Archive of SID

فصلنامه علمی مرمت و معماری ایران
سال نهم، شماره هجدهم، تابستان ۱۳۹۸

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۱۲/۲۰
پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۰۸

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

سید رضا حسینی کشتان* سید محمد امین امامی** علی زمانی‌فرد***

چکیده

محوطه تاریخی بلقیس، شامل ساختارهای خشتی و گلی به‌وسعت ۱۸۰ هکتار در ۳ کیلومتری جنوب شهر کنونی "اِسفراین" 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 گردآوری‌شده، به‌کمک مطالعات فیزیکی، شیمیایی و مینرالوژیک، مورد بررسی قرار گرفتند. بافت خاک ریزدانه مملو از ماسه و سیلت و فقر رس به‌همراه 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، بلقیسِ اسفراین

* دانشجوی دکتری، گروه مرمت بنا و بافت‌های تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان (نویسنده مسئول).
emami@chemie.uni-siegen.de
** دانشیار، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.
emami@chemie.uni-siegen.de
*** استادیار، دانشکده مرمت و حفاظت، دانشگاه هنر تهران.
Zamani.fard@art.ac.ir.

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

خشت

معماری خشتی که زیرمجموعه معماری خاکی محسوب شده، لزوماً استفاده از خاک را به‌شکل خشت تحدید می‌کند؛ در غیر این صورت هر گونه بهره‌گیری از خاک در ساخت‌وساز را نمی‌توان معماری خشتی در نظر گرفت. به‌نظر می‌رسد در فرآیند تولید خشت، قالب‌گیری به‌شکل دستی یا به‌کمک قالب چوبی و فلزی، معرف محصول نهایی است. شکل دادن به گل به‌کمک دست یا قالب به‌صورت بلوک‌های منتظم، جزء لاینفک فرآیند تولید خشت محسوب می‌شود. «خشت در گذشته، از متداول‌ترین مصالح ساختمانی بوده که با دست یا قالب به‌شکل مکعب ساخته می‌شده است» (پورمحمدی و حسینی دهمیری، ۱۳۸۶: ۳۲ و ۳۳). نگهبان نیز به همین موضوع اشاره می‌کند؛ «خشت‌ها ابتدا به‌صورت 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، به‌طور مشخص خشت را تشریح می‌کنند؛ «خشت: آجرهای خاکی آفتاب خشک [بلوک‌های گلی که در آفتاب خشک می‌شوند] که بیشتر به‌عنوان خشت یا همان آجر- خشتی شناخته شده و از یک توده ضخیم گل نرم و افزودن مقداری کاه به آن ساخته می‌شوند. خشت‌های قدیمی، به‌کمک دست در قالب‌های چوبی یا فلزی ساخته می‌شدند، اما امروزه استفاده از ماشین‌آلات گستردگی پیدا کرده است» (2005: 4). هم‌چنین، تعاریفی که در فرهنگ‌های واژگان مختلف از خشت ارائه کرده‌اند، به‌نوعی بازتاب‌دهنده شیوه ساخت و نوع محصول است. این تعاریف، به‌شکل جمع‌بندی از یک مفهوم شناخته‌شده و قابل‌قبول، 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 به‌کار برند. این پاره گل را گاه به‌جای خشت، خشت خام نیز می‌گویند و چون خشت خام را بپزند، آجر می‌شود (ستوده و دیگران، ۱۳۸۵)، آجر خام (معین، ۱۳۶۳)، از مصالح ساختمانی به‌صورت مکعبی از گِل، که در قالب ریخته و خشک کرده‌اند (عمید، ۱۳۸۴). معادل واژه خشت برابر آن‌چه در زبان فارسی ادراک شده، واژه "Adobe " است که به‌کرات 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 به‌کمک این واژه‌ها، از خود "Adobe " برای فهم آن استفاده شده است. آکسفورد، خشت را نوعی خاک رس که معمولاً به‌شکل آجر در آفتاب خشک و به‌عنوان 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 به‌منظور 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). آن‌چه که از مفاهیم و تعاریف برداشت می‌شود این است که خشت و معادل انگلیسی آن "Adobe"، به‌عنوان 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، قابل‌ساخت است و مرز جغرافیایی محدود ندارد. وجه مشترک تعاریف به‌لحاظ فرآیند ساخت، اشاره به خشک شدن محصول نهایی در آفتاب دارد. به‌لحاظ ترکیب مواد مورد استفاده نیز کاربرد خاک و آب در تعاریف، قابل‌فهم است؛ اما در خصوص استفاده از سایر مواد به‌شکل 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، قابل‌درک 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 به‌ویژه 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 این‌که خاک، ماده اصلی تشکیل‌دهنده خشت محسوب می‌شود، مهم‌ترین فاکتور بیرونی، رطوبت بوده که قادر به فرسایش خشت است (Clifton, 1977). به‌لحاظ نواقص طی فرآیند ساخت، می‌توان به عدم انتخاب خاک مناسب، نوع و مقدار ماده افزودنی با قابلیت ارتقای کیفی و رفع نواقص احتمالی

www.SID.ir

Archive of SID

موجود در خاک و فنون غلط ساخت خشت اشاره کرد. هر چند که روش ساخت، از اهمیت قابل‌توجهی 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 بین‌الملل

هر چند «خاک در ذات خود جذابیتی ندارد، اما بر حسب آن‌چه می‌تواند برای جامعه به‌عنوان یک کل انجام دهد جالب 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 مواریث 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- تاریخیِ بین‌المللی و ایران محسوب می‌شوند. "نیپور" بین‌النهرین (بزنوال، 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 ابودُلَف 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 تپه‌علی‌کُش 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)، نوشی‌جان‌تپه 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

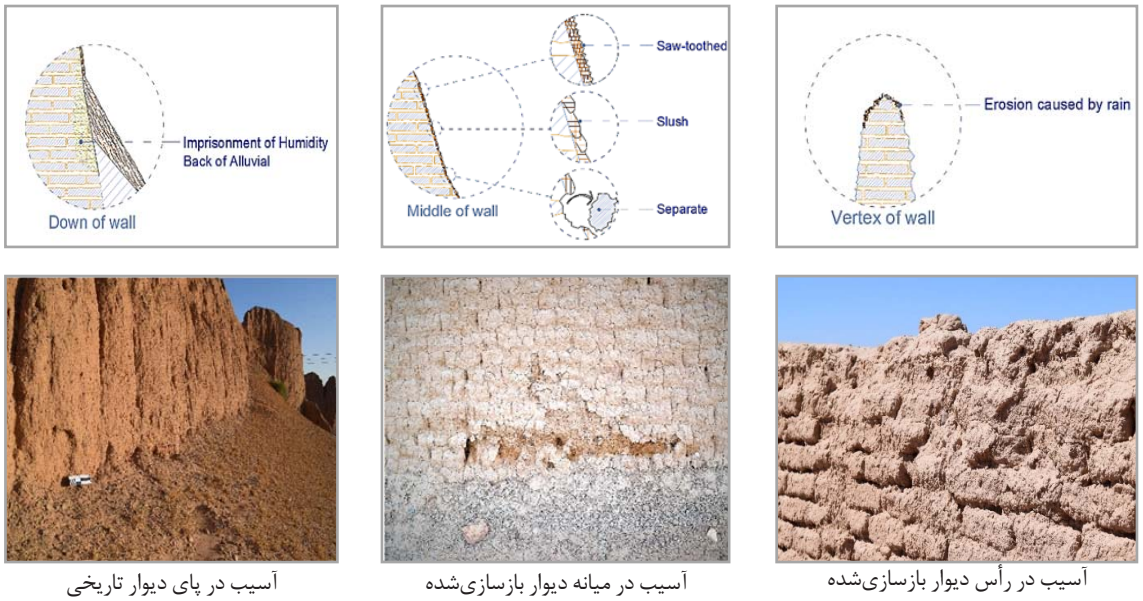
www.SID.ir

Archive of SID

ایده، برنامه‌های کاربردی مختلف در زمینه استفاده از خاک در معماری امروزی هستند» (Yang et al, 2011:152). مطالعاتی که در مرکز تحقیقاتی مستقلی به‌نام 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 به‌نظر 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 این‌که 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 این‌که 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 این‌که 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 رأس دیوار بازسازی‌شده — آسیب در میانه دیوار بازسازی‌شده — آسیب در پای دیوار تاریخی

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

www.SID.ir

Archive of SID

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 (Odul, 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 قابل‌توجهی کاهش می‌یابد (فروتنی، ۱۳۸۶) که مطابق بررسی‌های انجام‌یافته در محوطه تاریخی بلقیس در خصوص نقش کمی و کیفی خاک در بروز آسیب‌های ناشی از رطوبت نزولی، نتایج قابل‌توجهی مطرح شده‌اند. به‌نظر 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، پاسخ‌گوی رفع آسیب‌ها و فرسایش ناشی از رطوبت باشند.

یافته‌های باستان‌شناسی در حوزه معماری محوطه تاریخی بلقیس شهرستان اِسفراین

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 به‌جز ساختار فرسوده نارین قلعه و نشانه‌هایی از خندق پیرامونی، بخش‌هایی از حصار شهر اصلی یا ربض، 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 دست کند مشاهده شده که به‌نظر

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

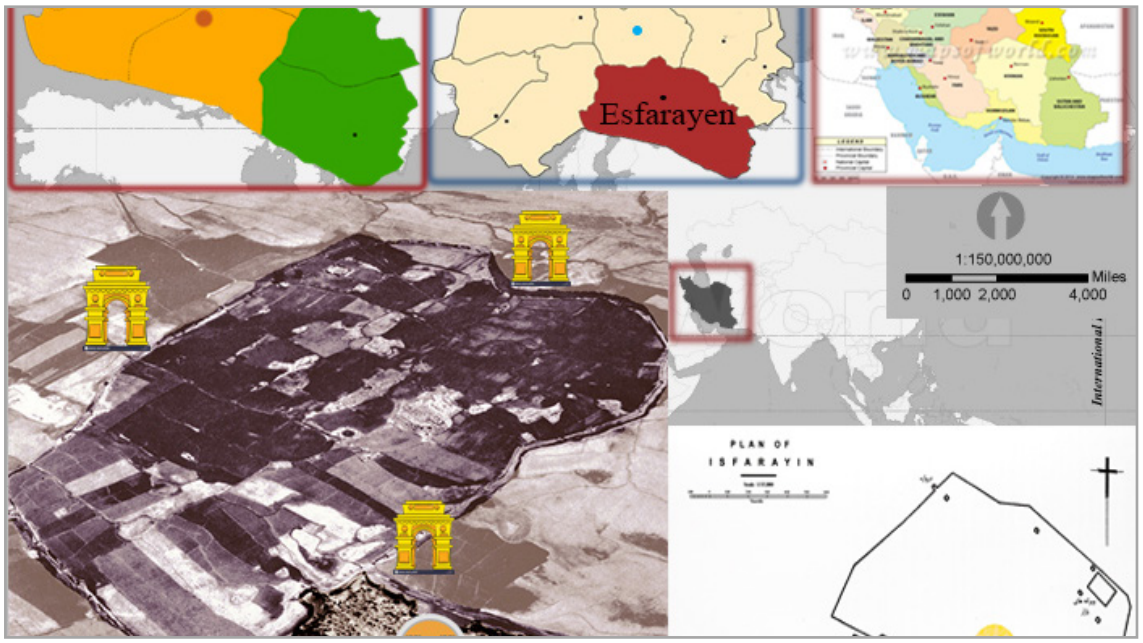
رأس دیوار	رأس دیوار به‌شکل مخروطی تحت تأثیر رطوبت، با فرسایش آب‌شویی مواجه است.
میانه دیوار	سطوح دیوار تحت رفتار مکانیکی و فیزیکی حاصل از برخورد قطرات باران و تگرگ (گاهی توأم با باد)، دچار ناهمواری و خراشیدگی سطحی شده‌اند. بخشی از مواد (خاک و ترکیبات خاک) در اثر آب‌شویی، از بخش‌های بالایی (رأس دیوار) به‌شکل دوغابی به بخش‌های پایینی (نمای دیوار) منتقل شده و روی سطح دیوار رسوب می‌کنند. ظاهر دیوار در بخش‌های آب‌شویی‌شده (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، رَگاب 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)

www.SID.ir

Archive of SID

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 (ربض) و در جانب شرق ارگ، بقایای موسوم به منار تپه توأم با مخروبه‌هایی دیده شده که بیشتر محققان آنها را، بقایای مسجد اسفراین قدیم معرفی کرده‌اند (روشنی زعفرانلو، ۱۳۶۶؛ توحدی، ۱۳۷۴؛ کیانی، ۱۳۷۴). با آن‌که 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 موقتی بر روی ساختار مستحکم پیشین و به‌کارگیری مصالح دوره گذشته است، دوره دوم شامل؛ ساختارهای آجری، گچی و قلوه‌سنگ 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 مراحلی، 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 ترانشه‌های متعدد ایجادشده در حوالی ساختار ارگ، شواهد چند دوره کف‌سازی در محل ترانشه‌ها دیده شده که مربوط به قرون ششم و هفتم هجری قمری هستند. در دوره صفویه، ارگ چند مرتبه مورد تعمیر



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)

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌نوعی 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 به‌کار 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 شارستان، 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 به‌دست 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 به‌دست آمده‌اند. مهم‌تر این‌که 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، قابل‌تأیید است (وحدتی، ۱۳۸۹).

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، تجزیه‌وتحلیل 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 تجزیه‌وتحلیل نمونه‌ها، مطابق جدول ۲ به‌شکل خلاصه ارائه شده‌اند.

مستندنگاری نمونه‌های جمع‌آوری‌شده

با توجه به گستردگی محوطه بلقیس، نمونه‌ها به‌شکل تصادفی، از محدوده نارین قلعه (ارگ) در موقعیت‌های مختلف گردآوری شدند (جدول ۳). لازم به‌ذکر است با توجه به مناسبات اداری و این‌که بررسی‌های باستان‌شناسی محوطه در حال انجام هستند، به‌لحاظ 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، به‌عنوان نمونه تعیین شدند.

تحلیل و بحث نتایج آزمایشگاهی

بررسی بافت خاک[۱۹] و اطلاعات قابل‌استخراج 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

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

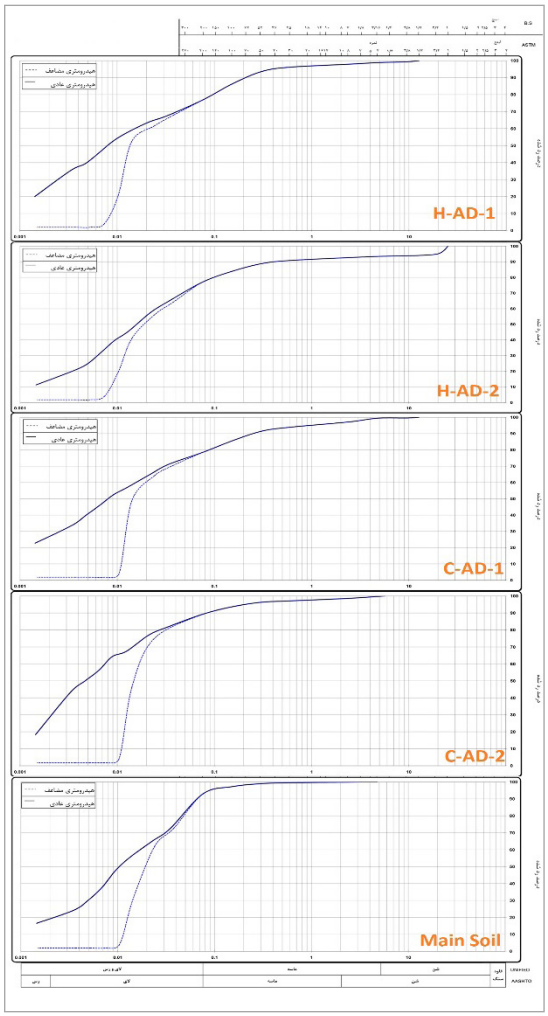
مطالعات فیزیکی	دانه‌بندی بافت خاک	شاخص فعالیت خاک	با هدف شناسایی بافت خاک
		بررسی احتمال واگرایی	
	خواص اندیسی خاک		
مطالعات شیمیایی و مینرالوژیک	بررسی روابط بین فازی مینرالوژی		با هدف شناسایی ناخالصی ترکیب خاک
	XRF (X-Ray Fluorescence)		با هدف شناسایی ترکیب شیمیایی
	XRD (X-Ray Diffraction)		با هدف شناسایی فازهای کریستالین

(نگارندگان)

www.SID.ir

Archive of SID

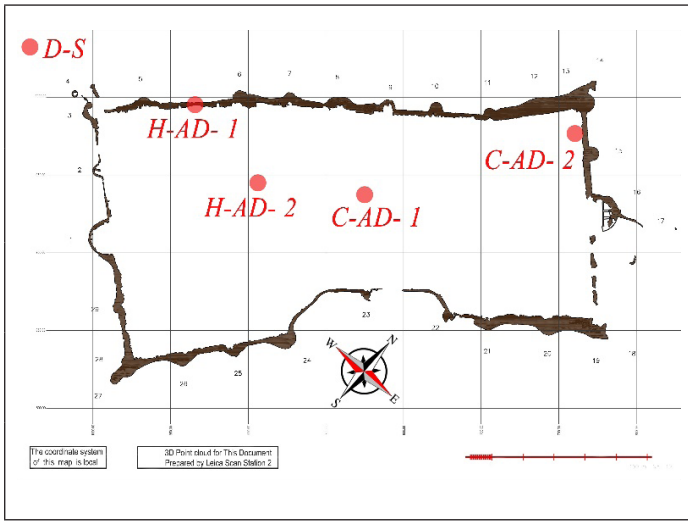
که شاخصی برای تشخیص توانایی تورم‌پذیری خاک‌های رسی است (بودهو، ۱۳۹۳) و تعیین مشخصات خاک بر اساس اندازه ذرات، از جمله این اطلاعات بوده که به‌کمک نمودار طبقه‌بندی خاک، قابل‌شناسایی هستند. مطابق آن‌چه در نمودار طبقه‌بندی خاک به‌شیوه یونیفاید آمده، اندازه ذرات بزرگ‌تر از الک ۲۰۰ (0.075mm)، شامل درشت‌دانه 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 (فروتنی، 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،



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

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)

www.SID.ir

Archive of SID

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 به‌سمت 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 به‌سمت 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. به‌نظر می‌رسد این موضوع، بیشتر در ارتباط با کمیت درصد رس در نمونه مورد نظر باشد تا تغییر نوع کانی و یا تغییر در کیفیت رس بین این نمونه و خاک معدن. بر این اساس، به‌منظور تعیین کانی رسی نمونه‌ها، می‌توان به شاخص فعالیت خاک[۲۱] توجه کرد. شاخص(A) ، برای تشخیص توانایی تورم‌پذیری خاک‌های رسی کاربرد دارد (براجا، ۱۳۹۱). مطابق آزمایش‌های اسکمپتون[۲۲]، این عدد برای کانی‌های رسی، از بیشترین مقدار تا کمترین آن به‌ترتیب 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

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

نمونه	درصد ذرات تشکیل‌دهنده			
	شن	ماسه	سیلت	رس
H-AD-1	٪ ۲	٪ ۲۱	٪ ۳۳	٪ ۴۴
H-AD-2	٪ ۶	٪ ۱۵	٪ ۵۰	٪ ۲۹
C-AD-1	٪ ۰,۵	٪ ۲۰,۵	٪ ۳۴,۵	٪ ۴۴,۵
C-AD-1	۰	٪ ۱۰,۵	٪ ۳۴,۵	٪ ۵۵
Depot Soil	۰	٪ ۸,۵	٪ ۵۷	٪ ۳۴,۵

(خواناسازی: نگارندگان)

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

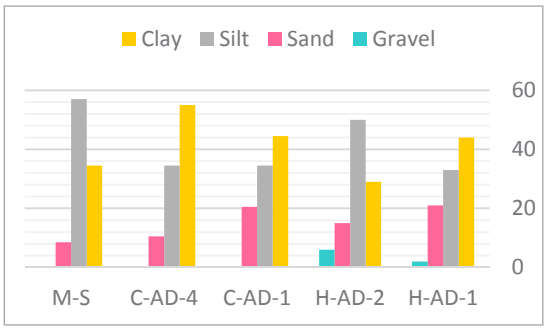
نمونه	شاخص سنجش		میزان فعالیت رس(A)
	PI	درصد رس	
C-AD-2	٪۱۴	٪۵۵	٪۰,۲۵
C-AD-1	٪۸	٪۴۴,۵	٪۰,۱۷
H-AD-1	٪۵	٪۴۴	٪۰,۱۱
H-AD-2	٪۸	٪۳۹	٪۰,۲۰
Depot Soil	٪۱۳	٪۳۴,۵	٪۰,۳۷

(نگارندگان)

www.SID.ir

Archive of SID

شده و به‌صورت 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 رَگاب شود (Ouhadi et al, 2006). وجود املاح در بعضی از خاک‌های ریزدانه رسی، باعث ایجاد پدیدهٔ واگرایی در این خاک‌ها می‌شود. عدم شناسایی دقیق رس‌های واگرا، خسارات و خرابی‌هایی را به‌دنبال دارد؛ زیرا ذرات خاک‌های رسی واگرا تحت شرایط خاصی، متفرق شده و به‌سرعت 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 پین هول، کرامب، هیدرومتری دوگانه و آزمایش‌های شیمیایی می‌شود (زمردیان و وکیلی، ۱۳۹۰). اما قبل از این اقدامات، احتمال واگرایی خاک را می‌توان به‌کمک 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 قابل‌محاسبه 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 به‌عبارتی کلسیت، عمده‌ترین کانی خاک است و از آنجایی که پدیده واگرایی در خاک‌ها به حضور



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

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)

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

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 این‌که 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 هیدورمتری 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).

جدول۶. 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

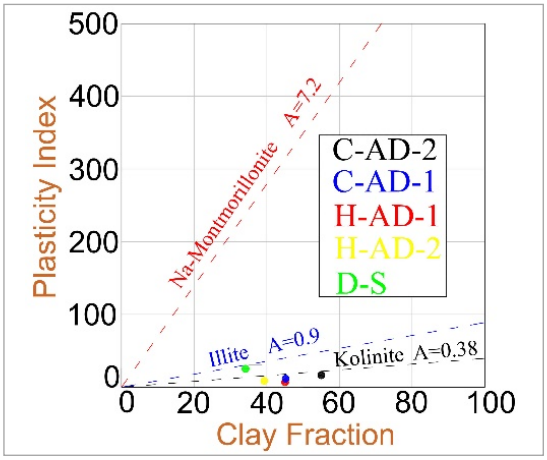
(Skempton, 1984)

www.SID.ir

Archive of SID

مطالعه در زمینه ترکیب عنصری نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس

مطابق نتایج به‌دست آمده از تست XRF[۲۳]، سیلیس، کلسیت و آلومین به‌عنوان سه فاز اصلی مینرالوژی با میزان بالای ۵ ٪ در خاک نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس شناسایی شدند (جدول ۹). در کلیه نمونه‌ها، مقدار سیلیس تقریباً یک‌سوم 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 به‌دست 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 پایین‌دست رشته‌کوه 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 قابل‌توجه آلومین همراه است. به‌نظر می‌رسد کاربرد آهک برای تثبیت خاک‌های ریزدانه با دامنه خمیری کم (Silva et al, 2013)، به‌شکل افزودنی با هدف تثبیت خشت مرمتی صورت گرفته باشد. این کار، بخشی از کانی‌های رسی را به‌شکل 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 به‌جز 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 به‌شکل 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 به‌ویژه کربنات کلسیم و دولومیت است؛ زیرا دولومیت(CaMg(Co3)2) و سنگ آهک، از منابع مهم منیزیم به‌ویژه 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 مهاب، 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



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

جدول ۷. درصد واگرایی خاک نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس

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

(نگارندگان)

www.SID.ir

Archive of SID

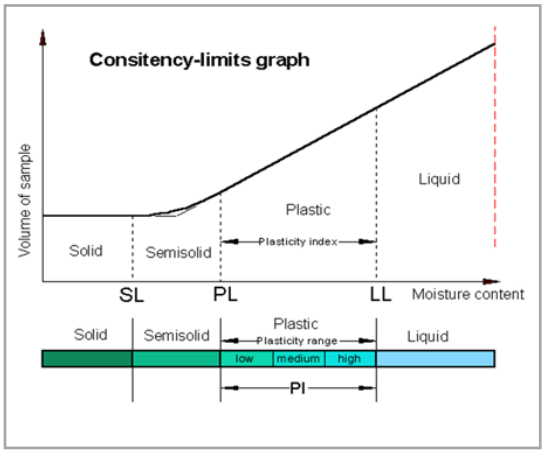
مورد آزمایش، دارای درصد مواد فرار (LOI) متفاوتی بوده؛ این دلیل سبب می‌شود که نتایج اعداد جدول ۹، دقیقاً صد در صد نشوند. در این خصوص، درصد کربنات‌ها و رس نقش اساسی دارند.

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 تبخیری‌ها 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 این‌که 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 به‌سمت 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 -30%) (40% 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 (مهندسین مشاور مهاب، ۱۳۵۶: ۳۲) به‌دلیل ماهیت ساختمانی، نظیر وجود ذرات تخریبی (سیلت بالا و رس کم) و مواد شیمیایی (کربنات کلسیم، ژیپس، 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



شکل ۸. حدود آتربرگ (URL:1)

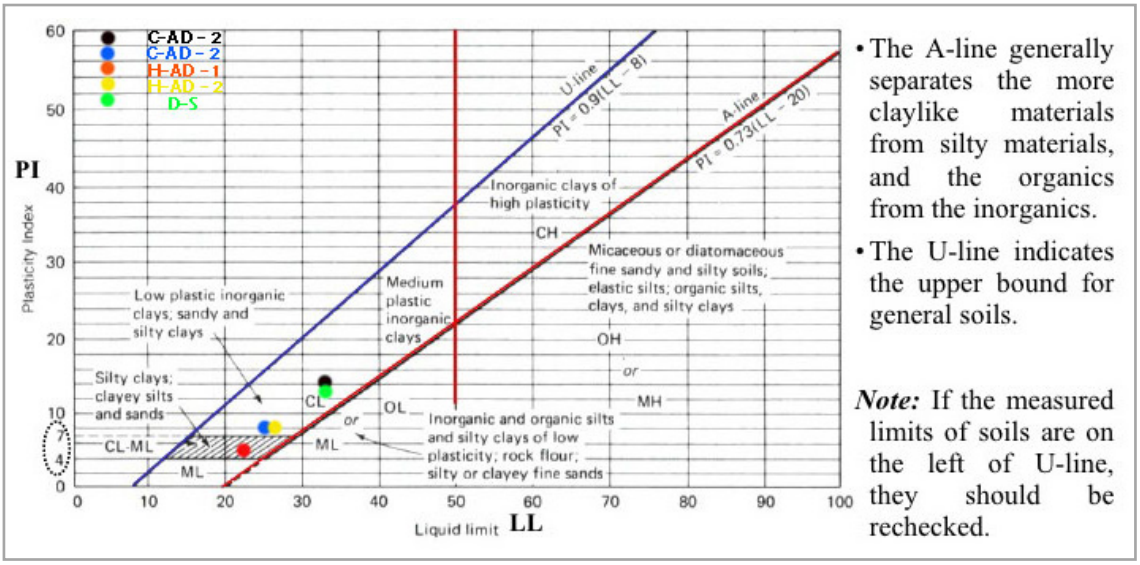
جدول ۸. اندیس خاک نمونه‌های محوطه تاریخی بلقیس

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

(نگارندگان)

www.SID.ir

Archive of SID



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 بلقیس

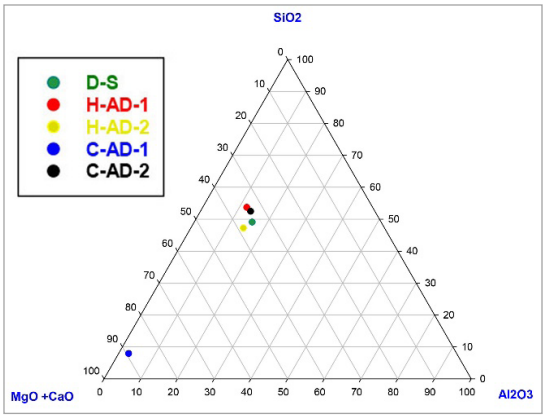
Elements	Depot soil	H-AD-1	H-AD-2	C-AD-1	C-AD-2
SiO_2	35/43	39/31	33/22	6/2	38/26
CaO	22/37	22/62	24/17	69/39	21/85
Al_2O_3	11/4	8/79	10/1	2/15	9/99
Fe_2O_3	3/48	2/97	3/04	1/17	3/53
MgO	3	2/51	2/91	0/62	2/86
K_2O	2/48	2/13	2/64	0/019	2/34
Na_2O	0/593	0/754	1/34	0/122	0/703
TiO_2	0/474	0/408	0/457	0/152	0/444
SO_3	0/176	0/14	0/191	0/018	0/241
P_2O_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_2O	0/006	0/006	0/006	0	0/008

(نگارندگان)

www.SID.ir

Archive of SID

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 قابل‌مشاهده است (جدول ۱۰). کوارتز که بافت غنی از سیلیس را در ترکیب خاک به‌شکل ماسه بر عهده داشته، ماده پرکننده خشت محسوب می‌شود. ماسه، سبب کاهش انقباض و مانع ترک‌خوردگی می‌شود. ترکیب سیلت در منطقه مورد مطالعه، دارای کانی‌های غنی از میکا است. حضور فاز کوارتز در همه نمونه‌ها، با میزان سیلیس آنها قابل‌توجیه 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، 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 این‌که کلسیت موجود در خاک به‌لحاظ 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)، به‌مرور 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، به‌شکل شبکه‌های



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	$KAl_3Si_3O_{10}$	•	•	•	•	•
Biotite	Bio	$K(Mg ,Fe)_3 Al Si_3O_{10}(F,OH)_2$	•	•	-	-	-
Albite	Ab	$Na[AlSi_3O_8]$	-	-	•	•	•
Enstatite	En	$MgFe[Si_2O_6]$	-	-	•		•
Apatite	Apo	$Ca_5(PO_4)_3(F,Cl,OH)$	-	-	•	•	•

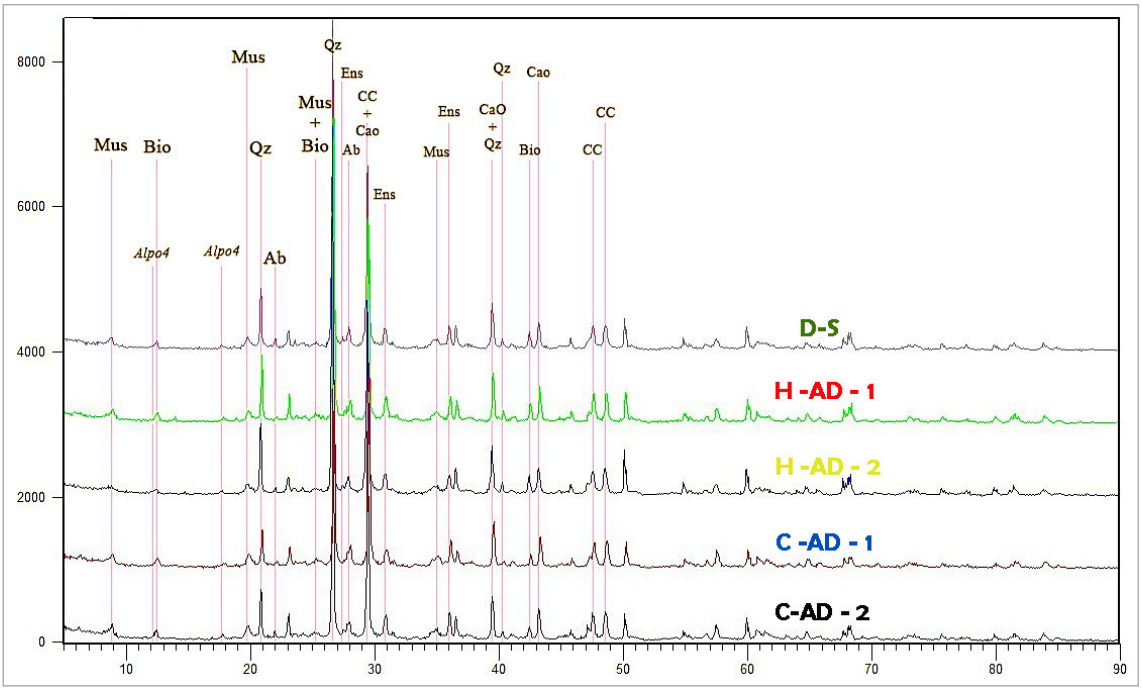
(نگارندگان)

www.SID.ir

Archive of SID

در هم تنیده از ریزترک‌ها پس از فرسایش آب‌شویی در اکثر بخش‌ها دیده می‌شود که بی‌ارتباط با حضور فاز مسکویت و بیوتیت نیست. بیوتیت، میکای منیزیم و آهن‌دار بوده (اشرفی و دیگران، ۱۳۸۸: ۳۹۴-۳۸۱) که با توجه به ساختار ورقه‌ای آن مانند مسکویت، فاز مخرب و با قابلیت انبساط در شرایط مرطوب است. آلبیت، جزء فلدسپار پلاژیوکلاز محسوب شده که عمدتاً در سنگ‌های آذرین و دگرگونی یافت می‌شود که با شرایط خاک‌شناسی منطقه و رسوبی بودن آن مطابقت ندارد و صرفاً در نتیجه انتقال به منطقه حمل شده است.

از جمله فازهای ناهم‌خوان با محیط، می‌توان از ترکیبات سیلیکاته انستاتیت و فسفاته آپاتیت نام برد. انستاتیت از فازهای گروه پیروکسن، جزء فازهای درجه حرارت بالا محسوب می‌شود (امامی و دیگران، ۱۳۹۳: ۱۲) که صرفاً در دو نمونه (خشت تاریخی ۲ و خشت مرمتی ۲) دیده شده است. حضور این فاز، مبین وجود ترکیبات حرارت‌دیده هم‌چون؛ خرده‌سفال و آجر به‌عنوان ماده پرکننده به‌همراه خاک در تولید خشت تاریخی و مرمتی است. این موضوع، مشخصاً به‌واسطه پراکندگی گسترده سفال و آجر در محوطه بلقیس، قابل‌توجیه است. در شکل ۱۱، نتایج پراش پرتو ایکس برای ۵ نمونه از محوطه تاریخی بلقیس به‌همراه راهنمای فازها ارائه شده‌اند. نمونه D-S، از خاک معدن نزدیک محوطه، نمونه‌های H-AD-1 و H-AD-2، مربوط به خشت‌های تاریخی و نمونه‌های C-AD-1 و C-AD-2، از خشت‌های مداخلات مرمتی بوده‌اند که در شکل ۱۱، نمودار مربوط به هر کدام مشخص شده است.



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

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

نمودار خمیری نشان داد که خاک، از گروه ریزدانه است. با توجه به(PI) کم در همه نمونه‌ها (PI<50)، مقدار رس به‌عنوان فاکتور چسباننده ذرات خاک در مقایسه با سایر ذرات هم‌چون سیلت و ماسه، کمتر است. عامل کمی رس، نخستین فاکتور در فرسایش‌پذیری ساختارها در برابر رطوبت محسوب می‌شود. از طرفی، عامل کیفی رس نیز در رفتار خاک مؤثر است؛ زیرا آن‌چه به‌عنوان درصد رس در نمودار دانه‌بندی شناسایی شده، لزوماً به‌لحاظ مینرالوژی، شامل کانی‌های رسی نمی‌شود. نتایج فعالیت رس نشان دادند بخشی از کانی‌های موجود در خاک، شامل کلسیت و کوارتز بوده که مبین فقر کانی‌های رسی در مجموعِ درصد عبوری از الک ۲۰۰ در هر نمونه است. فقر کانی‌های رسی، سبب کاهش (PI) خاک در نمونه‌ها شده است کَه با توجه به ریزدانه بودن خاک، مطابق نمودار خمیری، همه نمونه‌ها در خانواده (CL) مطابق استاندارد (ASTM) قرار گرفتند. هم‌چنین مطابق نتایج (XRF)، بخش قابل‌توجهی از کانی‌های تشکیل‌دهنده خاک نمونه‌ها، سیلیس است که با میزان سیلت، ماسه در نمودار دانه‌بندی و فاز کوارتز در نتایج (XRD) هم‌خوانی دارد. هم‌چنین، وجود فاز کلسیت به‌عنوان دومین کانی با فراوانی بالا در خاک نمونه‌ها، تأییدی بر قلیائیت خاک مورد استفاده در خشت‌ها است. کلسیت به‌عنوان 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 حدِ رطوبت، شسته و از سیستم خارج می‌شود. از سوی دیگر، نتایج (XRD) حضور فاز مسکویت، خاصیت بسط‌دهنده در خاک را نشان می‌دهند؛ لذا ریزترک‌های موجود در بخش‌های شسته‌شده دوغابی مانند سطوح دیوارها، بیشتر ناشی از فاز مسکویت بوده و مطابق نتایج نمودار دانه‌بندی، ارتباطی با واگرایی خاک نمونه‌ها در محوطه بلقیس ندارند. فازهای مخرب ترکیب شیمیایی خاک در نمونه خشت‌های تاریخی و حفاظتی، یکسان هستند. فازهای مخرب کلسیت، موسکویت به‌همراه 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 بلقیس، متأثر از کیفیت خاک مورد استفاده بوده است؛ خاکی از جنس رس‌های غیرآلی با پلاستیسیته کم تا متوسط که به‌لحاظ ترکیب ذرات، جزء رس‌های شنی، ماسه‌دار و سیلت‌دار طبقه‌بندی می‌شود.

پی‌نوشت

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

www.SID.ir

Archive of SID

17. Gela

۱۸. اشاره به گزارش ادوارد پیت درباره مشاهدات او از شهر بلقیس در سال ۱۸۹۶ میلادی.

۱۹. در این تحقیق، از روش یونیفاید (Unified Soil Classification System) (USCS) 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(Co3)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: néogèn] (زمین‌شناسی) دورهٔ دوم از دوران سوم زمین‌شناسی (مهندسین مشاور مهاب،۱۳۵۶: ۳۲).

28. X-Ray Diffraction

منابع و مآخذ

- 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 فرانجسکو (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)، ۲۶-۱۳.
- اولیاء، محمدرضا (۱۳۸۳). مسجد جامع فهرج، اثر کم‌نظیر دوران انتقال. *فرهنگ یزد*، (۱۸و 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). **فن‌آوری 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: رجاء.
- 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.

www.SID.ir

Archive of SID

- توحدی، 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: مطالعهٔ 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). واکاوی 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 واگرای 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.
- مهریار، محمد (۱۳۸۳). سیمای تاریخی ارگ بم. *مجله اثر*، (۳۶ و ۳۷).
- مهندسین مشاور مهاب (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.

www.SID.ir

Archive of SID

- مینکه، گرنوت (۱۳۸۸). **راهنمای ساخت‌وساز 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 برنامه‌ریزی نشر.
- نگهبان، عزت‌الله (۱۳۷۲). **حفاری هفت تپّه 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 برنامه‌ریزی نشر.
- وحدتی، علی‌اکبر و نیک‌گفتار، احمد (۱۳۸۸). **"گزارش گمانه‌زنی به‌منظور 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 consttrructtiion handbook"**. Maison Levrat, Parc Fallavier, BP 53: CRATerre.
- Alessandrini, G.; Boscarino, S.; Bugini, R.; Emmi, D. & Giuffré, 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 Paquimé, 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.

www.SID.ir

Archive of SID

- Guillaud, H. (2011). **Introduction to theme 2**. TerrAsia 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**. TerrAsia 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).

www.SID.ir

Archive of SID

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 Belqis 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.

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.

www.SID.ir