

## 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 نقشه برداری دانشگاه تفرش

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۱۰/۱۰

### چکیده

در کاربردهای مهندسی در شاخه های مختلف مانند نقشه برداری، عمران و همچنین در زمینه های باستان شناسی و معماری نیاز به در اختیار داشتن اطلاعات مکانی دقیق در مورد اهداف مطالعاتی و اجرایی وجود دارد. با به کارگیری تکنیک های فتوگرامتری رقومی برد کوتاه می توان اطلاعات مکانی دقیقی را جهت استفاده در کاربرهای مختلف تولید نمود. این تکنیک ها در عین انعطاف پذیری قابل توجه، توانایی تولید اطلاعات مکانی با دقت های قابل قبولی در حدود ۴ میلی متر را دارند. با توجه به رقومی بودن روش ها و خروجی های تولید شده، می توان در فرم های مختلف به صورت مدل های سه بعدی، فایل های به فرمت نرم افزار اتوکد و حتی فایل های تصویری از این خروجی ها استفاده کرد. در سامانه های اطلاعات مکانی داده های مکانی از منابع مختلف و به فرمت های متنوع از جمله فرم های تصویری دریافت می گردد. یک محیط مبتنی بر سامانه اطلاعات مکانی با قابلیت نمایش تصاویر دقیق و قابل اندازه گیری برای استفاده در کاربردهای باستان شناسی و معماری خصوصاً در مورد ساختمان های تاریخی و باستانی بسیار مناسب است. این مجموعه سیستم اطلاعات معماری/باستان شناسی (A/AIS) نام گذاری شده است. ساختار این سیستم و دستورالعمل های تدوین شده در پروژه مدل سازی تندیس یادبود هانتر در دانشگاه گلاسکو کشور انگلستان اجرایی شده و مورد بررسی قرار گرفته است.

کلید واژه ها: مدل سازی سه بعدی، فتوگرامتری رقومی، سامانه اطلاعات مکانی، اتوکد، (A / AIS)

\* نویسنده مکاتبه کننده: تفرش، ابتدای جاده تهران، دانشگاه تفرش، دانشکده مهندسی نقشه برداری، کد پستی ۳۹۵۱۸-۷۹۶۱۱

تلفن: ۰۸۶۳۶۲۴۱۲۹۰ - ۰۹۱۲۶۹۴۱۸۸۵

## ۱- مقدمه

مقاله حاضر، مطالعه و تحقیقی است برای امکان‌سنجی ایجاد یک سیستم اطلاعات باستان‌شناسی - معماری که به اختصار آن را ( $A / AIS^1$ ) می‌نامیم. این سیستم مبتنی بر تلفیق فتوگرامتری رقومی، طراحی به کمک کامپیوتر ( $CAD^2$ ) و سیستم اطلاعات مکانی ( $GIS^3$ ) 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 فراگیر بودن سیستم پیشنهادی، می‌توانند مورد توصیف و تجزیه تحلیل واقع شوند. نویسندگان 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 باتجربه 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. فراگیر بودن سیستم پیشنهادی در قالب "پژوهش بیشتر و تحقیقات پیشنهادی" در انتهای این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. به‌طور کلی سیستم پیشنهادی ( $A/AIS$ ) که الگوریتم آن در شکل (۱) نشان داده شده است، می‌تواند با بهره‌گیری از علم ژئوماتیک کمک‌های فراوانی به بشریت بنماید

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 این گونه 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 راه‌حلی مبتنی بر تکنولوژی و با بهره‌گیری 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.

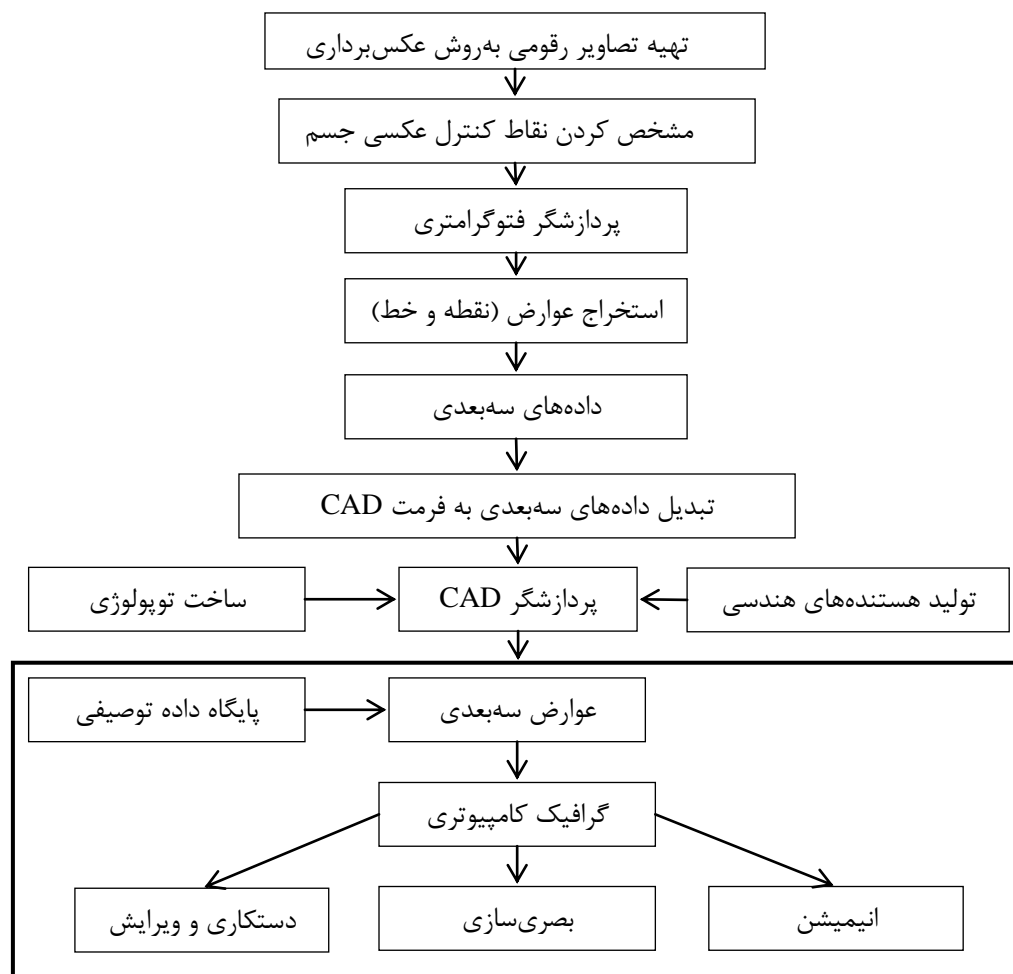
یکی از مزایای سیستم پیشنهادی این است که می‌توان جزئیاتی از ابنیه‌ای مدل شده و قابل دسترسی برای اندازه‌گیری مستقیم (روش سنتی) نیست را سنجش و بررسی نمود. به بیان دیگر، این تکنیک قادر است محدودیت‌های موجود در مدل کردن اجسامی که قسمتی از آن‌ها قابل اندازه‌گیری مستقیم نیستند را برطرف سازد. این روش در پروژه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

<sup>1</sup> Archaeological and Architectural System

<sup>2</sup> Computer Aided Design

<sup>3</sup> Geospatial Information System

<sup>4</sup> Hunter Memorial



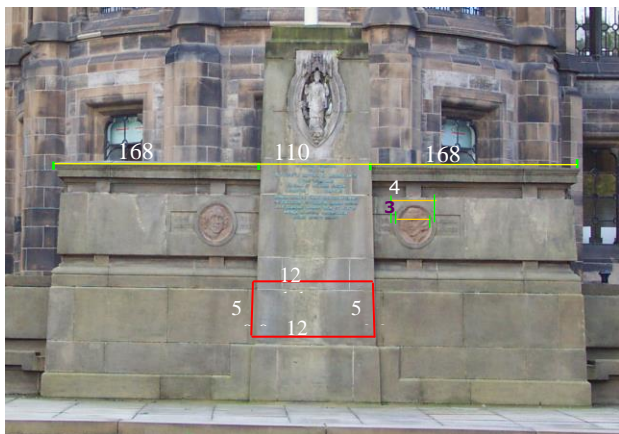
شکل ۱: الگوریتم پیشنهادی برای سیستم باستان شناسی / معماری (A/AIS)

می تواند مبنای احیای آثار باستانی قرار گیرد. یکی از مزایای بدیل و غیرقابل مقایسه این تکنیک مدرن نسبت به روش های جاری این است که می توان مدل های تهیه شده از یک بنا در زمانه ای گوناگون را به کمک یک سیستم هوشمند مقایسه نموده و از حادثه ای که در شرف تکوین بوده و با چشم معمولی قابل رؤیت نیست ولی می رود تا موجبات آسیب رسانی بنا را فراهم کند مطلع شده، چاره جوئی کرد. از این تکنیک برای مستندنگاری میراث فرهنگی و آثار باستانی نیز استفاده می شود.

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

تصاویر عکس برداری شده با دوربین های رقومی، با تکنیک فتوگرامتری و پس از اعمال تصحیحات لازم، تبدیل به مدل سه بعدی می شود. با لحاظ کردن مقیاس، می توان تمام اجزاء ابنیه 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 مواقعی که ابنیه باستانی بر اثر آتش سوزی، 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 به‌دست‌آمده با در نظر گرفتن دیگر فاصله‌های از ابعاد اثر، به‌طور قابل توجهی با دقت مورد انتظار مطابقت دارد (پیشنهاد ۰/۴ سانتیمتر برای جذر میانگین مربع خطا می‌باشد، ولی مقدار به‌دست‌آمده ۰/۲۸ سانتیمتر است). شکل (۲) نیمرخ شمالی از یادبود هانترا را نشان می‌دهد که چند اندازه‌گیری با متر انوار به دلیل ذکر شده به این شکل افزوده شده است. مدال پرتره از برادران هانترا را می‌توان در نمای شمالی این بنای یادبود مشاهده کرد. ویلیام و جان هانترا نام خود را به‌عنوان آناتومیست ثبت کرده‌اند [۶].



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

## ۲-۱- جمع‌آوری اطلاعات

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

۱- رزولوشن ۳/۳ مگاپیکسلی با CCD برابر

۱۴۴۰ × ۲۱۶۰ 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<sup>۲</sup>) نظیر اتوکد، امکان ترسیم و تولید مدل‌های سه‌بعدی در عین به‌کارگیری 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 به‌صورت 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 رستری و اطلاعات متنی 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.

تحقیق انجام‌شده شامل ایجاد یک مدل قابل پردازش به‌وسیله اتوکد از بنای یادبود هانترا (شکل (۲)) واقع در ورودی درب دانشگاه گلاسکو است. این مجسمه در سال ۱۹۲۵ میلادی توسط G. H. Paulin (معماری مجسمه‌ساز) با همکاری J. J. Burnet (معماری 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>۱</sup> Hyperlink

<sup>۲</sup> Computer Aided Design

با توجه به تصاویر رقومی متعددی که از قسمت‌های مختلف شیء مورد نظر برداشت‌شده، تمام نقاط و ویژگی‌های شیء در دو یا چند عکس قابل‌مشاهده 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 دیجیتال 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) گرفته‌شدند، 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 به‌طور 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 به‌کار برده می‌شود، را برای بازسازی نیمه دیگر به‌کار 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.

۲- صفحه‌نمایش ۱/۸ اینچی LCD و منظره یاب تصویر واقعی

۳- زوم ۳ برابر، لنز ۶/۸ تا ۱۸ میلی‌متر (معادل ۲۸ تا ۸۴ میلی‌متر بر روی دوربین ۳۵ میلی‌متری)

۴- زوم دو برابری دیجیتالی با سرعت شاتر از ۱۶ تا یک هزارم ثانیه

۵- گزینه‌های دیافراگم‌های  $f/2.8$ ،  $f/5.6$  و  $f/8$

۶- گرفتن عکس با فرمت جی پی جی<sup>۱</sup> و فرمت‌های فایل تیف<sup>۲</sup> بدون فشردگی

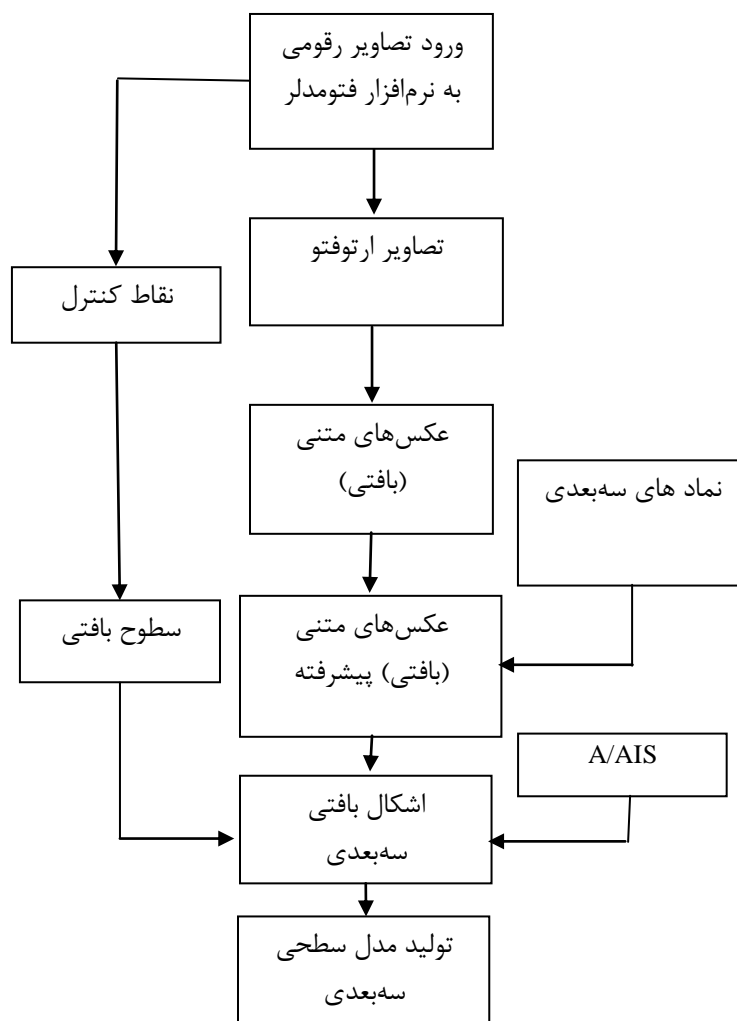


شکل ۳: دوربین دیجیتالی کداک (دی - سی ۴۸۰۰) را نشان می‌دهد

در این پروژه، فتوگرامتری رقومی برد کوتاه با هدف تولید مدل‌های سه‌بعدی مورد نیاز در مستندنگاری و طراحی کامپیوتری در یک سیستم (A / AIS) به‌کار گرفته‌شده است. همچنین از عکس‌برداری برای مستندنگاری از رویه‌های بنای یادبود استفاده شد تا معماران را به‌درستی 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 به‌صورت یکپارچه از تمام سنگ یادبود، مدال پرتره، ستون‌ها، کتیبه‌ها، نوشته‌ها و غیره از جمله آسیب قابل‌مشاهده روی یادبود، انجام شد. به‌عنوان مثال سنگ‌های ترک‌خورده و اشباع ملات بخشی از این آسیب‌ها هستند. عکاسی به‌وسیله دوربین یادشده که در اطراف شیء مورد نظر مستقر شده بود، انجام شد.

<sup>۱</sup> JPG

<sup>۲</sup> TIFF



شکل ۴: الگوریتم توسعه (A / AIS) برای تولید مدل سطحی سه بعدی به کمک نرم افزارهای اتوکد و فتومدلر را نشان می دهد

## ۳-۲- پردازش اطلاعات و تصاویر

در گذشته نزدیک، اندازه گیری دستی و سنتی برای چاپ عکس های اخذ شده روی سطح شفاف مورد استفاده قرار می گرفته است. پردازش سه بعدی عکس، با استفاده از روش های آنالوگ بسیار آهسته است و قابلیت استخراج اطلاعات کمی داشته و دارای کاربرد محدودی است که دوباره نمی تواند مورد بررسی قرار گیرد. علاوه بر آن، این روش بسیار وقت گیر بوده و نیاز به حضور شخص متخصص دارد. در انتقال از روش سنتی به سیستم های خودکار و کامپیوتری برای ایجاد مدل سه بعدی از سطوح اجسام

که انسان کنترل کننده کیفیت و مدیریت ویرایش آن است، الزامات مدل سازی اشیاء زمینی با توجه به افزایش استفاده از فرآیندهای خودکار به منظور مدل سازی سطحی قابل اندازه گیری، به ابزارهایی برای تعیین خواص غیر هندسی (توصیفی) اشاره دارد که به عنوان مثال، گرافیک و پردازش های کامپیوتری را می توان نام برد. گرافیک کامپیوتری قادر است تا تصاویر را از توصیف های مدل و بصری سازی کامپیوتری با فرایند معکوس محاسبه می کند (مدل سازی شیء از تصاویر). به عنوان مثال، هنگام ارائه نتایج یک فرایند فتوگرامتری و یا ارائه داده های مدل رقومی زمین،

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

پس از مشخص کردن و علامت‌گذاری حداقل سه زوج نقطه (نقاط نظیر در تصاویر همپوشان) به‌وسیله مکان‌نما (کرسر) و به‌صورت دستی، سه نقطه، تولید شش معادله نموده و در نتیجه برای حل وضعیت دوربین<sup>۲</sup>، به‌اندازه کافی اطلاعات کسب‌شده و شناسایی مابقی نقاط به‌صورت خودکار انجام می‌شود. سپس تبدیل هر نقطه به فضای تصویر انجام می‌شود و نزدیک‌ترین هدف در تصویر به‌عنوان نقطه مربوطه انتخاب می‌شود. مقدار زمان پردازش بستگی به تعداد عکس‌ها و تعداد نقاط مشخص‌شده دارد. چهار عدد از بهترین عکس‌ها برای ایجاد مدل سه‌بعدی در این پروژه انتخاب‌شده است. طبق دستورالعمل نرم‌افزار فتومدلر، 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 فتومدلر در یک تنظیم را نشان می‌دهد.

یک روش برای حصول اطمینان از صحت یک پروژه، استفاده از "بررسی فاصله‌ها" می‌باشد. برای بررسی فاصله‌ها، مقادیر به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری چندین فاصله به‌دست‌آمده از نرم‌افزار فتومدلر 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 دقت 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 به‌عنوان انحراف استاندارد است و خطای  $x$ ،  $y$  و  $z$  یکسان است. مطابق تئوری خطاها (انتشار واریانس)، خطای مختصات استاندارد  $\sigma x = \sigma y = \sigma z = 0.28 \text{ cm}$  را ارائه می‌دهد که مطابق با دقت مورد نیاز ۰.۴۱ سانتیمتر است.

اگر این فرآیندها در نزدیکی نرم‌افزار در دسترس باشند، یک مدل کامپیوتری می‌تواند به‌سرعت تولید و اطمینان حاصل شود که داده‌های کافی جمع‌آوری شده است. پردازش تصاویر با برنامه فتومدلر به‌دست‌آمده است و ایجاد مدل‌های سه‌بعدی با اتصال نقاط سه‌بعدی، لبه‌ها، منحنی‌ها آغاز می‌شود. هشت مرحله در ایجاد یک مدل سه‌بعدی با این برنامه به‌شرح 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 گرفته‌شده به برنامه فتومدلر،
- علامت‌گذاری کردن اشکال مورد نظر روی عکس‌های گرفته‌شده (این اشکال بعداً نقاط سه‌بعدی؛ کنترل، گره‌ای و 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 دیجیتال کداک (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. فتومدلر از عکس‌های مشخص‌شده 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 کامپیوتری در مدل‌سازی اجسام

گرافیک کامپیوتری برای مدل‌سازی اجسام، به سه جزء متفاوت نیاز دارد که عبارت‌اند از: داده‌ها، الگوریتم‌ها و ساختار. در مدل‌سازی دیجیتالی اجسام، تصاویر رقومی که به‌عنوان اطلاعات ورودی به کار می‌روند را می‌توان با دوربین‌های حساس (سنسور مبنای) یا دوربین‌های فیلم‌برداری دیجیتالی به‌دست آورد. پس از ورود اطلاعات رقومی، الگوریتم‌ها نشان می‌دهد 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 دوبعدی تولید کند. برای دستیابی به این هدف باید فرایند از مقادیر تقریبی شروع گردیده و با تکرار عملیات به‌دقت 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

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

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

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

<sup>۱</sup> RMSE



آسان و سریع به داده ها را فراهم می کند. در این پروژه، ساختار رابطه ای در نظر گرفته شده است. در ادامه پیاده سازی برخی از ساختار داده ها را بررسی می کنیم.

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

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

لیست پیوندی مرتبط دارای محدودیت های 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 گره ها<sup>۱۰</sup> و گره های والدین<sup>۱۱</sup> اشاره می کند. با استفاده از لیست های مرتبط دوجانبه، جستجوی هر دو به جلو و عقب آسان تر می شود. 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 دوجانبه با سه داده یا گره را نمایش می دهد.

موقعیت هر لبه (هر رأس به عنوان نقاط سه بعدی) با حداقل خطا تکرار می شود. 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 لبه های ویژگی.

شکل (۶) فرایند یک الگوریتم استخراج ویژگی و نهایتاً مدل سطحی سه بعدی را نشان می دهد. همان طوری که ملاحظه می شود، ورود داده ها شامل تصاویر رقومی و نقاط کنترل زمینی، مرزهای ویژگی و سایر داده های تصاویر است. خروجی داده ها شامل یک مدل سطحی سه بعدی رقومی و همچنین فایل های دیگر مانند اورتوفوتوها و فایل های داده های ویژگی می باشد. این خروجی را می توان برای سایر بازنمایی، مانند نمایش مدل درختی هشت تایی<sup>۱</sup>، که بعداً مورد بحث قرار می گیرد، استفاده نمود.

#### ۴ - ملاحظات ریاضی در ساختار و نمایش اجسام سه بعدی

همان طوری که در بخش پیشین ذکر شد، سومین جزء از گرافیک کامپیوتری ساختار کنترل داده ها می باشد. دو روش برای اجرای ساخت داده های سه بعدی در سیستم های 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 (سه بعدی). چندین روش برای ساخت داده های غیر فضایی وجود دارد. ساختارهای سلسله مراتبی<sup>۵</sup>، شبکه و ارتباطات را می توان به عنوان روش های ساختاری محبوب برای داده های 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

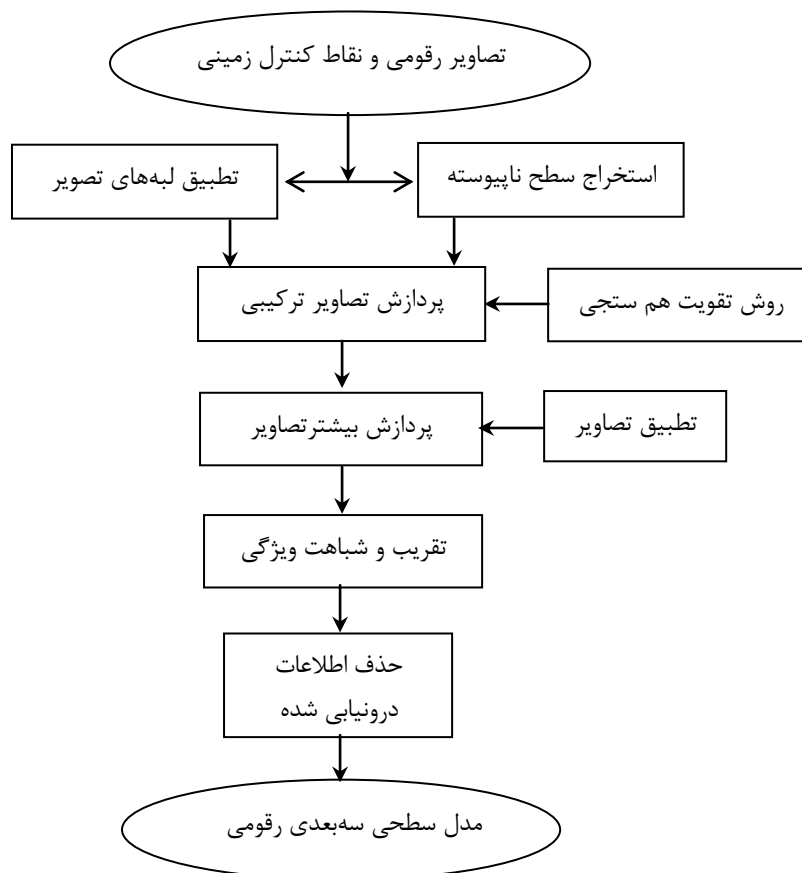
<sup>1</sup> Octal Tree = Octree

<sup>2</sup> Vector

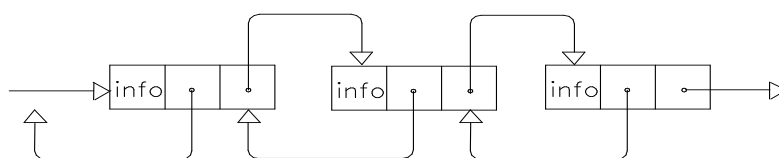
<sup>3</sup> Pixel

<sup>4</sup> Voxel

<sup>5</sup> Hierarchical



شکل ۶: الگوریتم استخراج ویژگی و تهیه مدل رویه‌ای سه‌بعدی



شکل ۷: یک الگوریتم مرتبط دوجانبه

**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 سلسله‌مراتبی 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<sup>۱</sup>:** از انواع دیگر ساختارها، درختان ساختارهای داده‌ها هستند که در سیستم گرافیک کامپیوتری 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 گسترده‌ای 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 نهایی) تعریف کرد و عملیات را در گره‌ها تنظیم کرد.

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 دقتی 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  $N/2$  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  $\log N$  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 حداکثر 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 حداکثر می‌تواند تا دو فرزند داشته باشد. گره بدون زیرشاخه، گره برگ یا گره پایانی نامیده می‌شود. ساختارهای داده‌های درخت دوتایی به طور گسترده‌ای در برنامه‌های کاربردی مدل‌سازی

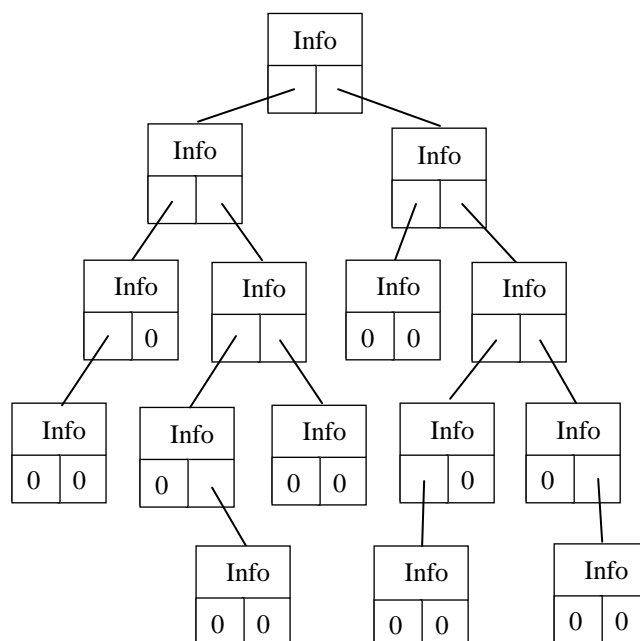
<sup>۱</sup> Binary Tree = Bintree

<sup>۲</sup> Constructive Solid Geometry = CSG

<sup>۳</sup> Octal Tree = Octree

<sup>۴</sup> Bintree Representation

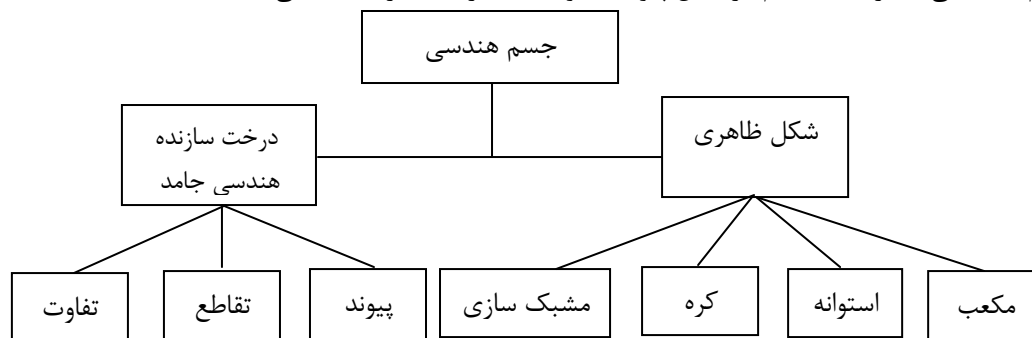
<sup>۵</sup> CSG Tree Representation



شکل ۸: نمایش ساختار داده‌های درخت دوتایی را نشان می‌دهد

هموار دارد. این موضوع با تعریف یک سطح ضمنی به معادله  $f(x, y, z)$  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>۲</sup> Octree<sup>۳</sup> Decomposition<sup>۱</sup> Octree Representation

#### ۴-۲- بررسی الگوریتم های ریاضی در مدل سازی سه بعدی

دستگاه مختصات دکارتی سه بعدی به عنوان محل مناسب برای نمایش نقاط سه بعدی پیشنهاد شده است تا در فتوگرامتری موقعیت نقاط در فضا مشخص گردد. اغلب تبدیل بین مختصات با ریشه های مختلف، جهت ها و مقیاس مورد نیاز است. سیستم های سه بعدی مختصات دکارتی و مختصات همگن که در بخش های اشیاء فضایی سه بعدی در نظر گرفته می شوند. به ترتیب توصیف ریاضی منحنی ها و سطوح را به عهده دارند. برای این پروژه، و تجسم سه بعدی و استخراج یک شکل باید به طور کامل در یک سیستم اطلاعاتی مکانی ویرایش و توسعه یابد. اگر به نظر می رسد که شکل به طور واقعی در فضای سه بعدی قابل استفاده مجدد نباشد (به عنوان مثال؛ جسم نمی تواند چرخش شود و نقاط سه بعدی ای را نمی توان استخراج کرد)، معلوم است که الزامات مدل سازی سه بعدی ممکن نشده است. این بدان معنی است که نمی توان تجزیه و تحلیل شکل (مثلاً شیب، انحنا، سطح، بافت سطح و ابعاد در همه جهات) امکان پذیر است. در نتیجه مسئولیت عامل (فتوگرامتریست) شناختن و حتی توضیح دادن و یا ارائه مشاوره در مورد نمادهای هندسی و روابط آنها با اشکال سه بعدی است، به طوری که داده ها به اندازه کافی مناسب شوند.

#### ۴-۳- معادلات ریاضی در مدل سازی اجسام

در حال حاضر، در مدل سازی از اجسام سه بعدی، منحنی های نورب<sup>۸</sup>، مختلف، شامل بی اسپیلین 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 می روند. می دانیم 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 می کند درست می شود. این "جهان هستی" به تدریج به هشت مکعب با اندازه برابر تقسیم می شود که "اکتان" 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 می دهد و شامل ویژگی مربوط به آن مکعب است. ریشه<sup>۵</sup> این درخت نشان دهنده کل فضا، و خود یک گره خاکستری است. گره های برگ که گره های پایانی هستند، شامل مکعب های واحد با همان ارزش هستند. گره های برگ شامل اجزاء اولیه مانند لبه ها و چندضلعی ها نیستند، اما مکعب ها با همان دقت تقریب می کنند. اگر هر یک از گره های حاصل، همگن<sup>۶</sup> باشد، به این معنی است که فرایند 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 می گیرد. گره هایی که کاملاً خارج از جسم هستند، گره های خالی نامیده می شوند در حالی که گره هایی 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 می شود که همگن هستند. گره های غیر پایانی (گره های خاکستری) که ناهمگن یا نیمه کامل هستند باید به هشت مکعب دیگر تقسیم شوند تا گره های خالی یا گره های پر و کامل (با دقت مورد نظر) به دست آمده و عمل سلسله مراتبی پایان یافته و کلیه گره ها، 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>۲</sup> مراحل زیر موردبررسی قرار گرفته است:

(۱) با گرافیک کامپیوتری سه بعدی، یک پنجره ایجاد کرده است،

(۲) بافتی 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 فتومدلر مجسم گردیده و موردبررسی قرار گرفته است،

(۶) یک مدل سطحی بافتی از محیط در یک پنجره برای داده ها تعبیه شده است،

(۷) تمام عکس ها به یک پوشه بنام پوشه ویندوز وارد شده و سپس برای از بین بردن عکس های ضعیف موردبررسی قرار گرفتند و همچنین برای اطمینان از پوشش مورد نیاز از هر طرف از این شیء موردبررسی 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، "غیریکنواخت" 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 بزیر 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 غیرمنطقی، 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 غیرقابل 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) بایگانی 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 ای بنام

<sup>2</sup> Socet Set

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

(OLE<sup>۴</sup>) را می‌توان به‌دست 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 اتوکد، (SOCET SET)، (فتومدلر)، آرکویو<sup>۶</sup> و اکسل را به‌عهده دارند. بنابراین، یک شیء ایجادشده توسط اتوکد می‌تواند به‌عنوان یک شیء OLE مورد استفاده قرار گیرد. برنامه مقصد، 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. به‌عنوان مثال، اورتومدل می‌تواند برای اندازه‌گیری دقیق‌تر در برنامه‌های (سوست-ست) و فتومدلر استفاده شود. باید دانست که فایل‌های صادراتی در فرمت‌های (DWF، JPEG و 3DS) نیز می‌توانند (در فرمت فایل HTML) برای دانلود و بازسازی تصاویر توسط دیگران برای اهداف آینده به وب صادر شوند.

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

فایل متنی به‌نام (چندضلعی سه‌بعدی) می‌خواند. سپس اتصال این رئوس به‌طور خودکار به‌عنوان چندضلعی بسته و به فرم سطوح مسطح و صاف که نقطه ابتدائی هر چندضلعی به نقطه انتهائی آن متصل است، انجام می‌گیرد. فایل‌های اسکریپت<sup>۱</sup> شامل لیست تمام صفحات مسطح که سطح بیرونی جسم را تشکیل می‌دهد، خواهد بود. تمام رئوسی که مختصات آن‌ها به‌عنوان 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 ویرایش 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 موردپژوهش 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، به‌وجود آوردن و احیای دقیق بخش‌های بین رفته ساختمان یا کل میراث فرهنگی با این نسخه‌ها و کار با ابزارهای اتوکد به‌اندازه 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 متنی برای اتصال و تلفیق برنامه‌های مختلف استفاده می‌شوند. در نتیجه؛

<sup>۴</sup> Object Linking and Embedding

<sup>۵</sup> Run external program

<sup>۶</sup> ArcView

<sup>۷</sup> Wire-frame Model

<sup>۱</sup> 3dpoly.scr

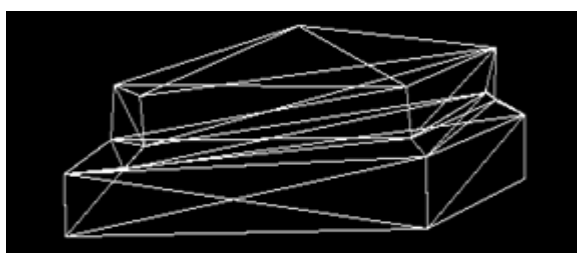
<sup>۲</sup> ArcGIS

<sup>۳</sup> Data eXchange Format

- مدل قاب رشته‌ای<sup>۷</sup>
- تشکیل شبکه‌های نامنظم مثلثی ( $TIN^A$ ) از سطوح
- رندر کردن مدل
- مدل سه‌بعدی<sup>۹</sup>
- مدل ارتفاعی رقومی ( $DEM^10$ )

#### ۷-۱- شبکه بی‌نظیر مثلثی

برای مجسم کردن یک اثر باستانی و معماری، توصیف دقیق از سطوح آن جسم به‌صورت هندسی لازم است. در این مورد باید از شبکه نامنظم مثلثی به‌نام شبکه مثلث‌های نامنظم که یک ساختار داده رقومی است و به‌اختصار  $TIN$  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 تشکیل‌شده 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

مورد بررسی قرار داد که در اتوکد برای پردازش بیشتر در دسترس است. این فایل همچنین می‌تواند به‌عنوان مستندسازی آثار باستانی ذخیره شود.

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

داده‌های استخراج‌شده از ( $A / AIS$ ) از نوع داده‌های رستری، بردار یا متنی هستند. استخراج فایل‌های ارتوفتو با استفاده از فرمت بدون فشردگی تیف ( $TIFF^1$ ) 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 اسکریپت ( $3dpoly.scr$ ) از نقاط سه‌بعدی ذخیره‌شده که به اتوکد وارد شده است، تجسم قابل اندازه‌گیری ابعاد مورد نظر را تولید می‌کند. استخراج داده‌ها به‌عنوان خروجی این پروژه نشان می‌دهد که هر ۱۳ بسته رقومی (تصاویر رقومی) به‌دست آمده از دوربینی که هم‌راستا<sup>۲</sup> نیز شده است در تولید نقاط ابری و تهیه 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
- تهیه 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



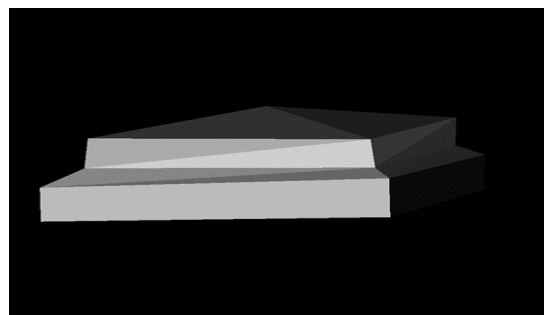
جدول ۲: فایل گزارش شده از پلیگون سه بعدی برای مدل سازی از سطوح مجسمه یادبود هانتر

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

## ۷-۲- 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 فتومدلر تولید و فرایند تجسم انجام‌شده 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. فتومدلر 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

فتومدلر 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

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 مورد بررسی قرار نگرفته است، شامل بافت تصویر لیزری است. لیزر اسکنر قادر به جمع‌آوری 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 می‌تواند با استفاده از داده‌های فتوگرافی مشتق شده، اصلاح شوند [۳]. فایل‌های DXF که توسط وارد کردن داده‌های فتوگرامتری مشتق شده به اتوکد ایجاد شده است می‌تواند برای تولید مدل قاب سه بعدی استفاده شوند و تصاویر لیزری نیز می‌تواند رندر بافت را به یک مدل سه بعدی رقومی اضافه کنند.

داده‌هایی که می‌تواند از فتومدلر 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. (به عنوان مثال این تنها فرمتی است که می‌تواند "Hot Linked" را به ArcView تبدیل کند).

در فتومدلر نسخه ۷، فایل‌های خروجی موجود و در دسترس وجود دارد. مدل‌های سه بعدی رقومی که توسط فتومدلر تولید می‌شوند، می‌تواند به یک برنامه

## ۱۰- بحث و نتیجه‌گیری.

تکنیک‌های فتوگرامتری مزایای بسیاری برای ثبت و ضبط، مستند نگاری و حفظ و نگهداری آثار باستانی، میراث فرهنگی و ابنیه‌های 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 کرد. این سطح اغلب مستقل از سطح جزئیات است. کاربرد این گونه تکنیک‌ها، مزایای دیگری نیز دارد که عبارت‌اند از: افزایش کیفیت تصویربرداری رقومی، اطلاعات رقومی اصلاح و اعاده شده و در نهایت استخراج ویژگی‌های مورد نظر برای ایجاد مدل سه بعدی به کمک سامانه اطلاعات مکانی، ثبت و بایگانی بهتر در کامپیوتر و مشاهده این گونه بناها 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 سه بعدی 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 نهد 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 برد کوتاه، در حال حاضر تبدیل به یکی از

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

- (IGES \_ XVRML \_ OBJ \_ 3DS \_ DXF) و در برنامه اتوکد با پذیرش استفاده از فرمت DXF تولید شده با نرم‌افزار فتومدلر 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 سه بعدی به صورت درخت هشت تایی به عنوان نتایج جدید، می‌تواند به آسانی مدل‌سازی سطحی اجسام را انجام دهد. این روش به مراتب راهی واقعی‌تر 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 با وضوح 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 سه بعدی و تصاویر اورتوفتوئی از مجسمه یادبود هانتر ارائه کرده است. روش استفاده شده نتایج رضایت‌بخش برای ضبط، نمایش و بازسازی پی‌درپی بناهای معماری و تحلیل دیجیتالی آن‌ها به همراه دارد.

شناخته شده ترین برنامه های علوم فتوگرامتری در زمینه های خاص خصوصاً معماری و باستان شناسی شده است.

#### ۱۱- پژوهش بیشتر و تحقیقات پیشنهادی

در سال های اخیر، پیشرفت فراوانی در فناوری اطلاعات و سایر امکانات جدید موجود برای باستان شناسان و معماران در راستای کاهش هزینه ها و افزایش اثربخشی صورت گرفته است. به عنوان مثال، فناوری جدید در حال حاضر به نقشه بردار اجازه می دهد تا داده های رقومی را مستقیماً به پایگاه داده مربوطه از ابزارهای فتوگرامتریک انتقال دهد و در فرمت مناسب برای مدیریت و تفسیر داده های سه بعدی در یکی از محیط های سیستم اطلاعاتی مکانی، مانند اتوکد، آرک جی آی اس و غیره بهره برد.

مهندسان نقشه بردار و ساختمانی، باستان شناسان و معماران نیاز به اطلاعات دقیق دارند. تکنیک های فتوگرامتری رقومی برد کوتاه به کمک ابزارهای دقیق اندازه گیری و ویژگی های عکاسی توانسته است نتایجی با دقت ۴ میلی متر تولید نموده و با بایگانی اطلاعات به روز، یک سیستم اطلاعاتی مکانی ایجاد کند. این به میزان قابل توجهی انعطاف پذیری استفاده از داده ها را افزایش می دهد، به طوری که می توان آن ها را در بسیاری از اشکال مختلف از جمله خروجی به صورت ترسیم و یا به عنوان مدل سه بعدی در محیط اتوکد ترجمه و تفسیر کرد.

تکنیک های فتوگرامتری رقومی سهمی بسیار مهم در طراحی سیستم  $AIS / A$  ایجاد کرده اند. با اشاره به پیشرفت سریع که در تحقق داده های رقومی در ۳۵ سال گذشته اتفاق افتاده است، می توان پیش بینی کرد که داده های حاصل از دوربین های دیجیتال، اطلاعات عکس های 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 چهره ها و تجسم اشیاء معماری را ارائه می دهد، اما برای توسعه اثربخشی آن،

لازم است تحقیقات بیشتری انجام شود. اگرچه یک کار بزرگ در تلفیق سیستم اطلاعات مکانی، کد و فتوگرامتری انجام شده است و چنین سیستم هایی به توان عملیاتی رسیده اند، اما شرایطی وجود دارد که مشاهدات غیر فتوگرامتریک برای پشتیبانی از داده های اسکن شده خصوصاً در نواحی ای که امکان انجام عکس برداری استریو وجود ندارد، مورد نیاز است.

بر اساس نتایج به دست آمده از این مقاله، نویسنده پیشنهاد می نماید که با استفاده از عکس برداری دیجیتال، 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 مدل های سطحی سه بعدی که مورد نظر هدف است، دست یافت. سپس با بهره برداری مناسب از ساختار داده های رقومی استخراجی در راستای هدف مشخص شده گام برداشت. در این پژوهش، هدف نهایی 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، می توان دوربین های عکس برداری متعددی را در موقعیت های مناسب در اطراف شیء مورد نظر مستقر و ثابت نمود تا به طور خودکار در زمانه ای معین از سطوح آن شیء عکس های دیجیتالی بگیرند و این تصاویر دیجیتالی برای پردازش وارد نرم افزار معینسی نظیر فتوماسکر و ای جی آی سافت فتواسکن<sup>۱</sup> و دیگر نرم افزارهای مشابه، شده و مدل سطحی سه بعدی رقومی به وجود می آید. داده های استخراجی از مدل ساخته شده وارد نرم افزار دیگری مانند متلب<sup>۲</sup> که می تواند نتایج

<sup>۱</sup> Agisoft Photo Scan

<sup>۲</sup> Matlab

گره‌های خاکستری تغییر شکل می‌دهند. این دگرگونی زنگ خطری است برای سازمان میراث فرهنگی، صنعت، پزشک معالج و غیره (حسب مورد)، که می‌تواند به وسیله یک سیستم هوشمند که مدل‌های تناوبی 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 به‌طور متوالی تقسیم گردند تا جایی که با دقت لازم به گره‌های برگ همگن (گره‌های به‌طور 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 به‌ناهمگن 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](http://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