا	۸٫۶۷	۱٫۵۸	۱۹٫۲۰	۲٫۱۰	۵٫۸۷	۹٫۵۹	۱٫۶۴
دروازهٔ ناتمام	۸٫۸۵	۱٫۶۳	۱۹٫۶۲	۲٫۱۲	۲٫۲۴	۱۳٫۷۲	۱٫۵۴

* اندازه‌گیری‌ها مربوط به تالار مرکزی است ** روی پایین‌ترین شال ستون *** به‌جز سرستونِ جانورشکل

نتیجه

این مقاله در جست‌وجوی پر نمودن خلأ اطلاعاتی در خصوص فناوری‌های به‌کارگرفته‌شده توسط هخامنشیان برای ساخت وسیع‌ترین کاخ‌های دنیای باستان است: بناهایی که فاصلهٔ میان ستون‌های بسیار بلند و در عین حال ظریفشان، در هیچ‌یک از دیگر تمدن‌های کهن دیده نمی‌شود. با درنظرگرفتن فنون و مصالح محدودی که در دنیای باستان در اختیار بودند، همچنین توجه به این نکته که بناهای عظیم هخامنشی در یک سرزمین لرزه‌خیز ساخته شده‌اند، به‌کاربستن روش‌هایی هوشمندانه الزامی بوده است. کاربرد مصالح به‌نحوی که به بیشترین میزان پاسخگوی نیازهای سازه‌ای و یا اجرایی ابنیه باشند، از اصول اولیه ساختمان‌سازی هخامنشیان بود. درحالی‌که در فرایند استخراج مصالح استفاده از برترین کیفیت‌ها در اولویت قرار داشت، در الگوی تراش یا چیدمان آن‌ها دستیابی به عملکرد سازه‌ای مناسب مدنظر قرار می‌گرفت. آن‌چنان‌که از شواهد باستانی برمی‌آید، ترکیب مصالح چوبی، آهنی، سنگی، و بنایی به‌نحوی صورت می‌گرفت که مصالح مختلف ضعف‌های ذاتی یکدیگر را پوشش داده و مجموعِ رفتار سازه‌ای بنا بهبود پیدا کند. در این خصوص، توسعهٔ نمونه‌های اولیه از اتصالات گیردار با استفاده از ترکیب تیرهای چوبی، سرستون‌های سنگی، و وزن سقف اوج هوشمندی معماران هخامنشی برای غلبه بر مشکلات ناشی از کار با مصالح و فنون ابتدایی اجرا در عهد باستان را نمایش می‌دهد. کاربرد بهینهٔ مصالح و توجه به مؤلفه‌های اقتصادی در اجرای کاخ‌ها در روش‌های پیشرویی که هخامنشیان برای تعیین ابعاد و اندازه عناصر معماری مطابق با نیازهای سازه‌ای بنا به کار گرفته بودند به چشم می‌آید. استفادهٔ مجدد از مصالح پیش‌تر استفاده‌شده و نیز اصلاح آن‌ها شاهد دیگری بر غلبهٔ چنین دیدگاه‌هایی در بین هخامنشیان است. چیدمان منظم و با جزئیات دقیق عناصر ساختمانی برای انتقال مؤثر بارها به لایه‌های سخت زمین و پیشگیری از ترَک در بنا یا نشست‌های ناهمگون پی، مقابله با شسته‌شدن پی و یا راه‌یابی رطوبت به اجزای آسیب‌پذیر ابنیه، مقابله با زلزله از طریق توسعهٔ نمونه‌های اولیه‌ای از سیستم‌های جداکننده لرزه‌ای و نیز ایجاد اتصالات مؤثر میان اجزای باربر برای افزایش صلبیت صفه‌هایی که کاخ‌ها روی آن‌ها ساخته می‌شدند، از جمله روش‌های به‌کاررفته در عصر هخامنشی برای مقابله با ناملایمات اقلیمی است. تلاش برای بهبود رفتار بنا در برابر نیروهای رانشی افقی در شکل و جزئیات کاخ‌ها هم دیده می‌شود. کاربرد تقارن در هندسهٔ کلی و نیز در جزئیات معماری و سازه‌ای به‌کارگرفته‌شده در کاخ‌ها از جمله ابزارهای دسترسی به این مهم بودند. تحول در دیواره‌های حائل، بست‌های آهنی و تکنیک‌های چیدمان سنگ تنها نمونه‌های محدودی بودند که با استناد بدان‌ها این مقاله به نمایش یک روند تکاملی در جزئیات اجرایی و فرم‌های ساختمانی در امپراتوری هخامنشی پرداخت.

تحقیق حاضر نشان می‌دهد که در فرهنگ ساختمان‌سازی امپراتوری هخامنشی، استفادهٔ هوشمندانه‌ای از فناوری‌های معماری و منطبق‌ساختن آنان با جغرافیای مکانی و زمانی فلات قارهٔ ایران صورت گرفته است. در طول زمان، تقلید صرف و بدون آگاهی از ریشه‌های هنر ملل تابعه، که در اوان عصر هخامنشی مرسوم بود، کنار گذاشته شد و بهینه‌سازی فرم‌ها و فنون دنبال می‌شود. روش‌های ساده اما کاربردی‌ای که معماران این امپراتوری برای مقابله با زلزله، افزایش راندمان مصالح، تسهیل فرایند اجرا، همچنین چگونگی ارتباط میان عناصر باربر و غیرباربرِ ساختمان (سازه و تزیین) به کار گرفته‌اند، حکایت از آگاهی تقریبی و توجه آنان به اصول انتقال نیروها، ویژگی‌هایِ مکانیکی مصالح، نیز استفاده از مؤثرترین روش‌های اجرا دارد. بی‌دلیل نیست که آثار ساختمانی امپراتوری هخامنشی را مرحلهٔ تکامل در معماری خاور نزدیک دانسته‌اند؛ چراکه در این عصر برای اولین بار در تاریخ مهندسی، استادکاران ملیت‌های مختلف فنونشان را به یکپارچگی رسانده و دستاوردهای مهندسی و هنری تمدن انسانی روزگار خویش را چندین گام به جلو هدایت کردند.

تقدیر و تشکر

نویسنده مراتب تشکر خود را از آقای علی‌اکبر صادقی و همکارانشان در بنیاد پژوهشی پارسه پاسارگاد که نسبت به برداشت میدانی برخی از عناصر کاخ‌های هخامنشی در تخت‌جمشید مبادرت ورزیدند، اعلام می‌دارد.

پی‌نوشت‌ها

۱. ارنست هرتزفلد اولین فردی است که چنین ادعایی را مطرح کرد (نک: Herzfeld 1935, 51-52).

۲. جمع کثیری از محققان برجسته از دیرباز تاکنون چنین نظری داشته‌اند. برای مثال نک:
Ghirshman 1978, 174-175; Herzfeld 1941, 247-250; Krefter 1971, 14; Godard 1965, 119; Wright 2000, 88

۳. برای یکی از جدیدترین تحقیقات در این حوزه که به زبان فارسی منتشر شده نک: الماسی ستوده و بلخاری قهی ۱۳۹۶.

۴. شاید یکی از دلایلی که باعث شد این سبک اول بار در بخش‌های غربی آسیای صغیر دیده شود (Fletcher 1975, 105) همین موضوع بوده باشد.

۵. همان گونه که جان کرتیس متذکر شده، این عقیده را که هنر دوریک یا آیونیک یونان متأثر از هنر و معماری هخامنشی بوده است، یا مثلاً اینکه پارتنون به تأثیر از آپادانا ساخته شده است، حتی شاید ایران‌شناسان متعصب نیز قبول نداشته باشند (نک: Curtis 2005). در خصوص رابطهٔ متقابل هنر و معماری ایران هخامنشی و یونان در ادوار هخامنشی و هلنیستی نک: Colledge 1987. دانجلیس پا را فراتر از این‌ها گذشته و باور دارد که حتی «یادمان‌های گوتیک مغرب‌زمین، لااقل آنچه که به جان‌مایه و الهامات معماری مربوط می‌شود» به معماری هخامنشی نزدیک است (دانجلیس ۱۳۶۶، ۱۷).

۶. به اعتقاد هیلاری گاپنیک، توسعهٔ تالارهای ستون‌دار از نمونه‌های ابتدایی آن در حسنلو تا نمونه‌های پیشرفته در تخت‌جمشید، روندی خطی و در عین حال پیچیده بوده که در گذر زمان با برخورداری از دستاوردهای فناوری، فرهنگی و حتی اجتماعی صورت گرفته است (Gopnik 2010, 196).

۷. دیمیتریش هوف سرمنشأ تالارهای ستون‌دار هخامنشی را در تمدن‌های ظهورکرده در فلات ایران در پیش از عصر هخامنشی جست‌وجو می‌کند (Huff 2005). برای تفاوت‌های فناورانهٔ این دسته از بناها نک: Tourovets 2014. شاید بهترین تعبیر برای بیان زیبایی فناورانهٔ کاخ‌های هخامنشی، ترکیب عبارات به‌کاررفته از سوی دو محقق برجستهٔ این آثار باستانی باشد که می‌گویند: «بازی آهنگینی میان ماده و فضا، میان ستون‌هایی سبک و سایه‌هایی عمیق» (Nylander 1970, 113) «که به‌یک‌باره سخنگوی دنیای جدید معماری سلطنتی هخامنشی می‌شوند» (Stronach 1978, 72).

۸. برای مثال نک: تالار مرکزی در معبد کارناک و آرامگاه رامسس دوم.

۹. سالن اصلی کاخ صدستون در حدود ۴۷۰۰ مترمربع وسعت دارد.

۱۰. این موضوع توسط نیلاندر هم مورد تأکید بوده است (Nylander 1970, 19)؛ اما خود او در تفاسیری که از بناهای هخامنشی ارائه می‌دهد، عملاً چنین دیدگاهی را به کار نمی‌گیرد. برای مثال، نیلاندر چیدمان منظم سنگ‌ها در زندانِ سلیمان را از نظر ارزش‌های ظاهری ارزشمندتر می‌داند (همان، ۱۳۹). اما در این مقاله نشان می‌دهیم که استفاده از فرم‌های غیرمنظمِ مصالح، عملاً در راستای افزایش بهره‌وری سازه بوده است.

۱۱. دی فرانکویچ اولین محققی بود که به مشکلات ناشی از برخی پیش‌داوری‌های ذهنی و طرف‌دارانهٔ باستان‌شناسان غربی اشاره می‌کند (نک: De Francovich 1966, 219).

۱۲. چنین دیدگاه‌هایی که باور به مرکزیت غرب دارند هلنوسنتریک (Hellenocentric) خوانده می‌شوند.

۱۳. در این کتاب، مارگارت روت نشان می‌دهد که چگونه هنر هخامنشی در عین بهره بردن از عناصر هنریِ تمدن‌های مصر و میان‌رودان، ویژگی‌های منحصربه‌فرد خود را بازیافته است.

۱۴. نتایج این سمینارها که بین سال‌های ۱۹۸۳ تا ۱۹۹۰ برگزار شدند، در مجلهٔ مستقل *Achaemenid History* منتشر گردید. مجموعاً چهارده شماره از این مجله تا سال ۲۰۰۸ چاپ شد.

۱۵. در این کتاب، مارگارت میلر رابطهٔ متقابل میان امپراتوری هخامنشی و یونان را به تصویر می‌کشد.

۱۶. باستان‌شناسان دیگری را نیز می‌توان این میان تأثیرگذار دانست. مقایسهٔ تاریخی صورت‌گرفته از سوی چستر استار در خصوص دیدگاه غربیان در ارتباط با تمدن هخامنشی، به‌صورت مقالاتی مستقل در مجلهٔ *Iranica Antiqua* در سال‌های ۱۹۷۵ و ۱۹۷۷ به چاپ رسید (نک: Starr 1975). مجموعه مقالاتی که پیتر کالمایر به زبان آلمانی تحت عنوان «در خصوص پیدایی هنرهای ایران باستان» منتشر کرده و در آن‌ها به مقایسهٔ دستاوردهای هنری هخامنشی با آثار تمدن بین‌النهرین

می‌پردازد، از جمله دیگر آثار تأثیرگذار در این حوزه‌اند (نک: Calmeyer 1973).
۱۷. در خصوص اهمیت نقش سازه در معماری نک: عالمی، پوردیهیمی، و مشایخ فریدنی ۱۳۹۵.
۱۸. تغییرات مشهود در دیدگاه‌های نیلاندر در پایان دههٔ هفتاد میلادی احتمالاً متأثر از آشنایی بیشتر وی با معماری ایرانی، و نیز تألیف ارزشمند شاگردش مارگارت روت بوده است. برای این دسته از دیدگاه‌های تحول‌یافته نیلاندر نک: Nylander 1979
۱۹. برای مثال نک: Stronach 1978, 64, 88; Schmidt 1953, plate 88, 126, 191
۲۰. تنها جایی که در معماری هخامنشی از این الگوی تراش سنگ استفاده شده، در بالاترین ردیف از سنگ‌هایی است که در مجاورت با دروازهٔ ورودی تخت‌جمشید کنار هم قرار گرفته‌اند (Tilia 1978, 23).
۲۱. به یاد داریم که هخامنشیان در پایان عصر فلزات فرمانروایی می‌کردند و این بدان معناست که در این دوره، همهٔ فلزات و نحوهٔ کار با آن‌ها شناخته شده بود. سرب علاوه بر آنکه از زنگ‌زدگی و در معرض عوامل اقلیمی قرار گرفتن بست‌ها جلوگیری می‌کرد، نقش مؤثری در کاهش اثر انبساطی و انقباضی حاصل از دما و ایجاد ترک در بنا داشته است.
۲۲. درحالی‌که در معماری یونان، برای پوشاندن بست‌های عمودی میان عناصر در مجاری عمودی یا مایلی که در سنگ تراشیده می‌شد، سرب مذاب می‌ریختند. هخامنشیان برای اولین بار، استفاده از کانال‌های افقی را برای انجام این مهم گسترش دادند (Nylander 1970, 68).
۲۳. در سنگ‌نوشته‌های یافت‌شده در شوش می‌خوانیم: «چوب سرو از کوهی به نام لبنان آورده شد. مردمان آشور آن را به بابل حمل کردند و از آنجا کاریانی‌ها و یونانیان آن را به شوش آوردند. چوب یاکا از گاندارا و کارمانیا آورده شد» (Kent 1953, 144).
۲۴. نه‌تنها در ایران بلکه در آثار معماری یونان باستان هم نمونه‌های مشابهی که آگاهی مهندسان باستان از اصول مکانیک و کاربرد هوشمندانهٔ آن‌ها در ساختمان‌سازی را نمایش می‌دهد، دیده می‌شود. برای مطالعهٔ بیشتر نک: Coulton 1977, 145-146
۲۵. برای مطالعهٔ بیشتر در خصوص ممان اینرسی سطحی نک: MacDonald 2001, 134-137
۲۶. نک: Mainstone 2001, 167-69
۲۷. بررسی برش‌های موجود در جرزهای سنگی برجای‌مانده در کاخ تچر و حرمِ خشایارشا نتایج قابل توجهی دارد. در این دو کاخ، که فواصل ستون‌هایشان تقریباً با یکدیگر برابر است، برش‌های سنگ (که زمانی تیرهای سقف را در خود جای داده بودند) ابعاد تقریباً یکسانی دارند. علی‌رغم آنکه اشمیت نقشهٔ دقیقی از چگونگی برش جرز سنگی کاخ تچر ارائه داده، تا پیش از این، هیچ نقشه‌ای از اندازه‌های تراش جرز سنگی حرم خشایارشا منتشر نشده است. از آنجا که این بنا در سال ۱۹۳۱ توسط گروه کاوش مؤسسهٔ شرق‌شناسی دانشگاه شیکاگو بازسازی و متعاقباً تیرهای چوبی پوشش‌دهندهٔ سقف در جرز ایوان آن جاسازی گردید، عملاً تنها مدارک موجود از شکل تراش سنگ، عکس‌ها و برداشت‌هایی است که پیش از بازسازی‌ها صورت گرفته‌اند. فلاندن و کاست برداشت‌های کامل و دقیقی از این بخش انجام داده‌اند (نک: Flandin and Coste 1851, vol. 3, pl. 142). دفترچه‌یادداشت‌های برجای‌مانده ولی منتشرنشده از هرتزفلد نیز برداشت ناقصی از ضلع جنوب‌غربی یکی از این جرزها را ارائه می‌دهد (نک: Herzfeld 1931-1934, vol. 18, 26).
۲۸. قلمهٔ مرکزی (Shaft) ستون‌های کاخ آپادانا از سه بخش تشکیل شده است. با آنکه در پارتنون این بخش متشکل از شش تکه است، به‌واسطهٔ وجود سرستون‌ها، پاستون‌ها و دیگر عناصر سازندهٔ هر ستون، ابعاد آن‌ها تفاوت چندانی را نمایش نمی‌دهد.
۲۹. محققان مسئلهٔ جابه‌جایی عناصر سنگین ساختمانی در معماری یونان را به کاربرد اولین نمونه‌های جرثقیل نسبت داده‌اند که بر اساس ترکیب ساده‌ای از قرقره‌ها عمل می‌کردند. بعدها در کتاب ویترویوس و هیروِ الکساندریا از این ابزارها نام برده می‌شود. بر اساس حجاری‌های باستانی، اولین نمونه‌های قرقره در معماری آشور و در قرن نهم قبل از میلاد کاربرد داشتند که علی‌رغم نداشتن مزیت مکانیکی برای حمل آسان‌تر بار، در تغییر جهت نیروها مؤثر می‌افتادند. شواهدی که از کاربرد ترکیب چندین قرقره در حمل مصالح ساختمانی حکایت می‌کنند، عموماً بر نحوهٔ تراش سنگ، وجود سوراخ‌ها یا اتصالات در مصالح و مواردی از این دست تکیه می‌کنند که درمجموع این باور را دامن زده‌اند که اولین نمونه از جرثقیل در قرن ششم پیش از میلاد، در آیونیه کاربرد یافته است. اولین نمونهٔ غیرقابل‌انکار از عهد باستان که چگونگی کاربرد یک سیستم مرکب از قرقره‌ها را توضیح می‌دهد، جزوهٔ ارسطو در خصوص مسائل مکانیک است. برای بحث تکمیلی در خصوص حمل عناصر سنگین

ساختمانی در یونان باستان، نک: Coulton 1974

۳۰. در خصوص این ابزارها نک:Schneider 2007, 67-68

۳۱. به اعتقاد اشمیت که بنای کعبهٔ زرتشت را از خاک بیرون کشید، اجزای این پی با استفاده از بست‌های آهنی به یکدیگر وصل شده بودند.

۳۲. در این کتیبه آمده است: «من این کاخ را برپا ساختم... زمین تا آنجا کنده شد که به زمین دژ رسیدیم. پس از آن حفرهٔ کنده‌شده با سنگریزه پر شد و کوبیده شد. به‌نحوی که ارتفاع زمین در یک بخش به حدود چهل ارش (بیست متر) و در بخش دیگر به بیست ارش (ده متر) رسید. کاخ بر روی این صفه ساخته شد» (Kent 1953, 144)

۳۳. صفهٔ تل‌تخت به‌طور عمده از سه بخش تشکیل شده است: در بیرونی‌ترین بخش سنگ‌های منظم که با بست‌های آهنیِ افقی به یکدیگر پیوند داده شده بودند قرار دارند. این دیوارهٔ بیرونی خود لایهٔ میانی‌تر و تشکیل‌یافته از بلوک‌های سنگی با ابعاد گوناگون را که به‌صورت خشکه‌چین روی هم قرار گرفته‌اند، در بر می‌گیرد. در داخلی‌ترین بخش صفه، مصالح بنایی و خاک هستهٔ درونی را شکل داده‌اند (Stronach 1978, 155).

۳۴. برای تاریخ ساخت و نحوهٔ توسعهٔ سکوی عظیم تخت‌جمشید نک: Tilia 1978, 8-27

۳۵. نیلاندر تاریخ ساخت این صفه را ۵۵۰ تا ۵۰۰ ق.م معرفی می‌کند (Nylander 1970, 90).

۳۶. برای مثال نک: Wright 2005, Part 2, fig. 115

۳۷. حتی فرم ایوان‌های جانبی که در کاخ‌های پاسارگاد و نیز کاخ چرخاب در برازجان به‌مثابهٔ بخش‌های الحاقی به بنا به نظر می‌آیند، در کاخ‌های روی صفهٔ تخت‌جمشید تغییر کرده و طول آن‌ها از اطراف محدود به اضلاع تالار اصلی شده است.

۳۸. برای مطالعهٔ بیشتر در مورد تغییرات صورت‌گرفته در کاخ‌های هخامنشی نک: Tilia 1972, 127-165; Stronach and Schmitt 1986; Tilia 1978, 11-27; Kleiss 2000

۳۹. این کاخ توسط داریوش اول (۴۸۶ـ۵۲۲ ق.م) ساخته و در نهایت توسط اردشیر دوم (۳۵۸ـ۴۰۴ ق.م) بازسازی شد. تاریخ ذکرشده در این جدول مربوط به زمان مرمت و تغییرات احتمالی در پلان است. برای مطالعهٔ بیشتر نک: Perrot 2013

۴۰. مواردی که از بست‌های آهنی استفاده شده، منحصر به پلهٔ دسترسی و نیز بخش‌های اطراف ورودی به اتاقک تعبیه‌شده در این بناست که احتمالاً از جمله الحاقاتی هستند که در دوره‌های بعد افزوده شده‌اند.

۴۱. برای تاریخ‌نگاری و اطلاعات تکمیلی در خصوص این بناها نک: Stronach 1978, 117-137; Nylander 1970, 139-143

۴۲. به تعبیر برخی محققان، نقش این دندان‌موشی‌ها جداکردن عناصر سازه‌ای از یکدیگر بوده که در دیدگاه یونانیان اهمیت فراوان داشته است (نک: Carpenter 1962, ff.232)

۴۳. استفاده از این روشِ تراش و چیدمان سنگ این تصور را ایجاد می‌کند که بنا بلندتر و سبک‌تر از اندازهٔ واقعی است.

۴۴. برای آگاهی از ریشه‌های این الگوی طراحی، نک: Gelernter 1995, 44-66

۴۵. اولین مطالعات کانی‌شناسی نیز بررسی مقاومت مکانیکی سنگ‌های به‌کاررفته در بناهای هخامنشی فارس توسط گروه مرمت‌گر ایتالیایی در اواخر دههٔ شصت میلادی صورت گرفت (نک: Tilia 1968؛ همچنین Calmeyer 1990)

۴۶. برای مثال نگاه کنید به فرم پایه و زیرستونی با خیاره‌های افقی که در ساموس، اِفسوس و دیگر بخش‌های شرقی تمدن هلنی به کار گرفته می‌شد و عملاً سبب کاهش سطح مقطع مؤثر ستون می‌گردید (نک: Dieulafoy 1885, vol. 1, plate 51, 53).

۴۷. این همان چیزی است که از آن تحت عنوان تبعیت‌کردن مجسمه‌سازی و تزیین از کارکرد معماری در آثار هخامنشی نام برده شده است (نک: Azarpay 1987, 189)

۴۸. تحدب اندکی را که عموماً در بخش میانی از ساقهٔ ستون‌های سبک دوریک دیده می‌شود، اِنتسیس (Entasis) گویند.

۴۹. در همهٔ شاخه‌های هنر یونان می‌توان تمایل یونانیان برای به‌تصویرکشیدن روابط میان نیروهای مختلف اثرکننده بر روی سازه را به تماشا نشست. فرم پایهٔ ستون‌های یونانی که به‌صورت افقی شیاردار شده‌اند، همچنین افزایش سطح مقطع ستون‌ها در بخش میانی می‌تواند ناشی از این دیدگاه بوده باشد. برای مطالعهٔ بیشتر نک:Kaschnitz von Weiberg and Heintze 1965, 198ff

۵۰. باورهای جهان‌بینی یونانیان در قائل‌شدنِ تفاوت میان فرم‌های به‌تصویردرآمده در عالم ماده (وجود) و عالم والا (جود)، نیز چگونگی رابطهٔ این دو با یکدیگر، که به‌ویژه از دیدگاه‌های فلسفی افلاطون تأثیر می‌گرفت، اندیشه‌های فیثاغورث برای ارتباط آهنگین و هندسی میان این دو عالم، و نهایتاً اندیشه‌های تجربه‌گرایانهٔ ارسطو برای لزوم پایبندی به عالم مادی و محدودیت‌های آن (معتمدمنش ۱۳۹۵، ۶۷)، در شکل‌گیری چنین دیدگاه‌های هنری مؤثر بودند.

۵۱. دانجلیس ریشه‌های تفاوت‌های بروزکرده در معماری یونان و هخامنشی را در اشکال متفاوتی از جامعه می‌یابد که در این دو جغرافیا می‌زیست. به باور وی، روح و جوهرهٔ کمال مطلوب و مجموعه قوانین این جوامع که کاملاً متباین و متضاد بودند، در بیان و نمود معماری آن‌ها تجلی یافته است (دانجلیس ۱۳۶۶، ۱۸).

۵۲. شرق‌شناسان فرانسوی، اوژن فلاندن و پاسکال کاست، اولین افرادی بودند که به این موضوع پی می‌برند. در تصاویر دقیقی که در نیمهٔ قرن نوزدهم آنان از جزئیات ستون‌های برجای‌مانده در تخت‌جمشید تهیه کردند، عدم وجود چنین تناسباتی مشهود است (نک: Flandin and Coste 1851, tome. 3, Pl. 168).

۵۳. بررسی نوشته‌های کرفتر حکایت از آن دارد که درمجموع، وی به عملکرد هوشمندانهٔ مهندسین هخامنشی در کاربرد فنون اجرایی اعتقادی ندارد. برای مثال، به اعتقاد کرفتر، وجود الگوهای مختلف تراش سنگ در جدارهٔ بیرونی صفهٔ تخت‌جمشید تنها به‌دلیل وجود گروه‌های مختلف سنگ تراش و وجود سبک‌های مختلف تراش سنگ نزد این افراد بوده است (Krefter 1971, 33).

۵۴. در محاسبات خویش برای تعیین ارتفاع بنای موسوم به سه‌دروازه، کرفتر به لزوم استفاده از تناسبات موجود در تالار تخت (صدستون) اشاره می‌کند؛ چراکه استفاده از روابط موجود در کاخ‌های تچر یا آپادانا مشکل‌ساز می‌شوند. هرچند وی دلیل رجوع به صدستون را ارتفاع مشابه (تنها ۱٫۴متر اختلاف) برشمرده است (Krefter 1971, 64)، به عقیدهٔ نویسندهٔ مقاله حاضر، دلیل اینکه استفاده از تناسبات غالب در کاخ صدستون در کاخ سه‌دروازه نیز امکان‌پذیر شده، فاصلهٔ تقریباً مشابه دهانه‌ها در هر دو بناست. ستون‌های بنای سه‌دروازه ۵٫۶۵ متر از هم فاصله دارند و در کاخ صدستون فاصلهٔ ستون‌ها از یکدیگر ۶٫۲ متر است.

۵۵. در دروازهٔ ناتمام ستون‌ها و بخش‌های مختلف آن هرچند شکسته، اما موجودند. درحالی‌که براساس روشِ پیشنهادیِ کرفتر، ارتفاع ستون‌ها ۱۸٫۲ و یا ۲۰ متر محاسبه می‌شود، مستندات موجود در سایت از ارتفاع ۱۸٫۵ متری ستون‌ها حکایت دارد.

۵۶. ویترویوس به روشنی این موارد را توضیح داده است (نک: Vitruvius, 109-114).

۵۷. برای دستیابی به ابعاد عناصر معماری از میان رفته در سقف کاخ‌ها، کرفتر به استفاده از روابط موجود میان ابعاد ستون‌ها (ضخامت و ارتفاع) و قرنیزهای سنگی‌ای که در گوردخمه‌ها حجاری شده‌اند، روی می‌آورد. ایدهٔ استفاده از حجاری‌های صورت‌گرفته در مقابر سلطنتی برای بازسازی نمای کاخ‌های هخامنشی از سوی دیگر محققان برجسته همچون هرتزفلد و شاپورشهبازی نیز تأکید شده است. با اینکه کرفتر، خود بر لزوم کاربردی بودن جان‌پناه‌های موجود بر روی بام کاخ‌ها و استفاده از آن‌ها در حین نگهبانی از مجموعه تأکید می‌کند، استفاده از روابط پیش‌تر ذکرشده سبب می‌شود که وی ضخامت قرنیز سقف کاخ آپادانا را ۳٫۶ متر محاسبه نماید (Krefter 1971, 49). حتی با درنظرگرفتن ضخامت تیرریزی و پوشش نهایی بام، بازهم آنچه این عدد برای ارتفاع احتمالی جان‌پناه بام پیشنهاد می‌دهد، به‌مراتب بلندتر از قد یک انسان است. شاید یکی از دلایلی که بازسازی‌های رایانه‌ای انجام‌شده توسط افهمی و گمبکه (نک: وبگاه پرسپولیس تری‌دی) به عقیدهٔ برخی صاحب‌نظران، از نظر تناسبات مشکل‌دار می‌نمایند (برای مثال نک: مصاحبهٔ دکتر محمدحسن طالبیان سرپرست بنیاد پژوهشی پارسه پاسارگاد، موجود در در وبگاه پرسپولیس تری‌دی) این واقعیت باشد که سازندگان این انیمیشن‌ها تنها به نظریات، محاسبات و اندازه‌گیری‌های کرفتر وفادار بوده‌اند.

۵۸. شاپورشهبازی معتقد بود که معماران هخامنشی یا آن‌ها که در خدمت هخامنشیان بودند، بیشتر به مقیاس‌هایی روی آوردند که در سنت معماری ایرانی موجود بودند و نه آن‌ها که در سنت معماری غربی رواج داشتند (مکاتبات شخصی با دکتر علی موسوی) (نک: شاپورشهبازی ۱۳۸۹، ۲۴۵).

منابع

ـ الماسی ستوده، حسین و حسن بلخاری قهی. بررسی شواهد تأثیر معماری پارسی بر معماری دورهٔ مائوریایی هندوستان. *مطالعات معماری ایران* ۱۲: ۲۹ـ۴۰.

ـ دانجلیس، گوگلیلمو. ۱۳۶۶. جانمایه معماری هخامنشی و یونانی (در قرن‌های ششم و پنجم ق.م). ترجمه اصغر کریمی. *اثر* ۲۲/۲۳: ۱۳ـ۲۴.

ـ زارع، اعظم. ۱۳۸۲ـ۱۳۸۱. *مطالعات سنگ‌شناسی معادن هخامنشی در دشت مرودشت و مجموعه کاخ‌های هخامنشی: گزارش عملکرد گروه زمین‌شناسی و آرکئومتری*، شیراز: بنیاد پژوهشی پارسه پاسارگاد.

ـ سامی، علی. ۱۳۳۰. *پاسارگاد: قدیمی‌ترین پایتخت کشور شاهنشاهی ایران*، بنیاد فارسی‌شناسی.

ـ شاپورشهبازی، علیرضا. ۱۳۸۹. *شرح مستند تخت جمشید*. شیراز: بنیاد پژوهشی پارسه پاسارگاد.

ـ شاه‌کرمی، عبدالعظیم. ۱۳۸۴. *فصل‌نامه بیمه و توسعه* ۱: ۷۷.

ـ فرشاد، مهدی. ۱۳۷۶. *تاریخ مهندسی در ایران*، تهران: انتشارات بلخ.

ـ عالمی، بابک. شهرام پوردیهیمی، و سعید مشایخ فریدنی. ۱۳۹۵. سازه، فرم و معماری. *مطالعات معماری ایران* ۹: ۱۲۳ـ۱۴۰

ـ کریمیان، حسن. علی‌اکبر سرفراز، و نصرالله ابراهیمی. ۱۳۸۹. بازیابی کاخ‌های هخامنشیان در برازجان با اتکاء به داده‌های باستان‌شناسی، *باغ نظر* ۱۴: ۴۸ـ۵۸.

ـ کلایس، ولفرام. ۱۳۶۷. معماری اورارتویی. ترجمه فرامرز نجدسمیعی، *اثر* ۲۶/۲۷: ۸۶ـ۱۰۵.

ـ گروت، لیندا و دیوید وانگ. ۲۰۰۲. *روش‌های تحقیق در معماری*. ترجمه علیرضا عینی‌فر. ۱۳۹۰. تهران: دانشگاه تهران.

ـ معتمدمنش، مهدی. ۱۳۹۵. ایدئولوژی، فناوری، و معماری: از شکلِ سازه تا فرمِ معماری در گذر از روم باستان به ایتالیای عصر رنسانس و باروک. *صفه* ۷۳: ۶۱ـ۸۴.

ـ ناری قمی، مسعود. ۱۳۹۴. نقدی بر پژوهش‌های تفسیریـتاریخی در خصوص معماری معاصر ایران. *مطالعات معماری ایران* ۷: ۹۳ـ۱۱۰.

ـ ولایتی، رحیم. ۱۳۸۹. تأثیر هنر ملل تابعه امپراتوری هخامنشیان بر هنر و معماری آنها. *باغ نظر* ۱۴: ۸۷ـ۹۳.

ـ هژبری نوبری، علیرضا. سمیه مهاجروطن، و رضا افهمی. ۱۳۹۴. تحلیل ساختار پلان کاخ‌های هخامنشی و تأثیر آن بر معماری ساسانی و پارتی. *جامعه شناسی تاریخی* ۷ (۱): ۳۰۳ـ۲۷۷.

- Azarpay, Guitty. 1987. Proportional Guidelines in Ancient Near Eastern Art. *Journal of Near Eastern Studies* 46 (3): 183-213.

- Boucharlat, Rémy. 2003. Le Zendan de Pasargades: De La Tour «Solitaire» A Un Ensemble Architectural Donneées Archeologiques. *Achaemenid History* 13: 79-99.

- Calmeyer, Peter. 1990. Madjdabad Zur Datierung von Steinbruch-Arbeiten um Persepolis. *AMI* 23: 185-191.

- Calmeyer, Peter. 1973. Zur Genese Altiranischer Motive I, Herrscher über Schützfiguren. *AMI* 6: 135-152.

- Carpenter, Rhys. 1962. *Greek Art; A Study of the Formal Evolution of Style.* Philadelphia: University of Pennsylvania Press.

- Coulton, John J. 1974. Lifting in Early Greek Architecture. *The Journal of Hellenic Studies* 94: 1-19.

- Coulton, John J. 1977. *Ancient Greek Architects at Work*. New York: Cornell University Press.

- Choisy, Auguste. 1899. *Histoire de l'architecture.* Paris: Gauthier Villars.

- Colledge, Malcolm. 1987. Greek and non-Greek Interaction in the Art and Architecture of the Hellenistic East. In *Hellenism in the East, 134-162. Berkeley:* University of California Press.

- Curtis, J. 2005. Greek Influence on Achaemenid Art and Architecture. In *The Greeks in the East*, 115-123. London: British Museum Press.
- De Francovich, Géza. 1966. Problems of Achaemenid Architecture. *East and West* 16, (3-4): 201-260.
- Dieulafoy, Marcel. 1885. *L'art antique de la Perse. Paris*: Librairie Centrale d'Architecture.
- Flandin, Eugène, and Pascal Coste. 1851. *Voyage en Perse*, tome. 3, Paris: Gide et J. Baudry.
- Fletcher, Banister. 1975. *A History of Architecture.* London: The Athlone Press.
- Gelernter, Mark. 1995. *Sources of Architectural Form.* Manchester: Manchester University Press.
- Ghirshman, Roman. 1964. *Iran: Protoiranier, Meder, Achämeniden*, München: C.H. Beck.
- Ghirshman, Roman. 1978. *Iran: From the Earliest Times to the Islamic Conquest. Harmondsworth: Penguin Books.*
- Godard, André. 1965. *The Art of Iran*. New York: Praeger.
- Gopnik, Hilary. 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, Mehrdad. 1997. *Historical Buildings of Iran.* Southampton: Computational Mechanics Publications.
- Huff, Dietrich. 2005. From Median to Achaemenian Palace Architecture. *Iranica Antiqua* 40: 371-395.
- Hunt, Patrick. 2008. Achaemenid Persian Griffin Capital at Persepolis. *Archaeology*: *Stanford University*. https://web.stanford.edu/dept/archaeology/cgi-bin/archaeolog/?p=225 (accessed January 16, 2015).
- Henkelman, Wouter F. 2012. The Achaemenid Heartland: An Archaeological Historical Perspective. In *A Companion to the Archaeology of the Ancient Near East*, 931-962. Malden: Wiley-Blackwell.
- Herzfeld, Ernst. 1931-1934. *The Ernst Herzfeld papers, Series 2: Sketchbooks.* Washington, DC: Freer Gallery of Art and Arthur M. Sackler Gallery Archives.
- Herzfeld, Ernst. 1935. *Archaeological History of Iran*. London: Oxford University Press.
- Herzfeld, Ernst. 1941. *Iran in the Ancient East.* London: Oxford University Press.
- Saiful Islam, A., Mohammed Jameel, and Mohd Zamin Jumaat. 2011. Seismic Isolation in Buildings to be a Practical Reality. *Journal of Engineering and Technology Research,* 3: 99-117.
- Kaschnitz von Weinberg, Guido, and Helga Heintze. 1965. *Kleine Schriften zur Struktur*. Berlin: Mann.
- Kent, Roland G. 1953. *Old Persian: Grammar, Texts and Lexicon*. New Haven: American Oriental Society.
- Khatchadourian, Lori. 2012. The Achaemenid Provinces in Archaeological Perspective. In *A Companion to the Archaeology of the Ancient Near East*, 963-983. Malden: Wiley-Blackwell.
- Kleiss, Wolfram. 2000. Zur Planung von Persepolis. In *Variatio Delectat: Iran und der Westen. Gedenkschrift für Peter Calmeyer (Alter Orient und Altes Testament, Band 272)*,354-368. Ugarit-Verlag
- Kleiss, Wolfram. 1971. Die Felsabtreppungen von Persepolis. *dans Mitteilungen der Deutschen Orient-Gesellschaft* 103: 69-76.

- Knauss, Florian, Iulon Gagoshidze, Ilias Babaev, and Ellen Rehm. 2010. A Persian Propyleion in Azerbaijan: Excavations at Karacamirli. In *Achaemenid Impact in the Black Sea*, 111-122. Aarhus: Aarhus University Press.
- Krefter, Friedrich. 1971. *Persepolis Rekonstruktionen.* Berlin: Gebr Mann.
- Ladiray, Daniel. 2013. The Archaeological Results. In *The Palace of Darius at Susa*, 139-175. New York: Tauris.
- MacDonald, Angus J. 2001. S*tructure and Architecture*, Oxford: Architectural Press.
- Mainstone, Rowland J. 2001. *Developments in Structural Form*. Oxford: Architectural Press.
- Mark, Robert. 1990. *Light, Wind, and Structure.* Cambridge: MIT Press.
- Miller, Margaret. 1997. *Athens and Persia in the Fifth Century BC.* Cambridge: Cambridge University Press.
- Morgan, Janett. 2017. Who Has the Biggest Bulls? Royal Power and the Persepolis Apadāna. *Iranian Studies* 50: 1-31.
- Motamedmanesh, Mahdi. 2016. The Benefits of Historical Studies on Re-Examining the Implemented Restoration in Persepolis. *Art* 5 (1): 1-19.
- Mousavi, Ali. 2012. *Persepolis: Discovery and Afterlife of a World Wonder*. Boston: De Gruyter.
- Nylander, Carl. 1979. Achaemenid Imperial Art. In *Power and Propaganda: A Symposium on Ancient Empires,* 345–359. Copenhagen: Akademisk Forlag.
- Nylander, Carl. 1970. *Ionians in Pasargadae.* Stockholm: Uppsala.
- Nylander, Carl. 1966. Clamps and Chronology. *Iranica Antiqua* 6: 130-46.
- Perrot, George, and Charles Chipiez. 1892. *History of Art in Persia.* London: Chapman and Hall.
- Perrot, Jean, ed. 2013. *The Palace of Darius at Susa*. New York: I.B. Tauris & Co. Ltd.
- Pope, Arthur U. 1965. *Persian Architecture.* London: Thames and Hudson.
- Pope, Arthur U. 1977. ed. *A Survey of Persian Art*, vol. 1. Tehran: Soroush.
- Reisner, George, Clarence Fisher, and David Lyon. 1924. *Harvard Excavations at Samaria (1908-1910)*. Cambridge: Harvard University Press.
- Roaf, Michael. 1978. Persepolitan Metrology. *Iran* 16: 67-78.
- Root, Margaret C. 1979. *The King and Kingship in Achaemenid Art*. Leiden: Brill.
- Schmidt, Erich F. 1970. *Persepolis III: Royal Tombs and Other Monuments*. Chicago: University of Chicago Press.
- Schmidt, Erich F. 1957. *Persepolis II: Contents of the Treasury and other Discoveries.* Chicago: University of Chicago Press.
- Schmidt, Erich F. 1953. *Persepolis I: Structures, Reliefs, Inscriptions.* Chicago: University of Chicago Press.
- ShapurShahbazi, Alireza. 2012. Persepolis. *Encyclopedia Iranica. online edition.*. http://www.iranicaonline.org/articles/persepolis*, (accessed December 18, 2015).*
- Spooner, David B. 1915. The Zoroastrian Period of Indian History. *The Journal of the Royal Asiatic Society of Great Britain and Ireland:* 405-455.

- Starr, Chester G. 1975. Greeks and Persians in the Fourth Century BC: A Study in Cultural Contacts before Alexander. Part I. *Iranica Antiqua* 11: 39-99.
- Stronach, David. 1978. *Pasargadae:* Oxford: Clarendon Press.
- Stronach, David. 1973. Review of Ionians in Pasargadae by Carl Nylander. *The Antiquaries Journal* 53: 105-107.
- Stronach, David. 1967. Urartian and Achaemenian Tower Temples. *Journal of Near Eastern Studies* 26 (4): 278-88.
- Stronach, David, and Schmitt, R. 1986. APADĀNA. *Encylopaedia Iranica*, vol.II, Fasc. 2: 145-148.
- Schneider, Helmuth. 2007. *Geschichte der antiken Technik*, München: Beck.
- Tilia, Ann B. 1978. *Studies and Restorations at Persepolis and other Sites of Fars, vol.2.* Rome: IsMEO.
- Tilia, Ann. B. 1972. *Studies and Restorations at Persepolis and other Sites of Fars, vol.1.* Rome: IsMEO.
- Tilia, Ann. B. 1968. *A study on the Methods of Working and Restoring Stone and on the Parts Left Unfinished in Achaemenian Architecture and Sculpture.* Rome: IsMEO.
- Tourovets, Alexandre. 2014. The Palace Architecture of the Achaemenids under Scrutiny. In *Excavating an Empire: Achaemenid Persia in Longue Durée*, 146-160. California: Mazda Publishers.
- Tobin, J. 2011. *The Seven Wonders of the Ancient World*. Modern Scholar.
- Wright, George R. 2009. *Ancient Building Technology, vol. 3.* Leiden: Brill.
- Wright, George R. 2005. *Ancient Building Technology, vol. 2.* Leiden: Brill.
- Wright, George R. 2000. *Ancient Building Technology, vol. 1.* Leiden: Brill.
- Zannos, Alexander. 1987. *Form and Structure in Architecture.* New York: Van Nostrand Reinhold.
- Vitruvius. 1st century BC. *The Ten Books on Architecture*. Translated by Morris H. Morgan. 1914. Cambridge: Harvard University Press.
http://www.perseus.tufts.edu/hopper/
http://parse-pasargad.ir/
http://www.achemenet.com/
http://www.persepolis3d.com/