



اولین کنفرانس بین المللی و چهارمین کنفرانس ملی آموزش مهندسی
دانشگاه شیراز، ۱۹ تا ۲۱ آبان ۱۳۹۴

ارتقای جایگاه طراحی در آموزش مهندسی ایران

دکتر حسین معماریان

استاد دانشکده فنی دانشگاه تهران

memarian@ut.ac.ir

چکیده

طراحی، اوج فعالیت‌های مهندسی است. مهندسان، با به‌کارگیری قوه تخیل و مهارت‌های حرفه‌ای خود، نقش موثری در طراحی و شکل‌گیری دنیای کنونی ما داشته‌اند. در شرایطی که آموزش مهندسی، در سال‌هایی که از هزاره سوم می‌گذرد، تاکید بر طراحی را بیش از پیش افزایش داده است، نیاز به ارتقاء جایگاه تفکر خلاق و طراحی مهندسی در آموزش عالی کشور، به شدت احساس می‌شود. دستیابی به این هدف می‌تواند به صورت‌های مختلف، از جمله با اختصاص درس مستقل طراحی مهندسی، در سال‌های پایانی دوره کارشناسی؛ یا هدایت هرچه بیشتر پروژه‌های کارشناسی مهندسی به سمت فعالیت‌های تیمی و دارای محتوای طراحی، محقق شود. آشنایی با قلمرو و تعریف طراحی مهندسی، فرایند طراحی مهندسی، روش‌ها و ابزارهای طراحی مهندسی، و مدیریت آن از جمله مواردی است که باید در یک درس طراحی پایه مورد توجه قرار گیرند. در این مقاله، به دنبال تشریح جایگاه طراحی در دوره‌های کارشناسی مهندسی کشورهای پیشرفته، ساختار و رئوس مطالب یک درس طراحی مهندسی پایه، که بیشتر به طراحی مفهومی می‌پردازد، به همراه سازوکار تدریس آن، پیشنهاد شده است.

کلید واژه‌ها: آموزش مهندسی، طراحی مهندسی، طراحی مفهومی، پروژه کارشناسی، ایران

طراحان این سازه‌های پیچیده هیچ نقشه یا نوشته‌ای، که معرف نحوه تفکر آنها در مورد طراحی باشد، برجای نگذارده‌اند [۲].

با گذشت زمان، طراحان به تدریج از افرادی که در حین ساخت یک وسیله آنرا طراحی می‌کردند، به گروهی تکامل یافتند که مصنوعات عظیمی را طراحی کردند که ساخت آنها توسط افراد دیگری انجام می‌شده است. امروزه مهندسان طراح معمولاً شخصاً محصول طراحی شده را تولید نمی‌کنند، بلکه مشخصات ساخت و تولید محصول را به دست می‌دهند. به این ترتیب است که در مهندسی «طراحی» از «ساخت» تفکیک شده است. مشخصات محصول به‌طور سنتی به صورت مجموعه‌ای از طرح‌ها، ترسیمات و نوشته‌ها عرضه می‌شوند. کامل و مشخص بودن را می‌توان با موارد فوق به دست آورد ولی با این روش‌ها ممکن است نتوان قصد و منظور طراح را منتقل کرد. و این چیز است که اگر از آن غافل شویم می‌تواند مشکل آفرین شود. در صورتی که طراح و

۱. مقدمه

بشر از گذشته‌های دور طراحی می‌کرده است [۱]. هیچ اطلاعی در دست نیست که طراحان اولیه چگونه در باره طراحی خود می‌اندیشیده‌اند ولی مطمئن هستیم که آنها نیز در باره آنچه می‌ساخته‌اند فکر کرده، کاستی‌ها و نواقص آنها را در حین کاربرد تشخیص داده و با توجه به آنها، نمونه‌های بهتری می‌ساخته‌اند. تنها چیزی که با اطمینان می‌توان گفت اینست که طراحی‌های اولیه بیشتر بر سعی و خطا متکی بوده است. البته آثاری نیز وجود دارند که باید به دقت طراحی شده باشند. از آن جمله است اهرام ثلاثه مصر، دیوار چین یا بنای تخت جمشید. متأسفانه

کار به طور معمول برای تعیین بهترین روش برای ساخت یک وسیله، فرایند یا سیستم، انجام می‌شود. طراحی مهندسی دارای چند ویژگی است [۲ و ۴].

- با قصد خاصی انجام می‌شود. یک طراح کار خود را با در نظر گرفتن یک هدف مشخص و قابل درک، آغاز می‌کند. از اینرو، طراحی را می‌توان سفری با مقصدی خاص دانست، و نه گشت و گذاری بدون هدف.
- با توجه به «مشخصات» و «محدودیت‌ها»، شکل می‌گیرد. مشخصات، آنچه را که طراحی می‌خواهد به آن برسد تعیین کرده؛ و محدودیت‌ها قیودی مثل قیمت تمام شده و ویژگی‌های مواد مصرفی است، که طراح باید با آنها کنار بیاید.
- امری به شدت جمعی و اجتماعی است. مهندسان درگیر در طراحی اغلب به صورت تیمی کار می‌کنند و ارتباطات و تعامل آنها با یکدیگر و مصرف‌کنندگان، از اهمیتی حیاتی برخوردار است.
- فرایند طراحی امری قاعده‌مند و منظم است. مهندسان در طول زمان، به تدریج انواعی از اصول و قواعد را برای توسعه طراحی، ایجاد کرده‌اند. گرچه این قواعد مطلق نیستند، با اینحال چون حاصل سال‌ها تجربه‌اند، بدون توجه به آنها نتیجه کار غیرحرفه‌ای خواهد بود [۲].
- طراحی یک فرایند گام به گام خطی نبوده و به طور معمول حالتی چرخه‌ای و تکراری دارد. از اینرو، هر نمونه طراحی شده، برحسب آنچه تا آن مرحله آموخته شده، امتحان می‌شود و اصلاح می‌گردد.
- برای یک چالش طراحی، هرگز تنها یک راه‌حل صحیح و منحصر به فرد وجود نداشته، و به جای آن چندین پاسخ محتمل متصور است، انتخاب از میان آنها بدون شک محتاج در نظر گرفتن نظرات شخصی و ملاحظات فنی است [۱].

طراحی مهندسی اغلب با پژوهش یا «روش علمی»، که نگرش اصلی برای حل مسئله در علوم است، مقایسه می‌شود. البته این دو نگرش از جهاتی مشابه هم بوده و از جهاتی نیز با هم تفاوت دارند [۴ و ۵]. واضح‌ترین تشابه این دو اینست که هم طراحی مهندسی و هم پژوهش علمی فرایندهایی استدلالی برای حل مسئله، یا به‌زبانی

سازنده ارتباط نزدیکی با هم داشته باشند سازنده خواهد توانست از قصد طراح آگاه شده و در صورتی که اجرا به‌مشکلی بر بخورد تعدیل لازم را در طراحی به‌عمل خواهد آورد.

مسایل طراحی مهندسی به‌طور معمول مشکل هستند. علت این امر اینست که این مسایل معمولاً دارای ساختار معیوب و با انتها باز هستند. مسایل طراحی «ساختار معیوب» دارند، زیرا راه‌حل‌های آنها را نمی‌توان به‌گونه‌ای سامان یافته، توسط روش‌ها یا الگوریتم‌های ریاضی، به‌دست آورد. مسایل مهندسی همچنین دارای «انتهای باز» هستند زیرا تنها یک جواب نداشته و می‌توانند دارای جواب‌های قابل قبول متعدد باشند [۱ و ۲]. برای بررسی فعالیت‌های دارای ساختار معیوب و کمک به‌تصمیم‌گیری و انتخاب بهینه از میان گزینه‌های محتمل، مهندسان «فرایند طراحی» را سامان داده و روش‌ها و ابزارهایی را برای انجام بایسته آن، به‌کار می‌برند. باید توجه داشت که طراحی، برای کسی که می‌خواهد نحوه انجام آنرا یاد بگیرد، به‌سهولت قابل دسترسی نیست. طراحی کردن چیزی شبیه راندن دوچرخه، مهارت در بازی فوتبال، کشیدن نقاشی یا نواختن یک آلت موسیقی است. در چنین مواردی شاید سهل‌تر این باشد که به‌فرد علاقمند گفته شود: «بین من چه می‌کنم، بعد سعی کن خودت همان را تکرار کنی» [۱].

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در برنامه‌های آموزش کارشناسی مهندسی کشور آموزش طراحی جایگاه برجسته‌ای ندارد [۳]. برای رفع این کاستی و هماهنگ نمودن آموزش مهندسی در کشور با آنچه در کشورهای پیشرفته رایج است باید تمهیدات مناسب را در نظر گرفت. در این مقاله ابتدا رئوس مطالبی که در یک درس نمونه‌وار طراحی مهندسی باید آموزش داده شود، از جمله تعیین قلمرو طراحی مهندسی، تعریف طراحی مهندسی، فرایند طراحی مهندسی، و روش‌ها و ابزارهای کمکی برای انجام طراحی مهندسی، مرور شده است. در ادامه این مقاله، همچنین پیشنهادی برای بازنگری پروژه کارشناسی مهندسی کشور، به گونه‌ای که تمرکز اصلی آن بر طراحی مهندسی باشد، عرضه شده است.

۱. قلمرو طراحی مهندسی

علوم، ریاضیات و مهندسی هر یک دارای قلمروهای ویژه‌ای از دانش‌ها، مهارت‌ها و روش‌ها، برای نگاه کردن به جهان هستند. شاید بتوان طراحی را مهم‌ترین این قلمروها برای مهندسی دانست. «طراحی مهندسی» نگرشی است که مهندسان برای حل مسایل مهندسی به‌کار می‌گیرند. این

روش‌هایی برای پل زدن بین مسئله و راه حل آن هستند. مهم‌ترین ویژگی‌های این دو روش را به نحو زیر می‌توان خلاصه کرد:

- **روش علمی:** نیاز به شواهد دارد، ترکیبی از منطق و تخیل است، سعی بر شناسایی دارد، شرح داده و پیش‌بینی می‌کند، از پیش‌داوری اجتناب می‌کند، وابسته به یک نفر نیست.
- **طراحی مهندسی:** دارای هدف خاصی است، مبتنی بر نیازهای مشخص است، قاعده‌مند و سیستماتیک است، تکراری است، خلاقانه است، راه حل‌های متعدد را جایز می‌شمرد.

در جستجو برای راه‌حل‌ها، مهندسان و عالمان از ابزارهای شناختی مشابهی، مثل بارش ذهن، استدلال توسط قیاس، مدل‌های فکری و نمایش بصری، استفاده می‌کنند. علاوه بر آن، هر دو این گروه‌ها نیاز به آزمودن و ارزیابی محصولات خود، یعنی طراحی مهندسی و فرضیات علمی، دارند [۴ و ۶].

ذینفعان طراحی

سه گروه که نقش اصلی را در طراحی ایفا می‌کنند عبارتند از: کارفرما، طراح و مصرف‌کننده. «کارفرما» فرد یا شرکتی است که مایل است طراحی صورت گیرد. برای یک مهندسی شاغل، کارفرما می‌تواند درونی (از درون شرکتی که در آن کار می‌کند) و یا بیرونی (مثلاً دولت) باشد. کارفرما پیشنهاد خود را اغلب شفاهی و گاه بسیار خلاصه، اعلام می‌کند. این امر باعث می‌شود که اولین گام «طراح» مشخص کردن آن چیزی باشد که کارفرما واقعا می‌خواهد و سپس بازسازی آن به‌گونه‌ایست که برای خود وی، به‌عنوان طراح، قابل استفاده باشد. طرف ذینفع دیگر طراحی «مصرف‌کننده» است که متشکل از فرد یا افرادی هستند که در عمل محصول طراحی شده را به‌کار خواهند گرفت. مصرف‌کننده نقش موثری در فرایند طراحی دارد، زیرا یک طراحی، که نیازهای مصرف‌کننده را برآورده ننماید، بازار مناسبی نخواهد داشت. به‌این ترتیب طراح، کارفرما و مصرف‌کننده مثلثی را می‌سازند که باید با یکدیگر در تعامل باشند. طراح نیاز دارد که بداند کارفرما چه می‌خواهد، کارفرما نیز نیاز دارد بداند که نیازهای مصرف‌کننده و بازار چیست تا بتواند آنرا به‌طراح منتقل کند [۲].

مهندسان طراح در محیط‌های مختلفی کار می‌کنند. از اینرو، بسیار مشکل است که در باره محیطی خاص برای طراحی صحبت کرد؛ زیرا محل طراحی می‌تواند شرکتی بزرگ یا کوچک، دولتی یا خصوصی، مشاوره یا پیمانکاری، و مانند آن باشد. جدا از تفاوت دستمزد در محل‌های مختلف، این تفاوت می‌تواند در اندازه پروژه، تعداد اعضای تیم طراحی، و میزان دسترسی مهندس طراح به اطلاعات مرتبط با نیازهای مصرف‌کننده باشد. در پروژه‌های بزرگ، اعضای تیم طراحی، اغلب بروی بخش خاصی از پروژه کار می‌کنند؛ و ممکن است تصور کاملی از کل پروژه نداشته باشند

در پروژه‌های بزرگ و پیچیده، اغلب تفسیرهای متفاوتی از پیشنهاد کارفرما و نیازهای مصرف‌کننده، توسط طراح صورت می‌گیرد. از اینروست که مهندسان طراح باید کوشش کنند که به‌درستی از قصد کارفرما در ارایه «پیشنهاد طراحی»، آگاه شوند. در مواردی ممکن است علایق سه طرف درگیر در فرایند طراحی، با یکدیگر متفاوت باشد. نتیجه چنین واگرایی‌هایی ممکن است شکست مالی ناشی از نرسیدن به‌نیازهای مصرف‌کننده را به‌دنبال داشته باشد. بسیار اتفاق افتاده است که نرسیدن به‌نیازهای واقعی مصرف‌کننده، باعث بازنگری یک طراحی به‌ظاهر موفق شده است.

وجه دیگر انجام یک طراحی مهندسی، که هم در مورد پروژه‌ها و شرکت‌های بزرگ و هم کوچک صادق است، کار در گروه و «تیم» برای انجام طراحی است. بسیاری از مسایل مهندسی، طبیعی بین رشته‌ای دارند. از اینرو، طراح علاوه بر کسب شناخت از نیازهای کارفرما و مصرف‌کننده، نیاز به شناخت فناوری‌ها، در محیط‌های کاری کاملاً متفاوت دارد. این مسئله محتاج تشکیل تیمی است که بتواند پاسخگوی نیاز محیط‌های کاری متفاوت باشد.

تعریف طراحی

تعاریف متعددی برای طراحی مهندسی عرضه شده است. برطبق یکی از این تعاریفها «طراحی مهندسی» عبارت از: "توسعه و آزمودن اصولی و متفکرانه مشخصات یک محصول جدید است که شکل خاصی داشته یا عملکردی خاص را نشان دهد و بدون تخطی از محدودیت‌های مشخص شده، هدف‌های ما را برآورده نماید" [۱]. برای درک بهتر این تعریف بهتر است چند واژه موجود در آنرا، به‌طور فشرده مرور می‌نماییم.

پیشنهاد طراحی توسط کارفرما آغاز شده و با مستند سازی طراحی نهایی، برای عرضه به کارفرما و بخش تولید، پایان می‌گیرد [۲].

- «**تعریف مسئله**»: بخش آغازین هر پروژه طراحی، روشن نمودن قصد کارفرما از پیشنهاد طراحی و نیازهای مصرف کننده است. مهم‌ترین فعالیت‌های این مرحله مشخص کردن هدف‌های کارفرما، تعیین نیازهای مصرف کننده، شناسایی محدودیت‌های طراحی و تعیین عملکردهای آن است.
- «**طراحی مفهومی**»^۱: این مرحله به دنبال پاسخ به این سوال است که آیا راه حل امکان‌پذیری وجود دارد؟ از اینروست که طراحی مفهومی را گاه «مطالعات امکان‌سنجی»^۲ نیز می‌نامند. در این مرحله به دنبال گزینه‌ها یا طرح‌های مختلفی هستیم که با استفاده از آنها می‌توان به اهداف کارفرما دست یافت.
- «**طراحی مقدماتی**»: هدف این مرحله پاسخ به این پرسش است که اجزای اصلی طراحی چه هستند؟ در این مرحله طرح‌ها یا گزینه‌های پیشنهادی بررسی و گزینه‌های برتر تعیین می‌شوند و مهم‌ترین مشخصاتشان معین می‌گردد.
- «**طراحی تفصیلی**»: هدف این مرحله پاسخ به این پرسش است که آیا چیزی فراموش نشده است؟ در این مرحله، گزینه‌هایی را که در مرحله قبل تهیه دیده بودیم، بهبود بخشیده و آنها را با جزئیات بیشتری در مورد نوع و ابعاد اجزایشان، بیان می‌کنیم. این مرحله اغلب با تهیه نمونه اولیه یا مدلی از طرح، پایان می‌پذیرد.
- **ارتباط طراحی**: مرحله انتهایی که در آن مستند سازی و عرضه طراحی نهایی و مشخصات ساخت آن، صورت می‌گیرد.

فرایند فوق حالتی خطی و ترتیبی دارد؛ این در حالیست که در طی فرایند طراحی گروهی از فعالیت‌ها و کارها، به دفعات تکرار می‌شوند. جوهر اصلی فرایند طراحی در اساس حاصل تکرار چرخه تولید گزینه‌ها، تحلیل آنها و تصمیم‌گیری در مورد گزینه برتر است [۷ و ۸].

- «مشخصات» توصیف دقیق ویژگی‌های محصول طراحی شده است. مشخصات مجموعه‌ای از ارزش‌هاست که طراحی می‌خواهد به آن برسد.
- «محصول» اشیای ساخته بشر، یا چیزها و وسایلی است که طراحی می‌کنیم. محصولات یا مصنوعات طراحی شده متنوع‌اند. باید توجه داشت که مقالات و کتاب‌ها، نقشه‌ها، نرم‌افزارها و حتی فایل‌های رایانه‌ای را نیز می‌توان جزو محصولات طراحی شده به حساب آورد.
- «شکل» یا فرم یا پیکر بندی، به ساختار هندسی و وضعیت ظاهری محصول اطلاق می‌شود.
- «عملکرد» آن چیزهایی است که محصول قرار است انجام دهد.
- «محدودیت» شرایط، عامل یا نیرویی است که باعث ایجاد یک تنگنا یا قید در کار طراحی می‌شود.
- «هدف» چیزی است که کوشش‌ها به سمت دستیابی به آن معطوف می‌شود.

۲. فرایند طراحی مهندسی

مهندسان، بسته به نوع کارشان، تنوع گسترده‌ای از مصنوعات، فرایندها و یا سیستم‌ها را طراحی می‌کنند. طبیعت فعالیت‌های یک مهندس برق با یک مهندس مکانیک، یا مهندس ساختمان یا معدن متفاوت است. سوالی که می‌تواند در اینجا طرح شود اینست که آیا عناصر مشترکی در شرایط یا روش‌هایی که مهندسان به کار می‌گیرند، وجود دارد؟

در حقیقت وجوه مشترکی، هم در شرایط و هم در روش‌های مورد استفاده مهندسان، وجود دارد. چنین تشابه‌هایی است که این امکان را به وجود می‌آورد که فرایند طراحی و قالبی را که در آن به وقوع می‌پیوندد، توصیف کنیم [۱]. هم‌چنان‌که تعاریف متعددی برای طراحی وجود، مدل‌های متنوعی نیز برای فرایند طراحی پیشنهاد شده است. برخی از این مدل‌ها توصیفی بوده یعنی سعی در توصیف عناصر و اجزاء فرایند طراحی دارند؛ در حالی که گروهی دیگر تجویزی بوده، یعنی آنچه را که باید در طول فرایند طراحی انجام شود، تجویز می‌کنند. در یکی از این مدل‌ها، فرایند طراحی از ۵ مرحله تشکیل یافته است. این مدل با

^۲ feasibility studies

^۱ conceptual design

روش‌ها

توصیف فرایند طراحی، به گونه‌ای که پیشتر آمد، به‌تنهایی نمی‌تواند کارساز باشد، زیرا نشان نمی‌دهد که چگونه می‌توانیم فرایند طراحی را مرحله به مرحله به پیش ببریم و یک طراحی مناسب را به‌دست‌دهیم. دانشجویان مهندسی باید با مهمترین روش‌های رایج طراحی و همچنین ابزارهای کسب اطلاعات مرتبط با طراحی آشنایی داشته باشند. در جدول ۲ برخی از روش‌های مورد استفاده جهت پیشبرد فرایند طراحی فراهم آمده است. این روش‌ها برای شناسایی و ساماندهی هدف‌ها، تعیین عملکردهای طراحی، انتخاب گزینه برتر و بالابردن کیفیت محصول طراحی شده، به‌کارگرفته می‌شوند.

جدول ۱. روش‌های مورد استفاده در فرایند طراحی [۱ و ۲].

- **درخت هدف‌ها:** روشی برای روشن نمودن و درک بهتر پیشنهاد پروژه، که توسط کارفرما عرضه شده است. درخت‌هدف‌ها در عمل یک فهرست سلسله مراتبی است که مانند درخت شاخه شاخه است و در آن هدف‌هایی که طراحی باید به آن برسد، به‌صورت زیر هدف‌هایی، که با توجه به جزئیاتشان مرتب شده‌اند، فراهم آمده‌اند.
- **نمودار مقایسه زوجی:** روشی برای منظم کردن هدف‌ها بر مبنای اهمیت‌شان، در مراحل اولیه فرایند طراحی است. این نمودار هم چنین برای انتخاب گزینه‌های برتر، از بین صفات و نیازها، مفید واقع می‌شود.
- **تحلیل عملکردی:** روشی برای تعیین آنچه‌ی است که باید در طراحی انجام شود. در تحلیل عملکردی به‌طور معمول عملکرد یا عملکردهای کلی را به‌زیر عملکردهایی تقسیم می‌کنیم.
- **روش مشخصات کارکردی:** روشی کمکی برای افزایش دقت مشخصات طراحی است، که طراح به‌دنبال آن است. این روش چگونگی اندازه‌گیری و تایید کارکرد عملکردها را به‌زبان مهندسی، بیان می‌کند.
- **نمودار ریخت‌شناسی:** یا ریخت نمودار، برای شناسایی روش‌ها یا ابزارهایی به‌کار می‌رود که با استفاده از آنها عملکردهای موردنظر می‌توانند به‌وقوع بپیوندند. یک نمودار ریخت شناسی چارچوبی برای تجسم فضای طراحی است.
- **گسترش کیفیت عملکرد یا QFD:** روشی پیشرفته، که از روش مشخصات کارکرد نتیجه گرفته شده و هدف آن دستیابی به‌محصولی با کیفیت بالاتر است. روش گسترش کیفیت عملکرد، که امروزه به‌طور گسترده‌ای در ساخت محصولات به‌کارگرفته می‌شود، نیازهای

«تولید»، عبارت از پیشنهاد ایده‌ها یا روش‌هایی برای حل مسئله، یا به‌زبانی پیشنهاد گزینه‌های مختلف طراحی است. ارایه گزینه‌های طراحی در واقع تعبیر دیگری برای الهام خلاقانه است که محتاج تفکر و اگراست [۹].

«تحلیل»، محاسبه نتیجه مورد انتظار از هر ایده یا روش؛ یا کاربرد ریاضیات یا منطق برای آگاهی از این است که: آیا طراحی به‌درستی عمل خواهد کرد؟ تحلیل، به‌دلیل کوشش برای یافتن جواب واحد برای چندین مسئله، محتاج تفکر همگراست.

«تصمیم»، به‌انتخاب گزینه برتر منجر می‌شود. در طراحی مهندسی، تصمیم‌گیری و انتخاب همواره به‌سادگی امکانپذیر نیست. راحت‌ترین روش تصمیم‌گیری زمانی است که پیامد و نتیجه هر تصمیم را بتوان از پیش تعیین کرد. در مواردی که شاخص معین نباشد، باید آن را برآورد نمود.

تجربه نشان داده است که در هر پروژه طراحی، چرخه تولید ایده‌ها، تحلیل آنها و تصمیم‌گیری در مورد گزینه برتر، به‌دفعات تکرار می‌شود. طراحی، با هر چرخه تکرار، کامل‌تر و دقیق‌تر می‌شود [۷]. سه چرخه یا حلقه تکرار عمده طراحی عبارتند از: طراحی مفهومی (مطالعات امکان سنجی)، طراحی مقدماتی و طراحی تفصیلی. هر حلقه تکرار ممکن است نیاز به‌کسب اطلاعات بیشتر، رایانه پیشنهاد خلاقانه، و تحلیل آنها داشته باشد؛ که می‌تواند شامل مطالعات نظری، شبیه‌سازی رایانه‌ای و آزمون‌های آزمایشگاهی یا میدانی باشد [۸].

۳. روش‌ها و ابزارهای طراحی مهندسی

برای پیشبرد مراحل اولیه طراحی، به‌ویژه طراحی مفهومی نمی‌توانیم از الگوریتم‌ها و روش‌های ریاضی استفاده کنیم. خوشبختانه، روش‌ها و ابزارهای جایگزین متعددی پیشنهاد شده، که به‌کمک آنها می‌توانیم فرایند طراحی را به‌پیش ببریم. متبحر شدن در طراحی بیش از همه وابسته به‌تمرین و انجام دادن آن است. برخی از روش‌ها را می‌توان توسط تمرین و همچنین مشاهده انجام آنها توسط دیگران، فرا گرفت [۱ و ۲].

کارفرما و مصرف کننده و مشخصات مهندسی محصول را در یک جدول سامان می‌دهد.

ابزارها

به‌کارگیری روش‌های مندرج در جدول ۱ نیاز به‌دامنه گسترده‌ای از اطلاعات دارد که باید به‌صورت‌های مختلفی گردآوری شوند. ابزارهایی را که توسط آنها اطلاعات مورد نیاز برای استفاده در روش‌های طراحی، تولید و تحلیل می‌شوند، می‌توان به‌سه دسته ابزارهای کسب اطلاعات، ابزارهای تحلیل اطلاعات و ابزارهای کسب بازخورد تقسیم کرد (جدول ۱ و ۲).

جدول ۲. ابزارهای کسب، تحلیل و دریافت بازخورد اطلاعات طراحی [۱ و ۲].

الف) ابزارهای گردآوری اطلاعات طراحی

- **مرور منابع:** روش مرسوم برای گردآوری اطلاعات در مورد کارهایی است که در یک زمینه خاص انجام شده است.
- **نظرخواهی از مصرف کننده‌ها:** این ابزار برای بررسی بازار صورت گرفته و به‌درک مصرف کننده از فضای مسئله و پاسخ‌های وی به راه‌حل‌های محتمل برای آن، وابسته است.
- **گروه‌های تمرکز:** ابزاری نسبتاً پرهزینه برای کسب پاسخ گروهی از مصرف کنندگان منتخب به‌طراحی‌های بالقوه است.
- **مصاحبه غیررسمی:** معمولاً در مراحل اولیه یک پروژه طراحی، یعنی زمانی که تیم هنوز در حال تعریف مسئله، برای برنامه‌ریزی جهت انتخاب یک روش است، به‌کار گرفته می‌شود.
- **مصاحبه ساختاردار:** ابزاری دیگر برای کسب اطلاعات است، که ترکیبی از یک پرسشنامه نظرخواهی و یک مصاحبه غیر رسمی را در خود دارد.
- **بارش ذهن:** یا توفان ذهن، به‌اعضای تیم اجازه می‌دهد تا همه ایده‌های خود را طرح نموده و پیش از آنکه قضاوتی در مورد آنها صورت بگیرد، ثبت نمایند.
- **محک زدن محصولات رقیب:** بررسی عملکردهای محصول مشابه در بازار یا مهندسی معکوس آن، برای آگاهی از عملکردهایش.

ب) ابزارهای تحلیل اطلاعات طراحی

- **تعریف سنجه‌ها:** یک قدم اولیه و مهم در تعیین اینکه گزینه‌های طراحی کار خواهند کرد یا نه، تعریف سنجه‌ها یا مقیاس‌هایی است که دستاوردهای طراحی برحسب آنها اندازه‌گیری و سنجیده می‌شوند.
- **آزمونهای آزمایشگاهی:** ارزیابی راه‌حل‌های بالقوه طراحی با انجام آزمون‌های آزمایشگاهی.
- **تهیه نمونه اولیه:** ابزاری مهم برای تعیین اینکه آیا طراحی صورت گرفته، عملکردهای مورد نظر را خواهد داشت یا نه.
- **آزمون تایید طرح:** مرحله‌ای حیاتی در فاصله بین طراحی مفهومی تا طراحی تفصیلی است. چنین آزمونی مستلزم تهیه ابزاری برای تعیین این است که طرح در دست بررسی به‌نحو قابل قبولی خواهد توانست مشخصات مورد نظر طراحی را برآورده نماید یا نه.
- **شبیه‌سازی:** در مواردی که به‌دلایلی، چون هزینه بالا، اندازه بزرگ یا خطرات زیاد، نمی‌توانیم نمونه اولیه را بسازیم و مورد آزمایش قرار دهیم، به‌شبیه‌سازی متصل می‌شویم و یک مدل تحلیلی، رایانه‌ای یا فیزیکی را، برای شبیه‌سازی کارکرد طراحی موردنظر، تحت مجموعه‌ای از شرایط معین، تهیه می‌کنیم.
- **تحلیل رایانه‌ای:** این ابزار ارتباط نزدیکی با شبیه‌سازی داشته و مستلزم توسعه مدل رایانه‌ای است که ممکن است شامل روابطی برای توصیف طراحی و کاربرد انواع تکنیک‌های تحلیلی مناسب باشد.

ج) ابزارهای کسب بازخورد از طراحی

- **جلسه برنامه ریزی شده:** در این جلسات پیشرفت پروژه طراحی، از جمله انجام مراحل مختلف فرایند طراحی، دنبال شده و مورد بحث و نقد قرار می‌گیرد.
- **مرور رسمی طراحی:** که در آن طراحی موجود به‌کارفرما، مصرف کنندگان منتخب و یا دیگر طرف‌های ذینفع، ارائه می‌شود.
- **جلسه عمومی:** این فرایند بیشتر در مورد پروژه‌های بزرگ، یا آنها که می‌توانند پیامدهای اجتماعی یا زیست محیطی داشته باشند، اعمال می‌گردد.
- **گروه‌های تمرکز:** استفاده از این گروه‌ها در مراحل انتهایی، که طراحی به‌بازار مصرف نزدیک می‌شود، و نیز برای ارزیابی واکنش مصرف کنندگان، مناسب می‌باشد.
- **آزمون بتا:** در برخی صنایع، به‌ویژه در طراحی نرم افزار، نمونه کاملاً تکمیل نشده یک محصول برای آگاهی از لغزش‌های طراحی یا تولید آن، جهت استفاده در اختیار گروه محدودی از کاربران قرار می‌گیرد.

سازمانی است. رهبری با نفوذ، اهمیت زیادی در محیط طراحی دارد.

- «کنترل» عبارت از فرایند نظارت و تنظیم پیشرفت سازمان به سمت اهداف آن است. اطمینان از اینکه کارکرد واقعی، منطبق با اهداف و استانداردهای مورد نظر است.

«مدیریت پروژه طراحی» کاربرد چهار عملکرد مدیریتی فوق برای دستیابی به اهداف پروژه است. «پروژه» نیز فعالیتی است که تنها یکبار انجام می‌شود و به یک نتیجه مشخص، ختم می‌شود. پروژه‌های مهندسی دامنه‌ای گسترده دارند. برای کمک به مدیران، برای پیشبرد چهار عملکرد برنامه ریزی، ساماندهی، راهبری و کنترل، ابزارها و تکنیک‌های چندی توسعه یافته است. از آنجمله است ابزارهایی برای شناختن و فهرست نمودن کارهایی که باید انجام شود، زمان‌بندی منطقی آنها و تخصیص کارها به افراد تیم و نظارت بر پیشرفت آن [۱ و ۲].

۵. جایگاه طراحی در آموزش مهندسی

در واپسین سال‌های سده گذشته گزارش‌های متعددی از سوی شرکت‌های صنعتی بزرگ کشورهای پیشرفته منتشر شد، که ضمن اظهار ناخوردگی از وضع موجود آموزش مهندسی، اغلب به این نتیجه می‌رسیدند که در شرایط کنونی هدف‌های دانشگاه و صنعت از هم فاصله گرفته‌اند. یکی از راهکارهایی که مراکز آموزش مهندسی پیشرو برای مقابله با این مسئله در نظر گرفتند تاکید بر درس طراحی پایانی بود. هدف اصلی درس طراحی پایانی نزدیک کردن دانشگاه و صنعت به یکدیگر و تربیت دانشجویانی است که به‌نحو بهتری بتوانند نیازهای صنعت را برآورده نمایند. با بازنگری این درس، کوشش شده که بخش فعالیت‌های عملی طراحی به‌برنامه درسی بازگردانده شود. اجرای پایسته این درس، توسط مراکز آموزشی و موسسات ارزشیابی مختلف؛ از جمله ABET^۴ در آمریکا، CEAB^۵ در کانادا و ENAEE^۶ اروپا، مورد تاکید قرار گرفته است [۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳]. این تجربه آموزشی همچنین توسط صنعت، اساتید و حتی دانشجویان نیز ضروری تشخیص داده شده است [۱۴، ۱۵، ۱۶].

۴. مدیریت فرایند طراحی

همچنان‌که مدل‌های مختلفی برای توصیف فرایند طراحی وجود دارد، روش‌های مختلفی نیز برای مدیریت فرایند طراحی پیشنهاد شده است. مدیریت یک پروژه تیمی طراحی دانشجویی یا صنعتی، نقش مهمی در موفقیت آن ایفا می‌کند. مدیریت یک پروژه طراحی شامل چهار مرحله تعریف پروژه، تعیین چارچوب آن، زمان‌بندی و پیگیری پروژه است [۲].

طراحی خوب چیزی نیست که به‌طور ناگهانی حاصل شود، بلکه حاصل تفکری دقیق در باره نیازها و خواسته‌های کارفرما و مصرف‌کننده‌ها و تعیین راه‌هایی برای تشخیص این نیازهاست. یک عنصر مهم در انجام طراحی خوب مدیریت پروژه است. همچنان‌که پیشتر طراحی را با تعریف واژگان و توسعه زبانی مشترک آغاز کردیم، همین امر را می‌توان در مورد مدیریت پروژه طراحی نیز به‌کار برد. بر طبق یک تعریف «مدیریت» فرایند دستیابی به اهداف سازمان، توسط درگیر شدن در چهار عملکرد عمده برنامه‌ریزی، سازماندهی، رهبری و کنترل است. تعریف فوق تاکید بر این دارد که هدف‌های سازمانی بدون برخی فرایندها قابل حصول نخواهد بود. از این دیدگاه، مدیریت چیزی مشترک با طراحی دارد. تا آنجا که، هر دو آنها دارای سمت‌گیری به‌سوی هدف بوده و می‌توان آنها را برحسب مراحل یا فرایندهایی بیان کرد. چهار عملکرد مدیریت را به‌نحوی می‌توان تعریف کرد که نشان دهد چگونه مدیریت ممکن است با طراحی مرتبط باشد.

- «برنامه‌ریزی» عبارتست از فرایند تعیین هدف‌ها و تصمیم‌گیری در مورد بهترین روش رسیدن به آنها. برنامه‌ریزی مستلزم در نظر گرفتن مأموریت سازمان و برگردان آن به هدف‌های راهبردی و تاکتیکی مناسب، برای سازمان است.
- «ساماندهی» عبارتست از فرایند تخصیص و تنظیم منابع انسانی، و غیر از آن، به‌صورتی که برنامه به‌نحو موفقیت‌آمیزی به‌اجرا درآید.
- «رهبری» عبارت از اعمال نظر مداوم و به‌کارگیری توان، برای ترغیب دیگران به‌کار، جهت رسیدن به اهداف

^۶ European Network for Accreditation of Engineering Education (ENAEE)

^۴ Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET)

^۵ Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB)

آموزشی مختلف صورت می‌گیرد. بررسی برنامه‌های مصوب آموزش کارشناسی مهندسی کشور نشان می‌دهد که در همه آنها درسی تحت نام پروژه کارشناسی منظور شده است. مرور این برنامه‌ها نشان می‌دهد که [۳ و ۱۷]:

- پروژه کارشناسی به‌طور یکنواخت در همه مراکز آموزش مهندسی ۳ واحد است که اغلب در یک نیمسال و گاه در دو نیمسال از سال چهارم عرضه می‌گردد.
- تعداد ساعات در نظر گرفته شده برای فعالیت‌های درسی متفاوت و از ۴۸ تا ۱۶۲ ساعت متغیر است.
- بسیاری برنامه‌های مصوب فاقد سرفصل مدون برای درسی پروژه کارشناسی است
- درسی‌های پروژه کارشناسی مصوب فاقد هدف بوده و در مواردی که دارای هدف است؛ سمت‌گیری مشخصی بین هدف‌های این درس در رشته‌های مختلف مشاهده نمی‌شود.
- در بیشتر موارد تاکید چندانی به رکن مهم آموزش این درس، یعنی طراحی، صورت نگرفته و تاکید پروژه‌ها در بهترین حالت بر انجام پژوهش است نه طراحی.
- در اغلب موارد سازوکار و نحوه اجرای درسی مشخص نشده، و در مواردی که ذکر شده ناقص است.
- تاکید درس بر اجرای پروژه بوده و در اغلب موارد هیچ گونه تدریس کلاسی برای آن در نظر گرفته نشده است.
- در بیشتر موارد اجرای پروژه به‌صورت فردی بوده و کارگروهی کمتر مورد توجه بوده است.
- در بیشتر موارد روشی مشخص برای ارزیابی درس و پروژه آن عرضه نشده است.
- ...

مقایسه وضعیت آموزش پروژه پایانی دوره کارشناسی در دیگر کشورها [۱۸، ۱۹ و ۲۰]، با آنچه در کشور ما رایج است، کاستی‌های نحوه اجرای این درس در کشور را نشان می‌دهد. برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود که درس پروژه کارشناسی به «پروژه طراحی» تغییر نام یافته و محتوا و نحوه اجرای آن با توجه به الگوهای رایج در جهان، تغییر نماید. تاکید اصلی درس پروژه طراحی بر توسعه توانایی‌های زیر در دانشجویان خواهد بود [۳].

- **طراحی مهندسی:** توانایی شناسایی راه حل برای مسایل مهندسی پیچیده و دارای پایان باز و هم چنین طراحی

درس طراحی پایانی معمولاً بر طراحی یک محصول (کالا، فرایند، سیستم یا برنامه)، توسط گروهی از دانشجویان، متمرکز است. گرچه ساختار درس طراحی پایانی در مراکز آموزشی مختلف تا حد زیادی با هم تفاوت دارند ولی تقریباً هدف اصلی همه آنها فراهم آوردن یک تجربه واقعی طراحی مهندسی برای دانشجویان است. از هدف‌های دیگر این درس می‌توان توسعه مهارت‌های ارتباطی و کار تیمی، بالا بردن اعتماد به نفس دانشجویان و بهبود ارتباط دانشگاه با صنعت را نام برد. در صورتی که بخواهیم طراحی مهندسی را به‌صورت درس یا درس‌هایی ارائه نماییم، باید تعریف دقیق‌تری از طراحی مهندسی را به‌دست دهیم. آنچه در ادامه آمده تعریفی است که توسط ابت برای طراحی مهندسی عرضه شده است [۱۰ و ۱۱].

«طراحی مهندسی فرایند به‌وجود آوردن یک جزء، فرایند و یا سیستم برای برطرف کردن یک نیاز است. طراحی فرایندی اغلب تکراری و محتاج تصمیمی‌گیری است که در آن علوم پایه، ریاضیات و علوم مهندسی برای تبدیل بهینه منابع، برای رسیدن به‌هدف مشخص، به‌کارگرفته می‌شوند. از عناصر اصلی طراحی می‌توان تهیه هدف‌ها و ملاک‌ها، تجزیه و تحلیل، ساخت، آزمودن و ارزیابی را نام برد. مولفه طراحی یک برنامه آموزشی باید حاوی اکثر موارد زیر باشد: توسعه خلاقیت دانشجویان، استفاده از مسایل دارای پایان باز، توسعه و به‌کارگیری تئوری و روش مدرن طراحی، ساماندهی تعریف و مشخصات مسئله طراحی، در نظر گرفتن راه‌حل‌های متعدد، ملاحظات امکان‌سنجی، فرایندهای تولید، طراحی همزمان، و توصیف دقیق سیستم. علاوه بر آن ضروری است که تنوعی از محدودیت‌های واقع بینانه در نظر گرفته شود. از آن جمله است تاثیر عوامل اقتصادی، ایمنی، قابلیت اطمینان، زیبایی‌شناسی، اخلاقی، و اجتماعی. به‌تعریف فوق می‌توان تاکید به کارگروهی برای حل مسئله و انجام طراحی را نیز اضافه کرد».

آموزش طراحی مهندسی در ایران

در چند دهه گذشته پروژه کارشناسی مهندسی در ایران به‌صورت یک درس سه واحدی و بیشتر متکی بر انجام یک پروژه عملی استوار بوده است. در برنامه‌های مصوب رشته‌های مهندسی کشور پروژه کارشناسی اغلب به‌خوبی تعریف نشده و لذا برداشت‌های متفاوتی از آن در مراکز

[4] Lewis, T. 2006. Design and inquiry: Bases for an accommodation between science and technology education in the curriculum? *Journal of Research in Science Teaching* 43(3): 255–281.

[5] International Technology Education Association (ITEA). 2000. Standards for Technological Literacy: Content for the Study of Technology. Reston, Va.: ITEA.

[۶] معماریان حسین، ۱۳۸۸. حرفه مهندسی. انتشارات دانشگاه تهران، ۵۳۴ صفحه.

[7] Asimow M. 1962. Introduction to design. Prentice Hall, New York.

[8] Andrews G.C. et al. 2006. Introduction to professional engineering in Canada. 2nd ed. Pearson Education, Toronto. 268 pp.

[۹] معماریان حسین. ۱۳۹۳. جایگاه تفکر خلاق در آموزش مهندسی ایران. فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال ۱۶، شماره ۶۱، بهار ۱۳۹۳، صفحات ۴۵-۲۷.

[10] ABET 2006. Engineering change, a study of the impact of EC 2000. Executive summary. Accreditation Board for Engineering and Technology, 30 p.

[11] ABET 2010. Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET), (accessed June 2012). www.abet.org

[12] CEAB, Canadian Engineering Accreditation Board, (http://www.engineerscanada.ca/e/pr_accreditation.cfm (accessed June 2012))

[13] ENAEE 2005. Constitution act and status. 15 pp. European Network for Accreditation of Engineering Education (<http://www.enaee.eu>).

[14] Todd, R.H, S.P. Magleby, C.D. Sorensen, B.R. Swan, and D.K. Anthony. 1995. A Survey of

وسایل، فرایندها و سیستم‌ها؛ برای برطرف کردن نیازی خاص، با توجه مناسب به محدودیت‌های ایمنی و تندرستی، اقتصادی، زیست محیطی، فرهنگی، اجتماعی و استانداردها.

• **مهارت‌های ارتباطی:** توانایی تبادل مفاهیم پیچیده مهندسی با همکلاسی‌ها و همکاران و دیگر اعضای حرفه و همچنین افراد جامعه. این توانایی‌ها عبارتند از مهارت در خواندن، نوشتن، صحبت کردن، گوش دادن و توانایی درک و نگارش گزارش‌های موثر و مستندات طراحی و ارائه پاسخ مناسب به پرسش‌ها.

• **تأثیر مهندسی بر جامعه و محیط زیست:** توانایی تحلیل وجوه اجتماعی و زیست محیطی فعالیت‌های مهندسی. این توانایی‌ها شامل اندرکنش بین مهندسی با وجوه اجتماعی، تندرستی، ایمنی، قانونی، و فرهنگی جامعه؛ عدم قطعیت در پیش‌بینی این اندرکنش‌ها؛ و طراحی پایدار با توجه به مسایل زیست محیطی است.

• با انجام تغییرات فوق، ضمن بالا رفتن توانایی‌های فنی و حرفه‌ای دانش‌آموختگان، یکی از موانع مهم ارزشیابی موفقیت‌آمیز برنامه‌های آموزش مهندسی کشور، در سطح ملی و بین‌المللی، برطرف خواهد شد. پیشنهاد بازنگری پروژه کارشناسی مهندسی ایران و جایگزینی «پروژه کارشناسی» با «پروژه طراحی»، به‌طور مشروح تدوین و به‌طور جداگانه عرضه شده است [۳]. برای تدریس مفاهیم و پیش‌نیازهای مرتبط با این درس نیز کتابی تدوین و به چاپ رسیده است [۲].

منابع:

[1] Dym C.L. Little P. 2004. Engineering Design; a project-based introduction, John Wiley and Sons, INC. 226 pp.

[۲] معماریان حسین. ۱۳۹۲. طراحی مهندسی، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۸ صفحه.

[۳] معماریان حسین ۱۳۹۲. بازنگری در پروژه‌های کارشناسی مهندسی ایران. فصلنامه آموزش مهندسی ایران، فرهنگستان علوم جمهوری اسلامی ایران، جلد ۱۵، شماره ۶۰، صفحات ۱ الی ۲۶.

[18] Crawley E. F., Malmqvist J, Östlund S, Brodeur D.R. 2007. Rethinking Engineering Education; The CDIO Approach. Springer, 258 pp.

[19] Sheppard, S. 2002. Taking Stock: A Look at Engineering Education at the End of the Twentieth Century and Beyond. Worldwide web address:

<http://www.carnegiefoundation.org/PPP/TakingStock/index.htm>

[۲۰] معماریان حسین ۱۳۹۱. نوآوری در آموزش مهندسی، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۳۹ صفحه.

Capstone Engineering Courses in North America. *Engineering Education*, (April): 165-174.

[15] Howe S., Wilbarger J. 2005. 2005 National survey of engineering capstone design course, American Society of Engineering Education (ASEE) Annual Conference and Exposition, Session 2525.

[16] McKenzie, L., Trevisan, M., Davis, D., and Beyerlein, S. 2004. Capstone Design Courses and Assessment: A National Study, *Proceedings of the 2004 ASEE Annual Conference and Exposition*, ASEE, Session 2225, 8 pp.

[۱۷] وزارت علوم تحقیقات و فناوری، برنامه های مصوب شورای عالی برنامه ریزی وزارت علوم و آموزش عالی (بازدید مرداد ۱۳۹۱)
<http://www.msrt.ir/sites/Talented/shora/DocLib/Forms/AllItems.aspx>

Increasing the role of design in engineering education of Iran

Hossein Memarian

Professor of Geo-Engineering

College of Engineering, University of Tehran

Memarian@ut.ac.ir

Abstract

Design is presumably the pinnacle of engineering endeavors. Using their creativity and professional skills, engineers have a prominent role in shaping our present world. While, the emphasis of engineering education on engineering design has increased in recent years, there still remains a strong need for promoting the role of creative thinking and engineering design in Iran's engineering education. This goal can be archived by adding a new design course to the curriculum or putting more weight on teamwork and design in the contents of the final BSc project that students need to undertake in order to graduate. Design definition and domain, engineering design process, design methods and means, and design management are among the topics that must be covered in a basic design course. This paper presents the structure, syllabus and teaching procedures of a conceptual design course proposed for undergraduate engineering programs of Iran. This course is one of the prerequisites for successful accreditation of an engineering program.

Keywords: Engineering education, engineering design, conceptual design, undergraduate engineering, Iran.



The Academy of Sciences
Islamic Republic of Iran

اولین کنفرانس بین المللی و چهارمین کنفرانس ملی آموزش مهندسی
دانشگاه شیراز، ۱۹ تا ۲۱ آبان ۱۳۹۴