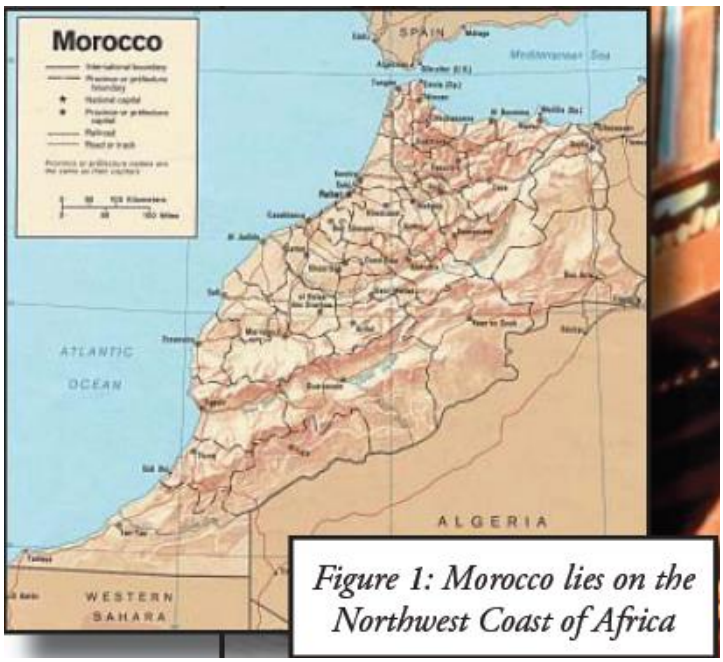
بازسازی بخشی از تاریخ به دست مهندسان عمران

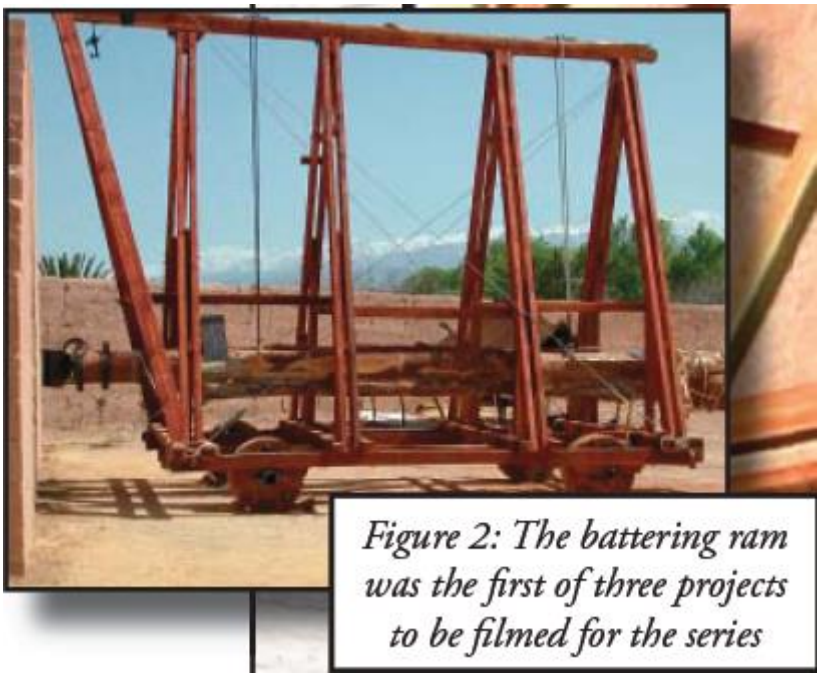
آنچه در زیر شیشه و آجر نمای معماری یک ساختمان نهفته است، به ندرت دیده می‌شود. اسکلت سازه‌های فولادی و بتنی و همچنین مهندسین سازه‌ای که آن‌ها را طراحی می‌کنند اغلب مورد توجه قرار نمی‌گیرند. به عنوان مهندسین سازه، ما به طور کلی وظایفمان را در پشت صحنه و خارج از کانون توجه انجام می‌دهیم. معمولاً این معماران هستند که از کانون توجه بودن لذت می‌برند و به خاطر همکاری‌شان در ایجاد ظاهر زیبای کلی طرح‌ها مورد مصاحبه قرار می‌گیرند. علاوه بر این، هر چند وقت یک بار از مهندسان به عنوان افرادی که در شبکه بی‌پایان جاده‌ها و پل‌های کشور ما کار می‌کنند یاد می‌شود؟ متأسفانه، حرفه ما در اغلب موارد توسط تعداد بسیاری از مردم، بدون در نظر گرفتن گروه سنی آن‌ها، نادیده گرفته می‌شود. در حالی که برخی از مهندسین ممکن است به این مورد زیاد توجه نکنند، من شخصاً از شرکت در هر مناسبتی که بتواند به آگاه کردن مردم از حرفه ما کمک کند، لذت می‌برم.

در بعضی از جوامع، مناسبت‌هایی مانند روز مهندس وجود دارد. این مناسبت‌های مهندسی، نمونه‌های اولیه از راه‌هایی هستند که مهندسان سازه می‌توانند با مردم ارتباط برقرار کنند و به نوبه خود، به بهتر آگاه کردن مردم از آنچه انجام می‌دهیم کمک کنند.

در آوریل ۲۰۰۴، من این شانس را داشتم که در یک پروژه واقعاً منحصر به فرد، در یک مستند فیلم برداری شده، *فوق سلاح‌های جهان باستان*، در صویره مراکش، در ساحل شمال غربی آفریقا (شکل ۱)، شرکت کنم. این مستند در هر دو کانال دیسکاوری (Discovery Channel) و کانال علوم (Science Channel) در سال گذشته پخش شد. آن طور که من برداشت کردم، ما به عنوان مهندس زمانی که به محل نشات گرفتن حرفه خود می‌نگریم به همان اندازه مردم ناآگاه هستیم. چگونه مهندسی شکل گرفت و چه کسی بر روی سازه‌های ۲۰۰۰ سال پیش تجزیه و تحلیل انجام داده است؟



شکل ۱: مراکش در سواحل شمال غربی آفریقا واقع شده است.



شکل ۲: دژکوب اولین مورد از سه پروژه‌ای بود که برای سریال فیلم برداری می‌شد.

پیشینه

در اواخر سال ۲۰۰۳، Darlow Smithson که یک شرکت تولید کننده فیلم و برنامه‌های تلویزیونی است، در سراسر جهان به جستجوی تیم‌های جوشکاران، آهنگران، نجاران، حفاران و در آخر مهندسان پرداخت. پس از مصاحبه‌های طولانی، من یکی از متقاضیان خوش شانس انتخاب شده برای برنامه بودم. این برنامه در سه قسمت یک ساعته پخش می‌شد. در هر قسمت یک تیم برای بازسازی سلاح‌های قدیم که مطابق با استانداردهای جنگی ۲۰۰۰ سال پیش بودند به چالش کشیده می‌شد. یکی از سلاح‌ها دژکوب (شکل ۲)، یکی پنجه ارشمیدس یا دست آهنی و دیگری برج متحرک بود. من برای همکاری در تیم برج متحرک، یا تیمی که آن را در برنامه تیم نابودگر شهر می‌گفتند، انتخاب شدم. به عنوان یک مهندس سازه، نقش من در این پروژه در طراحی سازه‌ی چوبی، تهیه طرح اولیه و مدیریت پروژه متمرکز می‌شد.

اولین استفاده از برج متحرک در جنگ Motya در ۳۹۴ سال قبل از میلاد ثبت شده است. دیونیسوس اول ارتش یونان را که متشکل از ده‌ها هزار نفر بود، از سیراکیوس در سواحل شرق جزیره سیسیل رهبری کرد. موتیا، جزیره‌ای در سواحل غربی سیسیل، زادگاه دیونیسوس اول بود. موتیا توسط مردانی از قرطاج تصاحب شد و دیونیسوس اول تصمیم گرفت آن را پس بگیرد. دیونیسوس اول همه ریاضی‌دانان، دانشمندان و مخترعان برجسته خود را برای ساخت قوی‌ترین سلاح آن زمان جمع کرد. دیونیسوس اول از طوفان فکری به صورت استراتژیک به نفع خود استفاده کرد. بارش فکری یا همان طوفان فکری نه تنها موجب ساخت نخستین منجنیق و تیر و کمان شد بلکه موجب ساخت اولین برج متحرک نیز شد.

به طور کلی برج متحرک برای حمله به یک شهر محصور شده با دیوار، مانند موتیا ساخته شد. شهرهایی با دیوار پیرامونی معمولاً در هنگام حمله از مزیت ارتفاع بیشتر برخوردار بودند و در حقیقت دیوار به عنوان وسیله دفاعی اصلی کاربرد داشته است. این برج متحرک با داشتن تراز کف بالاتر از ارتفاع دیوار، این مزیت را از بین می‌برد. این تراز سبب می‌شد که مهاجمان بتوانند از روی آن به دشمنان قابل رؤیت در سطح پایین‌تر تیر اندازی کنند.

این برج متحرک همچنین دارای کفی هم ارتفاع با دیوار بود که به یک پل متحرک مجهز شده بود. هنگامی که بالای دیوار پاک سازی می‌شد، مهاجمان می‌توانستند پل متحرک را پایین آورده و به سمت دیوار یورش برده و شهر را تسخیر کنند. همچنین با وجود پوشش بیرونی از جنس پوست حیوانات، برج بسیاری از نیروها را تا زمانی که از روی پل متحرک عبور کنند، محافظت می‌کرد. مهاجمان می‌توانستند در سطحی که قرار دارند نیز سلاح نصب کنند. به عنوان یک وسیله زرهی متحرک، برج متحرک عملاً به اولین تانک تبدیل شد.

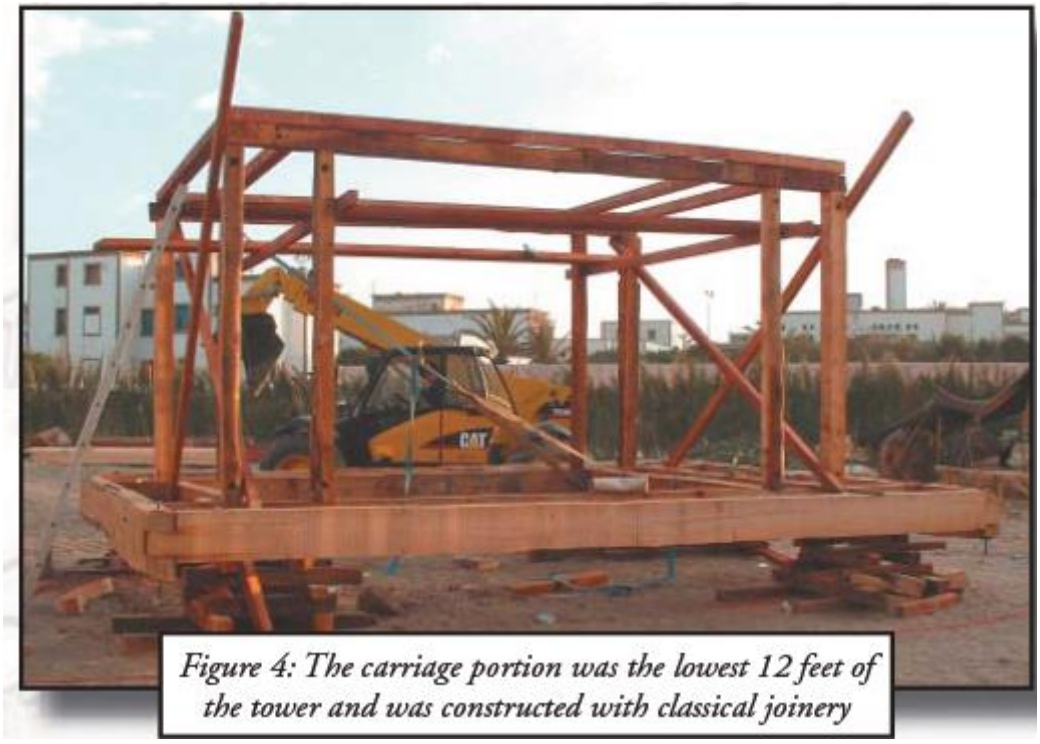


Figure 4: The carriage portion was the lowest 12 feet of the tower and was constructed with classical joinery

شکل ۴: بخش حمل و نقل (کالسکه مانند) پایین‌ترین قسمت برج و به اندازه ۱۲ فوت است که با استفاده از نجاری کلاسیک ساخته شد.

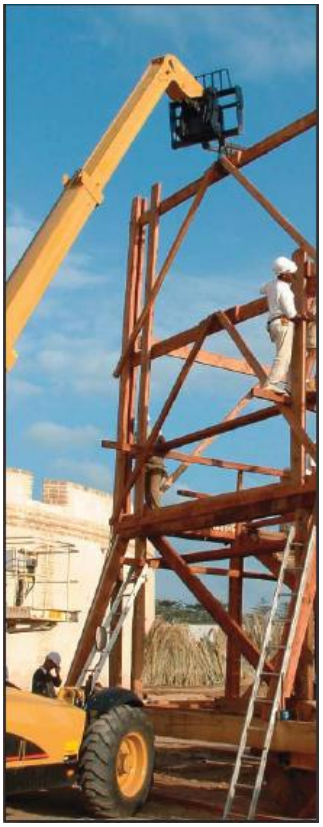
آمایش (تدارکات لشکر کشی)

در حالی که دیونیسوس اول از ارتش و زمان زیادی برخوردار بود، تیم ما تنها چهار نفر عضو و هفت روز مهلت ساخت داشت. علاوه بر خودم، اعضای دیگر تیم لری شینز، مهندس ارشد مکانیک از دانشگاه کارولینای شمالی در شارلوت؛ آل کاب، مالک یک شرکت پانل‌های عایق و جردن فینچ، سازنده مبلمان و همچنین نجار بودند.

برای ساخت برج محاصره، به ما اجازه داده شده بود که از برخی ابزارهای مدرن استفاده کنیم. ما برج را با استفاده از روش‌های نجاری باستانی در برخی از بخش‌ها ساختیم، اما به دلیل محدودیت زمانی، اجازه داشتیم که از روش‌ها و مصالح مدرن‌تری مانند جوشکاری، پیچ و مهره و نبشی استفاده کنیم. موادی که ما استفاده کردیم بومی و مربوط به منطقه بودند و ممکن است شبیه به مواد مورد استفاده توسط یونانیان باستان بوده باشد. ما به درختان اکالیپتوس و کاج موجود در محل دسترسی داشتیم.

قبل از ملاقات اعضای تیم با یکدیگر، ما از طریق ایمیل مکاتبه کرده و یک طرح اولیه را تا زمانی که به محل برسیم انتخاب کردیم. با استفاده از این برآورد، یک مدل اولیه ساخته شده در نرم افزار Staad Pro نیروهای کلی برج را در اختیار من قرار داد. من همچنین با استفاده از برآورد مقاومت مصالح (شکل ۳) در نرم افزار Enercalc برخی از اندازه‌های اعضا را بررسی کردم، اما در طول مراحل ساخت در مراکش مجبور بودم محاسبات را به روش قدیمی و به صورت دستی انجام دهم. در طول ساخت و

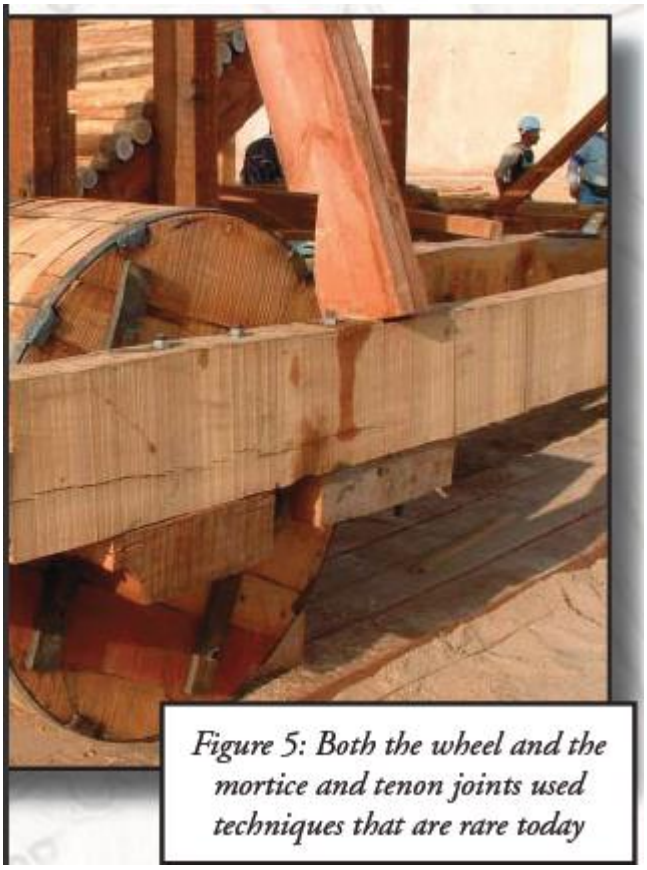
ساز، با اعمال تغییرات رخ داده من اعضا را چک کرده و یک آنالیز بار باد صورت دادم تا دیگر اعضای تیم را مطمئن سازم که برج فرو نخواهد ریخت.



چرخ‌ها و کالسکه

کار ساخت و ساز با چرخ‌ها آغاز شد. آخرین تیم بودن در سریال، مزایای خود را داشت. ما از استراتژی بارش فکری دیونیسوس استفاده کرده و با تیم دژکوب مشورت کردیم. اگرچه دژکوب آن‌ها وزنی بین پنج و شش تن و چرخ‌ها تنها ۲۰ اینچ قطر و هشت اینچ ضخامت داشتند، اما فهمیدیم که طراحی چرخ آن‌ها مشکل تحمل بار داشت. از آنجا که سلاح ما دو برابر سنگین‌تر از دژکوب بود و چرخ‌های ما نیز دو برابر بزرگ‌تر بودند، لری و آل یک طرح اولیه برای از بین بردن هر گونه مشکلی در تحمل بار صورت دادند، ما آن‌ها را با کنار هم قرار دادن پنج لایه از قطعات هر دو درخت اکالیپتوس و کاج ساختیم. ما هر لایه را به منظور تغییر جهت رگه‌ها ۴۵ درجه چرخش دادیم تا هر گونه مشکلی در تحمل بار را از بین ببریم. با استفاده از پیچ و مهره و صفحات فولادی در سراسر نمای جانبی چرخ و حلقه‌های فولادی دور آن، چرخ ما طوری طراحی شد که وزن برج را بدون تولید صدای غژ غژ زیاد تحمل کند. چرخ‌های نهایی ما ۴۸ اینچ قطر، ۲۰ اینچ ضخامت و در حدود ۱۰۰۰ پوند وزن داشتند.

هنگامی که چرخ‌ها کامل شدند، تیم به سراغ قسمت پایه برج که پایین‌ترین قسمت برج و به اندازه ۱۲ فوت بود، رفت (شکل ۴). از آنجا که اکالیپتوس قوی‌تر و متراکم‌تر از کاج است، ما کل پایه را با استفاده از این چوب ساختیم. مقاومت بالاتر مهم بود چرا که بارها از کف‌های بالایی به این اعضا منتقل می‌شدند. چگالی اکالیپتوس با پایین‌تر آوردن مرکز ثقل یک مزیت دیگر برای ما داشت. ما در بخش‌هایی از پایه از اتصالات کام و زبانه استفاده کردیم. شکل ۵ اطلاعات مربوط به یک چرخ تکمیل شده و همچنین یک اتصال کام و زبانه کلاسیک را نشان می‌دهد.



شکل ۵: در ساخت چرخ و اتصالات از تکنیک‌هایی استفاده می‌شد که امروزه نادر هستند.

سطوح فوقانی

ساخت کف‌های دوم و سوم با یک دیوار تلیت آپ در هر سمت آغاز شد. ما این‌ها را به محل برده (شکل ۶) و آن‌ها را به اعضای موقت متصل کردیم. به محض اینکه که ما هر دو دیوار را بلند کردیم، توانستیم آن‌ها را در کنار هم تنظیم کنیم. پنج روز از هفت روز زمان ساخت برای تکمیل چرخ و پایه استفاده شد. ما دیوارهای کف‌های بالاتر را در کمتر از یک روز ساختیم و مونتاژ کردیم. کف سوم به عنوان پل متحرک استفاده می‌شد. پس از اینکه کف سازی موقت در جای خود قرار گرفت، ما کف چهارم و بالاترین کف را هم نصب کردیم. این سطح که برای حمله کردن استفاده می‌شد، ۳۶ فوت از زمین فاصله داشت. این ارتفاع مزیت ارتفاعی مورد نظر برای برتری بر «دشمن» بر روی دیوار ۲۸ فوتی را که ما برای حمله برنامه ریزی کرده بودیم را در اختیار قرار می‌داد.

گام نهایی در تکمیل برج اضافه کردن رمپ بین طبقات بود. ما در ابتدا فکر کردیم که نردبان می‌تواند ساده‌ترین راه برای رسیدن به پل متحرک و ترازهای حمله باشد. با این حال، زمانی که به نیروهای زرهی مهاجم و تلاششان برای حرکت سریع از طریق برج فکر کردیم، نردبان خیلی منطقی به نظر نمی‌رسید. گزینه دوم ما استفاده از پله بود، اما به دلیل ابعاد از پیش تعیین شده برج شیب پله‌ها خیلی تند می‌شد. ما در نهایت تصمیم به استفاده از رمپ گرفتیم. استفاده از آن‌ها بسیار آسان، ساخت آن‌ها سریع و قابل استفاده برای نیروهای بیشتری بود.

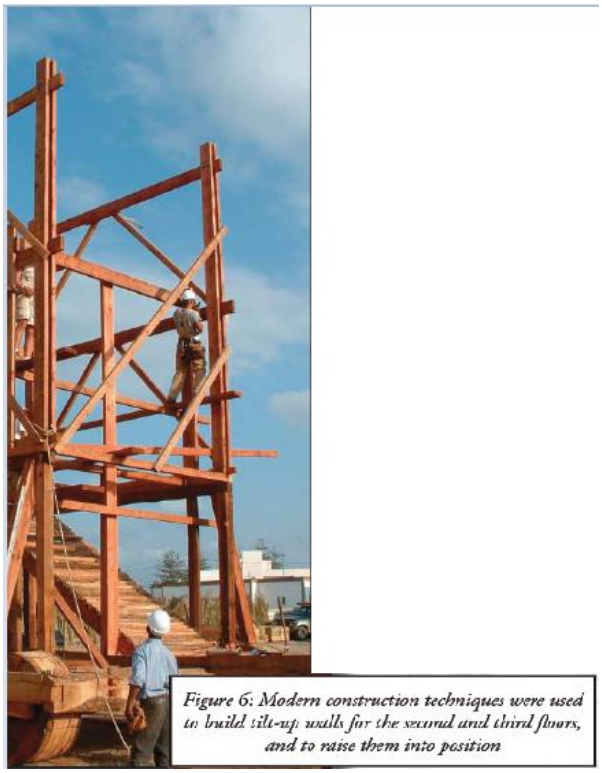


Figure 6: Modern construction techniques were used to build tilt-up walls for the second and third floors, and to raise them into position

شکل ۶: برای ساخت و در محل قرار دادن کف‌های طبقات دوم و سوم از تکنیک‌های پیش ساخته مدرن استفاده شد.

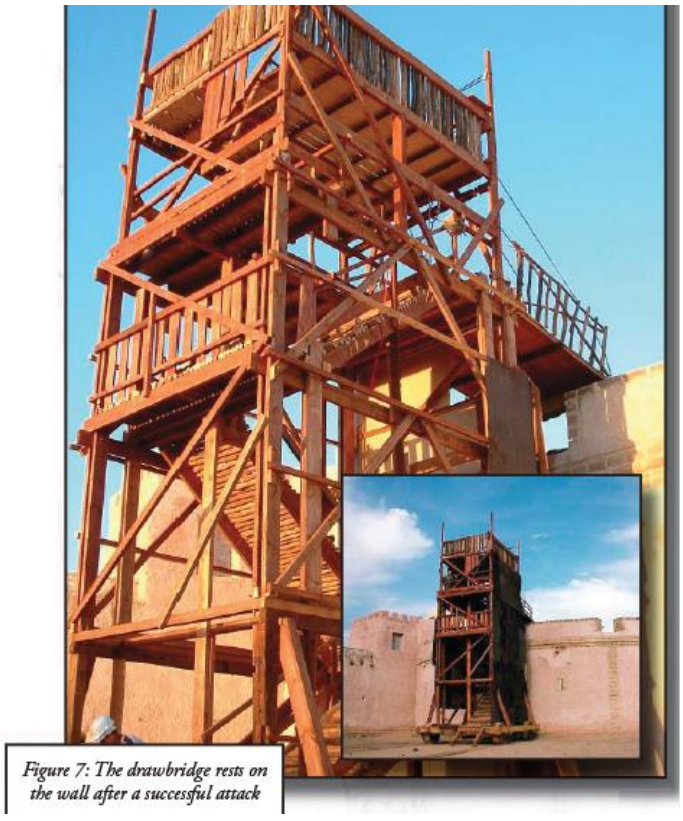


Figure 7: The drawbridge rests on the wall after a successful attack

شکل ۷: پل متحرک بعد از یک حمله موفق روی دیوار قرار دارد.

نتیجه گیری

در آخرین روز ساخت، ما به بالای برج رفتیم. شترها به عنوان یک موتور برای حرکت برج متحرک به سمت دیوار عمل می‌کردند. بالن‌های آب بر روی دیوار فرو می‌ریختند و مردم محلی استخدام شده بودند تا با پرتاب گوجه فرنگی و آواکادو به سمت ما حمله کنند. تحت حفاظت برج، ما هیچ ترسی نداشتیم و به راحتی راهمان را با استفاده از پل متحرک برای رسیدن به دیوار باز کردیم. شکل ۷ برج را در کنار دیوار پس از حمله نشان می‌دهد.

قرن‌ها زمان برده است تا مهندسی سازه به عنوان یک حرفه مطرح شود و ابزارها و تجهیزاتی که ما امروزه به آن‌ها تکیه می‌کنیم توسعه یابند. هر چند برخی ممکن است برای آنچه در حال حاضر داریم قدردان نباشند، اما من به عنوان یک مهندس سازه می‌دانم که درک جدیدی از منشأ آن پیدا کرده‌ام. من افتخار می‌کنم یک مهندس هستم و برای به اشتراک گذاشتن دانشم با هر کسی که برای بهره‌وری از آن می‌کوشد، همکاری خواهم کرد، حتی اگر مرا به ۲۰۰۰ سال قبل ببرد.

جنیفر پریچارد، E.I. یک طراح سازه‌ای در شرکت بنهام، LLC در تولسا است. این مقاله بر گرفته از سخنرانی وی در سیزدهمین کنفرانس سالانه NCSEAدر ۲۸ اکتبر ۲۰۰۵ در کانزاس سیتی است.

مترجم: پوریا نخعی