

بهره‌گیری از فتوگرامتری برد کوتاه در لایه نگاری دیواره های جنوبی و شمالی کارگاه
۳۰ منطقه صنعتی شهر سوخته
سیده مدیا رحمانی / سعید پارسائیان

L'uso della fotogrammetria a corto raggio in archeologia

Media Rahmani e Saiid Parsaiian

One of the most effective and revolutionary approach to the studies and researches in the field of archaeology is the use of new technologies and digital equipments in data analyzing. The aim of this article is to present new methods for collecting the archaeological data, as well as the reconstruction of vertical sections using 3D photograph models applied to the stratigraphy of Workshop n. 30 at Shahr-i Sokhta.

Uno degli approcci più efficaci e rivoluzionari agli studi e alle ricerche nel campo dell'archeologia è l'uso di nuove tecnologie e apparecchiature digitali nell'analisi dei dati. Lo scopo di questo articolo è quello di presentare nuovi metodi per la raccolta dei dati archeologici, nonché la ricostruzione di sezioni verticali utilizzando modelli di fotografia 3D applicati alla stratigrafia dell'area 30 a Shahr-i Sokhta.

چکیده:

یکی از راهکارهای موثر که در دهه‌های اخیر باعث تحول عظیم در تحقیقات و مطالعات باستان‌شناسی شده، کاربرد فن‌آوری‌های نوین و تجهیزات دیجیتال در ثبت و تجزیه و تحلیل داده‌هاست. استفاده از مستندسازی‌های سه بعدی با امکانات فراوان و نرم افزارهای قدرتمند یکی از مناسب‌ترین روش‌ها برای مستندسازی داده‌های باستان‌شناسی است. فتوگرامتری برد کوتاه با داشتن قابلیت‌های ابزاری کارآمد یکی از راه‌های مستندسازی یافته‌های باستان‌شناسی به شمار می‌رود.

داده‌های باستانی به علت ظرافت و شکنندگی که دارند در بیشتر موارد غیر قابل برگشت بوده و کوچکترین غفلت باعث نابودی همیشگی آن‌ها می‌شود. لایه‌نگاری یکی از ضرورت‌هایی است که می‌تواند در کاوش‌های باستان‌شناسی میزان صحت و دقت در ثبت آثار را افزایش داده و از درصد خطاها بکاهد. لایه‌نگاری باستان‌شناختی زمان و مکان را برای ما مشخص می‌کند و بر ترتیب قرارگیری فیزیکی لایه‌بندی باستان‌شناختی تکیه دارد. در کارگاه ۳۰ شهرسوخته برای اولین بار در این محوطه از قابلیت دانش فتوگرامتری برای برداشت سکشن لایه‌نگاری استفاده شد که در این مقاله به روند اجرایی کار خواهیم پرداخت.

مقدمه

کاوش‌های باستان‌شناسی ماهیتاً همراه با ویرانی است. بنابراین در صورتی که کاوش و مستندسازی به درستی مدیریت نشود، اشتباهات جبران ناپذیری رخ خواهد داد. بر اساس همین ویژگی بهتر است آن یافته‌ها از شیوه‌های نوین کمک گرفته شود. برای دقت بیشتر در ثبت و ضبط داده‌ها نیز برای مستندسازی‌های لازم کمک گرفته شود.

ایجاد مستندسازی سه بعدی دیجیتال برای یافته‌های حاصل از کاوش‌های باستان‌شناسی نتایج سودمند بسیاری از جمله ثبت و ضبط سریع و انسجام و دقت و صحت داده‌های ثبت شده، جلوگیری از بروز گونه‌های متضاد و تکراری اطلاعات در فایل‌های ذخیره شده را در بردارد. علاوه بر موارد ذکر شده، رقومی کردن اطلاعات یک کاوش باستان‌شناسی، امکان ایجاد پایگاه داده‌های باستان‌شناسی برای در اختیار دادن اطلاعات محوطه‌های باستانی به همه پژوهشگران و عموم مردم جهان را فراهم می‌سازد (باری و فیض، ۱۳۹۴: ۳). فتوگرامتری از ویژگی‌های منحصر به فردی نسبت به سایر روش‌ها در مستندسازی سایت‌های باستانی برخوردار است. عدم نیاز به تماس با عارضه، امکان اخذ اطلاعات بافت رنگ و انتقال این ویژگی‌ها بر روی داده‌های خروجی سه بعدی، انعطاف‌پذیری بالای این روش در بحث دستیابی به دقت مورد نیاز در اندازه‌گیری‌ها و پتانسیل آن در دستیابی به دقت‌هایی در

حد میکرومتر، قابلیت اخذ کم هزینه مشاهدات و آرشيو تصاویر تا زمان نیاز به استخراج اطلاعات کمی، همگی از پارامترهایی هستند که باعث شده‌اند بکارگیری تکنیک فتوگرامتری در مدل‌سازی سایت‌های باستانی بیشتر مورد استفاده قرار گیرند (همتی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲). به این منظور فضا‌های سه و شش کارگاه شماره ۳۰ واقع در منطقه‌ی صنعتی محوطه‌ی جهانی شهر سوخته برای استفاده از این روش به صورت آزمایشی انتخاب شد.

پیشینه بهره‌گیری از فناوری‌های دیجیتال در باستان‌شناسی

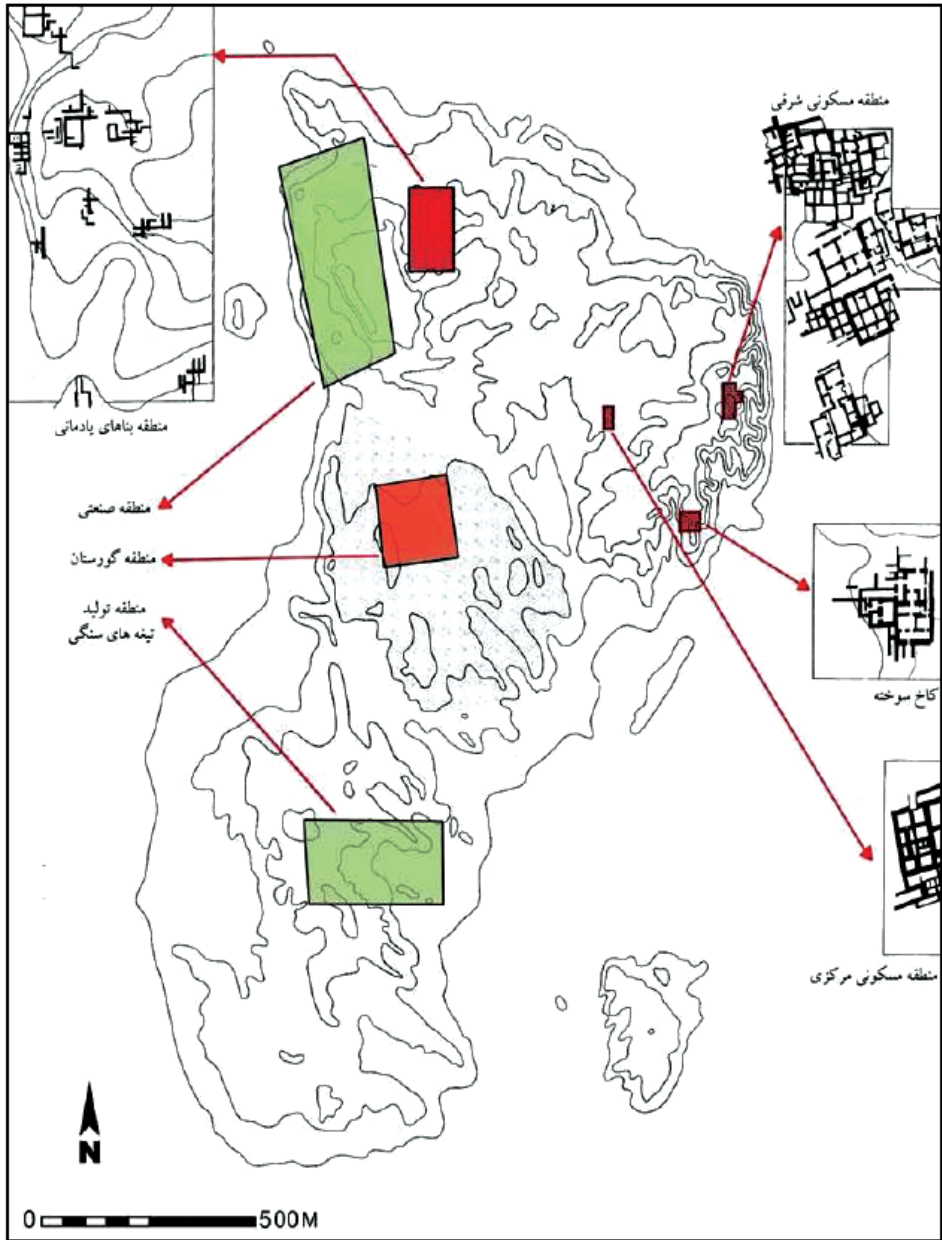
بهره‌گیری از قابلیت جدید رایانه و تجهیزات نوین نقشه‌برداری، در باستان‌شناسی ایران فاقد سابقه قابل توجهی است. در حال حاضر بیشتر مستندنگاری داده‌های کاوش‌های باستان‌شناسی ایران به روش‌های سنتی انجام می‌شود و از رایانه تنها به عنوان ابزار ثبت داده‌ها استفاده می‌شود و استفاده در زمینه‌ی تجزیه و تحلیل و گرافیک‌های رایانه‌ای کمتر مورد توجه قرار گرفته است و تنها در چند پروژه‌ی باستان‌شناسی از ابزار قدرتمند رایانه و تجهیزات مرتبط در این زمینه‌ها استفاده شده است. از مهم‌ترین این پروژه‌ها می‌توان به مستندسازی نقوش طاق‌بستان به روش فتوگرامتری (ذولفقاری و مالیان، ۱۳۸۷)، مستندسازی مجازی کاخ ساسانی بندیان درگز (نیکنامی و میراشه، ۱۳۷۹) مستندسازی به روش اسکن لیزر در پارینه (افشار و برومند، ۱۳۸۰) ارگ بم (برومند و استانیکا، ۲۰۰۴) و بنای هارونیه (دانشپور مقدم، ۱۳۸۸)، مستندسازی محوطه میمون‌آباد توسط نرم افزار GIS (احمدپور و همکاران، ۱۳۹۲) و چندین پروژه دیگر اشاره کرد (یاری، فیض، ۱۳۹۴، ۲).

تقسیم‌بندی محوطه شهر سوخته

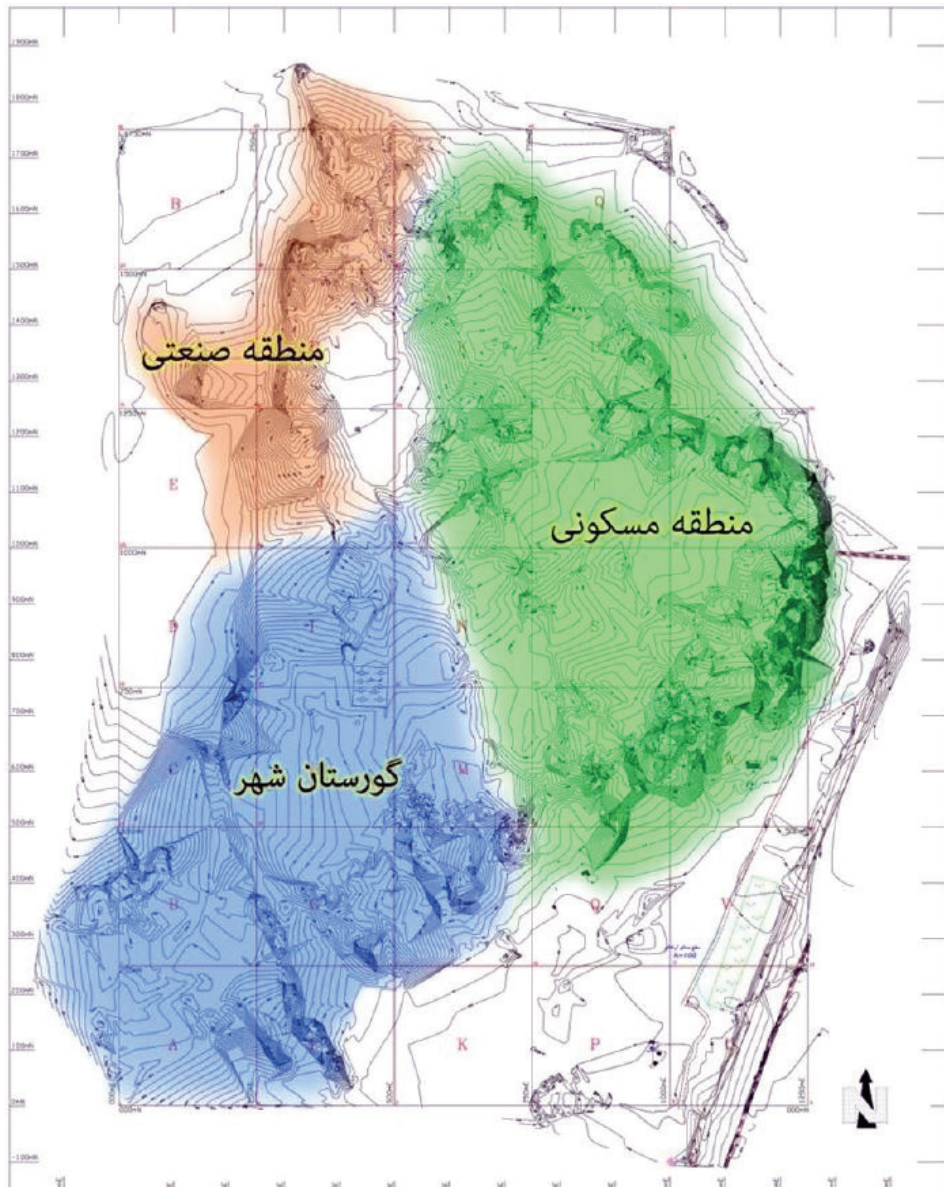
آثار باقی‌مانده در این شهر عظیم باستانی که بر روی تپه‌های وسیع دوره پلیستوسن قرار گرفته به سه بخش اصلی و پنج بخش فرعی تقسیم شده است (سیدسجادی و فروزانفر، ۱۳۸۰: ۱۰۳) (نقشه ۱ و ۲) (تصویر ۱).



تصویر ۱: جبهه شمال شرقی شهر سوخته (سیدسجادی، ۱۳۹۴: ۵)



نقشه ۱: بخش‌های مختلف محوطه شهر سوخته (سیدسجادی، ۱۳۸۴: ۴۱۲)



نقشه ۲: مناطق اصلی محوطه شهر سوخته (نقشه: سیدسجادی، ۱۳۸۴)

منطقه صنعتی شهر:

این منطقه شامل تمام گوشه شمال غربی بوده و حدود ۲۵ هکتار مساحت دارد (سید سجادی، ۱۳۶۲: ۲۷۵) و در آن وسایل و ابزار سنگی و سنگ لاجورد به مقدار زیادی در آنجا یافت شده است. بلندترین قسمت این بخش ۱۲/۵ متر از سطح زمین‌های اطراف ارتفاع دارد و آثار یافت شده متعلق به دوره‌های سوم و چهارم استقرار در شهرسوخته است (سیدسجادی، ۱۳۸۴: ۲۰۵) (تصویر ۲).

کارگاه شماره 30/ EWL

این کارگاه با ابعاد ۱۰×۱۰ متر و در جهت شمال به جنوب منطقه موسوم به محله صنعتی واقع شده است و از شمال به کارگاه شماره ۵، از جنوب شرق به گورستان از شرق به کارگاه شماره ۱ محدود می‌باشد (تصویر ۳).

هدف از انتخاب این قسمت برای کاوش یافتن کارگاه صنعتی فرآوری سنگ لاجورد و فیروزه بر اساس یافته‌های کارگاه جنبی که دارای مواد بسیار زیادی در رابطه با سنگ‌تراشی و مهرسازی بوده است.

با توجه با اهمیت کاوش در مربع EWL تمامی خاک حاصل از کار در سه مرحله سرند و الک شده و دقت بیشتری برای یافتن داده‌های ریزمادی/فرهنگی شده است. در تمامی مراحل الک کردن، نمونه‌های آزمایشگاهی شامل: ذغال، خاکستر، چوب، استخوان جانوری، صدف، بقایای گیاهی، نمونه خاک، سرباره، پارچه و پشم... جمع‌آوری گردید.

غالب سفال‌های بدست آمده از کارگاه شماره ۳۰ را سفال‌های ساده نخودی و منقوش، آجری ساده و منقوش، تعداد بسیار کمی سفال خاکستری، قرمز و رنگارنگ دوره سوم استقراری تشکیل می‌دهند. حفاری و مشاهدات اولیه نشان داده‌اند گمانه EWL شامل یک مجموعه معماری با کاربری مسکونی-کارگاهی است. یک خانه اربابی، مجموعه‌ای متعلق به یک خانواده ثروتمند که با توجه به وسعت آن، علاوه بر بخش‌های متعددی برای زندگی روزمره، محلی برای کار کارگاهی نیز بوده است.

نظم، تراز و مهندسی بودن دیوارها و بزرگی مجموعه بر اهمیت این سازه معماری تاکید دارد. استفاده از خشت‌های خشک شده و مستحکم کار شده نشان‌دهنده این امر است که سازندگان آن نیز توجه ویژه‌ای به استحکام و زیبایی بنا داشته‌اند. البته اندود نبودن هیچ یک از دیوارها در هر دو لایه حفاری شده تأمل برانگیز است.

صنعتی بودن صرف این کارگاه تا حدودی مورد تردید است با توجه به ساختار بناها و نیز با توجه به فراوانی ادوات سنگی همچون تیغه، ریز تیغه، تراشه و به دست آمدن تعداد



تصویر ۲: عکس هوایی - منطقه صنعتی شهر سوخته (عکس: سیده مدیا رحمانی)



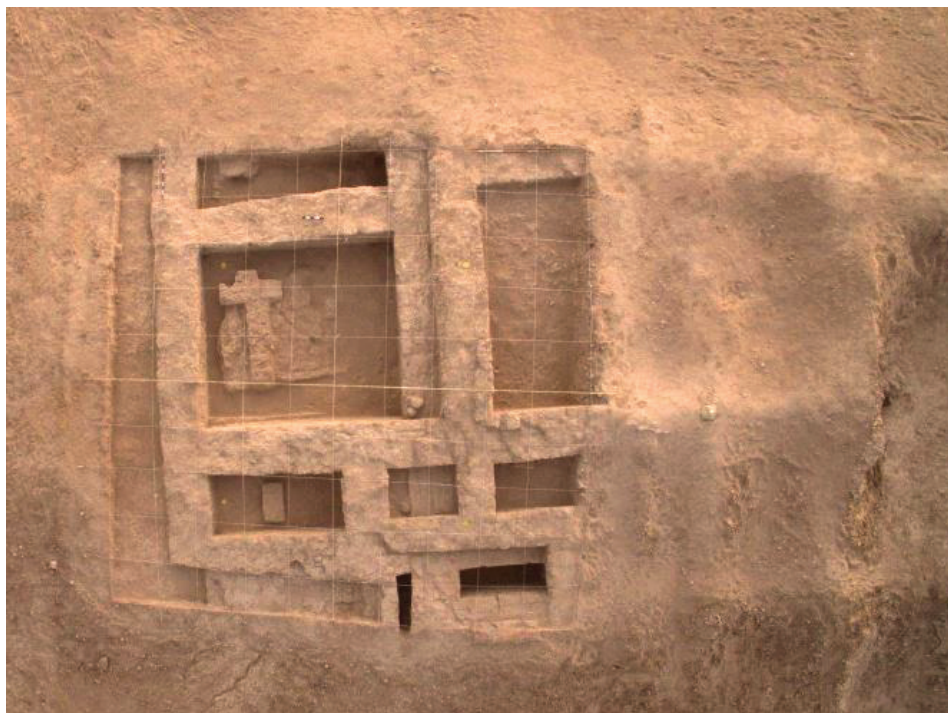
تصویر ۳: عکس هوایی - از محدوده کارگاه ۳۰ (عکس: سیده مدیا رحمانی)

قابل توجهی بالشتک‌های مثلثی حرارت دیده به صورت ناقص و تعدادی سالم همراه با اثر مهر و نشانه، پیکرک‌های جانوری و انسانی به نظر می‌رسد در این جا علاوه بر کارگاه‌های صنعتی با برخی از خانه‌های مسکونی صنعتگران نیز روبرو هستیم.

به نظر می‌رسد این بخش از ساختمان با برنامه‌ریزی تخلیه شده است. با توجه به پیدایش تنها سه فضا در لایه یک که دو عدد از آن‌ها اتاق‌هایی کوچک و فاقد ورودی هستند و می‌توان از آن‌ها به عنوان انبار یاد کرد و همچنین عدم به دست آمدن شواهد تولید یا نگهداری تولیدات و حتی وسایل زندگی روزمره در این بنا از دلایل تخلیه این بنا شمرده می‌شود.

در لایه دو سکونتی این ساختمان با یک فضای بزرگ مرکزی که به احتمال زیاد بخش بیرونی ساختمان بوده روبرو هستیم که این فضا را نیز خاک انباشت شده یک دست پر کرده بود. از ویژگی این فضا وجود ساختاری؟ (لوکوس شماره ۳۰۳۰) نامشخص با یک ردیف خشت بر روی خاک نرم و فراوانی ذغال و خاکستر در اطراف آن و همچنین پیدا شدن تعداد زیادی پیکرک انسانی و جانوری مسکونی بودن این بخش را بیشتر به ذهن می‌آورد.

کارگاه ۳۰ دارای دو لایه فرهنگی و ۸ فضای گوناگون است (تصویر ۴).

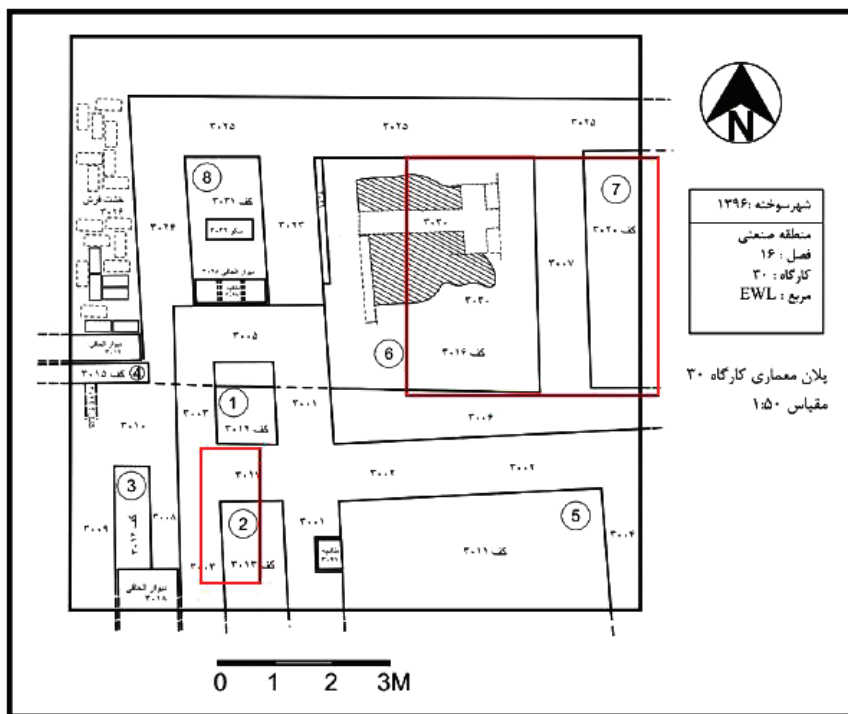


تصویر ۴. کارگاه ۳۰ پس از کاوش (عکس: سیده مدیا رحمانی)

فضاهای شماره یک و دو مربوط به لایه یک و فضاهای سه تا هشت مربوط به لایه دو می‌باشند (پلان ۱). برای لایه‌نگاری فتوگرامتری این کارگاه دو فضای شماره سه و شش در نظر گرفته شد است.

فضای سه: فضایی باریک و راهرو مانند است که بخش‌های جنوب غربی آن حفاری نشده است. دیوار چینه‌ای این فضا به صورت یک ردیف طولی و یک ردیف عرضی بر روی هم است و تنها دیوار جانب غربی این فضا با چیدمانی متفاوت خشت به صورت دو ردیف طولی و یک ردیف عرضی بر روی هم می‌باشد.

فضای شش: از دیوارهای قطور با خشت‌هایی کاملاً سالم و خشک شده ساخته شده است. این فضا با توجه به بزرگی آن می‌تواند بخش بیرونی ساختمان مورد نظر را تشکیل داده باشد. درون این فضا ساختاری نامشخص از تعدادی خشت که بر روی خاک نرم قرار گرفته و دارای جوش نمک بسیاری است و همین سخت‌شدگی زیاد باعث شده تا نتوان تشخیص داد که ساختاری منظم بوده یا اینکه تعدادی خشت بطور اتفاقی به طور منظم در کنار هم قرار گرفته و به مرور با جوش گرفتگی چنین مجموعه‌ایی را بوجود آورده. سطح این سازه؟



پلان ۱: پلان معماری کارگاه ۳۰، فضاهای ۳ و ۶ (پلان: پارسائیان- جهانگیری)

کاملاً جوش گرفته و مضطرب و دارای قطعات سفال – ذغال و خاکستر است. فراوانی تعداد پیکره انسانی و جانوری بر روی این سازه؟ یک از نکات قابل توجه این فضا می باشد. با این وجود با قطعیت نمی توان گفت که این ساختار بطور اتفاقی و بر اثر ریزش آوار به وجود آمده. (پلان ۱)

تهیه مدل سه بعدی توسط فتوگرامتری برد کوتاه مطالعه موردی سکشن کارگاه ۳۰
 برای تهیه یک مدل سه بعدی توسط فتوگرامتری برد کوتاه، نخستین گام استفاده از یک دوربین عکاسی با لنزیست که کمترین خطای پرسپکتیو هندسی را داشته باشد. این کار از طریق استفاده از مدل ریاضی مذکور در یک الگوریتم پردازش تصویر میسر است. به دلیل وجود اعوجاج، موضوعات خطی در عکس به صورت موضوعات منحنی الخط ظاهر می شوند. از این روش جفت سازی خط (line-Fitting) امکان برآورد اعوجاج را فراهم می کند. معادلات خطوط عکسی به شکل زیر بیان می شوند:

که در آن t_x و t_y به ترتیب شیب خط نسبت به محورهای x و y

و b_x به b_y ترتیب محل تقاطع خط با محورهای x و y

و d_x به d_y ترتیب نماد اعوجاج در راستای x و y (عفتی و حاجی حسنی، منتشر نشده).

$$x-dx+t_y(y-dy)+b_x=0$$

$$t_x(x-dx)+y-dy+b_y=0$$

مراحل برداشت پلان ارتوفوتو

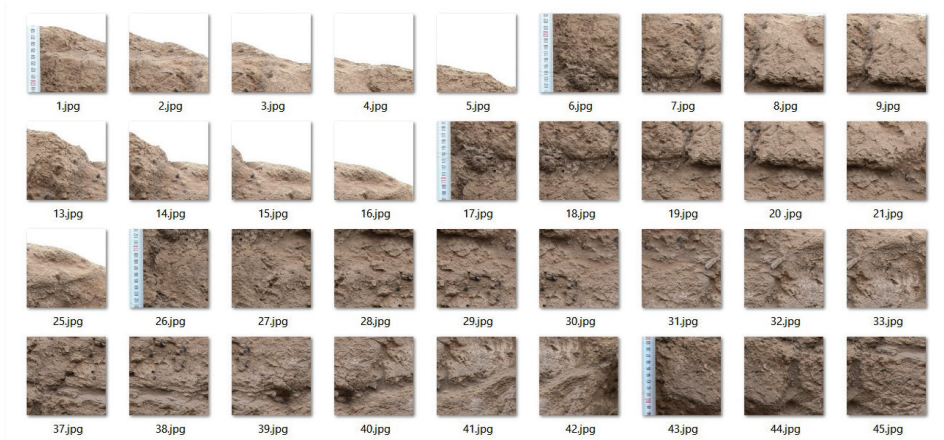
برداشت عکس

در گام اول برای فتوگرامتری و تهیه ارتوفوتو از برش مورد بحث، برش دیواره جنوبی فضای ۳ به عرض و ارتفاع 60×130 cm و برش دیواره جنوبی فضای ۶ به عرض و ارتفاع 80 × 290 cm را به هشت قسمت تقسیم کرده و چهار نقطه راهنما به عنوان نقاط ژئورفرنس در نظر گرفته شد و در مرحله بعدی علامت گذاری و توسط دوربین نقشه برداری مختصات آن نسبت به پنج مارک ترانشه برداشت شد.

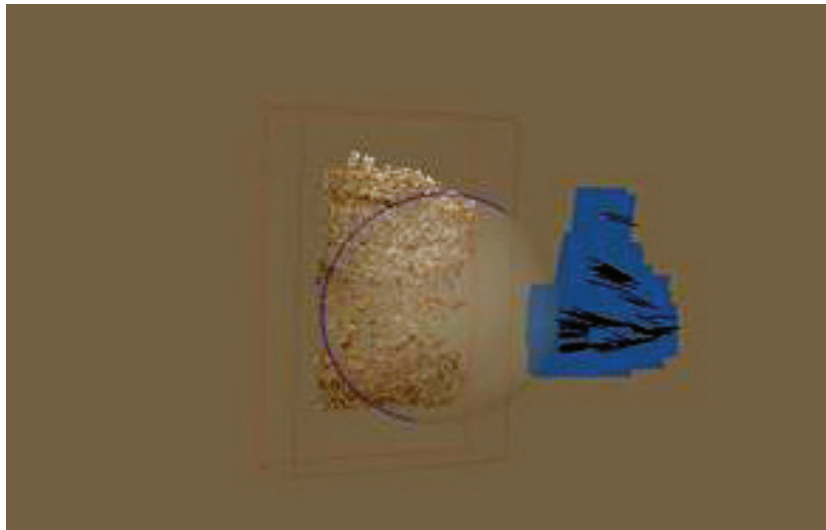
در مرحله بعد عکاسی با دوربین Canon 5D mark II با لنز Canon 50mm ser L با تکنیک موزائیک با همپوشانی ۸۰٪ طولی و عرضی انجام عکس برداری شد و حاصل آن ۱۴۰

عکس برای برش دیواره جنوبی فضای ۳ و ۲۱۰ عکس برای برش دیواره جنوبی فضای ۶ شد (تصاویر ۱۰-۵).

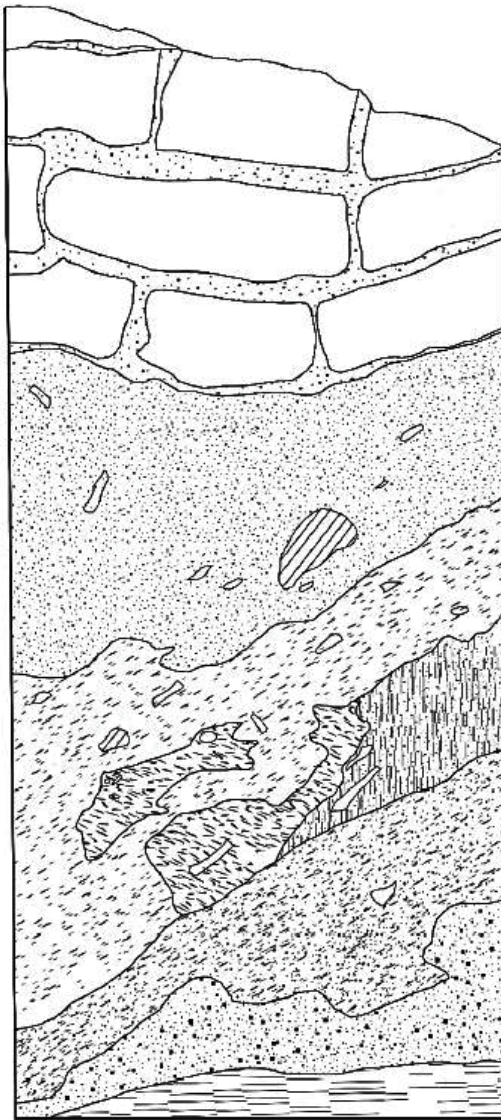
در مرحله بعدی عکس‌ها وارد نرم افزار Agisoft PhotoScan آنالیز گردیده و نقاط راهنما برای عکس‌ها تعریف گردید و پس از تهیه ارتوفوتو و Mesh، عکس‌ها تبدیل به یک پلان ژئورفرنس شد و در پایان به کمک پلان ارتوفوتو، نقشه AutoCAD دیواره ترسیم شد (پلان ۲ و ۳).



تصویر ۵: عکس‌های برش دیواره جنوبی فضای ۳ گارگاه ۳۰ با ۸۰٪ همپوشانی (مجموعه عکس: سیده مدیا رحمانی)

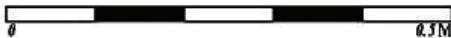


تصویر ۶: ابرنقطه اولیه در نرم افزار Photo Scan (مدل ابر نقطه: سیده مدیا رحمانی)

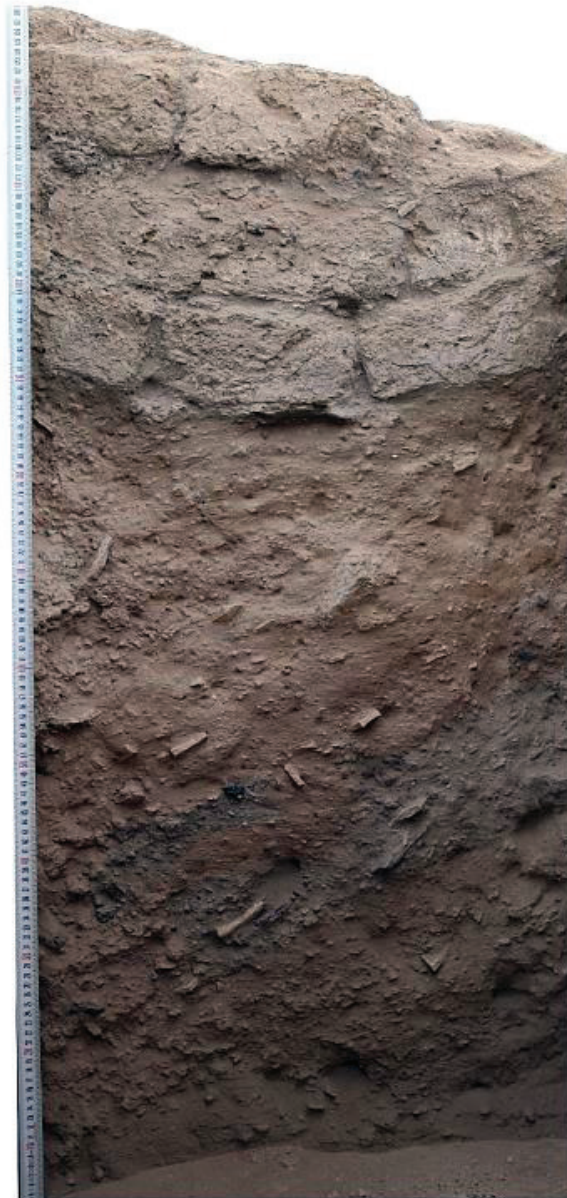


راهنا سکشن	
خاک سست همراه یا کلوخه	
خاک سست قهوه‌ای رنگ	
خاک همراه یا ذغال و خاکستر	
خاک فشرده همراه یا خاک نرم	
خاک فشرده	
خرده سفال	
خشت افتاده	
خاک سست	
خشت	
ملاط	
کف	

ش.س. ۹۶، کارگاه ۳۰، مربع EWL، سکشن دیواره جنوبی فضای ۳، لایه ۲



پلان ۲: پلان تهیه شده از ارتوفوتوی برش دیواره جنوبی فضای ۳ کارگاه ۳۰ (نگارندگان)



تصویر ۷: عکس سه بعدی یرش دیواره جنوبی فضای ۳ کارگاه ۳۰ (سه بعدی: سیده مدیا رحمانی)



راهنا سکشن	
خاک سست همراه یا کلوخه	
خاک سست تپوهای رنگ	
خاک همراه یا ذغال و خاکستر	
خاک فشرده همراه یا خاک نرم	
خاک فشرده	
خرده سفال	
خشت افتاده	
خاک سست	
خشت	
ملاط	
کف	

ش.س ۹۶، کارگاه ۳۰، مربع EWL، سکشن دیواره جنوبی فضای ۳، لایه ۲

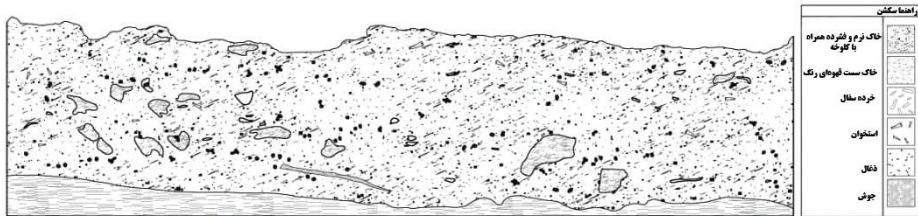


تصویر ۸: عکس سه بعدی و پلان منطبق شده برش جنوبی فضای ۳ کارگاه ۳۰ (نگارندگان)



ش.س ۹۶، کارگاه ۳۰، مربع L.WL و سکن دیواره شمال، فضای ۲، لایه ۲

تصویر ۹: عکس سه بعدی برش شمالی فضای ۶ کارگاه ۳۰ (سه بعدی: سیده مدیا رحمانی)



پلان ۳: طرح اجرا شده از روی ارتو فوتو برش شمالی فضای ۶ کارگاه ۳۰ (نگارندگان)



تصویر ۱۰: تطبیق طرح اجرا شده و عکس سه بعدی برش شمالی فضای ۶ کارگاه ۳۰ (نگارندگان)

نتیجه گیری:

داده‌های باستانی به علت ظرافت و شکنندگی که دارند در بیشتر موارد غیر قابل برگشت بوده و کوچکترین غفلت باعث نابودی همیشگی آن‌ها می‌شود. که با ایجاد ابرنقطه (Dence Clode) و شناسندن نقاط رفرنس زمینی پس از Alijn کردن عکس‌ها و وارد کردن مختصات UTM هر یک از نقاط به عکسهای مربوطه، ایجاد ابر نقطه می‌گردد که این فرایند باعث به صفر رسیدن هرگونه خطای انسانی در حین برداشت دستی در زمان لایه نگاری می‌گردد. زیرا در این تکنیک هر پیکسل عکس داری یک نقطه مختصاتی است. لایه‌نگاری یکی از ضرورت‌هایی است که می‌تواند در کاوش‌های باستان‌شناسی میزان صحت و دقت در ثبت آثار را افزایش داده و از درصد خطاها بکاهد. لایه‌نگاری باستان‌شناختی زمان و مکان را برای ما مشخص می‌کند و بر ترتیب قرارگیری فیزیکی لایه‌بندی باستان‌شناختی تکیه دارد. با گسترش روز افزون فن‌آوری‌های دیجیتال در زندگی انسان‌ها بهره‌گیری از این علم در باستان‌شناسی امری اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. با توجه به تنوع و گستردگی داده‌های باستان‌شناسی در هر محوطه استفاده از فن‌آوری‌های جدید راه را برای ثبت، نگهداری و مستندسازی و مستندنگاری بهتر یافته‌ها هموار نموده است. تلفیق روش‌های سنتی برداشت لایه‌نگاری با سیستم‌های نوین فن‌آوری برای سرعت و دقت بخشیدن به این موضوع ما را بر آن داشت تا از فتوگرامتری برد کوتاه برای لایه‌نگاری در کارگاه ۳۰ منطقه صنعتی شهرسوخته بهره بگیریم تا با استفاده مستقیم از برداشت‌ها و عکس‌های سه بعدی ویژگی‌های حاصل از سکنش‌های لایه‌نگاری مورد بررسی با تجسم دقیق و بهتر از فضای اصلی اطلاعات بیشتری را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. در انتها می‌توان گفت: فتوگرامتری برد کوتاه برای مقاصد شبیه‌سازی آثار تاریخی یکی از گزینه‌های اصلی و بهینه است و نادیده گرفتن آن، می‌تواند به پایین آمدن کیفیت کار منجر شود.