

چالش‌های بزرگ مهندسی

دستاوردها و ناکامی‌های عمده مهندسی در قرن بیستم چه بوده است؟ چالش‌های عمده مهندسی در قرن ۲۱ کدامست؟ چرا مقابله با این چالش‌ها ضروری است؟ چالش‌های عمده مهندسی کشور ما چیست؟

مهندسی کار با اعداد و ارقام و کوشش فنی؛ به‌منظور طراحی، ساخت و نگهداری محصولات، فرآیندها و سیستم‌هاست. در قرن بیستم مهندسان به‌تدریج دامنه خلاقیت‌های خود را به همه زمینه‌های فعالیت‌های بشری گسترش دادند. هدف مهندسان ارتقای کیفیت زندگی بشر است. مهندسی بر شرایط کار و زندگی، سلامت و ایمنی مردم و حتی مواردی چون اقتصاد و سیاست، تأثیرگذار است. آکادمی ملی مهندسی آمریکا، در سال‌های پایانی قرن گذشته، ۲۰ دستاورد مهم مهندسی قرن بیستم را معرفی کرد (جدول ۱).

جدول ۱. دستاوردهای مهم مهندسی در قرن بیستم

۱. برق رسانی	۱۱. بزرگ‌راه‌ها
۲. اتومبیل	۱۲. فضاپیماها
۳. هواپیما	۱۳. اینترنت
۴. تأمین و توزیع آب	۱۴. تصویربرداری پزشکی
۵. الکترونیک	۱۵. وسایل منزل
۶. رادیو و تلویزیون	۱۶. فناوری سلامتی
۷. کشاورزی مکانیزه	۱۷. فناوری‌های نفت و پتروشیمی
۸. کامپیوتر	۱۸. لیزر و فیبر نوری
۹. تلفن	۱۹. فناوری‌های هسته‌ای
۱۰. سرمایه‌گذاری و تهویه مطبوع	۲۰. مواد دارای عملکرد بالا

مهندسی، در کنار پیشرفت‌های زیاد، همواره با چالش‌ها و ناکامی‌هایی نیز روبرو بوده است. ضرورت مقابله با این چالش‌ها، که نمونه‌هایی از آنها در ادامه آمده، تا حد زیادی سمت‌گیری فردای آموزش مهندسی را نیز معین می‌کند.

پل کبک کانادا: در سال ۱۹۰۰ میلادی، پل کبک به‌طول حدود ۶۰۰ متر به واسطه محاسبات اشتباه طراح، در حین ساخت فرو ریخت و هشتاد نفر کشته شدند. در سال ۱۹۱۱ همین پروژه با طراحی جدید از سرگرفته شد ولی در هنگام قراردادن قطعه میانی، اتصال آن با تکیه‌گاه‌ها قطع شد و بار دیگر، به دلیل خطای طراحی، ۱۱ نفر کشته شدند. این پروژه سرانجام در سال ۱۹۱۷ به اتمام رسید و افتتاح شد.

کارخانه بوپال هند: در ۱۹۸۴ میلادی، به‌دنبال ورود آب به‌داخل مخزن‌های حاوی متیل‌ایزوسیانیید فرار، که از آن برای تهیه آفت‌کش استفاده می‌شد، این مخزن‌ها منفجر شدند. بین ۳۰۰۰ تا ۱۲۰۰۰ نفر کشته شدند و بیش از هزاران نفر آسیب دیدند.

راه میان‌گذر دریاچه ارومیه: از چند دهه پیش، احداث راه میان‌بری بین دو استان آذربایجان غربی و شرقی، که فاصله ۲۴۰ کیلومتری آن را به ۱۲۵ کیلومتر کاهش دهد، مورد توجه بوده است. در سال ۱۳۶۵ عملیات احداث راه میان‌گذر، با خاک‌ریزی در کم‌عرض‌ترین قسمت دریاچه، آغاز شد. این راه، پس از پیشروی ۱۱ کیلومتری در غرب و ۳ کیلومتری در شرق دریاچه، به‌دلیل مشکلاتی، چون خردشدن سریع سنگ‌ها و مصالح منفذدار، در اثر وجود املاح زیاد در آب؛ قابلیت کم باربری بستر دریاچه، که بیشتر از لایه‌های کم مقاومت و لجن درست شده است، متوقف شد. برای مقابله با اثرات زیان‌بار زیست‌محیطی حاصل از تغییر در مسیر جریان‌های طبیعی آب دریاچه، به دلیل احداث راه میان‌گذر؛ ایده ساخت پل شناور در فاصله ۱/۳ کیلومتری بین دو طرف، در سال ۱۳۶۸ عملیاتی شد. این سازه، پس از ۴ ماه بهره‌برداری، به علت وقوع طوفان شدید، درهم

شکست. در مرحله بعد، در انتهای دو خاکریز اسکله‌هایی برای تردد با شناور، ساخته شد. و بالاخره، احداث پل ۲۰ دهنه، به طول بیش از یک هزار متر، طراحی و به اجرا درآمد. کاهش قابل توجه فاصله تبریز- ارومیه، صرفه جویی در سوخت و سهولت و امنیت تردد، رونق گردشگری و کشاورزی، از جمله نقاط قوت و نشست تدریجی خاکریز راه، به دلیل سستی بستر دریاچه، گسیختگی و تخریب راه، در اثر یک زمین لرزه محتمل، و به خطر افتادن وضعیت زیست محیطی دریاچه، از جمله نقاط ضعف این پروژه بوده است. در سال‌های اخیر، سطح آب دریاچه ارومیه به شدت افت کرده و راه میان‌گذر اولویت خود را از دست داده است. افت آب را به عواملی چون خشکسالی و ساخت بی‌رویه سد، بر روی رودخانه‌های منتهی به دریاچه، نسبت داده‌اند. امروزه، احیای دریاچه ارومیه به یک امر ملی تبدیل شده است.

چالش‌های مهندسی در قرن بیست و یکم

کره زمین سیاره‌ای با منابع محدود است. جمعیت رو به افزایش این منابع را با سرعتی باورنکردنی، مصرف می‌کند. در چنین شرایطی، باید ضمن تأمین منابع جدید مورد نیاز، از زوال محیط‌زیست نیز، جلوگیری شود. در آغاز قرن ۲۱ آکادمی مهندسی آمریکا ۱۴ چالش پیش روی مهندسی را، که دستیابی به آنها در قرن حاضر امکان‌پذیر است، معرفی کرد. مهندسان با غلبه بر این چالش‌ها، که در ادامه فهرست شدند، به دنبال ایجاد دنیایی پایدارتر، ایمن‌تر، سالم‌تر، و شادتر، هستند.

۱. **اقتصادی کردن انرژی خورشیدی:** جزء کوچکی از انرژی خورشید، که به زمین می‌رسد، ۱۰۰۰۰ برابر تمام انرژی است که بشر در این سیاره مصرف می‌کند. تبدیل انرژی خورشیدی به اشکال مفید، و ذخیره کردن آن برای روزهای ابری و بارانی، از چالش‌های پیش روی مهندسی است.
۲. **تأمین انرژی از گداخت هسته‌ای:** باتری لپ‌تاپ به‌طور معمول حاوی مقدار کمی عنصر فلزی لیتیم است که قادر است نیازهای انرژی یک خانواده را برای ۱۵ سال تأمین کند. این امر توسط گداخت هسته‌ای، که در واقع بازتولید مصنوعی منبع نیروی خورشید در زمین است، امکان‌پذیر است. تلاش برای گداخت هسته‌ای از اهداف جاری مهندسی است.
۳. **توسعه روش‌های کاهش دی اکسید کربن:** مقابله با مشکلات زیست محیطی حاصل از مصرف سوخت‌های فسیل، برای مدت‌ها، باقی خواهد ماند. یکی از مهم‌ترین این مشکلات، افزایش دی‌اکسیدکربن حاصل از سوخت این مواد، در جو زمین است، که دمای آن را افزایش داده و تاثیر مخربی بر شرایط آب و هوایی دارد. در سال‌های اخیر، مهندسان فناوری‌هایی را بررسی می‌کنند، که به‌توسط آنها بتوانند تولید دی‌اکسیدکربن را کاهش دهند و دی‌اکسیدکربن اضافی را گردآوری و در پوسته زمین و یا در زیر اقیانوس‌ها، ذخیره نمایند.
۴. **ساماندهی چرخه ازت:** در دهه‌های اخیر چرخه زیست شیمیایی، که ازت را از هوا می‌گیرد و آن را به گیاهان می‌دهد، و به این ترتیب مواد غذایی ایجاد می‌کند، توسط فعالیت‌های بشر تغییر کرده است. استفاده گسترده از کودهای شیمیایی و احتراق دمای بالای صنعتی، سرعت برداشته شدن ازت از هوا را نسبت به قبل از انقلاب صنعتی، دو برابر کرده است. حاصل این امر نزول باران‌های اسیدی، آلوده شدن آب‌های شرب، و حتی تسریع فرایند گرمایش زمین است. امروزه، مهندسان به دنبال طراحی و اجرای روش‌هایی برای ساماندهی چرخه ازت هستند.
۵. **امکان دسترسی به آب سالم:** کمبود آب به نحو خطرناکی در بسیاری از نقاط جهان حس می‌شود. کیفیت آب و بسیاری دیگر از مسایل زیست‌محیطی، رابطه تنگاتنگی با سلامت بشر دارند. یافتن روش‌های تأمین پایدار آب، هم برای مصارف شخصی و هم کشاورزی و صنعتی، ضروری است. فناوری‌های جدید برای نمک‌زدایی از آب دریا و به‌کارگیری فناوری‌های کوچک مقیاس برای تصفیه محلی آب از جمله دستاوردهای متصور است.
۶. **ترمیم و بهبود زیرساخت‌های شهری:** در اغلب نقاط جهان، زیرساخت‌ها و جریان‌های حیاتی قدیمی شده و نیاز به بازسازی و نوسازی اساسی دارند. از جمله این زیر ساخت‌ها می‌توان سیستم‌های انتقال آب و فاضلاب، شبکه‌های راه و راه‌آهن، خطوط انتقال برق، نفت و گاز را نام برد. امروزه مهندسان با چالش‌های بزرگی در زمینه حفظ، نوسازی و پایدار سازی این جریان‌های حیاتی شهری فرسوده، روبرو هستند.

۷. **اطلاعات سلامت پیشرفته:** حساسیت افراد به بیماری‌ها و پاسخ آنها به درمان، متفاوت است؛ یکی از هدف‌های مهندسی پزشکی، تجویز اختصاصی داروهاست. یک روش مهم برای دستیابی به این اطلاعات توسعه روش‌هایی است که مزایا و اثرات سوء درمان‌ها یا معالجات بالقوه را بررسی کنند. دستیابی به این هدف با توسعه سیستم‌های گسترده اطلاعات در باره وضعیت سلامت تک‌تک افراد جامعه، امکان‌پذیر است. موفقیت‌های اخیر، مثل تهیه کاتالوگ ژن‌های انسان، این امید را به‌دست داده است که بتوان عوامل خاصی را که میزان سلامتی یا بیماری هر فرد را مشخص می‌کند، تعیین نمود.
 ۸. **مهندسی داروهای بهتر:** بسیاری از دشمنان سلامتی بشر در گذشته، توسط داروهای جدید کنترل و حتی برطرف شده‌اند، برخی انواع قدیمی چون مالاریا، همراه با برخی موارد جدیدتر، در مقابل پیشرفت‌های پزشکی مقاومت نموده‌اند. یکی دیگر از دلایل توسعه داروهای تازه، رشد خطر حملات توسط عوامل بیماری‌زای جدید است. برخی از باکتری‌های مهلک، به‌طور مکرر تغییر کرده و حتی در برابر قوی‌ترین آنتی‌بیوتیک‌ها هم مقاومت می‌کنند. ویروس‌های جدید نیز، با قدرت مرگ‌آفرینی، فراتر از توانایی سیستم‌هایی که با همکاری مهندسان برای مقابله آنها طراحی شده، ظاهر شده‌اند.
 ۹. **مهندسی معکوس مغز:** در چند دهه گذشته، مهندسان کوشش‌های زیادی را برای خلق کامپیوترهایی که بتوانند فکر کنند، انجام داده‌اند. پیشرفت هوش مصنوعی توسط رایانه، کمک به درمان بیماری‌ها و تشخیص و تجویز خودکار بیماری‌ها از جمله دستاوردهای مهندسی معکوس مغز است. همکاری مهندسان و متخصصان مغز و اعصاب پیشرفت‌های شگرفی را در زمینه‌های پزشکی، تولید محصولات و ارتباطات، نوید می‌دهد.
 ۱۰. **پیشگیری از تهدیدها:** توسعه فناوری‌های جدید برای مقابله با خطرات و تهدیدهای هسته‌ای، مقابله با فعالیت‌های خرابکارانه، مقابله با بلایای طبیعی، همچون زمین‌لرزه، سیل و طوفان. ابداع فناوری‌هایی برای تشخیص زودهنگام این تهدیدها، و مقابله با آنها، از فوری‌ترین چالش‌های مهندسی در قرن حاضر است.
 ۱۱. **ایمن‌سازی فضای مجازی:** اسرار فردی و امنیت ملی کشورها در قرن ۲۱ وابسته به‌محافظت صحیح از سیستم‌های تبادل اطلاعات است. آسیب‌پذیری در برابر دستبردهای اطلاعاتی، مالی و امنیتی و ویروس‌های کامپیوتری، که برای مختل کردن ارتباطات اینترنتی تولید می‌شوند، زیاد است. بالابردن امنیت اطلاعات در وب، یکی از چالش‌های پیش روی مهندسی است. سیستم‌های ایمنی فضای مجازی باید به‌گونه‌ای طراحی شوند که به‌راحتی توسط همه قابل استفاده باشند.
 ۱۲. **بهبود واقعیت مجازی:** برخی از روش‌های جدید مورد استفاده در دنیای مجازی، که تصور وجود در یک فضای دیگر را به‌دست می‌دهد، کاربردهای متنوعی را به‌دنبال دارد. از آن جمله است در ارتباطات، طراحی‌ها و شبیه‌سازی‌ها، آموزش افراد، درمان بیماری‌ها، و سرگرمی و تفریح.
 ۱۳. **بهبود یادگیری فردی:** دنیای خارج تنها محلی نیست که مهندسی اهمیت پیدا می‌کند. دنیای داخلی مغز نیز باید از روش‌های مناسب‌تر آموزش و یادگیری بهره‌برد. آموزش را می‌توان با توجه به‌سبک یادگیری، سرعت جذب و علایق هر فرد عرضه کرد؛ و به‌این ترتیب میزان یادگیری را افزایش داد.
 ۱۴. **مهندسی ابزارها برای اکتشافات علمی:** فعالیت‌های حرفه‌ای دانشمندان و مهندسان تفاوت‌هایی با هم دارد. دانشمندان بررسی، تجربه و کشف می‌کنند؛ در حالی که مهندسان ابتکارهای خود را طراحی کرده و می‌سازند. تلاش مهندسی می‌تواند منجر به‌افزایش اکتشافات در مرزهای دانش شود. از آن جمله است طراحی ابزارهایی جهت بررسی جهان پهناور پیرامون ما و یا پیچیدگی‌های درونی حیات و اتم‌ها. همکاری مهندسان و دانشمندان علوم مختلف، پاسخ‌هایی را برای تعداد بیشتری از ناشناخته‌های طبیعت اطراف ما، به‌دست خواهد داد.
- با سپری شده یک چهارم از قرن ۲۱، بشر با چالش‌های پیش‌بینی نشده‌ای نیز روبرو شده است. آغاز پاندمی جهانگیر کرونا در سال ۱۳۹۸ (۲۰۱۹)، یکی از آبرچالش‌های پیش‌بینی نشده‌ای بود که بشر با آن روبرو شد و جامعه علمی برای برطرف کردن آن بسیج گردید. اولویت مسئله و همکاری بین‌المللی موثر، در فرصتی کوتاه به کشف واکسن کرونا و غلبه بر همه‌گیری آن، منجر شد.

چرا مقابله با چالش‌ها ضروریست

چهارده چالش پیش گفته تنها به سطح چالش‌هایی می‌پردازد که مهندسان در قرن ۲۱ با آنها روبرو هستند. این چالش‌ها، عظمت و پیچیدگی کارهایی را نشان می‌دهد که باید توسط مهندسان به‌انجام برسد. چهار هدف اصلی این فعالیت‌ها: تداوم و پایداری تمدن بشر، سلامت ساکنین زمین، کاهش آسیب‌پذیری فردی و اجتماعی، و افزایش لذت از زندگی در دنیای مدرن است.

- **توسعه پایدار:** زمینه مهمی است که به پنج مورد از این چالش‌ها مربوط می‌شود. هم‌چنان‌که جوامع به دنبال روش‌هایی برای رسیدن به شرایط پایدار در محیط‌زیست هستند، مهندسان باید روش‌هایی را، برای تهیه آب سالم، انرژی خورشیدی اقتصادی، انرژی از گداحت هسته‌ای، و توسعه روش‌هایی برای حذف دی‌اکسید کربن از جو زمین، ابداع نمایند.
- **سلامت:** مهندسانی که با پزشکان و پژوهشگران پزشکی کار می‌کنند می‌توانند سلامت بشر را به‌توسط توسعه روش‌های بهتری برای گردآوری، تحلیل و تبادل اطلاعات مربوط به تندرستی بشر و طراحی داروهای مؤثرتر، بهبود بخشند.
- **کاهش آسیب‌پذیری:** مهندسان هم‌چنین باید، برای پیش‌بینی و مقابله با بلایای طبیعی، جلوگیری از استفاده نادرست از فناوری‌های قدرتمند، هم‌چون دسترسی خرابکاران به مواد و فناوری‌های هسته‌ای، و فقدان ایمنی در دنیای مجازی، روش‌هایی را ابداع کنند؛ و به این ترتیب میزان آسیب‌پذیری بشر را کاهش دهند.
- **لذت از زندگی:** مهندسان باید ظرفیت‌های بشر و لذت بردن از زندگی را به‌توسط روش‌هایی چون بهبود یادگیری فردی و ساختن ابزارها و وسایلی که اکتشافات علمی را بهبود می‌بخشد، ارتقا دهند.

هیچ یک از این چالش‌ها را نمی‌توان بدون یافتن روش‌هایی برای غلبه بر موانعی که برای دسترسی به آنها وجود دارد، به‌انجام رساند. به‌عنوان مثال، راه‌حل‌های مهندسی باید همواره با توجه به‌مسائل اقتصادی طراحی شوند. از این رو، با وجود قوانین متعدد زیست‌محیطی، فناوری‌های آلوده‌کننده ارزان‌تر، معمولاً بر فناوری‌های پرهزینه‌تر ولی سالم‌تر، ترجیح داده می‌شوند. مهندسان هم‌چنین باید بر موانع دشوار سیاسی نیز مقابله کنند. در بسیاری از نقاط جهان، گروه‌های کوچک دارای قدرت سیاسی، که از سیستم‌های قدیمی بهره می‌برند، از افکار و حرکت‌های جدید جلوگیری می‌کنند. حتی در مواردی که هیچ گروهی سد راه پیشرفت نباشد، هزینه پروژه‌های جدید می‌تواند مانع اقدام شود؛ زیرا دستیابی به بسیاری از چالش‌های این قرن نیاز به سرمایه‌گذاری‌های زیاد دارد. تأمین منابع مالی لازم برای دستیابی به همه چالش‌های پیش رو، نیاز به مساعدت مردمی و سیاسی دارد. مهندسان باید با دانشمندان، آموزشگران و گروه‌های ذینفع دیگر دست به‌دست هم داده و آموزش علوم، فناوری، مهندسی و ریاضیات را تشویق و بهبود بخشند و انتقال اطلاعات فنی به مردم را افزایش دهند. آموزشگران باید برنامه‌های آموزشی و روش تدریس خود را در جهت استفاده از روش‌های الکترونیکی یادگیری فردی، مورد بازنگری قرار دهند. پزشکان و کادر درمان نیز باید روش‌های استفاده از سیستم‌های اطلاعات تندرستی را تغییر دهند و به تدریج تجویز متناسب با هر شخص را به‌کاربرند.

شاید مشکل‌ترین چالش پیش‌رو، توزیع یکسان ثمرات مهندسی بین فقرا و اغنیا، در اقصی نقاط عالم باشد. در دنیای امروز، بسیاری از دستاوردهای مهندسی به‌نحو غیریکنواختی توزیع شده است. به‌عنوان مثال در حال حاضر حداقل یک میلیارد نفر از ساکنین زمین دسترسی به منابع آب سالم ندارند. میلیون‌ها نفر نیز در عمل فاقد هرگونه دسترسی به خدمات پزشکی هستند، چه رسد به اینکه بخواهند تشخیص و درمان شخصی‌سازی شده را، که پیشتر به آن اشاره شد، داشته باشند. حل مشکلات ایمنی دنیای مجازی و کامپیوتر برای اکثریت مردم جهان، که از کمبودهای فراوانی رنج می‌برند، اهمیت چندانی ندارد. به‌نظر می‌رسد که تامین پایدار غذا، آب و انرژی؛ محافظت از خشونت‌های انسانی، بلایای طبیعی و بیماری‌ها، دسترسی کامل به لذت یادگیری، ارتباطات و تفریحات، مهم‌ترین اهداف مشترک برای همه ساکنین کره زمین باشد.

به‌توسط دستاوردهای مهندسی، دنیا کوچک‌تر و مرتبط‌تر شده است. چالش‌هایی که مهندسان امروزه با آنها روبرو هستند دیگر مسائل محلی و پراکنده نیست، بلکه جهانی و وابسته به‌کل ساکنین زمین است. برطرف کردن این چالش‌ها نه تنها جهان را از نظر فناوری پیشرفته‌تر و پیوسته‌تر خواهد کرد، بلکه آن را پایدارتر، ایمن‌تر، سالم‌تر و شادتر؛ و به‌زبانی محلی بهتر برای زندگی، خواهد نمود.

به این نکته نیز باید توجه داشت که اهمیت چالش‌های در نظر گرفته شده برای مهندسی در قرن حاضر، در کشورها مختلف، تا حدی متفاوت است. به عنوان مثال در کشور ما تأمین آب، مقابله با بلایای طبیعی (مثل سیل و زلزله) و بهداشت و درمان از اهمیت بیشتری برخوردار بوده و مواردی چون ساماندهی چرخه ازلت یا گداحت هسته‌ای از اهمیت کمتری برخوردارند. به نظر می‌رسد که برنامه‌ریزان و آموزشگران مهندسی کشور باید پژوهش‌ها را بیشتر در زمینه‌هایی هدایت کنند، که ضمن هم‌سویی با روند جهانی، مشکلات فوری‌تر مهندسی در سطح ملی را، در اولویت قرار دهند. خلاصه اینکه، چالش‌های مهم مهندسی در سطح ملی و بین‌المللی باید در آموزش مهندسی نیز منعکس شود. چالش‌های پیش روی مهندسان، تا حد زیادی سمت‌گیری فردای آموزش مهندسی را نیز معین می‌کند. گرچه پیش‌بینی در باره آینده امری بحث‌انگیز است، ولی چندین روند در مهندسی مبنایی را برای پیش‌بینی وضعیت آتی برخی از وجوه مهندسی و نیازهای آموزشی آن را، به دست داده است. این وظیفه آموزشگران است که دانشجویان مهندسی را با چالش‌هایی که مهندسان در دهه‌های آینده با آن روبرو خواهند بود آشنا نمایند. در فرصتی دیگر اقدامات و برنامه‌ریزی‌هایی را که در زمینه «یادگیری یکپارچه»، که حاصل ادغام آبرچالش‌ها در آموزش مهندسی است، پی خواهیم گرفت.

منابع

- NAE, 2011. National Academy of Engineering. Greatest achievements of the 21st Century. <http://www.engineeringchallenges.org> (accessed Feb. 2011).
- NAE (National Academy of Engineering). 2004. The Engineer of 2020—Visions of Engineering in the New Century. Washington, D.C.: The National Academies Press.
- NAE 2017. Grand Challenges for Engineering, 54 pp. <https://www.nae.edu/File.aspx?id=187214>
- معماریان حسین. ۱۳۸۸. حرفه مهندسی، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۳۴ صفحه.
- معماریان حسین. ۱۳۹۰. دستاوردهای دیروز مهندسی و چالش‌های فردا، مجله نظام مهندسی معدن، شماره ۱۱، صفحات ۳ تا ۹.

دکتر حسین معماریان

بهار ۱۴۰۴