فصلنامه آموزش مهندسی ایران، شماره ۳۰، سال هشتم، ص ۳۹-۱

بررسی منابع مهندسی عمران در ایران*

ابوالحسن وفایی[۱]، علی کاوه[۲] و مجید صادق آذر[۳]

۱. **دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شریف**
۲. **دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران**
۳. **گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی دانشگاه تهران**

چکیده: با توجه به اهمیت منابع تاریخی نوشته شده در زمینه مهندسی عمران، در نوشتار حاضر خلاصه‌ای از سیر تحول فعالیت‌های مهندسی عمران در جهان و ایران از سه منبع اصلی استخراج و ارائه شده است.

در بررسی این منابع با مروری بر پیشینهٔ علم در جهان و سیر تحول آن، به بررسی و تلخیص تاریخ صنعت و اختراع ، مبانی تمدن صنعتی ، مراحل ماشینیسم و پیشرفت آن و همچنین، تکنیک‌های تمدن صنعتی و تحول فعالیت مهندسی پرداخته شده و در انتها به طور گزینشی ، اطلاعات مربوط به تکنیک‌های ساختمان، پل‌ها و سدهای احداث شده در اعصار و کشورهای مختلف و ایران باستان ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: مهندسی عمران، سد سازی و مطالعات منابع تاریخی .

---

* این پژوهش با حمایت مالی فرهنگستان علوم ج.ا.ا. انجام شده است.

۱. مقدمه

مهندسی علمی جامع نگر است که با توسعه اقتصادی پیوندی نزدیک برقرار کرده است و مهندسان متخصصان کار آزموده‌ای هستند که با تکیه بر توانمندی‌های فنی و برخورداری از ذهن خلاق خود می‌توانند بنیان‌های یکپارچهٔ پیشرفت و توسعه را پی افکنند.

مهندس امروز گام‌هایش را بر شانه‌های استوار دانشی گذاشته که از دیرباز نخستین پایگاه مردمی و نخستین ایستگاه‌های مهندسی را به همراه ابنیه بی‌شمار، پل‌ها، جاده‌ها و دیگر دستاوردهای بشری پدید آورده است که انسان امروزی و اجتماعات انسانی در کلیه شئون زندگی خود از دستاوردهای این دانش بهره مند است.

معماری و شهرسازی نیز در ایران قدمت طولانی دارد. کهن‌ترین آثار خانه‌سازی که تاکنون در ایران دیده شده است، حدوداً به ۱۰ هزار سال پیش باز می‌گردد. پایه‌های این خانه از سنگ ساخته شده است. آثار دیگری که در سرزمین مغرب [در علی کش و درهٔ دهسواران] به دست آمده، دارای تاریخی متعلق به حدود هشت هزار سال پیش است. این خانه‌ها به اندازه‌های ۵ *۳ متر بودند و از خشت‌های تقریباً مستطیلی که در آفتاب خشک شده بودند، ساخته می‌شدند. سبک معماری ایرانی در دوره‌های هخامنشی، اشکانیان (پارتیان)، ساسانیان، سلجوقیان، ایلخانان مغول، تیموریان و دورهٔ صفویه ادامه یافته است[۱].

به طورکلی، طبق مدارک و اسناد تاریخی، ایران زمین زادگاه و محل پیدایی بسیاری از نوآوری‌ها و اختراعات مهندسی بوده است و همچنین، تعداد زیادی از اکتشافات فنی و علمی را مهندسان و متفکران ایرانی انجام داده‌اند و در تاریخ نیز ثبت شده است.

اکتشافات و نوآوری‌ها در ایران تنها به نوآوری‌های مادی مانند ساختن ابزارهای جدید و ابداعات در ساختمان سازی محدود نمی‌شود، بلکه آمیختگی و اتحاد مفاهیم فلسفی، دینی، هنری و ... با مفاهیم علمی و فنی در ذهن متفکران و مهندسان ایرانی نیز الهام‌بخش آنان در تازه جویی‌ها و نوآوری‌ها بوده و به اختراعات مادی آنها کیفیت خاصی بخشیده است.

در این مقاله به اختصار تاریخ برخی از دستاوردهای مهندسی عمران بررسی شده است.

۲. جایگاه علم در تاریخ

علم به یک معنا عبارت از تکنیک منظم و به معنایی دیگر، صورت عقلانی شده اسطوره‌هاست. پیشرفت علم در زمان‌ها و مکان‌های مختلف هرگز یکسان نبوده است. دوره‌هایی از شکوفایی علم به طور متناوب در میان دوره‌های طولانی رکود و حتی انحطاط قرار داشته است. در طول تاریخ، مراکز فعالیت‌های علمی همواره از جایی به جایی دیگر انتقال یافته است و به جای آنکه باعث جا به جا شدن مراکز بازرگانی و صنعتی باشد، خود از این جا به جا شدن تبعیت می‌کرده است. بابل، مصر و هند هر یک روزگاری کانون علوم را به مفهوم امروزی آن پی‌ریزی کردند. علم در روم باستان به صدر نشست و در دوره حکومت‌های بربری اروپای غربی هم که اوضاع مناسب‌تر بود، ارج و قربی پیدا نکرد. میراث علم یونانی به شرق، که از آنجا سرچشمه گرفته بود، بازگشت. در کشورهای سوریه، ایران، هند و حتی چین، که در اقصای خاور قرار داشت، نسیم تازه‌ای از علم وزیدن گرفت و آن‌گاه در پرتو لوای اسلام ترکیبی شکوهمند یافت و از این طریق بود که علم و فن به اروپای قرون وسطی راه یافت؛ پیشرفت علم در قرون وسطی اگرچه در ابتدا کند بود، ولی فعالیت‌ها و خلاقیت‌های عظیمی را باعث و به پیدایش علوم جدید منجر شد.

نیمه اول قرن بیستم شاهد پیدایش و گسترش دانشی به نام فیزیک اتمی بود که به اکتشاف دو پهلویی منجر شده است که یک سویش استفاده از انرژی اتمی و سوی دیگر آن ساختن بمب‌های هسته‌ای است. از دیگر فواید فرعی و بسیار علوم فیزیکی پیشرفت در ساخت رایانه‌های بزرگ تر و سریع تر و کشف نحوه به کار بردن آنها در همه زمینه‌های فعالیت انسانی از جمله مدیریت، تولید و سایر زمینه‌هایی است که به مهارت و قضاوت احتیاج دارند.

در نیمه دوم قرن بیستم، شگرف‌ترین تحولات در حوزه زیست‌شناسی، و نه فقط در یک شعبه بلکه در تمام شاخه‌های آن، از ژنتیک گرفته تا ساختمان مولکولی به وقوع پیوسته است. با کشفیات نوین در این زمینه، بین آنچه در روند حیات محسوس و ملموس

است از یک سو، طرز قرار گرفتن اتم‌های تشکیل دهنده موجود زنده از سوی دیگر، پیوند برقرار شده است.

کشف و ساختن این مکانیسم‌ها که به تازگی آغاز شده است، شناخت ما را از زندگی کاملاً دگرگون می‌کند. این قبیل کشفیات و آزمایش‌ها در شعب مختلف پزشکی و کشاورزی نیز معمول شده است.

در این قرن، همه علوم به یکدیگر نزدیک‌تر شده‌اند و به همین دلیل است که دانشمندان در صدد جست و جوی اصل و سرچشمه حیات و ارتباط آن با منشأ سیارات و کهکشان‌ها برمی‌آیند. پیوند بین عالم صغیر و عالم کبیر از مقوله تخیلات نجوم قدیم بیرون آمده و به حقایق تجربی و کنترل شدنی اخترشناسی جدید بدل شده است.

برنامه‌ریزی علمی واقعاً یکی از مهم‌ترین خصایص آخرین مرحله انقلاب علمی صنعتی است که از محدودیت بیرون آمده و در سطح ملی و جهانی مطرح شده است[۲].

۳. مسکن در جوامع اولیه

اهمیت واقعی غارها

معمولاً غارها را خانه انسان اولیه می‌دانند و می‌گویند که انسان در این پناهگاه‌های تاریک و غالباً غمناک همواره با خرس و شیر دست و پنجه نرم می‌کرده است.

اهمیت غارها بیشتر در این است که بقایای مردمی که در آنها می‌زیسته‌اند، مثل اینکه در حفره‌های دربسته‌ای باشند، محفوظ مانده است. خاک طبیعی رسی آنها فسیل شدن استخوان‌ها را ممکن ساخته است و اشیایی که سبب می‌شوند ما درک درستی از نحوه زندگی پیشینیان خود به دست آوریم، گاهی درست مانند وقتی که آنها را ترک کرده‌اند، در این غارها یافت می‌شود.

اکثر اطلاعات ما از مساکن انسان اولیه از آثار به جا مانده در لایه‌های تلماسه‌ها، در بستر آبرفت‌ها یا در مناطقی که بر اثر باد و باران، رفته شده، به دست آمده است و نه از درون غارها.

مسکن در دوره پارینه سنگی پیشین

جالب‌ترین بقایای مسکن در اروپای خاوری و مرکزی در تلماسه‌ها یافت شده است. استخوان‌ها در آنجا محفوظ مانده‌اند و کوچک‌ترین جزئیات زمین اصلی آشکار است. خانه‌ها در شکل ابتدایی دارای گنبدی به قطر کمی بیش از ۱۸۰ سانتی‌متر بودند که از جمجمه‌های ماموت یا استخوان‌های بزرگ دیگر برای استحکام بیشتر این بنای کوچک گنبدی استفاده شده بود.

در تلماسه‌های اروپای خاوری انواع مسکن‌های مربوط به دوره پارینه سنگی پیشین وجود دارد که یکی از شگفت انگیزترین آنها حدود ۳۰ متر طول دارد و گویا با پوست‌های ماموت آن را پوشانیده بودند؛ درون آن یک ردیف اجاق، حدود ۱۰ عدد، به چشم می‌خورد که ظاهراً متناسب با تعداد تقسیمات خانوادگی است. جزئیات وسایل این مسکن معلوم نیست، ولی به نظر می‌رسد که در خوابگاه‌های گرد، رو اندازی احتمالاً از پوست بز روی بستری از گیاه در برابر دیوار خارجی قرار داشته است.

مسکن در دوره میانه سنگی

آثاری که از مسکن دوره میانه سنگی برجای مانده، بسیار کم است. در خانه‌هایی که از دوره ماگلموسی در یورکشایر یافت شده است، اقوامی در کنار باتلاق می‌زیستندکه از شاخه‌ها و پوست درختان غان خانه‌هایی برای خود ساخته بودند تا از رطوبت هوا در امان باشند. درختان قطع شده‌اند، ولی از جزئیات خود مسکن تاکنون چیزی به دست نیامده است.

از وضعیت مسکن دوره آزیلی تقریباً چیزی نمی‌دانیم و تنها نمونه‌ای که از خانه‌های آنها داریم در غاری در ناحیه کانتابریا در اسپانیاست که در آن چاله‌هایی برای استقرار دیوک‌ها دیده می‌شود و این تصور را ایجاد می‌کند که آنها هم مانند اقوام دوره پارینه سنگی گاهی درون غارها به ساختمان‌سازی مبادرت می‌ورزیدند.

چگونگی مسکن انسان اولیه تنها در اتحاد شوروی مشخص شده و در جاهای دیگر بر

پایه حدس و گمان است. علت کم بودن مدارک و شواهد این امر تا حدودی در نتیجهٔ انهدام کلبه‌ها و چادرهاست که ساختمان‌هایی سست و ضعیف هستند.

ساختمان و عناصر آن در بین‌النهرین

با بررسی ساختمان‌های بین‌النهرین سفلی نکته جالبی به چشم می‌خورد و آن این است که آنها توانسته‌اند بدون به کار بردن سنگ و چوب ساختمان‌های خود را بر پای دارند. سنگ و چوب، حداقل چوب سخت، در این سرزمین یافت نمی‌شود. در این ناحیه، به خصوص در باتلاق‌های دلتاهای دو رودخانه که در آن هنگام آبریزهای جداگانه‌ای داشتند، نی فراوان بود. بنابراین، خانه‌های نخستین آنها از نی ساخته می‌شد. بناهای مردابی یا نی‌های معمولی که از شش متر هم بلندترند، هنوز هم به کار می‌روند.

سومری‌ها بعدها در خاک رس خصوصیاتی یافتند که می‌شد از آن به جای سنگ و نی، که فقط در مرداب‌ها می‌رویید، استفاده کرد. آنها توانستند خشت بسازند که نخست نامنظم و همچون قطعه سنگی کوچک بود، ولی آنها با برطرف کردن اجسام خارجی و زدن کاه به آن گل رس را شکل‌پذیر و خشت‌ها را به شکل منظم درمی‌آوردند و در آفتاب خشک می‌کردند. ملات آنها گل رسی بسیار آبدار یا قیری بسیار مایع بود.

از همان دوره آغازین تاریخ از قیر مخلوط و با گل رس به عنوان ملات یا بتونه برای اندود کردن بام‌ها و جلوگیری از نشت آب استفاده می‌کردند. در بین‌النهرین مردم به رگه‌های سطحی نفت و قیر دسترسی داشتند و شکی نیست که آنها نخستین قومی بودند که به منافع این دو ماده پی بردند. آنها در ساختن خانه‌ها، روکاری کاخ‌ها و ایجاد آب‌بندها و بارانداز‌ها، پوشش پله‌های میان راه و بالاخره، بتونه‌کاری کشتی‌ها از قیر استفاده می‌کردند.

مردم بین‌النهرین برای ساختن کاخ‌ها یک اتاق را مبنا قرار می‌دادند و پیرامون حیاط به تعداد دلخواه از آن می‌ساختند. دهلیزی به همه این اتاق‌ها راه داشت و در فواصل نابرابری درهایی گذاشته شده بود تا دید را محدود کند. در ماری [نام کنونی آن تل‌الحریری] واقع در کنار رود فرات و مربوط به نخستین سلسله پادشاهی بابل و در خورساباد نزدیک نینوا

چنین کاخ‌هایی دیده می‌شود. ستون بسیار کم زده می‌شد. ستون‌ها به علت تردی خاک فقط جنبه زینتی داشتند. چنین ستون‌هایی از دوره اوروک بر جای مانده است که با میخ‌هایی از خاک پخته و سرنگی زینت شده‌اند.

ایران دورهٔ هخامنشی

پارسی‌ها در اوایل سال‌های میانه هزاره اول زمام امور آسیا را در دست داشتند. در ایلام، علی رغم نزدیکی نسبی آن با کوهستان، مردم همیشه ساختمان‌های گلی را ترجیح می‌دادند.

در زمان هخامنشیان تنها چیزهای نوینی که به این شیوه افزوده شد، چند ستون و قاب‌هایی از آجرهای لعابدار طبق روش بابلی‌ها بود.

در تخت جمشید، که در میان کوه‌هاست، هنر معماری جان تازه‌ای یافت. با تراشیدن سنگ‌ها ایوان بزرگی پدید آمد و ستون‌های کوچکی برای نگاهداری کاخ‌ها بر روی آن ساخته شد. عنصر تازه‌ای که در ساختمان وارد شد، ستون‌های شیاردار بود و سر این ستون‌ها معمولاً به نیم تنه یک حیوان یا به سر ستونی از نوع دیگر که با پایه قوسی شکل ستون انطباق داشت، منتهی می‌شد.

ساختمان و مسکن در یونان باستان

هنر معماری یونان باستان در ساختمان‌های عمودی نظیر معابد و بناهای دولتی به بهترین وجهی جلوه می‌کرده است. ساختمان معماری اولیه یونان، نظیر شرق باستان، کمی بیشتر از دیوارهای خشتی بود که بر روی پی‌های سنگی بالا می‌آوردند و گاهی قابی از چوب آنها را تقویت می‌کرد. این نوع ساختمان در سراسر دوره کلاسیک یونان، به خصوص در زمینه معماری منازل، رواج داشت که در اولینتوس در منطقه خالکیس کشف شده است.

آجر از قرن چهارم به بعد به کار رفت، ولی رواج نیافت. اما از آغاز قرن ششم نوعی معماری براساس سنگ، آهک و مرمر پدید آمد که نبوغ یونان در آن نمایان شد.

پی دیوارهای سنگی زمخت، کم عمق و از سنگ توف بود که در اغلب موارد یکپارچه نبود، بلکه از مربع‌هایی تشکیل می‌شد که هر طرف آن با خط دیوار مطابقت

داشت؛ گاهی وضعیت زمین وجود پی یکپارچه را ناگزیر می‌ساخت که ایوانی را تشکیل می‌داد، چنان که پارتنون بر روی باسیتونی ساخته شده است که در شیب جنوبی آکروپولیس قرار دارد.

روش‌های سقف‌زنی یونانی‌ها نمونه جالبی از فاصله سطح پیشرفت دانش و تکنولوژی در آنجاست. سقف‌های معابد یونانی چیزی بیش از یک تیر ریزی متقاطع نیست که کاری سنگین و پرخرج و کاملاً منطبق با قانون ترکیب قوا بود. بر روی این تیرهای حمال چوبی بامی از سنگ مرمر یا سفال پخته می‌زدند.

هرچند نمونه‌ای از طاق‌های ضربی خشتی در ساختمان‌های شرقی باستانی و به خصوص در سوریه دیده شده است، ولی باید دانست که در پایان دوره کلاسیک یونان و در دوره هلینیستی بود که ساخت طاق‌های سنگی متداول شد.

ساختمان‌سازی در خاور دور

ساختمان‌های دولتی

این رشته از معماری نخستین بار در دوران دودمان‌های آغاز تاریخ چین به ظهور رسید.

خانه‌های سبک از چوب و آجر ساخته می‌شد و بام آنها از کاشی بود. این خانه‌ها به‌طرز ستونی ساخته می‌شدند و سبکی بود که تغییر کمی در آن راه یافته بود.

نوع دیگر، خانه‌های سنگین بود که غالباً بام آن با بتن مفروش می‌شد. خانه‌های نوع اول، مستطیلی یا متوازی الاضلاع دراز (تینگ) با ستون‌های متعدد از چوب یک تخته، بدون سر ستون و با چوب بست قوی بام بود که به الوارهای آن تراشه‌های زیاد می‌دادند. دیوارها در نگهداری سقف نقشی نداشتند. مجموعه بنا باز، با هوای آزاد و چندین ایوان بود[۳] .

خانه‌های شخصی در قرون وسطی

یادمان‌های قرون وسطایی در این زمینه بسیارکم شمارند و اکثر خانه‌های قدیمی که هنوز پابرجا هستند، از سده پانزدهم جلوتر نمی‌روند.

اروپای قرون وسطی ظاهراً تنها یک سیستم خانه‌سازی داشته است که اساس آن، به کار بردن ستون‌های چوبی یکپارچه از پی تا نوک ساختمان بود. قطعات افقی در قطعات عمودی متصل می‌شدند. تیرها از طبقات می‌گذشتند و خرپشته ساختمان را نگاه می‌داشتند، چنان که مثلث بالای شیروانی، که فضای تنگی است، روی دیوار قرار داشت. این تیرهای ستونی دو خط را تشکیل می‌دادند که خانه را در میان می‌گرفتند و چنانچه دیوارنمای جلوی خانه به کوچه ختم می‌شد، تنها به چهار تیر ستونی احتیاج بود. طول این تیرها در مواردی می‌بایست به ۱۲ متر می‌رسیدند. تمام آنها باید کاملاً چهارگوش می‌بودند تا دارای استحکام لازم باشند.

ساختمان‌های عمومی

معماری ساختمان‌های عمومی بر پایه تعدادی از ساختمان‌های قدیمی موجود تکامل یافت.

سقف اغلب ساختمان‌های عمومی و مذهبی ضربی است و این ساختمان‌ها تا حدودی مانند کلیساها طرح‌ریزی شده‌اند و دارای سالن‌های غذاخوری، اجتماعات، حمام و پذیرایی هستند. سالن‌های طویل با ردیفی از ستون‌ها چند قسمت شده‌اند و این ستون‌ها سنگ شروع طاق را در خود دارند. در این نوع ساختمان‌ها از انواع آثار مخصوص استفاده شده، مثلاً در خوابگاه صومعه ماولبرون (ورتمبرگ) از ستون‌های دارای بلندی‌های مختلف استفاده شده است تا سالن را بزرگ تر از آنچه هست بنمایاند.

چگونگی سالن‌های بیمارستانی این واقعیت را به خوبی می‌نمایاند که معمار ساختمان در مورد نیازمندی‌های بیمارستان تحقیق وافی کرده و از عهده کار خود به خوبی برآمده است.

سقف سالن اجتماعات معمولاً از تیرهای چوبی نمایان ساخته می‌شد و تا به حال بیشتر آنها یا سوخته یا خراب شده‌اند و به جای آنها ساختمان‌های بزرگ ساخته شده است.

ساختمان انبارها شبیه خانه‌های سنگی معمولی است و سیستم ساخت سالن‌ها با سقف‌های ضربی عریض که دارای ستون‌های وسط هستند، تقریباً برای هر کار مورد

استفاده قرار می‌گیرد.

بنابراین، باید گفت که هیچ شاخه‌ای از معماری دارای روش‌های خاص خود نبودند. از سالن‌های بزرگ دارای یک، دو یا سه شبستان برای مقاصد مختلف کلیسایی نظیر غذاخوری، خوابگاه، سالن اجتماعات، سالن نشیمن و بیمارستان استفاده می‌شد و با مختصر دستکاری به آسانی می‌شد مورد استفاده از آن را تغییر داد.

٤. تکنیک‌های ساختمان در عصر رنسانس (ماشینیسم)

ساختن خانه

بررسی تکنیک‌ها می‌تواند شامل بحث درباره انواع ساختمان‌ها نیز باشد. کارهای ساختمانی خانه‌های روستایی، به دلیل کثرت و نقش اقتصادی آنها، قابل مطالعه است و اهمیت کار ساختمانی خانه‌های شهری از لحاظ دیگری است و بالاخره، ساختمان مؤسسات بزرگ، دژها، کاخ‌ها یا کلیساهای جامع اساساً مقوله دیگری به شمار می‌آیند. اما در همه این ساختمان‌ها، معماران دلمشغولی‌های یکسانی داشتند، از جمله یافتن مصالح ارزان تر، کاستن تعداد کارگران ، لزوم تطبیق ساختمان با هدفی که از آن منظور است، بزرگی یا کوچکی ساختمان، وظیفه نگاهداری و محکم سازی آن.

خانه‌های روستایی

خانه‌های روستایی در مقیاس پایین کاملاً ساده هستند و در همه جا که غم اقتصاد را داشته‌اند، میزان این سادگی بیشتر است. این خانه‌ها تنها از مصالح موجود در محل ساخته می‌شوند، مثلاً گل رس برای بالا بردن دیوارها با چوب بست، به شرطی که در محل چوب فراوان باشد، سنگ چنانچه در حوالی آن وجود داشته باشد [مثلاً سنگ‌هایی که برای آماده‌سازی زمین مزروعی از آنجا جمع‌آوری شده‌اند] و سرانجام کاه که پس از برداشت محصول به دست می‌آید.

کار کم خرج تر، ساختن دیوار چینه‌ای بود که با خشت خام یا مشته‌های گل انجام می‌گرفت. گل خام در محل آماده و کاه با گل مخلوط می‌شد تا از ایجاد ترک جلوگیری

شود. این روش که هنوز در روستاها رواج دارد، از دوران‌های بسیار گذشته ریشه گرفته است.

طی سده‌های متمادی، ایجاد تغییرات در ساختن خانه‌های روستایی بسیار جزئی بود. مهم‌ترین موضوع یافتن مصالحی بود که کاربرد آن آسان و به محل ساختمان نزدیک باشد.

خانه شهری

در شهرها هم همین مشکل با کمی تفاوت وجود داشت. کوشش می‌شد که مصالح را از مناطق هرچه نزدیک تر به ساختمان تأمین کنند تا هزینه حمل و نقل آن کمتر باشد، اما فضای تنگ شهرها مردم را ناچار می‌ساخت که تکنیک کار را بالا ببرند، به ویژه اینکه خانه‌ها را چند طبقه بسازند، کاری که آنها را ناگزیر می کرد از چوب بست و تخته استفاده کنند.

در شهرهای قدیمی اروپا هنوز تعداد زیادی خانه‌های چوبی وجود دارند. این خانه‌ها عموماً از پایان سدهٔ چهاردهم قدیمی‌تر و از سدهٔ هفدهم جدیدتر نیستند. طی سدهٔ هفدهم، این نوع خانه‌سازی بسیار نادر شد ، زیرا با رشد اقتصادی مردم می‌توانستند برای ساختن دیوارهای سنگی اجرت کارگر را پرداخت کنند. وانگهی، باید توجه داشت که در سدهٔ پانزدهم بهای چوب بسیار بالا رفت و دیگر نمی‌توانست با بهای کم مصالح سنگی رقابت کند. بعدها که جنگل‌ها و درختان قطور رو به نابودی رفت و ناچار از تیرهای کوچک‌تری استفاده شد، خرپاگران طبقات را جداگانه می‌ساختند و بر روی هم می‌گذاشتند که نتیجهٔ این کار ایجاد امکان طبقات پیش آمده (بالکونی) و استفاده بیشتر از فضا بود.

تعمیم کاربرد مصالح ساختمانی

در مواردی به ویژه در بورگونی، خانه‌ها دارای سنتوری (مثلثی)های بالای خرپا بودند که سرهای همه تیرهای افقی اسکلت چوبی خانه را مهار می‌کرد. بدین ترتیب، دو دیوار با مصالح ساختمانی و دو جدار با تخته‌های لوحی ساخته می‌شد. این تیرها برخلاف تیرهای

خانه‌هایی که سه یا چهار دیوار چوبی دارند، دچار اعوجاج نخواهند شد. کاربرد مصالح ساختمانی در تیغه‌ها پس از تحمل زیان‌های آتش‌سوزی، به عنوان مانعی در برابر آتش در بازسازی بعضی شهرها [لندن، رن پس از ۱۷۲۰] الزامی شد.

از سدهٔ دوازدهم، سردر سنگی خانه‌ها تجمل محسوب می‌شد. در کلونی سردرهای از سنگ تراشیده و ستون‌های با سرستون‌های نقش دار از جمله کارهای هنری به شمار می‌آمدند.

بازسازی شهر رن

آتش‌سوزی شهر رن از نظر خراب کردن خانه‌های قرون وسطایی نمونه است. در شهر رن خانه‌های تازه در بازسازی منطقه ویران شده بیش از دو یا سه طبقه نداشتند. این خانه‌ها دارای فضایی بیشتر از گذشته و نیز محوطه‌های آزاد (خیابان‌ها و حیاط) زیادتر بودند. از شهرهای با تراکم کم ۲۰۰ نفر در هر هکتار، شهرهای با تراکم متوسط ۲۲۵ نفر در هر هکتار و شهرهای با تراکم زیاد ۲۵۵ نفر در هر هکتار بودند.

از جنبه تکنیک ساختمان باید گفت که نمای خانه‌ها می‌بایست سنگی می‌بود، اما به کار بردن چوب برای سردرهایی که به حیاط باز می‌شدند، مجاز شمرده می‌شد.

کاخ‌ها

در حالی که تجمل ساختمان‌های ونیز با تندیس‌های هوش ربا، نقاشی‌ها و تذهیب‌کاری‌های خود بر روی شاخاب‌ها می‌درخشیدند، اما زندگی سیاسی فلورانس مستلزم ساخت خانه‌هایی بود که در برابر هجوم‌ها پایدار باشند.

در روزهای پایانی سدهٔ سیزدهم، تکنیک ساختمانی از پالاتسووکیو (کاخ قدیمی)، کار آرنولفودی کامبیو، بدون نظم، با پنجره‌های تک تک و کوچک در طبقه همکف و دیوارهایی از بالا تا پایین سراسر با برج‌هایی از سنگ تراشیده سخت و پالاتسادل پودستا [بار جلو، ساختمان آن در سال ۱۲۵۵ آغاز شد] و تا کاخ‌های سدهٔ پانزدهم، همگی را می‌توان تکنیک دژسازی دانست. در این دوره لازم بود که خانواده‌های بزرگ گیبلن

هنگام شورش گوئلف‌ها و دوران‌های قتل و غارت چومبی، پیانیونی و گرینـدگانی کـه جیرولاموساوونا علیه ثروتمندان ایجاد کرد، در امان باشند.

کلیساها

در کار ساخت بناهای بزرگ، به ویژه کلیساها، که طرح، نقشه (برش قائم) و نوع مصـالح آن اجرای کار را مشروط می‌سازند، مشکل تکنیکی بیشتر و رفع آنها دشوارتر است.

راه حل بسیار ساده برای ساختمان‌های بزرگ مسقف، ایجاد یک شبستان بـه وسـیله دو دیوار است که با بامی از چوب پوشیده می‌شود. چنانچه ایـن شبسـتان دارای راهـرو جـانبی باشد، سقف این راهرو از سقف شبستان بسیار کوتاه‌تـر اسـت و قسـمت بـالای دیـوار آزاد می‌شود و می‌توان در آن پنجره باز کرد. پنجره‌های پایین‌تر راهرو جانبی و نیـز پنجـره‌هـای دیوارهای شبستان نور را وارد محوطه می‌سازد. در مورد سقف کلیسا باید گفـت کـه آن را برهنه می‌گذاشتند. تیرهای حمال، تیرهای مهاری و ستون خرپا را گـاهی رنـگ یـا نقـش و نگار می‌کردند و گاهی محلی از سقف که تیرهـای مهـارتی خرپـا هسـتند، قـاب‌گـذاری و روی قاب‌ها نقاشی می‌شد.

مصالح ساختمانی باستان

ساختمان‌هایی که از روم باستان بـاقی مانـده انـد، مـورد تحسـین و بررسـی معمـاران تمـام دوران‌ها تا زمان رنسانس بوده و در رنسانس برای بنای ساختمان‌های بـزرگ از آنهـا الهـام گرفته‌اند. بنای پـانتئون آگریپـا (روم) از ایـن نظـر بسـیار اهمیـت دارد. مشخصـات ایـن بنـا یک‌به‌یک باید مورد توجه قرار گیرد. طاق این بنا با سیمانی از آهک و پوتتسـولان سـاخته شده و بتن یکپارچه‌ای را تشکیل داده که در برابر فشارهای داخلی بسیار پایدار است. طـاق بر روی دیوارهای عمودی بالا می‌رفت. دیوار ادامه طاق و در همان زمان پشـتیبان آن بـود. کاربرد آجر سبک و محکم امکان ساختن چنین چوب بستی را فراهم ساخت. بتن جامد در ثابت نگه‌داشتن بقیه شابلون آجری مؤثر بود و تـا زمـانی کـه آن هـم یکپارچـه نشـده بـود،

شابلون را در جای خود محکم نگاه می‌داشت. این نوع آجرکاری خمیده که طاق را تشکیل می‌داد، به دلیل محکم بودن، در ایتالیا، به ویژه روم، کاربرد آن ادامه یافت[۴].

۵. تکنیک‌های ساختمانی در سدهٔ بیستم

رواج بتن مسلح

رواج بتن مسلح در آغاز سدهٔ بیستم و کاربرد تکنیک‌های ساختمان‌های مسکونی یا تجاری سبب شد که مهندسان و معماران بسیاری مطرح شوند. کاربرد این تکنیک‌ها زمانی توانست موجب تحول شود که مهندسان به وسایل خاکبرداری و ابزار جا به جا کردن مکانیکی مهمی دست یافتند. تنها به برکت کاربرد این وسایل، نحوه ساختمان و، در همان حال، زیبایی معماری مهندسان توانستند مراحل گوناگون تغییر شکل‌هایی را پشت سر گذارند و به پیشرفت کنونی دست یابند. مراحل نخستین این تحول پیش از به پایان رسیدن سده نوزدهم به وجود آمد. این جنبش با رواج روش‌های انبیک تحکیم یافت.

آقای «اوژن فرسینه» در سال ۱۹۰۷ نخستین پل‌های ساخته شده از بتن مسلح را با شابلون‌برداری با جک ساخته است. بوسیرون نیز نخستین طاق‌های با پوشش نازک را ساخت[فرانسه، ۱۹۱۰] .

در سال ۱۹۱۱، برادران پره به کار ساخت سالن تئاتر مشهور شانزلیزه مشغول شدند که نخستین سالن تئاتری بود که با بتن مسلح ساخته شد. در ممالک متحده امریکا نمای ساختمان را با بتن می‌پوشانیدند تا نمای سنگی داشته باشد.

مصالح جدید، بتن و سیمان مسلح بدین ترتیب به عنوان عوامل تفکر برانگیز نوین وارد رشته معماری شدند. از شواهد پیداست که کاربرد آنها نوعی تأثیر کاتالیزوری داشته باشد، زیرا موجب تبلور یکباره شماری از گرایش‌ها شد که برجسته‌ترین آنها نوعی تضعیف بیان معماری به سود تفسیر نقشه معماری و توزیع و نیز استفاده از بازی در حجم بود. مصالح کار که متوازی‌السطوح بودند، سطوح مستوی و مکعب به عنوان با صرفه‌ترین حجم پذیرفته شد، زیرا بیشترین فضا را داشت. اینها مشخصه‌های سبک جهانی سال‌های

۱۹۲۰تا۱۹۳۰ هستند. کاربرد سیمان با بتن مسلح در تحول خود گویا سه دوره را که از نظر زمانی متوالی و به ترتیب تاریخی نبوده‌اند، پشت سر گذاشته است. سیمان به عنوان ماده جانشینی با مواد دیگر به کار می‌رفته و کاربرد آن به ویژه در اسکلت‌بندی، کف اطاق‌ها و بام‌ها بوده است.

مصالح جدید

با پیدایش مصالح جدید از قبیل انواع فولادهای ویژه، مصالح سبک فرآورده‌های پلاستیکی و انواع شیشه‌ها، با عملیات تازه‌ای بر روی بتن زمینه پیدایش بتن پیش ساخته فراهم شد. این دو عامل بر قسمت هنری معماری عمیقاً اثر گذاشتند. اما این واقعیت را نباید نادیده گرفت که این مصالح نوین در تکنیک‌های ساختمان‌سازی سنتی هم به کار گرفته می‌شدند و برعکس، مصالح سنتی طبیعی مانند سنگ، لوح یا چوب و آجرهای معمولی نیز در تکنیک‌های نوین کاربرد داشتند.

فولاد در گذر این دوره به ماده اصلی ساختمان تبدیل شد که به تنهایی یا همراه با بتن به اشکال گوناگون به کار می‌رفت.

پیشرفت رشته متالورژی موجب شد تا برای ساخت بخش‌های حمال و اسکلت فلزی پروفیل‌هایی تهیه شود. به پروفیل‌های به دست آمده از نورد گرم، پروفیل‌های ساخته شده با نورد سرد نیز افزوده شدند. این پروفیل‌ها از خم کردن نازک یا ضخیم با پرس یا شکل‌دهی با ماشین غلافکنی تولید می‌شوند. آرماتورهای مخصوص بتن مسلح با میلگرد از فولاد نرم و آهن‌هایی که پس از مفتول کشی متحمل تابیدگی در حالت سرد می‌شوند، تهیه می‌شدند.

سیمان که در بتن جدید به عنوان چسب با ملات به کار می‌رود، در سده نوزدهم ساخته شد. تولید صنعتی آن خواص ثابتی را برای آن معین کرد که به ترکیب شیمیایی و طرز تهیه آن بستگی دارد. سیمان جدید مخلوطی از سنگ آهک، خاک رس، کوارتز و اکسید آهن است که درصد کمی انیدرید سولفوریک [و اکسید منیزیم] به همراه دارد. پخت آن

حدود ۱۴۰۰ درجه حرارت لازم دارد. ساخت سیمان‌های محتوی هوا (سیمان سبک) با افزودن موادی به آن در زمان مخلوط کردن آن با آب یاد گرفته شد.

تحقیقات روی ترکیبات گوناگون بتن اخیراً باز هم به ساخت نوعی بتن سبک انجامیده که یکی از اجزای تشکیل دهندهٔ آن ماده‌ای سخت با چگالی کم است. از این ماده با نوعی دستکاری خاک رس، تورب یا شیست‌های معدنی تهیه می‌شود که چیزی شبیه به خاکروبه انباشته است. بتن سبک برای تهیه قطعات پیش ساخته بسیار مناسب است. همکاری بتن مسلح و فولاد بر پایه تکنیک دیگری، در گذر دهه ۶۰ برای ساخت برج‌های بلند توسعه یافته است.

برای پوشش بیرونی و درونی مصالح دیگری به کار گرفته شدند. اینها فلزهایی مانند آلومینیوم بودند که سطح آن را می‌شد تحت تأثیر عملیات شیمیایی قرار داد. آنها فراوان و بسیار گوناگون بودند.

یکی از سنتی‌ترین مصالح دارای ریشه شیمیایی؛ یعنی شیشه پیش از جنگ جهانی دوم صرفاً برای مسدود کردن قسمت‌های شیشه خور درها به کار گرفته نمی‌شد. این ماده در اثر روش‌های ساخت بسیار پیشرفته نظیر آب دادن یا کشش به شکل نخ و همچنین، ارائه به شکل آجر، فرش، پیاده‌رو و سفال به یک عنصر ساختمانی بسیار کارآمد تبدیل شده است.

انواع اسکلت بندی

اسلکت‌بندی ساختمان‌های چند طبقه و یک طبقه مشکلاتی پدید آوردند که ویژه هر کدام از آنها بود.

اسلکت‌بندی ساختمان‌های چند طبقه مستلزم کاربرد ستون‌های عمودی و پله‌های افقی همچون یک واحد مشخص بود. این حالت حتی زمانی که ساختمان یکپارچه است نیز وجود دارد. برافراشتن یک اسلکت بندی فلزی از این نوع خیلی زود به طرح تیرهای مهاری انجامید که می‌شد آنها را در محل‌های لازم قرار داد. "وایرندل" در سال ۱۸۸۰، برای این مورد یک تیر عرضی را توصیه کرد که برای ساختمان انستیتوی پادشاهی معماران

بریتانیا به شکل قطعات پرچ شده‌ای با طول ۱۸ متر در ارتفاع ۳ متری به کار برده شد.

انتخاب بین اسکلت‌بندی آهنی و بتنی به عوامل متعددی بستگی دارد. اسکلت‌بندی آهنی برای ساختمان‌های بسیار بلند با بار کم مناسب است، زیرا به کار بردن مصالح در آن بسیار ساده و کم هزینه است، مانند ساختمان‌های دفاتر و هتل‌ها. اسکلت بندی بتنی برای ساختمان‌هایی مناسب است که در آنها دستگاه‌هایی ساختمان را می‌لرزانند یا کف‌های طبقات را سنگین می‌کنند، مثل انبارها. به کار گرفتن عناصر یک اسلکت بندی مشروط بر الزامات تکنیکی و صنعتی، پروفیل و شکل قطعات و نیز عوامل دیگر است.

از مهم‌ترین ساختمان‌ها "aerogare sud "با اسکلت فلزی در سال‌های ۱۹۶۰، ساختمانی در اورلی است که درسال ۱۹۵۶ بنای آن شروع شد.

گالری دستگاه‌های نمایشگاه سال ۱۸۸۹، نوع کامل ساختمان‌های بسیار پیشرفته تکنیکی عصر ما در قسمت اسکلت‌های ساختمان‌های یک طبقه را عرضه کرد[۵].

بتن مسلح نیز از مصالح ویژه اسکلت‌های بزرگ است. روش‌های کاربرد و اشکال ساخته شده آن بسیار گوناگون است. پوشش سطوح بزرگ به وسیله ستون‌های قارچ مانند نیز با پیشگامی «بودو» بوده است. این سیستم بعدها با موفقیت توسط «فرانک لوید رایت» در ساختمان دفاتر شرکت «جانسون واکس» در سال‌های ۱۹۳۶ تا ۱۹۳۹ به کار گرفته شد. "پیر لویجی نروی" در دهه ۵۰ به همکاری دعوت شد. تحقیقات وی نه تنها در تکنیک، که در اقتصاد کاهش فولاد، کوچک بودن و قالب‌بندی هم تأثیر داشته است. وی از سه عنصر پایه، تیرهای عرضی پیش ساخته باریک که با داشتن یک منظره مواج در کف، سقف یا بام به کار می‌رود، پانل‌های پیش ساخته و انحنادار سقف و سیستمی از سیمان مسلح برای ساختن الواح پیش ساخته استفاده کرده است.

مصالح پوشش

از زمانی که ساختمان با اسلکت‌بندی پیشرفت خود را آغاز کرد، دیوارهای حمال سنتی اهمیت خود را به نفع دیوارهای پرده‌ای که با مصالحی با گوناگونی روز افزون ساخته

می‌شدند، از دست دادند. مسئله پوشش فی نفسه تکنیک تازه‌ای نبود، زیرا از آن هم برای ساخت تیغه‌های داخلی و هم دیوارهای خارجی بسیار قدیمی و با اشکال گوناگون استفاده می‌شد. تحولی که از چند دههٔ پیش پدید آمد، مرهون اجتماع تحول اسکلت‌بندی‌ها و مصالح است که به ویژه با کثرت ترکیبات به دست آمده ممتاز شده است. از نمای کلی به نمای تکه تکه، باز به تکنیک پیش ساخته سازی رسیدند.

کاربرد تیغه‌های قابل حمل به شمار امکانات در دسترس معماران افزوده شد که نمونه‌ای از کاربرد آن در شهر نیویورک است.

در سال ۱۹۰۸،"روبرمایار،" مهندس سوئیسی، با تجربه‌ای که در کار ساخت پل‌های بتن مسلح به دست آورده بود، علاقه‌مند شد که درباره تخته‌بندی‌های کف بدون پل تحقیق کند. وی این تکنیک را دو سال بعد در ساختمانی در شهر زوریخ برای یک انبار با ستون‌های قارچ مانند اجرا کرد. این ستون‌ها که نقش دیافراگم را بازی می‌کنند، باید بتوانند در برابر فشارهای محوری توزیع شده بایستند. گسترش این تکنیک مرهون محاسبات دقیق و نیز تجربه‌های عملی زیادی بود که بر تحلیل عمیق و مقدماتی جنبه‌های گوناگون این مسئله تکیه داشتند.

تکنیک‌های سازماندهی مکان (مراحل نخستین ماشینیسم)

شهرسازان سرانجام اندیشه برنامه‌ریزی را که جایی برای دخالت فردی نمی‌گذاشت، وارد کردند. کوچه را دیگر نمی‌شد فضای آزاد بین خانه‌ها دانست، بلکه آن بر اعمال سلیقه‌های فردی حکومت می‌کرد. خانه‌ها باید در یک خط قرار گیرند و ارتفاع معینی داشته باشند. ارتفاع خانه‌ها باید متناسب با عرض کوچه‌ها یا میدانی که مشرف بر آنها هستند، باشد. در این دوران شهرهای کاملاً جدید کم بودند.

نخستین شهر بزرگی که در فرانسه براساس نقشه ساخته شد، لوهاور بود و نخستین سازندهٔ آن گیون لو روا بر روی قطعه زمینی که به او واگذار شد، نخستین محله را ساخت.

نخستین شهر مرزی که مطابق قاعده دژسازی شد، "ویتری لو فرانسوا" نام داشت که در

سال ۱۵۴۵ براساس نقشه‌ها "جیرولاموماریني بولونیایی" ساخته شد. این نقشه شطرنجی بود.

نخستین بزرگراه‌ها در این دوران ساخته شدند، مانند بزرگراه کورسو با ۱۶ متر عرض که ۱۲ متر شوسه بود و بزرگراه پو با ۱۸ متر عرض.

ایجاد شبکه فاضلاب به آهستگی رواج می‌یافت، زیرا چنین کاری مستلزم داشتن قدرت مالی و مصالح فراوان بود. در این کار معمولاً از جریان‌هایی از آب که از درون شهر می‌گذشتند، بهره‌گیری می‌شد و کوچه‌ها را نسبت به آن جریان‌ها شیب می‌دادند تا آب آنها نیز وارد این شبکه شود.

انقلاب صنعتی در زمینه وسایل حمل و نقل زمینی و دریایی از پایان سدهٔ چهاردهم و در سراسر سدهٔ پانزدهم بر روی حمل و نقل تأثیر داشته است.

فن پل‌سازی به پیشرفت زیادی نیاز نداشت. از اواسط سدهٔ چهاردهم، پل‌ها، شکل گوتیکی، حالت گوژی و خمیدگی زیاد خود را که از مشخصات پل‌های دوران پیش بود، از دست دادند. در مورد نحوه ساختمان این پل‌ها اطلاعات ما بسیار پراکنده است. روشن است که با افزایش دهانه پل‌ها ناچار بودند که پی‌های پل را در آب کار بگذارند. بنابراین، لازم بود که پی‌های صندوقه‌ای دارای کام و زبانه بسازند و این صندوقه‌ها را با اتصال کام و زبانه روی یکدیگر سوار کنند. این تکنیک در طرح‌های مهندسی آن زمان دیده می‌شود و در ساختن بعضی ساختمان‌های ملی بزرگ نیز به کار رفته‌اند. اما پل‌های موقتی و آنهایی که برای عبور ارتش ساخته می‌شدند، بر طبق تکنیک دیگری بود. دفترچه‌های مهندسان این دوره پر از طرح‌هایی برای ساختن این پل‌هاست که معمولاً از چوب ساخته می‌شد؛ طرح‌های به کار رفته کاملاً اصیل و هوشمندانه هستند.

در پایان سدهٔ چهاردهم، نمونه‌های بسیار شگفت‌انگیزی از پل‌ها به چشم می‌خورد، مانند پل‌های تا شونده [برای گذر از خندق]، پل‌های پیش ساخته که "گیدودا و ویجوانو" در سال ۱۳۳۰ طرح آن را داده بود و پل شناور.

کارشناسان در رشته پل سازی در نیمه نخست سدهٔ شانزدهم کاملاً استاد شده بودند. طرح‌های لئوناردو برای قالب‌بندی سقف پل‌ها، تکنیک‌های پی‌گذاری پایه‌ای پل و همه

وسایلی که برای پل‌سازی در دفاتر مهندسان ذکر شد، بدون تغییر چندانی در سده‌های بعد به کار گرفته شدند.

رودخانه، کانال و بندر در سده ۱۸ و ۱۹

در سدهٔ هجدهم، رودخانه‌ها باز هم اصلی‌ترین راه رسیدن به درون شهرها، حمل و نقل کالاها و حتی جابه‌جا کردن مسافران بودند. اما راه‌های آبی هرگز نزدیک‌ترین راه رسیدن نبود و طغیان رودخانه‌ها یا خشکسالی‌های تابستان مانع حرکت کشتی‌ها می‌شد.

مشکل مهار کردن رودخانه‌ها و شط‌ها تنها زمانی برطرف شد که وسایل مکانیکی موتوردار زهکشی مؤثر را ممکن ساختند، دورانی که شیوه‌های ساختن آب‌بندها و باراندازها تکامل یافته بودند. به علت نبودن راه‌های مناسب، در سدهٔ هجدهم و آغاز سدهٔ نوزدهم، رودخانه‌ها نقش مهمی در کار ترابری بر عهده داشتند.

با آغاز سال ۱۸۳۰، خدمات عمومی درکشتی‌های بخاری در همه راه‌های آبی فرانسه، به خصوص روی رودخانه سن و آبراه‌های اصلی آن، توسط شرکت‌های خصوصی ارائه می‌شد. این سال‌ها دوران شکوفایی تأسیسات صنعتی کائه بود که بیشتر کشتی‌های رودخانه‌ای مجهز به ماشین بخار و استوانه نوساندار را ساخته بودند.

کانال‌ها در فرانسه بسیار زود حفر شدند. این کشور تا اواسط سدهٔ هجدهم از جنبه کارهای کانال سازی پیشاپیش کشورهای دیگر گام برمی‌داشت. تکنیک کانال سازی که طی سدهٔ هفدهم مدون شد و شامل ساخت دریچه‌ها، پل آب گذر، ساخت منبع، دهانه، سیفون‌هایی برای جریان‌های کوچک آب و غیره بود، به خوبی جا افتاد و تا این زمان بدون تغییر مانده است.

٦. ساختمان و معماری در سدهٔ نوزدهم
تکنیک‌های کهن و نوین

در سدهٔ هجدهم که آقایان دارابی فلزگران و کولبروکدیل توانستند سنگ آهن را با کک [به جای زغال چوب] ذوب کنند، یکی از راه‌های انقلاب صنعتی باز شد، زیرا این کار هزینه تولید چدن را بسیار کاهش داد.

پل سورن [که قطعات آن را دارابی ابراهام ۱۱۱ تهیه کرده بود] نشانه‌ای از آغاز کاربرد چدن در کارهای ساختمانی است. بنابراین، می‌توان پل سورن را به عنوان تاریخ کاربرد در کار ساختمانی دانست.

راسیونالیسم در معماری

راسیونالیسم معماری فرانسه را در برابر خشونت آکادمیسم و با تکیه بر شناخت معماری قرون وسطی فرمول‌بندی کرده است. او گمان دارد که در معماری قرون وسطی قاب پنجره بیضی شکل و شاید، با کمی افراط، به نظر پوا ابراهام، نوعی معماری پر رگه است و معتقد است که معمار به نیازهای زمان خود می‌نگرد.

آغاز استفاده از بتن مسلح

پس از برپایی نمایشگاه سال ۱۸۸۹ و ساختمان‌های شیکاگو، کاربرد فلز در ساختمان توسعه یافت. بدین ترتیب، در پایان سده نوزدهم، تکنیک تازه‌ای به وجود آمد، تکنیکی که گسترش بعدی آن چشمگیر بود و آن ساخت بتن مسلح است، عنصر پیچیده‌ای که ماده اصلی ساختمان‌های بتنی را تشکیل می‌دهد. این ماده با اختراع سیمان (لویی ویکا، ۱۸۲۰)، سپس نوع پرتلند (جوزف اسپدین، ۱۸۲۴) آن پدید آمد. مبنای آن تکنیک قالب‌بندی (کوفراژ) کاهگل (ساختمان فرانسو کوانیه، ۱۸۴۷) و نیز به کارگیری توری‌های سیمی در کار سیمان یا بتن (ساختمان لمبو، ۱۸۴۷) یا پوشانیدن ظرف‌های بزرگ با سیمان (گلخانه ژوزف مونیه، ۱۸۴۹) است. وانگهی، در گذشته در مواردی قطعات آهنی را با سیمان پوشانیده‌اند. اما این روش در واقع تا سال ۱۸۸۰؛ یعنی هنگامی که مونیه اختراع خود

را که مربوط به تیر آهن بود به آلمانی‌ها و اتریشی‌ها فروخت، مرسوم نشده بود. در سال ۱۸۹۰ کوتانسن اختراع «سیم خاردار» و نیز سیستمی از «آجرهای مسلح» را به ثبت رسانید.

مهندسان پل سازی و راه‌های شوسه

در کشور فرانسه از همان نیمه نخست سدهٔ هجدهم، لزوم ایجاد یک شبکه عمومی راه‌ها احساس و برای ایجاد و نگهداری آنها سازمان‌هایی تأسیس شده بود. انیل تردون که در سال ۱۷۳۷ بازرس کل راه بود، به همراه پسرش فیلیبر این مأموریت را به طور مؤثری انجام دادند. آنها در سال ۱۷۴۷ مدرسه پل سازی و راه‌های شوسه را بنا کردند. این مدرسه کادر فنی لازم را برای کار تأمین و تعداد زیادی مهندس تربیت می‌کرد که شهرت یافتند. با این همه، تکنیک ساخت پل‌ها و راه‌ها با آهستگی تمام پیش می‌رفت.

پل‌های لندن

سازندگان پل‌های سنگی انگلستان را نمی‌توان نوآوران سدهٔ هجدهم به شمار آورد. اما آنها راه مهندسان فرانسوی را در اوایل سدهٔ نوزدهم دنبال کردند.

از میان پل‌سازان برجسته این دوران می‌توان از جان رنی و پسرش تامس تلفرد نام برد. عبور از رودخانه تمز در لندن تا سال ۱۷۵۰، تنها از روی یک پل عملی می‌شد و آن پل لندن بود.

پل دوم رودخانه تمز پل وستمینستر است که در سال‌های ۱۷۵۰ـ۱۷۳۸ به وسیله شارل لابله سوئیسی ساخته شد.

پل سوم در سال‌های ۱۷۶۹ـ۱۷۵۰ به وسیله رابرت میلن نصب شد و نام آن "پل بلک فرایزر" است. پل واترلو را جان رنی در سال‌های ۱۸۱۷ــ۱۸۱۱ ساخت و کانووا آن را «اصیل‌ترین پل جهان» نامید. این پل نخستین پل لندن است که رهگذر افقی دارد و بر روی ۹ طاق نیم بیضوی و با سنگ گرانیت ساخته شده است.

بالاخره، پل لندن در سال‌های ۱۸۳۱ـ۱۸۲۴ در ۵۰ متر بالاتر از محل فعلی‌اش ساخته شده بود. طراحی آن کار جورج رنی بود که زیر نظر پدرش آن را تهیه کرد و برادر

کوچکش جان رنی آن را به انجام رسانید. این پل با سنگ گرانیت با پنج دهانه ساخته شد که دهانه طاق وسط آن ۴۶ متر و دو طاق انتهایی ۶/۹۳ متر بود. این پل به مدت بیش از یک سده بدون هیچ مرمتی مورد استفاده قرار می‌گرفت.

پل‌سازان بریتانیایی در کارهایی که با مصالح بنایی انجام می‌دادند به اندازه همکاران فرانسوی خود از تهور برخودار نبودند و به تجمل پل توجه نداشتند. پل‌سازی که بیش از دیگران به سلیقه فرانسویان نزدیک شد، تامس تلفرد بود که از طرح پل نویی در ساختن پل سورن نزدیک گلاستر الهام گرفت.

پل‌های چدنی

مهندسان بریتانیا تهور بزرگ خود را در زمینه طرح و ساخت پل‌ها با به کار گرفتن چدن و سپس آهن به معرض نمایش گذاشتند و هنر پل سازی را سراپا دگرگون ساختند.

نخستین پل چدنی در سال‌های ۱۷۷۹ـ۱۷۷۶ زیر نظر آبراهام داربی و جان ویلکینسن ساخته شد و به دنبال آن قایق‌های مسافربری که کارگران کارگاه ریخته‌گری چدن را با گذشتن از رودخانه سورن از داربی به کولبروکدیل می‌بردند، از دور خارج شدند.

این پل که در روزگار ما هنوز برجا مانده، نام خود را بر روی محل گذاشته است، آیرون بریج. پل‌های چدنی دیگری در سال‌های بعد ساخته شدند. یکی از این پل‌ها ۲۰ سال بعد، در سال ۱۷۹۶ در نزدیکی ساندرلند بر روی رودخانه ویر در شمال شرقی انگلستان به وسیله رولند بردن نصب شد.

برای ساختن پل‌های بزرگ نیز تا نیمه دوم سدهٔ نوزدهم از چدن استفاده می‌شد. چنان‌که پل سولفرینو که درسال ۱۸۵۸ و پل سن لویی که در سال ۱۸۷۷ در پاریس ساخته شدند، چدنی بودند.

پل‌های آهنی

نخستین پل آهنی که پیش از پایان نیمه نخست سدهٔ نوزدهم ساخته شد، پلی بود که رابرت استیونسن برای گذر راه آهن از روی تنگه منای واقع در شمال غربی ویلز ایجاد کرد. این

پل از دو لوله فلزی موازی و با مقطع منشوری ساخته شده بود که هر کدام از آنها یکی از راه‌های آهن را از خود عبور می‌داد. این پل چهار پایه دارد که دوتای آنها بر روی جزیره کوچک بریتانیا استقرار دارند و پل به همین نام خوانده می‌شود.

نوع دیگری از پل‌های آهنی در سال‌های پایانی این نیم سده مورد بررسی قرار گرفت و نخستین پل‌هایی از آن نوع را ایزامبار کینگدم برونل ساخت. پل‌های اولیه‌ای از این نوع که با تیرها و خرپاهای آهنی ساخته شدند، پل‌های وینزر، چپستاو و سالتش بودند که برونل آنها را برای گریت وسترن ریل وی ساخت.

ساخت پل‌های آهنی در آن زمان دوران شکوفایی خود را داشت. در واقع، استفاده صنعتی از روش بسمر در آن زمان تازه آغاز شده بود و فولاد پیش از آن که سدهٔ نوزدهم به پایان رسد، تقریباً جای آهن و چدن را گرفته بود.

پل‌های معلق

کاربرد فلز برای ایجاد دهانه‌های وسیع راه حل دیگری را ممکن ساخت و آن ایجاد پل‌های معلق بود که اصول ساخت این پل‌ها از مدت‌ها پیش شناخته شده بود، لیکن از آن فقط برای پل‌های سبک عابر پیاده استفاده می‌شد که به کرات می‌بایست آنها را تعمیر می‌کردند. ساخت زنجیرهای آهنی در آغاز سده نوزدهم در انگلستان رواج یافت. اختراعی برای تولید زنجیرهای دارای حلقه‌های مسطح از آهن کوبیده شده در سال ۱۸۱۷ در انگلستان به وسیله سیموئل براون به ثبت رسید. پیشرفت‌های ایجاد شده در صنعت سیم‌سازی نیز تولید کابل‌های فلزی قوی را ممکن می‌ساخت و سگن اولین نفر در فرانسه بود که از کابل برای ساختن پل‌های معلق استفاده کرد. اما نخستین پل بزرگ معلق را تامس تلفرد ایجاد کرد؛ ساخت این پل در سال ۱۸۱۹ تصویب شد و در سال ۱۸۲۶ گشایش یافت.

۷. آغاز تمدن فنی در ایران

۱ـ مهندسی و فن در تاریخ

در واقع، داستان تمدن بشری سرگذشت تمدن مادی او و تاریخ مهندسی تاریخ دست یافتن بشر به مواد، شناخت و بهره برداری ازآنهاست.

انسان که در مراحل اول سیر تکاملی خویش چون جانوران می‌زیست، کم کم آموخت که چگونه نیروها و ماده‌های جهان پیرامون خویش را برای ادامه زندگی و بهتر ساختن آن به کار گیرد. شناخت و بهره‌گیری از طبیعت و مواد آن سالیان و سده‌های بسیار به طول انجامید و تلاش بشر برای جبران شکست‌ها و کسب تجربه و سازندگی پیوسته ادامه داشت.

علم و فن نیز از آغاز با یکدیگر نزدیکی داشتند و گاه یکی از دیگری ریشه و مایه می‌گرفت. مردمان باستان با ساختن به شناخت دست می‌یافتند و بر عکس آگاهی‌های علمی در بهره برداری‌های مهندسی به آنان یاری می‌کرد. هنر و فن نیز از دوران باستان با یکدیگر پیوندی ناگسستنی داشتند. هنرمند برای آفرینش هنری می‌بایست موجودیت مادی را تصور می‌کرد،آن را پدید می‌آورد و می‌ساخت. سفال سازی و نقش‌آفرینی روی سفال، که از ایران زمین ریشه گرفته است، یکی از کهن‌ترین ریشه‌ها و هنرهای بشری است ونشان‌دهنده پیوند نزدیک هنر و فن است[۶].

۲ ـ آغاز تمدن در ایران

آنچه را که تمدن ایرانی می‌نامیم، سنت‌هایی است که به ویژگی‌هایی به نام فرهنگ ایرانی برهمه فلات ایران حاکم بوده و در فرهنگ‌های دیگر نیز تأثیر داشته است. بررسی و مطالعه آثار باستانی‌ای که در خاک ایران واقع شده‌اند، می‌توانند تا حد زیادی معرف قدمت، غنا و پیوستگی سنت‌های فنی و مهندسی در تمدن ایران باشند.

سرزمین ایران از دیدگاه روندهای تکاملی پیدایی و بهره برداری مصالح، دارای تاریخی باستانی و پیوسته است. از دوران‌های پیش از تاریخ مدون این سرزمین تکه‌های سنگی پس از برآمدن از راه‌های آبی و گاهی نیز با کشیده شدن روی زمین به جایگاه

ساختمان برده می‌شد. هموارکردن رویهٔ سنگ‌ها تا حدی پیش از قرار داده شدن در سر کار و بقیهٔ آن پس از قرار گرفتن در محل نهایی انجام می‌گرفت. ابزارهای صاف کردن رویهٔ سنگ افزون بر تیغه‌های فلزی، تکه‌هایی از سنگ‌های سخت مثل دیوریت بود که به گونهٔ چکش روی سنگ کوبیده و بخش‌های ناصاف آن هموار می‌شد و از شن‌های ریز نیز که کار سمباده را انجام می‌داد، در صاف کردن اولیهٔ سنگ‌ها استفاده می‌شد. در شکل دادن و هموار کردن سنگ‌ها ابزارهایی چون گونیا و ریسمان نیز به کار می‌رفت. کاربرد سنگ در ساختمان از باستان تابع امکانات معدنی و ابزارهای شکل دادن به سنگ و هدف‌های ساختمانی بوده است.

کاربرد مصالح سنگی در ساختمان در دوره‌های اشکانی و ساسانی نیز ادامه داشته است. ساختمان‌های سنگی اشکانی و ساسانی عموماً از سنگ‌های لاشه که در ملات گچ و خاک و با آهک قرار می‌گرفتند، ساخته می‌شد.

به طور کلی، ایرانیان هنگامی که می خواستند ساختمانی بسازند تا همیشه بر جای بماند، از مصالح سنگی برای ساختن آن سود می‌برده‌اند. کانی‌های بعضی از سنگ‌های درخشان و رنگین چون فیروزه از باستان در شمال و شمال شرق و شمال غربی ایران شناخته شده بود.

مواد و مصالح خاکی در بین النهرین و ایران دارای تاریخچهٔ کاربرد بسیار کهن است. صنایع وابسته به آن مواد، چه در ساختمان سازی و چه در سفال سازی و سرامیک‌سازی، از جمله کهن‌ترین صنایع این مرز از جهان به شمار می‌رود.کاربرد مواد خاکی به گونه خشت در ساختمان و به گونه مصالح نخستین برای ساختن آوندها، ظروف و تندیسه‌های سفالی از دوران‌های پیش از تاریخ در ایران آغاز شده است. فراهم بودن خاک خوب در ایران موجب شده بود که بهره‌گیری از مواد و مصالح خاکی در رشته‌های فنی و هنری نه تنها از دوران‌های بس کهن آغاز شود، بلکه در طول سده‌های تاریخی نیز صنایعی که در آنها این مصالح به کار می‌رود، روایی و تکامل یابد.

نخستین نشانه‌های کاربرد مصالح خاکی ساختمانی به کار رفتن این مصالح به گونهٔ گل

بی‌شکل در ساختمان‌ها بوده است. در ساختمان‌های سیلک کاشان که تاریخ آنها به هزاره ششم پیش از میلاد باز می‌گردد، به گونهٔ چینه و بدون شکل در بنای دیوارهای خانه‌ها به کار رفته است. در این دوره گل ساخته شده،که از سرشتن آب و خاک و به‌هم زدن آن به دست می‌آمد، روی هم جا سازی و با ادامه این کار دیوار ساخته می‌شد. این روش تا سده‌های بسیار دور ایران ادامه یافت.کم کم به گل بی شکل با دست شکل داده شد و خشت‌های نخستین که به فرم بیضوی شباهت دارد، پدید آمد.

تاریخ پیدایش نخستین کوره‌های پخت خشت برای تهیه آجر و نیز کوره‌های پخت ظروف گلی برای فراهم آوردن آوندهای سفالی به یکدیگر پیوسته است. خشت‌های پخته از هزاره چهارم پیش از میلاد به دست بابلیان ساخته شد.

در ایران، بقایای کوره‌های آجرپزی در شوش و سیلک که تاریخ آنها به هزارهٔ چهارم پیش از میلاد می‌رسد، پیدا شده است.

پل‌ها و سدها

۱ـ پل سازی تا زمان هخامنشیان

به طور کلی، پل‌ها را از دیدگاه سیر تکاملی تاریخی و از نظر مهندسی به سه گروه می‌توان تقسیم کرد: یکی پل‌های معلق که در آنها گذرگاه پل از رسنی که به آن ساحل رودخانه پیوسته است آویزان می‌شود. این پل که از کهن‌ترین نوع پل به شمار می‌رود، هنوز هم توسط قبایل آفریقایی ساخته می‌شود.

نوع دیگر پل که گذرگاه آن به صورت تیری است که در دو انتها، بر دو ساحل تکیه دارد و دارای پیشینه تاریخی است؛ پل‌های قوسی نوع سوم هستند که می‌توان آنها را از نظر مهندسی در درجهٔ بالاتری نسبت به پل‌های تیری شکل قرار داد. ساختمان این نوع پل از منطقه بین النهرین و ایران آغاز شده است .

قدیمی‌ترین پلی که تا اندازه‌ای جنبه مهندسی داشته، بر روی فرات ساخته شده و دو قسمت شهر بابل را به یکدیگر متصل می‌کرده است. این پل به وسیله نبوچادرزار،

فرمانروای بابل در هزارهٔ اول ق.م، ساخته شده که ۴۰۰ متر طول و ۹ متر عرض داشته است.

پل‌هایی که در ایران ساخته می‌شده است، ساختمان‌هایی چند منظوره محسوب می‌شده و عمل سد را نیز انجام می‌داده‌اند.

۲ـ پل سازی در دورهٔ هخامنشیان

در زمان هخامنشیان تعدادی پل‌های بندی در بخش‌های فارس و خوزستان و میانرودان ساخته شده بود که امروزه، تنها پایه‌های این آثار بر جای مانده و پل‌ها و سدهای دوره‌های ساسانی و اسلامی بر روی برخی از این پایه‌ها بنا شده است.

یکی از نمونه‌های پل سازی و مدیریت دوران هخامنشی ساختن پل موقت بر روی رودخانه هلس پونت بوده است. در سال ۴۸۵ پیش از میلاد، خشایار شاه در لشکرکشی خود به یونان دستور داد تا پلی بر روی رودخانه هلس پونت[1] بسازند. این پل ساخته شد، ولی در اثر توفان ویران گشت.

گروه جدید مهندسی با عبرت از ویران شدن پل پیشین پل بزرگ‌تری با ضریب اطمینان بیشتری ساختند. این مهندسان برای ساختن پل ۶۷۴ کشتی را دوبه دو پهلوی هم، روی آب قرار دادند و لنگر کشتی‌ها را به آب انداختند. هر خط از این کشتی‌ها را با دو رسن از کتان که هر متر آن ۲۵ کیلوگرم وزن داشت و نیز با چهار رسن از نوع پاپیروس به یکدیگر متصل کردند. آن‌گاه الوارهای بلندی با زاویه قائم روی رسن‌ها قرار دادند و روی الوارها خاشاک ورودی این پل خاشاک گل ریختند. به این ترتیب، بر روی رودخانه هلس پونت پل ساخته شد.

۳ـ پل سازی در دورهٔ ساسانیان

پل سازی در دورهٔ ساسانیان ترکیبی از روش‌ها و سبک‌های هخامنشی توأم با تأثیرات پل

---

1. Hellespont

سازی رومی بوده است. تأثیر پل سازی رومی به وسیله اسیران رومی که پس از شکست والرین، امپراتور روم، به دست شاپور به ایران آورده بودند، در ساختمان‌های ساسانیان وارد شد. در پل‌های ساسانی معمولاً تعدادی قطعات سنگی با بست‌های آهنی و سربی به یکدیگر پیوند یافته و در این پل‌ها بتن نیز به کار رفته است. نماسازی پل‌ها با آجر یا سنگ صورت پذیرفته و این نماسازی با هستهٔ داخلی پل قفل و بست و پایه‌های پل‌ها معمولاً از بتن ساخته شده و قسمت هسته (داخلی) ساختمان پل را سنگ و بتن و ملات سیمان تشکیل داده است.

در دورهٔ ساسانیان پل سازی بیشتر در بخش‌های فارس و خوزستان انجام گرفته و علت آن نیاز زیاد این مناطق به پل سازی بوده است.

پل‌های عمده‌ای که در دوره ساسانیان ساخته شده است، عبارت‌اند از: پل ویند شوشتر که در ازای آن متجاوز از ۵۰۰ متر بوده است. این پل دارای ۴۱ پایه است که در زمان ساسانیان به سبک رومی ساخته شده است؛ پل‌های دختر که در نقاط مختلف ایران، از قدیم ساخته شده است و همگی امروزه به نام پل دختر معروف‌اند. یکی از پل‌های دختر پلی است که بقایای آن نزدیک سروستان از دورهٔ ساسانیان به جای مانده است. پل دیگر دختر بین راه دزفول به خرم آباد ساخته شده است. در مورد نام دختر بر روی این پل‌ها این عقیده وجود دارد که این پل‌ها همه به نام آناهیتا و فرشته نگهبان آب‌ها ساخته شده و بعدها پل دختر نام گرفته است. نمونه‌های دیگر از پل‌های دختر که منسوب به آناهیتا ایزد آب‌ها هستند، عبارت‌اند از: پل دختر میانه و پل دختر روی تالار رود.

پل‌های عمده دیگری که در زمان ساسانیان ساخته شدند، عبارت‌اند از: پل زال که نزدیک خرم آباد واقع و دهانهٔ آن با یک قوس سهمی شکل پوشانیده شده است؛ پل‌زاب که قوس میانی آن دارای شکل سهمی است. پایه‌های این پل بتنی، ولی نماسازی آن با مصالح بنایی انجام شده است. قوس‌های این پل آجری هستند. پل روی رودخانه‌ای در نزدیکی دزفول به سبک رومی ساخته شده است. پل بین اهواز و جزیره‌ای به نام کانتارا (قنطره) هندوان و روی کارون قرار دارد، این پل از آجر پخته شده و به وسیله عضدالدوله

دیلمی تعمیر شده است. پل زر که قوس آن بیضی شکل است.

پل شهرستان روی زاینده‌رود در اصفهان دارای سبک رومی است. این پل بر روی سنگ شیست بنا شده است. پل لشکر در جنوب غربی ایران قرار دارد که ابن حوقل از آن نام برده است و پل رودخانه‌ای خوباهان که مقدسی آن را ذکر کرده است.

٤ـ پل سازی در دوران اسلامی

پل‌های عمدهٔ دوران اسلامی عبارت‌اند از: پل خدا آفرین که بر روی رودخانهٔ ارس در شمال آذربایجان در محلی به نام زنگیان ساخته شده است. این پل نخستین پل بزرگ دورهٔ اسلامی به شمار می‌رود؛ پل ضیاءالملک تماماً از سنگ بر روی رودخانه‌ای در نزدیکی کرخه که قوسی بوده، ساخته شده و تاریخ ساختمان این قوس معلق، متعلق به سدهٔ هشتم هجری است؛ پل گرگان مربوط به سدهٔ هفتم هجری؛ پل بین مراغه و زنجان مربوط به دورهٔ مغول؛ پل قافلان کوه که ساختمان اولیهٔ آن در سدهٔ پنجم هجری انجام شد؛ پل گیلان و مازندران، به ویژه پل آمل به دستور شاه عباس اول ساخته شده است. این پل بر روی رودخانه هرج ویل در فارس ساخته شده و پایه‌های آن سنگی است. مصالح بنایی بدنهٔ پل با شالوده قفل و بست شده بود؛ پل ا.. وردی خان (سی و سه پل) بر روی زاینده‌رود در اصفهان به وسیله سردار شاه عباس اول در سدهٔ دهم ساخته شد؛ پل خواجو بر روی زاینده‌رود در اصفهان در زمان شاه عباس دوم (۱۵۷۷ هـ و ۱۰۵۲ هـ) ساخته شده است. این پل که از نوع پل سدی است، به عقیده برخی نقطه اوج صنعت پل و سدسازی در ایران به شمار می‌رود.

سدها

۱ـ سدسازی تا دورهٔ هخامنشیان

تاریخ پیدایی فن سدسازی در ایران و مصر و میانرودان بسیار قدیم است و نشانه‌هایی از سدهای باستانی که در این سرزمین‌ها ساخته شده، هنوز بر جای است. برخی از فرمانروایان سلسله‌های قدیم این مرزها از نظر تاریخی به کارهای آبادانی شهرت یافته و اجرای

ساختمان‌های زیادی به آنها نسبت داده شده است. از جملهٔ این حکمرانان سناخریب پادشاه بابل بود که کارهای آبی بسیاری چون کانال سازی و بندسازی به دست وی انجام گرفته است. سدهایی که از قدیم در مصر و میانرودان و ایران ساخته شده، پس از مدتی از ته نشین رودخانه‌ها انباشته و از بهره‌برداری مؤثر خارج می شده است.

۲ـ سدسازی در دورهٔ هخامنشیان

در زمان هخامنشیان نخستین کوشش در زمینه سدسازی بر روی اروند و فرات به عمل آمد. از مشخصات این رودخانه آن بود که سطح فرات بالاتر از دجله قرار داشت و درضمن، در زمان بابلیان تمایل فرات نسبت به شرق بیشتر از امروز و این رود تنها دارای یک مجرا بوده است. انشعاب فرات به دو مجرا بین سنه‌های ۱۰۰ ق.م. و ۶۰۰ ق.م. روی داده است. چنان که پیداست، هخامنشیان سدهایی بر روی رودخانه‌های فرات و اروند بستند و گام‌های دیگری در گسترش شبکهٔ کانال‌های آبیاری برداشتند. شکی نیست که آن سدها در ۴۰۰ ق.م. که اسکندر مقدونی به آنجاها رسید، ساخته شده و برپا بوده‌اند.

افزون بر بندهایی که در زمان هخامنشیان بر روی رودخانه‌های اروند و فرات ساخته شد، بر روی رودخانه کر در فارس نیز بندهایی برای آبیاری زمین‌های پیرامون تخت جمشید ایجاد شد. با اینکه آثاری از تمام سدهای ساخته شده در زمان هخامنشی‌ها در دست نیست، ولی برخی از بندها که تا امروز بر روی آن رودخانه بر جای مانده‌اند، دارای پایه‌های هخامنشی هستند، از جمله این سدها بند ناصری است که در ۴۸ کیلومتری شمال غربی تخت جمشید واقع شده است.

۳ـ بندسازی در دورهٔ هخامنشیان

از زمان ایلامیان و دوران اولیه سلسله ساسانی برای بالا بردن سطح آب در رودخانه کارون تا به سطح شهر شوشتر سدی بر روی رود کارون زده بودند.

پادشاهان و مهندسان ساسانی افزون بر ساختن سد بر روی رودخانه‌های کارون و کرخه در سرزمین ایراک (عراق امروزی) نیز به ساختن سدهایی به ویژه در کرانهٔ شرقی اروند بین

سامره و کوت مبادرت کردند. ساسانیان سیستم آبیاری رودخانه دیاله را گسترش دادند و در پدید آوردن نهرها تا آنجا پیش رفتند که نیاز به مقدار آبی بیشتر از ظرفیت رودخانه دیاله پیش آمد. به کمک این گروه رودخانهٔ اروند گشوده شد، بدین معنی که ابتدا آب آن را با ابزارهای بالا بردن آب و سپس با کانال‌های عظیم بالا می‌بردند و آن را با وسیله‌ای به رود دیاله سوار می‌کردند.

گسترش شبکه آبیاری در جنوب ایران و میانرودان در زمان خسرو اول، پادشاه ساسانی (۵۷۹ـ۵۳۱ م.)، به درجه بالای خود رسید. یکی از نمونه‌های آن کانال روان بوده است که از پشت سد بر روی اروند نزدیک نهری به نام دور[1] تغذیه می شده است. این کانال بعدها در زمان خلفای عباسی تعمیر شد.

کانال نهروان در محل باکوبه [واقع در ۵۳ کیلومتری شمال شرقی بغداد و حدود ۱۱۰ کیلومتری پایین دست سد] به رودخانهٔ دیاله می رسید. نکته جالب توجه آن است که کانال نهروان و رودخانه دیاله در یک سطح و بدون هیچ گونه کنترل مجازی به یکدیگر می‌رسیدند و این نشان دهندهٔ آن است که مهندسان ساسانی می‌توانستند جای سد را طوری انتخاب کنند که این جریان و ارتباط طبیعی با دقت انجام گیرد و این خود نشان‌دهنده تبحر آنان در پیاده کردن نقشه و نقشه برداری ساختمان‌ها و تأسیسات بوده است.

بندهای دیگر خوزستان

افزون بر سدها و پل‌هایی که شرح داده شد، در دوره باستان در سرزمین خوزستان بندها، پل‌ها و سدهای دیگری نیز ساخته شده بود که به آبیاری زمین‌های پیرامون کمک فراوان می‌کرده‌اند. برخی از این سدها عبارت بودند از: سد قلعه رستم در ۳۳ کیلومتری شمال شوشتر بر روی کارون که دارای سه دهنهٔ بزرگ بالا به پایین بوده است. نهری را که از این سه سد آب می‌گرفته است، نهر «جوی بند» یا دیم چه می‌گفته‌اند. در ازای این نهر آبیاری ۱۸ کیلومتری بوده است؛ سد عجیرب در ۳۶ کیلومتری مغرب شوشتر است که بر روی

---

1 . Dur

رودخانه عجیرب [شعبه‌ای از آب دز] ساخته شده بود؛ سد شعیبیه که در ۲۴ کیلومتری جنوب غربی شوشتر بر روی رودخانه دز ساخته شده بود؛ سد کارون که در ۸ کیلومتری شمال اهواز قرار داشته است؛ سد کرخه که در ۱۵ کیلومتری شمال حمیدیه واقع بوده است؛ سد ابوالعباس در ۱۸ کیلومتری رامهرمز واقع است و از سه دهانه تشکیل شده است.

سد ابوالفارس در جنوب شرقی رامهرمز است؛ سد جراحی در ۲۹ کیلومتر جنوب رامهرمز قرار دارد.

سد سربند ایزد خواست در فارس

یکی از آثار تاریخی دوران ساسانیان دژ باستانی ایزد خواست و آثار تاریخی مربوط به آن است. این آثار که در راه اصفهان به شیراز در ۴۱ کیلومتری جنوب اصفهان واقع شده، شامل قلعه، آتشگاه، پل، کاروانسرا و سد نزدیک آن است.

سد ایزد خواست (یزد خواست) در ۱۰ کیلومتری جنوب دهکده یزد خواست قرار گرفته و درازای آن ۶۵ متر و پهنای آن نزدیک ۶ متر است. از ویژگی‌های این بند که تنها بخشی از آن برجای مانده، آن است که این سد از نوع «قوسی» بوده است. سد یزد خواست که می‌توان آن را نخستین بند قوسی جهان دانست، از بناهای دورهٔ ساسانی است. مصالح ساختمانی سد شامل سنگ لاشه و ملات گچ و ساروج و نمای آن از سنگ تراشیده با اندود ساروج است. این بند برای جمع کردن آب‌های بهاری و جلوگیری از جریان سیل در منطقه ایزد خواست ساخته شده بوده است.

سد سکندر

دربارهٔ دیواره یا سدی که در تاریخ به نام «سد سکندر» معروف شده است، نوشته‌های قدیمی و اخبار متعددی آورده‌اند. در غالب این نوشته‌ها چنین آمده است: "اسکندر مقدونی در لشکرکشی‌های خویش به شرق به سرزمین ماورالنهر می‌رسد و در آنجا به او گفته می‌شود که شهرهای آن دیار مرتباً در معرض تهاجم قومی یأجوج و مأجوج قرار

می‌گیرد و مردم از اسکندر می‌خواهند که چاره‌ای بیندیشد. وی نیز سدی را در دهانه دره‌ای بنا می‌کند و به این وسیله جلو مهاجمان را می‌گیرد.

سد معروف به سد سکندر نوعی دیوارهٔ دفاعی بوده است. افزون بر سد سکندر از دیواره‌های دفاعی دیگری نیز در نوشته‌های تاریخی نام برده شده است که همگی در منطقهٔ دریای مازندارن ایجاد شده‌اند. این سدها یا دیوارها به نام‌های سد تمنیشه، سد دربند، سد انوشیروان، سد مرو و باب‌الابواب شهرت یافته‌اند و احتمال دارد که سد سکندر یکی از این پنج دیواره بوده باشد.

٤ـ سدسازی در دوران اسلامی

ایران پس از برقراری تمدن اسلامی بسیاری از شبکه‌های آبیاری پل‌ها را از زمان‌های پیش از اسلام به ارث برد. روی هم رفته، روش‌های ساختمانی و مهندسی سدسازی دوران‌های پیش در دوره‌های اسلامی دنبال شد و گاهی به روش‌های پیشین ابداعاتی نیز بدان افزوده شد. بسیاری از سدهای پیش از اسلام در ایران به دست ایرانیان مسلمان تعمیر شد. مصالحی که برای تعمیر یا نوسازی سدها در دوره‌های اسلامی به کار می‌رفت، عموماً از مصالح بنایی بود که از زمان‌های پیش از اسلام نیز بوده است و به علت با دوام بودن، بسیار وزین بود و برای سدسازی مناسبت داشت. افزون برآن، تعمیرات و تغییراتی که در شبکه‌های آبیاری و سدها نیز در زمان اسلامی انجام گرفت. کاربرد چرخ‌های آبی نیز در روی رودخانه‌ها و نزدیک سدها توسعه فراوان یافت.

بندسازی در دوره‌های اولیه اسلامی

در اوایل زمامداری خلفای عباسی که آنان دارای قدرت زیاد بودند، بندهای باستانی تعمیر و از آنها بهره‌وری می‌شد. از جمله سیستم‌های آبی که مسلمانان از پیشینیان به ارث بردند، شبکه‌هایی بود که در شهرهای شوشتر، اهواز، بند قیر و دزفول قرار داشت. این ساختمان‌ها را ایرانیان پس از اسلام تعمیر کردند و به سیستم آبیاری شوشتر نیز سد دیگری به نام سد بولیتی افزودند. این سد که بر روی کال گرگر ساخته شده است، برای بهره‌برداری از

نیروی آب به کار می‌رفت و همراه با آن در روی رودخانه گرگر چرخ‌ها و آسیاب‌های آبی نصب شده بود. این آسیاب‌ها در تونل‌هایی که در دو سوی کانال و در سنگ تعبیه شده بودند، قرار داشته است و این خود یکی از نمونه‌های نخستین پیدایی سیستم نیروی محرکه آبی در دنیا به شمار می‌رود.

۵ ـ سدسازی در دورهٔ آل بویه (دیلمیان) (۴۴۷ـ۳۳۴ هـ.)

دورهٔ آل بویه از نظر سدسازی و کارهای آبی یکی از دوران‌های درخشان تاریخ فنی ایران به شمار می‌رود. عضدالدوله (۳۷۳ – ۳۳۸ هـ./ ۹۸۳ / ۹۴۹ م.)، یکی از پادشان این سلسله، افزون بر آنکه به کارهای آبادانی و ساختمانی علاقه زیادی داشت، خود مهندسی کارآمد به شمار می‌آمد.

بند امیر که بر روی رودخانه کر در فارس در سال (۳۴۹ هـ./ ۹۶۰ میلادی) ایجاد شد، یکی از کارهای برجستهٔ عضدالدوله به عنوان یک سدساز به شمار می‌رود. بند امیر ۹ متر بلندا و ۷۵ متر درازا دارد و در پایین دست دارای شیب ۴۵ درجه است. کاربرد بست‌های آهنی همراه با سنگ و ملات سیمانی به استواری و آب‌بندی سد کمک زیادی کرده است. کاربرد ملات ماسهٔ مخلوط و سیمان الک شده نشان دهندهٔ آن است که سازندگان سد امیر به ویژگی‌های ملات‌ها و آماده کردن آنها آگاهی داشته‌اند و البته، همین دقت عمل در نتیجهٔ کار که «خراش ناپذیر بودن» بند بوده، نمایان شده است.

در منطقهٔ مرودشت افزون بر بند امیر، سدهای دیگری نیز ساخته شده بود که بر روی هم آبیاری این حوزه را تشکیل می‌داده است. از جمله پنج سد دیگر در بالا دست بند امیر وجود داشته که بندر امجرد [به بزرگی بند امیر] از آنها بوده است. سد ابستانی دیگری در ۸۰ کیلومتری بالا دست بند امیر قرار دارد که بند ناصری نام گرفته است. بند ناصری مربوط به دوران هخامنشیان است.

در پایین دست بند امیر نیز پنج سد باستانی دیگر بین بندر امیر و دریاچهٔ بختگان ساخته شده است که بند فیض آباد مانده از دورهٔ هخامنشیان از آن جمله است.

٦ ـ سدسازی در دورهٔ ایلخانیان

از جمله بندهایی که از دوران ایلخانیان مغول برجای مانده است، دو سد است که یکی سد ساوه و دیگری سدکبار نام گرفته است و بین همدان و قم رود قره چای جریان دارد که در سده‌های میانه به نام گاوم‌ها شهرت داشته است. در دوره ایلخانیان روی این رودخانه سدسازی انجام شده است. همچنین، در این دوره در جنوب شرقی ساوه بند بزرگی برای آبیاری بر روی رودخانه قره‌چای ساخته شد. سد ساوه از نظر موقعیت رودخانه در جایی بسیار مناسب قرار دارد و این خود نشان دهندهٔ تبحر و کاردانی مهندس آن در گزینش جای سد است.

سد دیگر مربوط به دورهٔ ایلخانیان مغول سد کبار در ۲۵ کیلومتری جنوب قم است. این سد در دوره‌ای به شکل عدد هفت فارسی ساخته شده و کوه پیرامون آن از نوع سنگ آهکی است. سدکبار از مصالح سنگ لاشه با ملات درست شده و نماسازی آن با قطعات مکعب مستطیل همراه با ملات انجام شده است. ملاتی که در ساختمان این سد به کار رفته، ساروج است. ویژگی مشترک بین دو سد ساوه و سد کبار، بلندی هر دو سد است که از قرار معلوم برای ذخیرهٔ آب ساخته شده بود.

بندهای سیستان

پس از ویران شدن سدی که بر روی رودخانه هلموند (هیرمند) قرار داشت، در زمان ساسانیان شهر زرنگ پایتخت سیستان شد و مردمان به آنجا کوچ داده شدند.

در دوران اسلامی چرخ‌های آبی در روی این سدها نصب شد. در سال ۷۸۵ هجری/ ۱۳۸۳ میلادی شهر زرنگ (زرند) و سیستم‌های آبیاری آن به دست تیمور گورکانی ویران شد. بند دیگری به نام بند رستم که ساخته شده دورهٔ اسلامی بوده، شهر بست در نزدیکی محل فعلی گیریسک را آب رسانی می‌کرده که آن هم ویران شده است.

سدسازی در دورهٔ صفویه

در زمان سلسله صفوی که دورهٔ آن ۲۵۰ سال طول کشید، کارهای آبادانی چشمگیری در ایران انجام گرفت. شاه عباس اول از جمله حکمرانان علاقه‌مند به آبادانی بود. به دستور او در نقاط مختلف ایران کاروانسراهایی بنا شد که یکی از آنها در نزدیکی سد کبار بوده است. احتمال می‌رود که در زمان این شاه تعمیراتی در سد کبار به عمل آمده و به ارتفاع آن افزوده شده است. از همان فرمانروا سد دیگری در کهرود نزدیک کاشان به جای مانده که از نوع سد قوسی است.

در زمان فرمانروایی شاه عباس دوم (۱۰۷۸ـ۱۰۵۲ هـ./ ۱۶۶۷ـ۱۶۴۲ م.) چند پروژهٔ آبی و سدسازی در ایران انجام گرفت. بند فریدون که در ۸۵ کیلومتری جنوب شرقی مشهد قرار گرفته، سد بزرگی به بلندای بیش از ۳۶ متر و درازای ۸۵ متر و پهنای ۲/۷ متر است. به نظر برخی، این سد متعلق به قرن پنجم هجری و به عقیدهٔ برخی دیگر مربوط به دوره شاه عباس دوم (قرن یازدهم هجری)است. دو سد دیگر واقع در مشهد در متروک و گلستان واقع بوده‌اند.

از دیگر کارهای سدسازی در زمان صفویه، آغاز ساختمان تونل کوهرنگ بوده است. رودخانه‌های زاینده‌رود و کارون تقریباً دارای سرچشمهٔ مشترکی هستند و زاینده رود از قدیم آب مصرفی شهر اصفهان را تأمین می‌کرده است.

۸ ـ جمع‌بندی نکاتی درباره سدسازی در ایران

به جز چند مورد، کلیه سدهایی که در ایران باستان ساخته شده بودند از نوع سد وزنی محسوب می‌شدند و استواری و پایداری این سدها از نیروی وزن تأمین می‌شده است. مهندسان و سازندگان این سدها که به اصول ایستایی سدسازی آگاهی داشته‌اند، برای بهره‌برداری کامل از نیروی وزن و به منظور تأمین استواری و پایداری سد تا جایی که ممکن بود، مصالح سنگین به کار می‌بردند و سدها را با ابعاد زیاد می‌ساختند. افزون بر سدهای وزنی، از حدود ۱۵۰۰ سال پیش نیز سد قوسی در دوره‌های مختلف تاریخی در ایران ساخته شده است.

مهندسان ایران از باستان با درک مهندسی خود به رفتار فیزیکی سد قوسی پی برده‌اند و در مواردی که زمین‌های دو طرف و زیر سد سنگی بود و می‌توانست رانش قوس را تحمل کند، این نوع سد را ساخته‌اند.

باستانی‌ترین سد قوسی در دنیا سد ایزد خواست از دوره ساسانی است. سدهای قوسی دیگر در ایران عبارت‌اند از: سد کبار بین قم و کاشان، سد رودخانه کارون [نزدیک تونل کوهرنگ]، سد شرق در کلات نادری و سد واقع در کهرود کاشان.

در برخی از موارد نوآوری‌های ایرانیان در تاریخ مهندسی ثبت شده و نام ایرانی آن بر روی اثر باقی مانده است.

در مورد تاریخ سدسازی با مقایسهٔ آثار به جا مانده و بررسی‌های تاریخی دقیق می‌توان به این نتیجه رسید که ابداع سد قوسی به دست ایرانیان انجام گرفته و اولین بار سدهای قوسی در این سرزمین ساخته و از آنها بهره‌برداری شده است[۷].

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از زحمات و حمایت مالی کلیه همکاران محترم خود در فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران و آقایان دکتر جعفر کیوانی و مهندس محمد مهدی غفاری که در تهیه و تدوین این مقاله ما را یاری کرده اند، سپاسگزاری می‌نماید. همچنین، ازهمکاری خانم‌ها پوران خیرمندی، پریسا مروتی، شیما آل اسداله و آقای شهروز دولتخواه تشکر و قدردانی می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مراجع

۱. ابوالحسن وفایی، علی‌کاوه و مجید صادق آذر، برنامه آموزشی مهندسی ساختمان « آموزش رشته‌های نوین».

۲. جان برنال، علم در تاریخ، ترجمه حسین اسدپور پیران فرد و کامران فانی، انتشارات امیر کبیر، ۱۳۸۰.

۳. ابوالحسن وفایی و علی کاوه، « بررسی آموزشی عمران در ایران»، فصلنامه علمی و پژوهشی

شریف، سال دهم، دورهٔ جدید ، شمارهٔ ۹، آذر ۱۳۷۳.
۴. فصلنامه علمی و پژوهشی شریف، سال یازدهم، دورهٔ جدید، شمارهٔ دهم، اردیبهشت ۱۳۷۴.
۵. ابوالحسن وفایی، همایون استکانچی و قدرت اله قدیمی، «نقش و جایگاه فناوری اطلاعات در بخش ساختمان»، مجلهٔ آموزش مهندسی ایران، سال اول، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۷۸ .
۶. موریس دوما و همکاران، تاریخ، صنعت واختراعات، ترجمه عبدا.. ارکانی، ۱۳۷۸.
۷. مهدی فرشاد، تاریخ مهندسی در ایران، انتشارات گویش ، ۱۳۵۶.

(تاریخ دریافت مقاله:۸۴/۹/۲۶)

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی