

گرپارس

سازمان نظام مهندسی ساختمان استان فارس

معماری	ساختمان
تاسیسات	شهر سازی

دوره‌ی دوم، سال ششم

شماره‌ی ۱۸

آبان ماه ۱۳۷۵

لطفعلی بهپور

عضو هیأت علمی بخش مهندسی راه
و ساختمان دانشکده‌ی مهندسی دانشگاه شیراز

رو که اول حدیث پایه کنند
هرکجا گفت و گوی دیوار است
بروین اعتصامی

پی سازی در ایران قدیم

بخش سوم از مجموعه مقاله‌های «سازه‌های قدیمی ...»

۱. پیش‌گفتار

اما، باید گفت که کمبود آگاهی‌ها چیزی از اهمیت آن نمی‌کاسته است. به طوری که در نوشته‌ها و اشعار گذشتگان بر اهمیت پی اشاره‌های فراوان شده است تا جایی که «پی افکندن» با «ساختن» مترادف شده است. فردوسی می‌گوید:

«پی افکندم» از نظم کاخی بلند

که از باد و باران نیابد گزند
امروز هم در گفت و گوهای روزانه، کلماتی چون «اساسی»، «بنیادی»، «زیربنایی» و مانند این‌ها برای مهم شمردن یک کار آورده می‌شوند که همگی بر اهمیت پی اشاره دارند.

۳. هدف‌های پی سازی

پیش از پرداختن به موضوع پی سازی در قدیم، نخست ببینیم که کار پی چیست؟ اصولاً پی را برای برآوردن نیازهایی ایجاد می‌کنند که در گذشته و اکنون تفاوت چندانی نکرده است. نیازهای عمده که پی باید برآورد و در واقع، هدف‌های ساختن پی‌ها عبارت‌اند از:

الف. پخش فشار وارد از ساختمان بر خاک به طوری که از میزان باربری خاک بیش‌تر نشود، چه اگر این‌گونه نباشد، خرابی بنا را به دنبال خواهد داشت؛

ب. جلوگیری از نشست بیش از اندازه‌ی ساختمان و نیز افزایش توان بنا در تحمل نشست‌های محتمل؛

پ. افزایش توان ساختمان در تحمل بارهای دینامیک، مثل نیروهای حاصل از زلزله و باد؛

ت. پایدار کردن خاک زیر ساختمان در برابر آب؛

ث. پایدار کردن ساختمان در برابر لغزش؛

ج. جلوگیری از رخنه‌ی حیوانات موزی و حشرات به زیر و داخل ساختمان؛

پی سازی در ایران به همان اندازه‌ی ساختمان سازی قدمت دارد. هرچند که آن چه که درباره‌ی پی سازی در نوشته‌ها و پژوهش‌های مربوط به بناهای قدیمی آمده است، بسیار ناچیز است، اما، بدیهی است که بدون دانش کافی و چیرگی در امر پی سازی، هیچ سازه‌ی با دوام قدیمی نمی‌توانست موجود باشد. چنان که در بخش‌های پیش گفته شد، برای کامل شدن شناخت ما از سازه‌های قدیمی و فن‌آوری مهندسی گذشته‌ی ایران و نیز جهت تعمیر و مرمت آثار باستانی و سرانجام، به منظور استفاده از دست‌آوردهای گذشتگان در مهندسی جدید، بررسی تاریخ و چگونگی پی سازی در ایران قدیم دارای اهمیت است. در این بخش بررسی کوتاهی در این زمینه خواهیم داشت.

۲. چرا آگاهی‌ها درباره‌ی پی سازی سازه‌های قدیمی ناچیز است؟

به نظر نگارنده دلایل چندی برای این کمبود دانسته‌ها وجود دارد که به طور خلاصه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف. پی در زمین نهفته است. بنابراین، بیش‌تر جهان‌گردان، ایران‌شناسان، تاریخ‌دان‌ها و نویسندگانی که درباره‌ی ساختمان‌ها نوشته‌اند، از پی حرفی به میان نیاورده‌اند، زیرا آن را نمی‌دیده‌اند و معمولاً دانش مهندسی و دید فنی نیز نداشته‌اند که از این نظر، در مورد ساختمان‌ها بررسی و تحقیق کنند.

ب. علم مکانیک خاک و پی‌سازی به صورت تدوین یافته‌ی امروزی دانش جوانی است که تنها در چند دهه‌ی اخیر در ایران رواج یافته است. در گذشته این دانش به شکل تجربه‌های دست‌اندرکاران، سینه به سینه از استاد به شاگرد منتقل می‌شده است و کم‌تر متن نوشته شده‌ای در این باره موجود است.

می‌گرفتند. اگر طبقه‌بندی اشاره شده در قسمت ۳ را در مورد اهداف پی‌سازی در نظر بگیریم، برای نمونه، در هر مورد مختصری از روش‌های قدیم را مطرح می‌سازیم، ولی، باید توجه داشت که بررسی کامل هر یک از این موارد، در این مختصر نمی‌گنجد و کار و پژوهش گسترده‌ای را نیازمند است.

الف. پی و میزان باربری خاک

معماران قدیم مقاومت یا میزان باربری خاک [Bearing Capacity] را از روش‌های زیر به دست می‌آوردند:

- بررسی جنس خاک [رسی - شن و ماسه‌ای - سنگی و ...]؛
- بررسی مقاومت خاک در مقابل کنده شدن [بیلی - کلنگی - نیمه سنگی - سنگی]؛

- توجه به تجربه‌های موجود در محل با بررسی رفتار ساختمان‌های بنا شده از پیش؛

- بودن یا نبودن آب و رطوبت در خاک.

ضمناً، این آگاهی نیز وجود داشت که ساختمان روی خاک‌های نباتی و دست ریز نباید ساخته شود و هرچه که ژرفای پی بیش‌تر شود، مقاومت خاک افزایش می‌یابد. پی را آن قدر پایین می‌بردند تا به خاک سفت و محکم برسند. در سنگ نوشته‌ای که در محل کاخ داریوش در شوش پیدا شده‌است، آمده‌است: «این کاخ را من ساختم ... زمین کنده شد تا این‌که به خاک سفت رسیدم و خندقی درست شد. سپس، قلوه سنگ و شفته در آن انباشته شد، در طرفی به بلندی ۴۰ ارش و سوی دیگر تا ۲۰ ارش. روی آن شفته کاخ بنا گردید». [مأخذ شماره‌ی (۱) صفحه‌ی ۳۰] همین روش را پس از آن در مورد بسیاری از ساختمان‌ها می‌توان دید.

البته، یافتن مقاومت خاک در گذشته دقت ریاضی امروز را نداشته است و در واقع، خاک‌ها را در چند محدوده قرار می‌داده‌اند.

پس از تعیین حدود مقاومت یا استحکام خاک، نوع، عمق و اندازه‌های پی یا شالوده مشخص می‌شد. در بیش‌تر موارد با توجه به این‌که ساختمان‌های قدیمی دارای اسکلت نبوده و معمولاً دیوارها کار باربری را انجام می‌دادند، پی‌ها از نوع نواری یا دیواری بوده‌است و تنها در مواردی که ستون در ساختمان به کار می‌رفته است، از پی تک هم استفاده می‌شده‌است. در صورتی که بار وارده بیش از حد سنگین بوده [مثلاً در مورد برج‌ها] و یا کنترل نشست مورد نظر بوده‌است، از پی‌های گسترده

ج. افزایش ارتفاع کف ساختمان نسبت به محیط اطراف.

امروز پی ساختمان‌ها برای برآوردن نیازهای بالا، به کمک روش‌ها و تئوری‌های مدون موجود محاسبه و ساخته می‌شوند که ریاضیات در بیش‌تر این تئوریها کاربرد دارد. اما، ببینیم که در گذشته، چگونه با این مسایل برخورد می‌کردند.

۴. روش‌های معماران قدیم در امر پی‌سازی

جالب است بدانیم که در گذشته نیز روش‌های حل مسایل فنی در زمینه‌های گوناگون ساختمان به طور منظم و حساب شده [سیتماتیک] آموزش داده می‌شد و معماران برجسته، نه تنها بر روش‌های ساختمانی، بلکه بر علوم و ریاضیات و حتی هنرهای زمان خود آگاهی داشتند. پروفیسور پوپ می‌گوید: «در بیش‌تر اعصار، معمار علاوه بر یک دوره‌ی طولانی شاگردی که شامل کار بدنی، مانند سنگ تراشی و بنایی و کاشی تراشی و نجاری بود، آموزشی نیز در ریاضیات می‌دید. وی در ادبیات و شعر هم تعلیماتی دریافت می‌کرد.» [مأخذ شماره‌ی (۱) صفحه‌ی ۳۲۲] به نظر پروفیسور پوپ تجربه‌ی معمار نیز به اندازه‌ی آموزش سازنده‌ی اولیه او اهمیت داشت. وی هم‌چنین، آشنایی معمار قدیم به همه‌ی جوانب کار را لازمه‌ی موفقیت او می‌دانست و به نقل از ابن خلدون می‌گوید: «تنها معمار متخصص که آشنا به تمام دقایق ساختمانی باشد می‌تواند به حل چنین مسایلی بپردازد، زیرا چنان چه قسمت‌هایی از بنا که کم‌تر آشکار است، به خصوص، دستگاه پیچیده‌ی جریان آب و فاضلاب، خوب طرح‌ریزی و درست ساخته نشده باشد، ممکن است خسارت زیادی به بار آورد. این‌ها مسایل فنی است که فقط معمار کارآزموده می‌تواند به درستی درباره‌ی آن قضاوت کند.» [مأخذ شماره‌ی (۱)، صفحه‌ی ۳۲۳].

در علمی بودن کار معماران بزرگ گذشته پروفیسور پوپ به این نکته نیز اشاره می‌کند که: «این استادان، نه تنها از نمونه‌های موفق معماری بهره می‌گرفتند، بلکه از آن آثاری که نقص‌شان آشکار می‌گشت، مخصوصاً، طاق‌ها و گنبد‌های شکاف برداشته و کج شده سود می‌جستند.» [مأخذ شماره‌ی (۱)، صفحه‌ی ۳۲۴] که جمله‌ی اخیر دلالت آشکار بر توجه به مشکلات پی در نزد معماران قدیم دارد.

در هر حال، معماران گذشته مسایل مختلف پی را نیز هم‌چون بخش‌های دیگر بنا با دقت مورد توجه قرار می‌دادند و از دانش موجود و تجربه‌ی شخصی برای حل مشکلات بهره

استفاده می‌گردید.

عمق پی را با توجه به مراتب زیر پیدا می‌کردند:

- ضخامت خاک نباتی؛

- ضخامت خاک دست‌ریز؛

- ضخامت مورد نظر برای خود شالوده [سنگینی

ساختمان]؛

- ژرفای لازم برای رسیدن به خاک محکم و یا سنگ.

اندازه‌ها و ابعاد پی پس از آن مشخص می‌گردید. ضخامت

پی با توجه به سنگینی ساختمان و میزان بار وارد [نیروی برشی

در پی] تعیین می‌گردید؛ مثلاً، برای پی برج‌ها ضخامت زیادی در

نظر گرفته می‌شد. جالب است که معمولاً برای بارهای سنگین

در مقاطع محدود [مثل پی برج‌ها] انتقال بار به پی با کمک یک

پایه [Pedestal] انجام می‌شد؛ یعنی روی پی اصلی یک یا چند

سکو ساخته می‌شد تا بالاخره، به دیوار یا برج اصلی برسند.

نمونه‌های این نوع پی‌سازی را در تمام برج‌ها می‌توان دید.

هم‌چنین، پی دیوارهای سنگین مانند پی دیوار ارگ‌ها و قلعه‌ها

معمولاً به این شیوه ساخته شده است. در واقع، بدین ترتیب،

علاوه بر پخش بار بر خاک، پی در مقابل برش به خصوص،

برش منگنه‌ای [punching] تقویت می‌شد.

طول و عرض پی با توجه به مقاومت زمین تعیین

می‌گردید، ولی، در هر حال، اندازه‌های پی از ابعاد دیوار، ستون

و یا سازی باربر روی آن بزرگتر بود، بدین ترتیب، علاوه بر

پخش بار بر خاک، مقاومت ساختمان در مقابل بارهای جانبی

نیز بیش‌تر می‌شد و با توجه به مصالح موجود، ضریب

اطمینانی در مقابل فرسایش مصالح نیز ایجاد می‌گردید.

بی‌توجهی به نکته‌ی بالا، یعنی عریض بودن پی

ساختمان‌های قدیمی بزرگ، گاهی صدمه‌های جدی به این

ساختمان‌ها وارد کرده است. مثلاً، یکی از دلایل کج شدن برج

گوشه‌ی جنوب شرقی ارگ کریم‌خانی شیراز، بریدن قسمتی از

پی آن توسط صاحبان مغازه‌های تیمچه‌ای بود که قبلاً به این

برج چسبیده بود. این افراد برای ایجاد زیرزمین و انبار،

قسمت‌های عمده‌ای از پی برج و دیوار جنوبی را بریده بودند که

این موضوع پس از تخریب تیمچه در جریان احیای مجموعه‌ی

زندیه معلوم گردید. [شکل‌های شماره‌ی (۱) و (۲)]



شکل‌های شماره‌ی (۱) و (۲)

تخریب پی برج جنوب شرقی و دیوار جنوبی ارگ کریم‌خانی جهت انبارسازی توسط مغازه‌داران در سال‌های گذشته

اکنون بینیم با پدیده‌ی نشست امروز چگونه برخورد می‌کنند و در گذشته چه می‌کردند. در زمان حاضر، مهندسان ابتدا، با استفاده از آزمایش‌هایی که روی خاک انجام می‌شود، ویژگی‌های آن را تعیین می‌کنند و سپس، حداکثر نشست محتمل را محاسبه می‌کنند. پس از آن، میزان نشست نابرابر را تخمین می‌زنند.

اگر نشست از نوع تحکیمی باشد، زمان وقوع آن را نیز محاسبه می‌کنند، حال اگر میزان نشست پیش‌بینی شده ناچیز باشد، مشکلی وجود نخواهد داشت. اما، در صورت زیاد بودن آن، راه‌های مختلفی را می‌توان در پیش گرفت. مثلاً، در مورد نشست فوری می‌توان از ایجاد ساختمان در محل قبلی صرف نظر کرد و جای بهتری را برگزید. می‌توان ساختمان را سبک کرد تا میزان نشست هم کاهش یابد. ممکن است در صورت امکان، پی‌ها را بزرگ کرد. کوبیدن خاک، تثبیت خاک با مواد پایدارکننده و روش‌های دیگری نیز گاهی کاربرد دارند. تقویت ساختمان و پی جهت تحمل نشست‌های حاصل نیز امکان‌پذیر است. در مورد نابرابر بودن نشست نیز امروز با تغییر دادن ابعاد پی‌های مختلف کوشش می‌شود که تا حد ممکن، نشست قسمت‌های مختلف برابر باشند. علاوه بر آن، سازه را برای تحمل مقدار معینی نشست نابرابر می‌توان طراحی کرد. کاربرد پی‌های گسترده و ویژه نیز از دیگر راه‌های ممکن است.

برای مقابله با نشست تحکیمی نیز روش‌های مختلفی به کار می‌رود، مثل:

- محاسبه و پیش‌بینی مقدار نشست تحکیمی و طرح ساختمان به منظور تحمل این نشست؛

- تغییر دادن محل ساختمان در صورت امکان؛

- سبک کردن ساختمان؛

- کاربرد پی گسترده [Mat Foundation] به منظور هماهنگ کردن نشست قسمت‌های مختلف، علاوه بر پخش بهتر فشار بر خاک؛

- سرعت دادن به نشست به کمک افزودن باری سنگین بر خاک [معمولاً با ایجاد خاکریز] و رها کردن آن برای مدتی تا تمام یا عمده‌ی نشست انجام شود و سپس، برداشتن خاکریز و ایجاد بنا به جای آن، که این روش را پیش بارگذاری [Preloading] می‌نامند و اغلب با حفر چاه‌های زه‌کش جهت تسهیل خروج آب و در نتیجه، تسریع نشست همراه است؛

- برداشتن قسمتی از خاک در محل ایجاد ساختمان و ایجاد

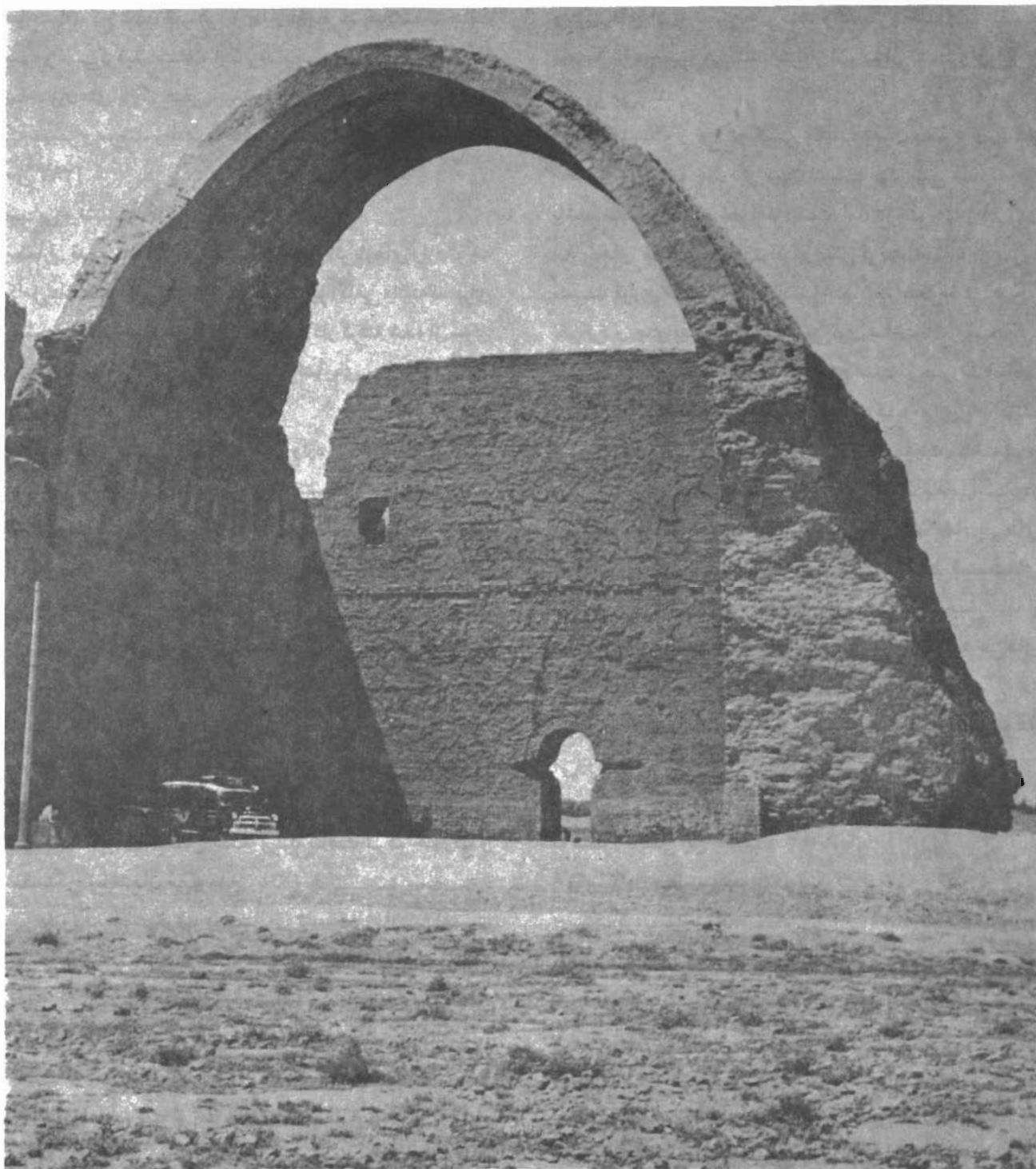
گاهی نیز عجله در اتمام ساختمان از طرف حکام و فرمان‌روایان باعث می‌شد که پی‌سازی با دقت و با اندازه‌های لازم ساخته نشود که نتیجه‌ی آن بعداً، به صورت ترک خوردن ساختمان، کج شدن قسمتی از بنا و ایجاد مشکلات مختلف بروز می‌گردید. مثلاً، این موضوع در مورد بعضی از ساختمان‌های بزرگ صفویه بعدها باعث بروز اشکالات گردید که تعمیر و مرمت زیادی را ضروری کرد. [مأخذ شماره‌ی (۲)، ص ۲۹۴]

ب. پی و نشست خاک و ساختمان

معماران قدیم به مسأله‌ی نشست خاک در اثر بارهای وارد توجه کامل داشته‌اند و ضمناً، به انواع نشست نیز آگاهی داشته‌اند. برای روشن‌تر شدن موضوع و روش‌های به کار گرفته شده از سوی استادان معماری قدیم ایران، نخست، اشاره‌ای به انواع نشست ضروری است.

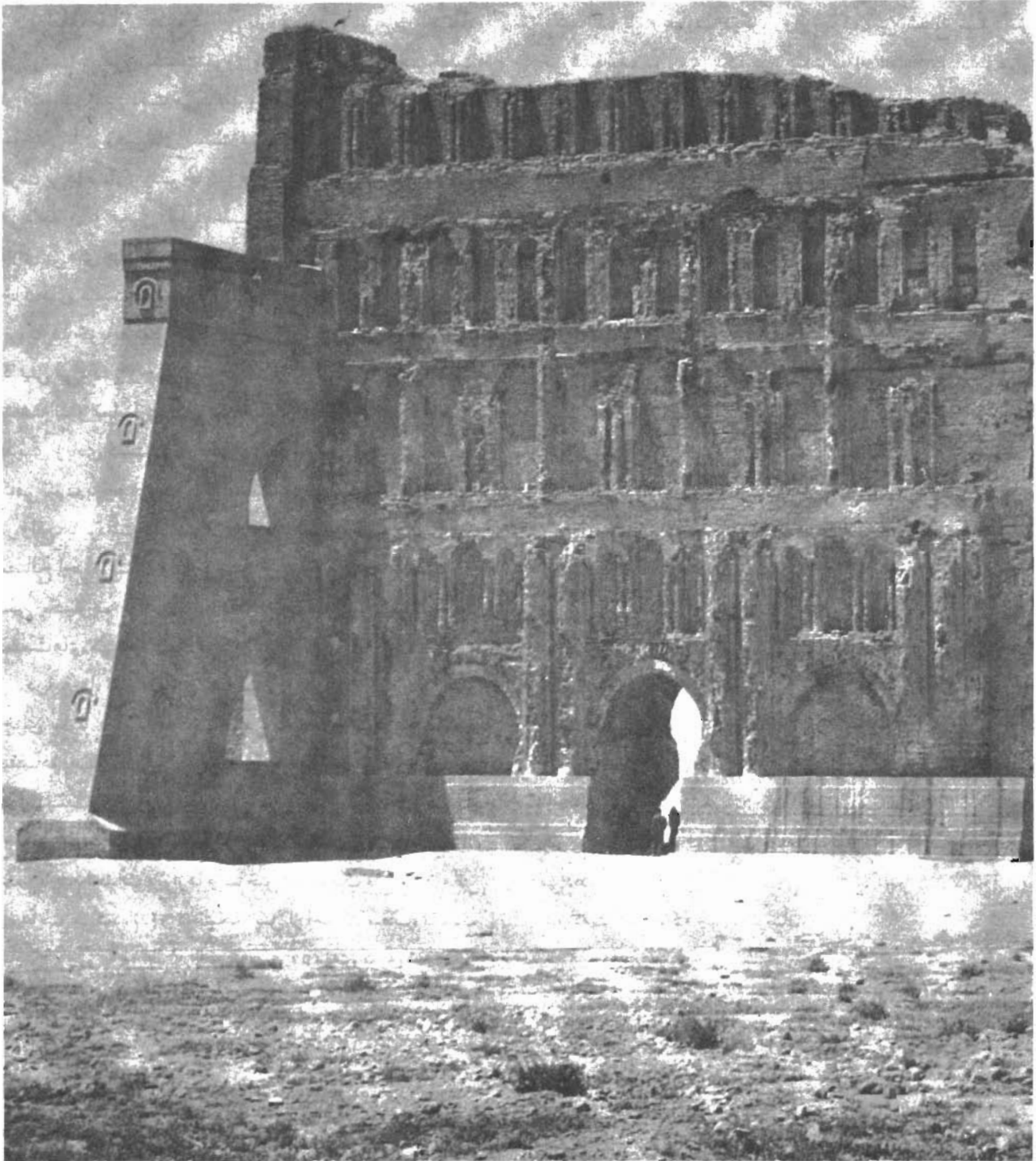
به طور کلی، در اثر بارهای وارد از ساختمان، خاک دستخوش مقداری فشردگی و در نتیجه، نشست می‌گردد. اندازه‌ی نشست به جنس خاک و مقدار بار بستگی دارد. اما، چون ممکن است خاک کاملاً همگن نباشد و از سویی، بارهای وارد از بخش‌های مختلف سازه بر خاک برابر نباشند، لذا، امکان دارد که نشست در قسمت‌های مختلف یکسان نباشد. در نتیجه، در مسأله‌ی نشست، علاوه بر میزان حداکثر نشست، باید یکسان بودن یا نبودن آن در سطح بنا را نیز در نظر گرفت. باید گفت که غیر یکنواخت بودن نشست یا نابرابری نشست در قسمت‌های مختلف [differential settlement] بیش از نشست کل یا حداکثر، برای ساختمان مضر است، زیرا، باعث ترک خوردن و شکستگی ساختمان می‌گردد.

علاوه بر نکات فوق، در مسأله‌ی نشست، زمان نیز اهمیت زیاد دارد. در همه‌ی انواع خاک‌ها، غیر از خاک‌های رسی اشباع شده از آب، نشست تقریباً فوری است؛ یعنی هم‌زمان با ساختن بنا، نشست هم انجام می‌شود. اما، در خاک‌های رسی اشباع شده، نشست به زمان بستگی دارد و برای فشرده شدن خاک در اثر بارهای وارد باید آب از حفره‌های خاک خارج شود که به دلیل ریزدانه بودن و نفوذپذیری کم خاک رسی این کار نیازمند زمان است. این نوع نشست را امروز «تحکیم» [consolidation] می‌نامند و توضیح مَدون آن را نخست، دانشمند مشهور مکانیک خاک، «کارل ترزاقی»، مطرح کرد.



شکل شماره‌ی (۳)

ایوان مداین [برگرفته از مأخذ شماره‌ی (۴)]



معماران هوشمند ایرانی اصول این تئوری را در ساختمان‌های متعدد به کار گرفته‌اند. در زیر، روش‌های متداول توسط این معماران را در این مورد به طور خلاصه می‌آوریم:

روش اول، بیش‌تر بناهایی را که نشست زمانی یا تحکیمی داشته‌اند، یا به عبارت دیگر، روی خاک رس اشباع شده بنا می‌شده‌اند، بر روی یک پی گسترده [Mat Foundation] قرار می‌داده‌اند.

روش دوم، از عامل زمان سود می‌جسته‌اند؛ یعنی، پس از ساختن دیوارها برای مدتی ساختمان را رها می‌کردند تا در اثر وزن دیوارهای سنگین، نشست زمانی یا تحکیم انجام شود. در این مورد، فردوسی داستان جالبی را مطرح می‌کند که نشان دهنده‌ی آگاهی دقیق گذشتگان از روش تحکیم خاک بوده‌است. - فردوسی می‌گوید که وقتی برای ساختن ایوان مداین بهترین مهندس و معمار زمان را انتخاب کردند و مشغول به کار شدند، نخست، پی‌ها را با عمق زیاد، یعنی ده شاهرش [حدود ۲۰ متر] و پهنای پنج شاهرش [حدود ۱۰ متر] بنا کرد:

فرو برد بنیاد ده شاهرش

همان شاه رش پنج کرده برش

ز سنگ و ز گچ بود بنیاد کار

چنین کرد تا باشد آن پایدار

پس از بالا آمدن دیوارها، مهندس درخواست کرد که کار مدتی تعطیل شود:

چو فرمان دهد خسرو زودیاب

نگیرم بدین کار کردن شتاب

اما، خسرو که از مسایل فنی اطلاعی نداشت و برای اتمام کار شتاب داشت، قبول نمی‌کند و معمار را مورد سرزنش قرار می‌دهد:

بدو گفت خسرو که چندین زمان

چرا خواهی از من توای بدگمان

در نتیجه، معمار چون نمی‌تواند خسرو را متقاعد کند، ابتدا، دستور می‌دهد توسط زنجیری ارتفاع دیوارها دقیقاً اندازه‌گیری شوند و سپس، زنجیر را به خزانه دار می‌سپرد و شبانه می‌گریزد. خسرو پس از آگاهی از فرار مهندس خشمگین می‌شود و این کار را حمل بر بی‌دانشی او می‌کند:

چنین گفت کان را که دانش نبود

چرا پیش ما پیشدستی نمود

زیرزمین برای بنا، به طوری که وزن خاک برداشته شده با تمام یا قسمتی از وزن ساختمان برابر باشد و در نتیجه، نشست جدید زیادی صورت نگیرد. این روش برای کم کردن نشست فوری نیز مفید است. این روش امروز زیاد به کار می‌رود.

و اما، معماران قدیم در این باره از چه روش‌هایی استفاده می‌کردند؟ در مورد نشست فوری که بیش‌تر مطرح بود، نخست، در انتخاب زمین دقت می‌کردند و تا آن جا که امکان داشت، از ساختن بنا در زمین‌های سست دوری می‌کردند. دوم، با عریض کردن پی‌ها فشار وارد بر خاک و در نتیجه، میزان نشست را کاهش می‌دادند و به همین دلیل، اغلب ساختمان‌های بزرگ قدیمی دارای پی‌های پهن هستند. سوم، عمق پی را زیاد می‌گرفتند تا از خاک‌های سست سطحی رد شوند و به خاک محکم‌تر برسند. این کارها خود به دلیل کم کردن نشست کل، نشست نابرابر را نیز کاهش می‌داد، با وجود این، چون ساختمان‌های قدیمی اسکلت نداشته‌اند و ناماسازی آن‌ها نیز در برابر ترک و شکستگی ضربه پذیری زیادی داشتند، در صورتی که چاره‌جویی‌های یاد شده کافی نبود، با ایجاد یک سکو یا صفحه‌ی پیوسته در زیر کل بنا که در واقع، با برداشتن قسمتی از خاک و شفته‌ریزی یا پی‌سازی با مصالح آجر و سنگ و گچ و آهک و ساروج انجام می‌شد، یک پی یکپارچه و گسترده [Mat Foundation] در زیر تمام یا قسمت‌های مهم بنا ایجاد می‌کردند.

در این جا، اشاره به این نکته نیز لازم است که چون دیوارها و اجزای باربر در سازه‌های قدیمی ضخیم و سنگین بوده و سقف‌ها به نسبت سبک بوده‌اند [گنبد، طاق، چوب و حصیر و ...]، نشست‌های اصلی، چه برابر و چه نابرابر، عمدتاً قبل از احداث سقف صورت می‌گرفته است [به ویژه، که معماران معمولاً بین احداث دیوارها و ساختن سقف یک فاصله‌ی زمانی را رعایت می‌کرده‌اند] و در نتیجه، پس از احداث سقف، نشست حاصل ناچیز بوده است. این درست و ارونه‌ی کاری است که امروز در بسیاری از ساختمان‌ها می‌شود، یعنی سقف‌های سنگین بر روی دیوارهای نسبتاً نازک و یا پی‌های محدود و معدود قرار می‌گیرند.

و اما، روش برخورد معماران قدیم با نشست‌های زمانی یا «تحکیمی» واقعاً قابل توجه است و نشان می‌دهد که بر این نوع نشست نیز آگاهی کامل داشته‌اند. به عبارت دیگر، قرن‌ها پیش از آن که تئوری نشست تحکیمی «کارل ترزاقی» تدوین شود،

مهندس پس از سه سال باز می‌گردد:

بسی یاد کردند از آن کار جوی

به سال چهارم پدید آمد او

وی آن گاه، دستور می‌دهد که زنجیر را بیاورند و ارتفاع دیوارها را دوباره اندازه‌گیری کنند و معلوم می‌شود که هفت رش [حدود ۳ متر]، دیوارها کوتاه شده‌اند و در واقع نشست کرده‌اند:

به پیمود بالای کار و برش

کم آورد کار از رسن هفت رش

آن گاه، به خسرو می‌گوید که در صورتی که در آن زمان طاق بنا می‌شد و نما سازی‌ها انجام می‌گرفت، همه از بین می‌رفت:

نه دیوار ماندی، نه طاق و نگار

نه من ماندمی در بر شهریار

هرچند که ممکن است اندازه‌های داده شده توسط فردوسی اغراق آمیز باشد، اما، اصل داستان به خوبی، آگاهی مهندس را از مسأله‌ی نشست تحکیمی و روش‌های مقابله با آن نشان می‌دهد. [شکل شماره‌ی (۳)]

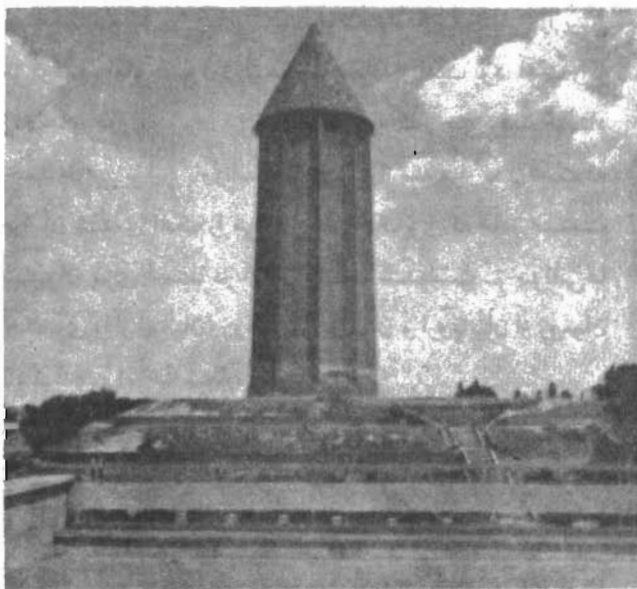
روش سوم. در مواردی معماران قدیم برای حل این مشکل، چنان‌که امروز مرسوم است، از خاک برداری یا احداث زیرزمین استفاده می‌کرده‌اند که در بسیاری از بناهای قدیمی قابل مشاهده است. البته، احداث زیر زمین استفاده‌های دیگر هم داشته است. اما، یکی از دلایل آن همین موضوع بوده است.

روش چهارم. در مورد بعضی از ساختمان‌های سنگین و مهم، از پیش بارگذاری [preloading] استفاده شده است. در این مورد تنها یک تفاوت با روش پیش بارگذاری امروزی وجود داشته است و آن این که در پیش‌گذاری‌های امروزی، پس از انجام شدن نشست مورد نظر، بار [خاکریز] را برمی‌دارند. اما، در بعضی از ساختمان‌های قدیم بار در همان محل باقی می‌مانده است. خود بار نیز گاهی به همین دلیل، به جای خاکریز از یک صفت یا سکو تشکیل می‌شده است که علاوه بر بارگذاری، وظیفه‌ی بالا آوردن کف ساختمان را نیز انجام می‌دهد؛ با این کار، اولاً، در هزینه‌ی برداشت خاک صرفه‌جویی می‌شده و ثانیاً، توزیع یکنواخت فشار بهتر انجام می‌گرفته و بالاخره، در مواردی خاکریز یا سکوی ایجاد شده، در اطراف پی اصلی به صورت یک سربار جانبی [به ویژه، در مورد سازه‌های با مقطع محدود] روی خاک عمل می‌کرده و مقاومت و باربری خاک را افزایش می‌دهد. البته، باید گفت که حجم و وزن خاکریز یا سکو

خیلی بیش از وزن خود ساختمان بوده است تا نشست حاصل از احداث ساختمان اصلی ناچیز باشد.

به نظر نگارنده، بهترین نمونه‌ی پیش بارگذاری و به طور کلی، پی‌سازی استادانه را در بنای گنبد قابوس می‌توان مشاهده کرد. این بنا که نزدیک به هزار سال پیش [۷-۱۰۰۶ میلادی - حدود ۳۸۵ هجری شمسی] ساخته شده، گور برج مانند قابوس بن و شمشگیر است. ارتفاع آن از روی سکو تا نوک حدود ۵۱ متر بوده و از روی سکو نیز حدود ۱۱ متر به طرف پایین امتداد یافته است که در زیر آن نیز، قاعدتاً پی‌سازی انجام شده است.

به نظر می‌رسد که پس از پی‌سازی اولیه، خاکریزی انجام گرفته و پس از گذشت زمان کافی، در داخل خاکریز و تا روی پی، حفاری شده و بدنه‌ی برج ساخته شده باشد. با توجه به وجود رس اشباع در این منطقه و وزن عظیم برج و وجود خاکریز یا تپه‌ی زیر برج که از محیط پیرامون کاملاً متمایز است، مشخص است که این تپه چنان که گفته شد، یک نوع پیش بارگذاری برای مقابله با نشست تحکیمی جهت ساختمان برج بوده است. [شکل شماره‌ی (۴)]



شکل شماره‌ی (۴)
گنبد قابوس و تپه‌ی دور آن

پ. پی و مسایل دیگر

علاوه بر دو مسأله‌ی اصلی مقاومت خاک و نشست، چنانچه دیدیم، پی‌سازی با مسایل دیگری نیز مربوط است که در قسمت ۳ به اختصار بیان شد. برای کوتاه کردن بحث از بین آن موارد، تنها به موضوع پایدار کردن خاک در برابر آب، که یکی از عمومی‌ترین مسایل پی‌سازی است، نیز اشاره‌ای می‌کنیم.

پی و خاک زیر آن در مقابل آب و نفوذ آن باید مقاوم باشند، به طوری که اولاً، در اثر رسیدن آب به خاک، ایجاد مشکل نشود و ثانیاً، آب از زیر پی جریان پیدا نکند. در صورتی که خاک محل از گونه‌هایی باشد که توان باربری آن با رسیدن آب کاهش یابد و یا نفوذ پذیری بیش از حد داشته باشد، باید با روش‌های مناسب تثبیت و پایدار شود. بسیاری از سازه‌های بزرگ قدیمی، به ویژه، آن‌ها که در ارتباط مستقیم با آب بوده‌اند، مانند پل‌ها و بندها، دارای پی تثبیت شده هستند. در ساختمان‌های معمولی نیز اغلب تثبیت خاک در زیر پی انجام می‌شده است؛ زیرا، با توجه به این که خاک‌های سطحی و کم عمق معمولاً، از نظر جنس، فشردگی و وجود مواد گیاهی چندان مرغوب نیستند، در صورتی که ژرفای پی زیاد و به اندازه‌ی کافی نبود، خاک زیر آن را تثبیت می‌کردند.

معماران قدیمی برای تثبیت خاک، راه‌های مختلفی را پیش می‌گرفتند، اما، متداول‌تر از همه، استفاده از آهک بود. آهک را از زمان‌های دور در ایران می‌شناختند و به کار می‌بردند. استاد احمد حامی بر این باور است که: «بیش از سه هزار سال است که ایرانیان شفته‌ی آهک را می‌شناختند. آهک‌پزی که مادر صنعت سیمان پزی است، در ایران کشف شده است ... یونانی‌ها آهک‌پزی را از ایرانیان، رومیان از یونانیان و اروپاییان از رومیان یاد گرفتند.» [مأخذ شماره‌ی (۳)]

در هر حال، آهک برای تثبیت خاک، ویژگی‌های بسیار جالبی دارد که متأسفانه، امروز کم‌تر به آن توجه می‌شود و گسترش استفاده از سیمان حتی در موارد نامناسب، استفاده از آهک را بسیار محدود کرده است. به طور خلاصه، این ویژگی‌ها را می‌توان چنین برشمرد:

اول. آهک توان باربری خاک را افزایش می‌دهد؛

دوم. از باد کردن خاک رسی [swell] و جمع شدن و ترک خوردن

آن [shrinkage] جلوگیری می‌کند؛

سوم. با گذشت زمان، توان شفته‌ی آهکی افزایش می‌یابد؛
چهارم. پس از گیرش، جذب آب تأثیری در مقاومت شفته‌ی آهکی ندارد؛

پنجم. آهک با انواع خاک‌ها قابل کاربرد است؛

ششم. جلو رشد گیاهان و نفوذ جانداران موذی را می‌گیرد؛

هفتم. به دلیل گیرش تدریجی، شفته‌ی آهکی تغییرات و نشست‌ها را بهتر تحمل می‌کند؛ به عبارت دیگر، برخلاف بتون سیمانی، تا مدتی قدرت انعطاف و انطباق با تغییر شکل‌ها را دارد؛

هشتم. شفته‌ی آهکی با خاک تجانس دارد، به ویژه، که حتی از خود خاک محل هم اغلب [و گاهی با تغییرات مختصر در ترکیب خاک] می‌توان استفاده کرد. به عبارت دیگر، همگنی خاک زیر پی را به هم نمی‌زند؛

نهم. کنترل میزان آب مصرفی به اندازه‌ی بتون سیمانی اهمیت ندارد، تنها کافی است که میزان آب کم نباشد؛

دهم. شفته‌ی آهکی هم در هوا و هم در آب گیرش پیدا می‌کند که البته، محصول نهایی متفاوت است.

بر این اساس است که می‌بینیم خاک زیر پی بیش‌تر ساختمان‌های قدیمی با آهک تثبیت شده است. البته، خاک زیر پی بعضی از ساختمان‌ها بدون آن و یا با مصالح دیگر تثبیت شده‌اند، ولی، در بسیاری موارد دیده شده است که رفتار رضایت بخشی نداشته‌اند. مثلاً، در بناهای زندیه‌ی شیراز، در پی‌سازی، اغلب از سنگ و گچ استفاده شده است که در پاره‌ای موارد باعث بروز مشکلات گردیده است. در هنگام تعمیرات برج جنوب شرقی ارگ کریم خانی که در اثر نشست و چرخش از حالت قائم خارج شده است، دیده شد که پی‌ها عمدتاً از سنگ و گچ و در پایین‌تر از سنگ تنها تشکیل شده است [که یا از ابتدا ملات گچ نداشته و یا به تدریج، در اثر جریان آب و فاضلاب از بین رفته است]. مسلماً، در صورت استفاده از شفته‌ی آهکی وضع پی بهتر می‌بود. [شکل شماره (۵)]

۵. نتیجه گیری

با توجه به بررسی مختصر فوق می‌توان نتیجه‌گیری زیر را مورد توجه قرار داد.

بهتری نیز با شرایط بنا داشته باشند.

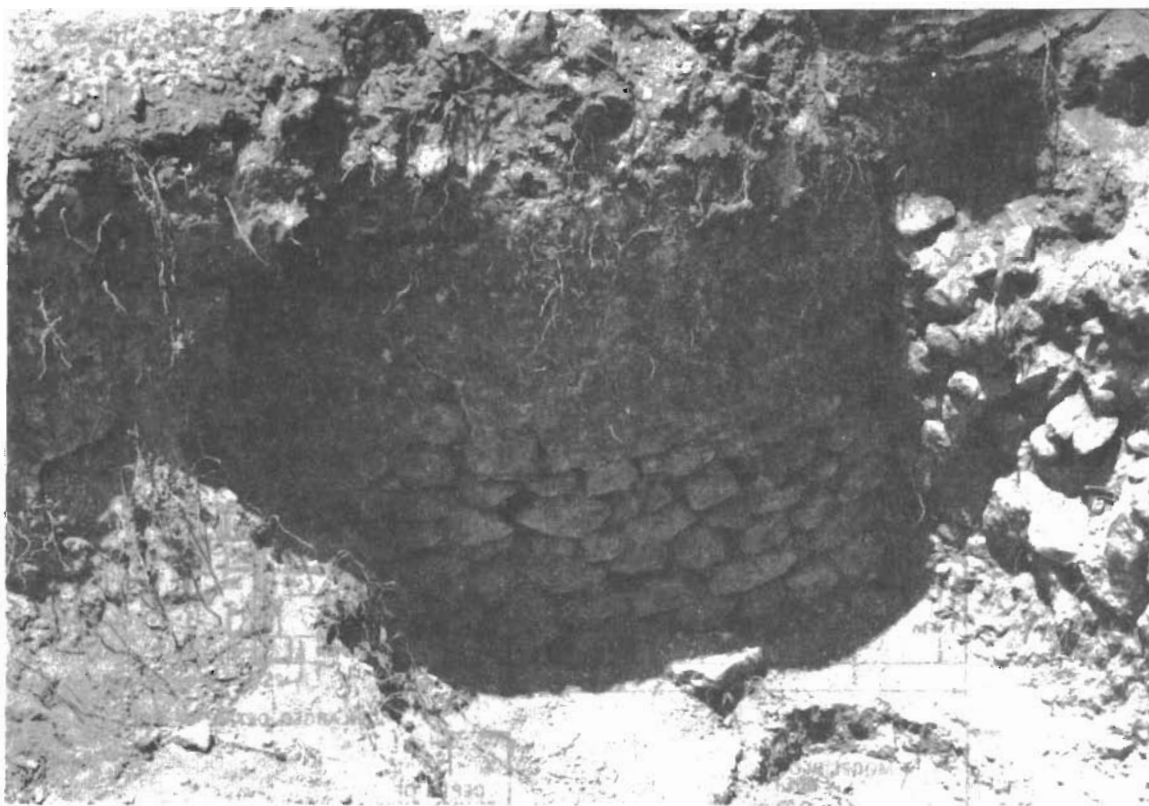
مراجع

۱. معماری ایران [پیروزی شکل و رنگ]، پروفیسور آرتور ابهام پوپ، ترجمه‌ی کرامت‌اله افسر، انتشارات یساولی، «فرهنگ‌سرا»، چاپ دوم.
۲. آثار ایران، جلد ۴، تألیف آندره گدار، یداگدار و ...، ترجمه‌ی ابوالحسن سروقدمقدم، انتشارات بنیاد پژوهش‌های اسلامی، آستان قدس رضوی، ۱۳۶۷.
۳. راه‌سازی، احمد حامی، چاپ دوم، ۱۳۵۸.
۴. آجر، انتشارات مجله‌ی هنر و معماری، ۱۳۵۲.

الف. روش‌های گذشتگان در امر پی‌سازی قابل توجه و علمی بوده‌است و جا دارد که پژوهش‌های گسترده‌ای در این زمینه به عمل آید. این کار، هم برای کامل کردن دانسته‌ها در مورد سازه‌های قدیمی لازم است و هم می‌تواند آموزنده باشد.

ب. تعمیر و بازسازی، نگهداری و استفاده از سازه‌های قدیمی و محیط پیرامون آن باید با توجه به وضعیت پی و شالوده‌ی این بناها انجام گیرد.

پ. برخی از مصالح به کار رفته در پی‌سازی سازه‌های قدیمی، امروز نیز می‌توانند به کار روند و چنان‌که قبلاً اشاره شد، علاوه بر صرفه‌جویی در مصالح گران‌قیمت، ممکن است سازگاری



شکل شماره‌ی (۵)
آب‌تستگی در پی گوشه‌ی شرقی ارگ کریم‌خانی - شیراز

* * *