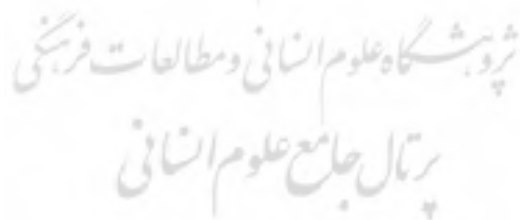


نقش پارامترهای شیمیایی و کیفیت بافت خاک در فرسایش خشت محوطه تاریخی بلقیس

سید رضا حسینی کشتان* سید محمد امین امامی** علی زمانی فرد***

چکیده

محوطه تاریخی بلقیس، شامل ساختارهای خشتی و گلی به وسعت ۱۸۰ هکتار در ۳ کیلومتری جنوب شهر کنونی "اسفراین" در خراسان شمالی ایران واقع شده است. نقش کیفیت خاک در ایجاد آسیب‌های وارده به خشت و ساختارهای خشتی محوطه بلقیس، هدف این مقاله است. انتخاب خاک مناسب، نخستین گام تهیه خشت بوده؛ لذا بررسی نقش کیفی خاک مورد استفاده، از ضرورت و اهمیت برخوردار است. نمونه‌های گردآوری شده، به کمک مطالعات فیزیکی، شیمیایی و مینرالوژیک، مورد بررسی قرار گرفتند. بافت خاک ریزدانه مملو از ماسه و سیلت و فقر رس به همراه فازهای مخرب مسکویت و کلسیت موجود در نمونه‌ها مطابق با مطالعات خاک‌شناسی منطقه، به‌عنوان پارامترهای شیمیایی خاک در فرآیند آسیب‌های ناشی از رطوبت نزولی تعیین شدند.



کلیدواژه‌ها: معماری خاکی، خشت، فازهای کریستالین، حفاظت، بلقیس اسفراین

* دانشجوی دکتری، گروه مرمت بنا و بافت‌های تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان (نویسنده مسئول).

emami@chemie.uni-siegen.de

emami@chemie.uni-siegen.de

Zamani.fard@art.ac.ir.

** دانشیار، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

*** استادیار، دانشکده مرمت و حفاظت، دانشگاه هنر تهران.

مقدمه

خشت

معماری خشتی که زیرمجموعه معماری خاکی محسوب شده، لزوماً استفاده از خاک را به شکل خشت تحدید می‌کند؛ در غیر این صورت هر گونه بهره‌گیری از خاک در ساخت و ساز را نمی‌توان معماری خشتی در نظر گرفت. به نظر می‌رسد در فرآیند تولید خشت، قالب‌گیری به شکل دستی یا به کمک قالب چوبی و فلزی، معرف محصول نهایی است. شکل دادن به گل به کمک دست یا قالب به صورت بلوک‌های منظم، جزء لاینفک فرآیند تولید خشت محسوب می‌شود. «خشت در گذشته، از متداول‌ترین مصالح ساختمانی بوده که با دست یا قالب به شکل مکعب ساخته می‌شده است» (پورمحمدی و حسینی دهمیری، ۱۳۸۶: ۳۲ و ۳۳). نگهبان نیز به همین موضوع اشاره می‌کند؛ «خشت‌ها ابتدا به صورت دست‌ساز تهیه می‌شدند، اما بعدها از قالب استفاده شد» (۱۳۷۴: ۱۷۴). هوبن^۱ و گیو^۲ به این موضوع اشاره کرده و در طبقه‌بندی انواع معماری خاکی، به طور مشخص خشت را تشریح می‌کنند؛ «خشت: آجرهای خاکی آفتاب خشک [بلوک‌های گلی که در آفتاب خشک می‌شوند] که بیشتر به عنوان خشت یا همان آجر - خشتی شناخته شده و از یک توده ضخیم گل نرم و افزودن مقداری کاه به آن ساخته می‌شوند. خشت‌های قدیمی، به کمک دست در قالب‌های چوبی یا فلزی ساخته می‌شدند، اما امروزه استفاده از ماشین‌آلات گسترده‌تری پیدا کرده است» (4: 2005). هم‌چنین، تعاریفی که در فرهنگ‌های واژگان مختلف از خشت ارائه کرده‌اند، به نوعی بازتاب‌دهنده شیوه ساخت و نوع محصول است. این تعاریف، به شکل جمع‌بندی از یک مفهوم شناخته‌شده و قابل قبول، در آن جوامع مطرح و ارائه شده‌اند؛ خشت آجر خام و ناپخته، پاره‌ای گل که آن را در قالبی ریزند و چون شکل قالب به خود گرفت، قالب را از آن خارج کنند و سپس آن پاره گل، شکل قالب گرفته را در آفتاب گذارند تا خشک شود و بعد آن را در ساختمان‌ها به کار برند. این پاره گل را گاه به جای خشت، خشت خام نیز می‌گویند و چون خشت خام را بیزند، آجر می‌شود (ستوده و دیگران، ۱۳۸۵)، آجر خام (معین، ۱۳۶۳)، از مصالح ساختمانی به صورت مکعبی از گل، که در قالب ریخته و خشک کرده‌اند (عمید، ۱۳۸۴). معادل واژه خشت برابر آن چه در زبان فارسی ادراک شده، واژه "Adobe" است که به کرات دیده می‌شود. واژه‌های دیگری چون آجر گلی^۳ یا در مواردی بسیار نادر، واژه آجر خام^۴ در متون دیده می‌شوند که با بررسی مفهوم این واژه‌ها و ریشه‌یابی آنها، نتیجه حاصل نمی‌شود و تعریفی برای این

واژه‌های مرکب در فرهنگ واژگانی چون آکسفورد^۵، کمبریج^۶، مریام وبستر^۷ و یا کولینز^۸ ارائه نشده و در تعریف خشت به کمک این واژه‌ها، از خود "Adobe" برای فهم آن استفاده شده است. آکسفورد، خشت را نوعی خاک رس که معمولاً به شکل آجر در آفتاب خشک و به عنوان مصالح ساختمانی استفاده می‌شود، (Oxford advanced learner's dictionary) ^۹ (1995) تعریف کرده است. کمبریج، ترکیبی از خاک و کاه که در آفتاب خشک شده و برای تهیه آجر به منظور ساخت خانه در برخی نواحی از جهان استفاده می‌شود^{۱۰} (Cambridge dictionary, 2015) را خشت دانسته است. آجر یا مصالح ساختمانی حاصل از خاک خشک‌شده در ترکیب با کاه^{۱۱}، مفهوم مورد نظر مریام وبستر از خشت است (Merriam-Webster's collegiate dictionary, 2004). آن چه که از مفاهیم و تعاریف برداشت می‌شود این است که خشت و معادل انگلیسی آن "Adobe"، به عنوان یکی از مصالح ساختمانی با قدمت تاریخی مورد استفاده بوده و هست که در فرهنگ واژگان ملل مختلف، بدان پرداخته شده است. هم‌چنین، دارای یک ترکیب نسبتاً ثابت و ماهیتی شناخته شده است. فرآیند تولید پیچیده‌ای نداشته و در آفتاب خشک می‌شود (Aedo, 2003: 120). بومی و در هر زمان و مکان، قابل ساخت است و مرز جغرافیایی محدود ندارد. وجه مشترک تعاریف به لحاظ فرآیند ساخت، اشاره به خشک شدن محصول نهایی در آفتاب دارد. به لحاظ ترکیب مواد مورد استفاده نیز کاربرد خاک و آب در تعاریف، قابل فهم است؛ اما در خصوص استفاده از سایر مواد به شکل افزودنی در ترکیب خشت در تعاریف فوق، اطلاعاتی مطرح نشده‌اند. این موضوع، با توجه به عوامل متعددی چون؛ کیفیت خاک، محیط استفاده و هم‌چنین در دسترس بودن مواد افزودنی با ویژگی و رفتار متفاوت، قابل درک است؛ زیرا در ترکیب خشت، انواع افزودنی با منشأ معدنی و آلی با توجه به کیفیت مورد نظر سازندگان کاربرد داشته‌اند (Houben et al, 2005). ضمن کاربرد گسترده خشت از گذشته تا به امروز در اغلب مناطق دنیا به ویژه مناطق خشک، موضوع آسیب‌پذیری خشت در برابر عوامل متعدد، هم‌چنان باقی است؛ برخی عوامل، بیرونی و ناشی از شرایط محیطی بوده و سایر عوامل که می‌توان با عنوان نقص از آنها یاد کرد، مربوط به شرایط تولید و ساخت هستند. با توجه به این که خاک، ماده اصلی تشکیل‌دهنده خشت محسوب می‌شود، مهم‌ترین فاکتور بیرونی، رطوبت بوده که قادر به فرسایش خشت است (Clifton, 1977). به لحاظ نواقص طی فرآیند ساخت، می‌توان به عدم انتخاب خاک مناسب، نوع و مقدار ماده افزودنی با قابلیت ارتقای کیفی و رفع نواقص احتمالی

بین‌المللی و ایران محسوب می‌شوند. "نیپور" بین‌النهرین (بزئوال، ۱۳۷۹)، معبد سفید در اوروک از هزاره چهارم پیش از میلاد و معبد اور (ملوئن و ادگار، ۱۳۷۶)، شهر جریکو در نزدیکی رود اردن (Houben et al, 2005)، حصار دفاعی یثرب (مدینه) و بنای جامع المنصور در بغداد، مسجد ابودلف سامرا و بسیاری دیگر از بناها، از خشت بهره برده‌اند (پاپادوپولو، ۱۳۸۶). بر مبنای شواهد باستان‌شناسی، «سابقه استفاده از خشت در ایران، به هزاره ششم قبل از میلاد می‌رسد و در مناطقی چون تپه‌علی‌کش دهلران، تپه حسنلو و تپه زیویه ...» (آیوازیان، ۱۳۷۶: ۱۴)، ساخت مراکز مهم و مذهبی مادها (هوکر، ۱۳۸۰)، در استقرارهای تمدن ایلام (نگهبان، ۱۳۷۲)، معبد منقوش تپه زاغه در قزوین (همان، ۱۳۷۴)، طاق‌های خشتی شهر سوخته سیستان از هزاره سوم پیش از میلاد (سید سجادی، ۱۳۸۳)، بخش‌هایی در زیگورات چغازنبیل (زارعی، ۱۳۷۹)، بیشتر آثار معماری هفت‌تپه خوزستان (نگهبان، ۱۳۷۲)، نوشی‌جان تپه ملایر متعلق به دوره ماد و هخامنشی (تجویدی، ۱۳۵۵؛ پیرنیا، ۱۳۶۹)، قلعه کوه خواجه زابل، بناهای ویران منطقه دارزین بم (کریمی، ۱۳۷۴)، ارگ بم (مهریار، ۱۳۸۳؛ موسوی، ۱۳۷۴)، بخش عمده‌ای از مسجد تاریخی فهرج (اولیاء، ۱۳۸۳)، مسجد تاریخانه دامغان و مسجد جامع ساوه (فرهنگی، ۱۳۷۴)، مقابر عظیم سلجوقیان (کونل، ۱۳۸۷) و بقایای معروف به شهر بلقیس در جنوب شهر اسفراین در خراسان شمالی (وحدتی، ۱۳۸۹)، مبین کاربرد خشت بوده که تا امروز به‌شکل مؤثری دوام آورده‌اند. علاوه بر خاورمیانه، در سایر مناطق دنیا به‌ویژه اروپا، بخشی از حومه چندین کشور از جمله سوئد، دانمارک، آلمان، بریتانیا (به‌ویژه در دون)، اسپانیا و پرتغال و فرانسه، استفاده از خشت در معماری بخش‌های مختلفی دیده می‌شود که تا دهه ۱۹۵۰ تداوم یافت و احیای شگفت‌انگیزی را در سال‌های جنگ جهانی دوم به‌دست آورد (Houben et al, 2005). از منظر دیگر، اهمیت خشت در عصر حاضر را، می‌توان در رویکرد جوامع امروزی نسبت به حفظ محیط زیست درک نمود. از سال ۱۹۹۰ میلادی، علاقه به مصالح خاکی و خشت افزایش یافت و تا کنون نقش این مصالح در معماری، در حال توسعه بوده است (Cho et al, 2011). در طول آخرین دهه قرن بیستم و به‌خصوص از آغاز قرن ۲۱، انجمن‌های علمی بین‌المللی با سرمایه‌گذاری در زمینه تحقیقات در حوزه معماری خاکی و خشتی، فعالیت‌های متعدد انجام داده‌اند (Guillaud, 2011). «به‌تازگی، ایده دوستی با محیط زیست، به‌عنوان یک مسأله مهم جهانی شناخته‌شده است و یکی از راه‌های ترویج چشم‌انداز این

موجود در خاک و فنون غلط ساخت خشت اشاره کرد. هر چند که روش ساخت، از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده و شیوه‌های تهیه خشت در مناطق مختلف، با اندکی تغییرات جزئی، از دستورالعمل واحدی استفاده می‌کنند، اما کیفیت خاک در تهیه خشت، از ضرورت برخوردار است. خشت‌ها در بخش‌های تاریخی محوطه بلقیس، در معرض فرسایش ناشی از رطوبت قرار دارند؛ اما مهم‌تر از این، روند سریع فرسایش و شدت آن در خشت‌های استفاده‌شده طی اقدامات مرمتی و حفاظتی محوطه است. با توجه به شرایط اقلیمی خشک منطقه، به‌نظر می‌رسد بخش عمده‌ای از فرسایش، متأثر از کیفیت خاک در تهیه خشت باشد تا عامل بیرونی رطوبت؛ لذا شناسایی کیفی خاک - گام نخست در مسیر فرآیند تهیه خشت - می‌تواند از بروز بسیاری آسیب‌ها در محوطه بلقیس پیشگیری نماید.

اهمیت مطالعه خشت به‌شکل ملی و بین‌المللی

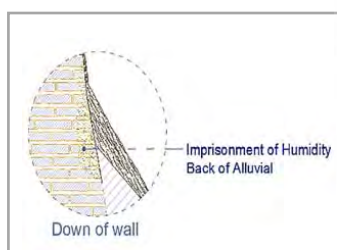
هر چند «خاک در ذات خود جذابیتی ندارد، اما بر حسب آن چه می‌تواند برای جامعه به‌عنوان یک کل انجام دهد غالب است» (Houben et al, 2005: 7). نقش خاک به‌عنوان عنصر بنیادین و سازمان‌دهنده بخشی از معماری در مقاطع مختلف تاریخی جوامع، انکارناپذیر است. خشت به‌عنوان ماده سازنده معماری، از گذشته تا امروز در سراسر جهان دیده می‌شود. بخشی از اهمیت خشت در عصر حاضر، ناشی از رویکرد تاریخی نسبت به کاربرد خشت در آثار باستانی و تاریخی؛ هم‌چون شهر تاریخی بلقیس بوده که با هدف حفظ این مواریت فرهنگی، هم‌چنان مورد توجه قرار گرفته است. خشت به‌عنوان قدیمی‌ترین عنصر سازنده گونه‌ای از معماری و متداول‌ترین مصالح ساختمانی (پورمحمدی و حسینی دهمیری، ۱۳۸۶)، در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته است. هر چند «بیشترین کاربرد خشت، در نواحی معتدل و کم‌باران بوده، اما خشت در بسیاری از نقاط جهان یافت شده است» (اتینگهاوزن و گرابر، ۱۳۷۸: ۸۶). شواهد تاریخی معماری و شهری به‌جا مانده، مبین استفاده گسترده از خشت در طول تاریخ حیات بشر در سراسر جهان هستند. بسیاری از سایت‌های باستانی، با خشت، دیوارهای خاک کوبیده^{۱۲} شده و یا ترکیبی از خاک و چوب ساخته شده که در مناطق مختلف به‌ویژه در خاورمیانه دیده می‌شوند (Sinamai, 2008). محوطه‌ها، مجموعه‌ها و بناهای متعددی از پاکستان و افغانستان تا ایران و امتداد آن تا عراق و سوریه، در قالب ساختارهای خشتی که برخی در فهرست جهانی یونسکو به‌ثبت رسیده، بخشی از ثروت فرهنگی - تاریخی

ایده، برنامه‌های کاربردی مختلف در زمینه استفاده از خاک در معماری امروزی هستند» (Yang et al, 2011:152). مطالعاتی که در مرکز تحقیقاتی مستقلی به نام کراتر، مدرسه معماری در گرنوبل، مدرسه معماری پلای موث^{۱۳} انگلیس و مؤسسه ساختمان‌های خاکی دوون^{۱۴} انجام می‌شوند، بخشی از برنامه‌های آموزشی در سطح مدارس و دانشگاه بوده که در برنامه کاری دولت‌ها قرار دارند. وجود آثار متعدد خشتی در سراسر دنیا و خاورمیانه به‌ویژه ایران، بر اهمیت شناخت خشت و معماری خشتی تأکید دارد. با این حال، خشت و معماری خشتی، در معرض فرسایش ناشی از عوامل متعددی قرار دارد که شرایط محیطی، مهم‌ترین آنها محسوب می‌شود. در این بین، عامل رطوبت، در فرآیند آسیب به خشت، نقش مؤثری را دارد. بر این اساس، لزوم حرکت در مسیر شناخت هر چه بهتر ماده، فنون و ابزار لازم برای استفاده از خشت با رویکرد تاریخی، معماری و حفظ منابع زیستی ضمن آموزش روش‌های کارآمد، ضروری به نظر می‌رسد.

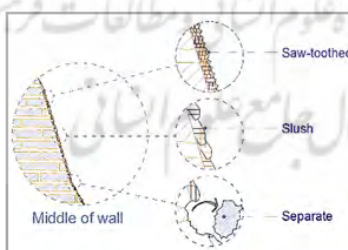
ضرورت مطالعه فرسایش‌پذیری خشت در برابر رطوبت نزولی در محوطه بلقیس

ضرورت مطالعه علمی فرآیند و نوع فرسایش و در نتیجه تخریب خشت در محوطه تاریخی بلقیس، می‌تواند از وجوه مختلفی مطرح شود؛ نخست این که این محوطه اخیراً مورد توجه قرار گرفته و از سال ۱۳۸۸ به‌عنوان پایگاه میراث فرهنگی مصوب شد (وحدتی، ۱۳۸۹)، لذا اقدامات حفاظتی در قالب مداخلات مرمتی که در دهه اخیر در آن اتفاق افتاده،

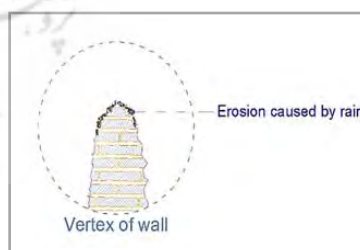
از قدمت و تجربه علمی برخوردار نیستند. از طرفی، نمی‌توان سایر تجربیات مشابه را به آن تعمیم داد؛ زیرا با توجه به تفاوت کیفی خاک و شرایط و عوامل آسیب‌رسان، به‌کارگیری یک روش مطرح در زمینه مقابله با رطوبت در کالبد تاریخی، در تمام شرایط یکسان نیست (خسروشاهیان، ۱۳۶۵). دوم این که در محوطه بلقیس، آسیب ناشی از رطوبت نزولی، شامل بخش‌های تاریخی فاقد مداخلات مرمتی و بخش‌های تاریخی فرسایش‌یافته می‌شود که تحت تأثیر مداخلات عملی با هدف حفاظت از طریق تعمیر و بازسازی قرار گرفته‌اند (شکل‌های ۱، ۲ و ۳)، اما در مقابل دوام نسبی بالای مصالح تاریخی - که تا به امروز بقایای ساختارها در محوطه به‌جا مانده است - مداخلات مرمتی با هدف حفاظت در دهه گذشته نسبت به ساختارهای تاریخی، از دوام کمتری برخوردار بوده و دچار فرسایش شده‌اند. لذا این اتفاق، سبب تکرار روند تعمیرات و در نتیجه توسعه آسیب ناشی از فرآیند جایگزینی کوتاه‌مدت خشت خواهد شد که از این حیث، حائز توجه است؛ زیرا مطالعاتی که آلسندرینی^{۱۵} و همکاران او (1990) در سایت باستانی کاپوسوپرانو^{۱۶} در شهر جلا^{۱۷} در ایتالیا انجام داده‌اند، مبین تأثیر مخرب رطوبت در نتیجه کاربرد مصالح نامرغوب در زمان مداخلات حفاظتی با وجه کالبدی است. سوم این که ساختارهای تاریخی خشتی، در معرض فرسایش ناشی از عوامل متعددی قرار دارند. از آنجایی که بخش عمده مصالح تشکیل‌دهنده ساختارهای موجود در محوطه بلقیس، از گل و خشت است و رطوبت در صدر عوامل آسیب‌رسان به ساختار خشتی قرار دارد (Plenderleith, 1968:126)، محوطه تاریخی بلقیس



آسیب در پای دیوار تاریخی



آسیب در میانه دیوار بازسازی‌شده



آسیب در رأس دیوار بازسازی‌شده

شکل‌های ۱، ۲ و ۳. انواع آسیب در موقعیت‌های مختلف یک دیوار تاریخی و بخش‌های بازسازی‌شده (نگارندگان)

محوطه تاریخی بلقیس در خصوص نقش کمی و کیفی خاک در بروز آسیب‌های ناشی از رطوبت نزولی، نتایج قابل توجهی مطرح شده‌اند. به نظر می‌رسد در بررسی فرآیند آسیب‌شناسی در محوطه‌های تاریخی خشتی، باید توجه ویژه‌ای به موضوع خاک و کانی‌های رسی شود؛ لذا، ضرورت مطالعه علمی فرآیند و نوع فرسایش و در نتیجه تخریب خشت مطرح می‌شود تا اقدامات عملی مرمتی، پاسخ‌گویی رفع آسیب‌ها و فرسایش ناشی از رطوبت باشند.

یافته‌های باستان‌شناسی در حوزه معماری محوطه تاریخی بلقیس شهرستان اسفراین

شهرستان اسفراین، در شمال شرق ایران در استان خراسان شمالی در عرض جغرافیایی ۳۷ درجه و ۴ دقیقه شمالی و ۵۹ درجه و ۲۹ دقیقه شرقی در دامنه جنوبی رشته‌کوه آلاداغ و در دامنه جنوب غربی کوه شاه‌جهان قرار دارد. بقایای محوطه تاریخی بلقیس، در ۳ کیلومتری جنوب شهر قرار دارند. از بقایای شهر بلقیس به جز ساختار فرسوده نارین قلعه و نشانه‌هایی از خندق پیرامونی، بخش‌هایی از حصار شهر اصلی یا ریح، ویرانه‌های مدفون در زیر ساختار تپه‌مانند موسوم به "منار تپه" و نیز بقایای بنایی آرامگاهی متعلق به شیخ آذری، شواهد دیگری در دسترس نیست. در غرب ساختار ارگ، بقایایی از مجموعه یخدان‌هایی دست‌کند مشاهده شده که به‌نظر

در کنار آسیب‌های حاصل از کاوش‌های غیرمجاز و عوارض ناشی از بازدید عموم، فرسایش تحت تأثیر عامل رطوبت نزولی را در خود دارد (جدول ۱)؛ زیرا کالبد‌های خشتی به‌صورت مستقیم یا غیرمستقیم، در معرض آسیب حاصل از حضور بیش از حد رطوبت قرار دارند (Clifton, 1977:34) و اکثر فرسایش موجود در معماری خشتی به‌طور مستقیم، به اثرات باران مرتبط است (Oduf, 1990:440). از طرفی، آسیب‌های وارده به محوطه‌های خشتی، تحت تأثیر رطوبت شامل (باران، زهکشی و اثر موئینه)، آب‌شستگی، انبساط حرارتی و انقباض هستند (Brown et al, 1990:260) که این مسأله می‌تواند با کیفیت مواد سازنده، مرتبط باشد؛ زیرا به‌نظر می‌رسد زمینه فیزیکی مواد، ترکیب رس و میزان و انواع کانی‌های موجود در خاک، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار باشند (مینکه، ۱۳۸۸). لذا درک بهتر بافت و ساختار خاک از منظر نقش کانی‌های رسی در فرآیند آسیب‌شناسی و درمان، باید مورد توجه قرار گیرد (Newman, 1984:376)؛ زیرا ساختار، بافت خاک و کانی‌های رسی، در کیفیت مصالح تأثیرگذار هستند (Pardini et al, 1996:151). وقتی میزان رس موجود در خاک خشت بیشتر از ۲۵٪ باشد، خشت در شرایط مرطوب، با انبساط بیشتری همراه می‌شود (وارن، ۱۳۸۷)، یا در صورت کاهش رس و افزایش ماسه در خاک، میزان چسبندگی به‌شکل قابل توجهی کاهش می‌یابد (فروتنی، ۱۳۸۶) که مطابق بررسی‌های انجام‌یافته در

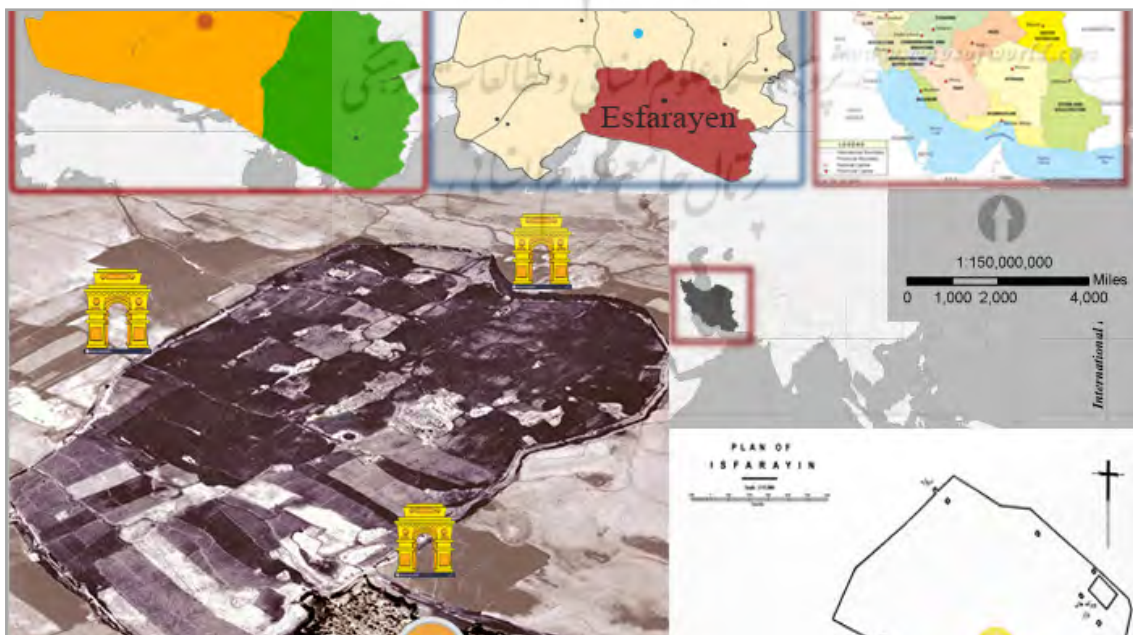
جدول ۱. بررسی فرآیند آسیب در بخش‌های مختلف ساختار دیوار محوطه تاریخی بلقیس تحت تأثیر رطوبت نزولی

رأس دیوار	رأس دیوار به‌شکل مخروطی تحت تأثیر رطوبت، با فرسایش آب‌شویی مواجه است.
میان دیوار	سطوح دیوار تحت رفتار مکانیکی و فیزیکی حاصل از برخورد قطرات باران و تگرگ (گاهی توأم با باد)، دچار ناهم‌واری و خراشیدگی سطحی شده‌اند. بخشی از مواد (خاک و ترکیبات خاک) در اثر آب‌شویی، از بخش‌های بالایی (رأس دیوار) به‌شکل دوغابی به بخش‌های پایینی (نمای دیوار) منتقل شده و روی سطح دیوار رسوب می‌کنند. ظاهر دیوار در بخش‌های آب‌شویی شده (رأس و نزدیک به رأس) به‌نحوی است که رج خشت‌ها و بند ملات، محو شده یا در حال محو شدن است. نمای دیوار در بخش‌های پوشیده‌شده از دوغاب گلی، به‌شکل توده یکپارچه دیده می‌شود. دوغاب حاصل از فرسایش لایه‌های بالایی در اثر خشک شدن، به‌شکل لایه‌ای توأم با ریزترک‌های شبکه‌ای در هم تنیده دیده می‌شود. لایه دوغابی خشک‌شده دارای ریزترک شبکه‌ای، به‌شدت سست است و هر قطعه آن از محل همان ترک‌های شبکه‌ای، ضمن گسست از همدیگر، از سطح نمای دیوار جدا می‌شوند. قطعه خشک‌شده لایه دوغابی، ضمن جدا شدن از سطح دیوار، قطعات جانبی را سست‌تر و گاهی همراه خود جدا می‌کند. علاوه بر این، در حین گسست از سطح دیوار، بخشی از ملات و خشت پنهان‌شده در زیر خود را نیز جدا و همراه خود منتقل می‌کند.
پای دیوار	مواد حاصل از آب‌شویی در پای دیوار، مبدل به مخروط افکنه‌هایی شده که به‌مرور بزرگ‌تر می‌شوند و در دوره‌های بعدی، رگاب حاصل از بارندگی در آنها دیده می‌شود که سبب شده پای دیوار سست شود. حبس رطوبت بین دیوار و مخروط افکنه‌های پای دیوار، در نهایت به کاهش سطح مقطع دیوار و تزلزل ساختار منجر خواهد شد.

(نگارندگان)

موقتی بر روی ساختار مستحکم پیشین و به کارگیری مصالح دوره گذشته است، دوره دوم شامل؛ ساختارهای آجری، گچی و قلوه سنگ بوده که مبین سازه‌ای بسیار بزرگ رو به قبله است که می‌تواند بنای حکومتی یا مذهبی متعلق به قرون هفتم و هشتم هجری قمری باشد که در مراحل، بازسازی و مجدد تخریب شده و به‌عنوان کارگاه فلزگری مورد استفاده قرار گرفته است و در نهایت، دوره سوم شامل یافته‌هایی بوده که ضمن عدم هماهنگی میان آنها، می‌توان از لحاظ قدمت، به نیمه دوم قرن پنجم هجری قمری و قبل از آن نسبت داد (وحدتی و نیک‌گفتار، ۱۳۸۸). وجود خشت‌هایی با ابعاد $۷*۳۷*۳۵$ سانتیمتر - که بزرگ‌ترین نمونه‌ها را شامل می‌شوند - در محل کاوش تپه پامنار، موضوع تاریخ‌نگاری را تا حدودی مشکل می‌نماید؛ اما بر اساس آنچه در گزارش باستان‌شناسی آمده، به‌نظر می‌رسد قدمت ساختار، ریشه در سده‌های نخستین اسلامی داشته باشد. بر اساس پژوهش و کاوش باستان‌شناسانه طی دو دوره قبل (مشیری در سال ۱۳۵۲ و وحدتی در سال ۱۳۸۶) و مطالعاتی که به‌وسیله گروه مشاور در طرح حفاظت و سامان‌دهی (۸۸-۱۳۸۷) انجام شده، تاریخ ارگ بلقیس را به دوره صفویه منتسب می‌دانند (همان: ۲۲۹). اما بر اساس گزارش گمانه‌زنی به‌منظور مطالعه گاهنگارانه ارگ شهر بلقیس در ترانسه‌های متعدد ایجاد شده در حوالی ساختار ارگ، شواهد چند دوره کف‌سازی در محل ترانسه‌ها دیده شده که مربوط به قرون ششم و هفتم هجری قمری هستند. در دوره صفویه، ارگ چند مرتبه مورد تعمیر

می‌رسد به ساختار قدیمی‌تر افزوده شده‌اند. در عکس سال ۱۹۳۷ اشمیت، می‌توان قسمت‌های زیادی از حصار شارستان را به‌همراه سه دروازه شمال، شرق و غرب دید (شکل ۴). در محدوده شهر اصلی (ریض) و در جانب شرق ارگ، بقایای موسوم به منار تپه توأم با مخروطه‌هایی دیده شده که بیشتر محققان آنها را، بقایای مسجد اسفراین قدیم معرفی کرده‌اند (روشنی زعفرانلو، ۱۳۶۶؛ توحیدی، ۱۳۷۴؛ کیانی، ۱۳۷۴). با آن که در عهد خلافت مأمون، طاهریان خراسان، نیشابور را به پایتختی برگزیده، اما از این دوره، شواهد معماری در شهر بلقیس تا کنون به‌دست نیامده‌اند. به‌نظر می‌رسد در این دوره، هنوز اسفراین کهن در قالب شهر سازمان‌دهی نشده باشد؛ زیرا شروع رونق شهرنشینی و شهرگرایی دوره اسلامی به‌شکل مستقل و نیمه‌مستقل در مناطق مختلف، به اواخر قرن دوم هجری قمری و حدود اوایل قرن سوم برمی‌گردد (حبیبی، ۱۳۸۰). با این حال، شواهد سازمان فضایی و ساخت شهر حد فاصل قرن اول تا چهارم هجری قمری در منطقه اسفراین، توأم با ابهام بوده؛ زیرا جز اطلاعات اولیه طی کاوش‌های باستان‌شناسی، مشخصات دیگری از ساختار شهر در این دوره در دسترس نیستند. بر اساس کاوش‌ها در محل "تپه پامنار" در محدوده شارستان و غرب نارین قلعه کنونی، شواهد معماری یافت شده که مطابق نقشه "سرپرسی سایکس" در سال ۱۹۰۸ میلادی، دال بر وجود مسجد جامع هستند (شکل ۴). بر اساس گزارش باستان‌شناسی در محل "تپه پامنار"، سه دوره متفاوت مشاهده شده که دوره نخست شامل؛ سازه خشتی



شکل ۴. موقعیت محوطه تاریخی بلقیس شهرستان اسفراین در استان خراسان شمالی به‌همراه عکس هوایی ۱۹۳۷ اشمیت و نقشه سرپرسی سایکس از موقعیت مسجد جامع (میراث فرهنگی خراسان شمالی، ۱۳۹۴) (خواناسازی: نگارندگان)

روش پژوهش و گردآوری نمونه‌ها

روش پژوهش

با توجه به اهداف و لزوم پاسخ به پرسش پژوهش، محققین با استفاده از آزمایشگاه و کتابخانه، دو روش کلی شامل مطالعات فیزیکی و شیمیایی را در ارتباط با خاک به انجام رساندند. بر این اساس، تجزیه و تحلیل اطلاعات با تمرکز بر نتایج مستخرج از آزمایشگاه و بررسی مطالعات مرتبط در این حوزه، از طریق مقالات و مستندات مکتوب فراهم شد. روش تحقیق و تجزیه و تحلیل نمونه‌ها، مطابق جدول ۲ به شکل خلاصه ارائه شده‌اند.

مستندنگاری نمونه‌های جمع‌آوری شده

با توجه به گستردگی محوطه بلقیس، نمونه‌ها به شکل تصادفی، از محدوده نارین قلعه (ارگ) در موقعیت‌های مختلف گردآوری شدند (جدول ۳). لازم به ذکر است با توجه به مناسبات اداری و این که بررسی‌های باستان‌شناسی محوطه در حال انجام هستند، به لحاظ کمی، دو نمونه از خشت‌های تاریخی و دو نمونه از خشت‌هایی که با مدیریت پایگاه شهر تاریخی بلقیس توسط پیمانکاران تهیه شده بود، در اختیار این تحقیق قرار گرفتند. همچنین، مقادیری از خاک معدن که توسط پایگاه شهر تاریخی استفاده از آن را در زمان ساخت محوطه محتمل دانسته، به عنوان نمونه تعیین شدند.

تحلیل و بحث نتایج آزمایشگاهی

بررسی بافت خاک^{۱۹} و اطلاعات قابل استخراج از نمودار دانه‌بندی

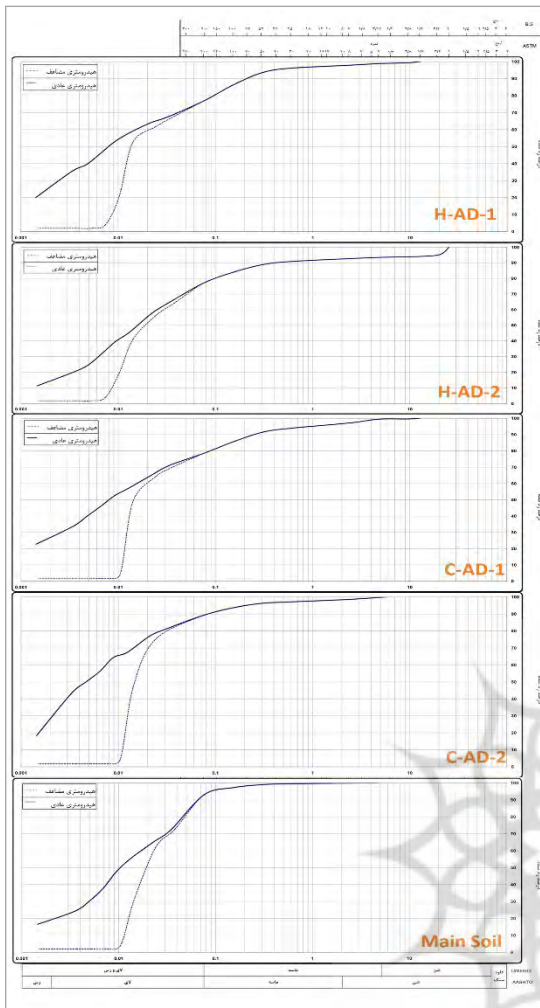
نمودار دانه‌بندی (شکل ۵)، حاوی اطلاعات مفیدی است که در طبقه‌بندی خاک کاربرد دارد. بررسی ریزدانه یا درشت‌دانه بودن بافت خاک، تعیین درصد ذرات رس، لای و ماسه، نگرش کلی در خصوص واگرایی خاک، تعیین ضریب فعالیت خاک

و بازسازی قرار گرفته است که شواهد باستان‌شناسانه، حاکی از ایجاد یک لایه اندود در باروی ارگ بوده که مستقیماً بر جدار اصلی و بدون ایجاد چفت و بست مناسب به نوعی قرار گرفته که از لایه رویی خاکریز کنار بارو تا رأس دیوارها اجرا شده‌اند (وحدتی و نیک‌گفتار، ۱۳۸۸: ۲۲۹). با اتکا به یافته‌های باستان‌شناسی، مشخص شد ساختمان ارگ در محدوده باروها بدون پی است و مستقیماً از روی زمین آغاز شده که در بخش‌های پایینی، حجم زیادی از چینه به کار رفته که با افزایش ارتفاع، از ضخامت بارو کاسته می‌شود. علاوه بر این، مشخص شد که ارگ بر خلاف این تصور که بر روی پشته خاک طبیعی یا مصنوعی احداث شده باشد^{۱۸}، بر روی زمین مسطح و هم‌تراز با زمین‌های هموار دشت مجاور ساخته شده است. بر اساس اطلاعات باستان‌شناسی در بازار و منار تپه در محدوده شارسران، ظاهراً استقرار قرون سوم و چهارم هجری قمری در محل ارگ به اثبات رسیده است و تا کنون اطلاعاتی مبنی بر استقرارهای پیش از اسلام در محدوده ارگ بلقیس به دست نیامده‌اند (همان: ۲۳۰) که تکمیل یافته‌های باستان‌شناسی در آینده، مکمل اطلاعات انجام‌یافته تا به امروز خواهد بود. علاوه بر شواهد معماری طی کاوش‌های باستان‌شناسی، نمونه‌هایی از ضرب سکه اسفراین در عهد ایلخانی نیز به دست آمده‌اند. مهم‌تر این که انواع قطعات سفالینه مکشوفه، تداوم سکونت از اواخر سده نخست قمری تا پایان دوره صفوی را تأیید می‌کنند. سایر قطعات مکشوفه (پیکرک‌های اسب، تاس تخته نرد، مهره‌های بازی، موزادیک سفالی و ...) نیز مبین همین موضوع و نقش خراسان در شکل‌دهی، گسترش و تداوم سبک هنری - تزئینی تحت حکومت سامانیان هستند. علاوه بر این، ردپای عناصر و الگوهای هنری ایران دوره ساسانی نیز بر مبنای همین شواهد اندک در خراسان به‌ویژه محوطه تاریخی بلقیس، قابل تأیید است (وحدتی، ۱۳۸۹).

جدول ۲. فرآیند تحقیق و متدولوژی شناسایی ترکیب خشت و خاک محوطه تاریخی بلقیس

مطالعات فیزیکی	دانه‌بندی بافت خاک	شاخص فعالیت خاک
		بررسی احتمال واگرایی
مطالعات شیمیایی و مینرالوژیک	بررسی روابط بین فازی مینرالوژی	با هدف شناسایی بافت خاک
		با هدف شناسایی ترکیب خشت خاک
		با هدف شناسایی ترکیب شیمیایی
مطالعات شیمیایی و مینرالوژیک	بررسی روابط بین فازی مینرالوژی	با هدف شناسایی فازهای کریستالین
		با هدف شناسایی ترکیب شیمیایی

(نگارندگان)



شکل ۵. نمودارهای دانه‌بندی نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس (آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، ۱۳۹۶) (خواناسازی: نگارندگان)

که شاخصی برای تشخیص توانایی تورم‌پذیری خاک‌های رسی است (بودهو، ۱۳۹۳) و تعیین مشخصات خاک بر اساس اندازه ذرات، از جمله این اطلاعات بوده که به کمک نمودار طبقه‌بندی خاک، قابل شناسایی هستند. مطابق آنچه در نمودار طبقه‌بندی خاک به‌شيوه یونیفاید آمده، اندازه ذرات بزرگ‌تر از الک ۲۰۰ (0.075mm)، شامل درشت‌دانه و ذرات کوچک‌تر از آن، خاک ریزدانه است. در این روش، چنانچه ۵۰٪ ذرات ریزتر از (۰.۰۷۵mm) باشد، خاک در دسته ریزدانه قرار می‌گیرد (همان: ۵۲). با توجه به جدول ۴ و شکل ۶، در نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس، کمترین مقدار ذرات زیر الک ۲۰۰، معادل ۷۷٪ و بیشترین آن ۹۱٪ است. بر این اساس، ذرات تشکیل‌دهنده نمونه‌ها، جزء خاک ریزدانه محسوب می‌شوند. سیلت و رس، دو جزء اصلی خاک‌های ریزدانه محسوب می‌شوند (فروتی، ۱۳۸۶). با توجه به این‌که در خاک‌های ریزدانه، عامل رطوبت، نقش تعیین‌کننده‌ای در تغییرات فیزیکی و مکانیکی خاک دارد (بودهو، ۱۳۹۳)، بررسی سهم رس به‌عنوان بخش جاذب آب در این دسته خاک‌ها، از اهمیت برخوردار است. با توجه به تمایل کانی‌های رسی در جذب آب، انتظار می‌رود با افزایش میزان رس در خاک، درصد جذب آب نیز بیشتر شود. اما مطابق جدول ۴، هم‌زمان با افزایش درصد رس، روند افزایش شاخص خمیری (PI) یکنواخت نیست؛ به این دلیل که تفاوت در کانی‌های تشکیل‌دهنده رس، تفاوت در رفتار خمیری خاک را سبب می‌شود. لذا می‌توان در نظر گرفت، کمیت رس به‌تنهایی، در میزان شاخص خمیری مؤثر نبوده است. علاوه بر درصد رس،

جدول ۳. کد و جانمایی نمونه‌ها در نقشه ارگ در محوطه بلقیس (میراث فرهنگی خراسان شمالی، ۱۳۹۴)

کد نمونه	موقعیت
D-S خاک معدن	معدن جنوب غربی ارگ (خارج از محدوده ارگ)
H-AD-1 خشت تاریخی	باروی غربی - بدنه داخلی - بین برج ۵ و ۶
H-AD-2 خشت تاریخی	محوطه داخلی - مطبخ - ترانشه جنوبی - اتاق شرقی
C-AD-1 خشت مرمتی	ترانشه جنوبی مشرف به حیاط - پشت طاقچه گچی
C-AD-1 خشت مرمتی	داخل ارگ - نمای شمالی - بین برج ۱۴ و ۱۵

(نگارندگان)

رس بین این نمونه و خاک معدن. بر این اساس، به منظور تعیین کانی رسی نمونه‌ها، می‌توان به شاخص فعالیت خاک^{۱۱} توجه کرد. شاخص (A)، برای تشخیص توانایی تورم‌پذیری خاک‌های رسی کاربرد دارد (براجا، ۱۳۹۱). مطابق آزمایش‌های اسکمپتون^{۱۲}، این عدد برای کانی‌های رسی، از بیشترین مقدار تا کمترین آن به ترتیب از ۷ تا ۱ متغیر است (بودهو، ۱۳۹۳). کمینه و بیشینه شاخص (A) در نمونه‌های محوطه بلقیس، از (۰,۵) هم کمتر است (جدول ۵). اسکمپتون در مقاله خود، جدول دقیقی (جدول ۶) در خصوص فعالیت انواع کانی رسی ارائه کرده است (1984). بر اساس جدول اسکمپتون و شکل ۷، فعالیت رس نمونه‌های محوطه بلقیس، در محدوده کوارتز و کائولینت قرار دارد. نرخ فراوانی آنها در محدوده (۰,۱۷) تا (۰,۲۵)، تعیین‌کننده دامنه تغییرات مینرالوژی نمونه‌ها در محدوده کلسیت است. لذا با توجه به نتایج این شاخص، وجود فاز مخرب کلسیت در خاک نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس، مشهود است. در ادامه بررسی برای اطمینان از کیفیت خاک و با توجه به ریزدانه بودن آن، موضوع واگرایی خاک به‌عنوان یک فاکتور آسیب‌رسان در ساختارهای خاکی، مورد توجه قرار گرفت. در توصیف رفتار خاک‌های واگرا می‌توان گفت؛ هنگامی که این خاک‌ها در معرض آب قرار گرفته، ذرات رسی پراکنده

نقش جنس کانی‌های رسی، در تغییر دامنه خمیری مؤثر است^{۲۰} (لمب و ویتمن، ۱۳۸۶). از آنجایی که با کاهش اندازه دانه‌های رس از کائولینت به سمت ایلیت و سپس مونت‌موریلونیت، سطح ویژه افزایش می‌یابد (براجا، ۱۳۹۱: ۱۲)، میزان جذب آب، روند صعودی خواهد داشت (لمب و ویتمن، ۱۳۸۶: ۱۴). بر این اساس، افزایش شاخص خمیری، تمایل بیشتر رس در جذب آب را نشان می‌دهد. نمونه (Depot Soil) به‌لحاظ درصد رس، کمترین مقدار را دارا است؛ با این حال، شاخص خمیری آن در ردیف دوم قرار دارد که در مقایسه با سایر نمونه‌ها (به‌جز نمونه C-AD-2)، از آب‌دوستی بیشتری برخوردار است. در سه نمونه (H-AD-2)، (H-AD-1) و (C-AD-1) در مقایسه با خاک معدن، روند کاهش شاخص خمیری هم‌زمان با افزایش درصد رس، حکایت از تغییر جنس کانی رسی یا تغییر در جنس ذرات با ابعاد رسی دارد که به سمت کاهش تمایل جذب آب سوق پیدا کرده‌اند. در نمونه (C-AD-2) در مقایسه با خاک معدن، هم‌زمان با افزایش درصد رس، صرفاً یک واحد به شاخص خمیری افزوده شده است. به نظر می‌رسد این موضوع، بیشتر در ارتباط با کمیت درصد رس در نمونه مورد نظر باشد تا تغییر نوع کانی و یا تغییر در کیفیت

جدول ۴. درصد ذرات خاک در نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس (آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، ۱۳۹۶)

نمونه	درصد ذرات تشکیل‌دهنده		
	شن	ماسه	سیلت
H-AD-1	۲٪	۲۱٪	۳۳٪
H-AD-2	۶٪	۱۵٪	۵۰٪
C-AD-1	۰,۵٪	۲۰,۵٪	۳۴,۵٪
C-AD-1	۰	۱۰,۵٪	۳۴,۵٪
Depot Soil	۰	۸,۵٪	۵۷٪

(نگارندگان: خواناسازی)

جدول ۵. شاخص فعالیت (A) در نمونه‌های محوطه بلقیس

نمونه	شاخص سنجش	
	درصد رس	PI
C-AD-2	۵۵٪	۱۴٪
C-AD-1	۴۴,۵٪	۸٪
H-AD-1	۴۴٪	۵٪
H-AD-2	۳۹٪	۸٪
Depot Soil	۳۴,۵٪	۱۳٪

(نگارندگان)

شده و به صورت ذرات معلق باقی می‌مانند. بر این اساس، وقوع واگرایی ممکن است باعث شکل‌گیری پدیده‌هایی چون؛ فرسایش خاک‌های متراکم، تخریب و از بین رفتن ساختارها و رگاب شود (Ouhadi et al, 2006). وجود املاح در بعضی از خاک‌های ریزدانه رسی، باعث ایجاد پدیده‌ی واگرایی در این خاک‌ها می‌شود. عدم شناسایی دقیق رس‌های واگرا، خسارات و خرابی‌هایی را به دنبال دارد؛ زیرا ذرات خاک‌های رسی واگرا تحت شرایط خاصی، متفرد شده و به سرعت شسته می‌شوند (حداد و دیگران، ۱۳۹۶). در خصوص نمونه‌های محوطه بلقیس، این احتمال در نظر گرفته شد؛ ولی معمولاً برای شناسایی خاک‌های واگرا، توصیه به انجام هم‌زمان ۴ دسته آزمایش بین هول، کرامب، هیدرومتری دوگانه و آزمایش‌های شیمیایی می‌شود (زمردیان و وکیلی، ۱۳۹۰). اما قبل از این اقدامات، احتمال واگرایی خاک را می‌توان به کمک نمودار دانه‌بندی و هیدرومتری دوگانه بررسی کرد و در صورت احتمال واگرایی، سایر روش‌های آزمایشگاهی مورد توجه قرار می‌گیرند. روش استاندارد (ASTM-D 4221) در ۸۵٪ موارد، پیش‌بینی واگرایی خاک را اطمینان می‌بخشد. مطابق این استاندارد، ۸۵٪ انواع خاک مشکوک به واگرایی، با درصد واگرایی ۳۵٪ مشاهده شده‌اند (ASTM, 2017: 2). لذا چنانچه درصد واگرایی برابر یا بیشتر از ۳۵٪ باشد، قرارگیری خاک در دسته خاک‌های واگرا محتمل است. درصد واگرایی در خاک، مطابق فرمول ۱ قابل محاسبه است. در جدول ۷، درصد واگرایی برای نمونه‌های بلقیس آمده است. درصد واگرایی همه نمونه‌ها، زیر ۳۵٪ است که با توجه به استاندارد (ASTM)، احتمال واگرایی خاک محتمل نیست. از طرفی، نتایج فعالیت رس (شاخص A) نشان داده که خاک نمونه‌ها در محدوده کلسیت قرار دارد و به عبارتی کلسیت، عمده‌ترین کانی خاک است و از آنجایی که پدیده واگرایی در خاک‌ها به حضور

کانی‌های رسی فعال مانند مونت‌موریلونیت و کاتیون‌های سدیم وابسته بوده (اوحدی و دیگران، ۱۳۹۳)، به‌طور قطع، موضوع واگرایی خاک در محوطه بلقیس منتفی است.

فرمول ۱. محاسبه احتمال واگرایی خاک مطابق استاندارد ASTM (ASTM, 2017)

$$\% \text{Dispersion} = \frac{\% \text{Passing } 5 - \mu \text{ m in Test Metod ASTM - D - 4221}}{\% \text{Passing } 5 - \mu \text{ m in Test Metod Astm - D - 422}} \times 100$$

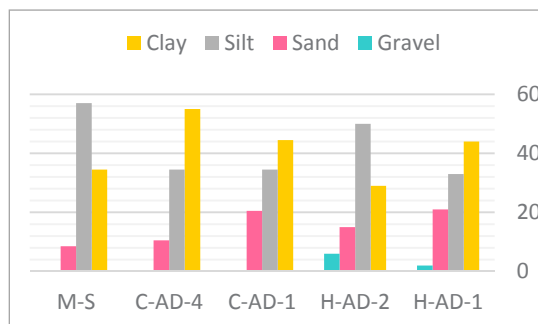
خواص اندیسی خاک (تعیین حدود روانی، خمیری و انقباض خاک)

رفتار فیزیکی و مکانیکی خاک‌های ریزدانه، با تغییرات میزان رطوبت، تفاوت می‌کند. بر این اساس، تغییر حالت‌های خاک از جامد به نیمه‌جامد و سپس خمیری و مایع، به‌عنوان تابعی از حجم خاک و رطوبت محسوب شده (بودهو، ۱۳۹۳: ۴۰) که توسط نمودار حدود آتربرگ نمایش داده می‌شود (شکل ۸). کازاگرانده در مورد رابطه بین شاخص خمیری و حد روانی، نمودار خمیری (شکل ۹) را پیشنهاد کرده است (براجا، ۱۳۹۱: ۷۱). با توجه به این که در تمام نمونه‌های محوطه بلقیس (LL < 50) است، مطابق طبقه‌بندی خاک‌های سیلتی و رسی غیرآلی در استاندارد (ASTM) در موقعیت CL در طرح طبقه‌بندی خاک به‌روش (USCS) تعیین می‌شود (جدول ۸). استاندارد ASTM-D-4221، مربوط به آزمایش هیدرومتری دوگانه بوده و استاندارد ASTM-D-422، مربوط به آزمایش هیدرومتری عادی است. بر این اساس، خاک نمونه‌ها، جزء رس‌های غیرآلی با پلاستیسیته کم تا متوسط است که به‌لحاظ ترکیب ذرات، جزء رس‌های شنی، ماسه‌دار یا سیلت‌دار طبقه‌بندی می‌شود (لمب و ویتمن، ۱۳۸۶). با توجه به جدول ۴ و بالا بودن میزان سیلت به‌همراه رس، خاک نمونه‌ها، جزء رس سیلت‌دار لاغر قرار می‌گیرد (آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، ۱۳۹۶).

جدول ۶. فعالیت کانی‌های رسی

Mineral	Activity
Quartz	0.0
Calcite	0.18
Mica	0.23
Kaolinite	0.33
	0.46
Illite	0.90
Ca-Montmorillonite	1.5
Na-Montmorillonite	7.2

(Skempton, 1984)



شکل ۶. نمودار درصد ذرات خاک در نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس (آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، ۱۳۹۶) (خواناسازی: نگارندگان)

مطالعه در زمینه ترکیب عنصری نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس

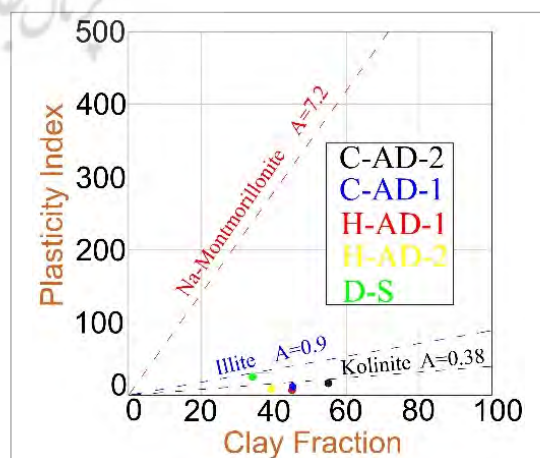
مطابق نتایج به دست آمده از تست XRF^{33} ، سیلیس، کلسیت و آلومین به عنوان سه فاز اصلی مینرالوژی با میزان بالای ۵٪، در خاک نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس شناسایی شدند (جدول ۹). در کلیه نمونه‌ها، مقدار سیلیس تقریباً یک سوم درصد وزنی کل خاک است. میزان SiO_2 می‌تواند ارتباط نزدیکی با میزان سیلت و ماسه در خاک داشته باشد (درویش‌زاده، ۱۳۸۰)؛ زیرا بر اساس نتایج به دست آمده از دانه‌بندی در همین تحقیق، خاک نمونه‌ها بر مبنای نمودار خمیری خاک‌های ریزدانه در گروه CL قرار گرفته که این خاک‌ها، رس‌های ماسه‌دار و سیلتی محسوب می‌شوند (بودهو، ۱۳۹۳). این موضوع، با ماهیت ساختمانی خاک منطقه متشکل از نهشته‌های مارنی (حسن‌زاده نفوتی و دیگران، ۱۳۸۷؛ درویش‌زاده، ۱۳۸۰) و رسوبات آبرفتی تشکیل‌دهنده تراس‌ها، مخروطه افکن‌ها، واریزه‌ها، لُس و ماسه بادی دشت‌های پایین دست رشته کوه آلاداغ (فدایی، ۱۳۷۳) در اسفراین بی‌ارتباط نیست. با توجه به بافت خاک نمونه‌ها و پایین بودن شاخص خمیری (PI) و همچنین کاهش چشمگیر میزان آلومین، انتظار فعالیت بالای رس و وجود چسبندگی در خاک، دور از انتظار است. در نمونه (C-AD-1)، کاهش سیلیس با کاهش قابل توجه آلومین همراه است. به نظر می‌رسد کاربرد آهک برای تثبیت خاک‌های ریزدانه با دامنه خمیری کم (Silva et al, 2013)، به شکل افزودنی با هدف تثبیت خشت مرمتی صورت گرفته باشد. این کار، بخشی از کانی‌های رسی را به شکل برگشت‌ناپذیری (Venkatarama Reddy et al, 2012) در فرآیند پوزالانی شرکت داده و درصد کانی‌های رسی در ترکیب نهایی تغییر

می‌نماید. سه برابر بودن میزان آهک این نمونه در مقایسه با سایر نمونه‌ها، تأییدی بر این موضوع است. در کلیه نمونه‌ها به جز نمونه (C-AD-1)، میزان آهک بالغ بر ۲۰٪ است. همین مقدار آهک نیز از درصد آلومین نمونه‌ها بیشتر است. بالا بودن آهک، نشانه قلیائیت خاک منطقه است. کلسیت به شکل سنگ آهک در سرتاسر منطقه پراکنده است (بر اساس نمودارهای XRD). این موضوع، با طبقه‌بندی خاک اسفراین از سوی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح در سال ۱۳۸۴ هماهنگی دارد. بر این اساس، خاک منطقه اسفراین به چهار دسته رسوبی ریزبافت در محدوده دشت‌ها و دره‌ها، لیتوسل‌های آهکی در مناطق بیابانی و تپه ماهورها، سیروزوم در شمال و شمال غرب و در نهایت، لیتوسل آهکی برون چست در ارتفاعات شمال شهرستان تقسیم می‌شود (بی‌نام، ۱۳۸۴). اکسیدهای فلزی موجود در خاک نمونه‌ها با میزان حداکثر ۳/۵٪، جزء دسته عناصر فرعی خاک محسوب می‌شوند. حضور کلسیت و اکسید منیزیم (Mgo) در خاک نمونه‌ها، مؤید حضور کربنات‌ها از گروه تبخیری‌ها به ویژه کربنات کلسیم و دولومیت است؛ زیرا دولومیت $(CaMg(CO_3)_2)$ و سنگ آهک، از منابع مهم منیزیم به ویژه در مناطق خشک محسوب می‌شوند. با توجه به استقرار اسفراین در ناحیه آب و هوایی خشک (حسینی صدیق و دیگران، ۱۳۹۴) و همچنین قلیائیت خاک (فدایی، ۱۳۷۳؛ مهندسین مشاور مهتاب، ۱۳۵۶)، این موضوع دور از انتظار نیست. همراه کلسیت، سایر اکسیدهای فلزی هم‌چون؛ اکسیدهای آهن، سدیم و پتاسیم نیز در ساختمان دولومیت ممکن است وجود داشته باشند که در نمونه‌های بلقیس، میزان (Fe_2O_3) و (K_2O) جزء عناصر ثانویه جا می‌گیرد. در نتایج آزمایش‌های شیمیایی محوطه بلقیس، نمونه‌های

جدول ۷. درصد واگرایی خاک نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس

درصد واگرایی	درصد ذرات کوچک‌تر از 0.005mm		نمونه
	هیدرومتری دوگانه	هیدرومتری معمولی	
۲٪	۶۴.۵٪	۱.۵٪	C-AD-2
۲٪	۵۲٪	۱.۵٪	C-AD-1
۲۳٪	۵۲٪	۱۲٪	H-AD-1
۳۱٪	۳۸.۵٪	۱۲٪	H-AD-2
۳٪	۴۶٪	۱.۵٪	Depot Soil

(نگارندگان)



شکل ۷. رابطه بین شاخص خمیری و درصد ذرات رسی (المب و ویتمن، ۱۳۸۶) (خواناسازی: نگارندگان)

مورد آزمایش، دارای درصد مواد فرار (LOI) متفاوتی بوده؛ این دلیل سبب می‌شود که نتایج اعداد جدول ۹، دقیقاً صد در صد نشوند. در این خصوص، درصد کربنات‌ها و رس نقش اساسی دارند.

بررسی کیفیت و روابط بین فازهای مینرالی اصلی خاک (نمودار سه تایی)

رس، بخشی از فاز جامد خاک را تشکیل می‌دهد. کانی‌های رسی، کمپلکس‌های سیلیکات و آلومینیوم بوده که دارای دو واحد اساسی سیلیکات‌تراهدرال و آلومینا اکتاهدرال هستند (براجا، ۱۳۹۱: ۱۰). علاوه بر این، سایر کانی‌های موجود در پوسته زمین در کنار رس، شرایط و ویژگی‌های خاک را کنترل می‌کنند؛ فراوان‌ترین آنها تیخیری‌ها بوده که کربنات‌های خاکی، عمده‌ترین گروه آن محسوب می‌شده و کلسیت و دولومیت، جزء این گروه هستند. عناصر تشکیل‌دهنده دولومیت^{۲۴}، عمدتاً اکسید منیزیم (MgO) و آهک (CaO) بوده که به‌همراه سیلیس و آلومین، فازهای مینرالی خاک را تشکیل می‌دهند (درویش‌زاده، ۱۳۸۰). آگاهی نسبت به گرایش فاز مینرالی خاک در جهت رسی شدن یا کربناته شدن، از اهمیت فراوانی برخوردار می‌شود. بر این اساس، بررسی ترکیبات و روابط بین فازهای مینرالی خاک (نمودار سه تایی) نمونه‌های محوطه بلقیس، مطابق شکل ۱۰ بررسی شد. در همه نمونه‌ها، میزان آلومین در قیاس با سیلیس، از مقدار کمتری برخوردار است. با توجه به این که آلومین (Al_2O_3) زیاد خاک، موجب بروز ترک در محصولات گلی شده و همچنین وجود بیش از حد سیلیس (SiO_2)، بافت خاک را به سمت ماسه‌ای شدن سوق داده و از چسبندگی آن می‌کاهد، به‌نظر می‌رسد بخشی از آسیب‌های وارده به خشت - ناشی از ساختار شیمیایی خاک

نمونه‌ها - متوجه کاهش چسبندگی ناشی از ماسه‌ای شدن خاک باشد. وجود ترکیب (MgO + CaO) به‌میزان ۳۰٪ (۴۰٪ در کلیه نمونه‌ها به‌جز (C-AD-1)، موقعیت اکسید منیزیم و اکسید کلسیم را به‌عنوان فازهای مینرالی خاک در کنار سیلیس و آلومین تأیید می‌کند. اما اکسید منیزیم (MgO) و کلسیت (CaO) بیش از حد، ساختار مصالح گلی را شبیه ملات‌های آهکی می‌کنند. از آنجایی که کانی کربناته کلسیت چند ریخت است، وجود آن در نمونه‌های تاریخی، می‌تواند ناشی از ترکیب قلیایی خاک باشد. این موضوع، با سازندهای مربوط به سه دوره اصلی زمین‌شناسی در منطقه اسفراین که متشکل از ترکیبات کربناته بوده، مربوط است؛ زیرا وجود دولومیت^{۲۵}، مارن^{۲۶} گچ‌دار و آهک‌های سیاه‌رنگ به‌همراه آهک مارنی، آهک‌های کرم‌رنگ از دوران اول و دوم زمین‌شناسی در شمال، شمال شرق، شمال غرب و جنوب شرق منطقه رخنمون دارد (فدایی، ۱۳۷۳). اما افزایش ناگهانی آن در نمونه غیرتاریخی (C-AD-1)، می‌تواند ناشی از افزودن اکسید کلسیم به ترکیب خاک با هدف بهبود کیفی خاک صورت گرفته باشد؛ زیرا دشت‌های واقع در اطراف شهر اسفراین که توسط مارن‌های نئوژن^{۲۷} احاطه شده (مهندسیین مشاور مهاب، ۱۳۵۶: ۳۲) به‌دلیل ماهیت ساختمانی، نظیر وجود ذرات تخریبی (سیلت بالا و رس کم) و مواد شیمیایی (کربنات کلسیم، ژپس، انیدریت و نمک) نسبت به سایر نهشته‌ها، از فرسایش‌پذیری بالاتری برخوردار هستند (حسن‌زاده نفوتی و دیگران، ۱۳۸۷).

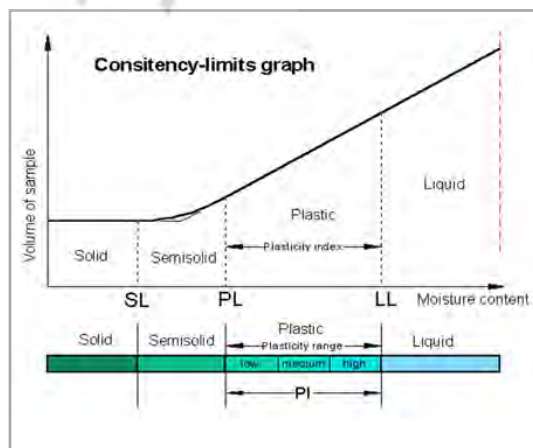
فازهای مینرالی نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس

با توجه به نتایج دانه‌بندی خاک نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس (رک بخش ۴-۱)، انتظار مشاهده فازهای مینرالی

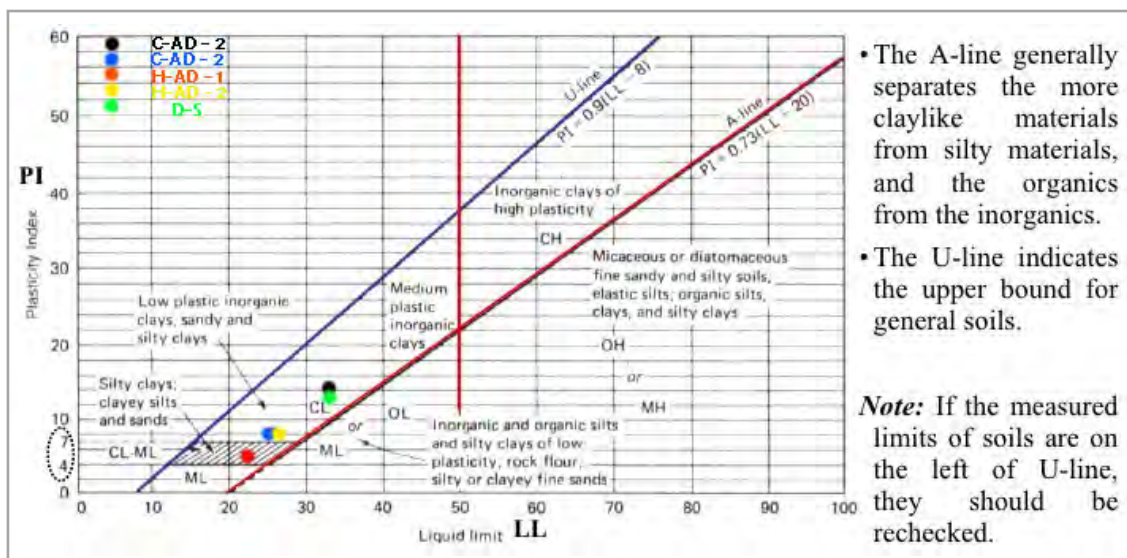
جدول ۸. اندیس خاک نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس

نوع خاک	Plastic Index (PI)	Plastic Limit (PL)	Liquid Limit (LL)	نمونه
CL	% 14	% 19	% 33	C-AD-2
CL	% 8	% 17	% 25	C-AD-1
CL-ML	% 5	% 17	% 22	H-AD-1
CL	8%	% 18	% 26	H-AD-2
CL	% 13	% 20	33%	Depot Soil

(نگارندگان)



شکل ۸. حدود آتربرگ (URL: 1)



- The A-line generally separates the more claylike materials from the silty materials, and the organics from the inorganics.
- The U-line indicates the upper bound for general soils.

Note: If the measured limits of soils are on the left of U-line, they should be rechecked.

شکل ۹. نمودار خمیری استاندارد در تعیین موقعیت خاک (براجا، ۱۳۹۱) (خواناسازی: نگارندگان)

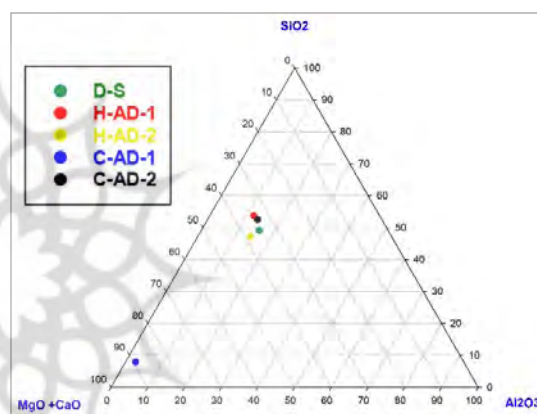
جدول ۹. نتایج تست ترکیب عنصری در نمونه‌های خشت و خاک محوطه بلیس

Elements	Depot soil	H-AD-1	H-AD-2	C-AD-1	C-AD-2
SiO ₂	35/43	39/31	33/22	6/2	38/26
CaO	22/37	22/62	24/17	69/39	21/85
Al ₂ O ₃	11/4	8/79	10/1	2/15	9/99
Fe ₂ O ₃	3/48	2/97	3/04	1/17	3/53
MgO	3	2/51	2/91	0/62	2/86
K ₂ O	2/48	2/13	2/64	0/019	2/34
Na ₂ O	0/593	0/754	1/34	0/122	0/703
TiO ₂	0/474	0/408	0/457	0/152	0/444
SO ₃	0/176	0/14	0/191	0/018	0/241
P ₂ O ₅	0/1	0/229	0/295	0	0/13
MnO	0/067	0/061	0/058	0/021	0/073
SrO	0/046	0/04	0/048	0/013	0/048
Cl	0/029	0/229	0/745	0	0/167
CuO	0/015	0/014	0/016	0	0/015
ZrO ₂	0/011	0/015	0/012	0	0/014
ZnO	0/008	0/01	0/01	0	0/013
Rb ₂ O	0/006	0/006	0/006	0	0/008

(نگارندگان)

۱۳۷۳). ناخالصی همراه خاک رس در قالب انواع کربنات‌ها، در پوسته زمین یافت می‌شود (بایبوردی، ۱۳۷۲). کلسیت می‌تواند ناشی از تجزیه سنگ آهک و دولومیت باشد که عمده کربنات‌های خاک را تشکیل می‌دهند. فاز کلسیت، در ترکیب تمام نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس وجود دارد. با توجه به این که کلسیت موجود در خاک به لحاظ شیمیایی با آهک زنده تفاوت داشته (فروتنی، ۱۳۸۶)، بخش عمده آن بدون واکنش با آب، نقش مؤثری در ترکیب مصالح گلی همانند خشت ندارد؛ لذا احتمال خروج توسط آب از سیستم و در نتیجه، کاهش حجم ساختار و بروز آسیب‌های ناشی از این رفتار وجود دارد. از سوی دیگر، کلسیت حاصل از فرسایش سنگ آهک بر خلاف رس که رفتار چسب‌مانند در خاک دارد (مینکه، ۱۳۸۸)، صرفاً در شکل آهک زنده، قابلیت واکنش شیمیایی داشته و طی فرآیندهای کلوخه شدن و پوزالانی (اوحدی و دیگران، ۱۳۹۳)، به مرور باعث تثبیت خاک و استحکام ذرات خاک می‌شود؛ ولی در حالت پودر سنگ آهک، صرفاً از میزان درصد وزنی رس موجود در خاک و اصطلاحاً چسب طبیعی خاک می‌کاهد. مسکویت و بیوتیت، هر دو از خانواده میکا هستند. مسکویت، یک آلومینوسیلیکات پتاسیم‌دار از فیلوسیلیکات‌های ثانویه است. این فاز با خاصیت پراکندگی و بسط‌دهندگی، تحت تأثیر دگرگونی ناحیه‌ای سنگ‌های رسی تشکیل شده و در برابر هوازدگی شیمیایی، مقاومت اندکی داشته و موجب انبساط و ایجاد ترک می‌شود. در محوطه بلقیس، فرسایش ناشی از رطوبت، به شکل شبکه‌های

مرتبط با گروه خاک‌های ریزدانه در نتایج XRD^{۲۸}، دور از انتظار نیست. با توجه به درصد بالای ماسه و سیلت در نمونه‌ها در مقایسه با میزان رس (جدول ۴)، فاز کوارتز در اکثر نمونه‌ها قابل مشاهده است (جدول ۱۰). کوارتز که بافت غنی از سیلیس را در ترکیب خاک به شکل ماسه بر عهده داشته، ماده پرکننده خشت محسوب می‌شود. ماسه، سبب کاهش انقباض و مانع ترک خوردگی می‌شود. ترکیب سیلت در منطقه مورد مطالعه، دارای کانی‌های غنی از میکا است. حضور فاز کوارتز در همه نمونه‌ها، با میزان سیلیس آنها قابل توجیه است (جدول ۹). این موضوع، ناشی از بالا بودن میزان ماسه بادی حاصل از فرسایش خاک مارنی در منطقه است که با صفت خاک‌شناسی منطقه مطابقت دارد (فدایی،



شکل ۱۰. روابط بین فازهای مینرالی اصلی خاک نمونه‌ها (نگارندگان)

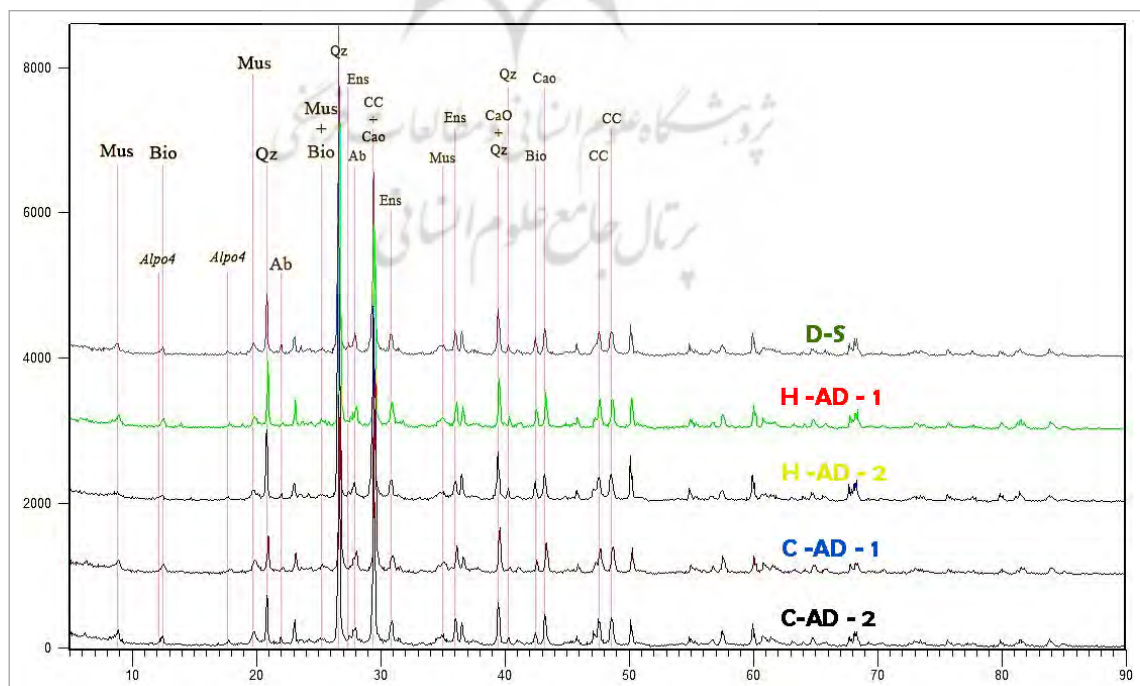
جدول ۱۰. فازهای موجود در نمونه‌های نارین قلعه محوطه بلقیس

نام ترکیب	علامت اختصاری	فرمول شیمیایی	حضور فاز در نمونه‌ها				
			Depot soil	H-AD-1	H-AD-2	C-AD-1	C-AD-2
Calcite	Cc	CaCO ₃	•	•	•	•	•
Quartz	Qz	SiO ₂	•	•		•	•
Muscovite	Mus	KAl ₃ Si ₃ O ₁₀	•	•	•	•	•
Biotite	Bio	K(Mg,Fe) ₃ AlSi ₃ O ₁₀ (F,OH) ₂	•	•	-	-	-
Albite	Ab	Na[AlSi ₃ O ₈]	-	-	•	•	•
Enstatite	En	MgFe[Si ₂ O ₆]	-	-	•		•
Apatite	Apo	Ca ₅ (PO ₄) ₃ (F,Cl,OH)	-	-	•	•	•

(نگارندگان)

دو نمونه (خشت تاریخی ۲ و خشت مرمتی ۲) دیده شده است. حضور این فاز، مبین وجود ترکیبات حرارت دیده هم چون؛ خرده سفال و آجر به عنوان ماده پرکننده به همراه خاک در تولید خشت تاریخی و مرمتی است. این موضوع، مشخصاً به واسطه پراکندگی گسترده سفال و آجر در محوطه بلقیس، قابل توجیه است. در شکل ۱۱، نتایج پراش پرتو ایکس برای ۵ نمونه از محوطه تاریخی بلقیس به همراه راهنمای فازها ارائه شده اند. نمونه D-S، از خاک معدن نزدیک محوطه، نمونه های H-AD-1 و H-AD-2، مربوط به خشت های تاریخی و نمونه های C-AD-1 و C-AD-2، از خشت های مداخلات مرمتی بوده اند که در شکل ۱۱، نمودار مربوط به هر کدام مشخص شده است.

در هم تنیده از ریزترک ها پس از فرسایش آب شویی در اکثر بخش ها دیده می شود که بی ارتباط با حضور فاز مسکویت و بیوتیت نیست. بیوتیت، میکای منیزیم و آهن دار بوده (اشرفی و دیگران، ۱۳۸۸: ۳۹۴-۳۸۱) که با توجه به ساختار ورقه ای آن مانند مسکویت، فاز مخرب و با قابلیت انبساط در شرایط مرطوب است. آلیت، جزء فلدسپار پلاژیوکلاز محسوب شده که عمدتاً در سنگ های آذرین و دگرگونی یافت می شود که با شرایط خاک شناسی منطقه و رسوبی بودن آن مطابقت ندارد و صرفاً در نتیجه انتقال به منطقه حمل شده است. از جمله فازهای ناهم خوان با محیط، می توان از ترکیبات سیلیکاته انستاتیت و فسفات آپاتیت نام برد. انستاتیت از فازهای گروه پیروکسن، جزء فازهای درجه حرارت بالا محسوب می شود (امامی و دیگران، ۱۳۹۳: ۱۲) که صرفاً در



شکل ۱۱. نتایج پراش پرتو ایکس برای نمونه های ارگ بلقیس (نگارندگان) (Cc: Calcite), (Qz: Quartz), (Mus: Muscovite) (Bio: Biotite), (Ab: Albite), (En: Enstatite), (Apo: Apatite)

نتیجه گیری

نمودار خمیری نشان داد که خاک، از گروه ریزدانه است. با توجه به (PI) کم در همه نمونه‌ها ($PI < 50$)، مقدار رس به عنوان فاکتور چسباننده ذرات خاک در مقایسه با سایر ذرات هم چون سیلت و ماسه، کمتر است. عامل کمی رس، نخستین فاکتور در فرسایش پذیری ساختارها در برابر رطوبت محسوب می‌شود. از طرفی، عامل کیفی رس نیز در رفتار خاک مؤثر است؛ زیرا آن چه به عنوان درصد رس در نمودار دانه بندی شناسایی شده، لزوماً به لحاظ مینرالوژی، شامل کانی‌های رسی نمی‌شود. نتایج فعالیت رس نشان دادند بخشی از کانی‌های موجود در خاک، شامل کلسیت و کوآرتز بوده که مبین فقر کانی‌های رسی در مجموع درصد عبوری از الک ۲۰۰ در هر نمونه است. فقر کانی‌های رسی، سبب کاهش (PI) خاک در نمونه‌ها شده است که با توجه به ریزدانه بودن خاک، مطابق نمودار خمیری، همه نمونه‌ها در خانواده (CL) مطابق استاندارد (ASTM) قرار گرفتند. هم چنین مطابق نتایج (XRF)، بخش قابل توجهی از کانی‌های تشکیل دهنده خاک نمونه‌ها، سیلیس است که با میزان سیلت، ماسه در نمودار دانه بندی و فاز کوآرتز در نتایج (XRD) هم خوانی دارد. هم چنین، وجود فاز کلسیت به عنوان دومین کانی با فراوانی بالا در خاک نمونه‌ها، تأییدی بر قلیائیت خاک مورد استفاده در خشت‌ها است. کلسیت به عنوان فاز مخرب، فاقد هر گونه واکنش شیمیایی در جهت بهبود شرایط کیفی خاک در خشت رفتار کرده و صرفاً جذب رطوبت در خشت را افزایش داده یا با حضور بیش از حد رطوبت، شسته و از سیستم خارج می‌شود. از سوی دیگر، نتایج (XRD) حضور فاز مسکویت، خاصیت بسط دهنده در خاک را نشان می‌دهند؛ لذا ریز ترک‌های موجود در بخش‌های شسته شده دوغابی مانند سطوح دیوارها، بیشتر ناشی از فاز مسکویت بوده و مطابق نتایج نمودار دانه بندی، ارتباطی با واگرایی خاک نمونه‌ها در محوطه بلفیس ندارند. فازهای مخرب ترکیب شیمیایی خاک در نمونه خشت‌های تاریخی و حفاظتی، یکسان هستند. فازهای مخرب کلسیت، موسکویت به همراه میزان بالای سیلت و فقر رس، در خاک معدن، خشت‌های حفاظتی دهه اخیر و نمونه‌های تاریخی دیده شده‌اند. لذا عمده فرسایش ناشی از رطوبت نزولی و کاهش دوام خشت در محوطه تاریخی بلفیس، متأثر از کیفیت خاک مورد استفاده بوده است؛ حاکی از جنس رس‌های غیر آلی با پلاستیسیته کم تا متوسط که به لحاظ ترکیب ذرات، جزء رس‌های شنی، ماسه‌دار و سیلت‌دار طبقه بندی می‌شود.

پی نوشت

1. Hugo Houben
2. Hubert Guillaud
3. Mud Brick
4. Raw Brick
5. Oxford Dictionary
6. Cambridge Dictionary
7. Merriam-Webster's collegiate Dictionary
8. Collins English Dictionary
9. A kind of clay used as a building material, typically in the form of sun-dried bricks (Oxford advanced learner's dictionary, 1995)
10. A mixture of earth and straw made into bricks and dried in the sun, used to build houses in some parts of the world (Cambridge dictionary, 2015)
11. A brick or building material of sun-dried earth and straw
12. Rammed Earth
13. Ply Mouth School of Architecture
14. Devon Earth Building Association
15. Alessandrini
16. Capo Soprano



17. Gela

۱۸. اشاره به گزارش ادوارد بیت درباره مشاهدات او از شهر بلقیس در سال ۱۸۹۶ میلادی.
۱۹. در این تحقیق، از روش یونیفاید (USCS) (Unified Soil Classification System) در طبقه‌بندی استفاده شده است.
۲۰. ساختار مینرالوژی خانواده مونتموریلونیت در مقایسه با کائولینت که از سطح ویژه بیشتری برخوردار است، تمایل جذب آب بیشتری دارد (مینکه، ۱۳۸۸: ۱۵).
۲۱. (Activity)، حاصل تقسیم شاخص خمیری (PI) به درصد رس است.
22. Skempton
23. X-Ray Fluorescence
۲۴. دولومیت ($CaMg(CO_3)_2$) و سنگ آهک، یکی از منابع مهم منیزیم به‌ویژه در مناطق خشک محسوب می‌شوند (URL: 2).
25. Dolomite
۲۶. (Marn) به مخلوطی از رس و کربنات کلسیم که میزان کربنات آن بین ۳۵ تا ۶۵ درصد باشد بنا به تعریف، مارن اطلاق شده که پس از فرآیند سنگ‌زایش و سخت شدن، تبدیل به سنگ مارن می‌شود (Pettijohn, 1957: 410).
۲۷. (اسم) [فرانسوی: néogène] (زمین‌شناسی) دوره دوم از دوران سوم زمین‌شناسی (مهندسیین مشاور مه‌اب، ۱۳۵۶: ۳۲).
28. X-Ray Diffraction

منابع و مأخذ

- ۱۰۷
- آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک (۱۳۹۶). "منحنی دانه‌بندی". اصفهان: شرکت سهامی آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک.
 - آیوازیان، سیمون (۱۳۷۶). آجرکاری در معماری ایران دوره اسلامی: نقش آجر در هویت معماری ایران در تزئینات وابسته به معماری ایران دوره اسلامی. به کوشش محمدیوسف کیانی، چاپ دوم، تهران: سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری.
 - اشرفی، ناصر؛ جهانگیری، احمد؛ عامری، علی؛ هسب، نریکو و ابی، نلسون (۱۳۸۸). شیمی کانی بیوتیت در توده‌های آذرین قلیایی بزقوش و کلیبر، شمال غرب ایران. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۳۹۴-۳۸۱.
 - اتینگهاوزن، ریچارد و گرابر، الگ (۱۳۷۸). هنر و معماری اسلامی. ترجمه یعقوب آژند، چاپ اول، تهران: سمت.
 - امامی، سید محمدامین؛ آریانسب، سیمین؛ احمدی، حسین؛ عسگری چاوردی، علیرضا و کالیری، پیر فرانسکو (۱۳۹۳). روش‌های باستان‌سنجی به‌منظور ساختارشناسی آجرهای کشف‌شده از تل آجری تخت جمشید. مطالعات باستان‌شناسی، ۶(۲)، ۱۹-۱.
 - اوحدی، وحیدرضا؛ امیری، محمد و حمیدی، صلاح‌الدین (۱۳۹۳). بهسازی خاک‌های واگرا با آهک با نگرش ویژه به کاهش شدت قله‌های اصلی کانی‌های رسی در پراش پرتو ایکس. عمران مدرس، ۱۴(۲)، ۱۳-۲۶.
 - اولیاء، محمدرضا (۱۳۸۳). مسجد جامع فهرج، اثر کم‌نظیر دوران انتقال. فرهنگ یزد، (۱۸ و ۱۹).
 - بایبوردی، محمد (۱۳۷۲). خاک: پیدایش و رده‌بندی. چاپ سوم، تهران: دانشگاه تهران.
 - براجا، ام. داس (۱۳۹۱). اصول مهندسی خاک (مکانیک خاک). ترجمه حسین صالح‌زاده، چاپ دوازدهم، جلد اول، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.
 - بزنوال، رولان (۱۳۷۹). فن آوری طاق در خاور کهن (جلد اول و دوم). ترجمه سید محسن حبیبی، چاپ اول، تهران: سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری (پژوهشگاه).
 - بودهو، میونی (۱۳۹۳). مکانیک خاک و پی. ترجمه میکائیل یوسف‌زاده فرد، چاپ سوم، تبریز: دانشگاه تبریز.
 - بی‌نام (۱۳۸۴). فرهنگ جغرافیایی آبادی‌های کشور: استان خراسان شمالی: شهرستان اسفراین. چاپ اول، تهران: سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح.
 - پاپادوپولو، الکساندر (۱۳۸۶). معماری اسلامی. ترجمه حشمت جزنی، چاپ اول، تهران: رجا.
 - پورمحمدی، سپیده و حسینی دهمیری، هادی (۱۳۸۶). موریانه‌ها خطری جدی برای بناهای خشتی تاریخی شهر یزد و سایر شهرهای ایران، به‌ویژه در هنگام وقوع زلزله. مجله اثر، (۴۲ و ۴۳).
 - پیرنیا، محمدکریم (۱۳۶۹). شیوه‌های معماری ایرانی. چاپ دوم، تهران: مؤسسه نشر هنر اسلامی.
 - تجویدی، اکبر (۱۳۵۵). دانستنی‌های نوین درباره هنر و باستان‌شناسی عصر هخامنشی بر بنیاد کاوش‌های پنج ساله تخت جمشید. تهران.

- توحیدی، کلیم‌الله (۱۳۷۴). اسفراین؛ دیروز، امروز. به کوشش مسعود میرعلایی، چاپ اول، مشهد: واقفی.
- حبیبی، سید محسن (۱۳۸۰). از شار تا شهر: تحلیلی تاریخی از مفهوم شهر و سیمای کالبدی آن: تفکر و تأثر. چاپ دوم، تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ.
- حداد، عبدل حسین؛ جاودانیان، حامد و ابراهیم‌پور، فائزه (۱۳۹۶). شناسایی و تثبیت خاک‌های واگرا: مطالعه موردی کانال انتقال آب سیمین دشت- گرمسار. نشریه زمین‌شناسی مهندسی، جلد یازدهم، (۱)، ۵۰-۲۹.
- حسن‌زاده نفوتی، محمد؛ فیض‌نیا، سادات؛ احمدی، حسن؛ پیروان، حمیدرضا و غیومیان، جعفر (۱۳۸۷). بررسی تأثیر ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی مارن‌ها بر میزان رسوب‌دهی با استفاده از مدل فیزیکی باران‌ساز. نشریه انجمن زمین‌شناسی مهندسی/ایران، ۱(۱)، ۴۸-۳۵.
- حسینی صدیق، سید محمود؛ مقامی مقیم، غلامرضا و ابراهیمی، مسلم (۱۳۹۴). واکاوای عناصر اقلیمی باد و بارش در طراحی شهری شهرستان اسفراین. سومین کنگره بین‌المللی عمران، معماری و توسعه شهری.
- خسروشاهیان، محمود (۱۳۶۵). روش جدید خشکانیدن بناهای تاریخی. مجله اثر، (۱۴-۱۲)، ۱۳۲-۱۲۰.
- درویش‌زاده، علی (۱۳۸۰). زمین‌شناسی ایران. چاپ اول، تهران: امیرکبیر.
- روشنی زعفرانلو، قدرت‌الله (۱۳۶۶). اسفراین- بلقیس. شهرهای ایران. تألیف محمدیوسف کیانی. تهران: جهاد دانشگاهی. ۱۹۵-۱۷۰.
- زارعی، محمد ابراهیم (۱۳۷۹). آشنایی با معماری جهان. ویراستاری قهرمان شیری، چاپ اول، همدان: فن‌آوران.
- زمردیان، سید محمدعلی و وکیلی، امیرحسین (۱۳۹۰). ارزیابی پتانسیل واگرایی و خصوصیات فیزیکی و مکانیکی خاک رس واگرایی تثبیت‌شده با آهک و پوزولان. مجله تحقیقات آب و خاک/ایران، جلد دوم، ۲۳۱-۲۱۹.
- ستوده، غلامرضا؛ مهرکی، ایرج؛ سلطانی، اکرم و شهیدی، جعفر (۱۳۸۵). فرهنگ متوسط دهخدا. تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ.
- سید سجادی، سید منصور (۱۳۸۳). آغاز شهرنشینی در نیمه شرقی فلات ایران. انسان‌شناسی، (۶)، ۹۶-۶۳.
- عمید، حسن (۱۳۸۴). فرهنگ عمید. چاپ پنجم، تهران: امیرکبیر.
- فدایی، سید احمد (۱۳۷۳). جغرافیای شهرستان اسفراین. چاپ اول، مشهد: مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.
- فروتنی، سام (۱۳۸۶). مصالح و ساختمان. چاپ چهارم، تهران: روزنه.
- فرهنگی، عادل (۱۳۷۴). سیمای ایوان غربی مسجد جامع ساوه. مجموعه مقالات کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران- ارگ بم- کرمان. جلد ۲.
- کریمی، فاطمه (۱۳۷۴). مقدمه‌ای بر شناخت رباط در ایران. مجموعه مقالات کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران- ارگ بم- کرمان. جلد ۳.
- کونل، ارنست (۱۳۸۷). هنر اسلامی. ترجمه هوشنگ طاهری، چاپ اول، تهران: توس.
- کیانی، محمد حسین (۱۳۷۴). پایتخت‌های ایران. چاپ اول، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- لمب، ویلیام و ویتمن، رابرت (۱۳۸۶). مکانیک خاک. ترجمه محمد حسن بازیار، چاپ دوم، تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- معین، محمد (۱۳۶۳). فرهنگ فارسی دکتر محمد معین؛ شش جلدی. تهران: امیرکبیر.
- ملوئن، لوسین و ادگار، ماکس (۱۳۷۶). بین‌النهرین و ایران باستان. ترجمه رضا مستوفی، چاپ سوم، تهران: دانشگاه تهران، مؤسسه انتشارات و چاپ.
- موسوی، محمود (۱۳۷۴). یادمان خشتی کوه خواجه زابل و خلاصه‌ای از نتایج مطالعات و کاوش‌های انجام‌شده در آن. مجموعه مقالات کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران- ارگ بم- کرمان. جلد ۲.
- مهربار، محمد (۱۳۸۳). سیمای تاریخی ارگ بم. مجله اثر، (۳۶ و ۳۷).
- مهندسین مشاور مهتاب (۱۳۵۶). "طرح آب‌رسانی شهرهای استان خراسان و سمنان". (گزارش شناسایی، اسفراین). تهران: وزارت نیرو.
- میراث فرهنگی خراسان شمالی (۱۳۹۴). "گزارش عملکرد پایگاه میراث فرهنگی شهر تاریخی بلقیس اسفراین". بجنورد: اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری خراسان شمالی.

- مینکه، گرنوت (۱۳۸۸). راهنمای ساخت و ساز با خاک کاربرد مصالح خاکی در معماری مدرن. ترجمه شاهین طلوع آشتیانی، چاپ اول، تهران: سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، اداره کل روابط عمومی، امور فرهنگی و اجتماعی، اداره برنامه ریزی نشر.
- نگهبان، عزت‌الله (۱۳۷۲). حفاری هفت تپه دشت خوزستان. تهران: سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری.
- _____ (۱۳۷۴). معبد منقوش زاغه دشت قزوین. مجموعه مقالات کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران - ارگ بم - کرمان. جلد ۲.
- وارن، جان (۱۳۸۷). حفاظت سازه‌های گلین. ترجمه مهرداد وحدتی، چاپ اول، تهران: مؤسسه فرهنگی ایکوموس ایران. وحدتی، علی‌اکبر (۱۳۸۹). پژوهش‌های باستان‌شناختی در شهر بلقیس (اسفراین کهن). چاپ اول، بجنورد (خراسان شمالی): سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان خراسان شمالی، حوزه روابط عمومی، امور فرهنگی و اجتماعی، اداره برنامه ریزی نشر.
- وحدتی، علی‌اکبر و نیک‌گفتار، احمد (۱۳۸۸). "گزارش گمانه‌زنی به منظور مطالعه گاهنگارانه ارگ شهر بلقیس". بجنورد: اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان خراسان شمالی.
- هوکر، کریستوف (۱۳۸۰). تاریخ مختصر معماری: نگاهی نو به سرگذشت معماری. ترجمه فرهاد گشایش، چاپ دوم، تهران: لوتس.

- Aedo, W. C. (2003). "Adobe-Anttii seiismiic constrructtiion handbook". Maison Levrat, Parc Fallavier, BP 53: CRATerre.
- Alessandrini, G.; Boscarino, S.; Bugini, R.; Emmi, D. & Giuffr , L. (1990). The walls of Capo Soprano at Gela (southern Sicily): Materials and their decay. In *La conservazione dei monumenti nel bacino del Mediterraneo: Influenza dell'ambiente costiero e dello spray marino sulla pietra calcarea e sul marmo*. southern Sicily. 235- 241.
- ASTM, I. (2017). *ASTM D422117-, Standard Test Method for Dispersive Characteristics of Clay Soil by Double Hydrometer*. West Conshohocken: International, ASTM.
- Brown, R. B.; Beatriz, S. & Haydee, O. M. (1990). The protection and conservation of the adobe structures at Paquim , Casas Grandes, Chihuahua, Mexico. In *6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture: Adobe 90 Preprints*. Kirsten, G. (Ed.). Mexico. 204- 208.
- Cambridge dictionary (2015). *adobe Meaning, definition in Cambridge English Dictionary*. <http://dictionary.cambridge.org/> (Retrieved 27june. 2015).
- Chiari, G. (1985). Characterization of adobe as building. In *Adobe: International Symposium and Training Workshop on the Conservation of Adobe: Final Report and Major Papers*. Lisbon. 31- 40.
- Cho, M. & Hwang, H. (2011). *MODERN USE TRENDS AND FORECAST OF EARTH MATERIALS IN KOREA*. TerrAsia 2011. TerraKorea+cRAterre.
- Clifton, J. R. (1977). "Preservation of Historic Adobe Structures: A Status Report". Washington, DC: Dept of Commerce, National Bureau of Standards.
- Craterre & Dota, P. (1983). *Construire en terre*. Paris: Editions Alternatives.
- Gallego, R.; Francisco, J.; Valverde, I. E.; Lopez, J. O.; Fernandez, A. d.; Jose Martin, M. B.; . . . & Fajardo, R. M. (1993). The city walls of Granada (Spain). *7th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture*. Spain. 272- 277.
- Garrecht, H.; Hilsdorf, H. K. & Kropp, J. (1990). Hygroscopic salts: Influence on the moisture behaviour of structural elements. In *Durability of Building Materials and Components: Proceedings of the Fifth International Conference Held in Brighton*. Brighton, UK: London: E. and F. N. Spon. 313- 324.

- Guillaud, H. (2011). **Introduction to theme 2**. TerraAsia 2011. TerraKorea+cRAterre.
- Hornby, A. & Wehmeier, S. (1995). **Oxford advanced learner's dictionary**. London: Oxford University Press Oxford.
- Houben, H. & Guillaud, H. (2005). **Earth construction, A comprehensive guide**. London: Intermediate Technology Publications London, UK.
- Jerome, P. (1993). Analysis of Bronze Age mudbricks from Palaikastro, Crete. **7th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architecture**. Silves, Portugal: Lisbon: Direcção Geral dos Edifícios e Monumentos Nacionais. 381- 386.
- Merriam, W. (2004). **Merriam-Webster's collegiate dictionary**. Merriam-Webster.
- Newman, A. (1984). The significance of clays in agriculture and soils. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London—Series A: Mathematical and Physical Sciences*, 311 (1517), 375- 389.
- Odul, P. (1990). Pathologie humide de constructions en. **In 6th International Conference on the Conservation of Earthen Architecture: Adobe90 Preprints**. Grimstad, K. (Ed.). USA: Getty conservation institute. 404- 413.
- Ouhadi, V. R. & Goodarzi, A. R. (2006). Assessment of the stability of a dispersive soil treated by alum. *Engineering Geology*, 85 (12-), 91- 101.
- Pardini, G.; Guidi, G.; Pini, R.; Regüés, D. & Gallart, F. (1996). Structure and porosity of smectitic mudrocks as affected by experimental wetting-drying cycles and freezing-thawing cycles. *Catena*, 27 (34-), 149-165.
- Plenderleith, H. J. (1968). Monuments: problems in the preservation of monuments. **The conservation of cultural property with special reference to tropical conditions**. Paris: Unesco. 124- 134.
- Silva, R. A.; Oliveria, D. V.; Miranda, T.; Cristelo, N.; Escobar, M. C. & Soares, E. (2013). Rammed earth construction with granitic residual soils: The case study of northern Portugal. *Construction and Building Materials*, 47, 181- 191.
- Sinamai, A. (2008). Conservation of archaeological daga (adobe) structures, Domboshaba National Monument, Botswana. **Terra 2008: Proceedings of the 10th International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage**. Bamako, Mali: The Getty Conservation Institute. 207- 213.
- Skempton, A. W. (1984). The Colloidal "Activity" of Clays. **Selected Papers on Soil Mechanics**. London: T. Telford. 60- 69.
- Venkatarama Reddy, B. V. & Latha, M. S. (2012). RETRIEVING CLAY MINERALS FROM COMPRESSED EARTH BLOCKS. **Terra 2012-XII SIACOT. XIth International Conference on the Study and Conservation of Earthen Architectural Heritage**. Lima.
- Viñuales, G. (1981). **"Restauración de arquitectura de tierra"**. Buenos Aires: Instituto argentino de investigaciones de historia de la arquitectura del urbanismo.
- Yang, J. & Hwang, H. (2011). **BASIC EXPERIMENT BY USING MICROORGANISM AND EARTH**. TerraAsia 2011. TerraKorea+cRAterre.
- URL 1: <http://boeingconsult.com/tafe/bcg5005/Sand&Clay> (access date 2018/08/14).
- URL 2: www.ngdir.ir (access date: 1396/04/21).



Received: 2018/03/11

Accepted: 2019/02/27



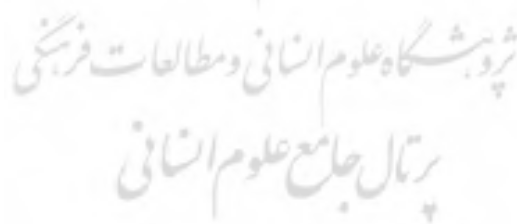
The Role of Chemical Parameters and Soil Texture Quality in the Erosion of Adobe in the Belgias Historical Site

Seyed Reza Hosseini Keshtian* Seyed Mohammad Amin Emami**
Ali Zamanifard***

Abstract

The historical complex of "Belgias" which includes adobe structures, has an area of 180 hectares and is located 3 kilometers of Esfarayan in the province of North Khorasan of Iran. The role of soil quality in the occurrence of damages to clay and adobe structures of Belgis area is the purpose of this research. Choosing the right soil is the first step for preparing adobe, Therefore, it is necessary to examine the role of soil. The collected samples were analyzed by using physical, chemical and mineralogical studies. The fine-grained soil texture full of sand, silt with reduction of clay along with the destructive phases of Muscovite and Calcite in samples, in accordance with soil studies of the region were determined as the chemical parameters of soil in process of damages caused by descending humidity.

6



Keywords: Earten Architecture, Adobe, Crystal Phases, conservation, Belgias of Esfarayen

* PhD candidate, Restoration and Conservation Faculty, Art University of Isfahan,

** Associate professor, Restoration and Conservation Faculty, Isfahan Art University,

*** Assistant Professor, Restoration and Conservation Faculty, Tehran Art University.