فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال سیزدهم، شماره ۵۲، زمستان ۱۳۹۰، صص. ٦٥- ٤١

بازنگری آموزش مهندسی برای قرن ۲۱

حسین معماریان [۱]

چکیده: دانشجویان در زمان دانش آموختگی چه دانشها، مهارتها و نگرشهایی را باید بدانند و چگونه می‌توانیم مطمئن شویم که آنها به این تواناییها دست‌یافته‌اند؟ اینها سؤالات اساسی در آموزش مهندسی در طی دو دهۀ گذشته بوده است. کوششهایی که برای پاسخ به این سؤالها صورت گرفته، به تغییرات چشمگیری در آموزش مهندسی و ارزشیابی دستاوردهای آن منجر شده است. تأکید بیش از حد بر آموزش علوم مهندسی، در دهه‌های پایانی قرن بیستم، فاصله بین آموزشهای عرضه شده و نیازهای واقعی دنیای کار حرفه‌ای را افزایش داده است. برای از بین بردن این فاصله تعدادی از دانشگاههای پیشرو در آموزش مهندسی ابتکاری جدید برای توسعۀ چشم‌اندازی تازه داشته‌اند. از مهم‌ترین وجوه این برنامه، که به CDIO معروف شده است، تأکید بر فعالیتهای عملی و هدایت آموزشهای دانشگاهی به سمت نیازهای صنعت و بازار کار است. نگرش جدید بر این پیشفرض استوار است که دانش‌آموختگان مهندسی باید بتوانند سیستم‌های پیچیده مهندسی را، در محیطی مدرن و مبتنی بر کارگروهی، برای خلق محصولات و سیستم‌ها تعریف، طراحی و اجرا کنند و به کار ببرند. سمتگیری کلی این برنامه می‌تواند برای ارتقای برنامه‌های آموزش مهندسی کشور و همخوانی هر چه بیشتر آنها با دستاوردهای نوین آموزش مهندسی در سطح جهان به کار گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: شناسایی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری، CDIO، قالب آموزش مهندسی، استانداردهای آموزش مهندسی، سرفصلهای آموزش مهندسی، تجربه‌های ساخت و تولید.

---

۱. استاد مهندسی زمین، دانشکده فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران. memarian@ ut.ac.ir

(دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۳/۲۱)
(پذیرش مقاله: ۱۳۹۰/۸/۴)

۱. مقدمه

گروه کاری یونسکو در خصوص آموزش در قرن ۲۱، در گزارشی که در سالهای ۱۹۹۶ و ۱۹۹۸ عرضه کرده است، ضمن تأکید بر نقش آموزش مداوم، به این نتیجه رسیده است که آموزش دایمی در تمام طول حیات بر چهار پایه اصلی استوار است: یادگیری برای دانستن، یادگیری برای انجام دادن، یادگیری برای زندگی با هم و یادگیری برای بودن[۱]. گرچه این الگو در خصوص همه آموزشها صادق است، ولی دستمایه زیادی برای تفکر در اختیار آموزشگران مهندسی قرار می‌دهد. فرهنگستان ملی مهندسی آمریکا نیز در گزارشی که در ابتدای قرن حاضر منتشر کرده، داد تواناییهای مورد نظر برای یک دانش آموخته مهندسی در سال ۲۰۲۰ را به نحو زیر پیش‌بینی کرده است [۲]:

- مهارتهای تحلیلی قوی همانند مهندسان دیروز و امروز را خواهد داشت؛
- خلاق خواهد بود؛
- در عمل از خود فراست نشان خواهد داد؛
- به خوبی ارتباط برقرار خواهد کرد؛
- اصول تجارت و مدیریت خوب را خواهد دانست؛
- اصول رهبری را درک خواهد کرد و خواهد توانست آنها را به‌کار بندد؛
- از مبانی اخلاقی و یک حس حرفه‌ای قوی برخوردار خواهد بود؛
- از ویژگیهایی چون پویایی، زیرکی، عکس العمل و انعطاف پذیری برخوردار خواهد بود؛
- یک فراگیر مادام‌العمر خواهد بود.

به دنبال انتشار گزارشهایی از این دست، این سؤال مطرح شد که آیا آموزشهایی که هم اکنون ارائه می‌شود می‌تواند دانش‌آموختگانی شایسته را برای کار در دنیای فردا تربیت کند؟

برنامه‌های آموزش مهندسی در بیشتر طول قرن بیستم میلادی تجربه‌ها و مهارتهای عملی زیادی را به دانشجویان عرضه می‌کردند. ولی با گذشت زمان و گسترش سریع دانش فنی، آموزش مهندسی به سمت علوم مهندسی گرایش پیدا کرد. در نتیجهٔ این گرایش به مبانی علمی، تأکید بر فعالیتهای تجربی مهندسی کم و کمتر شد. در یکی دو دههٔ گذشته، صنعت متوجه شد که دانش‌آموختگان مهندسی با وجود آنکه از نظر علمی و فنی شایسته‌اند، ولی بسیاری از تواناییهای مورد نیاز برای کار در دنیای واقعی مهندسی را ندارند. برای رفع این مشکل برخی از مؤسسات بزرگ مهندسی فهرست تواناییهای مورد نیاز مهندسان را منتشر کردند[۳]. هدف این امر ترغیب مراکز آموزش مهندسی به بازنگری راهبردهای آموزشی با توجه به نیازهای دنیای واقعی حرفهٔ مهندسی بوده است. به‌طور همزمان نهادهای دیگری همچون شورای ارزشیابی آموزش مهندسی و فناوری (ابت) فهرست انتظارات از دانش‌آموختگان مهندسی را تدوین کردند [۴]. بدین ترتیب، شایستگیهای دانش‌آموختگان برای کار

مؤثر در صنعت مشخص شد. پس از آنکه هدف و مقصد آموزش مهندسی نوین تعیین شد، وظیفه آموزشگران مهندسی بود که مسیر رسیدن به این هدف را تعیین کنند. با توجه به فاصلهٔ ایجاد شده بین تواناییهای علمی و عملی دانش آموختگان، مراکز آموزشی مهندسی به بازنگری برنامه‌های خود پرداختند. در همین خصوص، گروهی از دانشگاهها، به محوریت دانشگاه ام.آی.تی. آمریکا، اجرای طرحی ابتکاری را برای انجام دادن اصلاحات در آموزش مهندسی آغاز کردند.

از مهم‌ترین وجوه این برنامه تأکید بر فعالیتهای عملی و هدایت آموزشهای دانشگاهی به‌سمت نیازهای صنعت و بازار کار است. هدفهای کلی این برنامه تربیت دانشجویانی با تواناییهای چون دانش کاربردی عمیق از مبانی فنی، خلق و بهره‌برداری از محصولات، فرایندها و سیستم‌های جدید و درک اهمیت و تأثیر استراتژیک پژوهش و توسعه فناوری در جامعه است. نگرش جدید بر این پیشفرض استوار است که دانش‌آموختگان مهندسی باید بتوانند سیستم‌های پیچیده مهندسی را، در محیطی مدرن و مبتنی بر کارگروهی، برای خلق محصولات و سیستم‌ها تعریف، طراحی و اجرا کنند و آنها را به کار ببرند [شناسایی، طراحی، ساخت، بهره‌برداری، یا CDIO][1]. در این روش الگویی ارائه می‌شود که ضمن اتکا به مبانی مهندسی، بر چهار وجه یاد شده تأکید می‌شود. روش پیشنهادی غنی از پروژه‌های دانشجویی است که با کارآموزی در صنعت تکمیل می‌شود و همچنین، بر یادگیری فعال و گروهی، هم در کلاس و هم در کارگاهها و آزمایشگاههای مدرن و نیز بر فرایندهای ارزیابی و قضاوت دقیق متکی است. مراکز آموزشی مختلف می‌توانند این برنامه را بسته به‌شرایط خود به‌کار بندند[۵].

تا این تاریخ بیش از ۵۰ مؤسسه آموزش عالی مهم از قاره‌های مختلف این روش پیشنهادی را به کار بسته‌اند[۶]. در این مقاله مفهوم مهندسی، هدفها، محتوا و روش اجرای این نگرش تازه تعریف و بررسی شده است.

۲. مفهوم مهندسی

اگر قرار باشد که آموزش مهندسی در جهت رفع نیازهای حرفهٔ مهندسی باشد، باید قبل از هر چیز تعریفی را برای مهندسی به‌دست دهیم. با یک جستجوی کوتاه در کتابخانه یا در وب به تعاریف متعددی از مهندسی برخواهیم خورد که برخی از آنها به قرار زیر است:

- مهارت حرفه‌ای در کاربرد علوم برای تبدیل بهینه منابع طبیعی به منظور استفاده نوع بشر (فرهنگ فشرده بریتانیکا)؛

---

1. Conceive – Design – Implement – Operate (CDIO)

- حرفه‌ای که در آن دانش ریاضی و علوم طبیعی کسب شده توسط مطالعه، کار و تجربه، برای توسعه راههایی به منظور استفاده اقتصادی از مواد و نیروهای طبیعی در جهت رفاه نوع بشر به‌کارگرفته می‌شود (شورای ارزشیابی مهندسی و فناوری آمریکا، ابت)؛
- مهارت هدایت منابع عظیم نیروهای طبیعی برای استفاده و رفاه نوع بشر (فرهنگ علوم و فنون مک گراوهیل)؛
- کاربرد اصول علمی و ریاضی در کارهای عملی چون طراحی، تولید و بهره‌برداری سازه‌ها، ماشینها، فرایندها و سیستم‌های کارا و اقتصادی. ب) حرفه یا کاری که توسط مهندس انجام می‌شود (واژه‌نامه آمریکایی هریتیج)؛
- کاربرد علوم و ریاضیات که از طریق آن ویژگیهای مواد و منابع انرژی طبیعت مفید به حال مردم می‌شود. ب) فعالیتها یا عملکرد یک مهندس (واژه‌نامه وبستر ـ مریام).

با مرور تعارف یاد شده مشخص می‌شود که فعالیت محوری مهندسی[1] طراحی و اجرای راه‌حلهایی است که پیشتر وجود نداشته و به‌صورتی مستقیم یا غیرمستقیم در جهت خدمت به جامعه یا بخشیهایی از آن است. مهندسی به‌دلیل برخورداری از فرایند آفرینش، از علوم[2] تفکیک می‌شود. به بیان دیگر، عالمان دنیایی را که موجود است کشف می‌کنند، ولی مهندسان دنیایی را می‌آفرینند که پیشتر وجود نداشته است[۷]. به زبانی دیگر، یکی از وجوه مهم مهندسی استفاده از محصولات طبیعی، علوم کاربردی و فناوری برای آفرینش دنیایی است که پیش از آن وجود نداشته است. آنچه مهندسان می‌آفرینند، بسته به‌زمینه فعالیت آنها، متفاوت است. حاصل آفرینشهای مهندسی می‌تواند محصولات، فرایندها یا سیستم‌ها باشد. محصولات می‌توانند انواع اشیا، کالاها یا وسایل باشند. فرایندها عبارت از هر عمل یا تبدیل صورت گرفته در راستای یک هدف است و سیستم نیز عبارت از ترکیب اشیا و فرایندها برای حصول به دستاوردی خاص است. از این رو، عبارت محصولات، فرایندها و سیستم‌ها[3] چکیدهٔ همهٔ راه‌حلهایی است که مهندسان ارائه می‌کنند.

صرف‌نظر از رشته تخصصی، نقش اصلی مهندسان طراحی[4] و ساخت[5] راه‌حلهاست. علاوه بر این، مهندسان درگیر تعریف راه‌حل نیز هستند که مستلزم درک نیازهای مصرف‌کننده یا جامعه، شناسایی فناوریهای نوینی که می‌تواند به‌کارگرفته شود و آفرینش نیازها و راهبردهایی برای حل مسئله است.

---

1. Engineering
2. Sciences
3. Products, Processes, Systems
4. Design
5. Implement

کلیه فعالیتهای را که به‌منظور آماده شدن برای طراحی صورت می‌گیرد، در اینجا **شناسایی**[1] می‌نامیم. از سوی دیگر، تقریباً همهٔ طراحیها برای اینکه ارزش پیدا کنند، باید مورد استفاده و بهره‌برداری قرار گیرند. گروهی از بهره‌برداریها توسط مصرف‌کننده صورت می‌گیرد، مثل اتومبیل و وسایل منزل، ولی سیستم‌های پیچیده‌تر معمولاً توسط افراد حرفه‌ای از جمله مهندسان به کارگرفته می‌شوند. حتی در مواردی که برای بهره‌برداری و به‌کارگیری نیازی به مهندسان نیست، مهندسان بر عملکرد آنها نظارت دارند و در تعمیر یا بهینه‌سازی آنها مشارکت می‌کنند. در نگرش جدید تمام مرحلهٔ بعد از تولید را بهره‌برداری[2] می‌نامیم. مدت زمان صرف شده برای شناسایی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری را می‌توان **چرخهٔ حیات**[3] محصول، فرایند یا سیستم در نظر گرفت [۵].

۲. ۱. تحول در مهندسی

چارچوب و قالب فعالیتهای مهندسی و حرفهٔ مهندسی به طور دایم در حال گسترش است. بسیاری از وجوه مهندسی همواره ثابت و بدون تغییر مانده است و برخی از وجوه آن نیز با توجه به تغییر در شرایط متحول می‌شود. بی مناسبت نیست به مواردی که نسبتاً ثابت بوده، و آنهایی که به سرعت بیشتری در حال تغییر و گسترش هستند، اشاره نماییم[۵]. عناصری از چارچوب مهندسی که در مدت ۵۰ سال گذشته به نحو بارزی تغییر نکرده‌اند، عبارت‌اند از [۶]:

- **تمرکز بر نیازهای مصرف کننده و جامعه.** مهندسی از زمانهای دور نگاهی به بیرون داشته و مشتاق درک و حل این مشکلات بوده است.
- **ارائه محصولات، فرایندها و سیستم‌های تازه.** دستاورد نهایی مهندسی ارائه راه‌حلهایی است که وقتی به اجرا در می‌آید، برای رفع نیازهای مصرف کننده یا جامعه است.
- **نقش نوآوریها و فناوریهای نوین در شکل دهی آینده.** آسیاب بادی، سدها، راه آهن، هواپیما و اینترنت را مهندسان توسعه داده و به شکل‌گیری عصری که در آن توسعه یافته و نیز تمام دوران بعد از آن کمک کرده‌اند.
- **استفاده از زمینه‌های متنوع برای توسعهٔ راه‌حل.** مهندسان بر راه حل تمرکز دارند و از هر زمینهٔ دیگری که برای دستیابی به آن لازم باشد، استفاده می‌کنند. واژهٔ میان‌رشته‌ای[4]

---

1. Conceive
2. Operation
3. Life Cycle
4. Interdisciplinary

مفهوم به‌نسبت تازه‌ای است که نیاز به همکاری بین رشته‌ها و زمینه‌های مختلف را برای رسیدن به راه‌حل بیان می‌کند.

- **نیاز مهندسان به‌کار مشترک، ارتباطات مؤثر و راهبری تلاشهای فنی**. مهندسی یک حرفهٔ فردی نیست، بلکه فعالیتی اجتماعی است و برای عرضهٔ محصول، فرایند یا سیستم به همکاری با مهندسان دیگر و غیر مهندسان نیاز است.
- **نیاز به‌کار مؤثر در محدودهٔ منابع یا سوددهی**. در کارهای عمومی مهندسان کوشش می‌کنند که به موقع و بر طبق برنامه عمل کنند. در بخش خصوصی آنها باید سوددهی را هم در نظر بگیرند.

شاید مهم‌ترین رخداد در قرن بیستم، که مهندسی را از یک قالب بدون تغییر به قالبی با تغییرات زیاد تبدیل کرده است، ارتباط مشخص‌تر مهندسی با مبانی علمی آن بوده باشد. این ارتباط تازه ایجاد نشده و از پیشتر نیز وجود داشته است. موتور بخار در ۲۰۰ سال پیش همان ترمودینامیکی را به‌کار برد که امروزه به‌کار می‌رود. آنچه تازه است، استفاده از تجزیه و تحلیلهای با مبنای علمی و تأثیر توسعه فناوری نوین بر زندگی بشر است. با این تغییرات، که مهم‌ترین آنها در ادامه آمده است، آموزش مهندسی در پنجاه سال گذشته متحول شد و مبنای آن بر علوم مهندسی[1] قرار گرفت [۶].

- **تغییر از سلطه بر طبیعت به همزیستی با آن**. بر طبق یک تعریف، مهندسی عبارت از هنر هدایت منابع عظیم نیروی موجود در طبیعت برای استفاده و رفاه بشر است. امروزه، به خلاف گذشته بشر نیاز به حفاظت و پایداری منابع زمین را تشخیص داده است.
- **جهانی‌شدن و رقابت جهانی**. تا همین اواخر راه‌حلهای مهندسی عمدتاً به صورت محلی یا ملی ارائه می‌شد، ولی امروزه، کوششها بعدی جهانی پیدا کرده و بیشتر به جاهایی معطوف شده است که می‌توانند به‌نحو کاراتر و شایسته‌تری به نتیجه برسند.
- **پاره‌پاره شدن و پراکندگی جغرافیایی فعالیتهای مهندسی**. به‌عنوان مکملی برای جهانی‌شدن، امروزه در هر پروژه‌ای مهندسان باید فراتر از مرزهای جغرافیایی، ملی و فرهنگی خود فعالیت کنند.
- **انسان محورتر شدن طبیعت فعالیتهای مهندسی**. با افزایش درک ما از نیازهای بشر و کاهش هزینه ساخت، عرضهٔ فرایندها و محصولاتی که به‌طور مداوم دنیای تقاضا را باز تعریف می‌کنند، بیشتر می‌شوند.

---

1. Engineering Science

- **گسترش صنایع خدماتی و کاهش صنایع تولیدی.**
- **کاهش طول عمر محصولات و فناوریها.** در دنیای کنونی فناوریها به سرعت تغییر می‌یابند یا جایگزین می‌شوند. از این رو، دانش‌آموختگان کنونی مهندسی نیاز دارند که در مدت کار حرفه‌ای خود به دفعات بازآموزی شوند.

مرور مطالب بیان شده نشان می‌دهد که اساس مهندسی در طول زمان بدون تغییر مانده است. به بیان دیگر، قالب و چارچوب مهندسی دارای اشکال با دوام و پایدار متعدد است. همراه با این وجوه پایدار، موارد معدودی هم وجود دارد که به‌علت نیروهای فعال در دنیای معاصر در حال تغییر و تکامل‌اند. آموزشگران مهندسی باید قالب و چارچوب فعالیتهای حرفه‌ای مهندسی را به‌خوبی بشناسند تا بتوانند آن را به صورت چارچوبی برای **آموزش مهندسی** در آورند.

۳. قالب آموزش مهندسی

برای هر نوع آموزش، قبل از هر چیز، باید قالبی در نظر گرفت. قالب آموزش مهندسی عبارت از چارچوبی است که در آن دانش فنی و دیگر مهارتها تدریس، تمرین و یادگرفته می‌شوند. از دیر باز نظر مسلط این بوده است که **قالب آموزش مهندسی** باید بر مبنای **قالب کار حرفهٔ مهندسی** تعریف شود. اگر قرار باشد که قالب آموزش را برمبنای کار حرفه‌ای مهندسی تعیین کنیم، باید تکیه اصلی آموزش را بر وجوه بدون تغییر و پایدار قالب حرفه‌ای، که پیشتر به آنها اشاره شد، قرار دهیم که برخی از این موارد عبارت‌اند از: تمرکز بر نیازهای مصرف‌کننده‌ها، ارائهٔ محصولات، فرایندها و سیستم‌های تازه، تلفیق اختراعات و فناوریهای تازه، تمرکز بر راه‌حلهای بین‌رشته‌ای، کارگروهی، ارتباطات مؤثر و کار در محدودهٔ منابع. علاوه بر موارد یاد شده، دانشجویان را باید از عناصر تازه و در حال تکوین قالب حرفهٔ مهندسی آگاه و مواردی چون توسعه پایدار، جهانی شدن، پراکندگی فعالیتها و طبیعت انسان محور کار مهندسی را به آنها معرفی کرد.

در شرایطی که وجوه اصلی چارچوب و قالب کار مهندسی تغییر زیادی نکرده است، آنچه در ۵۰ سال گذشته تغییر کرده، کاهش تأکید آموزش مهندسی بر قالب کار حرفه‌ای است. این کاهش ارتباط با کار عملی به دهه‌های ۵۰ و ۶۰ قرن بیستم و آغاز استفاده از نگرش علوم مهندسی در آموزش مهندسی باز می‌گردد. باید توجه داشت که هدف اعلام شده پایه‌گذاران این حرکت تقویت آموزش مهندسی به وسیله غنی کردن آن با مبانی مستحکم‌تر علمی و تحلیلی بوده است و نه تضعیف آن. به بیان دیگر، هدف آنها جایگزینی علوم مهندسی به‌جای کار عملی نبوده، بلکه افزودن آن به محتوای برنامه آموزشی بوده است. با این حال، این تغییر به‌طور ناخواسته به کاهش نقش کار حرفه‌ای در آموزش مهندسی منجر شده است.

نتیجه اینکه در دو سه دهۀ اخیر، مهندسی هر چه بیشتر توسط عالمان مهندسی، که بیشتر آنها سابقه کار عملی مهندسی نداشتند، تدریس می‌شده است. آموزشی که این گروه با آن آشنا هستند، بیشتر قالب پژوهش مهندسی دارد. از این رو، آنها در قالب و چارچوبی که بیشتر با آن آشنا هستند، فکر می‌کنند، کار می‌کنند و تدریس می‌کنند. پژوهش مهندسی در جای خود امر با ارزشی است، ولی در این سالها به‌طور تلویحی به صورت قالب آموزش مهندسی در آمده است و دانشجویان به‌گونه‌ای آموزش داده می‌شوند که یک پژوهشگر مهندسی بشوند و نه یک مهندس حرفه‌ای. با توجه به این نکته مهم است که نگرش جدیدی در آموزش مهندسی مطرح شده و به‌سرعت مورد استقبال قرارگرفته است.

نگرش جدید بر این اصل استوار است که باید به گذشته خود باز گردیم و آموزش مهندسی را بار دیگر در قالب کار مهندسی قرار دهیم. قالبی که بر توسعه و گسترش چرخۀ حیات تولیدات مهندسان [یعنی محصول، فرایند یا سیستم] استوار است. این نگرش بر این باور است که "شناسایی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری" قالب [و نه محتوای] آموزش مهندسی است[۶]. تقریباً همۀ آموزشگران مهندسی بر این اعتقادند که دانشجویان در دانشگاه باید اصول دانش فنی و نگرشهای یک رشتۀ مهندسی (عمران، برق، مکانیک و غیره) را یاد بگیرند. آنچه این نگرش تازه از آن حمایت می‌کند این است که دانشجویان این محتوا را در قالب مناسب بهتر درک خواهند کرد. در نتیجه، مهارتهای فردی، جمعی و سیستم ساز آنها با قراردادن آنها در قالب تازه [یعنی شناسایی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری] افزوده خواهد شد [۵].

شناسایی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری واژه‌هایی هستند که برای فعالیتهای عمومی مهندسی به‌کار می‌روند. عنوان این مراحل در رشته‌های مختلف مهندسی ممکن است تا حدی با هم متفاوت باشد [مثلاً در یک‌جا به‌صورت برنامه‌ریزی، طراحی، ساخت و کاربرد و در جای دیگر دارای عناوین طرح مسئله، طراحی، اجرا و مصرف است]، ولی همۀ آنها در واقع همان چهار مرحله کلی را بیان می‌کنند. در هر یک از این حالتها مهم این است که آموزش دانشجویان را در قالب توسعه و گسترش چرخۀ حیات محصول، فرایند و سیستم قرار دهیم. در نکات زیر بر این اصل که چرخۀحیات محصول، فرایند و سیستم [یعنی شناسایی، طراحی، اجرا و بهره‌برداری] قالب مناسبی برای آموزش مهندسی است، تأیید می‌شود[۶]:

- آن چیزی است که مهندسان انجام می‌دهند؛
- نیازهای اساسی و فهرست مهارتهایی است که صنعت به آموزشگران دانشگاه پیشنهاد می‌کند؛
- قالبی طبیعی است که در آن این مهارتها به دانشجویان آموخته می‌شود؛
- یادگیری مبانی فنی را به نحو بهتری امکان‌پذیر می‌سازد.

در یکی دو دهۀ اخیر، آموزش مهندسی در سرتاسر دنیا در حال تغییر بوده است. از علل این نیاز

به تغییر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۸]:

- کاهش دانش آموختگان مهندسی که در عمل به حرفهٔ مهندسی اشتغال پیدا می‌کنند؛
- نیاز به آموزش مهندسانی که مشارکت و رهبری مؤثرتری را ارائه کنند؛
- نیاز به آموزش مهندسانی که توانایی بیشتری برای کار بین‌رشته‌ای داشته باشند؛
- نیاز بیشتر به کسب همکاری و انتقال دانش بین دانشگاه و صنعت؛
- ارائه آموزشی که دانشجویان را به‌نحو بهتری برای پدیده جهانی شدن آماده سازد؛
- نیاز به افزایش آگاهی مهندسان و پاسخگویی به تغییرات زیست محیطی.

برای مثال، در یک بررسی که در کشور چین صورت گرفته، مشخص شده است که مهندسان جوان این کشور بیشتر کمبودهایی در زمینهٔ تجربه کار عملی، آشنایی با فرهنگ شرکتهای صنعتی، توانایی تصمیم‌گیری و تسلط به زبان انگلیسی داشته‌اند. پایین بودن نسبی کیفیت آموزش مهندسی در کشور چین را به موارد زیر منسوب می‌کنند [۹]:

- آشکار نبودن هدفهای آموزش مهندسی؛ هدف اغلب دانشگاههای مهندسی پژوهش محور تربیت عالمان و نه مهندسان است؛
- وجود داشتن فاصله بین دانشگاه و صنعت و بی‌توجهی آموزشگران به نیازهای صنعت؛
- وجود نداشتن سابقه صنعتی و تجربهٔ مهندسی در بین استادان دانشگاههای مهندسی؛
- سمتگیری درسها و برنامه درسی در جهت مسائل تئوری و کاربرد عملی ناچیز مسائل تئوری؛
- استفاده از روشهای تدریسی که به طور عمده استاد محور و نه دانشجو محور است؛
- ارزیابی کیفیت آموزش مهندسی بدون مشارکت صنعت و دیگر طرفهای ذی‌نفع اصلی.

با توجه به کاستیهای بیان شده، اصلاحاتی که در آموزش مهندسی این کشور پیشنهاد شده، عمدتاً بر سه محور استوار است:

- افزایش یادگیری عملی و تجربی و نگرش یادگیری پروژه محور؛
- افزایش همکاریها و تبادل دانش بین دانشگاه و صنعت؛
- اصلاح آموزش مهندسی به منظور آماده کردن دانشجویان برای پدیده جهانی شدن.

فاصله معنا دار بین آموزشهای عرضه شده و نیازهای واقعی صنعت، کوششهای گسترده‌ای را برای بر طرف کردن این مشکل و به‌دست دادن الگو یا استانداردی مناسب برای آموزش مهندسی در کشور چین به همراه داشته است.

٤. استانداردهای آموزش مهندسی

گروهی از دانشگاههای جهان با محوریت دانشگاه ام آی تی آمریکا برنامه‌ای ابتکاری متشکل از۱۲ استاندارد را در سال۲۰۰۴ به منظور راهنمایی مسئولان برنامه‌های آموزشی برای قضاوت در باره برنامه‌ها و مبنایی برای پیشرفت آنها در مقیاس جهانی عرضه کردند که با توجه به محتوای آن، به ابتکار CDIO معروف شده است [۱۰ و ۱۱]. در جدول ۱ عنوان هر یک از این ۱۲ استاندارد و در ادامه آن شرح مختصری از هر یک از آنها آمده است. از این ۱۲ استاندارد تعداد ۷ عدد آنها از اولویت بیشتری برخوردارند [که با ستاره مشخص شده‌اند]. این دوازده استاندارد بر شش زمینه زیر تأکید دارند:

- قالب برنامه CDIO (استاندارد ۱)
- برنامهٔ درسی (۲ و ۳ و ۴)
- کار تجربی (۵ و ۶)
- تدریس و یادگیری (۷ و ۸)
- شایستگی استادان (۹ و ۱۰)
- ارزیابی (۱۱ و ۱۲)

جدول ۱: دوازده دستاورد CDIO برای آموزش مهندسی [۵ و ۱۰].

۱. **قالب آموزش مهندسی*:** تبیین این اصل که توسعه و گسترش چرخهٔ حیات محصول و سیستم (یعنی شناسایی، طراحی، ساخت و بهره برداری) قالب آموزش مهندسی است.

۲. **دستاوردهای برنامه درسی*: دستاوردهای** یادگیری مشخص و دقیق برای مهارتهای فردی، جمعی و ساخت محصول و سیستم متناسب با هدفهای کلی برنامه و مورد تأیید طرفهای ذی‌نفع.

۳. **برنامه درسی یکپارچه*:** یک برنامه تحصیلی طراحی شده در برگیرنده رشتهٔ تحصیلی و دارای طرحی جامع برای ادغام مهارتهای فردی، جمعی و ساخت محصول و سیستم.

۴. **درآمدی بر مهندسی:** یک درس مقدماتی که چارچوبی برای انجام دادن کار مهندسی در ساخت محصول و سیستم را معرفی کند و اصول مهارتهای فردی و جمعی را ارائه دهد.

۵. **تجربه‌های طراحی و ساخت*:** یک برنامه تحصیلی با حداقل دو تجربه طراحی ـ ساخت[1]، یکی در سطح مقدماتی و یکی در سطح پیشرفته.

۶. **کارگاه:** آزمایشگاهها و کارگاههایی که یادگیری عملی ساخت محصول و سیستم و دانش رشته تحصیلی و اجتماعی را حمایت می‌کنند.

۷. **تجربه‌های یادگیری یکپارچه*:** تجربه‌های یادگیری که **به** کسب دانش رشته تحصیلی به همراه مهارتهای فردی، جمعی و ساخت محصول و سیستم منجر می‌شود.

1. Design-Built

۸. **یادگیری فعال:** تدریس و یادگیری با استفاده از روشهای یادگیری فعال.
۹. **مهارتهای حرفه‌ای استادان*:** ارتقای توانایی استادان در مهارتهای فردی، جمعی و ساخت محصول و سیستم.
۱۰. **مهارتهای تدریس استادان:** افزایش توانایی استادان در استفاده از روشهای نوین تدریس، یادگیری فعال و ارزیابی یادگیری دانشجویان.
۱۱. **ارزیابی مهارتها*:** ارزیابی دانشجویان در خصوص مهارتهای فردی، جمعی و ساخت محصول و سیستم و همچنین، دانش رشته تخصصی.
۱۲. **قضاوت CDIO در باره برنامه:** برقراری سیستمی که برنامهٔ آموزشی را بر حسب این ۱۲ استاندارد مورد قضاوت قرار دهد و بازخورد لازم برای بهبود برنامه به دانشجویان، استادان و دیگر طرفهای ذی‌نفع ارائه کند.

الف. قالب آموزش مهندسی: برای هر نوع آموزش قبل از هر چیز باید قالبی در نظر گرفت. قالب آموزش مهندسی عبارت از چارچوبی است که در آن دانش فنی و دیگر مهارتها تدریس، تمرین و یادگرفته می‌شود. بررسیهای صورت گرفته نشان داده است که توسعه و ارتقای محصولات و سیستم‌ها قالب مناسبی برای آموزش مهندسی است. مهندسان برای توسعه محصولات، فرایندها و سیستم‌ها از یک مدل چهار مرحله‌ای متشکل از شناسایی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری استفاده می‌کنند[۶ و ۱۰]:

- مرحله **شناسایی**[1] عبارت است از: تعیین نیازهای مصرف کننده، مشخص کردن فناوری، استراتژی و رویه‌های اقتصادی و توسعه برنامه‌های مفهومی، فنی و تجاری.
- مرحله **طراحی**[2] بر خلق طراحی متمرکز است که عبارت از طرحها، نقشه‌ها و الگوریتمهایی است که نشان می‌دهد که چه چیزی اجرا خواهد شد.
- مرحله **ساخت**[3] که به تبدیل طرح به محصول مربوط می‌شود و عبارت از تولید، برنامه‌نویسی، آزمایش و راستی آزمایی است.
- مرحله **بهره برداری**[4] عبارت است از: کسب ارزش مورد نظر توسط محصول ساخته شده شامل استفاده، نگهداری، ارتقا و پایان استفاده از آن.

ب. دستاوردهای یادگیری: دستاوردها عبارت از دانشها، مهارتها و نگرشهای کسب شده از آموزش مهندسی هستند. دستاوردهای یادگیری عبارت‌اند از: آنچه دانشجویان باید در زمان تکمیل برنامه بدانند و قادر به انجام دادن آن باشند. دستاوردهای یادگیری را به سه گروه می‌توان تقسیم کرد [۱۰]:

1. Conceiving
2. Designing
3. Implementing
4. Operating

- دستاوردهای **یادگیری فردی** بر توسعه شناختی و عاطفی تک‌تک دانشجویان متمرکز است. برای مثال، می‌توان توانایی استدلال مهندسی، مشکل گشایی، تفکر سیستمی، تفکر خلاقانه، تفکر نقادانه و اخلاق حرفه‌ای را نام برد.
- دستاوردهای **یادگیری جمعی** بر کنشهای جمعی مثل کارگروهی، رهبری و ارتباطات متمرکز است.
- مهارتهای **ساخت محصول و سیستم** بر شناسایی، طراحی، ساخت و بهره برداری از سیستم‌ها در چارچوب اقتصادی و اجتماعی متمرکز است.

پ. برنامه تحصیلی یکپارچه: برنامهٔ تحصیلی مورد نظر شامل تجربه‌های یادگیری است که به‌کسب مهارتهای فردی، جمعی و ساخت محصول و سیستم (استاندارد ۲) همراه با یادگیری محتوای رشته تحصیلی منجر می‌شود. تدریس مهارتهای فردی، جمعی و ساخت محصول و سیستم نباید به‌عنوان بخشی اضافه نسبت به برنامه تحصیلی موجود، بلکه به عنوان جزئی از آن باشد.

ت. درآمدی بر مهندسی: طراحی و اجرای یک درس مقدماتی است که به‌طور معمول یکی از اولین درسهای اجباری برنامه است و چارچوب کارمهندسی[1] را ارائه می‌دهد. هدف این درس برانگیختن توجه و افزایش انگیزه دانشجویان به مهندسی با تمرکز بر کاربرد رشته‌های اصلی مهندسی است. در این درس سرفصلی کلی از کارها و مسئولیتهای یک مهندس و نحوهٔ استفاده از دانش مهندسی برای به اجرا درآوردن آن وظایف عرضه می‌شود. در این درس همچنین، دانشها، مهارتها و نگرشهای فردی و جمعی ضروری آموزش داده می‌شود و دانشجویان با حل مسائل و تمرینات ساده طراحی، به طور فردی و گروهی، با کار مهندسی آشنا می‌شوند. درس درآمدی بر مهندسی از سال ۱۳۷۷ برای اولین بار در دانشکده فنی دانشگاه تهران برای رشته تازه تأسیس کارشناسی علوم مهندسی ارائه شده و نتایج مثبتی را به همراه داشته است [۱۰].

ث. تجربه‌های طراحی و ساخت: عبارت تجربه طراحی و ساخت معرف دامنه‌ای از فعالیتهای اصلی مهندسی در خصوص فرایند توسعه محصولات، فرایندها و سیستم‌های جدید است. تجربه‌های طراحی و ساخت به دو سطح مبتدی و پیشرفته تقسیم می‌شوند. برای مثال، محصولات و سیستم‌های ساده‌تر در قسمتهای اولیه برنامه عرضه و تجربه‌های پیچیده‌تر طراحی و ساخت در درسهای انتهایی منظور می‌شوند. فرصتهایی برای شناسایی، طراحی، ساخت و بهره برداری ممکن است در فعالیتهای کمک

---

1. Practice of Engineering

درسی مثل پروژه‌های پژوهشی کارشناسی و کارورزیها نیز منظور شوند. تکرار تجربه‌های طراحی ـ ساخت و افزایش سطح پیچیدگی طراحی، درک دانشجویان را در خصوص فرایند توسعه محصول و سیستم تقویت می‌کند. تأکید بر ساختن محصولات و اجرای فرایندها در قالب دنیای واقعی به دانشجویان فرصت می‌دهد تا ارتباط بین محتوای مطالب فنی که یاد می‌گیرند و نیز علایق حرفه‌ای و شغلی خود را پیدا کنند.

ج. کارگاه: محیط فیزیکی یادگیری سنتی شامل کلاسهای درس، سالنهای سخنرانی، آزمایشگاهها و کارگاههاست. در حال حاضر، آزمایشگاهها و کارگاهها محل یادگیری مهارتهای ساخت محصول و سیستم در زمینه رشته تحصیلی‌اند. در این محیطها بر یادگیری عملی تأکید می‌شود و در آنها دانشجویان به‌طور مستقیم در یادگیری خود درگیر می‌شوند و همچنین، فرصتهایی برای یادگیری اجتماعی؛ یعنی جایی که دانشجویان می‌توانند از یکدیگر یاد بگیرند و با چندین گروه دیگر ارتباط داشته باشند، به وجود می‌آید. کارگاهها و دیگر محیطهایی که یادگیری عملی را پشتیبانی می‌کنند، منابع اساسی برای فرایند یادگیری طراحی، ساخت و آزمایش محصولات و سیستم‌ها هستند. دانشجویانی که به ابزارها، نرم افزارها و آزمایشگاههای مدرن مهندسی دسترسی دارند، این فرصت را می‌یابند که دانشها، مهارتها و نگرشهای مؤثر در ساخت محصول و سیستم را به‌دست آورند. این تواناییها بیش از همه در کارگاههای دانشجو محور توسعه می‌یابد.

چ. تجربه‌های یادگیری یکپارچه: تجربه‌های یادگیری یکپارچه عبارت از نگرشهای آموزشی است که به‌طور همزمان قابلیت یادگیری دانش رشته تحصیلی و مهارتهای فردی، جمعی و ساخت محصول و سیستم را پرورش می‌دهد. این روشها موضوعات حرفه‌ای مهندسی را با قالبی که در آن با موضوعات رشته همزیستی دارند، ادغام می‌کنند. برای مثال، دانشجویان ممکن است تحلیل یک محصول، طراحی یک محصول و مسئولیتهای اجتماعی طراح محصول را با هم در یک تجربه در نظر داشته باشند. با ادغام تجربه‌های یادگیری، استادان به طور مؤثرتری خواهند توانست به دانشجویان در خصوص کاربرد دانش رشته تحصیلی در کار مهندسی کمک و آنان را به نحو بهتری برای دستیابی به نیازهای حرفه مهندسی آماده کنند.

ح. یادگیری فعال: روشهای یادگیری فعال دانشجویان را به طور مستقیم درگیر فعالیتهای فکری و حل مسائل می‌کند. دانشجویان فقط کمتر از یک چهارم آنچه را می‌شنوند و نیمی از آنچه را می‌بینند و می‌شنوند، به‌خاطر می‌آورند. با درگیرکردن دانشجویان به تفکر در باره مفاهیم، به ویژه ایده‌های

تازه، آنها نه تنها بیشتر یاد می‌گیرند، بلکه فرا می‌گیرند که چه چیز را و چگونه یاد بگیرند. این فرایند انگیزه دانشجویان را به‌کسب دستاوردهای یادگیری برنامه و ایجاد عادت یادگیری مداوم افزایش می‌دهد. با استفاده از روشهای یادگیری فعال آموزشگران می‌توانند به دانشجویان کمک کنند تا ارتباط بین مفاهیم کلیدی را پیدا و کاربرد این دانشها را در شرایط جدید تسهیل کنند. در درسهای سخنرانی‌محور از یادگیری فعال می‌توان به‌صورت روشهایی چون گروههای بحث دو یا چند نفره، سؤالات مفهومی و کسب بازخورد از دانشجویان در باره آنچه یادگرفته‌اند، استفاده کرد.

خ. مهارتهای حرفه‌ای استادان: به استادان باید کمک شود تا توانایی خود را در زمینهٔ مهارتهای فردی، جمعی و ساخت محصول و سیستم بالا ببرند. این مهارتها به بهترین وجه در قالب کار حرفه‌ای مهندسی کسب می‌شود. نوع و میزان توسعهٔ حرفه‌ای استادان، بسته به منابع و اهداف برنامه و مؤسسه آموزشی، متغیر است. برخی از اقداماتی که توانایی استادان را افزایش می‌دهد، عبارت است از: ایجاد فرصت کار حرفه‌ای در صنعت، همکاری با افرادی در صنعت در پروژه‌های آموزشی و پژوهشی، افزودن تجربه مهندسی به‌عنوان ملاکی برای استخدام و ارتقای استادان و امکان توسعه حرفه‌ای مناسب در دانشگاه. استادانی که قرار است برنامه‌ای را تدریس کنند که در آن مهارتهای فردی، جمعی و ساخت محصول و سیستم با دانش رشته تحصیلی تلفیق شده باشد، باید خود چنین مهارتهایی را داشته باشند. بسیاری از استادان مهندسی در پژوهش و دانش رشتهٔ خود متخصص‌اند و تجربه محدودی در کار مهندسی در محیطهای صنعتی دارند. علاوه بر این، سرعت زیاد نوآوریهای فناوری، به روز شدن مداوم مهارتهای مهندسی را ضروری می‌سازد.

د. مهارتهای تدریس استادان: کمک به استادان برای بهبود تواناییهایشان در تجربه‌های یکپارچه یادگیری (استاندارد ۷)، یادگیری فعال (استاندارد ۸) و ارزشیابی یادگیری دانشجویان (استاندارد ۱۱). از اقداماتی است که توانایی استادان را افزایش می‌دهد و عبارت است از: کمک به شرکت در برنامه‌های توسعه استادان در داخل و خارج از دانشگاه، برگزاری جلساتی برای اشتراک ایده‌ها و تجربه‌های به دست آمده از تدریس و تأکید بر بازنگری عملکرد و استفاده از روشهای مؤثر تدریس. اگر از استادان انتظار داریم که از روشهای جدیدی در تدریس خود و ارزیابی دانشجویان استفاده کنند، باید امکان تقویت این مهارتها برای آنان ایجاد شود. بسیاری از دانشگاهها برنامه‌هایی را برای پیشرفت استادان خود در این زمینه‌ها ارائه کرده‌اند.

ذ. ارزیابی مهارتها: ارزیابی یادگیری دانشجویان عبارت از سنجش میزان دستیابی هر دانشجو به دستاوردهای یادگیری است. آموزشگران معمولاً این ارزیابی را در درسهای خود انجام می‌دهند. در

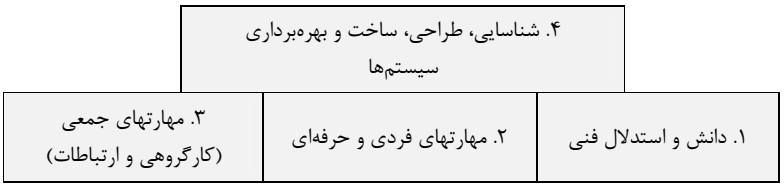
یک ارزیابی یادگیری مؤثر روشهای متنوعی، که مطابقت خوبی با دستاوردها دارند، به کار گرفته می‌شود. این روشها می‌تواند شامل آزمونهای کتبی و شفاهی، مشاهده عملکرد دانشجویان و ارزیابی شخصی و توسط همکلاسیها باشد. وقتی مهارتهای فردی، جمعی و ساخت محصول و سیستم را مهم می‌دانیم و به‌عنوان دستاوردهای یادگیری بیان و آنها را در برنامه تحصیلی و تجربه‌های یادگیری منظور می‌کنیم باید فرایندهای ارزیابی مؤثری نیز برای سنجش این مهارتها داشته باشیم. انواع دستاوردهای یادگیری به روشهای ارزیابی متفاوتی نیاز دارند. برای مثال، دستاوردهای یادگیری مرتبط با دانش رشتهٔ مربوط را می‌توان با امتحانات کتبی و شفاهی ارزیابی کرد، در حالی‌که دستاوردهای مربوط به مهارتهای طراحی و ساخت را شاید به‌نحو بهتری بتوان با ثبت مشاهدات سنجید. استفاده از انواع مختلف روشهای ارزیابی سبکهای یادگیری متنوع‌تری را در بر می‌گیرد و قابلیت اعتماد و اعتبار داده‌های ارزیابی را بیشتر می‌کند و در نتیجه، میزان دستیابی دانشجویان به دستاوردهای یادگیری با اعتماد بیشتری تعیین می‌شود.

ر. قضاوت در باره برنامه: داوری در خصوص ارزش کلی یک برنامه برحسب شواهد پیشرفت آن در دستیابی به اهدافش صورت می‌گیرد. برنامه باید بر حسب این ۱۲ استاندارد ارزیابی شود. شواهد مربوط به ارزش برنامه را می‌توان از قضاوت در باره درسها، کسب بازخورد از آموزشگران، مصاحبه با دانشجویان ورودی و سال آخر، گزارش بررسی کننده‌های خارج از برنامه و نظرخواهیهای صورت‌گرفته از دانش‌آموختگان و کارفرمایان آنها به‌دست آورد. شواهد می‌تواند به‌طور منظم به آموزشگران، دانشجویان، مدیران برنامه، دانش‌آموختگان و دیگر طرفهای ذی‌نفع گزارش شود. این بازخوردها مبنای تصمیم‌گیری در باره برنامه و در نظر گرفتن طرحهایی برای بهبود مداوم آن است. فعالیت کلیدی برای قضاوت در باره برنامه، تعیین مؤثر بودن و کارایی آن در رسیدن به هدفهای آموزشی برنامه است. شواهد گردآوری شده در خلال فرایند قضاوت به عنوان مبنایی برای بهبود مداوم برنامه به‌کارگرفته می‌شود. برای مثال، اگر در مصاحبه با دانشجویان سال آخر بیشتر دانشجویان بگویند که نتوانسته‌اند برخی از دستاوردهای یادگیری را کسب کنند، باید برنامه‌ای برای تعیین علت این امر و اعمال تغییرات لازم به اجرا در آید.

۵. توسعهٔ برنامهٔ آموزشی برمبنای نگرش جدید

در آموزش دوره‌های کارشناسی مهندسی معاصر دو نیاز در مقابل هم قرار گرفته‌اند: از یک سو کسب دانش فنی که در حال افزایش است و به نظر می‌رسد که دانش‌آموختگان مهندسی باید از آنها آگاه باشند و از سوی دیگر، ضرورت فراگیری دامنه‌ای از دانشهای فردی، جمعی و ساخت سیستم است تا

دانش‌آموختگان بتوانند در گروههای کاری مهندسی عملکرد مناسبی داشته باشند و محصولات و سیستم‌ها را تولید کنند. برای پوشش مناسب این دو نیاز، در این نگرش تازه، سرفصلهایی پیشنهاد شده که در واقع، مشروح اهداف آموزش نوین مهندسی است. سرفصلهای پیشنهاد شده دارای چهار رکن اساسی به نامهای دانش و استدلال فنی، مهارتهای فردی و حرفه‌ای، مهارتهای جمعی (کارگروهی و ارتباطات) و CDIO است (شکل ۱) [۵].



شکل ۱: ساختار سرفصلهای نگرش جدید [۵].

همان گونه که پیشتر هم ذکر شد، گزارش یونسکو در خصوص آموزش در قرن ۲۱ به این نتیجه رسیده است که آموزش دایمی در تمام طول حیات بر چهار پایه اصلی استوار است: یادگیری برای دانستن، یادگیری برای بودن، یادگیری برای همکاری کردن و یادگیری برای انجام دادن [۱]. در جدول ۲ رابطهٔ بین این چهار رکن پیشنهادی با چهار زمینه اصلی سرفصلهای CDIO نشان داده شده است [۵ و ۸].

جدول ۲: رابطه سرفصلها و چهار رکن پیشنهادی یونسکو برای آموزش در قرن ۲۱ [۵].

CDIO	یونسکو
۱. دانش و استدلال فنی	یادگیری برای دانستن
۲. مهارتها و شایستگیهای فردی	یادگیری برای بودن
۳. مهارتهای جمعی (کارگروهی و ارتباطات)	یادگیری برای همکاری کردن
۴. شناسایی، طراحی، ساخت و بهره برداری	یادگیری برای انجام دادن

الف. دانش و استدلال فنی: این بخش از سرفصلها توصیف دقیقی از مبانی لازم برای هر آموزش مهندسی را در خود جای داده است. جزئیات این بخش در رشته‌های مختلف متفاوت است. با قرار دادن این بخش در ابتدای فهرست تحصیلی بر این مطلب تأکید می‌شود که توسعه دانشی عمیق از مبانی فنی همانند گذشته باید هدف اولیه آموزش دوره کارشناسی مهندسی باشد. زمینه‌های اصلی بخش دانش و استدلال فنی عبارت‌اند از:

- دانش علوم پایه (ریاضیات، فیزیک، شیمی و بیولوژی)

- دانش مبانی پایه مهندسی
- دانش مبانی پیشرفته مهندسی

ب. مهارتها و شایستگیهای فردی و حرفه‌ای: همهٔ مهندسان رشته‌های مختلف از مهارتهای فردی و جمعی کم و بیش مشابهی استفاده می‌کنند و فرایندهای عمومی کم و بیش یکسانی را دنبال می‌کنند. مهندسان باید توانایی استفاده از سه وجه عمدهٔ تفکر؛ یعنی تفکر مهندسی، تفکر علمی و تفکر سیستمی را داشته باشند. علاوه بر این دانشهای پایه، مهندسان باید شایستگیهایی چون رفتار مناسب حرفه‌ای و همچنین، مهارتها و شایستگی برنامه‌ریزی برای کارحرفه‌ای و به روز ماندن در دنیای پویای مهندسی را داشته باشند. مهندسان همچنین، باید خصلتهایی همچون ابتکار و پشتکار، آگاهی از نقاط قوت و ضعف خود، کنجکاوی و یادگیری مداوم و بالاخره، مدیریت زمان را داشته باشند. بخش مهارتهای فردی و حرفه‌ای به پنج زیر بخش تقسیم شده است:

- استدلال مهندسی و مشکل گشایی
- آزمایش و کشف دانش
- تفکر سیستمی
- شایستگیها و مهارتهای فردی
- شایستگیها و مهارتهای حرفه‌ای

پ. مهارتهای جمعی (کارگروهی و ارتباطات): مهارت داشتن در انجام دادن کارگروهی و برقراری ارتباطات امری حیاتی برای مهندسان است. کار گروهی متشکل از مواردی چون تشکیل گروه، عضویت در گروه، سرپرستی گروه همراه با برخی مهارتهای خاص کار گروهی فنی است. ارتباطات نیز متشکل از تنوعی از مهارتها برای استفاده از چهار رسانهٔ رایج شفاهی، کتبی، تصویری و الکترونیکی است. در این برنامه تسلط به یک زبان خارجی نیز جزو مهارتهای ضروری مهندسان مدرن در نظر گرفته شده است.

- انجام دادن کارگروهی
- برقراری ارتباطات
- برقراری ارتباطات از طریق تسلط به زبان خارجی

ت. شناسایی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سیستم‌ها: محصولات و سیستم‌ها در قالب شرکتها و مشاغل مختلف شناسایی، طراحی، ساخته و بهره‌برداری می‌شوند. مهندسان باید این مراحل را به‌خوبی درک کنند تا بتوانند عملکرد مناسبی داشته باشند. مرحلهٔ شناسایی از تعیین نیاز بازار تا تجسم طراحی را در برمی‌گیرد و شامل مرحله مدیریت پروژه هم می‌شود. طراحی شامل وجوه

مختلفی چون فرایند طراحی و طراحی رشته‌ای، بین رشته‌ای و چندمنظوره می‌شود. ساخت شامل فرایندهای نرم‌افزاری و سخت‌افزاری ساخت و تولید، آزمایش و راستی‌آزمایی و همچنین، طراحی و مدیریت فرایند ساخت می‌شود. بهره‌برداری نیز دامنهٔ گسترده‌ای از موضوعات از طراحی و مدیریت بهره‌برداری تا حمایت از چرخه حیات محصول و بهبود آن و مسائل مربوط به پایان مصرف آن را در برمی‌گیرد. این قسمت از شش زیر بخش تشکیل یافته است:

- قالب خارجی و اجتماعی
- قالب تشکیلاتی و شغلی
- شناسایی و مهندسی سیستم‌ها
- طراحی
- ساخت
- بهره برداری

در جدول ۳ سرفصلهای این برنامه، با سه سطح از جزئیات، نشان داده شده است [۵، ۸]

جدول ۳: سرفصلهای CDIO [۵ و ۸].

۱. دانش و استدلال فنی
۱. ۱. دانش علوم مرتبط
۱. ۲. دانش مبانی مهم مهندسی
۱. ۳. دانش مبانی پیشرفته مهندسی
۲. مهارتها و نگرشهای فردی و حرفه‌ای
۲. ۱. استدلال و مشکل گشایی مهندسی
۲. ۱. ۱. شناسایی و ساماندهی مسئله
۲. ۱. ۲. مدلسازی
۲. ۱. ۳. برآورد و تحلیل کیفی
۲. ۱. ۴. تحلیل با عدم یقین
۲. ۱. ۵. راه حل و پیشنهادها
۲. ۲. تجربه و کشف دانش
۲. ۲. ۱. ایجاد فرضیه
۲. ۲. ۲. جستجوی منابع نوشتاری و الکترونیکی
۲. ۲. ۳. جستجوی تجربی
۲. ۲. ۴. آزمودن و دفاع از فرضیه‌ها
۲. ۳. تفکر سیستمی
۲. ۳. ۱. تفکر یکپارچه
۲. ۳. ۲. ظهور و اندرکنش در سیستم‌ها
۳. ۲. ۵. ارتباط تصویری
۳. ۲. ۶. ارائه شفاهی و ارتباطات جمعی
ارائه شفاهی و ارتباط جمعی
۳. ۳. ارتباط به زبان خارجی
۳. ۳. ۱. انگلیسی
۳. ۳. ۲. زبانهای کشورهای صنعتی منطقه
۳. ۳. ۳. زبانهای دیگر
۴. شناسایی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری از سیستم‌ها در تشکیلات اقتصادی[1] و در قالب اجتماعی
۴. ۱. قالب بیرونی و اجتماعی
۴. ۱. ۱. نقش و مسئولیتهای مهندسان
۴. ۱. ۲. تأثیر مهندسی برجامعه
۴. ۱. ۳. مقررات مهندسی جامعه
۴. ۱. ۴. قالب تاریخی و فرهنگی
۴. ۱. ۵. ارزشها و مسائل معاصر
۴. ۱. ۶. توسعهٔ یک منظر جهانی
۴. ۲. قالب تشکیلات اقتصادی و کسب وکار

1. Enterprise

۲. ۳. ۳. اولویت بندی و تمرکز
۲. ۳. ۴. قضاوت و تعادل در راه‌حلها
۲. ۴. ویژگیها و مهارتهای شخصی
۲. ۴. ۱. تمایل به ریسک پذیری
۲. ۴. ۲. مداومت و انعطاف پذیری
۲. ۴. ۳. تفکر خلاق
۲. ۴. ۴. تفکر نقادانه
۲. ۴. ۵. آگاهی از دانش، مهارت و نگرش شخصی
۲. ۴. ۶. کنجکاوی و یادگیری مداوم
۲. ۴. ۷. مدیریت زمان و منابع
۲. ۵. مهارتها و نگرشها
۲. ۵. ۱. اخلاق حرفه‌ای، امانتداری، مسئولیت‌پذیری و پاسخگویی
۲. ۵. ۲. رفتار حرفه‌ای
۲. ۵. ۳. برنامه‌ریزی فعال برای حرفه
۲. ۵. ۴. به روز بودن در دنیای مهندسی

۳. مهارتهای جمعی: کارگروهی و ارتباطات

۳. ۱. کار گروهی
۳. ۱. ۱. تشکیل گروههای مؤثر
۳. ۱. ۲. ادارهٔ گروه
۳. ۱. ۳. رشد و تکامل گروه
۳. ۱. ۴. رهبری
۳. ۱. ۵. گروههای فنی
۳. ۲. ارتباطات
۳. ۲. ۱. استراتژی ارتباطات
۳. ۲. ۲. ساختار ارتباطات
۳. ۲. ۳. ارتباط کتبی
۳ ۲. ۴. .ارتباط الکترونیکی و چند رسانه‌ای

۴. ۲. ۱. درک فرهنگهای مختلف تشکیلات اقتصادی
۴. ۲. ۲. استراتژی، هدفها و برنامه ریزی تشکیلات اقتصادی
۴. ۲. ۳. کارآفرینی[1]
۴. ۲. ۴. کار موفقیت آمیز در سازمانها
۴. ۳. شناسایی سیستم های مهندسی
۴. ۳. ۱. برقراری هدفها و نیازهای سیستم
۴. ۳. ۲. تعریف، عملکرد، مفهوم و ساختار
۴. ۳. ۳. مدلسازی سیستم و اطمینان از دستیابی به هدفها
۴. ۳. ۴. مدیریت پروژه توسعه
۴. ۴. طراحی
۴. ۴. ۱. فرایند طراحی
۴. ۴. ۲. فرایند فازبندی و رویه‌های طراحی
۴. ۴. ۳. استفاده از دانش در طراحی
۴. ۴. ۴. طراحی رشته‌ای
۴. ۴. ۵. طراحی بین رشته‌ای
۴. ۴. ۶. طراحی چند منظوره
۴. ۵. ساخت و اجرا
۴. ۵. ۱. طراحی فرایند ساخت و اجرا
۴. ۵. ۲. سخت افزار فرایند تولید
۴. ۵. ۳. نرم‌افزار فرایند تولید
۴. ۵. ۴. یکپارچگی نرم‌افزار سخت افزار
۴. ۵. ۵. آزمودن، بازبینی، اعتبارسنجی و گواهی
۴. ۶. بهره برداری
۴. ۶. ۱. طراحی و بهینه‌سازی بهره برداری
۴. ۶. ۲. کارآموزی و بهره برداری
۴. ۶. ۳. حفاضت از چرخهٔ حیات سیستم
۴. ۶. ۴. بهبود و تکامل سیستم
۴. ۶. ۵. پسماند و مسائل پایان کارکرد
۴. ۶. ۶. مدیریت بهره برداری

1. Entrepreneurship

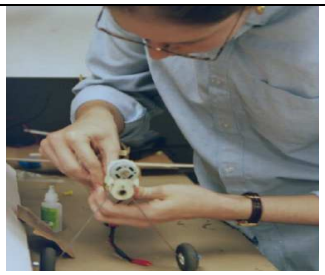
٦. تجربه‌های طراحی ـ ساخت در نگرش جدید

مرور استانداردها و سرفصلهای پیشنهاد شده برای آموزش مهندسی، تأکید این نگرش جدید بر کار عملی و تجربه‌های حرفه‌ای را نشان می‌دهد. این‌گونه فعالیتها در اینجا **تجربه‌های طراحی ـ ساخت**[1] نام گرفته‌اند. تجربه‌های طراحی ـ ساخت رخدادی آموزشی است که در آن یادگیری توسط خلق یک محصول، فرایند یا سیستم صورت می‌گیرد. این تجربه‌ها می‌تواند بر **شناسایی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری** یا ترکیبی از آنها تمرکز داشته باشد. تجربه‌های طراحی ـ ساخت چارچوبی برای دانشجویان به‌منظور یادگیری مهندسی از طریق ساختن چیزهای مختلف است. طراحی و ساخت سطوح پیچیده مختلفی دارد. در آموزش دوره کارشناسی مهندسی یادگیری معمولاً از سطوح ساده‌تر در سالهای ابتدایی تحصیل آغاز و به سطوح پیچیده‌تر در اواخر برنامه ختم می‌شود. پیچیدگی یک تجربه طراحی ـ ساخت با توجه به محتوای فعالیت، ساختار آن، شرایط راه‌حل آن تعداد افراد درگیر و مدت انجام آن تعیین می‌شود. در تجربه‌های ساده‌تر فقط ساختن و به کاربردن مورد نظر است، در صورتی که در تجربه‌های پیشرفته‌تر مراحل طراحی و شناسایی نیز وارد عمل می‌شوند(جدول۴). در شکل۲ نمونه‌هایی از تجربه‌های طراحی ساخت، که سطوح پیچیدگی آنها به تدریج افزایش می‌یابند، نشان داده شده است [۵ و ۸].

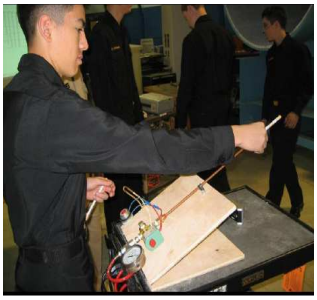
جدول ٤: سطوح پیچیدگی تجربه‌های مهندسی [۵ و ۸ و ۱۱].

	افزایش پیچیدگی ⟵		
فعالیتها	ساخت و بهره‌برداری	طراحی، ساخت و بهره‌برداری	شناسایی، طراحی، ساخت و بهره برداری
ساختار	دارای ساختار	بدون ساختار	
راه حل	معلوم	نامعلوم	
گروه	فردی	گروه کوچک	گروه بزرگ
مدت	چند روز	چند هفته	چند ماه

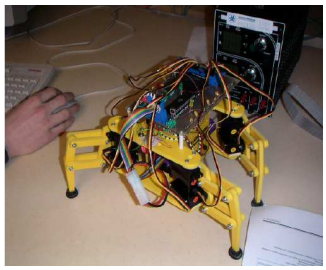
1. Design-built Experiences



- **سطح پیچیدگی ۱: ساخت هواپیمای مدل از روی کیت**
  - **فعالیت:** ساخت و بهره برداری
  - **ساختار:** دارای ساختار
  - **راه حل:** معلوم
  - **گروه:** فردی
  - **مدت:** یکی دو روز



- **سطح پیچیدگی ۲: ساخت مدلی از راکت توسط نیهای نوشابه**
  - **فعالیت:** (طراحی) ساخت و بهره برداری
  - **ساختار:** دارای ساختار
  - **راه‌حل:** معلوم
  - **گروه:** گروه کوچک
  - **مدت:** چند روز



- **سطح پیچیدگی ۳: ساخت یک روبات**
  - **فعالیت:** طراحی، ساخت و بهره برداری
  - **ساختار:** دارای ساختار
  - **راه حل:** نامعلوم
  - **گروه:** گروه کوچک
  - **مدت:** هفته‌ها/ ماه‌ها

- **سطح پیچیدگی ۴: ساخت ماشین مسابقه**
  - **فعالیت:** شناسایی، طراحی، ساخت، بهره برداری
  - **ساختار:** بدون ساختار
  - **راه حل:** نامعلوم
  - **گروه:** گروه بزرگ
  - **مدت:** چند ماه

شکل ۲: تجربه‌های مهندسی با درجات پیچیدگی مختلف [۱۱].

۷. بحث و نتیجه‌گیری

آموزش مهندسی، در دو دهۀ گذشته، برای همگامی با پیشرفتهای دنیای مدرن و تربیت مهندسانی شایسته متحول شده است. کوششهای صورت گرفته در طی این مدت برای تعیین شایستگیهای دانش‌آموختگان مهندسی به تدوین فهرستی از دستاوردها منجر شده است که دانش‌آموختگان مهندسی باید آنها را بدانند و قادر به انجام دادن آنها باشند. در دهۀ گذشته دانشگاههای پیشرو در آموزش مهندسی در حال طراحی نوعی از آموزش بوده‌اند که دانش‌آموختگان آن بتوانند به این دستاوردها دست یابند.

برنامۀ CDIO چارچوبی ابتکاری برای تربیت نسل آینده مهندسان است و آموزشی را به دانشجویان عرضه می‌کند که بر شناسایی، طراحی، ساخت و بهره‌برداری محصولات و سیستم‌های دنیای واقعی تمرکز دارد. این ابتکار به‌دنبال آموزشی است که دانش‌آموختگان آن بتوانند به دستاوردها و تواناییهای در نظر گرفته شده از سوی مراکز معتبر ارزشیابی جهانی دست یابند.

در جدول ۵ دستاوردهای در نظر گرفته شده برای آموزش دوره‌های کارشناسی مهندسی توسط شورای ارزشیابی مهندسی و فناوری آمریکا (ابت) [۴]، مرکز ارزشیابی اروپای متحد [۱۳] و پیمان واشنگتن [۱۴] با یکدیگر مقایسه شده است. همچنان‌که در جدول ۵ دیده می‌شود، تواناییهای در نظر گرفته شده برای دانش آموختگان مهندسی در سیستم‌های مختلف کم و بیش یکسان است. این تشابه بدین معناست که یک اتفاق نظر کم و بیش جهانی در خصوص آنچه دانش‌آموختگان مهندسی باید بدانند و قادر به انجام دادن آن باشند، ایجاد شده است. به دنبال این همگرایی جهانی در خصوص دستاوردهای آموزش مهندسی، نهادها و مراکز آموزش مهندسی توجه خود را به ساماندهی آموزشی معطوف کرده‌اند که قادر باشد دانش‌آموختگان را به‌این دستاوردها برساند.

جدول ۵: شایستگیهای در نظر گرفته شده برای دانش‌آموختگان مهندسی [٤، ۱۳، ١٤].

دستاوردها	آمریکا (ابت)	اروپا	پیمان واشنگتن
دانش مهندسی	√	√	√
بررسیهای مهندسی	√	√	√
طراحی مهندسی	√	√	√
کارگروهی	√	√	√
تحلیل مهندسی	√	√	√
اخلاق مهندسی	√	√	√
ارتباطات مهندسی	√	√	√
مهندسی و جامعه	√		√
یادگیری مداوم	√	√	√
آگاهی از مسائل معاصر	√		√
کار با ابزارهای مدرن	√		√
مدیریت پروژه			√

در دهۀ گذشته کوششهای زیادی برای عرضۀ روشی کارآمد به منظور دستیابی به دستاوردهای مندرج در جدول ۵ صورت گرفته است. یکی از موفق‌ترین این کوششها برنامه ابتکاری CDIO است که در این نوشته کلیات آن معرفی شد. این نگرش تازه در آموزش مهندسی به سرعت از سوی دیگر دانشگاهها در سرتاسر جهان مورد استقبال قرار گرفته است [۵]. مراکز آموزشی با توجه به این نگرش جدید و نیز با استفاده از استانداردها، سرفصلها و دستورالعمل‌های تدوین شده، برنامه‌های آموزشی مهندسی خود را برای رسیدن به دستاوردهای مورد نظر مورد بازنگری قرار می‌دهند. دوازده دستاورد این برنامه دانشگاهها را قادر می‌سازد تا برنامه‌های آموزشی خود را برحسب اهداف آن ارزیابی کنند. این دستاوردها می‌توانند به عنوان راهنمایی برای بازنگری و اصلاحات آموزشی برنامه‌ها به‌کار گرفته شوند. دستاوردها همچنین، معیار و اهدافی را برای ارزیابی درونی برنامه‌ها ارائه می‌کنند. سرفصلهای پیشنهادی اساس این نگاه تازه به‌شمار می‌رود و هدفهایی منطقی، کامل، جهانی و عام را برای آموزش مهندسی عرضه می‌کند. سرفصلها بر مهارتهای فردی، جمعی و طراحی و ساخت سیستم تمرکز دارند و در واقع، مکمل و گسترش دهنده ملاکهای در نظر گرفته شده توسط مراکز ارزشیابی معتبری همچون ابت هستند.

همۀ مراکز آموزش‌عالی عرضه‌کننده آموزش مهندسی می‌توانند به ارائه دهندگان این برنامه بپیوندند و در گردهماییهای آنان شرکت کنند. دانشگاههایی که این ابتکار را بپذیرند، به عنوان همکاران منطقه‌ای شناخته می‌شوند و می‌توانند در گردهماییهای مناطق شرکت کنند. پذیرش این برنامه بار مالی ندارد و تمام اسناد و مدارک در اختیار عموم قرار می‌گیرد و دانشگاهها تشویق می‌شوند تا از این منابع به‌صورتی متناسب با شرایط خود استفاده کنند. این برنامه را شورایی متشکل از مؤسسان آن (دانشگاه ام‌ای‌تی آمریکا و چالمرز سوئد) و همراهان اولیه آن (دانشگاه فنی دانمارک، دانشگاه کوئینز ایرلند، دانشگاه کوئینز کانادا، دانشگاه پرتوریای آفریقای جنوبی و آکادمی دریایی آمریکا) اداره می‌کنند[۵ و ۸].

پس از آنکه یک دانشگاه تمایل خود را برای اجرای این برنامه اعلام کرد، مدارک لازم در اختیارش قرار داده می‌شود. دانشگاههایی که مایل به استفاده از این برنامه هستند باید پرسشنامه‌ای را که به این منظور تهیه شده است، تکمیل کنند. این پرسشنامه به دنبال اطلاعات زیر است: طرح مؤسسه آموزشی برای اجرای این برنامه چیست، کدام برنامه‌های آموزشی برای این منظور در نظر گرفته شده‌اند و چه منابعی برای این کار اختصاص می‌یابد؟ پس از اینکه مراتب مورد قبول واقع شد، دانشگاه به عنوان یک همکار منطقه‌ای شناخته می‌شود.

حال که ارزشیابی برنامه‌های آموزش مهندسی کشور، برای اطمینان از کسب دستاوردهای مورد نظر، توسط دانش‌آموختگان آنها مورد توجه قرار گرفته است [۱۵، ۱۶و ۱۷]، مراکز آموزشی باید با

بازنگری محتوای برنامه‌های آموزشی و روش ارائهٔ آنها خود را برای همسویی با این روند نوین در آموزش مهندسی هرچه بیشتر آماده کنند[۱۸].

مراجع

1. UNESCO Website, http://www.unesco.org/delors/fourpil.htm (accessed January 2011).

2. National Academy of Engineering, The Engineer of 2020, Vision of Engineering in the New Century, 118 P., 2004. Available at: http://www.nae.edu

3. The Boeing Company, "Desired Attributes of an Engineer, 1996. Available at http://www.boeing.com/companyoffices/pwu/attributes/attributes/html.

4. Accreditation Board of Engineering and Technology, ABET, Available at: www.abet.org

5. Crawley, E. F., J. Malmqvist, S. Östlund and D. R., Brodeur, Rethinking Engineering Education: The CDIO Approach, Springer, New York, 2007.

6. Crawley E. F., Jianzhong Cha, J. Malmqvist and D. R. Brodeur, The Context in Engineering Education. 2008, 4th International Conference on CDIO, Belgium. 18 pp. 2009.

7. Mackay, A. L., Dictionary of Scientific Quotations, Hilger, London, 1994.

8. CDIO Website www.cdio.org (accessed January 2011).

9. China's Looming Talent Shortage, The McKinsey Quarterly: The Online Journal of McKinsey & Co. Available at: http://www.mckinseyquarterly.com/Organization/Talent/Chinas_looming_talent_shortage_1685 _abstract

۱۰. معماریان، حسین، طراحی درس جدید "حرفه مهندسی برای دوره‌های کارشناسی مهندسی ایران"، **نشریه دانشکده فنی**، دوره ۴۳، ویژه کنفرانس آموزش مهندسی در ۱۴۰۴، صص. ۱۰۰-۸۹، ۱۳۸۸.

11. Crawley, E. F., The CDIO Syllabus: A Statement of Goals for Undergraduate Engineering Education, MIT CDIO Report #1, 2001, Available at: http://www.cdio.org

12. Hugo, R. and P. Goodhew, The CDIO Approach to Engineering Education; Designing and Integrating Design-implement., 2010, Available at: www.cdio.org (accessed January 2011)

13. European Network for Accreditation of Engineering Education (ENAEE), EUR-ACE Framework Standards. 14 pp. 2008, Available at: http://www.enaee.eu.

14. Engineering Accreditation, Available at: http://www.accreditation.org/ (accessed Feb 2010).

۱۵. معماریان، حسین، "نهضت جهانی ارزشیابی آموزش مهندسی"، **فصلنامه آموزش مهندسی ایران**، سال سیزدهم، شماره ۵۰، صص. ۳۰ ـ ۱، تابستان ۱۳۹۰.

۱۶. معماریان، حسین، "فرایند ارزشیابی برنامه های آموزش مهندسی ایران"، **فصلنامه آموزش مهندسی ایران**، سال سیزدهم، شماره ۵۰، صص. ۶۱– ۳۳، تابستان ۱۳۹۰.

۱۷. معماریان، حسین، "سازوکار ارزیابی درونی برنامه‌های آموزش مهندسی ایران"، **فصلنامه آموزش مهندسی ایران**، سال سیزدهم، شماره ۵۱، پاییز ۱۳۹۰.

۱۸. معماریان، حسین، "کاستیهای برنامه‌های آموزش مهندسی ایران"، **فصلنامه آموزش مهندسی ایران**، سال سیزدهم، شماره ۵۱، پاییز ۱۳۹۰.