

مقدمه‌ای بر فرایند مدل‌سازی مجازی یک اثر ساسانی:

نیایشگاه بندیان، درگز^۱

زهرا میراثی

مری دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول

کمال‌الدین نیکنامی^۲

دانشیار دانشکده ادبیات دانشگاه تهران

مریم رضانی^۳

کلیدواژگان: نیایشگاه بندیان ساسانی، مدل‌های مجازی، ابزارهای سه‌بعدی بازسازی و تحلیل، معادلات چندجمله‌ای چندمتغیری، معادله محور تقارن.

چکیده

می‌کند. نکته مهم این است که بازسازی مجازی تکنیک ساده‌نمایی نیست، بلکه ابزاری کاملاً تشریحی است و این توانایی از ترکیب روش تجسمی با ابزار مدیریت و هدایت داده‌های باستان‌شناختی حاصل می‌شود. داده‌های عملیاتی این تحقیق از کاوش‌های باستان‌شناسی یکی از مهم‌ترین آثار دوره ساسانی (نیایشگاه بندیان) از درگز خراسان رضوی به دست آمده است، که به طور مکرر انتشار می‌یابد.

مقدمه

ابداع نرم‌افزارهای جدید و پیشرفت سخت‌افزارهای رایانه‌ای روزبه‌روز باعث بهتر شدن نمایش‌های تصویری و مدل‌سازی‌های سه‌بعدی می‌شود. مدل‌های سه‌بعدی در واقع تلفیقی از معادلات ریاضی، طرح‌های گرافیکی رایانه‌ای، و دید سه‌بعدی رایانه‌ای در فرم‌های گوناگون تجسمی است. مدل‌های سه‌بعدی کاربردهای فراوانی دارد و دامنه کاربرد آن از مسائل مربوط به تحقیقات صرف در علوم مختلف، تا خلق پدیده‌های هنری و نمایش مجازی اشیا و آثار- هم در حوزه‌های عملی و هم در حوزه‌های نظری-

اندیشه واقعی «مدل مجازی» باستان‌شناختی و ورود آن به حیطه مطالعات این رشته، با رواج روزافزون رایانه و استفاده گسترده از آن آغاز شده است. واقع‌گرایی «مدل مجازی» در ارتباط و وابستگی مستقیم با کیفیت و کمیت‌های موجود داده‌های باستان‌شناختی است. تجسم واقعیت یا واقعیت مجازی نه تنها چهارچوبی روش‌شناختی برای به کارگیری تکنیک‌های گوناگون تجسمی دارد، بلکه به دنبال آن، تلاش وسیعی نیز برای یافتن معانی صحیح و چگونگی ایجاد رابطه بین سیستم‌های واقعی و مجازی صورت می‌پذیرد. نتیجه نهایی این رابطه تنها تولید یک تصویر انفعالی از واقعیت نیست، بلکه ایجاد مدل مجازی فعالی است، و به صورت واقعی باستان‌شناسان را در انجام تحقیقات، بازسازی، و تحلیل‌های باستان‌شناختی یاری می‌کند. رویکرد بازسازی مجازی ترسیم کمیت انتزاعی هر داده باستان‌شناختی است، به صورت نمایش گرافیکی (نمایش هندسی فضایی) و یا نمایش عددی کلان از اندیشه‌های علمی و نتایج حاصله از آن، که درک پیچیدگی‌های آن را آسان‌تر

۱. در تمام مراحل این مقاله، مدیون همکاری‌های آقای مهدی رهبر کاوشگر بنای نیایشگاه بندیان هستیم. اگر اطلاعات ارزشمند و مشورت‌های کارساز ایشان نبود، این تحقیق امکان انجام نمی‌یافت. بدین وسیله از ایشان تشکر می‌کنیم.

2. k.niknami@ut.ac.ir

۳. دانشجوی دکتری باستان‌شناسی دانشگاه تهران.

پرسش‌های تحقیق

۱. چگونه می‌توان بر اساس مطالعه داده‌های قابل اندازه‌گیری از بقایای آثار یا بناهای تاریخی، قسمت‌های تخریب‌شده آن‌ها را به صورت مجازی بازسازی کرد؟
۲. رابطه بین واقع‌گرایی کیفیت و کمیت داده‌های تاریخی، با مدل‌های مجازی آن چگونه است؟
۳. جایی که مرمت و نمایش واقعی بناهای تاریخی به علت محدودیت‌های فراوان مقدور نیست، ارزش مدل‌های مجازی در فرایندهای مختلف مورد نیاز (مانند تحقیقات علمی) چه مقدار است؟

4. J. A. Barcelo, «Visualizing What Might Be: An Introduction to Virtual Reality Techniques in Archaeology», pp. 9- 35.

گسترده است. هدف تحقیق حاضر طرح راهکارهای تکنیکی در زمینه مدل‌سازی سه‌بعدی و بازسازی مجازی است که کاربردهای وسیعی در باستان‌شناسی و به‌خصوص در بازسازی بناها و سایر آثار تاریخی پیدا کرده‌اند.^۴ در این تحقیق از شیوه‌های ویژه‌ای در ثبت و تحلیل داده‌های موردنیاز سود جست‌ه شده است. نتیجه تحقیق نشان می‌دهد که فناوری اطلاعات ابزار توسعه‌ای قدرتمندی است و از طریق آن امکان مطالعات جامعی که قبلاً ممکن نبود حاصل می‌آید. مطالعه موردی این تحقیق بازسازی مجازی یک نیایشگاه دوره ساسانی است که در سال‌های اخیر از منطقه درگز استان خراسان کشف و حفاری شده است. اهمیت بنای مذکور در باستان‌شناسی این کشور بی‌شمار است و علاوه بر نقش منبعی مستند و تاریخی، بنای مذکور از نظر هنری نیز یکی از شاهکارهای هنری دوره ساسانی محسوب و این به طور مشخص در آثار گچ‌بری‌های آن دیده می‌شود. ارزش تحقیق حاضر گرچه تکنیکی است، ولی می‌توان به نتیجه آن با دیدگاهی مؤثر در مدیریت ثبت، حفاظت، و بازسازی مدارک باستان‌شناختی و تاریخی هنری توجه شود.

به طور خلاصه مهم‌ترین رویکردهای که در این مقاله برای اهداف نهایی بدان‌ها توجه شده به شرح ذیل هستند:

۱. استخراج اطلاعات هندسی از طریق سیستم منفعل مانند تصاویر دوبعدی و سیستم فعال مانند تصاویر دوربین‌های لیزری و اسکنر لیزری؛
۲. بهره‌گیری از توان‌های بعضی نرم‌افزارهای رایانه‌ای به منظور تسهیل ساخت مدل‌های سه‌بعدی؛
۳. نمایش مدل تولیدشده از داده‌های مورد نظر در یک محیط مجازی؛
۴. طرح رهیافتی جدید و مؤثر در حوزه حفظ و نگهداری و مطالعات آثار با ارزش تاریخی فرهنگی؛ این رویکرد سیستم نوینی است که، متضمن اندیشه‌های علمی در سازمان‌دهی تحقیقات، حفظ و مرمت آثار، و ارزش‌گذاری آثار فرهنگی است. یکی از اندیشه‌های مبنایی این سیستم، روش‌های مستندسازی از مدارک تاریخی، فرهنگی، و هنری به‌خصوص مدارکی با احتمال نابودی بیشتر- است، که پیشرفت قابل توجهی کرده است

مبانی نظری و تکنیکی مدل‌سازی مجازی

اندیشه واقعی مدل‌های مجازی و مجسم‌سازی سه‌بعدی با رواج روزافزون رایانه و استفاده گسترده از آن آغاز شده است. اندیشه زنده‌سازی واقعیت‌ها یا مشابه‌سازی واقعیت بر اساس مستندات، قبل از رواج ابزارهای الکترونیکی اخیر، در میان گرایش‌های مختلف علوم، به‌ویژه علوم تجربی و فنی، مطرح بوده است. مشابه‌سازی روندی تحلیلی است و بر ساختارهای نظری مانند فرضیه‌ها و بر ساختارهای عملی مانند قواعد ریاضی متکی است. تفاوت میان مدل‌های قبل و بعد از استفاده از ابزارهای دیجیتالی کنونی، به ماهیت برون‌داد مدل‌های پیشین و کنونی مربوط است. به طور مثال، تجسم عینی یک واقیت تاریخی (مانند بازسازی یک بنای تاریخی مرتبط با زمینه بحث این مقاله) حتی قبل از تمایل به استفاده از ابزارهای تکنیکی جدید، توسط باستان‌شناسان، مرمتگران بناهای تاریخی، و نقشه‌برداران مرتبط با این علوم انجام می‌گرفت. در اینجا سخن در میزان صحت و دقت مستندهای مذکور نیست، که این خود احتیاج به بررسی‌های فنی جداگانه‌ای دارد. آنچه که در این مقاله بر آن تأکید می‌شود، ارزش‌های فراوری شده‌ای در قالب برون‌دادهای تصویری است که، همه آن ارزش‌ها در مجموعه‌ای واحد و تجسمی، به نام «واقعیت مجازی» شکل یافته‌اند. اگر بخواهیم تفاوت‌های بازسازی‌های مجازی سنتی گذشته (دوبعدی) و دیجیتالی کنونی (سه‌بعدی) را معین کنیم شاید ذکر این نکته‌ها کافی باشد که روش‌های دستی و سنتی گذشته به‌رغم صحت و دقت آن‌ها، در هر حال برون‌دادهایی جدا از هم، صامت، نافع‌ال و بدون واکنش هستند. نمایش همه برون‌دادهای روش‌های مذکور در مجموعه‌ای واحد ممکن نیست و اتصال تجسمی برون‌دادهای جدا از هم، که به صورت ذهنی صورت می‌گیرد، ممکن است با خطا همراه باشد. این ضعف‌ها در مدل‌های مجازی رایانه‌ای تا حد زیادی

مرتفع شده‌اند. ذکر این نکته نیز در اینجا لازم است که، توان‌های نرم‌افزارهایی که پردازش‌های مدل‌های مجازی را سامان می‌دهند، فقط در برون‌دادهای گرافیکی بصری خلاصه نمی‌شوند، بلکه توان‌های محاسباتی خارق‌العاده‌ای نیز در آن‌ها هست که برای رویکردهای مورد نیاز، محاسبات را به انجام می‌رسانند و می‌توانند نتایج را با توجه به اهداف مورد نیاز به صورت اشکال گرافیکی نشان دهند. ناگفته پیداست که، توان‌های مذکور به صورت فوق‌العاده‌ای باعث کاهش هزینه و زمان می‌گردد. برون‌داد تولید شده با این روش‌ها به راحتی قابل حمل و انتشار است. رویه‌های متعدد آن که با فایل‌های داده‌های محاسباتی پشتیبانی می‌شوند، صفات واکنش‌پذیر و روزآمد شدنی متعددی دارند.

اولین تعریف از بازسازی مجازی (در موضوع رویکرد این مقاله) که حاوی جنبه‌های تکنیکی و روش‌شناختی است در اواخر دهه ۱۹۹۰ مطرح شد.^۵ در این تعریف برای اولین بار اندیشه «مجازی» در ارتباط و وابستگی مستقیم با «مشابه» یا «مدل» تصور شده است، که واقع‌گرایی آن‌ها به کیفیت و کمیت‌های موجود داده‌ها بستگی دارد. روند اندیشه مذکور از زمان طرح آن تاکنون مبتنی بر ملاحظاتی است که در آن، داده‌ها در مجموعه‌ای از تئوری‌ها و تکنیک‌های تجسمی، به صورت یک سیستم واحد درمی‌آیند.^۶ تجسم واقعیت یا واقعیت مجازی در این سیستم نه تنها چهارچوبی روش‌شناختی برای به‌کارگیری تکنیک‌های گوناگون تجسمی دارد، بلکه به دنبال آن تلاش وسیعی نیز برای یافتن معانی صحیح برای این‌گونه فعالیت‌ها و چگونگی ایجاد رابطه بین سیستم‌های واقعی و مجازی صورت می‌پذیرد. نتیجه نهایی رابطه بین واقعیت و مدل مجازی تنها تولید یک تصویر انفعالی از واقعیت نیست، بلکه ایجاد مدل مجازی فعالی است که، به صورت واقعی متخصصان این رشته را در انجام تحقیقات، بازسازی، و تحلیل‌های مربوط یاری می‌کند.^۷

5. P.Reilly, «Towards a virtual archaeology», pp. 133- 139. Virtual) که اصطلاحاً به آن (Reality: VR) اطلاق می‌شود.

7. G. Goodrick and M. Gillings, «Constructs, Simulations and Hyperreal World: the Role of Virtual Reality (VR) in Archaeological Research», pp. 41- 58; M. Gillings, «Engaging Place: a Framework for the Integration and Realization of Virtual-Reality Approaches in Archaeology», pp. 247- 254.

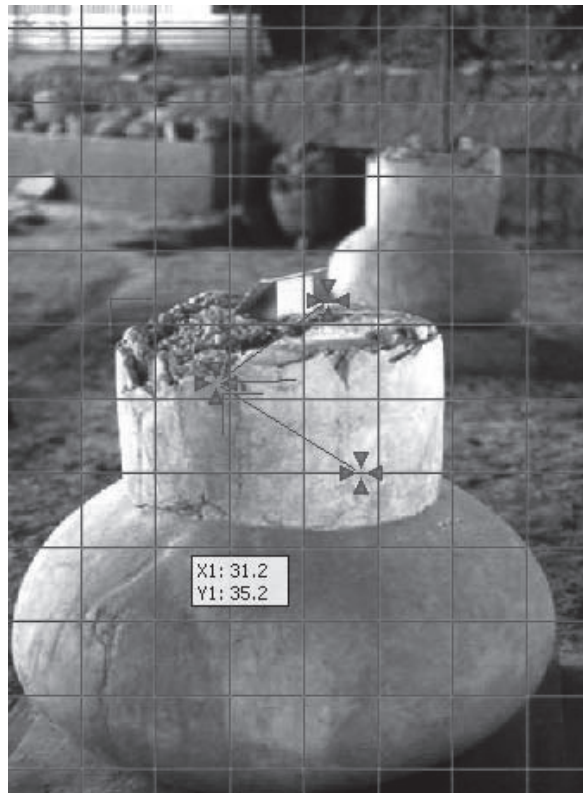
۸. همان VR.

روش‌ها و مواد مطالعاتی

مقاله حاضر مطالعه‌ای موردی، در به کارگیری روش تجسمی سه‌بعدی در نیایشگاه بندیان، یکی از آثار منحصر به فرد مکشوفه در سال‌های اخیر، از دوره ساسانی، است. به کارگیری روش مذکور علاوه بر بستر نظری آن که، در سطور بالا به آن اشاره شد، نیاز به فرایندهای فنی و عملیاتی دارد که آن‌ها را به طور خلاصه و به شرح زیر می‌توان بیان کرد.

مرحله اول، تحقیق، ترسیم، و ثبت داده‌ها

با توجه به حجم بسیار گسترده داده‌های حاصل، و عناصر معماری فراوان مورد نیاز در این تحقیق، طبیعتاً ثبت همه عناصر مذکور به صورت دستی محتاج صرف وقت بسیار و زحمت فراوان بود. در عوض، عکس برداری دیجیتالی باعث صرفه جویی زیاد در زمان و هزینه مربوطه بود. در مواردی که عناصر هنری و معماری گسترده‌ای مطرح بود و ثبت تمام نقاط آن‌ها برای مدل‌سازی بعدی مورد نیاز بود لازم می‌نمود که، نقاط مورد نظر در یک سیستم شبکه‌ای کنترل نقاط تنظیم و اشکال مثلث‌های محاسباتی در داخل شبکه مشخص شوند.^{۱۰} این فرایند در رویه‌هایی که خود از چندین پلان مجزا تشکیل یافته‌اند به صورت جداگانه‌ای انجام گرفت. در این مرحله اندازه‌گیری نقاط معین شده در روی عکس‌های دیجیتالی، با استفاده از نرم‌افزارهای ویژه به خصوص ایربال فایو^{۱۱} فراهم شدند. قدم بعدی در پردازش داده‌های نقطه‌ای، ترسیم آن‌ها به صورت خط و نقطه برای تولید پلان نقشه یا نقوش دلخواه است. به همین منظور هر کدام از تصاویر تهیه شده با تمهیداتی وارد محیط ترسیمی «اتوکد» شده و با انطباق آن نقاط و نقاط کنترل و خطوط مثلثی، طرح‌های خطی مورد نیاز ترسیم شدند، تا اینکه تصاویر موزائیکی از تمام طرح‌های مورد نظر فراهم شد.^{۱۲}



بنا بر این، تعریف جامعی که تاکنون از واقعیت مجازی^{۱۳} شده است، در بر گیرنده همه فرایندهای روش شناختی است که، کاربرد آن را توجیه می‌کند. در این گونه تعاریف، رویکرد بازسازی مجازی ترسیم کمیت انتزاعی هر داده است، و این به صورت نمایش گرافیکی (نمایش هندسی فضایی) و یا نمایش عددی کلان از اندیشه‌های علمی و نتایج حاصله از آن است که، درک پیچیدگی‌های آن را آسان‌تر می‌کند. نکته مهم این است که بازسازی مجازی تکنیک ساده‌نمایی نیست، بلکه ابزاری کاملاً تشریحی است و این توانایی از ترکیب تکنیک تجسمی با ابزار مدیریت و هدایت داده‌ها حاصل می‌شود.^{۱۴}

ت ۱. تنظیم سیستم شبکه‌ای کنترل برای محاسبه نقاط از پایه ستون مکشوفه از تالار ستون‌دار نیایشگاه بندیان.

9. M. Forte and R. Beltrami, «A Proposito di Virtual Archaeology: Disordini, Interazioni Cognitive e Virtualita, Atti del I Workshop Nazionale di Archaeologia Caoputazionale- Napoli-Firenze 1999», pp. 273- 300.
10. P. Drap & P. Grussenmeyer . «Photogrammetric Ston by Stone Survey and Archaeological Knowledge. An Application on the Romanesque Priory Church Norte Dame D' Aleyrac (Province, France)», pp. 154- 166.
11. AERIAL.5
۱۲. برای فرایند روش مذکور نک: G. Buzzanca and E. Giorgi, «Come Usare AutoCad e Vivere Ugualmente Felici (L'Ennesimo Sistema per la Raccolta dei Dati Storico-Conservativi)», pp. 907- 916.

مرحله دوم، فرایند محاسبه و تولید اشکال

فرایند تولید و نمایش سه‌بعدی مواد باستان‌شناختی فرایند پیچیده‌ای است و اولین مرحله آن بازسازی فضایی اشکال مورد نظر است. در موادی که شکل یا بخشی از شکل آن‌ها از بین رفته‌اند، ابتدا باید قسمت‌های از بین رفته بازسازی شوند. برای بازسازی و ترمیم قسمت‌های مفقوده، ترکیب تکه‌های مرتبط، ترمیم رویه‌های آسیب‌دیده، و در نهایت مقایسه آن با پدیده‌های مشابه سالم، اقداماتی بسیار ضروری هستند. گرچه ساخت مدل‌های سه‌بعدی از اشکال اشیاء و بناها، امروزه با پیشرفت نرم‌افزارهای رایانه‌ای مرتبط، تا حدودی سهل‌تر شده است، ولی بدون درک صحیح از مبانی و زبان فرایندهای تولید شکل و مبانی محاسبات مربوط به آن، تولید اشکال مذکور نیز تا حدودی واقعی نخواهد بود. آنچه که در اینجا به طور خلاصه به آن اشاره می‌شود، توضیحی پیرامون فرایند محاسبه اشکال مورد نظر در این تحقیق است که، برای بازسازی سه‌بعدی بعضی از اشکال نیایشگاه بندیان استفاده شده‌اند. به طور کلی برای تولید و نمایش هر شکل مورد نظر در این تحقیق، ابتدا به تهیه، محاسبه، و تحلیل سه عنصر مهم توجه شد: خط‌الرأس‌ها، محاسبه (معادله) چندجمله‌ای مجهول، و محور تقارن میانی. ترکیب و یکپارچه‌سازی عناصر فوق مبنایی را برای تولید و نمایش اشکال مورد نظر فراهم می‌کند. در مدل سه‌بعدی اشکال، خط‌الرأس بیانگر نمایش فضایی یک‌بعدی مکان منحنی‌ها در روی رویه‌ها، چندجمله‌ای مجهول بیانگر نمایش فضایی دوبعدی کلیه مکان‌های رویه‌ها، و محور تقارن میانی بیانگر حجمی اشکال و نمایش سه‌بعدی فضایی آن است.

حدود (مرز) یک شکل دوبعدی، محاط در یک منحنی بسته با دو قسمت محدب و مقعر است، این دو قسمت در جایی که خمیدگی به حد صفر می‌رسد از همدیگر متمایز هستند. همچنین در حدود (مرز) یک شکل، نقاط ویژه‌ای، در جایی که

مقدار تصاویر خطی موزائیکی، که به این شکل تهیه می‌گردند، به میزان جزئیات و نیازهای تحقیقی بستگی دارند و طبیعی است در مواردی نظیر این تحقیق، که طرح‌های رویه‌های مورد نیاز تنوع و پیچیدگی‌های فراوانی دارند و برای بازسازی آن‌ها توجه به جزئیات ضروری است، تعداد تصاویر موزائیکی نیز افزایش می‌یابد. به طور مثال، تعیین نقاط مورد نیاز در عکس‌های دیجیتالی رویه‌هایی مانند سطح دیوارها یا ستون‌های گچ‌بری شده که تنوع فراوان و جزئیات پیچیده‌ای دارند. با خصوصیات 2032×1536 پیکسل و در فریم‌های متعدد باعث آسان‌سازی اندازه‌گیری‌ها و تولید تصاویری با وضوح مورد نیاز شدند «ت ۱».

روش دیگری که در این تحقیق برای ثبت، تهیه تصاویر دوبعدی، و تهیه مدل سه‌بعدی به کار گرفته شد، استفاده از توان‌های نرم‌افزار «جی‌آی‌اس» بود که به همین منظور، نقاط مشخص شده کنترل با «جی‌پی‌اس» و با مختصات «یو تی ام» اندازه‌گیری شدند. برای تهیه یک تصویر موزائیکی رنگی از رویه‌های مورد نیاز با مختصات واقعی، هر دو نرم‌افزار «آرک‌ویو» و «ارداس» قابلیت تغییر تصاویر تهیه شده به تصاویر با سیستم مختصات را دارند. علاوه بر این نرم‌افزارهای مذکور، توانایی مقیاس‌بندی مورد نیاز، قابلیت‌هایی را، برای دوران تصاویر و بزرگ‌نمایی بخش‌های دلخواه تصاویر مورد نیاز در فرایند مدل‌سازی، دارند. در سیستم جی‌آی‌اس مذکور روش تبدیل نوع اول با سه یا چهار نقطه کنترل بر روی تصاویر آغاز می‌شود و وقتی همه نقاط کنترل به سیستم مختصات مشابه تغییر یافتند، در این حال می‌توان تصاویر مختلف را در یک مدل سه‌بعدی موزائیکی و یا به دلخواه در یک پلان دوبعدی در همدیگر ادغام کرد. مزیت این روش، علاوه بر قابلیت تکنیکی آن، در این است که می‌توان به طور هم‌زمان کلیه ترسیم‌های مورد نیاز (نقطه و خط) را در پنجره‌های مستقل باز و مجدداً ویرایش کرد.^{۱۳}

13. M. Forte et al, «3D Visual Information and GIS Technology for Documentation of Paintings in the M Sepulcher in the Vatican Necropolis», pp. 25- 31.

14. F. F. Leymarie, «Thoughts on Shape, in Visual Thought: The Depictive», pp. 303- 350.

$$(X - X_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 - R = 0$$

معادله کره‌ای است با شعاع R که مرکز آن $x=X_0, y=Y_0, z=Z_0$ است.

این نوع معادله در بازسازی اشکال کروی شکل، خط‌الرأس‌های برجسته، و اشکال استوانه‌ای شکل کاربرد فراوانی دارد.^{۱۷}

معادلات چندجمله‌ای مجهول، دارای دو کاربرد اساسی است: (۱) یک ابزار محاسبه و تخمین که، با استفاده از هندسه خطوط، شناخت، و محاسبه اشکال امکان‌پذیر می‌گردد؛ (۲) ابزاری برای جورچینی داده‌ها که، تکه‌های مجزا از همدیگر را با محاسبات هندسی برای تولید شکل نهایی در کنار همدیگر قرارمی‌دهد

در تحقیق حاضر، از معادلات مذکور برای تعیین و تغییر اشکال مورد نظر تحقیق استفاده شده است. به همین منظور، از طریق تشخیص و سنجش خمش‌های اصلی، برای یافتن موقعیت‌ها و خطوط تماس بین آن‌ها، سنجش و تخمین نقاط انجام شد. از نظر تکنیکی این نوع مدل‌سازی، که برای تولید اشکال سه‌بعدی انجام می‌گیرد، مراحل دارد.

ما در این تحقیق آن را از طریق ترکیب فرایندهای مورد نیاز (تهیه مدل‌های نقطه‌ای و خطی در اتوکد) و سپس با کمک مرحله هم‌پوشانی آن‌ها با معادلات هندسی انجام دادیم. در این فرایند پس از تشخیص و تعیین بعضی مشخصات رویه‌ها (مانند نقاط خمش، نقاط مماس، و غیره)، توزیع احتمالی و تصادفی نقاط را محاسبه و سپس محور تقارن میانی رویه مذکور را محاسبه و ترسیم کردیم.

مدل‌سازی حجمی با محور تقارن میانی

محور تقارن میانی نقاطی از مراکز دوایر محاطی است. ساختار نمایش هندسی این محور به نسبت تغییر شعاع دایره، برای نشان دادن بسیاری از اشکال کاربرد دارد. اشکال در مدل

انحناها یک حداکثر و یک حداقل دارند، قابل مشاهده‌اند. حداکثر و حداقل نقاط، قله‌های نقاط محدب و مقعر محسوب می‌گردند. بنا بر این نقاط نهایی محور تقارن میانی هر شکل، در واقع مرکز دایره تماس در روی قله نقطه محدب است.^{۱۴}

این فرایند در اشکال سه‌بعدی مقادری پیچیده‌تر است. حدود (مرز) اشکال سه‌بعدی برخلاف اشکال دوبعدی با سه قسمت مجزا از هم قابل تشخیص است: (۱) قسمت محدب که در آن هر دو انحناهای اصلی مثبتند؛ (۲) قسمتی که هر دو انحنا اصلی منفی هستند (مواردی که رویه کاملاً مقعر است)؛ و (۳) قسمت هذلولی شکل (زین‌مانند) که، یکی از انحناهای اصلی مثبت است و بقیه منفی. برخلاف اشکال دوبعدی که دو نقطه حداقل و حداکثر خمش دارند، در مدل سه‌بعدی، تجمعی از انحناهای خطی، در جاهایی که دو انحنا اصلی در برخورد با همدیگر یک حداکثر قله را در روی خط مربوط انحنا تشکیل می‌دهند، قابل تشخیص است. در این حال انحناهایی که کوچک‌تر هستند تشکیل نقاط حداقل ارتفاع را باعث می‌شوند. خط‌الرأس در قسمت‌های قله‌ای رویه، به موازات لبه‌های قله که به صورت چندوجهی هستند، کاملاً صاف، ولی به صورت خطی کاملاً برجسته و نمایان، بر روی رویه مشخص می‌شود، در حالی که خط‌الرأس در قسمت‌های مقعر یک رویه شبیه دره‌های دارای چین‌خوردگی به نمایش درمی‌آیند.^{۱۵}

معادله چندجمله‌ای‌های مجهول چندمتغیری: این معادله جبری زمینه‌ساز بسیار توانایی برای نمایش‌های منحنی‌ها و رویه‌های دوبعدی و سه‌بعدی است.^{۱۶} به طور مثال یک رویه چندجمله‌ای مجهول با درجه d^{th} ، مجموعه‌ای از صفرهای درجه d^{th} چندجمله‌ای معلوم است، به بیان دیگر مجموعه‌ای از نقاط (X, Y, Z) جایی که معادله چندجمله‌ای معلوم صفر است.

$$f(x, y, z) = \sum_{i+j+k \leq d} c_{ijk} x^i y^j z^k = 0$$

به طور مثال، مجموعه‌ای از نقاط (X, Y, Z) در تابع

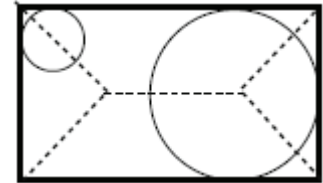
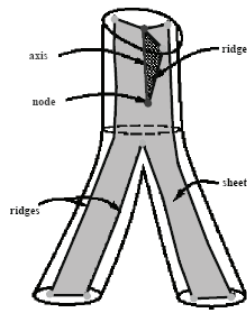
15. R. Cipolla et al, «Surface Geometry from Cusps of Apparent Contours», p. 858- 863.

۱۶. نک:

J. Bloomenthal et al, *Introduction to Implicit Surfaces*.

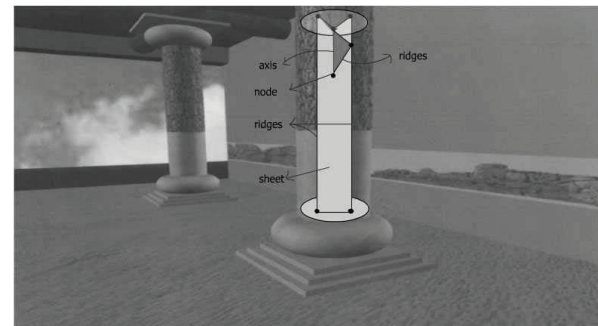
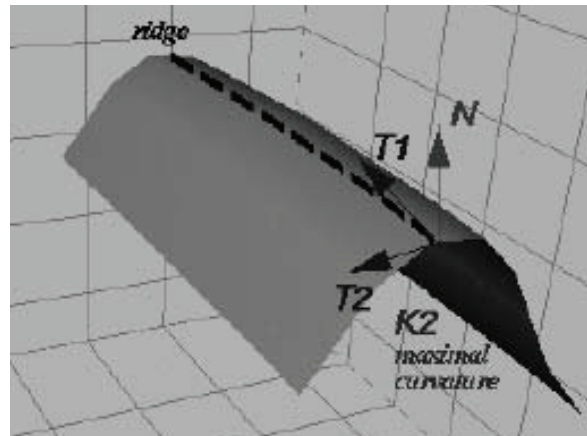
۱۷. نک:

C. Steckner, «Form and Fabric, the Real and the Virtual: Roman Economy-Relategeometrical Mass Constraints in Dressel's Table of Amphora Forms»
18. F. Leymarie and M. D. Levine, «Simulating the Grassfire Transform using an Active Contour Model», pp. 56- 75.



ت ۲. نمایش دو بعدی محور های تقارن: a محور تقارن مستطیل با دو دایره محاط در آن. b و c مثالی از دو نقطه تماس دو دایره، d تصویر سه بعدی از شکل، محور تقارن تشکیل یافته از نقاط، خط الرأس و صفحات محوری، e نمایشی از تصویر یک خط الرأس در یک رویه و f برازش مدل در یک ستون نیایشگاه (برای فرایند مدل

نک: Leymarie et al 2001



19. Leymarie et al, «Towards Surface Regularization via Medial Axis Transitions», pp. 123- 126

۲۰. نک:

Naeve, A & J. O. Eklundh. «Representing Generalized Cylinders, Proceedings of the First Europe_ China Workshop on Geometrical Modeling and Invariants for Computer Vision»; F. F. Leymarie and B. B. Kimia, «Discrete 3D Wave Propagation for Computing Morphological Operations from Surface Patches and Unorganized Points».

در مدل های سه بعدی (اشکال سه بعدی) محور تقارن محل دو نقطه تماس کره است. در اینجا نیز انتشار موج مذکور باعث سرایت آن به تمام نقاط محوری می شود. نقاط محور میانی با جریان های موج دسته بندی می شوند، به طوری که هر جریان موج در یک محدوده ای مربوط به خط الرأس و یا در یک انحنای به اتمام می رسد. محدوده های خط الرأس ها و انحنایها به صورت صفحه هایی مثلث شکل نمایش داده می شود. خطوط منحنی نیز در اینجا در نقاط خاص با همدیگر تلاقی می کنند «ت ۲». بدین ترتیب نمایش هندسی محور تقارن اتصال میان قرینه های هر قسمت از شکل مورد نظر را بیان می دارد.^{۲۰}

دو بعدی به صورت کاملی از محور تقارن میانی و رابطه آن با شعاع های مربوط مانند حلقه هایی به مرکزیت محور، قابل بازسازی هستند. با این حال، هنوز رابطه بین نمایش هندی و شکل به طور کامل مشخص نیست. چون ویژگی های نقاط تماس و نقاط خم از طریق دیفرانسیل هندسی محور تقارن میانی به دست می آیند و از طرف دیگر طبق محاسبات لی مایر و لوین نمایش هندسی محور تقارن مانند موجی است که، از حدود اولیه آن آغاز و منتشر می شود.^{۱۸} این موج سرعت و شتاب اولیه ای دارد و در جهت هر نقطه از محور تقارن جاری می شود. این جریان باعث تفکیک بسیار ظریف انشعاب های محور تقارن در نقاطی می گردد که، جریان موج در آنجا معکوس می شود. این موج به همراه خم و شتاب برای هر کدام از اتصال ها، توصیف کاملی از شکل دلخواه را به دست می دهد.^{۱۹}

بنا کمک فراوانی می‌کند، مدلی با وضوح بالا که، در آن نور، صحت رویه‌ها، تزیینات، و جزئیات سایر بافت‌ها به‌دقت تعیین شده‌اند.

نیایشگاه بندیان

در شمال غرب شهرستان درگز استان خراسان رضوی مجموعه ساختمانی‌هایی است، که از آن‌ها به نیایشگاه (آتشکده) یاد می‌شود و بقایای معماری از دوران ساسانی است و محل کاوش‌های باستان‌شناسی بوده است. ویرانه‌های بنای مذکور، که در سطح زمین به شکل تپه‌های باستانی مشخص بودند، لایه‌های فرهنگی از هزاره پنجم قبل از میلاد تا دوران ساسانی داشتند. کاوشگران سازمان میراث فرهنگی از سال ۱۳۷۳ تا ۱۳۷۸ آن را شناسایی و سپس به طور متناوب کاوش کردند. در اینجا به ویژگی‌های باستان‌شناختی آثار مذکور پرداخته نمی‌شود، ولی ذکر این نکته لازم است که، کشف این بنا علاوه بر افزایش اطلاعات تاریخی در خصوصیات مذهبی دوره ساسانی، در تکمیل اطلاعات معماری و هنری این دوره نیز اهمیت فراوانی داشته است.

تا کنون بناهای مذهبی فراوانی از دوره ساسانیان در مناطق مختلف ایران، به‌خصوص در بخش‌های استان فارس و خوزستان کشف و ویژگی‌های آن‌ها نیز مطالعه شده‌اند. نیایشگاه بندیان از نظر تکنیک معماری، نوع پلان و تزیینات نسبتاً با آثار دیگر تفاوت‌های اساسی دارد و احتمالاً به یکی از حکمرانان محلی ساسانی در خراسان تعلق داشته است.

ابعاد نیایشگاه حدود ۲۱×۲۰ متر و جهت بنا نسبت به شمال ۴۰ درجه انحراف دارد. مصالح ساختمانی غالب بنا از نوع چینه است و در بعضی مکان‌ها از خشت‌های مخصوص ساسانی با ابعاد ۱۰×۴۰×۴۰ سانتی‌متر نیز استفاده شده است. روی چینه‌ها را با کاهگل پوشانده‌اند و تزیینات ویژه این بنا، یعنی گچ‌بری‌ها،

در موقع بازسازی سه‌بعدی بنای مورد مطالعه این تحقیق، هدف اصلی این بود که بتوان فهمید که چگونه می‌توان تکنیک نمایش هندسی محور تقارنی میانی را در بازسازی سه‌بعدی از اشکال باستان‌شناختی به کار برد. آن‌گونه که گفته شد، انطباق محوری منحنی‌ها نشان داد این تکنیک برای برطرف کردن مشکلات عملی به هم چسباندن قطعات مختلف اشکال مورد نظر کارایی بسیار خوبی دارد.

مرحله سوم، موقعیت‌دهی گرافیکی و ساخت مدل سه‌بعدی

این مرحله خود شامل فعالیت‌هایی نظیر پردازش‌های گرافیکی و تولید مدل سه‌بعدی است و بر اساس محاسبات قبلی و تبدیل آن‌ها به زبان‌های تصویری رایج صورت می‌گیرد. یکی از رایج‌ترین زبان‌های تصویری یا فرمت نمایش مجازی، محیط «تری‌دی ماکس» است که، پذیرش انتقال داده‌هایی با فرمت داده‌هایی نظیر «اتو کد» و «جی‌آی‌اس» را دارد. نتایج ذیل از این انتقال حاصل شدند: (۱) انتقال مدل‌های «کد» و «تری‌دی ماکس» باعث ایجاد فایل‌های واکنش‌پذیر شدند که به راحتی قابل استفاده در وب هستند. (۲) کدهای اصلی عملیاتی قابلیت برگشت‌پذیری و ارزیابی دارند. کدهای مذکور که برای طراحی رویه‌های گوناگون طراحی شدند، نام‌گذاری شده‌اند و هر کدام از آن‌ها نشانگر اجزایی از ساختار معماری هستند. به طوری که بازشناسی اجزای معماری مانند، ستون، دیوار، نقوش، و غیره به راحتی از همدیگر تفکیک‌پذیر هستند و قابلیت عملیات دوباره را دارند. (۳) مدل مجازی تهیه‌شده با دستورالعمل‌ها و کدهای ویژه این امکان را ایجاد کرد که بتوانیم در هر مرحله از آنالیز تغییرات مورد نظر را در آن ایجاد کنیم. نتایج سه مرحله از فرایند عملیاتی، که به آن‌ها اشاره شد، در یک پروژه منجر به بازسازی و تولید یک مدل مجازی سه‌بعدی از ساختار بنای نیایشگاه بندیان دوره ساسانی شد. این بازسازی در فهم ساختار معماری

و ارتفاع ورودی‌ها ۱/۸۰ محاسبه شده است. همان طور که قبلاً ذکر شده ارتفاع به دست آمده از دیوارهای این بنا حدود یک متر است و شواهدی دال بر وجود پنجره در این بنا به چشم نمی‌خورد^{۲۳}، ولی به دلیل اینکه فقدان پنجره در این اتاق آن را بسیار تاریک می‌کرد، در دیوار پنجره‌ای تعبیه شده، فرم پنجره، از پنجره‌هایی با طاق‌های شانسه‌ای که هوف در بازسازی بنایی چون فیروزآباد استفاده کرده بود،^{۲۴} الهام گرفته شده.

۳. راهرو (C)

این قسمت، همانند راهرویی، تالار ستون‌دار را به آتشکده متصل می‌کند. تنها ویژگی این راهرو سکوهایی در کنار دیوارهای آن است. بر اساس توضیحات حفار، این سکوها در دورتادور راهرو مورد نظر با ارتفاع حدود ۵۵ سانتیمتر قرار داشتند. وجود سکو در قسمت جنوبی، سر راه ورودی به ایوان F، کمی نامأنوس به نظر می‌رسید؛ به همین دلیل تنها سکوهایی بخش شمالی، غربی، و شرقی راهرو بازسازی شدند.

۴. اتاق (H)

اتاق طولی در سمت شرق ایوان است. حفار احتمال می‌دهد که این مکان محلی برای استراحت موبدان، قبل یا بعد از انجام مراسم است.^{۲۵} در نقشه حفار این بنا، این اتاق در قسمت جنوب فاقد دیوار است. البته احتمال دارد در این مکان اتاق احداث شده باشد. ولی با توجه به اظهارات حفار، شواهدی دال بر وجود تاق پیدا نشده است. در مشابیه‌سازی فرضی، این قسمت همانند دیوار تالار ستون‌دار، نشان داده شده است.

۵. آتشکده

در غرب تالار ستون‌دار و راهرو C آتشکده کوچکی قرار دارد. بنا به اظهارات حفار، این آتشکده یک بنای چهارطاقی بوده است.^{۲۶} نقشه حفار یک چهارطاقی ناقص را نشان می‌دهد که، ایجاد

را بر روی کاهگل اجرا کرده‌اند. کف‌سازی بنا از نوع گچ نیم‌کوب و نخاله به ضخامت ۷ تا ۱۰ سانتی‌متر است.

بنای نیایشگاه متشکل از سازه‌هایی است که هر کدام نقش عملکردی ویژه‌ای در این بنا داشتند، و به صورت مجموعه‌ای، ساختمان نیایشگاه را تشکیل می‌دادند. در ذیل این سازه‌ها شرح داده می‌شود.

۱. تالار ستون‌دار نیایشگاه بندیان

تالار ستون‌دار با ابعاد ۱۰/۲۵×۴۵/۸، یکی از مهم‌ترین اجزای معماری این بنا به‌شمار می‌آید. این تالار در شرق مجموعه قرار دارد. ورودی اصلی و عمومی که سرتاسر عرض تالار را در جهت شرق در بر می‌گیرد، کاملاً باز است. سقف تالار بر روی چهار ستون گچی استوار بوده است. بر روی دیوارهای این تالار آثاری از گچ‌بری، با مضامین مختلف، باقی مانده است. ارتفاع باقی‌مانده از این تالار بیش از یک متر نبوده و کاوشگر این بنا با توجه به قطر ستون‌ها و متعلقات آن‌ها، ارتفاع این محل را چهار متر تخمین زده است، از آنجا که نظر به خصوصی در مورد ارتفاع کل ساختمان داده نشد،^{۲۱} و با توجه به ارتفاع ذکر شده در مورد تالار، ارتفاع دیوارهای کل ساختمان در این بازسازی چهار متر محاسبه شد. همان طور که گفته شد، ارتفاع باقی مانده از این بنا بیش از یک متر نبوده است. و از میزان ارتفاع ورودی‌های بنا اطلاعی در دست نیست. در موقع بازسازی با توجه به گفته‌های کاشف بنا مبنی بر اینکه، ارتفاع طاق‌های آتشکده حداکثر بیش از ۱/۸۰ متر نبوده است،^{۲۲} ارتفاع ورودی‌ها نیز به همین مقدار محاسبه شد. این پیش‌فرض در مورد ورودی‌های بنا نیز به کار گرفته شد.

۲. اتاق (B) یا محل نگهداری نذورات و مراسلات

این اتاق در قسمت غرب تالار ستون‌دار قرار دارد. ورودی تالار بر اساس شیوه معماری ساسانی با طاق هلالی نشان داده شده

۲۱. به نقل از آقای رهبر در گفتگوی حضوری.

۲۲. مهدی رهبر، «معرفی آذربان (نیایشگاه) مشکوفه دوره ساسانی در بندیان درگز و بررسی مشکلات معماری این بنا»، ص ۳۱۹.

۲۳. به نقل از آقای رهبر در گفتگوی حضوری.

۲۴. دیتیریش هوف، «فیروزآباد»، ص ۷۵-۱۱۷.

۲۵. رهبر، همان، ص ۳۳۱.

۲۶. رهبر، همان، ص ۳۱۸.

گنبد بر روی آن عملاً ممکن نبوده است. به همین دلیل برای اینکه این مجموعه مانند سایر آتشکده‌های ساسانی به صورت مربع کامل بازسازی شود، و ایجاد گنبد بر روی آن به آسانی صورت پذیرد، مجبور شدیم تغییرات کوچکی در آن ایجاد کنیم. باستان‌شناس کاوشگر این بنا با توجه به شواهد موجود، ارتفاع طاق‌ها را بین ۱/۶۰ متر تا ۱/۸۰ متر تخمین زده است. با توجه به اینکه ارتفاع ۱/۶۰ برای افرادی با قد متوسط کوتاه است، به همین دلیل ارتفاع طاق‌ها را ۱/۸۰ متر در نظر گرفته شد. همان طور که قبلاً اشاره شد، اکثر طاق‌های دوره ساسانی به صورت نیم‌دایره ساخته شده‌اند. ولی در این ساختمان، چون ارتفاع قوس طاق نسبت به طول آن کم است، می‌توان گفت که شباهت زیادی با طاق‌های دوره ساسانی ندارد.

در اطراف دیوارها سکوهایی تعبیه شده است، محقق در گزارشات چاپ شده تنها به ارتفاع یکی از آن‌ها اشاره کرده و ابعاد تقریبی دیگر سکوها، طی مذاکرات حضوری معین شدند. به طور کلی، آتشکده‌های زمان ساسانی چهارطاقی‌های گنبددار بودند؛ و پلان این نیایشگاه نیز تا حدودی از این فرم تبعیت می‌کند. به منظور مشابه‌سازی فرضی گنبد چهارطاقی بندیان، سعی شد از شیوه گنبدزنی آتشکده فیروزآباد تقلید شود. در این بنا (فیروزآباد) گنبد، با استفاده از سه کنج‌های مخروطی، از هر کنج بالا آورده می‌شد تا دایره‌ای تشکیل شود، و از آن پس، خود دایره به تدریج بسته می‌شد، و روی اتاق چهارگوش قرار می‌گرفت.^{۲۷} این شیوه گنبدسازی در بناهایی چون تخت سلیمان و قصر شیرین نیز قابل مشاهده است. گنبد با توجه به فرم گنبد‌های دوره ساسانی، که اکثراً به فرم یک نیم‌کره بودند، با استفاده از نیم‌کره‌ای توخالی ایجاد شد و سپس بر روی گوشواره‌ها قرار گرفت. در گریو اکثر گنبد‌های ساسانی پنجره‌های کوچکی برای نورگیری هستند. در این گنبد نیز با توجه به گنبد فیروزآباد پنجره‌های کوچکی در دو ضلع شرقی و غربی گریو گنبد تعبیه شدند.

در میان آتشکده بندیان همچنین، یک آتشدان دیده می‌شود. آتشدان از سه قسمت تشکیل شده است. بخش زیرین به صورت سه پله مکعب‌شکل ساخته شده و ساقه آن نیز به شکل پرده جمع شده در آمده است. قسمت بالای آتشدان از سه مکعب که از پایین به بالا بزرگ‌تر می‌شوند ساخته شده است.^{۲۸} برای بازسازی این آتشدان یک حجم مطابق با ابعاد آتشدان ساخته شد. سپس برای برجستگی‌های روی آتشدان، یک نیمه‌استوانه تعریف گردید، این حجم با زاویه مناسب چرخش داده شده تا به درستی روی حجم اولیه قرار گیرد. تعداد این برجستگی‌ها بر روی بدنه آتشدان ۴۲ عدد است، که به همان نسبت نیز در بازسازی اعمال گردید. برای ایجاد فرورفتگی وسط آتشدان یک حجم مطابق با ابعاد آن ساخته شد و در محل مورد نظر قرار گرفت. سپس فرورفتگی مورد نظر ایجاد شد، پس از آن برای ایجاد حلقه دور این فرورفتگی یک دایره ایجاد و به صورت حجمی به یک استوانه تبدیل شد، بعد استوانه‌ای دیگر که قطر آن حدود دو سانتیمتر از اولی کوچک‌تر بود به همین ترتیب ایجاد شد و در وسط آن قرار گرفت. بعد از آن استوانه دومی از اولی کم شده تا یک حلقه حاصل آید و در انتها در محل مورد نظر نصب شد.

۶. اطاق استودان

سمت شمال آتشکده، با دری به اطاقی به مساحت ۲/۴۰ × ۵/۱۵ متر راه پیدا می‌کند. کاوشگر معتقد است این اطاق استودان بوده است.^{۲۹} عقیده عموم مردم بر این است که در دوره ساسانی، جسد مردگان را برای تجزیه و تلاشی به حیوانات و پرندگان وحشی وامی‌گذاشتند. و سپس فقط استخوان‌های باقی‌مانده را در طاقچه‌ها یا فرورفتگی‌هایی به نام استودان قرار می‌دادند، که در صخره‌ها ایجاد شده بود.^{۳۰}

با توجه به فقدان استخوان در داخل استودان‌ها^{۳۱} و حضور استودان در کنار آتشکده، به نظر می‌رسد جای تحقیق و تفحص

۲۷. هرمان، تجدید حیات هنر و تمدن در ایران باستان، ص ۹۳.

۲۸. رهبر، همان، ص ۳۱۹.

۲۹. رهبر، همان، ص ۳۲۰.

۳۰. ترومپلمن، «قبور و آیین تدفین در دوره ساسانی»، ص ۲۹.

۳۱. نک: رهبر، همان.

۳۲. نک: زهرا مرادی، حفاظت و مرمت آثار و تزیینات گچی نیایشگاه بندیان.

باید از طریق تجارب، مطالعات تطبیقی و نتایج تحقیقات تکمیل شوند. آنچه که در مورد نیایشگاه بندیان به چشم می‌خورد، فقدان اطلاعات در زمینه بخش‌هایی از سازه‌ها و عناصر وابسته به آن‌ها بود، که در اثر تخریب از بین رفته، و حفار باستان‌شناس، حتی با دقت فوق‌العاده، می‌توانست فقط بعضی از قسمت‌ها را، که نسبتاً سالم باقی مانده بودند، مشخص کند. این نوع مشکل، به‌خصوص در مورد در دسترس نبودن داده‌هایی که به نوعی در تأمین معادلات محاسباتی نقش کلیدی دارند، کاملاً محسوس است. آنچه در این تحقیق با توجه به موانع مذکور انجام شد در قدم اول، تأمین اطلاعات زمینه‌ای نسبت به کلیه آثار معماری مذهبی و غیر مذهبی ساسانی بود که، اطلاعات مربوط به آن‌ها به صورت پراکنده در منابع باستان‌شناسی هست. در مطالعات تطبیقی این تحقیق، بیشترین تأکید بر داده‌های کاخ‌های فیروزآباد، کاخ سروستان، آثار قلعه‌دختر، کاخ خسرو و شیرین، بیشابور، آثار چهارطاقی‌های کازرون، تخت سلیمان، ایوان کسری، و چهارطاقی نیاسر مبتنی بوده است. به طور خلاصه آنچه در تکمیل اطلاعات حفاری از روش مطالعه تطبیقی حاصل شد و از آن‌ها در مدل‌سازی مجازی استفاده شد شرح می‌شود:

(الف) اندازه‌گیری ارتفاع عناصر معماری مثل دیوارها، ارتفاع سقف، و ارتفاع ورودی‌ها به دلیل فرو ریختن عناصر مذکور با ابهام‌هایی روبه‌رو بود، به طوری که، در تالار ستون‌دار برای ارتفاع ورودی‌ها ارتفاعی ذکر نشده بود. در بازسازی مجازی این بنا، ارتفاع ۱۸۰ سانتی‌متری ورودی‌ها را از قیاس تطبیقی ارتفاع طاق‌ها، نسبت ارتفاع ورودی‌ها به ارتفاع خود ساختمان و بر اساس شواهد مکتوب از سایر آثار ساسانی استنتاج و به کار گرفته شد.

(ب) در اتاق B (محل نگه‌داری نذورات) از ارتفاع دیواره‌های آن بیش از یک متر باقی نمانده است و به نظر می‌رسید دیوارها با هر ارتفاعی باید محلی برای نورگیری از خارج داشته باشند، وگرنه فضای داخلی اتاق کاملاً تاریک خواهد بود. در بازسازی،

بیشتری در این زمینه باشد. مشابه‌سازی این استودان‌ها همانند آتشدان، با استفاده از طرح‌های بازسازی،^{۳۲} انجام گردید.

۷. فضای مدور (برش‌نوم‌گاه)

در جنوب راهرو C، درب کوچکی است، که احتمالاً ورودی اختصاصی آتشدان بوده، و به ایوان F مربوط می‌شود.^{۳۳} سمت غرب ایوان درگاهی به عرض ۹۰ سانتیمتر، ایوان را به فضای دایره‌شکل با قطر ۵/۳۰ متر مرتبط می‌کند.^{۳۴} رهبر، عنوان برش‌نوم‌گاه^{۳۵} را به این فضا اطلاق می‌کند. همچنین ذکر می‌کند که با توجه به کاربرد این محل، به احتمال زیاد این قسمت فاقد سقف بوده است.^{۳۶} برای ایجاد فضای مزبور ابتدا یک مکعب ساخته شد و سپس استوانه‌ای با قطر ۵/۳۰ متر ایجاد گردید. پس از اینکه این حجم در قسمت مورد نظر قرار گرفت، استوانه از مکعب کم شد و فضای مدور برش‌نوم‌گاه ایجاد گردید. با توجه به اظهارات باستان‌شناس حفار در قسمت‌های خارجی این بنا، آثار تزیینی مانند طاق‌نما، که از اختصاصات هنر معماری عصر ساسانی است، به دست نیامده است. با توجه به شناخت از تزیینات بناهای ساسانی و با توجه به تزیینات پله‌ای‌شکل بر روی بام اکثر بناهای عصر ساسانی، مانند فرم بازسازی‌های منار شهر گور، تخت سلیمان، ایوان کسری، فیروزآباد، سروستان، و غیره، در بازسازی نمای خارجی بندیان از این روش، با ساده‌ترین شکل، و بدون هرگونه تزیین اضافه، استفاده شده، ولی ابعاد اشکال هندسی پله‌ای‌شکل، بر اساس ابعاد خود بنا محاسبه و حجم‌پردازی شد.

ذکر این نکته در اینجا حایز اهمیت است که، اغلب در بازسازی‌های تجسمی و مجازی از مدارک و بقایای باستان‌شناختی، مقدار عمده‌ای از اطلاعات مفقود و باعث تولید اشکال در عملیات بازسازی مجازی می‌شوند. داده‌های باستان‌شناختی طوری هستند که ممکن است فقط قسمت‌هایی از اطلاعات مورد نیاز را فراهم کنند و بقیه قسمت‌های دیگر

۳۳. در قسمت ورودی راهرو C به ایوان F یک ایراد بود. بدین صورت که، در بخش غربی دیوارهایی بود، که کاملاً کاوش شده بودند، ولی در شرق هیچ دیواری نبود تا بتوان یک ورودی احداث کرد. بنا بر این، با توجه به توضیحات حفار در خصوص کشف یک اتاق کوچک در ایوان F در سال ۱۳۷۹، این اتاق ایجاد شد تا کار ادامه پیدا کند، ولی در نمایش بنا این قسمت به دلیل اینکه حفار تا آن زمان گزارش فصل فوق را چاپ نکرده بود نشان داده نشد.

۳۴. رهبر، همان، ص ۳۲۱.

۳۵. طبق سنت زرتشتی اشخاصی که جسد را حمل می‌کنند (نسوکشان) و یا زنان حائض (دشتان) تا زمانی که غسل «نه شبه» یا «برش‌نوم» را طی مراسمی انجام ندهند، باید جدا از خانواده و دیگر افراد، در خانه‌ای نزدیک آتشدان به سر برند. تطهیر دشتان را موبد در مکان مدوری که سکوها سنگی دارد انجام می‌دهد. تطهیر با مخلوطی از گمیز گاو «ادرار گاو» (که ماده ضد عفونی کننده است) و آب انجام می‌شده است. در این صورت شستن تک‌تک اعضای بدن مطرح است. این مکان را «برش‌نوم‌گاه» می‌نامند (رهبر، همان، ص ۳۲۱).

۳۶. رهبر، همان، ص ۳۲۱.

۳۷. هوف، همان، ص .

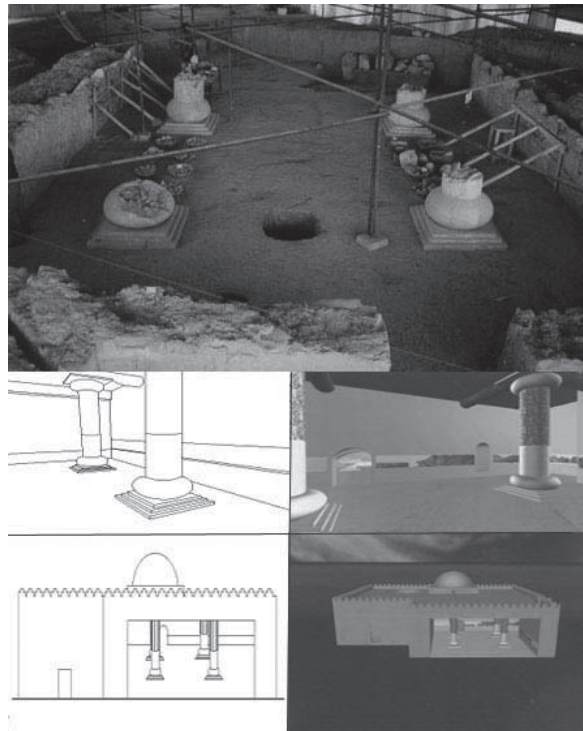
د) کاوشگران باستان‌شناس نیایشگاه، بعضی از آثار تزئینی داخلی بنا را مانند آثار گچ‌بری کشف کرده‌اند. ولی تخریب بنا به‌خصوص در سطوح خارجی به قدری است که، ویژگی‌های نمای خارجی بنا تا حدود زیادی محو شده‌اند. در تصویرسازی مجازی نمای خارجی، مجبور شدیم از مقایسه‌های تطبیقی این بنا با سایر بناهای دوره ساسانی استفاده کنیم. تزئینات پله‌ای شکل قسمت فوقانی بناهای ساسانی تقریباً یکی از اختصاصات هنری این دوره است، و در اکثر بناها مانند طاق کسری و کاخ سروستان قابل مشاهده است. ایجاد این‌گونه اشکال و اشکال مشابه در غالب فرم‌های مجازی احتیاج به محاسبات بسیار دقیق (همان‌گونه که در مرحله دوم توضیح داده شد)، و یافتن نظم هندسی موجود در اشکال مذکور دارد، که با استفاده از آن محاسبات قرینه‌های لازم به صورت دقیقی فراهم شد.

نتیجه

فرایندی که در این مقاله برای بازسازی سه‌بعدی و مجازی یکی از آثار بارزش تاریخی فرهنگی توصیف شد می‌تواند نتایج زیر را در بر داشته باشد:

۱. بیان یک روش مؤثر در مدل‌سازی هندسی سه‌بعدی از تصاویر سازه‌ها و رویه‌های مورد نیاز؛
۲. ایجاد روابط تحلیلی و تولید اطلاعات هندسی و تصویرسازی رایانه‌ای اطلاعات مذکور؛
۳. امکان‌سازی برای بازسازی و نمایش مجازی ساختارهای هندسی بزرگ (مانند بناها) و اجزای مربوط به آن‌ها و تولید شکل نهایی مورد نظر از ترکیب آثار تخریب شده شکسته باستان‌شناختی «ت ۳».

گرچه این روش در ظاهر کارآمد به نظر می‌رسد، ولی در ارتباط با مکانیزم‌های عملیاتی آن معضلات حل نشده‌ای



ت ۳. فرایند مدل‌سازی سه‌بعدی نیایشگاه بندیان.

پنجره‌های تعبیه‌شده در دیوارها، همان‌هایی است که در بازسازی کاخ فیروزآباد مورد توجه واقع شده‌اند.^{۳۷} (ج) از بنای معروف به آتشکده، که یک ساختمان چهارطاقی است، هیچ‌گونه آثار گنبد پیدا نشده است^{۳۸} و به نظر نمی‌رسد که ساختمان آتشکده از فرم‌های رایج گنبددار دوره ساسانی تبعیت نکرده باشد. بنا بر این در مشابه‌سازی سعی شد حتی‌المقدور از نوع فرم گنبدهایی مانند تخت سلیمان و قصر شیرین، که در آن‌ها ساخت گنبد با ایجاد سه‌کنج‌های مخروطی در پایه، و تبدیل مقاطع چهارضلعی به دایره در قسمت‌های بالاتر گنبد شکل می‌یافت،^{۳۹} استفاده شود. برای نورگیری فضای داخلی نیز پنجره‌هایی به رسم معمول معماری دوره ساسانی در گریو گنبدجاسازی شدند.

۳۸. رهبر، همان، ص؛ رهبر، «کاوش‌های باستان‌شناسی بندیان درگز»، ص ۹-۳۲.

Rahbar, «Decouvertedun Monument de Poque Sassanide d' Bandian, Dargaz (Nord Khorasan), Fouilles 1994 et 1995», pp. 215- 260.

۳۹. هرمان، همان، ص .

روش‌هایی که در این تحقیق ذکر شدند می‌توانند شالوده‌هایی را برای مطالعات مقایسه‌ای فراهم کنند. در این مقاله توان فناوری اطلاعات، «جی آی اس»، و مدل‌های تخمین، تعیین، و بازسازی اشکال، در مطالعات و بازسازی آثار باستان‌شناختی و معماری نیایشگاه ساسانی بندیان بیان شد. همه آن‌ها می‌توانند به صورت مساوی در برنامه‌های مرمتی و حفاظتی کاربرد داشته باشند.

منابع و مأخذ

- ترومپلن، لئو. «قبور و آیین تدفین در دوره ساسانی»، ترجمه مولود شادکام، *مجله باستان‌شناسی و تاریخ*، ش ۱۵ (۱۳۷۳)، ص ۲۹-۳۷.
- رهبر، مهدی. «کاوش‌های باستان‌شناسی بندیان درگز»، *گزارش‌های باستان‌شناسی*، ش ۱ (۱۳۷۶)، ص ۹-۳۲.
- _____ . «معرفی آدریان (نیایشگاه) مکشوفه دوره ساسانی در بندیان درگز و بررسی مشکلات معماری این بنا»، در باقر آیت‌الله‌زاده شیرازی، *مجموعه مقالات دومین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران*، ج ۲، ۱۳۷۸، ص ۳۱۵-۳۴۱.
- مرادی، زهرا. *حفاظت و مرمت آثار و تزیینات گچی نیایشگاه بندیان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد*، دانشگاه هنر اصفهان، ۱۳۷۶.
- هرمان، جورجینا. *تجدید حیات هنر و تمدن در ایران باستان*، ترجمه م. وحدتی، تهران: مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۷۳.
- هوف، دیتریش. ۱۳۶۶. «فیروزآباد»، ترجمه کرامت‌الله افسر، در: محمدیوسف کیانی (و...)، *شهرهای ایران*، ج ۲، تهران: جهاد دانشگاهی، ۱۳۶۶، ص ۷۵-۱۱۷.

Barcelo, J. A. «Visualizing What Might Be: An Introduction to Virtual Reality Techniques in Archaeology», in J. A. Barcelo & M. Forte & D. Sander (eds.), *Virtual Reality in Archaeology*. BAR int, 2000 Series 843, pp. 9- 35.

Bloomenthal J. & C. Bajaj & J. Blinn & M. P. Cani-Gascauel & B. Wyvill & G. Wyvill, *Introduction to Implicit Surfaces*, San Francisco, CA, USA: Morgan Kaufmann Pub, 1997.

Buzzanca, G. and E. Giorgi, «Come Usare AutoCad e Vivere Ugualmente Felici (L'Ennesimo Sistema per la Raccolta dei Dati Storico-Conservativi)», *Archeologia e Calcolatori*, 1996,

باقی مانده است. از جمله در رویه‌های نیمه‌مسطح، کروی و چندوجهی یک پیوستگی و تداوم در خطالرأس‌های آن‌ها هست که، تفکیک آن به‌سادگی امکان‌پذیر نیست.

مشکل دوم که، مانع عمده‌ای را در طراحی مدل سه‌بعدی ایجاد می‌کند، ارتباط با چگونگی تخمین شکل از طریق خطوط خطالرأس و محورهای تقارن دارد. به صورت سنتی در مدل‌های دوبعدی این کار از طریق ترکیب قله‌های اشکال چندوجهی امکان‌پذیر می‌شده است. شباهت‌سازی آن در مدل سه‌بعدی یک اشکال اساسی است. آن چیزی که در این تحقیق انجام شد تخمین نظری کلیه وجوه اشکال بر اساس خطوط و خطالرأسی مشخص، و همسانی (قرینه بودن) سطوح بود، این بینش اجازه می‌داد مدل رایانه‌ای با استفاده از مدل معادله چندجمله‌ای مجهول، که با خطالرأس‌ها محاط شده بودند، بتواند اشکال مورد نظر را در موقعیت مناسب محاسبه کند.

گرچه تحقیق مذکور هنوز در مراحل اولیه انجام است و هنوز می‌توان بر نتایج آن نقدهای فراوانی کرد. با این حال، این سیستم تکنیکی می‌تواند در چند حوزه کاملاً مشخص استفاده شود.

جایی که ثبت دقیق، سریع، کم‌هزینه، و مؤثر از مدارک باستان‌شناختی و یا آثار معماری و هنری مورد نیاز است؛ روش مذکور کاربرد و توان فوق‌العاده‌ای دارد. مدل‌های سه‌بعدی مجازی تهیه شده، نمایش و ارائه آثار مذکور را در ابعاد چندگانه فراهم می‌کند. این گونه مدل‌سازی، برنامه‌هایی را برای مرمت و حفاظت آثار فوق‌تأمین می‌کند. مهم‌تر از آن، در جایی که آثار فرهنگی در معرض خطرهای گوناگون مانند آسیب‌های طبیعی یا آسیب‌های انسانی نظیر جنگ‌ها قرار دارند، تهیه مدل‌های مجازی با تمام جزئیات از این گونه آثار می‌تواند منبع مناسبی برای باستان‌شناسی و بازسازی مجدد آن‌ها بعد از تخریب‌های احتمالی باشند.

- Patches and Unorganized Points», in J Goutsias & L Vincent & D. Bloomberg (eds.), *Math. Morphology and its Applications to Image and Signal Processing of Computational Imaging and Vision*, CA, USA: Kluwer Academic Palo Alto, v. 18 (2000), pp. 351– 360.
- Leymarie F. F. & D. B. Cooper & M. S. Joukowsky, & B. B. Kimia & D. H. Laidlaw & D. Mumford & E. L. Vote. «The SHAPE Lab, - New Technology and Software for Archaeologists», in *Computing Archaeology for Understanding the Past (CAA 2000)*, BAR International Series 931, Oxford, UK: Archaeopress, 2001, pp. 79-89.
- Leymarie, F. F. & B. B. Kimia & P. J. Giblin. «Towards Surface Regularization via Medial Axis Transitions», in 17th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'04), vol. 3, Cambridge, U.K., August 2004, pp. 123- 126.
- Naeve, A & J. O. Eklundh. «Representing Generalized Cylinders, Proceedings of the First Europe-China Workshop on Geometrical Modeling and Invariants for Computer Vision», in *Xi'an, China*, (April 27-29 1995), pp. 63-70.
- Rahbar, M. «Decouvertedun Monument de Poque Sassanide d' Bandian, Dargaz (Nord Khorasan), Fouilles 1994 et 1995», *Studia Iranica* 27, 1998, pp. 215- 260.
- Reilly, R. «Towards a virtual archaeology», in K. Lockyear and S. Rahtz (eds.), *Computer Application in Archaeology*. Oxford: BAR Int. Series 565, 1990, pp. 133-139.
- Steckner C. «Form and Fabric, the Real and the Virtual: Roman Economy-Relategeometrical Mass Constraints in Dressel's Table of Amphora Forms»,In J.A. Barcelo, M.Forte and D.H.Sanders, (eds.), *Virtual Reality in Archaeology*, BAR International Series 843 Oxford, (2000), pp. 121–128.
- v. 7 (1996), pp. 907- 916.
- Cipolla R. & G. Fletcher & P. Giblin. «Surface Geometry from Cusps of Apparent Contours», in *Proceedings of International Conference on Computer Vision (ICCV'95)*, IEEE Computer Society Press, 1995, pp. 858–863.
- Drap, P. Hartmann-Virnich A & P. Grussenmeyer . «Photogrammetric Ston by Stone Survey and Archaeological Knowledge. An Application on the Romanesque Priory Church Norte Dame D' Aleyrac (Province, France)». in F. Niccolucci (ed.), *Proceedings of the VAST Euroconference, Arezzo, November 2000*, 154-166.
- Forte, M. and R. Beltrami. «A Proposito di Virtual Archaeology: Disordini, Interazioni Cognitive e Virtualita, Atti del I Workshop Nazionale di Archaeologia Caoputazionale- Napoli-Firenze 1999», *Archeologia e Calcolatori* 11, 2000, pp. 273- 300.
- Forte, M. & S. Tilia & A. Bizzarro & A. Tillia. «3D Visual Information and GIS Technology for Documentation of Paintings in the M Sepulcher in the Vatican Necropolis», in Z. Stancic and T. Veljanovski (eds.), *Computing Archaeology for Understanding the Past*. Oxford, CAA 2000, 2001, pp. 25- 31.
- Gillings, M. «Engaging Place: a Framework for the Integration and Realization of Virtual-Reality Approaches in Archaeology», in *Archaeology in the Age of Internet*. CAA 97. BAR Int. Series 750, 1999, pp. 247- 254.
- Goodrick. G. and M. Gillings. «Constructs, Simulations and Hyperreal World: the Role of Virtual Reality (VR) in Archaeological Research», in G. Lock and K. Brown (eds.), *On the Archaeological Computing*. Oxford, 2000, pp. 41- 58.
- Leymarie F., M. D. Levine. «Simulating the Grassfire Transform using an Active Contour Model», *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, v. 14 (1992), pp. 56- 75.
- Leymarie, F. F. «Thoughts on Shape, in Visual Thought: The Depictive», in L. Albertazzi, (ed.), *Space of the Mind*. v. 67 of Advances in Consciousness Research series, Amsterdam: John Benjamins, 2006, pp. 303- 350.
- Leymarie F. F. & B. B. Kimia. «Discrete 3D Wave Propagation for Computing Morphological Operations from Surface