

مقاله پژوهشی

عامل بیولوژیک (همیلیستوس) در فرسایش پذیری کاهگل ساختارهای محوطه تاریخی بلقیس اسفراین

سید رضا حسینی کشتان^{*}

۱- استادیار دانشکده حفاظت و مرمت، گروه مرمت بنا و بافت‌های تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان

چکیده

سیر تاریخی معماری مسجد در یزد را مانند هر منطقه دیگری باید از سده‌های نخست هجری پی گرفت. از این بازه زمانی آثار معماری اندکی در منطقه یزد به جا مانده است و متون تاریخی هم اشارات روشنی در این باره ندارند، از این رو گفتگو درباره این آثار، از جمله مساجد، گام برداشتن در تاریکی محسوب می‌شود. در متون جغرافیای تاریخی سده سوم و چهارم هجری از چهار مکان دارای منبر در یزد نام برده شده است. شناخته شده ترین مساجد سده‌های نخست هجری مسجد جامع فهرج در حوالی شهر یزد است، اما درباره دیگر مساجد از این دست کمتر گفتگو شده یا آگاهی و اسناد چندانی در دسترس نیست. پرسش پژوهش این است که، مساجد نخستین یزد کدامند، چه زمانی بنیاد یافته و از چه الگوی مکانی و معماری برخوردار بوده‌اند؟ روش پژوهش از گونه «تاریخی - تحلیلی» است که با استناد به متون معتبر تاریخ که انگشت شمارند، احضار شواهد موجود و تحلیل آن‌ها پیش خواهد رفت. مقصود این است که به پیدایش گونه‌بندی مسجد در منطقه یزد پرداخته و قواعد حاکم بر معماری این بناها باز شناخته شود. نتیجه این پژوهش نشان داد که در شهرها و قرای معتبری که در یزد وجود داشته، بافاصله دست کم دو سده از ورود مسلمانان، مساجد جامع ساخته شد. شواهد مساجد نخستین در کته (یزد)، فهرج، خویدک، میبد، نائین و ابرکوه وجود دارد. این مساجد از گونه شبستانی طاق پوش و مبتنی بر جرز و دیوار باربرند، نه بناهای ستون‌داری که در دیگر مناطق مانند شوش، سیراف و دامغان شناخته می‌شوند. این بناها که ابعاد بزرگی ندارند، ویژگی‌های مشترک فضایی و فناوری ساخت دارند و همگی با ساخت مایه خشت و گل بنا شده‌اند.

تاریخ دریافت:

۰۷ تیر ۱۴۰۴

تاریخ پذیرش:

۱۳ مهر ۱۴۰۴

کلیدواژه‌ها:

حفاظت

محوطه تاریخی بلقیس

آسیب بیولوژیک

کاهگل

حشرات بیابانی

doi : 10.22034/AHDC.2025.23320.1872

E-ISSN: 2645-372X /© 2023. Published by Yazd University This is an open access article under the CC BY 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



۱- مقدمه

معماری خاکی را می‌توان در یک جمله انواع تجربه ساخت‌وساز با خاک توسط بشر در طول زندگی وی برشمرد (Houben & Guillaud, 2006) که در پهنه‌های جغرافیایی سرزمین‌های مختلف با انواع روش‌ها ساخت وجود دارند (Oliver, 2008). دستاوردهای تجربی بشر در مسیر ساخت معماری با خاک در طول تاریخ، دارای ابعاد فنی بسیاری است که گستره‌ای از دانش مربوط را فراهم آورده است (Medvey & Dobszay, 2020). ایران با تمدنی تاریخی و با توجه به شرایط اقلیمی و سرزمینی، واجد این‌گونه معماری است که بخش مهمی از این ساختارها به‌عنوان میراث ارزشمند تاریخی همچنان باقی مانده‌اند (Torkzaban, 2017). ساخت معماری خشتی و گلی با توجه به فنون اجرایی و مصالح آن، آسان به نظر می‌رسد، اما آسیب‌پذیری گسترده آنها، موضوع محافل علمی مرتبط با این‌گونه معماری است (Rael, 2009). این موضوع به‌ویژه در رابطه با ساختارهای تاریخی و میراثی از اهمیت بیشتری برخوردار است؛ زیرا قواعد و مبانی مرتبط با حفاظت و مرمت این گروه معماری، حساسیت ویژه‌ای را در نظر می‌گیرد. خاک ترکیب غیراستانداردی است و تفاوت کمی و کیفی گسترده‌ای در مناطق مختلف دارد (Kalev & Toor, 2018) و دوام و پایداری این دسته معماری در مناطق مختلف جغرافیایی چالش عمده محسوب می‌شود. در واقعیت، تفاوت خاک و تنوع شرایط محیطی، مسئله پایداری و دوام ساختارهای خشتی و گلی را در برابر آسیب‌های مختلف مطرح می‌کند. این چالش موجب شده راهکارهای افزایش دوام این‌گونه معماری با استراتژی‌های مختلف طرح گردد (Anne & Oliver, 2008). کاهگل به‌عنوان لایه محافظ بیرونی، اقدامی عملی برای کاهش اثرات مختلف عوامل آسیب‌رسان به ساختارهای تاریخی محسوب می‌شود. کاهگل به دلیل تعویض‌پذیری ارزان و اجرای سریع، نسبت به تعمیرات گسترده ساختار خشتی و گلی، راهکاری پاسخگو در این باره است؛ اما آسیب‌پذیری سریع آن ضمن منافات داشتن با اصول حفاظت، ساختار تاریخی را به شکل جدی تهدید می‌کند. ساختارهای خشتی و گلی محوطه تاریخی بلقیس اسفراین طی اقدامات مرمتی با آسیب‌پذیری سریع جداره کاهگل مواجه شده است که مسئله این پژوهش است. هرچند مطالعات پیشین گویای ضعف کیفی خاک منطقه است (Hoseini Keshtan et al., 2019) اما مشاهدات اخیر گویای واقعیت موازی دیگری با این موضوع است. فرض بر این است که رفتار زیستی گونه خاصی از خرماکی و ایجاد تونل‌های فراوان در جداره کاهگل، اضمحلال سریع‌تر لایه حفاظتی کاهگل را در ساختارهای خشتی و گلی محوطه تاریخی بلقیس فراهم می‌آورد. هدف این تحقیق بررسی این رفتار زیستی از طریق مطالعه ساختارهای تونل‌های حفرشده توسط این حشره در جداره کاهگل است. این پژوهش با مطالعه کتابخانه‌ای و تمرکز بر مطالعات میدانی، به تحلیل و توصیف فرآیند آسیب‌رسانی این حشره می‌پردازد. بر این اساس مطالعات میدانی متمرکز بر شناخت ساختار تونل‌سازی حشره از طریق اسکن لیزر دستی و تهیه نقشه به کمک نرم‌افزار است. در مرحله بعدی، بررسی نقش مستقیم این تونل‌ها در بروز آسیب‌های وارده به کاهگل مطرح می‌گردد. درنهایت به کمک مطالعات کتابخانه‌ای، تحلیل در زمینه مستعدسازی ساختار کاهگل در بروز آسیب تحت عامل رطوبت اندک منطقه بلقیس انجام شده است.

پرسش‌های پژوهش

- نقش مستقیم آسیب‌رسانی حفر تونل توسط خرماکی در ساختار کاهگل ساختارهای تاریخی بلقیس چیست؟
- نقش این تونل‌ها در بروز آسیب ناشی از رطوبت اندک محوطه بلقیس به کاهگل چیست؟

۲- پیشینه پژوهش

کاهگل لایه محافظتی ساختارهای گلین و خشتی در برابر عوامل فرساینده است. آسیب‌دیدگی کوتاه‌مدت تحت شرایط محیطی و یا سایر علل آسیب‌رسان، چالش جدی لایه محافظ ساختارهای خشتی و گلی است. نازیبایی منظر ساختار آسیب‌دیده، سرایت علل آسیب‌رسان به ساختار دیوار خشتی و چینه و درنهایت ایجاد فرصت برای اثرگذاری سایر تهدیدات محیطی از آن جمله باشند. با توجه به استقرار محوطه تاریخی بلقیس در منطقه گرم و خشک (Seyedan, 1997) با

بارندگی سالیانه کمتر از ۳۰۰ میلی‌متر (Department, 2016)، فرسایش‌پذیری زیاد کاهگل ساختارها قابل توجه است. هرچند مطالعات اخیر گویای این واقعیت است که ویژگی‌های مینرالی خاک سهم مهمی در فرسایش‌پذیری خشت، چینه و کاهگل در محوطه تاریخی بلقیس داشته است (Hoseini Keshtan et al., 2019)؛ اما نمی‌توان علل بیولوژیک را نادیده گرفت. عوامل بیولوژیک برای ساختارهای خشتی تاریخی تهدیدی جدی محسوب می‌شوند. با توجه به منطقه و وجود علل بیولوژیک، انواع حشرات و جانوران می‌توانند به واسطه رفتار زیستی، اثرات جبران‌ناپذیری را در این ساختارها باعث شوند. از آنجایی که ساختارهای تاریخی فلات ایران عمدتاً متشکل از فراورده‌های خاکی (خشت، چینه و کاهگل) است، هرگونه جانوری که بتواند ساختار این فراورده‌ها را تضعیف نماید، عامل آسیب شناسایی می‌شود. لانه‌سازی‌های محدود جانورانی مانند خرگوش‌ها یا موش‌ها تا کلونی‌های گسترده حشراتی مانند موربانه در این دسته جا می‌گیرند. عوامل بیولوژیک با رفتاری بطئی و در پیوند با سایر فاکتورهای طبیعی موجب ایجاد فرسایش‌های نسبی در ساختارهای معماری تاریخی می‌شوند. جوندگان بیابانی نقش مهمی در بروز آسیب بر ساختارهای تاریخی دارند (Abdallah, 2023). حفاری زمین توسط این جانوران می‌تواند سبب جابجایی لایه‌های فرهنگی، خروج مصالح از بستر اصلی و ایجاد مسیرهایی برای نفوذ عوامل فرساینده شود (Bocek, 1986). در این میان، حشرات حفار به‌ویژه گونه‌هایی که در مناطق خشک و نیمه‌خشک فعالیت می‌کنند، می‌توانند به‌صورت تدریجی اما مؤثر، پایداری ساختارهای تاریخی را تحت تأثیر قرار دهند. بررسی‌ها نشان داده‌اند که فعالیت گونه‌های حشرات حفار نظیر، مورچه‌ها و موربانه‌ها می‌تواند منجر به تضعیف بسترهای خاکی، نفوذ رطوبت و گسست‌های ساختاری در بناهای خشتی گردد (De Bruyn & Conacher, 1990). مطالعات فلات مرکزی ایران در این زمینه به دلیل فوق‌الذکر متمرکز بر آسیب ناشی از موربانه است و تحقیقاتی با تمرکز بر مقابله از طریق طعمه‌گذاری با این آفت به‌ویژه در ناحیه یزد (Pormohammadi, 2014) و هفت‌تپه (Sarvar & Nematian, 2017) انجام گرفته است؛ بنابراین بناهای تاریخی بسیار مستعد آسیب حشرات هستند. اثرات تجمعی این آسیب درنهایت می‌تواند سبب تخریب شود، بنابراین نظارت مداوم بر مجموعه‌ها برای یافتن شواهدی از فعالیت حشرات بسیار مهم است (Abdallah, 2023). شپشک چوبخوار یا همان خرخاکی جزء سخت‌پوستان خشکی‌زی از راسته ایزوپودا^۲ هستند (Irwin & Jones, 1984) که هشت گونه از این حشره در نقاط مختلف ایران ثبت شده است. گونه هیمیلیپیستوس افغانیسوس (تصویر ۱) در شمال شرق ایران و خراسان شمالی در نواحی دشت بسیار مشاهده می‌شود (Kashani et al., 2010). هرچند رویکرد این پژوهش ارائه راهکارهای عملی برای مبارزه با این نوع حشره در ساختار تاریخی نیست و به همین لحاظ تجویزی که از مسیر تدقیق اطلاعات و بررسی‌های علمی حاصل نشده باشد را نمی‌تواند به‌عنوان راهکار متناسب با بستر حفاظت در پاسخگویی برای دفع عامل آسیب ارائه نماید. با این حال موارد متعارف احتمالی در کاربرد روش‌ها و مواد برای مقابله با این عامل بایونیک را مطرح می‌نماید. استراتژی‌های مبارزه با آسیب‌های بیولوژیک در ساختارهای تاریخی صرف نابودی حشره یا کنترل جمعیت عامل بایونیک نیست، زیرا ساختار معماری تاریخی به‌عنوان ثروت فرهنگی از یک‌سو با مبانی نظری حفاظت و مرمت مواجه است که چهارچوب‌های نظری مداخلات عملی را سمت‌وسو می‌دهد و از طرفی نگرانی‌هایی در خصوص واکنش ساختار تاریخی در قبال نوع مداخله وجود دارد که می‌تواند خطرآفرین باشد. درواقع اقدامات نستجیده در حذف عامل آسیب می‌تواند تبعات جبران‌ناپذیری همراه داشته باشد. عمده پیشنهادها مطرح برای مبارزه با دفع حشرات در بناهای تاریخی را می‌توان در دودسته کلی فیزیکی و شیمیایی بازشناخت. ایزوپود هیمیلیپیستوس افغانیسوس گونه وفق‌پذیری است که با توجه به شرایط گرم و بیابانی توانسته دوام بیاورد (Ernst et al., 2020) و هر ساله با تولیدمثل در حدود ۵۰ الی ۱۰۰ لارو متولد می‌شوند (Linsenmair, 1975) که می‌توانند بین ۱ تا ۱۰ سال زنده بماند (Tuf & Ďurajková, 2022). درواقع میزان پایین مرگومیر این حشره در شرایط معمول به‌واسطه تغییرات رفتاری زیستی در برابر شکارگرها و یا شرایط سخت محیطی (Hoffmann, 1983)، حذف دائمی این حشره را در ساختارهای تاریخی با چالش مواجه می‌کند. هرچند این حشره به لحاظ متابولیکی برای کیفیت و دوام خاک کشاورزی مفید است اما مطالعات نشان می‌دهد قرار گرفتن در معرض دوزهای پایین حشره‌کش (OP)^۳ یا قارچ‌کش (T)^۴ که سموم علف‌کش مزارع هستند، تغذیه و فعالیت‌های متابولیکی ایزوپود را تغییر داده (Mohamed et al., 1992) و آمار مرگومیر را افزایش داده است. از منظر

کلان حفاظتی، سموم شیمیایی ضمن نگرانی‌های زیست‌محیطی، ممکن است در کوتاه‌مدت یا بلندمدت موجب آسیب‌های ناشناخته در ساختارهای تاریخی شوند. رویکرد غیرعلمی در مسیر شناخت و آسیب‌شناسی به شکل عام و به‌ویژه بایونیک، می‌تواند ساختار تاریخی را از مقیاس کانی‌شناسی تا کل سازه در معرض تحولات و تغییرات بطئی قرار دهد و در یک ترکیب پیچیده با شرایط متغیر محیطی، ایجاد آسیب‌های غیرمترقبه‌ای نماید. با دقت در فحواي واژه حفاظت به‌عنوان امری کلان و فراگیر در مرمت بناهای تاریخی، تهدید بودن برخی روش‌های مداخله شیمیایی به دلیل نبود شناخت کافی نسبت به اثرات بلندمدت آنها (به‌ویژه روش‌های آلی) دور از ذهن نیست. شرایط مداخله در ساختارهای معماری تاریخی خشتی، به‌شدت تحت تأثیر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی خاک به‌عنوان دست‌مایه این ساختارها است. مطالعات پیشین در محوطه بلقیس حاکی از اهمیت شناخت این ویژگی‌هاست (Hoseini Keshtan et al., 2019). تغییرات جزئی در کمیت و کیفیت ترکیب خاک به‌ویژه رس، تغییر و تحولات پدانه‌ای در کیفیت و دوام خشت را سبب می‌شود. به نظر می‌رسد کاربرد مواد معدنی که سنخیت متعارفی با مواد و مصالح این‌گونه ساختارها دارند، کمتر موجب آسیب‌های نگران‌کننده شوند (Minke, 2013). یکی از روش‌های فیزیکی در کنترل جمعیت ایزوپودها استفاده از خاک دیاتومه^۵ با توجه به ساختار کالبدی ایزوپود است. خاک دیاتومه (DE)، که از دیاتوم‌های فسیل‌شده - جلبک‌های میکروسکوپی - مشتق شده است (Saw et al., 2013)، به‌عنوان یک حشره‌کش طبیعی در مدیریت آفات موردتوجه قرار گرفته است (Romei & Schilman, 2024). (DE) از دی‌اکسید سیلیکون (SiO_2) تشکیل شده است. عمل حشره‌کشی آن تا حد زیادی فیزیکی است و با جذب لیپیدهای اپی کوتیکولی از حشرات، باعث خشک شدن و کم‌آبی بدن و درنهایت مرگ حشره می‌شود (Collins & Cook, 2006). این روش فیزیکی و استفاده از ترکیب معدنی با توجه به شرایط شیمیایی خاک محوطه بلقیس (Hoseini Keshtan, 2021)، استراتژی کم‌خطرتری به نظر می‌رسد. به‌هرحال این حشره با لانه‌گزینی و تشکیل کلونی‌های پرجمعیت درون زمین، با توانایی حفر تونل‌های عمیق و چند شاخه، می‌تواند با تضعیف ساختار خاک به فرآیند تخریب ساختارهای معماری تاریخی آسیب وارد نماید. تا امروز مطالعه مستقلى درباره تأثیر مستقیم این حشره به‌ویژه گونه *Hemilepistus aphganicus* بر بناهای تاریخی انجام‌نشده است. با توجه به رفتار این حشره در حفر تونل‌های متعدد برای لانه‌گزینی و اهمیت شناسایی این تهدید زیستی بر ساختارهای تاریخی و همچنین با توجه به فراوانی این‌گونه در نواحی شرقی ایران، به‌ویژه در سایت‌های تاریخی مانند محوطه تاریخی بلقیس اسفراین، بررسی تأثیرات زیست‌محیطی آن بر بقایای معماری سنتی و سازه‌های خشتی، امری ضروری به نظر می‌رسد.



تصویر ۱: شماتیک و تصاویر لانه‌سازی گونه همیلیپیستوس افغانیسوس در محوطه بلقیس اسفراین (مأخذ: نگارنده)

۳- روش و ابزار

بررسی‌های میدانی ساختارهای تاریخی بلقیس و مشاهده مستقیم مهم‌ترین روش در این تحقیق است. عکس‌های شناسایی به کمک دوربین (Nikon D5300) تهیه شد. برای نقشه‌برداری از تونل‌های حفرشده، با توجه به محدودیت ابزار برای هدایت به داخل تونل‌ها، سعی شد عکس‌هایی از قسمت‌های تخریب‌شده کانال‌ها به کمک لیزر اسکن دستی مدل (Leica BLK2GO) تهیه شود. این تصاویر پس از بازبینی و انتخاب، توسط نرم‌افزار (ERDAS IMAGIN2022) به

عکس سه‌بعدی متریک با قابلیت اندازه‌گیری تبدیل شد. سپس با استخراج پلان از تصاویر متریک توسط نرم‌افزار، پلان خام در نرم‌افزار (Rhino3D) به کمک افزونه (Grasshopper) به صورت مدل‌سازی سه‌بعدی تهیه شد. این اقدام در جهت شناسایی وضعیت حفره‌ها، گسترش شاخه‌ای آنها در جداره کاهگل و همچنین تعیین مساحت دقیق تونل‌ها انجام گرفته است. مطالعات کتابخانه در تحلیل شرایط آسیب در نتیجه بررسی‌های حاصل از مشاهدات میدانی در این تحقیق بکار گرفته شده است.

۴- یافته‌های پژوهش

۴-۱- انتقال خاک

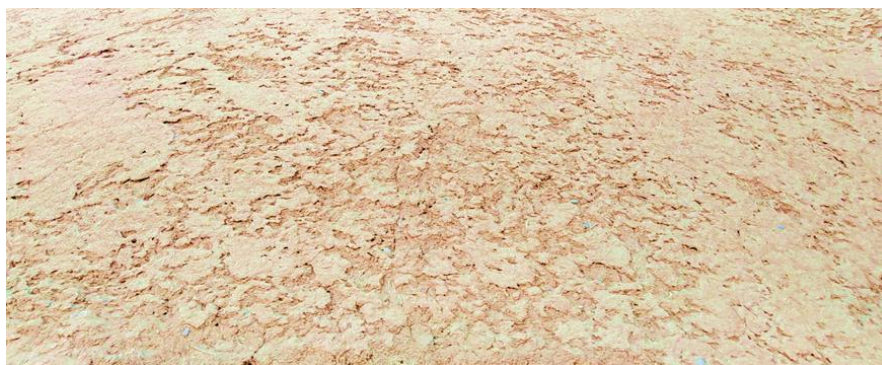
رژیم غذایی خرماکی بخش معدنی کاهگل نیست بلکه فضولات و کاه موجود در کاهگل است. برای یافتن منابع غذایی نیازمند ایجاد مسیرهای تونل مانند است. رفتار زیستی خرماکی و لانه‌سازی، سبب می‌شود بخشی از خاک منتقل شود. وقتی حفاری در سطح زمین انجام می‌گیرد، این نقل و انتقال مشخص است. جابجایی خاک با وزش باد و سایر علل طبیعی در بدنه ساختار تاریخی دیده نمی‌شود ولی جابجایی خاک طی فرایند لانه‌سازی حشره در وسعت زیادی انجام می‌شود و این به معنای ضعف ساختار کاهگل از بعد معدنی است که سبب می‌شود ساختار کاهگل آسیب فیزیکی ببیند (تصویر ۲).



تصویر ۲: (الف) انتقال خاک در محل ورودی لانه حشره روی زمین (ب) ورودی‌های متعدد در بدنه تاریخی بدون تجمع خاک (مأخذ: نگارنده)

۴-۲- کاهش انسجام کاهگل

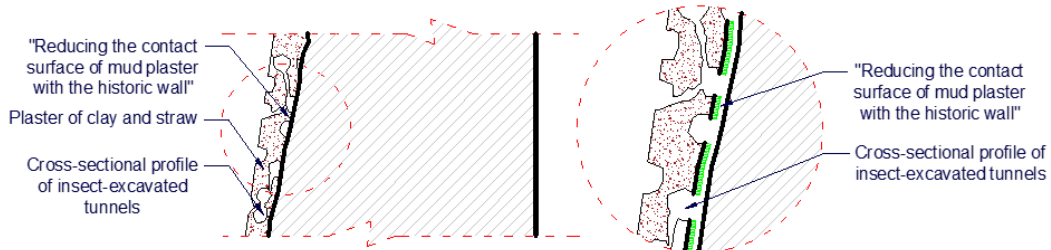
ورودی‌های متعدد نقب‌های حفر شده در حدفصل ساختار چینه یا خشت و لایه کاهگل که توسط خرماکی استفاده می‌شود، حالت تخلخل گونه‌ای در لایه کاهگل ایجاد می‌کند. باگذشت زمان و تخریب ورودی‌ها به واسطه استفاده جانور و نیز تغییر مکان حشره برای یافتن مواد غذایی، عمده ورودی‌ها متروک شده و خرماکی در موقعیتی جدید به این رفتار زیستی ادامه می‌دهد. در این شرایط ساختار منسجم کاهگل شکننده و فرسایش شدیدی در سطح بیرونی دیده می‌شود (تصویر ۳).



تصویر ۳: کاهش انسجام کاهگل در نتیجه رفتار زیستی حشره در حفاری متعدد برای لانه‌سازی (مأخذ: نگارنده)

۳-۴- کاهش سطح تماس کاهگل با بدنه خشتی و چینه

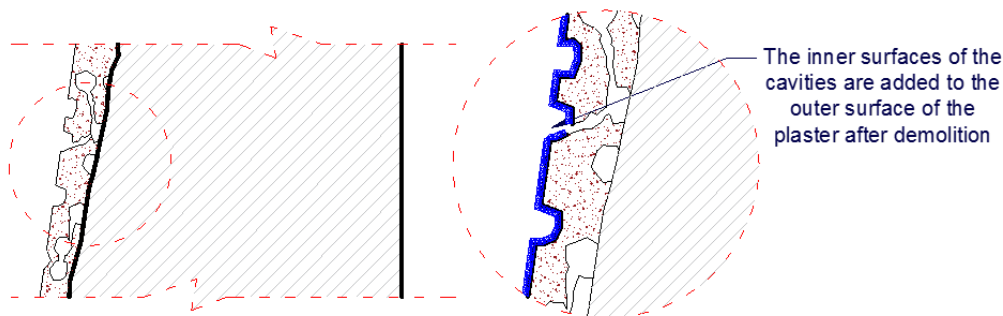
تونل‌هایی که در عمق جداره کاهگل و نزدیک به دیوار تاریخی حفر می‌شوند درواقع میزان سطح تماس کاهگل با بدنه تاریخی را کاهش می‌دهند. تعدد و گستردگی این کانال‌ها سبب می‌شود وسعت سطح چسبندگی کاهگل به دیوار کاهش پیدا کند و کاهگل بجای چسبندگی یکپارچه با سطح ساختار تاریخی، صرفاً در مقاطع محدود با بدنه دیوار اتصال داشته باشد (تصویر ۴).



تصویر ۴: کاهش سطح تماس کاهگل در نتیجه ایجاد تونل در فصل مشترک اتصال دیوار تاریخی و کاهگل (مأخذ: نگارنده)

۴-۴- افزایش سطح جذب رطوبت در بدنه بیرونی کاهگل

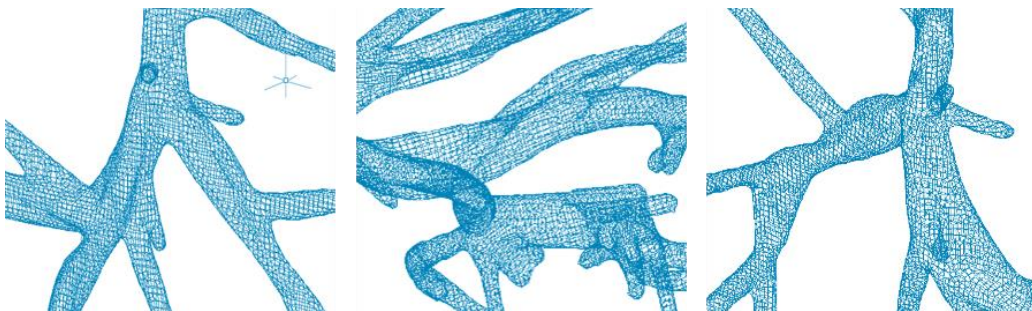
تونل‌های حفرشده هرچند فضای خالی محسوب می‌شوند، اما بدنه داخلی دارای مساحت مشخصی هستند. در نتیجه تخریب تونل‌های نزدیک به سطح بیرونی کاهگل و پیدایش سطوح آنها، سطح تماس بیرونی کاهگل با سایر عوامل محیطی از جمله رطوبت افزایش می‌یابد (تصویر ۵).



تصویر ۵: افزایش سطح جذب رطوبت توسط کاهگل در سطح بیرونی (مأخذ: نگارنده)

۵-۴- افزایش فرسایش‌پذیری کاهگل در برابر رطوبت در نتیجه تخلخل ناشی از حفاری حشره

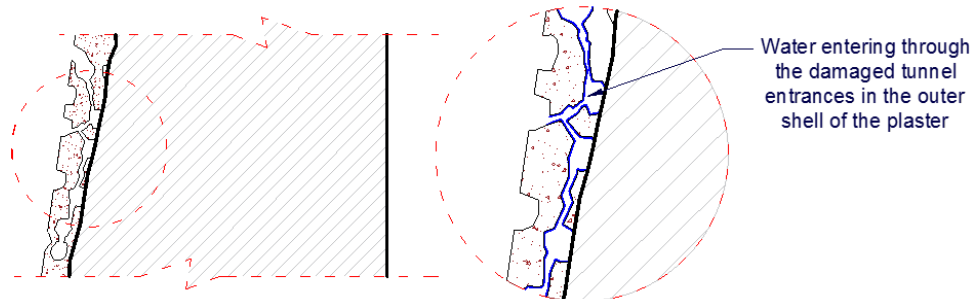
حفاری گسترده و نقب‌های مرتبط باهم در جریان لانه‌سازی، منافذ و کریدورهای زیادی در کاهگل ایجاد می‌کند. این موضوع باعث افزایش سطح، ایجاد تخلخل و توسعه مسیرهای آسیب‌رسان در ساختار کاهگل می‌شود (تصویر ۶).



تصویر ۶: نقب‌های مرتبط لانه‌سازی حشره. اسکن لیزر و مدل‌سازی نرم‌افزاری (مأخذ: نگارنده)

۴-۶- ماندگاری بیشتر رطوبت در کاهگل

برخی نقب‌های حفر شده در جداره کاهگل، به دلیل عدم فرسایش سطحی بدنه بیرونی، به شکل تونل‌های کامل باقی می‌مانند که فضای سایه‌دار محسوب می‌شوند. چنین موقعیت‌هایی سبب ماندگاری رطوبت در جداره کاهگل می‌شود (تصویر ۷).



تصویر ۷: نفوذ و ماندگاری رطوبت در تونل‌های داخلی جداره کاهگل (مأخذ: نگارنده)

۴-۷- کاهش ضخامت کاهگل

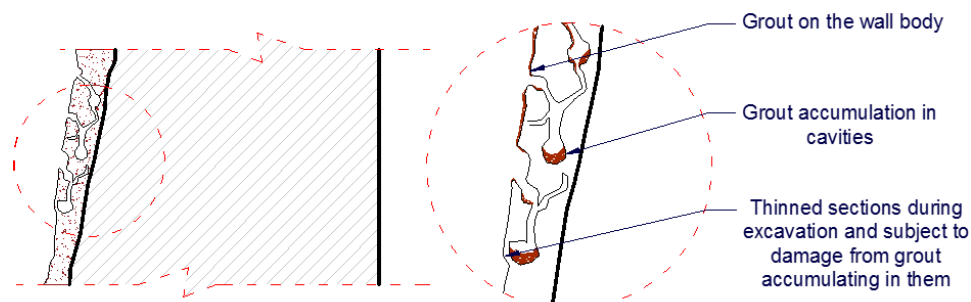
رفتار زیستی حشره در تداوم حفاری و تکرار تخریب آنها به‌مرور زمان و طی استفاده در موقعیت‌های مختلف ساختار کاهگل سبب می‌شود ضخامت کاهگل به‌صورت نامتوازن در بخش‌های نسبتاً سالم و آسیب‌دیده تغییر کند. (تصویر ۸).



تصویر ۸: فرسایش و تخریب نسبی در بخش‌های مختلف لایه کاهگل (مأخذ: نگارنده)

۴-۸- تجمع محتوای آبشویی در تونل‌های تخریب‌شده

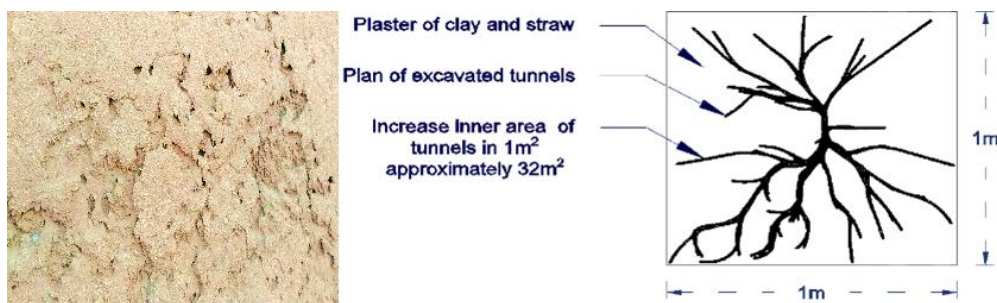
طی بارندگی، فرسایش بخش معدنی کاهگل، به شکل دوغاب به تونل‌ها انتقال می‌یابند. افزایش حجم این مواد و ایجاد فشار ناشی از وزن آنها بر لبه‌های سست مجاری، سبب جدایش و گسترش تخریب در بدنه بیرونی کاهگل می‌شوند (تصویر ۹).



تصویر ۹: تجمع دوغاب در حفره‌ها و ماندگاری رطوبت در جداره کاهگل و تخریب آهسته از سمت داخل (مأخذ: نگارنده)

۴-۹- افزایش سطح در جداره کاهگل

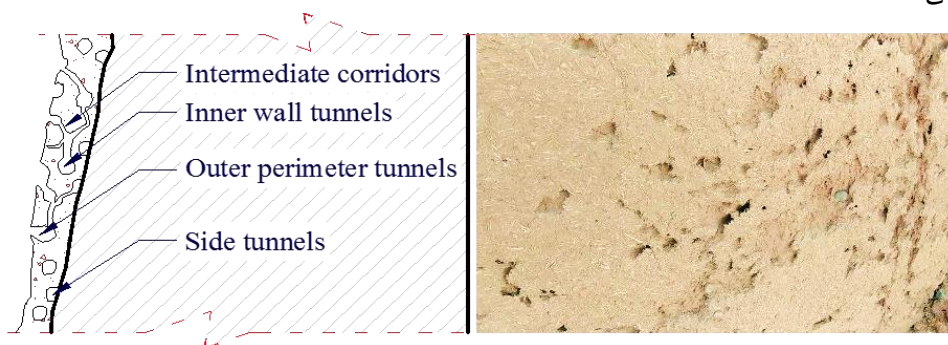
مطابق نقشه‌ای که از یک مترمربع دیواره ساختار تاریخی تهیه شده - که تحت حفاری توسط حشره قرار گرفته است - به شکل غیرقابل تصویری مساحت داخلی تونل‌های حفاری شده، رقم ۳۲ مترمربع را نشان می‌دهد! این بدین معناست که حفاری در جداره داخلی کاهگل و توسعه تونل‌ها، سبب افزایش سطح در جداره داخلی کاهگل می‌شود. در این شرایط، اثرگذاری علل و عوامل متعدد در توسعه آسیب به حد چشمگیری افزایش خواهد یافت (تصویر ۱۰).



تصویر ۱۰: تجمع دوغاب در حفره‌ها و ماندگاری رطوبت در جداره کاهگل و تخریب آهسته از سمت داخل (مأخذ: نگارنده)

۵- بحث و تحلیل یافته‌ها

عوامل بیولوژیکی سبب فرسایش‌های نسبی و گسترده در ساختارهای معماری تاریخی می‌شوند. شرایط کالبدی و مصالح سازنده، نقش مهمی در اثرگذاری این‌گونه علل آسیب‌رسان دارند. شرایط کالبدی و مصالح در معماری خاکی یعنی مهیا بودن شرایط زیستی در خاک و مصالح برای عامل بایونیک. بخش معدنی خاک شاید منبع تغذیه عامل آسیب‌رسان بایونیک نباشد اما ترکیبات آلی استعداد پرورش و گسترش آن را فراهم می‌کند. کاهگل با وجود ترکیبات آلی گیاهی شرایط مناسبی برای بروز این دسته عوامل است. محوطه بلقیس با توجه به موقعیت استقرار و عدم تملک زمین‌های کشاورزی پیرامون، معبر گذر گله‌های احشام است و فضولات آنها در خاک، شرایط زیستی مناسبی برای گونه‌ای از خرچاکی بانام علمی (همیلیپستوس آفگانیسوس) را فراهم کرده است. فعالیت زیستی حشره و حفر تونل در لایه کاهگل و تغذیه از کاه و پسماند فضولات همراه خاک سبب انتقال خاک یا از دست دادن بخش معدنی ملات کاهگل می‌شود؛ در این شرایط بخش آلی فاقد رفتار چسبندگی است و فرسایش تحت عللی همچون باد و آب تسریع می‌شود. مطابق بررسی‌های میدانی، دسته‌ای از تونل‌های حفر شده با توجه به شرایط حفاری به سمت بیرون هدایت می‌شوند و در نتیجه فرسایش ناشی از استفاده مکرر حشره، تخریب و با محیط بیرون ارتباط پیدا می‌کنند. گروهی دیگر در جداره داخلی کاهگل قرار دارند و با محیط بیرون تماس ندارند و در آینده ممکن است در نتیجه فرسایش به بیرون راه پیدا کنند. گروه سوم تونل‌ها در فصل مشترک بین جداره کاهگل و ساختار تاریخی حفر می‌شوند (تصویر ۱۱). در حالت دیگر، ارتباط بین این سه تیپ حفاری توسط کریدورهای واسط رخ می‌دهد.



تصویر ۱۱: شماتیک تیپولوژی تونل‌های حفر شده در ساختار کاهگل به همراه تصویری از تونل‌ها (مأخذ: نگارنده)

بر مبنای تئوری جذب، فرایند چسبندگی بین دو ماده متأثر از ویژگی کمی میزان سطح تماس دو ماده نیز هست (Allen, 1987) و کاهش سطح می‌تواند در قدرت و میزان چسبندگی (مکانیکی، فیزیکی یا شیمیایی) بین دو سطح مؤثر باشد. حفر تونل در فصل مشترک دیوار تاریخی و جداره کاهگل، میزان سطح تماس و در نتیجه چسبندگی را کاهش می‌دهد و کاهگل به صورت ناپیوسته و در مقاطع پراکنده به دیوار تاریخی متصل است (تصویر ۴). در این شرایط، وزن توزیع شده جداره کاهگل بر سطح دیوار متعادل نیست و پایداری در برابر وزن خود مصالح (بار مرده) با مشکل مواجه می‌شود. تونل‌های مستقر در جدار میانی کاهگل هرچند در کاهش سطح تماس با دیوار نقشی ندارند اما فضای سایه‌دار محسوب شده و با افزایش سطح تماس کاهگل با عامل رطوبت، سبب ماندگاری رطوبت به مدت بیشتری می‌شوند (تصویر ۷). ماندگاری رطوبت در ساختار خاکی سبب انحلال پذیری عامل چسباننده خاک (رس) می‌شود و ذرات خاک به مرز گسیختگی می‌رسند (Young, 2012). دسته سوم تونل‌ها به مرور زمان با تخریب لایه سطحی سبب افزایش سطح تماس بیرونی کاهگل با علل و عوامل محیطی از جمله رطوبت ناشی از بارندگی می‌شوند (تصویر ۵) که سرعت انحلال لایه بیرونی کاهگل را افزایش می‌دهند. فرآیند زیستی حشره سبب می‌شود که حفاری تونل‌ها توسعه یافته و نقب‌های متعددی ایجاد نماید. سه دسته تونل مذکور به صورت شبکه‌ای در ساختار کاهگل مرتبط می‌شوند. در این حالت ضمن افزایش سطح تماس بیرونی با رطوبت و کاهش سطح چسبندگی در مرز مشترک کاهگل و دیوار تاریخی، تونل‌های جداره‌ای، کریدورهای مرتبط محسوب می‌شوند که مجموعاً مساحت قابل توجهی در حدود ۳۲ مترمربع را تشکیل می‌دهند که در یک مترمربع نمونه مورد مطالعه (تصویر ۱۱) این گسترش سطح دیده می‌شود. در چنین شرایطی، رطوبت ناشی از بارندگی و دوغاب جاری شده بر سطوح بیرونی، ضمن ورود به کریدورها، سبب انتقال رطوبت به منافذ ایجاد شده در مرز مشترک شده و برای مدت زیادی ماندگار می‌شود. از طرفی با انسداد برخی ورودی‌ها در سطح بیرونی، حبس رطوبت و ممانعت از تبخیر در شرایط خشک سبب می‌شود رطوبت به سمت داخل ساختار تاریخی حرکت کند. لانه‌سازی حشره ضمن افزایش سطح تماس با رطوبت، امکان ورود و ماندگاری آن را در بخش‌های داخلی کاهگل فراهم کرده که زمینه گسترش فرسایش آبی را در مقطع کاهگل فراهم می‌کند. سناریویی که طی فرآیند زیستی ایزوپود (همیلیستوس آفگانیسوس) در محوطه تاریخی بلقیس رخ می‌دهد، سبب می‌شود دوام کاهگل به چند طریق مورد تهدید باشد.

- آسیب مکانیکی به کاهگل از طریق حفر تونل و جابجایی ذرات خاک و تضعیف ساختار معدنی خاک.
- آسیب شیمیایی در نتیجه انحلال و کاهش چسبندگی بین ذرات خاک در شرایط مرطوب.
- آسیب فیزیکی در نتیجه شستگی مصالح و کنده شدن قطعات سست کاهگل در محل‌های حفاری حشره طی دوره‌های بارندگی.

این موارد با تخریب بایونیک محتوای آلی کاهگل (کاه) در رژیم غذایی حشره و تضعیف رفتار مکانیکی کاه در ساختار کاهگل (Houben & Guillaud, 2006)، همراه است. در این شرایط کاهگل به عنوان لایه محافظ ساختار تاریخی با سرعت زیادی در دوره‌های مرطوب و بارندگی دچار فرسایش عمده در گستره وسیعی می‌شود. درواقع کاهگل به نوعی زخمی و فاقد کارایی مفید می‌شود. از سوی دیگر، ظاهر یکپارچه ساختار کاهگل بشدت تحت تأثیر فرسایش، چهره نامطلوبی ایجاد می‌کند. در ادامه این روند، ساختار آسیب دیده کاهگل بشدت در شرایط محیطی توأم با وزش باد و احیاناً حرکت ریز ذرات خاک اعم از سیلت، ریز ماسه‌ها و غبار محلی، دچار فرسایش بادی خواهد شد. این سناریو در کنار مسئله ضعف خاک منطقه (Hoseini Keshtan, 2022) سبب شده علی‌رغم بارندگی محدود منطقه اسفراین و محوطه تاریخی بلقیس، فرسایش در ساختار کاهگل از شدت بالایی برخوردار باشد.

۶- نتیجه‌گیری

جداره کاهگل بر ساختارهای محوطه تاریخی بلقیس اسفراین علی‌رغم بارندگی کم منطقه از فرسایش آبی بالایی برخوردار است. گذشته از ضعف کیفیت خاک منطقه، زیست گسترده گونه همیلیستوس آفگانیسوس از دسته ایزوپودها (خرخاکی) در محوطه بلقیس قابل توجه است. رفتار زیستی این گونه خرخاکی در حفر تونل‌های متعدد و به هم پیوسته در

جداره کاهگل سبب جابجایی بخش معدنی کاهگل و انتقال خاک می‌شود. درواقع تونل‌ها ساختار کاهگل را متخلخل و مساحت قابل توجهی را در واحد مترمربع ایجاد می‌کند که مستعد اثرگذاری هر عامل آسیب‌رسان از جمله رطوبت است. ساختار کاهگل توسط نقب‌ها به صورت فیزیکی آسیب‌دیده و انسجام آن کاهش یافته است. در این فاز، رطوبت و حتی جریان باد قادر به ایجاد آسیب هستند. ضعف ساختاری و تخلخل سبب می‌شود چسبندگی کاهگل به بدنه تاریخی کم و در شرایط مرطوب بانفوذ رطوبت به داخل تونل‌ها، گسیختگی کاهگل از بدنه رخ دهد. آبشویی و سپس ورود آب به تونل‌ها، جذب رطوبت توسط سطح افزوده تونل‌ها، ماندگاری رطوبت در کریدورها و در نهایت فرسایش کاهگل از بیرون به شکل مستقیم و از داخل به دلیل نفوذ رطوبت پیوسته در جریان است. در شرایطی که ضعف خاک منطقه به لحاظ چسبندگی عامل مهمی در آسیب‌ها محسوب می‌شود، رفتار زیستی این‌گونه حشره خشکی زی نیز عامل بیولوژیک مؤثری بر فرسایش کاهگل محوطه تاریخی بلقیس است. برهم زدن روال معمول متابولیسم حشره از طریق کاربرد ماده معدنی خاک دیاتومه به شکل طبیعی با توجه به ترکیب سلیسی آن از سازگاری بیشتری برخوردار است؛ اما این پژوهش بر این باور است که هرگونه اقدام در این راستا مستلزم بررسی کیفیت شیمیایی خاک است. مطالعات خاک منطقه در پژوهش‌های قبلی کمیت بالای سیلت را نشان می‌دهد و خاک دیاتومه ممکن است مقدار سلیس خاک را افزایش و تعادل شیمیایی را تغییر دهد. درواقع با افزایش سلیس، احتمال کاهش فعالیت رس بالا است و چسبندگی خاک ممکن است در سایر موضوعات مربوط به مصالح خاکی از جمله انواع مقاومت‌های مکانیکی و فیزیکی اعم از فرسایش‌های آبی و بادی را تحت تأثیر قرار دهد.

سپاس و قدردانی

مراتب سپاسگزاری و احترام خود را از آقایان دکتر احمد نیک گفتار، کارشناس پایگاه میراث فرهنگی شهر تاریخی بلقیس و مهندس حسین رحمانی رئیس محترم پایگاه میراث فرهنگی شهر تاریخی بلقیس که نسبت به ارائه اطلاعات در مطالعات محوطه تاریخی همکاری داشتند، بجا می‌آورم. همچنین از زحمات جناب آقای حسن احمدی دانشجوی پرتلاش رشته معماری دانشگاه هنر اصفهان که در تهیه نقشه تونل‌ها همکاری صمیمانه‌ای داشتند تشکر می‌کنم.

پی‌نوشت

¹ Hemilepistus Aphganicus

² Isopoda

³ OrganoPhosphorus insecticides

⁴ Tachigaren & Topas

⁵ Diatomaceous earth

منابع

- Abdallah, M. (2023). INSECT IDENTIFICATION AND SIGNS OF DAMAGE ON ORGANIC MONUMENTS FROM ANCIENT EGYPT-SAQQARA. *International Journal of Conservation Science*, 14(2), 527-536 .
- Allen, K. (1987). A review of contemporary views of theories of adhesion. *The journal of Adhesion*, 21(3-4), 261-277.
- Anne, & Oliver. (2008). *Terra Literature Review. An Overview of Research in Earthen Architecture Conservation*. T. G. C. Institute.
- Bocek, B. (1986). Rodent ecology and burrowing behavior: predicted effects on archaeological site formation. *American Antiquity*, 51(3), 589-603.
- Collins, D., & Cook, D. (2006). Laboratory studies evaluating the efficacy of diatomaceous earths, on treated surfaces, against stored-product insect and mite pests. *Journal of Stored Products Research*, 42(1), 51-60.

- De Bruyn, L. L., & Conacher, A. J. (1990). The role of termites and ants in soil modification-a review. *Soil research*, 28(1), 55-93.
- Department, N. K. M. (2016). *Total Rainfall - Drought Indicators*.
- Ernst, F., Fabritius, H.-O., Griesshaber, E., Reisecker, C., Neues, F., Epple, M., Schmahl, W. W., Hild, S., & Ziegler, A. (2020). Functional adaptations in the tergite cuticle of the desert isopod *Hemilepistus reaumuri* (Milne-Edwards, 1840). *Journal of Structural Biology*, 212(1), 107570.
- Hoffmann, G. (1983). The search behavior of the desert isopod *Hemilepistus reaumuri* as compared with a systematic search. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 13(2), 93-106.
- Hoseini Keshtan, R. (2021). Vulnerable Crystalline Structures of Historical Adobe in the Presence of Moisture at the Historical Site of Belqis, Esfarayen [Research, Original, Regular. *Knowledge of Conservation and Restoration*, 3(4), 50-58. <http://journal.richt.ir/kcr/article-1-182-fa.html>
- Hoseini Keshtan, R. (2022). use of zeolite in reducing clay erosion of historical area of Balqis against descending moisture [Original Research]. *Journal of Research on Archaeometry*, 8(2), 0-0. <http://jra-tabriziau.ir/article-1-308-fa.pdf>
- Hoseini Keshtan, R., Emami, M. A., & zamanifard, A. (2019). The role of chemical parameters and soil texture quality in the erosion of adobe in the Belgis historical site [Research original/ Regular Article]. *Scientific Journal of Maremat & Me'mari-e Iran (quarterly)*, 9(18), 91-110 [in Persian]. <http://mmi.aui.ac.ir/article-1-629-en.html>
- Houben, H., & Guillaud, H. (2006). *Earth Construction: A Comprehensive Guide*. ITDG publishing. <https://books.google.com/books?id=KWt9swEACAAJ>
- Irwin, A., & Jones, R. (1984). The woodlice of Norfolk. *Trans. Norfolk Norwich Nat. Soc*, 26(5), 272-281.
- Kalev, S. D., & Toor, G. S. (2018). The composition of soils and sediments. In *Green Chemistry* (pp. 339-357). Elsevier.
- Kashani, G. M., Sari, A., & Hosseini, S. (2010). Terrestrial isopods of the subgenus *Hemilepistus* (*Hemilepistus*) Budde-Lund, 1879 (Isopoda: Oniscoidea) from Iran. *Zootaxa*, 2549(1), 54-68.
- Linsenmair, K. E. (1975). Some adaptations of the desert woodlouse *Hemilepistus reaumuri*. (isopoda, oniscoidea) to desert environment. In *Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie Erlangen 1974* (pp. 183-185). Springer.
- Medvey, B., & Dobszay, G. (2020). Durability of stabilized earthen constructions: a review. *Geotechnical and geological engineering*, 38(3), 2403-2425.
- Minke, G. (2013). *Building with Earth: Design and Technology of a Sustainable Architecture*. Birkhäuser. <https://books.google.com/books?id=kuiecB-9Gs0C>
- Mohamed, A., Nair, G., Abbas, H., & Kassam, H. (1992). Effects of pesticides on the survival, growth and oxygen consumption of *Hemilepistus reaumuri* (Audouin & Savigny 1826) (Isopoda Oniscoidea). *Tropical zoology*, 5(2), 145-153.
- Oliver, A. (2008). Modified earthen materials. *Terra Literature Review*, 97.
- Pormohammadi, S. S., Marziyeh. (2014). A new approach to protecting historical monuments against biological agents in Iran; Application of baiting system in controlling subterranean termites (Study example: Fahraj Grand Mosque) [Research]. *Athar*, 35(66), 39-52 [in Persian]. <http://journal.richt.ir/athar/article-1-75-fa.html>
- Rael, R. (2009). *Earth architecture*. Princeton architectural press.
- Romei, F., & Schilman, P. E. (2024). Diatomaceous earth as insecticide: physiological and morphological evidence of its underlying mechanism. *Pest Management Science*, 80(7), 3301-3307.
- Sarvar, P. Z., Ali., & Nematian, M. R. (2017). Pathology of subterranean termite activities in the Haft Tappeh historical site [Research]. *Athar*, 38(76), 37-50 [in Persian]. <http://journal.richt.ir/athar/article-1-698-fa.html>
- Saw, G., Sarkar, S., Dhar, D. W., & Das, S. (2013). Diatoms as Insect Control Agents. In *Diatoms and Sustainable Agriculture* (pp. 141-158). CRC Press.

- Seyedan, S. J.-M., Farah. (1997). Climatic Classification Methods. *Geographical research*, 75-109.
- Torkzaban, S. (2017). *Iran's Earthen Architectural Heritage as Reflected in the Terra Congress Proceedings and Iran Journal* University of Pennsylvania.
- Tuf, I. H., & Ďurajková, B. (2022). Antipredatory strategies of terrestrial isopods. *ZooKeys*, 1101, 109.
- Young, R. (2012). Soil properties and behaviour (Vol. 5). Elsevier.

Original Research Article

The Impact of the Biological Agent (*Hemilepistus*) on the Erodibility of Mud Plaster in the Belqis Historical Site, Esfarayen

Reza Hoseini Keshtan ^{1*}

1- Faculty Member, Art University of Isfahan –Department of Conservation and Restoration of Architectural and Urban Heritage, Yazd, Iran.



10.22034/AHDC.2025.23320.1872

Received:
June 28, 2025

Accepted:
October 5, 2025

Keywords:
Conservation,
Belqis
Historical
Site,
Biological
Damage, Mud
Plaster,
Desert Insects

Abstract

Mud plasters have historically been valued for their easy renewability, rapid application, and low cost compared to the extensive repairs required for adobe and earthen structures. However, their rapid deterioration contradicts the principles of conservation and poses a serious threat to historical buildings. At the Belqis Historical Site, located 3 kilometers southwest of Esfarayen in North Khorasan Province, Iran, a major issue is the rapid erosion of mud plasters applied during recent restoration efforts. While previous studies have identified the poor soil quality of the region as a contributing factor to this erosion, a biological agent has also been detected: a species of woodlouse (*Hemilepistus afghanicus*). This terrestrial insect, which survives in harsh thermal conditions of arid regions by digging extensive tunnels, plays a role in soil metabolism. Nevertheless, its biological activity within historical architectural structures has caused **physical-mechanical damage**, posing a significant long-term threat. This research aims to investigate the impact of the biological activities of *Hemilepistus afghanicus* on the durability of mud plaster layers at the Belqis Historical Site. To identify and map the tunnel structures created by this species, sections of the burrows were laser-scanned using high-precision instruments and analyzed with specialized software. The results from both fieldwork and literature review reveal that the extensive burrowing activity of this species reduces soil cohesion and causes physical degradation, thereby increasing the exposed surface area of the plaster. This, in turn, accelerates erosion under environmental factors such as moisture. Given that the weak adhesion of the local soil is already a major cause of deterioration, the biological behavior of this insect intensifies the erosive impact on the site's earthen materials. To mitigate this bionic threat, physical rather than chemical interventions are recommended. One potential approach is the use of **diatomaceous earth**, combined with detailed mineralogical analysis of the local soil, as an environmentally compatible solution to reduce or eliminate damage to the earthen structures and thatched surfaces of the Belqis Historical Site.

