

## الگوریتم پیشنهادی برای مدل سازی آثار باستانی و میراث فرهنگی با استفاده از فتوگرامتری رقومی برد کوتاه

\* سید یوسف سجادی<sup>۱</sup>

۱- استادیار دانشکده نقشهبرداری دانشگاه تفرش

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۱۰ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۰

### چکیده

در کاربردهای مهندسی در شاخه‌های مختلف مانند نقشه‌برداری، عمران و همچنین در زمینه‌های باستان‌شناسی و معماری نیاز به در اختیار داشتن اطلاعات مکانی دقیق در مورد اهداف مطالعاتی و اجرایی وجود دارد. با به کارگیری تکنیک‌های فتوگرامتری رقومی برد کوتاه تولید اطلاعات مکانی با دقت‌های قابل قبولی در حدود ۴ میلی‌متر را دارند. با توجه به رقومی بودن روش‌ها و خروجی‌های تولید شده، می‌توان در فرم‌های مختلف به صورت مدل‌های سه‌بعدی، فایل‌های به فرمت نرم‌افزار اتوکد و حتی فایل‌های تصویری از این خروجی‌ها استفاده کرد. در سامانه‌های اطلاعات مکانی داده‌های مکانی از منابع مختلف و به فرمت‌های متنوع از جمله فرم‌های تصویری دریافت می‌گردد. یک محیط مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی با قابلیت نمایش تصاویر دقیق و قابل اندازه‌گیری برای استفاده در کاربردهای باستان‌شناسی و معماری خصوصاً در مورد ساختمنهای تاریخی و باستانی بسیار مناسب است. این مجموعه سیستم اطلاعات معماري/ باستان‌شناسی (A/AIS) نام‌گذاری شده است. ساختار این سیستم و دستورالعمل‌های تدوین شده در پروژه مدل‌سازی تندیس یادبود هانتر در دانشگاه گلاسکو کشور انگلستان اجرایی شده و موردنرسی قرار گرفته است.

کلید واژه‌ها : مدل سازی سه‌بعدی، فتوگرامتری رقومی، سامانه اطلاعات مکانی، اتوکد، (A / AIS)

\* نویسنده مکاتبه کننده: تفرش، ابتدای جاده تهران، دانشگاه تفرش، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری، کد پستی ۳۹۵۱۸-۷۹۶۱۱  
تلفن: ۰۹۱۲۶۹۴۱۲۹۰ - ۰۸۶۳۶۲۴۱۲۸۵

## ۱- مقدمه

مقاله حاضر، مطالعه و تحقیقی است برای امکان‌سنجی ایجاد یک سیستم اطلاعات باستان‌شناسی - معماری که به اختصار آن را (<sup>۱</sup>*A/AIS*) می‌نامیم. این سیستم مبتنی بر تلفیق فتوگرامتری رقومی، طراحی به کمک کامپیوتر (<sup>۲</sup>*CAD*) و سیستم اطلاعات مکانی (<sup>۳</sup>*GIS*) است. در نگاه اولیه، تمرکز این سیستم بر روی ساختمان‌هایی است که از نظر معماری، هنر محسوب گشته و میراث فرهنگی می‌باشند. اما در نگاه ثانویه، باید دانست که اشیاء مختلف دنیای واقعی مانند اتومبیل، پل‌ها، انواع سازه‌ها، قطعات مکانیکی، اندام‌های انسان و بسیاری از اجسام دیگر نیز با توجه به فرآگیر بودن سیستم پیشنهادی، می‌توانند مورد توصیف و تجزیه تحلیل واقع شوند. نویسنده بر اساس پژوهش‌های متعددی که انجام داده، معتقد است که علاوه بر مستندنگاری و مدل‌سازی اجسام و آثار باستانی، این سیستم قادر است ضمن تهیه مدل از اجسام، آن‌ها را پیشاپیش از خطراتی که در کمین آن‌ها می‌باشند، ولی هنوز مشهود نیستند مطلع کند. به عنوان نمونه اگر از این سیستم توسط پزشکان با تجربه استفاده شود، می‌توان با توجه به بررسی تغییراتی که در سلول‌های اندام‌های انسان رخ می‌دهد و با بهره‌گیری از یک سیستم هوشمند که به این تغییرات حساس است، از وجود بیماری (به خصوص انواع سرطان‌ها) مطلع شده و سپس از پیشرفت بیماری جلوگیری نمود. فرآگیر بودن سیستم پیشنهادی در قالب "پژوهش بیشتر و تحقیقات پیشنهادی" در انتهای این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. به طور کلی سیستم پیشنهادی (<sup>۱</sup>*A/AIS*) نشان داده شده است، می‌تواند با بهره‌گیری از علم ژئوماتیک کمک‌های فراوانی به بشریت بنماید.

<sup>۱</sup> Archaeological and Architectural System<sup>۲</sup> Computer Aided Design<sup>۳</sup> Geospatial Information System

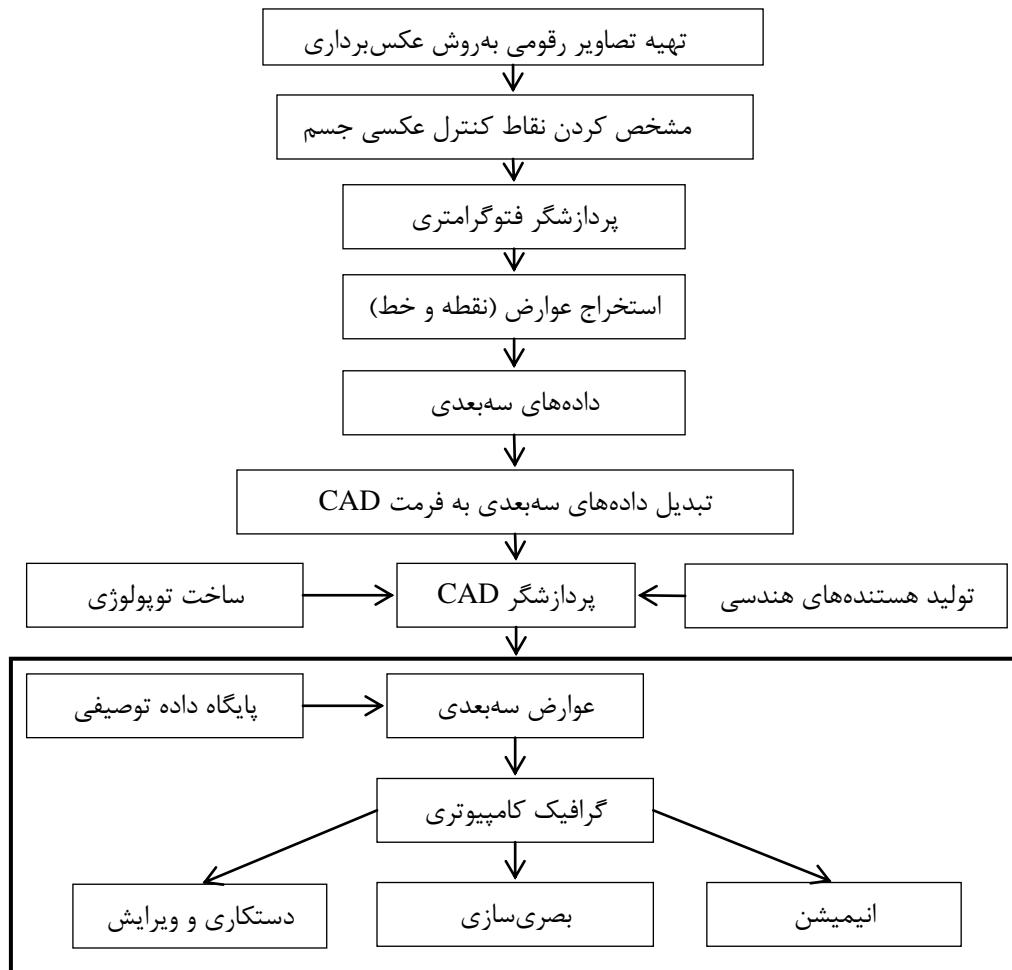
مشروط بر آنکه به دو هدف مشخص زیر، دست یابد؛

- ۱- ایجاد مدل‌های رقومی از اشیاء و اجسام باستانی و میراث فرهنگی که امکان تجزیه و تحلیل در محیط را داشته باشند؛
- ۲- تعیین محتوای داده‌های رقومی مورد نیاز برای این‌گونه مدل‌ها.

در این مقاله به ارائه تحقیق انجام‌شده در زمینه باستان‌شناسی و معماری می‌پردازیم. این روش در یک پروژه تحقیقاتی انجام‌شده است و در سال‌های اخیر مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این روش راه حلی مبتنی بر تکنولوژی و با به کارگیری روش فتوگرامتری رقومی برد کوتاه، انجام عکس‌برداری زمینی برد کوتاه و استفاده از نرم‌افزار اتوکد است. این روش که یک سیستم ذخیره‌سازی اطلاعات خروجی فتوگرامتری در سامانه اطلاعات مکانی است، نیازمندی‌های حوزه "باستان‌شناسی" را برآورده می‌نماید.

یکی از مزایای سیستم پیشنهادی این است که می‌توان جزئیاتی از اینهایی از مدل شده و قابل دسترسی برای اندازه‌گیری مستقیم (روش سنتی) نیست را سنجش و بررسی نمود. به بیان دیگر، این تکنیک قادر است محدودیت‌های موجود در مدل کردن اجسامی که قسمتی از آن‌ها قابل اندازه‌گیری مستقیم نیستند را برطرف سازد. این روش در پروژه نمونه انجام شده در مورد بنای یادبود هانتر<sup>۴</sup> منجر به نتایج موفقیت‌آمیزی شده است.

<sup>۴</sup> Hunter Memorial



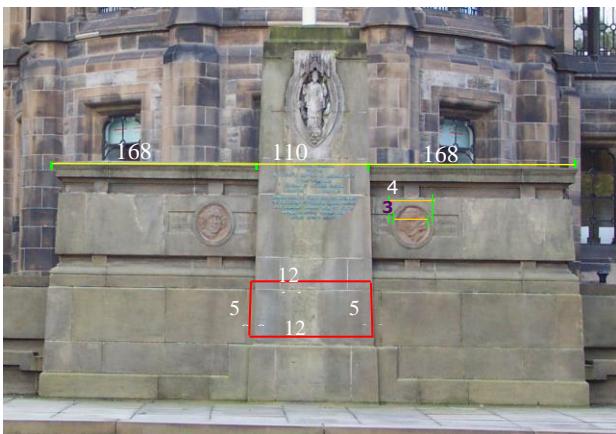
شکل ۱: الگوریتم پیشنهادی برای سیستم باستان‌شناسی / معماری (A/AIS)

می‌تواند مبنای احیای آثار باستانی قرار گیرد. یکی از مزایای بدیل و غیرقابل مقایسه این تکنیک مدرن نسبت به روش‌های جاری این است که می‌توان مدل‌های تهیه شده از یک بنا در زمانه‌ای گوناگون را به کمک یک سیستم هوشمند مقایسه نموده و از حادثه‌ی که در شرف تکوین بوده و با چشم معمولی قابل روئیت نیست ولی می‌رود تا موجبات آسیب‌رسانی بنا را فراهم کند مطلع شده، چاره‌جوئی کرد. از این تکنیک برای مستندگاری میراث فرهنگی و آثار باستانی نیز استفاده می‌شود.

## ۲- بررسی پروژه مدل سازی به کمک فتوگرامتری رقومی

تصاویر عکسبرداری شده با دوربین‌های رقومی، با تکنیک فتوگرامتری و پس از اعمال تصحیحات لازم، تبدیل به مدل سه‌بعدی می‌شود. با لحاظ کردن مقیاس، می‌توان تمام اجزاء اینیه واقعی را از مدل تشکیل شده استخراج کرده و سپس اطلاعات به دست آمده را در فضای اتوکد وارد نموده و به اهداف مورد نظر رسید. همچنین مدل تولید شده در موافقی که اینیه باستانی بر اثر آتش‌سوزی، زلزله و سایر حوادث طبیعی و غیرطبیعی آسیب جدی ببیند،

نواری از اجزای این بنا مورد نیاز است (نقشه‌برداری زمینی، بخش مهمی از هر پروژه از این نوع است). دقت به دست آمده با در نظر گرفتن دیگر فاصله‌های از ابعاد اثر، به طور قابل توجهی با دقت مورد انتظار مطابقت دارد (پیشنهاد ۰/۴ سانتیمتر برای جذر میانگین مرربع خطای می‌باشد، ولی مقدار به دست آمده ۰/۲۸ سانتیمتر است). شکل (۲) نیمرخ شمالی از یادبود هانتر را نشان می‌دهد که چند اندازه‌گیری با متر انوار به دلیل ذکر شده به این شکل افزوده شده است. مدل پرتره از برادران هانتر را می‌توان در نمای شمالی این بنای یادبود مشاهده کرد. ویلیام و جان هانتر نام خود را به عنوان آناتومیست ثبت کرده‌اند [۶].



شکل ۲: نمای شمالی از مجسمه یادبود هانتر با مقیاس ۱:۵۰

## ۱-۲- جمع‌آوری اطلاعات

در این پژوهش، برای به دست آوردن تصاویر با اطلاعات رقومی، از یک دوربین کدک (دی - سی ۴۸۰۰) استفاده شده است. دوربین کدک (دی - سی ۴۸۰۰) یک دوربین گران‌قیمت نیست، اما استفاده از این دوربین می‌تواند رزولوشن‌های مختلفی را برای تصاویر دیجیتالی ممکن سازد. شکل (۳) یک دوربین کدک (دی - سی ۴۸۰۰) را نشان می‌دهد. مشخصات این دوربین به شرح زیر است:

- ۱- رزولوشن ۳/۳ مگاپیکسلی با CCD برابر  $2160 \times 1440$  پیکسل

مدل‌سازی موفق یک اثر باستانی زمانی انجام می‌شود که امکان بازسازی شیء با استفاده از مدل وجود داشته باشد. استفاده از روش فتوگرامتری رقومی منجر به تولید مدلی می‌شود که در آن ویژگی‌های هندسی و تصویری (بافتی) ساختمان قابل بازیابی است. اطلاعات مرتبط شامل اطلاعات توصیفی عارضه با ایجاد ابرپیوند<sup>۱</sup> قابل اتصال به مدل تولید شده است.

در سیستم‌های کد (CAD) نظری اتوکد، امکان ترسیم و تولید مدل‌های سه‌بعدی در عین به کارگیری ساده وجود دارد و از این قابلیت می‌توان برای مدل‌سازی سه‌بعدی عوارض نیز استفاده کرد. این در حالی است که در سامانه‌های اطلاعات مکانی، به‌طور معمول، اطلاعات مکانی به صورت دوبعدی ذخیره می‌شوند. [۷]. اتوکد برای مقاصد معماری و باستان‌شناسی از دسترسی مستقیم به پایگاه داده پشتیبانی می‌کند. عناصر پایگاه داده می‌توانند با داده‌های گرافیکی مثل تصاویر رسترنی و اطلاعات متندی ترکیب شوند. خروجی نقاط رقومی می‌تواند به‌طور مستقیم در اتوکد وارد شود. با استفاده از فتوگرامتری رقومی برد کوتاه می‌توان ویژگی‌های معماری عارضه را مدل‌سازی کرد، این در حالی است که دیگر روش‌های مدل‌سازی اثر معماری، نیاز به اندازه، شکل و مکان ویژگی‌های از دست‌رفته آن دارد.

تحقيق انجام‌شده شامل ایجاد یک مدل قابل پردازش به‌وسیله اتوکد از بنای یادبود هانتر (شکل (۲)) واقع در ورودی درب دانشگاه گلاسکو است. این مجسمه در سال ۱۹۲۵ میلادی توسط G. H. Paulin (معمار) بنا (مجسمه‌ساز) با همکاری J. J. Burnet گردیده است. با استفاده از فتوگرامتری رقومی، بازسازی عناصر معماری در کامپیوتر و ذخیره سایر مشخصات مجسمه یادبود مذکور مقدور می‌گردد. همچنین برای ایجاد یک مدل دقیق برخی از اندازه‌گیری‌ها با متر

<sup>1</sup> Hyperlink

<sup>2</sup> Computer Aided Design

با توجه به تصاویر رقومی متعددی که از قسمت‌های مختلف شیء مورد نظر برداشت شده، تمام نقاط و ویژگی‌های شیء در دو یا چند عکس قابل مشاهده هستند. به همین دلیل موقعیت عکس‌برداری باید مورد توجه قرار گیرد و قبل از انجام عکس‌برداری، باید عکاسی و اندازه‌گیری‌ها را برنامه‌ریزی کرد. تعداد ۹ عکس دیجیتالی از پروژه یادبود هانتر اخذ و ذخیره شد. این تعداد نسبتاً کم تقریباً تمام ویژگی‌های معماری را که متقارن است، می‌پوشاند. تمام عکس‌ها با دست (بدون استفاده از سه‌پایه) گرفته شدند، اما محورهای دوربین تقریباً افقی و عمود بر روی بنای یادبود در همه جهات بود، مگر زمانی که عکس‌ها از منظر بالا و از درون پنجره ساختمان مجاور، از بنای یادبود، گرفته شد.

## ۲-۲- ورود اطلاعات

مدلسازی مجسمه یادبود هانتر با استفاده از برنامه فتومدلر انجام شد. داده‌های خروجی مدلسازی از نرم‌افزار فتومدلر در نرم‌افزار اتوکد وارد شده و پردازش‌های تکمیلی بر روی آن صورت پذیرفت این داده‌ها در نهایت برای ایجاد سیستم (A / AIS) مورد استفاده قرار گرفت. این روش به طور تعاملی، پایه و مبنای هندسی الگوریتم (A / AIS) را ایجاد می‌کند. شکل (۴) الگوریتم توسعه (A / AIS) برای تولید مدل سطحی سه بعدی به کمک نرم‌افزارهای اتوکد و فتومدلر را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که بسیاری از اشیاء که جنبه میراث فرهنگی دارند متقارن هستند و می‌توان روشی که برای یکنیمه به کار برد می‌شود، را برای بازسازی نیمه دیگر به کار برد. برای مثال، از انتهای قسمت غربی یک ساختمان، بخشی را انتخاب و با استفاده از سیستم‌هایی که اتوکد را پشتیبانی می‌کنند (به روش معکوس جانبی) بخش انتخابی را به انتهای قسمت شرقی همان ساختمان کپی نمود.

- ۱- صفحه‌نمایش ۱/۸ اینچی LCD و منظره یاب تصویر واقعی
- ۲- زوم ۳ برابر، لنز ۶/۸ تا ۱۸ میلی‌متر (معادل ۲۸ تا ۸۴ میلی‌متر بر روی دوربین ۳۵ میلی‌متری)
- ۳- زوم دو برابری دیجیتالی با سرعت شاتر از ۱۶ تا یک هزارم ثانیه
- ۴- گرینه‌های دیافراگم‌های f / 2.8 ، f / 5.6 و f / 8
- ۵- گرفتن عکس با فرمت جی پی جی<sup>۱</sup>
- ۶- فرمت‌های فایل تیف<sup>۲</sup> بدون فشردگی

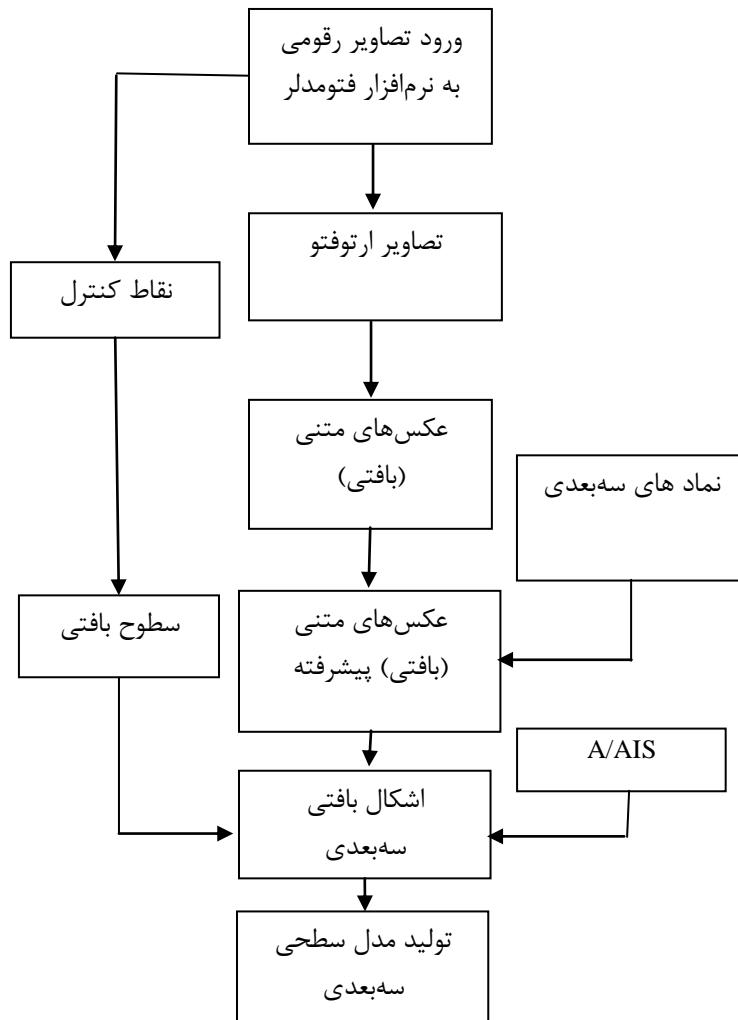


شکل ۳: دوربین دیجیتالی کداک (دی - سی ۴۸۰۰) را نشان می‌دهد

در این پروژه، فتوگرامتری رقومی برد کوتاه با هدف تولید مدل‌های سه‌بعدی مورد نیاز در مستندگاری و طراحی کامپیوتری در یک سیستم (A / AIS) به کار گرفته شده است. همچنین از عکس‌برداری برای مستندگاری از رویه‌های بنای یادبود استفاده شد تا معماران را به درستی برای شناسایی نیازهای حفاظت از بنای یاد شده هدایت کند. این کار با عکس‌برداری با مقیاس تقریبی ۱:۵۰ برای تمام ویژگی‌های مورد نظر معماری و به صورت یکپارچه از تمام سنگ یادبود، مصالح پرتره، ستون‌ها، کتیبه‌ها، نوشته‌ها و غیره از جمله آسیب قابل مشاهده روی یادبود، انجام شد. به عنوان مثال سنگ‌های ترک‌خورده و اشیاع ملات بخشی از این آسیب‌ها هستند. عکاسی به وسیله دوربین یادشده که در اطراف شیء مورد نظر مستقر شده بود، انجام شد.

<sup>1</sup> JPG

<sup>2</sup> TIFF



شکل ۴: الگوریتم توسعه (A / AIS) برای تولید مدل سطحی سه‌بعدی به کمک نرمافزارهای اتوکد و فتومدلر را نشان می‌دهد

که انسان کنترل کننده کیفیت و مدیریت ویرایش آن است، الزامات مدل‌سازی اشیاء زمینی با توجه به افزایش استفاده از فرآیندهای خودکار به منظور مدل‌سازی سطحی قابل اندازه‌گیری، به ابزارهایی برای تعیین خواص غیر هندسی (تصویفی) اشاره دارد که به عنوان مثال، گرافیک و پردازش‌های کامپیوتری را می‌توان نام برد. گرافیک کامپیوتری قادر است تا تصاویر را از توصیف‌های مدل و بصری‌سازی کامپیوتری با فرایند معکوس محاسبه می‌کند (مدل‌سازی شیء از تصاویر)، به عنوان مثال، هنگام ارائه نتایج یک فرآیند فتوگرامتری و یا ارائه داده‌های مدل رقومی زمین،

### ۲-۳- پردازش اطلاعات و تصاویر

در گذشته نزدیک، اندازه‌گیری دستی و سنتی برای چاپ عکس‌های اخذشده روی سطح شفاف مورد استفاده قرار می‌گرفته است. پردازش سه‌بعدی عکس، با استفاده از روش‌های آنالوگ بسیار آهسته است و قابلیت استخراج اطلاعات کمی داشته و دارای کاربرد محدودی است که دوباره نمی‌تواند موردنبررسی قرار گیرد. علاوه برآن، این روش بسیار وقت‌گیربوده و نیاز به حضور شخص متخصص دارد. در انتقال از روش سنتی به سیستم‌های خودکار و کامپیوتری برای ایجاد مدل سه‌بعدی از سطوح اجسام

که مکان نقاط و لبه‌ها را در فضای سه‌بعدی تعیین می‌کنند.

پس از مشخص کردن و علامت‌گذاری حداقل سه زوج نقطه (نقاط نظری در تصاویر همپوشان) به‌وسیله مکان‌نما (کرسر) و به صورت دستی، سه نقطه، تولید شش معادله نموده و در نتیجه برای حل وضعیت دوربین<sup>۲</sup>، به اندازه کافی اطلاعات کسب شده و شناسایی مابقی نقاط به صورت خودکار انجام می‌شود. سپس تبدیل هر نقطه به فضای تصویر انجام می‌شود و نزدیک‌ترین هدف در تصویر به عنوان نقطه مربوطه انتخاب می‌شود. مقدار زمان پردازش بستگی به تعداد عکس‌ها و تعداد نقاط مشخص شده دارد. چهار عدد از بهترین عکس‌ها برای ایجاد مدل سه‌بعدی در این پروژه انتخاب شده است. طبق دستورالعمل نرم‌افزار فتمدلر، انتخاب بیش از چهار عکس جهت کسب نتیجه خوب در زمان معقول پیشنهاد نشده است [۴]. شکل (۵) چهار عکس انتخابی برای پردازش توسط نرم‌افزار فتمدلر در یک تنظیم را نشان می‌دهد.

یک روش برای حصول اطمینان از صحت یک پروژه، استفاده از "بررسی فاصله‌ها" می‌باشد. برای بررسی فاصله‌ها، مقادیر به دست آمده از اندازه‌گیری چندین فاصله به دست آمده از نرم‌افزار فتمدلر با یکدیگر مقایسه می‌شود. در این پروژه، از متر نواری برای "اندازه‌گیری فاصله استفاده شد. نتایج "بررسی فاصله‌ها" در جدول (۱) آمده است. کیفیت و دقیقت اندازه‌گیری مقادیر  $x$  و  $y$  یا  $z$  به همان اندازه فاصله‌ها مربوط می‌شود. سپس فرض می‌کنیم که خطای متوسط ریشه در این جدول، دارای یک مقدار عددی به عنوان انحراف استاندارد است و خطای  $x$  و  $y$  یکسان است. مطابق تئوری خطاهای (انتشار واریانس)، خطای مختصات استاندارد  $\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = 0.28cm$  را ارائه می‌دهد که مطابق با دقیقت مورد نیاز  $41\%$  سانتی‌متر است.

اگر این فرآیندها در نزدیکی نرم‌افزار در دسترس باشند، یک مدل کامپیوتی می‌تواند به سرعت تولید و اطمینان حاصل شود که داده‌های کافی جمع‌آوری شده است. پردازش تصاویر با برنامه فتمدلر به دست آمده است و ایجاد مدل‌های سه‌بعدی با اتصال نقاط سه‌بعدی، لبه‌ها، منحنی‌ها آغاز می‌شود. هشت مرحله در ایجاد یک مدل سه‌بعدی با این برنامه به شرح زیر وجود دارد:

- ایجاد یک گزارش از کالیبراسیون دوربین،
- برنامه‌ریزی کردن برای اندازه‌گیری‌های لازم از جسم مورد نظر،
- گرفتن عکس‌های کافی از تمام وجههای جسم مورد نظر،
- ورود عکس‌های گرفته شده به برنامه فتمدلر،
- علامت‌گذاری کردن اشکال مورد نظر روی عکس‌های گرفته شده (این اشکال بعداً نقاط سه‌بعدی؛ کنترل، گرهای ویژه خواهند بود)،
- پیوند دادن نقاط سه‌بعدی متناظر در عکس‌های مختلف،
- پردازش داده‌ها،
- استخراج نقاط سه‌بعدی برای ورود به برنامه مدل‌سازی.

همان‌طور که توضیح داده شد، هر پردازش با کالیبراسیون دوربین شروع می‌شود. در پروژه مجسمه یادبود هانتر از یک کالیبراسیون تقریبی برای دوربین دیجیتالی کدک (دی - سی ۴۸۰۰) استفاده شد. بعد از کالیبراسیون دوربین، مکان‌های متناظر در هر عکس مشخص گردید. هنگامی که یک نقطه یا یک خط در چندین تصویر شناسایی می‌شود، باید اطمینان داشت که این دقیقاً همان نقطه یا خط است. در مستندسازی، یک فرایند به نام ارجاع<sup>۱</sup> نقاط متناظر تصاویر همپوشان را مشخص می‌کند. فتمدلر از عکس‌های مشخص شده برای ایجاد مدل‌های سه‌بعدی با استفاده از یک فرایند تکراری تعاملی استفاده می‌کند

<sup>2</sup> Camera Orientation

<sup>1</sup> Referencing



شکل ۵: چهار عکس انتخابی برای پردازش پروژه مجسمه یادبود هانتر

### ۳- اهمیت گرافیک کامپیوترویی در مدل‌سازی اجسام

گرافیک کامپیوترویی برای مدل‌سازی اجسام، به سه جزء متفاوت نیاز دارد که عبارت‌اند از: داده‌ها، الگوریتم‌ها و ساختار. در مدل‌سازی دیجیتالی اجسام، تصاویر رقومی که به عنوان اطلاعات ورودی به کار می‌روند را می‌توان با دوربین‌های حساس (سنسرور مبنا) یا دوربین‌های فیلم‌برداری دیجیتالی به دست آورد. پس از ورود اطلاعات رقومی، الگوریتم‌ها نشان می‌دهند که چگونه باید داده‌ها دستکاری شوند. برای مثال، برای ایجاد یک مدل سطحی سه‌بعدی رقومی از عکس‌های اخذشده از یک شیء باستانی، نرمافزاری مورد نیاز است که با استفاده از الگوریتم مجری قوانین فتوگرامتری، داده‌های سه‌بعدی را از مجموعه داده‌های ورودی دو بعدی تولید کند. برای دستیابی به این هدف باید فرایند از مقادیر تقریبی شروع گردیده و با تکرار عملیات به دقت مورد نظر رسید.

الگوریتم‌های مورد استفاده برای استخراج ویژگی، با مقادیر تقریبی آغاز شده و پردازش برای پیدا کردن

جدول ۱: بررسی فاصله‌ها را در پروژه یادبود هانتر

زمین (میلی‌متر)	مدل (میلی‌متر)	مغایرت (میلی‌متر)
۳۷۱۵	۳۷۰۸	۷
۱۴۱۵	۱۴۲۱	۶
۸۳۵	۸۳۱	۵
۹۳۵	۹۴۱	۶
۸۵۹	۸۶۵	۶
۵۱۸۵	۵۱۹۸	۱۳
خطای متوسط ریشه	-	۷
حداکثر اختلاف	-	۱۳

### ۴-۲ - دقت نتایج حاصله از پروژه یادبود هانتر

در نقشه‌های با مقیاس ۱:۵۰ مقدار جذر میانگین مربع خطاهای<sup>۱</sup> کمتر از ۱۰ میلی‌متر است که اکثر نقاط درج شده در جدول (۱) آن را به عنوان بررسی فاصله‌ها نشان می‌دهند.

<sup>۱</sup> RMSE

آسان و سریع به داده‌ها را فراهم می‌کند. در این پروژه، ساختار رابطه‌ای در نظر گرفته شده است. در ادامه پیاده‌سازی برخی از ساختار داده‌ها را بررسی می‌کنیم.

#### الف - ساختارهای مرتبط با لیست<sup>۶</sup>:

ساختار داده‌های مرتبط با لیست، از ایجاد یک اشاره گر<sup>۷</sup> شیئی به اشیاء دیگر شکل می‌گیرد. این اشاره گرها، اشیاء جداگانه را به یک ساختار داده تک پیوند می‌دهند. دو نوع لیست پیوندی وجود دارد: لیست پیوندی مرتبط و لیست دو طرفه. یک لیست مرتبط به‌طور خاص شامل یک پیوند به داده بعدی است، اما یک لیست مرتبط دو جانبه حاوی ارتباط به هر دو داده بعدی و قبلی در لیست است [۸].

لیست پیوندی مرتبط دارای محدودیت‌های زیادی است، اما در یک لیست دو طرفه، هر داده یا گره<sup>۸</sup> به هر دو گره فرزند<sup>۹</sup> یا برگ گره‌ها<sup>۱۰</sup> و گره‌های والدین<sup>۱۱</sup> اشاره می‌کند. با استفاده از لیست‌های مرتبط دوگانه، جستجوی هر دو به جلو و عقب آسان‌تر می‌شود. برای هر داده، اشاره گر به یک جد<sup>۱۲</sup> و به یک فرزند<sup>۱۳</sup> وجود دارد. شکل (۷) یک الگوریتم مرتبط دو جانبه با سه داده یا گره را نمایش می‌دهد.

موقعیت هر لبه (هر رأس به عنوان نقاط سه‌بعدی) با حداقل خطأ تکرار می‌شود. مراحل پردازش اصلی استخراج به شرح زیر است:

۱- موقعیت تقریبی ویژگی،

۲- تشخیص لبه و مرزهای ویژگی خطی

۳- خط راست برای مرزهای ویژگی خطی،

۴- محاسبات ریاضی لبه‌های ویژگی.

شکل (۶) فرایند یک الگوریتم استخراج ویژگی و نهایتاً مدل سطحی سه‌بعدی را نشان می‌دهد. همان‌طوری که ملاحظه می‌شود، ورود داده‌ها شامل تصاویر رقومی و نقاط کنترل زمینی، مرزهای ویژگی و سایر داده‌های تصاویر است. خروجی داده‌ها شامل یک مدل سطحی سه‌بعدی رقومی و همچنین فایل‌های دیگر مانند اورتوفتوها و فایل‌های داده‌های ویژگی می‌باشد. این خروجی را می‌توان برای سایر بازنمایی، مانند نمایش مدل درختی هشت‌تایی<sup>۱</sup>، که بعداً مورد بحث قرار می‌گیرد، استفاده نمود.

#### ۴ - ملاحظات ریاضی در ساختار و نمایش اجسام سه‌بعدی

همان‌طوری که در بخش پیشین ذکر شد، سومین جزء از گرافیک کامپیوتی ساختار کنترل داده‌ها می‌باشد. دو روش برای اجرای ساخت داده‌های سه‌بعدی در سیستم‌های اطلاعات مکانی وجود دارد که عبارت اند از؛ برداری<sup>۲</sup> و رستری<sup>۳</sup> برای اجسام غیر فضایی، و کسل<sup>۴</sup> برای اجسام فضایی (سه‌بعدی). چندین روش برای ساخت داده‌های غیر فضایی وجود دارد. ساختارهای سلسله مراتبی<sup>۵</sup>، شبکه و ارتباطات را می‌توان به عنوان روش‌های ساختاری محبوب برای داده‌های غیر فضایی معرفی نمود. روش سلسله مراتبی و شبکه دسترسی

<sup>6</sup> Linked List Structures

<sup>7</sup> Pointer

<sup>8</sup> Node

<sup>9</sup> Child node

<sup>10</sup> Leaf node

<sup>11</sup> Parent node

<sup>12</sup> Predecessor

<sup>13</sup> Successor

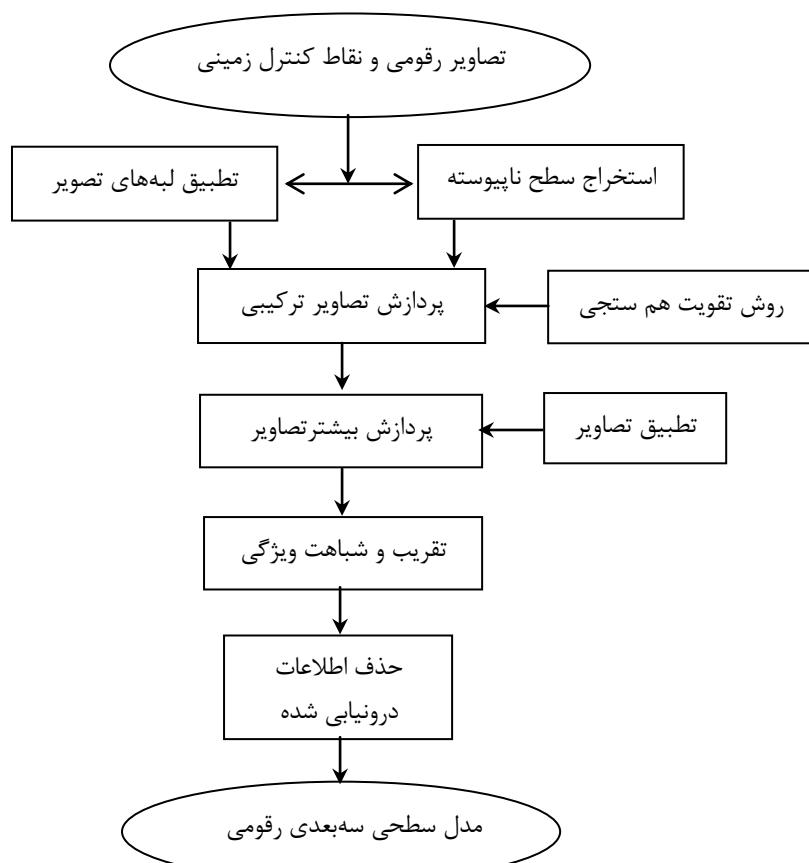
<sup>1</sup> Octal Tree = Octree

<sup>2</sup> Vector

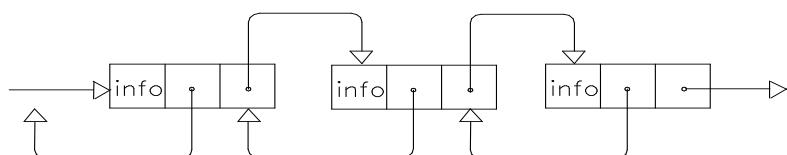
<sup>3</sup> Pixel

<sup>4</sup> Voxel

<sup>5</sup> Hierarchical



شکل ۶: الگوریتم استخراج ویژگی و تهییه مدل رویه‌ای سه‌بعدی



شکل ۷: یک الگوریتم مرتبط دو جانبه

توضیح: خانه اول اطلاعات، خانه دوم اشاره‌گر به گره عقب، خانه سوم اشاره‌گر به گره جلو است. لیست‌های پیوندی مرتبط با درختان ساختارهای داده‌ها در این است که ساختار لیست‌های پیوندی در طبیعت خطی هستند، اما درختان ساختارهای داده‌ها غیرخطی بودن و برای نشان دادن داده‌ها دارای یک رابطه سلسله مراتبی می‌باشند. باید توجه داشت که سازه‌های داده مانند لیست‌های پیوندی مرتبط دارای دسترسی پیوسته هستند که برای رسیدن به یک گره هدف لازم است که از همه گره‌ها عبور کنند. در نتیجه،

**ب - ساختار داده‌های درخت:** از انواع دیگر ساختارها، درختان ساختارهای داده‌ها هستند که در سیستم گرافیک کامپیووتری بسیار کاربرد دارند. در این نوع ساختار، یک درخت مجموعه‌ای از گره‌هایی است که هر گره می‌تواند به بیش از یک عنصر دیگر اشاره کند. تفاوت ساختارهای داده‌های آرایه‌ها و

<sup>۱</sup> Tree Data Structures

هندسی استفاده می‌شود. شکل (۸) یک نمایش ساختار داده‌های درخت دوتایی است.

#### د- نمایش ساختار داده‌های درخت سازنده هندسی جامد<sup>۵</sup>

یک شیء سه‌بعدی که ترکیبی از حجم‌های اولیه (نظیر؛ مکعب، بلوک، مخروط، سیلندر، کره و غیره)، از درخت سازنده هندسی جامد (*CSG*) استفاده می‌کند. توسعه بیشتر این روش به عنوان یک درخت در این بخش بحث شده است. روش یادشده یک درخت ساختار داده است که به طور گستردگی برای نمایش اشیاء جامد استفاده می‌شود. یک دیدگاه نشان دهنده آن است که اشیاء شامل قسمت جامد و فضای خالی است. یک روش برای توصیف و مدل کردن اشیاء، استفاده از هندسه ساختاری جامد است. اشیاء پیچیده که شکل هندسی ندارند باید به شکل ساده تر تجزیه شده و سپس با استفاده از مجموعه‌ای عملیات به صورت دقیق ساخته و مدل خواهند شد. هندسه این دیدگاه را می‌توان به عنوان یک درخت هندسه جامد با اشیاء اولیه در برگ‌ها (گره‌های نهائی) تعریف کرد و عملیات را در گره‌ها تنظیم کرد.

<sup>5</sup> CSG Tree Representation

برای رسیدن به یک گره که در انتهای یک لیست یا در نزدیکی یک درخت قرار دارد، باید از طریق گره‌های بیشتر از مورد نیاز عبور کرد. این به این دلیل است که دقیقی به یک گره خاص در یک لیست پیوندی دسترسی پیدا می‌کنیم، به طور متوسط نیاز است که حدود نیمی از لیست را طی کرد. مثلاً اگر تعداد گره‌ها  $N$  باشد، باید  $2 / N$  یعنی نصف گره‌ها را مشاهده نمود. اما با یک درخت، در هر مرحله تعداد بیشتری از گره‌ها حذف می‌شود. زیرا که انتخاب یک گره در یک سطح، موجب حذف تمام گره‌های دیگر که در همان سطح قرار دارند شده و در نتیجه صرفاً به اندازه  $\log_2 N$  گره برای رسیدن به یک گره خاص پیموده می‌شود. برای نمایش ساختارهای داده‌ها می‌توان از ساختار درخت دوتایی<sup>۱</sup>، ساختار هندسی جامد<sup>۲</sup> و ساختار درخت هشت‌تایی<sup>۳</sup> نام برد.

#### ج - نمایش ساختار داده‌های درخت دوتایی<sup>۴</sup>

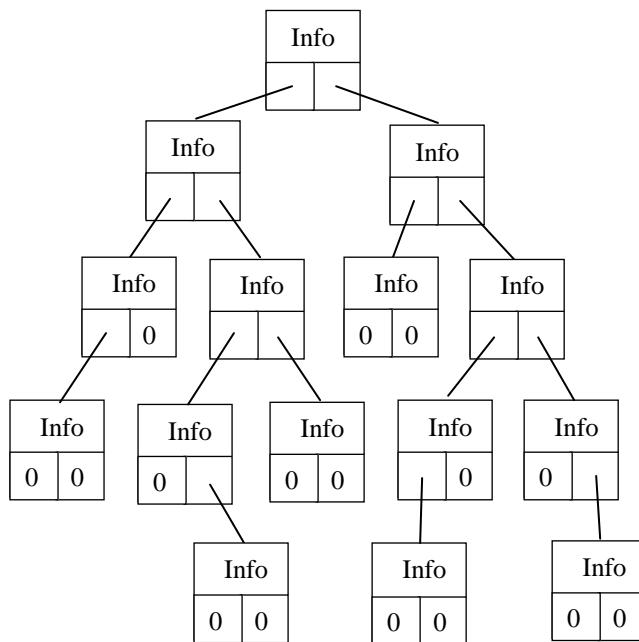
در نمایش یک درخت دوتایی است که در آن هر گره می‌تواند به حداقل دو گره دیگر اشاره کند، هر عنصر شامل اطلاعات همراه با یک لینک به اعضای سمت چپ (اول) و یک لینک به سمت راست (دوم) است. هر شاخه با گره شروع می‌شود و هر گره شاخه‌های متعددی از آن جدا می‌شود. در این ساختار ریشه اولین عنصر است. گره‌های هر شاخه، از ریشه و شاخه‌های دیگر رشد می‌کنند. شاخه‌های وابسته به شاخه‌های دیگر، زیر شاخه‌های درختی نامیده می‌شوند. در یک ساختار داده‌های درخت دوتایی، هر گره به دو زیر درخت وصل است که حداقل می‌تواند تا دو فرزند داشته باشد. گره بدون زیرشاخه، گره برگ یا گره پایانی نامیده می‌شود. ساختارهای داده‌های درخت دوتایی به طور گستردگی در برنامه‌های کاربردی مدل‌سازی

<sup>1</sup> Binary Tree = Bintree

<sup>2</sup> Constructive Solid Geometry = CSG

<sup>3</sup> Octal Tree = Octree

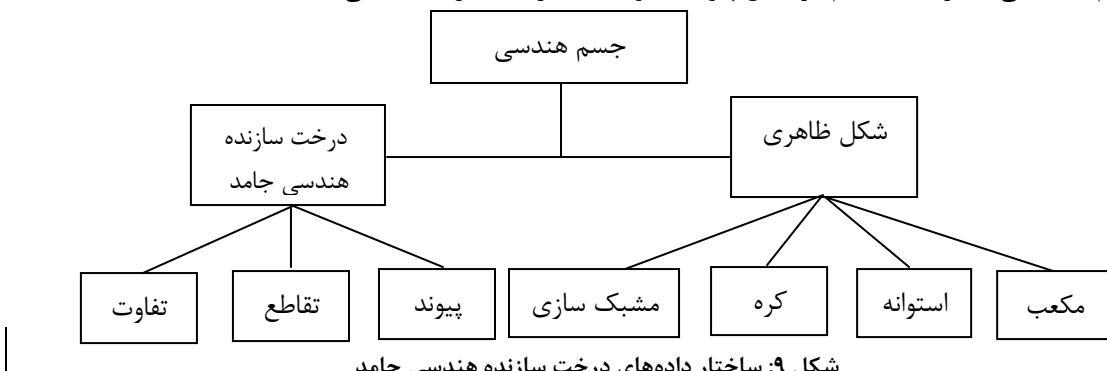
<sup>4</sup> Bintree Representation



شکل ۸: نمایش ساختار داده‌های درخت دوتایی را نشان می‌دهد

هموار دارد. این موضوع با تعریف یک سطح ضمنی به معادله  $(z, y, x)f$  حل می‌شود. معادلات ضمنی مختلف وجود دارند که با توابع ضمنی خاص می‌توانند فرم‌ها و شکل‌های خاصی تولید کنند. این مهم است بدانیم کدام عناصری که با هم ترکیب می‌شوند، مدل‌های مبهم جدا شده هستند. شکل (۹) ساختار داده‌های درخت سازنده هندسی جامد است.

برای مدل‌سازی یک شیء پیچیده، ساختار داده‌های درخت سازنده هندسی جامد یک روش پذیرفته شده در مدل‌سازی سه بعدی است. اما این روش نمی‌تواند یک انتقال نرم و ملایم بین اجزاء مختلف را که در حال ساختن شیء است، به دست آورد. برای داشتن یک شیء واقعی سه بعدی، پیوستن اجزاء ابتدایی که شکل منظم هندسی نیاز به انجام مراحل پیوسته و



شکل ۹: ساختار داده‌های درخت سازنده هندسی جامد

داده‌های درخت هشتتایی<sup>۲</sup> است. این فرایند، شایع‌ترین طریقه برای فضای سه بعدی تجزیه شده<sup>۳</sup> از

ه - نمایش ساختار داده‌های درخت هشتتایی<sup>۱</sup> یکی از روش‌های متداول برای مدل کردن دنیای واقعی و اجسامی که فضا را اشغال می‌کنند، نمایش ساختار

<sup>2</sup> Octree

<sup>3</sup> Decomposition

<sup>1</sup> Octree Representation

## ۴-۲-۴- بررسی الگوریتم‌های ریاضی در مدلسازی سه‌بعدی

دستگاه مختصات دکارتی سه‌بعدی به عنوان محل مناسب برای نمایش نقاط سه‌بعدی پیشنهاد شده است تا در فتوگرامتری موقعیت نقاط در فضا مشخص گردد. اغلب تبدیل بین مختصات با ریشه‌های مختلف، جهت‌ها و مقیاس مورد نیاز است. سیستم‌های سه‌بعدی مختصات دکارتی و مختصات همگن که در بخش‌های اشیاء فضایی سه‌بعدی در نظر گرفته می‌شوند. به ترتیب توصیف ریاضی منحنی‌ها و سطوح را به عهده دارند. برای این پروژه، و تجسم سه‌بعدی و استخراج یک شکل باید به طور کامل در یک سیستم اطلاعاتی مکانی ویرایش و توسعه یابد. اگر به نظر می‌رسد که شکل به طور واقعی در فضای سه‌بعدی قابل استفاده مجدد نباشد (به عنوان مثال؛ جسم نمی‌تواند چرخش شود و نقاط سه‌بعدی ای را نمی‌توان استخراج کرد)، معلوم است که الزامات مدلسازی سه‌بعدی ممکن نشده است. این بدان معنی است که نمی‌توان تجزیه و تحلیل شکل (مثلاً شبی، انحنای سطح، بافت سطح و بعد از همه جهات) امکان‌پذیر است. در نتیجه مسئولیت عامل (فتوگرامتریست) شناختن و حتی توضیح دادن و یا رائمه مشاوره در مورد نمادهای هندسی و روابط آن‌ها با اشکال سه‌بعدی است، به طوری که داده‌ها به اندازه کافی مناسب شوند.

## ۴-۳- معادلات ریاضی در مدلسازی اجسام

در حال حاضر، در مدلسازی از اجسام سه‌بعدی، منحنی‌های نورب<sup>۸</sup> مختلف، شامل بی اسپیلاین همگن نسبی<sup>۹</sup>، بی اسپیلان<sup>۱۰</sup> و بزیر<sup>۱۱</sup>، که دارای بسط طبیعی برای سطوح بوده و محبوب ترین منحنی هستند، به کار می‌روند. می‌دانیم که منحنی نورب شکل خاصی از

سلسله مراتبی<sup>۱</sup> یک شیء است که یک مکعب محدود با عنوان "جهان هستی"<sup>۲</sup> را با فرایند تقسیم مجدد<sup>۳</sup> کد می‌کند درست می‌شود. این "جهان هستی" به تدریج به هشت مکعب با اندازه برابر تقسیم می‌شود که "آکتان" نام دارد. بنابراین، "درخت هشت تایی" یک نام مناسب برای نمایندگی این درخت است.

در این رویکرد، هر گره یک بخش مکعبی<sup>۴</sup> جهان هستی را نشان می‌دهد و شامل ویژگی مربوط به آن مکعب است. ریشه<sup>۵</sup> این درخت نشان دهنده کل فضا، و خود یک گره خاکستری است. گره‌های برگ که گره‌های پایانی هستند، شامل مکعب‌های واحد با همان ارزش هستند. گره‌های برگ شامل اجزاء اولیه مانند لبه‌ها و چندضلعی‌ها نیستند، اما مکعب‌ها با همان دقت تقریب می‌کنند. اگر هر یک از گره‌های حاصل، همگن<sup>۶</sup> باشد، به این معنی است که فرآیند تقسیم بندی به پایان رسیده است (گره برگ یعنی گره پایانی حاصل شده است). گره پایانی به طور کامل در داخل یا خارج از شیء قرار می‌گیرد. گره‌هایی که کاملاً خارج از جسم هستند، گره‌های خالی نامیده می‌شوند در حالی که گره‌هایی که به طور کامل خالی و یا پر هستند داخل شیء هستند. از سوی دیگر، اگر گره ناهمگن<sup>۷</sup> باشد، آن گره دو مرتبه به هشت گره (سلول) دیگر تقسیم می‌شود که همگن هستند. گره‌های غیر پایانی (گره‌های خاکستری) که ناهمگن یا نیمه کامل هستند باید به هشت مکعب دیگر تقسیم شوند تا گره‌های خالی یا گره‌های پر و کامل (با دقت مورد نظر) به دست آمده و عمل سلسله مراتبی پایان یافته و کلیه گره‌ها، گره برگ باشند.

<sup>1</sup> Hierarchical

<sup>2</sup> Universe

<sup>3</sup> Recursive method

<sup>4</sup> Cubical

<sup>5</sup> Root

<sup>6</sup> Homogenous

<sup>7</sup> Heterogeneous

<sup>8</sup> NURBS

<sup>9</sup> Uniform Rational B-Spline

<sup>10</sup> B-Spline

<sup>11</sup> Bézier

- "سوست-ست"<sup>۳</sup> مراحل زیر موردنظری  
قرار گرفته است:
- ۱) با گرافیک کامپیوتری سه بعدی، یک پنجره ایجاد کرده است،
  - ۲) باتفاقی از تصاویر به دست آمده در سایت حاصل شده است،
  - ۳) ردیابی و رندر کردن تصاویر انجام شده است،
  - ۴) داده ها در سامانه اطلاعات مکانی مدیریت شده است،
  - ۵) نقاط داده شده ابتدا مشتق شده و سپس در محیط سه بعدی تولیدی توسط اتوکد و فتومندلر مجسم گردیده و موردنظری قرار گرفته است،
  - ۶) یک مدل سطحی بافتی از محیط در یک پنجره برای داده ها تعیین شده است،
  - ۷) تمام عکس ها به یک پوشه بنام پوشه ویندوز وارد شده و سپس برای از بین بردن عکس های ضعیف موردنظری قرار گرفته و همچنین برای اطمینان از پوشش مورد نیاز از هر طرف از این شیء موردنظری قرار گرفت.

#### ۵- تشکیل مدل سطحی سه بعدی رقومی

برای داشتن دید مناسب و رضایت بخش به شکل گرافیکی رقومی (رستری) از یک شیء که آثار باستانی و میراث فرهنگی می باشد، توضیحات و اطلاعات کامل از سطح جسم مورد نیاز است. این بدان معنی است که تفسیر بیشتری از اجزاء جسم باید به اطلاعات قبلی که جنبه تکمیلی دارد و اطلاعات توپولوژیکی نامیده می شود، اضافه و تلفیق گردد. بدین منظور ترجیح داده می شود که برای تفسیر تشکیل مدل از تکنیک (تین) که بعداً توضیح داده خواهد شد، استفاده شود. زیرا برای پردازش بیشتر نیازی به تفسیر نقاط به دست آمده از رئوس جسم وجود ندارد. اتوکد تمام مختصات رئوسی که در حال حاضر ذخیره شده را از یک

منحنی های بی اسپیلاین است و از جمله عمومی ترین این منحنی ها است که به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفته و تقریباً یک منحنی استاندارد برای امور صنعتی به شمار می رود. از نظر ریاضی، "غیر یکنواخت" و "منطقی" بودن، یکی از خصوصیات بارز منحنی های مورد اشاره است.

برخی از تکنیک های درون یابی، سطح ارزش نقاط کنترل را تثبیت نمی کنند. در نتیجه، ویژگی های محلی ممکن است به شدت بر کل سطح جسم تأثیر گذارد بنابراین، از دو معادله بزییر و اسپیلاین به ترتیب از اولی برای نقاط کنترل و تعیین شکل سطح مدل می توان استفاده کرد، ولی رویکرد معادله دوم دارای قدرت کنترل شکل محلی است. مزیت استفاده از رویکرد بی اسپیلاین امکان کنترل درجه چند جمله ای از توابع ترکیبی، مستقل از تعداد نقاط کنترل است. منحنی بر اساس نسبت دو تابع غیر منطقی، بی اسپیلاین را یک چند جمله ای منطقی قطعی به شکل بردار ارزشمند معرفی می کند. منحنی های نورب تحت ترجمه، چرخش، پوسته پوسته شدن و طرح بندی دارای چشم اندازی غیر قابل تغییر است.

#### ۴-۴- تشکیل لایه ها در نرم افزار اتوکد

سیستم کد قادر به ارائه داده ها برای لایه های مختلف و برای نشان دادن المان های باستان شناسی و سطوح آسیب دیده اشیاء میراث فرهنگی می باشد. محتوای لایه ها و نمایه های آن ها (مانند رنگ ها، انواع خط ها و غیره) و عملکردهای بین لایه ها بستگی به برنامه های پیشنهادی داشته و سطوح مختلف شیء برای تحقیقات بیشتر در سیستم (A / AIS) (ایگانی می شود) در این تحقیق، از نرم افزار کد مایکرو استیشن<sup>۱</sup> استفاده گردید و در نتیجه مدل دقیق سطحی سه بعدی بخشی از ساختمان ساخته شد و با استفاده از مختصات سه بعدی حاصل از فتوگرامتری رقومی با برنامه های بنام

<sup>2</sup> Socet Set

<sup>1</sup> Intergraph MicroStation (Bentley)

<sup>۴</sup> OLE) را می‌توان به دست آورد. فرمتهای DXF و فایل متنی، پشتیبانی از برنامه در حال اجرا خارجی (REP<sup>۵</sup>) را برای پیوند میان برنامه‌های مختلف، از جمله آنکد، (SOCET SET)، (فتومدلر)، آركویو<sup>۶</sup> و اکسل را به عهده دارند. بنابراین، یک شیء ایجادشده توسط اتوکد می‌تواند به عنوان یک شیء OLE مورد استفاده قرار گیرد. برنامه مقصده، یک سند ترکیبی را ایجاد می‌کند که اشیای OLE ایجادشده با برنامه را می‌پذیرد. لینک OLE یک یا چند سند پیچیده و اطلاعات را به برنامه‌های دیگر صادر می‌کند. همچنین امکانات برنامه در حال اجرای خارجی اتوکد می‌تواند برای دسترسی به اطلاعات پیچیده‌تر و تخصصی مانند اسناد، متون، نمودارها، عکس‌ها و غیره استفاده شود. بسیاری از بسته‌های CAD نظیر رندر کردن می‌توانند متن‌های داده، نمودارها، عکس‌های دیجیتالی و فایل‌های داده DXF را برای اندازه‌گیری دقیق‌تر در برنامه‌های (A / AIS) وارد کنند.

قابلیت OLE می‌تواند مدل سطح رقومی ایجادشده را از اتوکد برای پردازش بیشتر صادر کند. به عنوان مثال، اورتومدل می‌تواند برای اندازه‌گیری دقیق‌تر در برنامه‌های (سوسن-ست) و فتومدلر استفاده شود. باید دانست که فایل‌های صادراتی در فرمتهای (DWF) و JPEG و DS<sup>۷</sup> نیز می‌توانند (در فرمت فایل HTML) برای دانلود و بازسازی تصاویر توسط دیگران برای اهداف آینده به وب صادر شوند.

نتیجه یکارچگی بین فتوگرامتری رقومی زمینی استخراج شده از برنامه فتومدلر و نرم‌افزار اتوکد به صورت مدل سیم قاب رشته‌ای<sup>۷</sup> است. در این توسعه، پلیگون سه‌بعدی ایجاد گردیده و بخشی از این (به عنوان نمونه) در جدول (۲) نشان داده شده است. تمام رأس‌ها را می‌توان به عنوان یک فایل اسکریپت

فايل متني به نام (چندضلعی سه‌بعدی) می‌خواند. سپس اتصال اين رئوس به طور خودکار به عنوان چندضلعی بسته و به فرم سطوح مسطح و صاف که نقطه ابتدائي هر چندضلعی به نقطه انتهائي آن متصل است، انجام مي‌گيرد. فایل‌های اسکریپت<sup>۱</sup> شامل لیست تمام صفحات مسطح که سطح بیرونی جسم را تشکیل می‌دهد، خواهد بود. تمام رئوسی که مختصات آن‌ها به عنوان نقاط سه‌بعدی ذخیره شده‌اند بیانگر یک سطح صاف از سطوح جسم مورد نظر خواهد بود که در این پروژه به مدل تبدیل می‌گردد. مدل سطحی سه‌بعدی حاصل قابلیت مشاهده، دستکاری و برایش را خواهد داشت و محیط اتوکد می‌تواند مدلسازی سطح را فراهم می‌کند.

با توجه به پروژه مجسمه یادبود هانتر، این نگاه قابل توجه است که مهندسی معکوس ابزاری است که ابر نقطه می‌تواند مدل سطحی را تولید نماید. اما نویسنده مقاله تنها دریچه‌هایی که توسط اتوکد ارائه می‌شود را موردنپژوهش قرار داده است. بررسی مدل‌های بیشتر را از طریق آرک جی‌آی‌اس<sup>۲</sup> یا مایکرو استیشن جهت اسکن سریع ابر نقطه، در برنامه تحقیقاتی بعدی نویسنده قرار دارد. ساختن، به وجود آوردن و احیای دقیق بخش‌های بین رفته ساختمان یا کل میراث فرهنگی با این نسخه‌ها و کار با ابزارهای اتوکد به اندازه گیری‌های دقیق در فضای سه‌بعدی که مناسب برای بازسازی است خواهد انجامید. با وجود این، تحقیقات مقدماتی برای استخراج داده‌ها از طریق نرم‌افزار فتومدلر در این مقاله صورت گرفته است.

## ۶- پیوندهای پروژه

فرمتهای واسط مانند فایل‌های دی‌اکس‌اف (DXF<sup>۳</sup>) و متني برای اتصال و تلفیق برنامه‌های مختلف استفاده می‌شوند. در نتیجه؛

<sup>1</sup> 3dpoly.scr

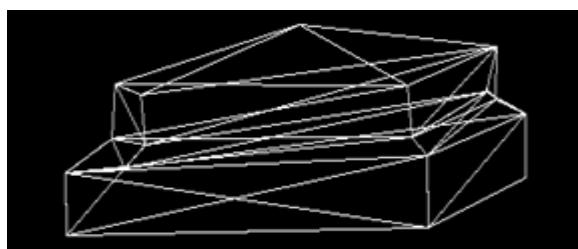
<sup>2</sup> ArcGIS

<sup>3</sup> Data eXchange Format

- مدل قاب رشته‌ای<sup>۷</sup>
- تشکیل شبکه‌های نامنظم مثلثی (<sup>۸</sup>TIN) از سطوح
- رندر کردن مدل
- مدل سه‌بعدی<sup>۹</sup>
- مدل ارتقایی رقومی (<sup>۱۰</sup>DEM)

#### ۱-۷ شبکه بی‌نظیر مثلثی

برای مجسم کردن یک اثر باستانی و معماری، توصیف دقیق از سطوح آن جسم به صورت هندسی لازم است. در این مورد باید از شبکه نامنظم مثلثی به نام شبکه مثلث‌های نامنظم که یک ساختار داده رقومی است و به اختصار TIN نامیده شده و در سیستم اطلاعات مکانی برای نمایش یک سطح از آن استفاده می‌گردد، بهره جست. دلیل ترجیح دادن استفاده از TIN برای مجسمه یادبود هانتر این است که برای پردازش بیشتر سطوح بیرونی یک جسم نیازی به درون‌یابی نبوده و این شبکه مثلث‌های نامنظم سطوح خارجی جسم از نقاط داده ثبت‌شده دقیقاً مشابه داده‌های اصلی ایجاد می‌شود. شکل (۱۰) مدل تشکیل شده از شبکه مثلث‌های نامنظم بالای قسمت میانی از مجسمه یادبود هانتر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: مدل TIN بالای قسمت میانی از مجسمه یادبود هانتر

موردنرسی قرار داد که در اتوکد برای پردازش بیشتر در دسترس است. این فایل همچنین می‌تواند به عنوان مستندسازی آثار باستانی ذخیره شود.

#### ۷- استخراج داده‌ها و تجسم مدل‌های رقومی

داده‌های استخراج شده از (A / AIS) از نوع داده‌های رستری، بردار یا متنی هستند. استخراج فایل‌های ارتوfto با استفاده از فرمت بدون فشردگی تیف (TIFF)<sup>۱</sup> ارائه می‌شود. استخراج داده‌های برداری با فرمت DXF تعداد زیادی خروجی با فایل‌های برداری در دسترس قرار می‌دهد. در نتیجه، یک فایل متنی از نقاط مختصات سه‌بعدی در طول فرآیند شکل می‌گیرد. آماده‌سازی یک فایل اسکرپت (3dpoly.scr) از نقاط سه‌بعدی ذخیره شده که به اتوکد وارد شده است، تجسم قابل اندازه‌گیری ابعاد مورد نظر را تولید می‌کند. استخراج داده‌ها به عنوان خروجی این پروژه نشان می‌دهد که هر ۱۳ بسته رقومی (تصاویر رقومی) به دست آمده از دوربینی که هم راستا<sup>۲</sup> نیز شده است در تولید نقاط ابری و تهییه مدل سطحی سه‌بعدی استفاده شده است. لیست برخی از این داده‌ها به شرح زیر است:

- نقاط سه‌بعدی<sup>۳</sup>
- نقاط گرهای<sup>۴</sup>
- سطوح سه‌بعدی و مسطح<sup>۵</sup>
- ابر نقاط
- فایل‌های متنی و DXF
- تولید تراکم ابر نقاط
- تولید سطوح مش<sup>۶</sup>
- ترکیب نمودن بافت‌ها
- تهییه ارتو موزاییک

<sup>1</sup> Tagged Image File Format

<sup>2</sup> Aligned

<sup>3</sup> Vertices

<sup>4</sup> Tie Points

<sup>5</sup> Facets

<sup>6</sup> Mesh Faces

<sup>7</sup> Wire-frame Model  
<sup>8</sup> Triangulated irregular network  
<sup>9</sup> 3D Model  
<sup>10</sup> Digital Elevation Model

جدول ۲ : فایل گزارش شده از پلیگون سه بعدی برای مدلسازی از سطوح مجسمه یادبود هاتر

Polyline Layer: "0"

Space: Model space

Handle = 437

Closed space

First 3 points did not define a plane. No area calculated Vertex Layer: "0"

Space: Model space

Handle = 438

Space at point, X= 10.18 Y= 12.08 Z= -459.62

VERTEX Layer: "0"

Space: Model space

Handle = 439

Space at point, X= 10.18 Y= 12.08 Z= -459.62

Vertex Layer: "0"

Space: Model space

Press Entre to continue:

Handle = 43a

Space at point, X= 10.18 Y= 12.08 Z= -459.62

End Sequence Layer: "0"

Space: Model space

Handle=43b

Polyline Layer: "Default"

Space: Model space

Colour: 7 (white) Line type: "Bylayer"

Handle = 2a

Poly face mesh

Vertex Layer: " Default "

Space: Model space

Color: 7 (white) Line type: " Bylayer "

Handle = 2a3

Poly face vertex at point, x= 31.56 y= -25.88 z= -391.73

عملیات بین لایه‌ها بسته به برنامه‌های پیشنهادی، نمایه‌های مختلف یادبود هانتر به صورت جداگانه برای توسعه بیشتر مورد پردازش قرار گرفتند. اطلاعات بیشتر مانند لایه‌های ارتفاع و دامنه‌ها می‌تواند به طور مستقیم از مدل سطح تولید شده استخراج و به عنوان تصاویر کد رنگی نمایش داده شود. از این نمایش می‌توان برای نظارت بر نمایش‌های مختلف جسم استفاده نمود.

## ۹- تولید و استخراج مدل‌های رقومی

نقشه‌های بافتی در نمایش (چهره) انسان بسیار مهم هستند. بافت ضعیف به طور جدی از واقعیت تصویر منحرف می‌شود. یک روش که اخیراً "توسعه یافته" و در کار گزارش شده و در اینجا موردنبررسی قرار نگرفته است، شامل بافت تصویر لیزری است. لیزر اسکنر قادر به جمع آوری اطلاعات در مورد میزان شدت و همچنین فاصله می‌باشد و در نتیجه یک سطح با وضوح بالا برداشت می‌نماید. تصاویر اسکن شده با استفاده از یک اسکنر لیزری با وضوح بسیار بالا می‌توانند با استفاده از داده‌های فتوگرافی مشتق شده، اصلاح شوند [۳]. فایل‌های DXF که توسط واردکردن داده‌های فتوگرامتری مشتق شده به اتوکد ایجاد شده است می‌توانند برای تولید مدل قاب سه‌بعدی استفاده شوند و تصاویر لیزری نیز می‌توانند رندر بافت را به یک مدل سه‌بعدی رقومی اضافه کنند.

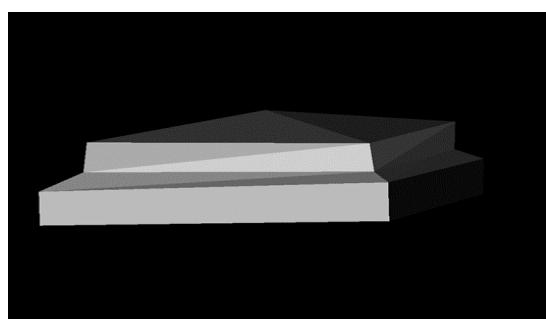
داده‌هایی که می‌توانند از فتومندلر صادر شوند، داده‌های رستری، برداری یا متن هستند. فایل تولید شده، به صورت اورتوفتو را که با استفاده از فرمت Tiff فشرده شده می‌توان به دلیل گستردگی کاربرد و شناسایی آن در نرم‌افزارهای مختلف پیشنهاد نمود. شناسایی آن این در نرم‌افزارهای مختلف پیشنهاد نمود. (به عنوان مثال این تنها فرمتی است که می‌تواند "Hot Linked" را به ArcView تبدیل کند).

در فتومندلر نسخه ۷، فایل‌های خروجی موجود و در دسترس وجود دارد. مدل‌های سه‌بعدی رقومی که توسط فتومندلر تولید می‌شوند، می‌توانند به یک برنامه

## ۲-۷- رندر کردن مدل رقومی

گرافیک کامپیوتری، پردازش تصاویری از اشیاء واقعی یا تخیلی از مدل‌های مبتنی بر کامپیوتر [۵] است، شامل رندر کردن و تصویرسازی از طریق تجسم علمی به تصاویر گرافیکی است. تصاویر رندر شده با استفاده از توابع مناسب در بسته اتوکد و نرم‌افزار فتومندلر تولید و فرایند تجسم انجام شده در این تحقیق شامل تولید نمایه‌های مجسمه یادبود هانتر بود. سخت‌افزار گرافیکی مدرن بسیاری از تکنیک‌ها و الگوریتم‌های برای پردازش تصویر واقعی را پشتیبانی می‌کند و راه را برای طیف وسیعی از برنامه‌ها باز می‌کند.

رندر کردن یک تکنیک برای تجسم مدل‌های رقومی است. برای بهبود تصور مدل سطح می‌توان جهت نور را تغییر داد. شکل (۱۱) رندر قسمت بالای ستون میانی مجسمه یادبود هانتر را نشان می‌دهد. فتومندلر همچنین می‌تواند موقعیت دوربین را برای برنامه‌هایی که از رندر پشتیبانی می‌کنند، صادر کند. این امر برای شناسایی جایی است که دوربین قرار دارد. بنابراین، کاربر همچنین می‌تواند یک مدل رندر شده از موقعیت دوربین را مشاهده کند.



شکل ۱۱: نمایش مدل رقومی بالای ستون میانی مجسمه یادبود هانتر

## ۸- استخراج اطلاعات رقومی

فتومندلر توانست داده‌های مربوط به لایه‌های مختلف را در فضای اتوکد برای نشان دادن عناصر معماری، سطوح آسیب‌دیده و غیره عرضه کند. محتوای لایه‌ها و نمایه‌های آن‌ها (مانند رنگ‌ها، انواع خط‌ها و غیره) و

#### ۱۰- بحث و نتیجه‌گیری.

تکنیک‌های فتوگرامتری مزایای بسیاری برای ثبت و ضبط، مستند نگاری و حفظ و نگهداری آثار باستانی، میراث فرهنگی و ابنيه‌های معماری دارد [۱]. واضح است که فتوگرامتری مجموعه‌ای از تصاویر استریو عالی از آثار هنری را ارائه می‌دهد، از این تصاویر می‌توان یک سطح همگن قابل نگهداری در فایل‌های نرم‌افزاری به صورت یک نمای کلی یا ساختاری ایجاد کردد. این سطح اغلب مستقل از سطح جزئیات است. کاربرد این‌گونه تکنیک‌ها، مزایای دیگری نیز دارد که عبارت اند از: افزایش کیفیت تصویربرداری رقومی، اطلاعات رقومی اصلاح و اعاده شده و درنهایت استخراج ویژگی‌های مورد نظر برای ایجاد مدل سه‌بعدی به‌کمک سامانه اطلاعات مکانی، ثبت و بایگانی بهتر در کامپیوتر و مشاهده این گونه بنها و مستندات ارزشمند فرهنگی و تاریخی. پیشنهاد می‌شود، با استفاده از فتوگرامتری رقومی به سرعت و پیش از فعالیت‌های دیگر سایت عملیات مانند ایجاد داربست، مدل سه‌بعدی دقیق تولید شود. در مقایسه با روش‌های سنتی و دستی نقشه‌برداری، حجم زیادی از داده‌های اولیه ثبت و با سرعت ضبط می‌شوند. بنابراین، می‌توان فرض کرد که برنامه‌های کاربردی در حوزه باستان‌شناسی می‌تواند به طور مشابه مفید باشد.

باستان‌شناسان نیاز به ایجاد برنامه‌های مدون به روز دارند. بسیاری از این کارها هنوز توسط روش‌های باستان‌شناسی سنتی انجام مانند قرار دادن یک شبکه مربع از متر انوار در هر منطقه حفاری و ضبط اطلاعات دقیق بر روی ویژگی‌های ضبط شده می‌شود. اما عکس‌های اصلاح شده در حال حاضر بیشتر در زمینه‌های باستان‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرند، و از اواسط دهه یک هزار و نهصد و نود میلادی، باستان‌شناسان کاربرد فتوگرامتری رقومی زمینی را بیشتر مورد توجه قرار داده‌اند [۲]. اگرچه این روش به طور کلی یک برنامه معمولی نیست، اما فتوگرامتری رقومی برداشت کوتاه، در حال حاضر تبدیل به یکی از

دیگر صادر شوند. برای مثال یک برنامه (CAD-PMP)، مدل‌های سه‌بعدی خود را در یک سیستم هماهنگ تولید می‌کند. هنگامی که یک مدل سه‌بعدی صادر شود، نیاز به تبدیل دارد. مدل‌های ایجاد شده می‌توانند در برنامه‌های دیگر با فرمتهای سه‌بعدی زیر استفاده شوند:

- (IGES \_ XVRML \_ OBJ \_ 3DS \_ DXF) در برنامه اتوکد با پذیرش استفاده از فرمت DXF تولید شده با نرم‌افزار فتومدل را می‌توان با استفاده از ابزارهای موجود، دستکاری و رندر کرد.
- مرحله دوم مدیریت ارتباط ساختاری یا توپولوژیکی بین واژگان است. این روش شامل دسته‌بندی از طریق ابر نقاط و پیدا کردن توپولوژی سطح مورد نظر و بر اساس انتخاب نزدیک‌ترین نقطه ممکن است حفره‌های سطحی یا و کسل‌های سطح جسم را پیدا کند. فرض بر این است که عکس برداری پیشرفته، از جمله کالیبراسیون دوربین، می‌تواند نتایج این تحقیق را بهبود بخشد.

نمایش مدل سه‌بعدی به صورت درخت هشت‌تایی به عنوان نتایج جدید، می‌تواند به‌آسانی مدل‌سازی سطحی اجسام را انجام دهد. این روش به مراتب راهی واقعی تر برای مدل کردن کامل شیء به جای مدل‌سازی چهره سطح می‌باشد. از آنجائیکه فرایند تصحیح شده به صورت پیکسل به پیکسل در مقیاس اورتوفتو انجام می‌شود، یک مدل سطحی رقومی باوضوح بالا مورد نیاز است. این روش را می‌توان در حفاظت، برای تعیین اندازه و موقعیت ویژگی‌های آسیب‌دیده فرسوده آثار باستانی به کار برد. این تحقیق، جزئیات سه‌بعدی و تصاویر اورتوفتوئی از مجسمه یادبود هانتر ارائه کرده است. روش استفاده شده نتایجی رضایت‌بخش برای ضبط، نمایش و بازسازی پی‌درپی بنای‌های معماری و تحلیل دیجیتالی آن‌ها به همراه دارد.

لازم است تحقیقات بیشتری انجام شود. اگرچه یک کار بزرگ در تلفیق سیستم اطلاعات مکانی، کد و فتوگرامتری انجام شده است و چنین سیستم‌هایی به توان عملیاتی رسیده‌اند، اما شرایطی وجود دارد که مشاهدات غیر فتوگرامتریک برای پشتیبانی از داده‌های اسکن شده خصوصاً در نواحی‌ای که امکان انجام عکس‌برداری استریو و وجود ندارد، مورد نیاز است. بر اساس نتایج به دست آمده از این مقاله، نویسنده پیشنهاد می‌نماید که با استفاده از عکس‌برداری دیجیتالی، رقومی نمودن و یا اسکن از سطوح اجسام (حتی بدن انسان)، ورود تصاویر رقومی به سیستم ارائه شده در این مقاله و پردازش اطلاعات به مدل‌های سطحی سه‌بعدی که مورد نظر هدف است، دست‌یافته. سپس با بهره‌برداری مناسب از ساختار داده‌های رقومی استخراجی در راستای هدف مشخص شده گام برداشت. در این پژوهش، هدف نهائی مدل کردن مجسمه یادبود هانتر دانشگاه گلاسگو بود که در کار مستند نگاری دقیق و حفظ آثار باستانی مورد نظر باستان شناسان و معماران کاربرد دارد. در ادامه و به منظور اطلاع و پیشگیری از حوادث و خطراتی که در کمین یک شیء باستانی است و تا وقتی که نمود خارجی پیدا نکند نامحسوس است، از این روش استفاده کرد. برای این منظور، می‌توان دوربین‌های عکس‌برداری متعددی را در موقعیت‌های مناسب در اطراف شیء مورد نظر مستقر و ثابت نمود تا به طور خودکار در زمانه‌ای معین از سطوح آن شیء عکس‌های دیجیتالی بگیرند و این تصاویر دیجیتالی برای پردازش وارد نرم‌افزار معینی نظیر فتومدلر و ای جی آی سافت فتواسکن<sup>۱</sup> و دیگر نرم‌افزارهای مشابه، شده و مدل سطحی سه‌بعدی رقومی به وجود می‌آید. داده‌های استخراجی از مدل ساخته شده وارد نرم‌افزار دیگری مانند متلب<sup>۲</sup> که می‌تواند نتایج

شناخته شده‌ترین برنامه‌های علوم فتوگرامتری در زمینه‌های خاص خصوصاً معماری و باستان‌شناسی شده است.

#### ۱۱- پژوهش بیشتر و تحقیقات پیشنهادی

در سال‌های اخیر، پیشرفت فراوانی در فناوری اطلاعات و سایر امکانات جدید موجود برای باستان شناسان و معماران در راستای کاهش هزینه‌ها و افزایش اثربخشی صورت گرفته است. به عنوان مثال، فناوری جدید در حال حاضر به نقشه‌بردار اجازه می‌دهد تا داده‌های رقومی را مستقیماً به پایگاه داده مربوطه از ابزارهای فتوگرامتریک انتقال دهد و در فرمت مناسب برای مدیریت و تفسیر داده‌های سه‌بعدی در یکی از محیط‌های سیستم اطلاعاتی مکانی، مانند اتوکد، آرک جی‌آی‌اس و غیره بهره برد.

مهندسان نقشه‌بردار و ساختمانی، باستان شناسان و معماران نیاز به اطلاعات دقیق دارند. تکنیک‌های فتوگرامتری رقومی برد کوتاه به کمک ابزارهای دقیق اندازه‌گیری و ویژگی‌های عکاسی توانسته است نتایجی با دقت ۴ میلی‌متر تولید نموده و با پایگانی اطلاعات به روز، یک سیستم اطلاعاتی مکانی ایجاد کند. این به میزان قابل توجهی انعطاف‌پذیری استفاده از داده‌ها را افزایش می‌دهد، به طوری که می‌توان آن‌ها را در بسیاری از اشکال مختلف از جمله خروجی به صورت ترسیم و یا به عنوان مدل سه‌بعدی در محیط اتوکد ترجمه و تفسیر کرد.

تکنیک‌های فتوگرامتری رقومی سهمی بسیار مهم در طراحی سیستم AIS / A ایجاد کرده‌اند. با اشاره به پیشرفت سریع که در تحقیق داده‌های رقومی در ۳۵ سال گذشته اتفاق افتاده است، می‌توان پیش‌بینی کرد که داده‌های حاصل از دوربین‌های دیجیتالی، اطلاعات عکس‌های آنالوگ مبتنی بر فیلم را کاملاً از رده خارج خواهد کرد. با وجودی که این تحقیق برخی از تجربیات را در مورد امکان مدل کردن چهره‌ها و تجسم اشیاء معماری را ارائه می‌دهد، اما برای توسعه اثربخشی آن،

<sup>1</sup> Agisoft Photo Scan

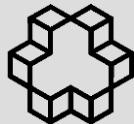
<sup>2</sup> Matlab

گره‌های خاکستری تغییر شکل می‌دهند. این دگرگونی زنگ خطی است برای سازمان میراث فرهنگی، صنعت، پزشک معالج و غیره (حسب مورد)، که می‌تواند به وسیله یک سیستم هوشمند که مدل‌های تنابوی تشکیل شده را رصد و مقایسه می‌کند، نواخته شود.

حاصله را به روش ساختار داده‌های درخت هشت تایی کدینگ نماید، می‌شود. ریشه این درخت در فضای ناهمگن یک گره خاکستری است و باید به روش بازگشتی به طور متوالی تقسیم گردند تا جایی که با دقت لازم به گره‌های برگ همگن (گره‌های به طور کامل خالی یا پر) تبدیل شوند. بدیهی است چنانچه تغییراتی در درون جسم رخ دهد، موجب دگرگونی در سطح بیرونی جسم شده و فضای همگن را به ناهمگن تبدیل و گره‌های خالی و پر سابق به

#### مراجع

- [1] Brunet et al., Octree Representation in Solid Modelling: In Progress in Computer Graphics, G. Zobrist (Ed.), Abblex Publication Company, 1989, pp. 164-215.
- [2] Dallas, Architectural and Archaeological Photogrammetry, Chapter 10 in Close Range Photogrammetry and Machine Vision, K. B. Atkinson (Ed.), Whittles Publishing, 1996, pp. 283-302.
- [3] D'Apuzzo, Digitization of the Human Body in the Present Day Economy, Videometrics VIII, proces. of SPIE-IS & T Electronic Imaging, SPIE Vol 5665, San Jose, USA, J. A. Beraldin, S. F. El-Hakim, A. Gruen and J. S. Walton (Eds.), 2005, pp252-259.
- [4] Eos Systems Inc., PhotoModeler User Manual, Version 4.0, Canada:Eos Systems Inc, 2000.
- [5] Foley et al., Introduction to Computer Graphics, Addison-Wesley Publishing Company, 1990.
- [6] Mackie, The University of Glasgow, 1451-1951, Jackson, Son & Company, 1954.
- [7] Sinning-Meister et al., 3-D City Models for CAAD-Supported Analysis and Design of Urban Areas, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 51, 1996, pp. 196-208.
- [8] Watt, D., Brown, D., 2001. "Java Collections: An Introduction to Abstract Data Types, Data Structures and Algorithms", John Wiley. www.amar.org.ir, Statistical Centre of Iran.



## **The Proposed Algorithm for Modelling of Ancient Monuments and Cultural Heritage by using of Hyperspectral Images Data and Digital Terrestrial Photogrammetry**

Seyed Yousef Sajjadi<sup>1</sup>

1- Assistant professor , Dep. Of Surveying Engineering, Tafresh University

### **Abstract**

Geographical Information System (GIS) represent a highly relevant branch of information technology. GIS support the geospatial data import from a variety of sources, including imagery. An appropriate environment for providing the spatial information needed by architects working with historic buildings and archaeologists might be soft-copy photogrammetry coupled with, or linked to, GIS, forming an Archaeological/Architectural Information System (A/AIS). A reason for this relativity is simplicity of digital photogrammetry procedures, widespread knowledge and understanding of certain off-the-shelf GIS packages and the scarcity of personnel and equipment capable of performing hard-copy photogrammetric tasks.

**Key words:** 3D Modelling, Photography, Digital Photogrammetry, GIS, AutoCAD, A/AIS

**Correspondence Address :** Photogrammetric Group, Department of Geomatics, School of Civil Engineering, University of Tafresh, Tafresh, Iran.  
Tel : +98 86 3622 7659  
Email: sajjadi@tafreshu.ac.ir