دانش مقاومت مصالح در گذر زمان

رضا شاه‌سیاه، استادیار بخش مهندسی مکانیک، دانشکدهٔ فنی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی
rez.shahsiah@iauctb.ac.ir

چارلز آگوستین کولمب (۱۸۰۶-۱۷۳۶) در آنگولم فرانسه دیده به جهان گشود. پس از اتمام تحصیلات مقدماتی در پاریس، وارد رشتهٔ مهندسان ارتش شد. در دورانت خدمتدر ارتش به جزیرهٔ مارتینیک فرستاده و در آنجا مجبور شد برای ۹ سال در کارهای متنوع عمرانی شرکت کند. این دوره به او اجازه می‌داد تا به مطالعهٔ خواص مکانیکی مواد و مسائل گوناگون در حوزهٔ مهندسی سازه بپردازد. در مدت اقامتش در این جزیره مقالهٔ مشهورش دربارهٔ کاربرد بیشینه و کمینه‌سازی در مسائل ایستایی وابسته به معماری را نوشت و آن را در سال ۱۷۷۳ م، به فرهنگستان علوم فرانسه ارائه داد. در سال ۱۷۸۱ م، جایزهٔ فرهنگستان را به‌خاطر کار روی اصطکاک لغزشی قطعات ماشین‌ها از آن خود کرد. چندی بعد، به‌دلیل تحقیق دربارهٔ الکتریسیته و مغناطیس به مطالعهٔ مقاومت پیچشی سیم‌ها پرداخت.

شکل ۱. چارلز آگوستین کولمب

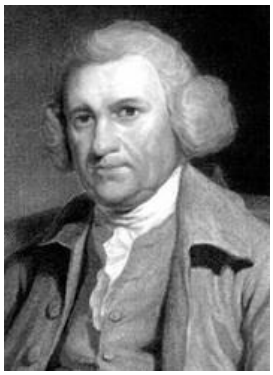
شاید هیچ دانشمندی در قرن هجدهم میلادی، به اندازهٔ کولمب در پیشرفت دانش مکانیک اجسام کشسان، تأثیرگذار نبود. او نخستین محققی بود که در ارتباط با نظریهٔ خمش تیرها از معادلات ایستائی به‌درستی استفاده کرده و توزیع نیروهای داخلی را در مقطع عرضی با منطق درستی به‌دست می‌آورد. در نخستین تحقیقش خمش یک تیر چوبی و یک تیر سنگی یک‌سر گیردار را که چوب به‌عنوان یک مادهٔ الاستیک و سنگ به‌عنوان یک جسم صلب در نظر گرفته شده بود را تحلیل می‌کند. برای تیر چوبی استحکام نهائی در کشش را به‌صورت $S = 6M_u / h$ به‌دست آورد و برای تیر صلب با فرض توزیع یکنواخت تنش در مقطع عرضی استحکام نهائی را با $S = 2M_u / h$ بیان می‌کند. در تحلیل، او به این مسئله توجه داشت که برای تیری که ضخامت آن در مقایسه با طولش کوچک باشد اثر نیروهای برشی بر استحکام تیر، قابل صرف نظر کردن است. به‌نظر می‌رسد که او از کار پاران در این زمینه بی‌خبر بوده و تنها مرجع او کار چارلز بوسوت (۱۸۱۴-۱۷۳۰) استاد ریاضیات و عضو فرهنگستان علوم فرانسه بوده است که سه کتاب درسی او در ارتباط با تاریخچه ریاضیات در دو جلد، ریاضیات و هیدرودینامیک بسیار جالب توجه می باشند. در کار دیگرش، کولمب یک میله منشوری را تحت فشار محوری بررسی می کند. او بیان می‌کند که شکست با لغزش یک صفحهٔ خاص که مقاومت برشی آن از مولفه نیروی فشاری بر روی صفحه کمتر است، به‌وقوع می‌پیوندد. برای آنکه نظریه‌اش با نتایج آزمایشگاهی تطابق بهتری بیابد، ضریب اصطکاک را نیز در نظر می‌گیرد و برای شکست ضریب اصطکاک را برابر

۰/۷۵ به‌دست می‌آورد. در سال ۱۷۸۴م، کولمب نظریه‌اش در مورد پیچش را بیان می‌کند. او صلابت پیچشی یک سیم را با مشاهده نوسانات پیچشی یک استوانه فلزی آویخته شده به آن محاسبه کرد. او فرض کرد که گشتاور پیچشی مقاوم یک سیم پیچ خورده متناسب با زاویهٔ پیچش مقطع باشد. بدین‌سان معادلهٔ دیفرانسیلی برای پیچش مقطع به‌دست می‌آورد که با حل آن توانست دورهٔ تناوب ارتعاش سیم را محاسبه نماید. رابطهٔ او نشان داد که دورهٔ تناوب برای زوایای پیچشی کوچک مستقل از زاویهٔ پیچش است و البته کولمب این نتیجه را با انجام آزمایش تأئید کرد.

شکل ۲. چارلز بوسوت

او آزمایش پیچش را برای سیم‌ها با طول و قطرهای مختلف و همان مادهٔ اولیه انجام داد و رابطهٔ گشتاور پیچشی را به‌صورت $M = \mu D^4 \phi / L$ که L طول سیم، D قطر سیم، ϕ زاویهٔ پیچش مقطع و μ یک ثابت ماده است به‌دست آورد. با مقایسهٔ سیم‌های فولادی و برنجی، کولمب نسبت ثوابت ماده را برابر ۱۰/۳ محاسبه نمود و نتیجه‌گیری کرد که در جایی‌که به صلابت بالا نیاز است مانند لولاها، استفاده از فولاد ترجیح داده می‌شود. کولمب تحقیقاتش را روی خواص مکانیکی موادی که سیم‌ها از آن ساخته شده‌اند متمرکز کرد و توانست حد پیچش بازگشت‌پذیر را محاسبه کند. همچنین او نشان داد که اگر سیم به میزانی بالاتر از حد بازگشت پذیریش پیچانده شود سخت‌تر خواهد شد و این بدان معناست که حد بازگشت‌پذیری افزایش می‌یابد در حالی‌که μ ثابت باقی خواهد ماند. با انجام آنیلینگ (نرم‌کردن با حرارت و آهسته سردکردن ماده) او توانست سختی به‌وجود آمده در سیم را از بین ببرد. وی بیان کرد که برای اندازه‌گیری مشخصات مکانیکی یک ماده در آزمایشات استحکام، نیاز به دانستن دو کمیت μ که همان خاصیت بازگشت‌پذیری ماده، و حد بازگشت‌پذیری است، می‌باشد و این دو خود به نیروهای پیوستگی ماده وابسته هستند. با انجام عمل کوئنچینگ (سرد کردن یا آب‌دادن فلز برای سخت‌نمودن آن) می‌توان این نیروهای پیوستگی را افزایش داد و در نتیجه حد بازگشت‌پذیری را بالا برد اما خاصیت بازگشت‌پذیری تغییر نخواهد کرد. ناویه (۱۸۳۶–۱۷۸۵) کسی بود که بعد از مرگ کولمب به پیشرفت علم مقاومت مصالح بسیار کمک کرد. او در شهر دژون فرانسه متولد گشت. در سال ۱۸۰۲م، در امتحان ورودی اکول پلی‌تکنیک قبول شد و در سال ۱۸۰۴م، از آنجا فارغ‌التحصیل گشت و مجوز ورود به مدرسهٔ مهندسی اکول شوسیز را دریافت کرد و زمانی‌که، در سال ۱۸۰۸، فارغ‌التحصیل شد آماده گی خوبی داشت تا تحقیقات نظری را در مورد مسائل عملی آغاز کند. در سال ۱۸۰۹م، اولین جلد از سه جلد کتابش چاپ شد. جلد اول به تاریخچهٔ ساخت پل‌ها و توضیحی در مورد پل‌های مهمی که در آن زمان جدید بودند، اختصاص یافت. دومین و سومین جلد به ترتیب در سال های ۱۸۱۳ و ۱۸۱۶م چاپ گردیدند. نوشته‌های او در جلد دوم دربارهٔ نظریهٔ کامل خمش میله‌های منشوری بسیار جالب توجه است. به‌نظر می‌رسد که ناویه در مورد کارهای پاران و کولمب اطلاعاتی نداشته و تحت تأثیر کارهای ماریوتی و ژاکوب برنولی بوده است. او فکر می‌کرد که رابطهٔ ماریوتی برای محاسبهٔ مقاومت تیرها به اندازه کافی دقیق است و بنابراین به تحلیل خیز تیرها پرداخت. با در نظر گرفتن چندین فرض، او عبارتی برای صلبیت خمشی (منظور EI در دانش مقاومت مصالح نوین) به‌دست آورد که شامل دو ضریب بود

و این ضرائب با انجام آزمایش‌های خمش و فشار قابل محاسبه بودند. در سال ۱۸۱۹ م، زمانی‌که او در اکول شوسیز شروع به سخنرانی‌هایش در مورد مقاومت مصالح کرد، بعضی از ایرادهای نظریه‌اش مشخص شدند و او آنها را برطرف نمود اما روش پیداکردن محور خنثی همچنان اشتباه باقی ماند. او فرض کرد که محور خنثی باید به‌گونه‌ای سطح مقطع عرضی را تقسیم کند که گشتاور حاصل از تنش‌های کششی با گشتاور حاصل از تنش‌های فشاری با هم برابر شوند. در سال ۱۸۲۶ م، اولین مجموعه سخنرانی‌های او به چاپ رسید و در آنجا اثبات کرد که برای موادی که از قانون هوک تبعیت می‌کنند، محور خنثی از مرکز سطح مقطع عرضی عبور می‌کند. در بین سال‌های ۱۸۱۳ تا ۱۸۱۹ م، ناویه نسخه‌های جدیدی از کتاب‌های بلیدور (مدرس ریاضیات کاربردی در مدارس نظامی فرانسه در قرن هجدهم) را که بازبینی شده و نظرات خود را در آنها اعمال نموده بود را به چاپ رساند. در سال ۱۸۲۰ م، مقاله‌ای در مورد خمش ورق‌ها به فرهنگستان علوم فرانسه ارائه داد. در سال ۱۸۲۱ م، مقالهٔ مشهورش، معادلات مقدماتی مربوط به نظریه ریاضی الاستیسیته را ارائه داد. اگرچه ناویه با کارهای نظری و ویراستاری کتب مشغول بود، اما همیشه کارهای عملی نیز در دست داشت که به طور معمول مرتبط با مهندسی پل می شد. تغییرات عمده در حوزه مهندسی پل و به تبع آن در علم مقاومت مصالح، در اواخر قرن ۱۸ و شروع قرن ۱۹ پدیدار گشت. تا آن زمان از سنگ به عنوان ماده اصلی در ساخت پل های مهم استفاده می شد اما به تدریج استفاده از فلزات عمومیت پیدا کرد. انگلستان در آن زمان از پیشرفته‌ترین کشورهای صنعتی محسوب می شد و استفاده از فلزات در صنعت به شکل گسترده از آنجا شروع گشت. جان اسمیتون (۱۷۹۲–۱۷۲۴) اولین مهندس برجسته‌ای بود که از چدن به شکل گسترده ای در ادوات مکانیکی مانند چرخهای آبی، پمپ ها و آسیاب های بادی استفاده کرد. اولین پل چدنی توسط آبراهام داربی طی سال‌های ۱۷۷۶ تا ۱۷۷۹ م، ساخته و روی رودخانه سورن، که طولانی ترین رودخانه انگلستان است، نصب شد.



شکل ۴. جان اسمیتون

کشورهای دیگر از جمله آلمان و فرانسه در ساخت پل‌ها، کار انگلستان را دنبال کردند. شکل پل‌ها به‌صورت قوسی بود و مصالح به‌کار رفته به‌طور عمده فشار را تحمل می‌کردند. این سازه‌های جدید، همیشه به‌اندازهٔ کافی قدرت نداشتند و تعدادی از آنها گسیخته شدند. مهندسان نتیجه گیری کردند که پل های چدنی برای دهانه‌های بزرگ قابل اطمینان نبوده و بنابراین شروع به ساخت پل های معلق نمودند. ایده اصلی در این زمینه بسیار قدیمی است و از انواع بسیار کهن این نوع پل ها در چین و آمریکای جنوبی یافت شده است. اولین پل های معلقی که توانائی تحمل بارهای سنگین را شبیه به پل های امروزی داشتند در پایان قرن ۱۸ در آمریکای شمالی نصب گردیدند. جیمز فینلی اولین پل معلقش را در سال ۱۷۹۶م، در پنسیلوانیا ساخت. در شروع قرن ۱۹ در آن ایالت تعدادی از این نوع پل ها وجود داشت که معروف ترین آنها روی رودخانه اسچویل کیل در نزدیکی فیلادلفیا نصب شده بود. مهندسان انگلیسی کار آمریکائی ها را دنبال کردند و تا سال ۱۸۲۵م، تعداد زیادی از این نوع پل ها در انگلستان ساخته شده بود. از مهمترین آن ها می توان به پل منای اشاره کرد که در فاصله سال‌های ۱۸۲۲ تا ۱۸۲۶م، به توسط توماس تلفورد (۱۸۳۴–۱۷۵۷) طراحی و ساخته شد. طول دهانه مرکزی این پل در حدود ۱۶۸ متر بود...