شکل۱: بخشی از معماری خاکی ارگ بم (بعد از زلزله)

بررسی آخرین دستاوردهای علمی در زمینه حفاظت و مرمت مصالح خاکی

معین اسلامی

دانشجوی کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی،

دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده مرمت ،moein218@yahoo.com

چکیده

مصالح خاکی به عنوان قدیمی ترین ماده ی مورد استفاده ی بشر از ابتدای شکل گیری یکجا نشینی، نقش مهمی در پیشرفت و شکوفایی تمدن ها داشته است. با توجه به اهمیت این ماده ی طبیعی در طول تاریخ تمدن بشر و همچنین کشف سایت های باستانی خاکی در جای جای این کره ی خاکی، ضرورت مطالعه، بررسی، حفاظت و مرمت این نوع یادمان های بشری بیش از پیش احساس می گردد. در این نوشته تلاش شده است تا با مروری بر تاریخچه ی حفاظت و مرمت این نوع آثار، آخرین فعالیت های انجام گرفته در این بخش ارائه گردد.

کلیدواژگان: استحکام بخشی، کانی، مصالح خاکی، حفاظت، مرمت

مقدمه

استفاده از مصالح گلی سابقه ای دیرینه در تاریخ تمدن بشری دارد. خاک در دسترس ترین و ارزان ترین نوع مصالح است که در تمام نقاط دنیا به وفور یافت می شود. علی رغم این که توانایی سازگاری با اقلیم های مختلفی را داراست. «تنوع این معماری بسیار گسترده بوده و منطقه به منطقه و اقلیم به اقلیم شاهد فرم ها و تکنیک های مختلفی در این نوع معماری هستیم.» (Pieris, 1993, p28)

با بررسی گذرا در سایت های باستان شناسی نقاط مختلف جغرافیایی، در جهان به گستردگی کاربرد و سیر تاریخی طولانی این نوع معماری بیشتر آشنا می شویم.

بررسی های باستان شناسی در منطقه ی خاورمیانه» حاکی از گسترش معماری خشتی از دوران نئولیتیک تا به امروز بوده است. منطقه ی اریحا و جریکو (۸۰۰۰ ق.م) در ۴ هکتار و با پلان مدور قدیمی ترین شواهد کاربرد دقیق معماری گلی را نشان می دهد که توده های گلی دست ساز (چینه ای) بر روی پی سنگی سوار شده اند. تمدن های بین النهرین و عیلام، با آثاری چون مریبت در سوریه، تل حسونا در جنوب عراق (۵۰۰۰ ق.م)، معابد عظیم اوروک در اور (۳۲۰۰ ق.م)، معبد چغازنبیل در خوزستان ایران (هزاره ی دوم ق.م)، برج عظیم بابل (قرن ۷ ق.م)، ارگ بم و بسیاری نمونه های دیگر همه، گویای پراکندگی و عظمت استفاده از معماری گلی در خاورمیانه در طول تاریخ کهن این منطقه هستند.

«در هند هم زمان با شکوفایی سومر و بابل، شهرهای پیشرفته ی مختلفی در حاشیه ی رود سند و ایندوس شروع به توسعه و گسترش کردند. تمدن های هاراپا و موهنجودارو، ساختارهای مهندسی پیشرفته ای در استفاده از خشت ابداع کردند. (۲۵۰۰ تا ۱۸۰۰ ق.م) در چین نیز تجمع های روستایی کشاورزی از ۵۰۰۰ ق.م شروع به رشد کردند. در منطقه ی شمال و شمال غرب چین، فرم منحصر به فردی از معماری خاکی پدید آمد که نمونه هایی از این نوع معماری را می توان در فرهنگ یانگ شو مشاهده کرد.» (Guillaud, Houben, 1994, p 12)

«در تمدن باستانی مصر نیز شواهد معماری خاکی، با فرم معماری خاص این منطقه در اوایل هزاره ی پنجم قبل میلاد در کرانه های رود نیل در فیوم و مریمد به دست آمده است. تداوم این سنت معماری با نوآوری خاص منطقه در تمام ادوار تاریخی مصر، دنبال شده و تا به امروز ادامه داشته است. در اروپا تمدن مینوسیان در کرت (۲۰۰۰ ق.م) برای ساخت کاخ های خود از مصالح خاکی به همراه قطعات سنگی استفاده می کردند. دوریکی ها نیز از قالب های چوبی برای ساخت خشت استفاده می کردند. (۱۱۰۰ تا ۷۰۰ ق.م) یونانیان و رومی ها نیز در ساخت شهرها و معابد خود از مصالح خاکی استفاده می کردند، همچنان که بر طبق مشاهده ی ویترویوس، دیوارهای معبد ژوپیتر، زیارتگاه هرکلیوس، کاخ های کنوسوس و آرامگاه هلیکارناسوس از خشت های پخته ساخته شده بودند.» (Guillaud, Houben, 1994, p 10)

استفاده از خاک در ساختارهای معماری تنها به مردمان باستان محدود نبوده و امروزه نیز کاربردهای روز افزونی پیدا کرده است. «برطبق آمارهای

جهانی ۳۰ درصد مردم جهان در خانه های ساخته شده ی گلی زندگی می کنند. » (Alva, 2008, p 3)

انسان ها با توجه به فرهنگ و اقلیم های متفاوت در سرتاسر جهان اقدام به بهبود خواص فیزیکی خاک و در نتیجه ارتقای کیفیت آن جهت بهره برداری بهتر از آن نموده اند. اولین نمونه های علمی خشت های بهبود یافته توسط فرانسوا آکوانتروی فرانسوی ابداع شد. این فن خشت سازی به تدریج به کل اروپا ، آمریکا و همچنین استرالیا وارد شده و به تدریج کاربرد گسترده ای پیدا کردند. در مراکش از سال ۱۹۶۳ تا ۱۹۶۶ در ساخت مجتمع مسکونی دائودیا در از گل متراکم شده استفاده شد. در فرانسه (لیون) و آمریکا (سانتافه) نیز مجتمع های عظیم مسکونی از مصالح خاکی ساخته شدند. در آلمان شرقی نیز بین سالهای ۱۹۴۶ تا ۱۹۵۷ صدها شهر و روستا با استفاده از خاک احداث شدند. (برداشت آزاد، دوتیه، ۱۳۸۵، ص۱۳)

هم اینک نیز در آمریکا شاهد رشد روزافزون بناهای خشتی و گلی هستیم. «در سال ۱۹۸۰ نزدیک به ۱۷۶/۰۰۰ خانه از خشت خام ساخته شدند، که حدود ۹۷ درصد از این خانه ها در جنوب غرب آمریکا واقع شده اند. در ایالت کالیفرنیا هر ساله ۳۰ درصد به میزان ساخت و سازهای گلی افزوده می شود. در پرو بیش از ۶۰ درصد خانه ها از خشت یا چینه ساخته شده اند. همچنین در آمارگیری سال ۱۹۷۱ هند مشخص شد که ۷۲/۲ درصد از خانه ها در این کشور از مصالح خاکی ساخته شده اند که این آمار نزدیک به ۳۷۵ میلیون نفر را شامل می شود. در کشورهای پیشرفته ی اروپایی نیز نظیر سوئد، دانمارک، آلمان، انگلیس، اسپانیا، ایتالیا و پرتقال معماری خشتی، کاربرد وسیع و گسترده ای دارد. در بسیاری از کشورهای پیشرفته از جمله آمریکا و انگلیس استاندارد هایی نیز دراین زمینه تعریف شده اند؛ همچنین مؤسسات تحقیقاتی مختلفی نیز برای مطالعه و بهبود رفتارهای خاک راه اندازی شده که با صرف وقت و هزینه، امکان بررسی تجربیات سنتی و تلفیق آنها را با روش های نوین فراهم می کنند. » (Gui-laud, Houben, 1994, p 14)

استفاده از بادبان در سیستم ناوبری و خشت در معماری به دلیل دلتنگی برای استفاده ی مجدد از آنها نیست، بلکه به دلیل بازدهی و عایدات سرشار آنهاست؛ چراکه به میزان قابل توجهی در انرژی و هزینه صرفه جویی می شود. با توجه به موارد گفته شده می توان به اهمیت و حساسیت معماری پی برد. آنچه مسلم به نظر می رسد این است که استفاده ی امروزی از معماری خاکی مستلزم شناخت گذشته ی این نوع معماری است.

حفاظت و مرمت مصالح خاکی

با توجه به مطالب گفته شده در مورد اهمیت سازه های خاکی، نقش آنها در زندگی قدیم و جدید انسان مشخص می-شود. این نوع معماری بسته به اقلیم و شرایط مختلف زندگی، مواد و تکنیک های متفاوتی را در بر می گیرد که شناسایی این ساختارها در پروسه ی حفظ و مرمت آنها نقش اساسی ایفا می کند. «طبق آمار، ۱۰ درصد از فهرست آثار ثبت شده در لیست میراث جهانی یونسکو را آثار معماری گلی تشکیل می دهند، در حالیکه حجم زیادی از آنها، در حدود ۵۷ درصد از این سایت ها در لیست آثار در خطر یونسکو هستند. »(Alva, 2008, p 4)

علاقه و تمایل به مطالعه و حفاظت معماری خاکی در نیمه ی قرن گذشته بروز پیدا کرد، در حدود سال های ۱۹۵۰ تا ۱۹۶۰ اولین زمزمه های توجه به این آثار مشاهده شدند. در طی ۳۰ سال گذشته ۲ سری وقایع به شدت توسعه ی این بخش را سرعت بخشیده است. اولین مورد برگزاری یک سری کنفرانس های بین المللی حفاظت بناهای خشتی بود که اولین آنها در سال ۱۹۷۲ در ایران آغاز شده و هرچند سال یکبار تکرار شدند.

در هر کنفرانس جمع بندی مفصلی در این مقوله راجع به نیازها، فعالیت های ویژه و همکاری گسترده با متخصصین سراسر دنیا به عمل می آید. دومین سری حوادث، برگزاری یک سری دوره های آموزشی حرفه ای با عنوان (PAT) در زمینه ی حفاظت و مدیریت معماری خاکی و میراث باستان شناسی بود که در فاصله ی سال ۱۹۸۹ تا ۱۹۹۹ در مناطقی که به طرز چالش برانگیزی با مسأله ی حفاظت معماری خاکی درگیر بودند برگزار گردید. در این میان کارگاه های آموزشی، سمینارها و دیگر فعالیت های لازم نیز برگزار می گردید.

«اما برای حفظ فرهنگ سنتی ساختارهای خاکی، به یک گفتمان بین روند جهت یافته ی حفاظت و همچنین ساخت مدیریتی جدید نیاز است. این مسأله عامل مهم و قابل تأکید برای ارتباط دادن سنت و مدرنیته در حفظ میراث گلی به عنوان یک منبع عظیم فرهنگی است. »(Alva, 2001, p 9)

در سال ۱۹۸۹ موافقت نامه ای برای تحقیق در این زمینه بین مرکز بین المللی ساختار های خاکی مدرسه ی معماری گرنوبل ((CRATere و کمیته ی بین المللی حفاظت و مرمت اموال فرهنگی (ICCROM) تحت عنوان پروژه ی Gaia)) بسته شد که حاصل کار به صورت یکسری مقالات سریعاً منتشر گردید. در سال ۱۹۹۴ در اثر پیشنهاد نویسندگان این مقالات در پرو و ارتباط با مرکز حفاظت و مرمت گتی (GCI)در یک برنامه ی آموزشی تحقیقاتی، با حضور مؤسسات دخیل، نخستین دوره

ی آموزشـی، حرفه ای و علمی در زمینه ی حفاظت ساختارهای خاکی با نام PAT ۹۶)) برگزار گردید. از سال ۱۹۹۷ کنسرسیومی متشـکل از مدرسه ی معماری گرنوبل فرانسه، ایکروم و موسسه ی حفاظت (Getty) همکاری مشـترکی را با عنوان (Terra) در زمینـه ی حفاظت معماری خشـتی با هدف پرورش و گسـترش معمـاری خاکی به عنوان یک شـاخه ی علمـی، مطالعاتی و یک کوشـش تخصصی اجتماعی آغاز کردند که پروژه ی (Gaia) را نیز در بر می گرفت. پروژه ی (Tarra) همچنان سردمدار تحقیقات وهمچنین برگزاری کنفرانس های علمی بین المللی در ارتباط با مطالعه و حفاظت و مرمت سازه های خاکی است. علاوه بر این، مسئول برگزاری دوره های آموزشی در کشورهای مختلف نیز می-باشد.

پروژه ی Terra

این پروژه از ۴ بخش اصلی تشکیل شده است که عبارتند از:

۱-آموزش

۲-تحقیق

۳-تصمیم گیری و اجرا

۴-بررسی و قضاوت

گرچه این بخش ها به صورت مجزا عمل می کنند اما در نهایت یک فعالیت گروهی را تشکیل می دهند. در حالیکه سیاست ها و روش ها به صورت بین المللی تعریف شده اند. اما عملیات های خاص و ویژه به صورت محلی و منطقه ای و با همکاری سـازمان هـای میراث فرهنگی همان کشـور انجام می شـوند؛ از جمله ی ایـن طرح ها می توان به همکاری و مشـاوره در پروژه ی مرمت ارگ بم، اشـاره کرد. در پایان این بخش، فهرست کنفرانس های بین المللی مطالعه و حفاظت خشت از ابتدا تا به امروز ذکر شده است.

- اولیـن دوره ی همایـش مطالعه و حفاظـت معماری خاکی، ایران، یزد، ۲۵ تا ۳۰ نوامبر ۱۹۷۲، ایکوموس ایران

- دومین دوره، ایران، یزد، ۶ تا ۹ مارچ ۱۹۷۶

- سومین دوره، آنکارا، ترکیه، ۲۹ سپتامبر تا ۴ اکتبر ۱۹۸۰

- چهارمین دوره ی سمپوزیوم و کارگاه آموزشی حفاظت خشت، لیما و کوزکو، پرو ۱۰ تا ۲۲ ستامپر ۱۹۸۳

- پنجمیـن دوره ی همایـش متخصصـان در زمینـه ی حفاظت معماری خاکی، رم، ایتالیا، ۲۳ تا ۲۹ اکتبر ۱۹۸۷

- ششـمین دوره ی حفاظـت معماری خاکـی (Adobe 90)، نیومکزیکو، آمریکا، ۱۴ تا ۱۹ اکتبر ۱۹۹۰

- هفتمین دوره، لیسبون، پرتقال، ۲۴ تا ۲۹ اکتبر ۱۹۹۳

- هشـتمین دوره ی مطالعـه و حفاظت معمـاری خاکی، لندن، انگلیس، میراث انگلیس، دانشگاه polymouth و 11 ،Terra تا 13 می 2000

- نهمین دوره ی حفاظت و مرمت خشت، یزد، ایران ۲۹ نوامبر تا ۲ دسامبر 2003 (Terra, 2003)

- دهمیـن دوره ی حفاظت و مرمت خشـت، بوماکـو، مالی، ۲۸ فوریه ی ۲۰۰۸

ساختارهای خاکی

«سـازه های خاکی یا بـه عبارتی معماری خاکـی در واقع در برگیرنده ی کلیه ی سـاختارهایی است که ماده ی اصلی آنها را خاک تشکیل می دهد.» (Pieris, 1993, p 17)

این نوع معماری در واقع دارای انواع بسیار متنوعی از تکنیک های مختلف سـاختمانی است که نسـبت به هر منطقه، شرایط و تعاریف و ترکیبات متنوعی دارد. پایه ی اصلی این مصالح، خاک های مرغوب رس دار و آب است که در آغاز با تهیه ی گل اولیه، در طی سـالیان متمادی و با کسب تجربیات مختلف، مردمان هر منطقه روش های خاصی را برای بهبود کیفیت و ثبات این مصالح گسـترش دادند، از جمله مواد افزودنی مختلف می توان به موادی مانند آهک، گچ، قیر، الیـاف گیاهی، چربی های حیوانی و غیره اشـاره کرد. در مجموع حدود ۱۲ نوع تکنیک سـاخت شناسایی شده که در اینجا به مهمترین آنها اشاره می شود:

«خشـت (Adobe): بلوکه های پخته شده در آفتاب که بیشتر به نام خشت یا آجر گلی معروف هستند. عموماً به این توده های گلـی مواد افزودنی طبیعی آلی یا معدنی می افزایند. در گذشـته عملیات خشـت زنی با دست انجام می شـد، بعدها از قالب های آهنی و چوبی نیز اسـتفاده شد. امروزه این کار بیشتر به عهده ی ماشین خشت زنی است.

گل فشـرده (Rammed Earth): گل فشـرده شـده در یک قاب؛ در بسـیاری از کشورها از قاب چوبی استفاده می شود. این تکنیک باعث می شود تا یک دیوار یکپارچه از گل فشرده شده به دست آید.

کاهگل (Clay-straw): در این تکنیک از خاک رس با درصد بالا اسـتفاده می شود. خاک رس همواره به صورت گل درآمده و بـا کاه یا بوریا مخلوط مـی گردد. خاک باعث اتصـال الیاف به یکدیگر می شود. عموماً جهت اندود استفاده می-شود.

حصیر گل(Wattle and daub): یک اسـکلت چوبی همراه با حصیر بافته یا سایر فیبرهای گیاهی ساخته شده و توسط یک گل شـدیداً رسـی که با کاه مخلوط شـده گل مال می شود. این الیاف مانع چروکیدگی در حین خشک شدن می شوند.

شـکل دهـی مسـتقیم (Direct shaping): ایـن تکنیـک قدیمی ترین و پرکاربرد ترین روش شـکل دهی در بسـیاری از

کشورهاست که تنها به وسیله ی دست صنعتگر ساخته می شود.

بلوکه های گلی فشرده شده (Compressed earth block): تولید بلوکه های فشـرده ی دستی در یک دستگاه با قالب چوبی یا فلزی. در حقیقت همان خشـت اسـت که توسط دستگاه پرس دستی تولید می شود.

کوب (Cob): اسـاس ایـن تکنیک به این صورت اسـت که گلولـه های دایره ای شـکل روی یکدیگر قرار گرفته و توسـط فشـار دست یا پا به آرامی روی هم فشرده می شوند و به صورت یک دیوار واحد در می آیند.

امروزه تکنیک های خشـت، گل فشرده و بلوکه های ماشینی فشـرده رایج تر و عمومی تر هسـتند. »(Hugo, Guilla, 1994, p 107)

در حفاظـت و مرمت از آثار خشـتی و گلی علاوه بر شـناخت تکنیک های ساخت، موارد دیگری نیز دارای اهمیت هستند که بدون بررسی و مطالعه ی آنها امکان یک حفاظت صحیح و کامل میسـر نیسـت در واقع آنچه در زمینه ی حفاظت و مرمت سازه هـای خاکی انجام گرفته اسـت یکی از موارد زیـر را در بر می گیرد:

الـف- مطالعـات شناسـایی خـاک و ریـز سـاختارهای خاکی و نقش آنها در استحکام مصالح ساخته شده

ب- مطالعات و بررسی استحکام بخش ها که این مورد نیز از دو جهت قابل بررسی است:

۱- استحکام بخشی سازه ای

۲- استحکام بخشی شیمیایی

پ- مطالعات لرزه شناسی

ت- بررسـی ومطالعه ی مواد افزودنی متنـوع به منظور افزایش استحکام خشت خام یا خاک مورد استفاده در تهیه ی خشت

ث- حفاظت بازدارنده و کنترل شرایط محیطی

الف- بررسـی آخرین فعالیت های انجام گرفته در زمینه ی ریز ساختارهای خاکی

مطالعه و بررسی ساختار خاک از مهمترین مطالعات و ضروری ترین بررسـی ها در هر سـایت تاریخی خاکی می باشـد. اخیراً مطالعـات جامعی در مورد ریزسـاختارهای خاکـی و کانی های تشکیل دهنده ی خاک های رسی انجام شده است که البته کاملاً به نقش آنها در ثبات و استحکام مصالح تولید شده پرداخته نشده است.

«خواص پلاسـتیک رس ها بسیار تابع دانه بندی خاک منطقه اسـت، علاوه بر این کانی های مختلف رسی توانایی های متفاوتی در جذب آب ساختاری دارند. ویژگی بسیار مهم دیگر کانی های رسـی، فعالیت شـیمیایی یون ها در محلول های خاکی است. این مسـأله باعث بروز ویژگی های مختلفی می شود. کانی های رسی از سـاختارهای جداگانه تشکیل شـده اند. ساختار تتراهدرال از یک اکسـیژن آنیون و کاتیون سـیلیکون یا آلومینیوم تشـکیل شـده است که هر اتم سیلیکون توسط ۴ اتم اکسیژن احاطه شده اسـت و در سـاختار اکتاهدرال سیلیکون توسـط ۶ اتم اکسیژن احاطه می شود و ساختاری شبیه الماس ارائه می کند. در مجموع سـاختارهای کریسـتالی رس به سـه صورت در نظر گرفته می شوند:

۱: ۱ لایه ی تتراهدرال + ۱ لایه ی اکتاهدرال به ضخامت 7A۰

۲: ۲ لایـه ی تتراهدرال + ۱ لایـه ی اکتاهدرال در بین ۲ لایه ی تتراهدرال به ضخامت 10A0

۳: ۲ لایـه ی تتراهدرال + ۲ لایـه ی اکتاهدرال در بین ۲ لایه ی تتراهدرال به ضخامت 14 A0

از دو خاصیـت مهـم رس ها بـرای طبقه بندی رس ها اسـتفاده مـی شـود: ۱- خاصیت تورم، ۲- لایه لایه ای بودن سـاختارهای کریسـتالی تکرار شونده. بر این اسـاس معمول ترین کانی های رسی عبارتند از:

با ضخامت ۷A۰ کائولینیت، برتیرین و سرپنتین

با ضخامت ۱۰A۰ پـی روفیلیت، تالک، کانی های میکا مانند ایلیت و گلاکونیت- سلادونیت و سمگتیت

با ضخامت ۱۴A۰ کانی های تری اکتاهدرال کلریت

در ادامـه ی ایـن تحقیق با اسـتفاده از روش هـای XRD، ثبات حرارتی و FT-IR در مورد خواص فیزیکی- شـیمیایی کانی های رسـی بحث شده است. » (velde 2003 [1])

در تحقیـق دیگری، در مورد تغییرات شـیمیایی رس ها بحث شـده اسـت. «رس ها از دیگر مواد معدنی، آبدوست تر هستند و همین مسأله باعث هیدراته شدن شدید رس ها و شروع تغییرات آنها می شـود. میزان تغییرات شـیمیایی رس ها توسـط ۲ عامل کنترل می شود:

۱- زمان ۲- دما

علاوه بر این، وقایع تکتونیکی، افزایش ناگهانی دما و تغییرات هیدروترمال نیز نقش اساسـی در شـکل گیری ساختار رس-ها دارند. کانی های رسی به شدت تحت تأثیر PH آب های محلول هسـتند. در PH های شدید (چه قلیایی و چه اسیدی) رس ها به طـرف حلالیت می روند، اما در PH های میانی از میزان حلالیت آنها به شـدت کاسته می شود. در قسـمت دیگری از این تحقیق دو مورد تأثیر شـکل دانه ها روی فشـردگی و منحنی فشردگی

صحبت شـده است. اگر ماسه فشرده شـود تا ۳۰ درصد تخلخل داریم؛ در حالیکه اگر رس ها فشرده شوند این میزان از ۵ تا ۱۰ درصد تجاوز نخواهد کرد. در مجموع این گونه نتیجه می شود که موادی با نفوذپذیری پائین به آرامی فشرده می شوند، در حالیکه موادی با نفوذپذیری بالا سـریعاً فشرده می شـود. » (eble [2], 2003) بحث دیگری که به نظر می رسـد امروزه بیشتر مطالب علمـی به آنها می-پردازند مسـأله ی رطوبت و نمک ها به عنوان شایع ترین عوامل آسیب رسان ساختارهای خاکی است. یکی از مطالعات مطرح در این زمینه بررسـی دینامیک چرخه ی خیس و خشـک شـدن مواد خاکی و ارزیابی آن در روند تخریب این ساختارها است.

«تـورم و انقبـاض خـاک، تغییـرات میکروسـاختار در حین چرخـه ی تورم توسـط روش التراسـونیک و مشـاهده ی آن با میکروسکوپ SEM انجام شده است. علاوه بر این، ویژگی های هیگریکی خاک توسـط طیف سنجی اشعه ی گاما مورد بررسی قرار گرفته اند. » (Rainer, 2003)

در سایت تاریخی موهنجودارو بروی نمک های محلول منطقه کار شـده اسـت. »خاک منطقه حـاوی تناردیـت و میرابیلیت (سولفات سدیم) است. این نمک ها که از نمک های خطرناک با محلولیت بالا هسـتند با تغییر دما و حرارت ، میزان حلالیت آنها تغییر پیدا می کند و قابلیت آبپوشی زیاد نشان می دهند.

(میرابلیت)Na2SO4.10H2O

(تناردیت) Na2SO4

دمای تعادل اشـباع برای این نمک هاC ۳۲/۰۴ اسـت که با افزایـش دمـا و رطوبت میزان حلالیت این نـوع نمک ها تا ۳/۵ درصد افزایش می یابد. با کاهش دما در شـب های سـرد منطقه به سـرعت از میزان حلالیت کاسته شده و پروسه ی کریستالیزه شدن تحت مکانیزم خاصی آغاز می شود. (jansen, 2003)

مسـأله ی نمک های محلول، مسأله ای بسیار مهم و جدی بوده و بیشـتر تحقیقات امروزی سـعی در شناخت پروسه ی تخریت نمـک هـای مختلف دارنـد. «از جملـه ی این نمک هـا، Nacl اسـت. میزان انـدازه ی تخلخل خاک نیز در تأثیر شـدت نمک های محلول نقش موثری دارد. نمک های محلول Nacl علاوه بر ازدیاد حجم خاصیت چسبندگی به دیواره ی حفره ها را دارند. » (Lubeli, 2006)

ب- مطالعات و بررسی های استحکام بخشی جدید

همان طور که گفته شـد این قسـمت خود از دو بخش تشکیل یافته اسـت. بخش اول درحیطه ی کار مرمت بنا قرار می گیرد. از این گذشـته به دلیل گسـتردگی بخش اول به بحث استحکام بخشی شیمیایی پرداخته شده است که در حیطه ی فعالیت-های مرمت آثار قرار می گیرد. برای نیل به این هدف از مواد بسیاری از گذشـته تا به امروز استفاده شده است. کارایی این مواد، با هم مقایسه شـده اند. در نتیجه اسـتحکام بخش ها به سه دسته قابل تقسیم بندی هستند:

۱- اسـتحکام بخـش های غیـر آلی: محدود به سـیلیکات های قلیایی اسـت که این عامل سـیلیکاتی باعث اسـتحکام ساختار خشتی می شود.

۲- استحکام بخش های طبیعی: امروزه بیشتر تلاش بر این است تا از این مواد در اسـتحکام بخشی استفاده شود. نوع و میزان این نوع اسـتحکام بخش ها بسته به اقلیم، مکان و ویژگی های منطقه ی مورد نظر تغییر می کند. در این میان شـیره ی کاکتوس برای این مسأله بررسی شده که کارآیی مناسبی نیز داشته است.

۳- استحکام بخش های سنتزی آلی: از آلکوکسی سیلان به عنوان استحکام بخش یا دافع آب یا هر دو به طور گسترده استفاده شده است. اما محدودیت این مواد در این است که ذرات بزرگ تر از ماسه را نمی تواند استحکام بخشی کند.

«رزین های اکریلیک عموماً به عنوان چسب استفاده می شوند، امـا گاهی نیز به عنوان اسـتحکام بخش مواد خاکی اسـتفاده می شـوند. از میان اکریلیـک ها، پارالوئیـد B72, B-67، پریمال Ac33 و روپلکس E-330 رایج ترند. البته الکوکسـی سـیلان-ها مؤثرتر واقع شده اند. بنا بر مطالعات انجام گرفته در مواردی پلی وینیل اسـتات نیز اسـتفاده شده اسـت. اما در مجموع نتایج جدید حاکی از عدم موفقیت اکریلیک و پلی وینیل اسـتات در امر استحکام بخشـی است، درحالیکه اپوکسـی ها و آلکوکسی سیلان نتایج رضایت بخش داشته اند. در این زمینه روند کهنگی استحکام بخش ها و تخریب آنها در مصالح خاکی هنوز به خوبی مورد تحقیق قرار نگرفته اند.

پوشـش دهنده های سطحی برای سـطوح غیر تزئینی یکی از کاربردهای زیر را دارند که می تواند شـامل مواد آلی، طبیعی یا سنتزی باشند:

۱- مواد آبگریز

۲- آب بند کننده

۳- پوشش های فدا شونده

در مجموع نقش اساسـی آنها باید ضد آب کردن سـطح باشد» (oliver, 2002)

یکی دیگر از مطالعات کامل و اساسـی در زمینه ی حفاظت و استحکام بخشی سازه های خاکی گزارش مطالعات آزمایشگاهی

و تســت های میدانی در Fort Seldon در آمریکا می باشــد. اهمیــت این تحقیقات بدان جهت اســت که جمــع بندی کلی بر روی یک ســری آزمایشات طولانی مدت انجام شده در زمینه ی حفاظت و مرمت مصالح خاکی ارائه شده است.

شکل ۲: بقایای سایت Fort seldon

شکل۳: آزمایش های دیوار (WALL TESTING)

«پلیمر های تجاری دی ایزوسیانات و سیلان ها که در محل با واکنش رطوبت محیطی پلیمریزه می شوند، در دســترس بوده و در استحکام بخشــی خشت مورد ارزیابی قرار گرفته اند، میزان اندک (در حدود ۱ تا۵درصد) پلیمر هایی مانند تریمرهگزامتیلن (ساخت Mobay)، دی ایزوسیانات (Desmodur N3390) مؤثر تشخیص داده شده اند. در این مطالعات روش اسپری حجمی مؤثرتر از روش برس زدن سطح عمل می کند. به این طریق تقریباً استحکام بخشی کامل به دست می دهد و ترک خوردگی، جدایش آستر و تخریب اتفاق نمی افتد.

روش برس زدن با DN ۳۳۹۰ در تولوئن، میزان حفاظتی از ضعیف تا عالی را ایجاد می کند که بسته به میزان پلیمر مصرفی متغیر می باشد.

سیلان ها نیز در این پروژه مورد آزمایش قرار گرفته اند. دو نوع H و OH که توسط (prosco) تهیه می شوند در این آزمایش بررسی شده اند که البته نتایج با نوع OH رضایت بخش تر است. در هنگام استفاده از نوع H ترک های ساختاری اندود گلی اتفاق نمی افتد، اما تخریب آب همچنان اتفاق می افتد که در استفاده از ایزوسیانات ها این مسأله دیده نمی شود. مقدار استفاده ی مطلوب از این ماده ۲ برابر DN ۳۳۹۰ است که توسط تولید کننده پیشنهاد شده است. البته اکرولوئید ها نیز مورد بررسی قرار گرفته اند؛ ازجمله اکریلوئید(A21(prosoco که نتایج بهتری از انواع H و OH داشته اند. اما همان طور که گفته شد در مجموع پلیمرهای آکریلیکی نمی توانند به اندازه ی ایزوسیانات ها و سیلان ها مفید واقع شوند.» (Fort selden, 2000) علاوه بر مواد و روش های جدید استحکام بخشی سطح، روش های جدیدی نیز در برگرداندن لایه های جدا شــده از بســتر و تکیه گاه گلی آزمایش شده اند. یکی از این روش ها پین گذاری است.

در تعدادی از مقالات با استفاده از فولاد ضد زنگ میله ای یا مفتول های پلکسی گلاس یا پیچ های پلی آمیدی لایه های سالم بستر و تکیه گاه به هم محکم می شوند. گاهی نیز با استفاده از میله های ظریف شکل یافته، لایه های اندود به تکیه گاه متصل می شوند. این روش ها مخصوصاً در لایه های اندود تزئینی بســیار کاربرد دارد. مسئله ی بعدی در این زمینه نوع و نحوه ی دوغاب ریزی است که این مورد با استفاده از ملات های رقیق با ویژگی های چسبندگی آزمایش شده برای اتصال مجدد لایه ها استفاده می شود. در این مورد افزودن مقدار اندکی آهک و یا مخلوط پوزولانی آهک با خاک ستر به گل توصیه شده است. علاوه بر این (PVA) یا تزریق گل اصلاح شده یا مخلوط سیمان نیز برای پر کردن درزها و شکاف ها پیشنهاد شده است. (برداشت آزاد از Rainer, 2004)

البته استفاده از دوغاب های گلی با ساختار اصلاح شده ی مشابه اندود اصلی در دست بررسی است. در مورد اتصال مجدد لایه ها یا اندود ها و تکیه گاه که فضای خالی اندکی دارند نیز سیلیکات های قلیایی رقیق توصیه شده اند. بررسی کاربرد اتیل سیلیکات در این مورد نیز در دست بررسی است.) برداشت آزاد از (Cancino, 2003

البته در متون مختلف از سال ۲۰۰۰ به بعد برای اتصال مجدد ورقه های جدا شده از پارالوئید (B72)،

پلی وینیل استات در تولوئن و آب، مولیت DMAH، اتیلین کلراید، متیل سلولوز، اتولولز در آب یا الکل، چسب های حیوانی یا ژلاتین نیز به کار رفته است. (برداشت آزاد از Rainer, 2003)

پ- مطالعات لرزه شناسی

این بخش از مطالعات نیز امروزه در بحث حفاظت و مرمت آثار گلی به خوبی جای خود را باز کرده است و مطالعات و روش های متنوعی در آن بررســی و ارزیابی شده اند. یکی از نهاد هایی که بر روی این مقوله متمرکز شده است، مرکز خلاقیت معماری خاکی (Getty) است که در حال پژوهش و تحقیق بر روی شناسایی عوامل آسیب رسان و ارائه ی یک روش بهبود یافته برای حداقل آسیب ممکن است. این پروژه در این مرکز با عنوان پروژه ی لرزه شناسی خشت گتی (GSAP) در حال فعالیت است. نتیجه ی این تحقیقات در انتشارات زیر قابل بررسی است

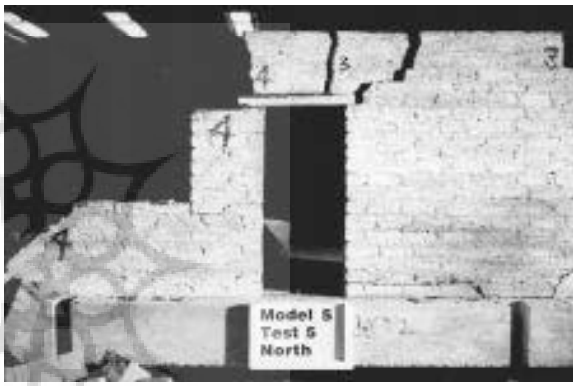
که در سایت Getty به صورت فایل PDF در دسترس است.

۱- مدیریت و دستورالعمل مهندسی برای بهبود ساختار خشت های تاریخی در مقابل زلزله

۲- استحکام بخشی زلزله ای ساختار خشت های تاریخی، گزارش نهایی پروژه ی زلزله ی Getty

۳- خلاصه ی آسیب شناسی ساختمان های خشتی تاریخی بعد از زلزله ی ۱۹۹۴ نور شریج

از جمله فعالیت های انجام گرفته ی مهم در این ارتباط نیز می توان به همایش پروژه ی خشت گتی (۲۰۰۶) و گزارشی تحت عنوان مفاهیم جدید در استحکام بخشی لرزه ای ساختارهای خشتی تاریخی (Leroy Tolles,2006) اشاره کرد. مطالعات و آزمایشات انجام گرفته در این مرکز با شبیه سازی دیوارهای خشتی در آزمایشگاه بر روی میز لرزه انجام می-گیرد و نتایج در مقیاس واقعی تعمیم می یابد. (تصویر ۲ و ۳)



شکل ۴: بررسی الگوی تخریب

شکل ۵: بررسی رفتار سازه در مقیاس ماکت

در این رابطه مقاله ای وجود دارد که این مبحث را در سه بخش به تفصیل توضیح می دهد:

«۱- میزان مشاهده

۲- آزمایش های انجام گرفته

۳- تحلیل داده ها

میزان مشاهده به بررسی الگوی تخریب ساختمان های غیر مسلح پرداخته و با بررسی دقیق در این مورد به عملکرد تقویت ساختمان های غیر مسلح بر اساس ویژگی های لرزه می پردازد. در بخش دوم به مطالعه ی پارامترهای ساختمان در ارتباط با عملکرد تقویت کننده ها و مداخلات ویژه ی لرزه ای پرداخته می شود و در نهایت با پیش بینی آسیب ها، الگوی ریزش ساختمان های غیر مسلح و توسعه ی رفتارهای ویژه ی لرزه ای و پیش بینی عملکرد تقویت کننده ها پرداخته می شود. در بخش دیگری از این تحقیق مصالح خشتی و ملات ها را از نقطه نظرات زیر مطالعه نموده و تأثیر آنها را بر روی استحکام لرزه ای این مصالح ذکر کرده است:

۱- ویژگی های مواد موجود در خاک استفاده شده در مصالح

۲- پروسه ی خشک شدن (جمع شدن)

۳- تأثیر مواد افزودنی مانند آهک، سیمان و مواد پخش کننده نظیر سدیم کربنات

۴- پروسه ی ساخت مصالح خاکی

در مجموع موارد ذکر شده در این مقاله توسط آزمایش های تجربی و ساخت نمونه های کوچک شده در آزمایشگاه بررسی شده اند که نتاج بسیار کارآمدی نیز به دست آمده اند.» ((Webster, 2002

در این مبحث موضوع جدیدی به چشم می خورد که کاربرد آن در بحث حفاظت و مرمت مصالح تاریخی به تازگی مورد بررسی و کاربرد قرار گرفته است. کامپوزیت ها و نانو کامپوزیت ها اگر چه سال هاست در صنعت مورد استفاده قرار می-گیرند، اما در زمینه ی حفاظت و مرمت هنوز در مرحله ی مطالعه و آزمایش هستند. «کامپوزیت ها انواع مختلفی دارند. کامپوزیت های زمینه فلزی، زمینه سرامیکی، زمینه پلیمری و زمینه فلزی.» (کریم زاده و دیگران، ۱۳۸۴، ص ۱۵۴ و اندرسون، ۱۳۷۳، ص ۸۴) اما آنچه در اینجا به کار برده شده است کامپوزیت-های فیبری تقویت شده در زمینه ی پلیمری هستند. (FRP) بر این اساس همایشی با عنوان کاربرد FRP در حفاظت و مرمت خانه ی پرتالکیس در لندن در سال ۲۰۰۷ برگزار گردیده که کاربرد **FRP** را در بخش های مختلف ساختمان از جمله ساختار ملات، دیوارها و سایر بخش های آن نشان می دهد

«کامپوزیت های فیبری تقویت شده در پلیمر که با عنوان FRP شناخته می شوند، در حقیقت شامل الیاف مختلف کربن، شیشه یا فیبرهای آرامیدی هستند که در یک ماتریس پلیمری مانند اپوکسی، پلی استر و یا رزین استروینیل استفاده می-شوند. در مجموع سه نوع الیاف در FRP ها استفاده می شوند که عبارتند از:

پلیمر با فیبر شیشه GFRP، با فیبر کربن CFRP، با فیبر آرامیدی AFRP.» (کریم زاده و دیگران، ۱۳۸۴، ص ۱۶۰)

سابقه ی استفاده ی صنعتی از این نانو کامپوزیت ها به حدود دهه های ۷۰ و ۸۰ میلادی بر می گردد، اما استفاده از آنها در امر مرمت و حفاظت امری جدید محسوب می شود. کاربرد اصلی این کامپوزیت ها

در استحکام بخشی سازه ای جهت استقامت لرزه ای سازه هاست. با توجه به شدت خسارات وارده حاصل از زمین لرزه ها به سایت های تاریخی، در یکی از این موارد به استحکام بخشی سازه های آجری پرداخته شده است. هر چند در زمینه ی مصالح خاکی هنوز گزارش منتشر شده ای مبنی بر کاربرد آنها گزارش نشده است، اما شاید بتوان با اعمال تغییراتی زمینه ی کاربرد FRP ها را در سازه های خاکی نیز فراهم کرد.» مقاومت خمشی دیواره های غیر مسلح در مقاومت کششی ملات خلاصه می شود که مقدار آن در بیشتر ساختمان های قدیمی بسیار کوچک می باشد با استفاده از FRP در سطح بیرونی دیوار الیاف به خوبی قادر به پذیرش نیروی کششی بوده و دیوار همراه با مقاومت فشاری آجر، رفتار خمشی مناسبی ارائه می دهد.» (برداشت از، احسانی، ۱۳۸۶)

ت- مـواد افزودنی در بهبود خواص مصالح تولیدی

استفاده از مواد مختلف جهت بهبود شرایط فیزیکی و شیمیایی مصالح خاکی سـابقه ای دیرینه دارد؛ درحقیقت هم زمان با پیدایش معماری خاکی، بشر روش هایی را نیز برای افزایش طول عمر و استحکام این مصالح به کار برد.» استحکام بخشی خاک در تولید مصالح، همیشه یک اصل نیست و تنها در موارد خاص و ضروری لازم به اجراست، چرا که معمولاً مواد بهبود دهنده گران بوده و هزینه ی استحکام بخشی بیشتر از مواد اولیه خواهد شد.» (حامی، ۱۳۸۰، ص ۷۸)

»استحکام بخشی خاک معمولاً به سه طریق صورت می گیرد:

۱-استحکام بخشی مکانیکی

۲-استحکام بخشی فیزیکی

۳-استحکام بخشی شیمیایی

امروزه نیز خاک ها توسط دو گروه از مواد استحکام بخشی می شوند:

الف- مواد طبیعی آلی و معدنی ب- مواد سنتزی

گرچه در چند سـال اخیر از مواد سنتزی در این زمینه استفاده های بسـیاری شده است، اما همچنان تلاش می شود تا به دلایل اقتصادی تا جای ممکن با توجه به وضعیت جغرافیایی و اقلیمی منطقه از استحکام بخش های طبیعی استفاده شود.» (Pearson, 1992, p 8)

این مواد شامل الیاف گیاهی، الیاف حیوانی، چسب ها و رزین ها، مواد معدنی و غیره می شوند. تنها تفاوت استفاده از این مواد نسبت به گذشته، کیفیت استفاده از آنهاست نه نوع مواد. در حقیقت استفاده از این مواد از حالت تجربی خارج و به صورت کاملاً علمی در آمده است. «امروزه معروف ترین اصلاح کننده های سنتزی آلی عبارتند از: اتیل سیلیکات، اتیل-اکریـلات و اتیل متا کریلات با غلظت ۱۵ درصد. از پلی وینیل استات یا پلی وینیل الکل نیز در استحکام بخشی خاک استفاده شده است. علاوه بر این پلی اکریلامیدها، پلی آمیدها و ملامین فرمالدئیدها نیز به کار گرفته شده اند.» (Oliver, 2002)

Cieno)) از مواد زائد در صنعت اسـتایلن است که به تازگی برای استحکام بخشی خاک استفاده شده است. «برای تهیه ی آن سنگ آهک را کاملاً با پودر زغال سنگ مخلوط کرده و در کوره ی الکتریکی می پزند (0C1400). کاربید کلسـیم حاصل، از واکنش در آب استایلن آزاد می کند که ته مانده ی آن (Cieno) به عنوان استحکام بخش مورد استفاده قرار می-گیرد. این محصول فرعی، آهک آبدیده است که حاوی مقادیر اندکی زغال و استایلن می باشد. اگر این محصول به نسبت ۱۵ تا ۲۰ درصد وزنی با خاک مخلوط شود مقاومت در مقابل آب مصالح خاکی تولیدی بالا می رود و علاوه بر این، اسـتحکام کششی و فشاری خوبی نیز پیدا می کند.

$$CaCO_3 \xrightarrow{1400\ C} CaO + CO_2 \qquad CaO3 + C \qquad CaC2 + CO$$

$$(\text{کاربید کلسیم})\ CaC_2 + H_2O \longrightarrow C2H_5 + \cancel{Ca(OH)_2}$$

با این روش خشت های تولید شده دارای جذب آب ویژه در حدود ۰/۲۵ درصد می باشند که در تست

سایش آب، میزان از دست رفتن ماده ی اولیه تحت ۲ ساعت اسپری در فشـار ۱/۴ اتمسفر برای ۷/۵ درصد آهک، ۰/۷ درصد و برای ۱۰ درصد آهک ۰/۵۵ درصد اندازه گیری شده است.» (Chiari, 2003)

از گچ (CaSO4) نیز جهت استحکام بخشی خشت های تولیدی استفاده شده است.

«دلیل اسـتفاده از گچ، زود گیری و ارزان قیمت بودن آن است. این مخلوط حاوی ۲ درصد آهک، ۱۰ درصد گچ

و خاک با دانه بندی مناسب است که در حالت خشک با هم مخلوط شده و سپس با ۲۲ درصد آب مخلوط می گردد. از مزایای این تثبیت کننده نسبت به سیمان این اسـت که ۵ برابر در مصرف انرژی صرفه جویی دارد.

این ترکیب هم به صورت خمیر خشک قالب زده می شود و هم به صورت دوغاب روی سطح پاشیده می شود. خشت-های تولید شده در مدت یک هفته در زیر پلاستیک و ۴ هفته در سایه و در هوای آزاد قرار می گیرند» (Isik, 2003).

ث- حفاظـت بـاز دارنـده و کنترل شـرایط محیطی

این بخش نیز در مباحث امروزی حفاظت و مرمت سازه های خاکی جای خود را باز کرده و در حال رشـد و توسـعه است. عدم دخالت در سایت های باستانی می تواند تحت تأثیر تصمیمات فلسفی یا نتیجه ی پایداری سایت و یا عدم بودجه ی کافی باشد، اما نکته ی مهم و جدی در این مسأله این است که در حقیقت کنترل شرایط محیطی، ساده ترین،

منطقی ترین و بهترین راه حل ممکن است. بر همین اساس بیشتر بررسی های حفاظتی در سایت های خاکی در چند سال اخیر بر روی این مسأله متمرکز شـده اند. در این مورد تلاش بر این اسـت تا با مشاهده و ثبت آسیب ها و تخریبات و پارامتر های محیطی از میزان پیشرفت آسیب ها جلوگیری شود. بر این اساس نیز مؤسسه ها و سازمان های مربوطه راه-کارهای مختلفی ارائه کرده اند.

در بخشـی از گـزارش Fort selden آزمایش هایی در زمینه ی حفاظت فیزیکی سایت های خاکی اشـاره شده است. «یکی از روش های ارائه شده، استفاده از پارچه های بافته شده ی مخصوص با عنوان (Aerotextile) اسـت که در مقابل هوازدگی مقاومت می کنند. این بافته ها باعث مقاومت سایت خاکی در مقابل هوازدگی و تخریب آبی می شوند.»
(Fort Seldon, 2000)

دفن مجدد نیز از از راهکارهای مناسب درسایت هایی است که یا امکان حفاظت از آنها وجود نداشته و یا در معرض آسیب های جدی هستند

«برای این این منظور از شبکه های به هم بافته ای به نام (Geote-tile) استفاده می شود. این شبکه ها معمولاً الیاف کربن بوده که علاوه بر انعطاف پذیری از نظر شـیمیایی نیز خنثی هستند.» (Jerome, ۲۰۰۱)

ایـن بافته ها امروزه، به عنوان عامل یکپارچه کننده سـاختار های خشتی نیز به صورت آزمایشی در تعدادی از بنا های ارگ بم استفاده شده اند. این تکستایل ها از نظر اندازه ی حفرات، متفاوت بوده و بسته به نوع استفاده، انتخاب می شوند. در آزمایشات (Fort seldom) از ژئوتکستایل Mifafi 140N استفاده شده که نتایج مطلوبی به دنبال داشته است.

شکل ۶: تکستایل استفاده شده در زیر اندود

شکل ۷: تکستایل به کار رفته در بین خشت ها

کنترل آب های سطحی نیز در کنترل رطوبت صعودی و در نهایت افزایش طول عمر سازه ی خاکی نقش اساسی دارد. نحوه ی اجرای صحیح کانال کشی، زهکشی و هدایت آب های سطحی به خارج سایت بسیار مهم تر از اجرای هر گونه استحکام بخشی شیمیایی است. (برداشت آزاد از Hughes, 2001)

عدم کنترل رطوبت در محیط های خاکی علی رغم رساندن آسیب فراوان به مجموعه سـازه های خاکی، محیط مناسبی را نیز برای رشد عوامل بیولوژیک و مخصوصاً موریانه ها فراهم می کند. کنترل موریانه ها نیز نقش اساسی در حفظ ثبات و ایستایی سازه های خاکی دارد. «برای انجام موفق کنترل رطوبت از حرارت سنج های مادون قرمز استفاده شده که تفاوت رطوبت محیط را نشان می دهند و همچنین از فرکانس های رادیویی برای تعیین مناطق اشباع، نیمه اشباع و غیر اشباع استفاده شده است. روش های غیر مخرب دیگر شامل اشعه ی گاما، تفرق نوترونی، رادیوگرافـی نوترونی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته انـد.» (Ridout, 2004)

بحث و نتیجه گیری

در نهایـت با نگاهی گذرا به آنچه در گذشـته در زمینه ی حفاظت و مرمت مصالح خاکی انجام شـده اسـت و آنچه امروزه در این حیطه پیگیری می شود، می توان به اهمیت حفاظت پیشگیرانه در این بخش بیش از پیش پی برد. از حدود سال-های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ طیف گسترده ای از مواد و رزین های طبیعی آلی و معدنی تا سنتزی در استحکام بخشی این مصالح به کار گرفته شده اند. گرچه بعضاً این مواد نتیجه ی رضایت بخش داشته اند

و همچنان نیز به عنوان مواد استحکام بخش در این مورد استفاده می شوند، اما هیچ گاه به عنوان مطمئن ترین و مناسب-ترین راه حل مطرح نشده اند. این مسأله ممکن است به خاطر عدم شناخت کافی از کیفیت استحکام بخش های مصالح خاکی در طی زمان و یا نگرانی در زمینه ی مبانی اسـتفاده از این مواد در این زمینه باشد، چرا که این مواد با بافت گل یکی شده و محصولی به دست می دهد که از نظر ماهیت و اصالت متفاوت از گل اصلی است. با توجه به موارد گفته شده امروزه سعی می گردد تا بر مطالعات ساختاری و کنترل شرایط محیطی برای جلوگیری از رسیدن آسیب بیشتر تأکید شود. در مواردی نیز که نیاز به بازسازی بخش های از دست رفته است تا جای ممکن از ترکیب بهینه ی خاک،

بدون استفاده از استحکام بخش های شیمیایی استفاده می شود.

تشکر و قدردانی

از جناب آقای هوگو هوبن مسئول مؤسسه ی مطالعات خشت CR-Tere بابت پاسخ گویی به بعضی سؤالات، جناب آقای الکساندر بالوا مسئول بخش معماری خاکی موسسه ی گتی بابت ارائه ی گزارشات و مقالات ارزنده در این زمینه، جناب آقای حمید فدایی مسئول بخش تزئینات پژوهشکده ی مرمت آثار بابت راهنمایی های بی دریغشان وجناب آقای امیر حسین کریمی بابت کمک های شایسته بسیار سپاسگذارم و از درگاه خداوند متعال موفقیت روز افزون برای این عزیزان خواستارم.

منابع

۱. احسانی. محمدرضا؛ پور شاهید. اسماعیل؛ (۱۳۸۶) «مقاوم سازی دیوارهای آجری به کمک الیاف پلیمری مسلح شده (FRP)»، مجله ی نما، سال ۱۶، دوره ی سوم، شماره ی پیاپی ۱۴۴-۱۴۵، اسفند و فروردین

۲. اندرسون. ای، لوکس. ب، «تکنولوژی و کاربرد مواد چند سازه (کامپوزیت ها)»، ترجمه ی سعید درودیانی، (۱۳۷۳)، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول

۳. بالازاده. پرویز، (۱۳۸۶)، «فرهنگ توصیفی شیمی»، فرهنگ معاصر، چاپ دوم، تهران

۴. حامی. احمد، (۱۳۸۲)، «مصالح ساختمانی»، دانشگاه تهران، چاپ دهم، تهران

۵. دوتیه. ژان، «معماری با خاک»، ترجمه ی محمد احمدی نژاد، (۱۳۸۵)، نشر خاک، چاپ اول، اصفهان، بهار، (تحقیقی از مرکز آفرینش های صنعتی ژرژپمپیدو)

۶. رحیمی. اعظم، (۱۳۸۴)، «آشنایی با پلیمر ها و کاربرد های آن»، پژوهشکده ی پلیمر و پتروشیمی ایران، چاپ اول

۷. رحیمی. اعظم، (۱۳۸۶)، «سیلیکون ها»، پژوهشکده ی پلیمر و پتروشیمی ایران، چاپ دوم، تهران

۸. کریم زاده. فتح الله، قاسمعلی. احسان، سالمی زاده. سامان، (۱۳۸۴)، «نانو مواد (خواص، تولید و کاربرد)»، جهاد دانشگاهی دانشگاه صنعتی اصفهان، چاپ اول، اصفهان، زمستان

9. Alva. balderrame. Alejandro, 2008, » Earthen architecture», PDF, www.getty.org/earhen architecture/New current

10. Alva. balderrame. Alejandro, 2001, »The conservation of Earthen Architecture», Getty conservation of Inistitute Newsletter, Vol 16, No 1

11. Cancino. Claudia, 2003, »Recording, condition survey and evaluation», project Terra Literature Review, GCI, USA

12. Chiari. G, Benitez. N, Casal. F. T. Iglesias, R. lopez. Bastida, Mattone. R, Amador. Zerquera. D, 2003, »Auto-Construction of Rural Housing using Hand Compressed Earthen Blocks Stbilized With lime As a Byproduct of the Acetylene Industry», Iran, Terra

13. Fort Selden Terra 2000, » Adobe Test Wall project», phase I, Final report

14. Houben. Hugo, Gillaud. Hubert, 1994 »EARTH CONSTRUCTION», INTERMEDIATE TECHNOLOGY publication, LONDON

15. Hughes. Richard, 2001,»structural and hydrological engineering», project Terra Literature Review, GCI, USA

16. Isik. Bilge, 2003, »Case study on Alkar(Earth) shooting Technology», 9th terra conference, Iran

17. Jansen. Micheal, »Mohenjo – Daro- Pakistan, the problem of Adobe & Brick conservation», Terra 9th International conference of Adobe, IRAN. 2003

18. Leroy Torrel. E, Kimbro. Edna E, Webster. Frederick A. William S. Ginell, 2006 »seismic stabilization of historic Adobe structure», Final report GCI, USA

19. Lubelli. Barbara, p. j Van Hees. rob, J. w. p. Groot. Casper, 2006,»The effect of Environmental conditions on Sodium Chloride Damage», Studies in conservation, No 51

20. Oliver. Anne, 2002, »Conservation interventions for earthen archaeological sites», project Terra Literature Review, GCI, USA

21. Pearson. T. Gordon, 1992, »Conservation of clay and chalk Building», Donhead publication, UK

22. Pieris. Sita.ed, 1993, » Earthen architecture», International scientific commite, Icomos, seri lanka

23. Rainer, Leslie H, Water, 2003, »Wind, Salt, biological, Environment, deterioration», project Terra Literature Review,GCI, USA

24. Rainer. Leslie H, 2004, »Interventions and maintenance of decorated surface on earthen

architecture», project Terra Literature Review, GCI, USA
25. Ridout. Brian. V, 2004, »Overview of moisture monitoring and biological control in the walls of earth building», project Terra Literature Review, GCI, USA
26. Terra, 9th International conference on the study and conservation of Earthen architecture, pre-print of paper, (ICHO)publication, 2003
27. Velde[1]. Bruce, 2003, »clay minerals and Earthen Materials», project Terra Literature Review, Getty publication, USA
28. Velde[2]. Bruce, »compaction of soils and fine grains earthen materials», project Terra Literature Review. GCI, USA
29. Webster. Fred, 2002, »seismic deterioration/ pathology of earthen architecture and seismic interventions in Earthen architecture», project Terra Literature Review, GCI, USA

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی