

## بازنگری در پروژه‌های کارشناسی مهندسی ایران

حسین معاریان<sup>۱</sup>

**چکیده:** در چند دهه گذشته پروژه کارشناسی مهندسی در ایران به صورت یک درس سه واحدی و بیشتر متکی بر انجام دادن یک پروژه عملی بوده است. در اغلب برنامه‌های مصوب رشته‌های مهندسی کشور پروژه کارشناسی به خوبی تعریف نشده است و لذا، برداشتهای متفاوتی از آن در مراکز آموزشی مختلف صورت می‌گیرد. در آمریکای شمالی پروژه کارشناسی معمولاً بر طراحی یک محصول (کالا، فرایند، سیستم یا برنامه) توسط گروهی از دانشجویان متمرکز است. گر چه ساختار این درس در مراکز آموزشی مختلف تا حد زیادی با هم تفاوت دارد، 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 این مقاله به دنبال مرور نحوه ارائه کنونی پروژه کارشناسی مهندسی در ایران و درس طراحی پایانی در آمریکای شمالی، الگویی برای بازنگری و ارتقای کیفیت این درس در کشور ارائه شده است.

**واژه‌های کلیدی:** پروژه کارشناسی مهندسی، طراحی مهندسی، درس طراحی پایانی، کار تیمی، ایران.

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

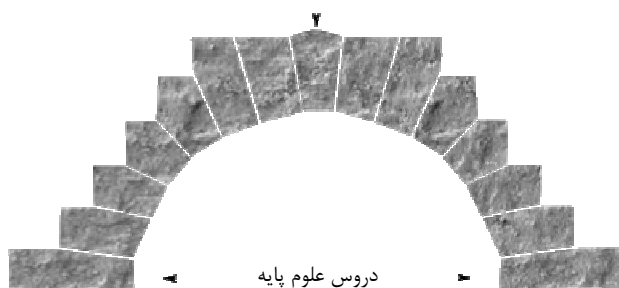
(دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۸/۱۹)

(پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۱۰/۱۵)

### ۱. مقدمه

گرچه نظام واحدی و ساختار کنونی آموزش مهندسی ایران بیشتر از روش آموزشی رایج در آمریکای شمالی الگو برداری شده است، ولی وجوهی از برنامه‌های آموزش مهندسی کشور تفاوت‌های معناداری با روشهای مشابه آمریکای شمالی دارد. برای مثال، درس پروژه کارشناسی مهندسی در آمریکای شمالی اغلب با عنوان درس طراحی پایانی<sup>۱</sup> عرضه می‌شود. عنوان انگلیسی (Capstone) که اغلب برای این درس به کار گرفته می‌شود، معرف اهمیت زیاد آن است و به معنی آخرین قطعه‌ای است که در ساخت یک طاق ضربی به کار می‌رود تا بنا را مستحکم کند و از فروریختن محفوظ دارد.

پروژه کارشناسی یا  
درس طراحی پایانی<sup>۱</sup>



درس طراحی پایانی که به صورت‌های متفاوتی در مراکز آموزش مهندسی مختلف عرضه می‌شود، دانشجویان را با مسائل دنیای واقعی مهندسی آشنا می‌کند. درس طراحی پایانی اوج فعالیت‌های آموزشی دانشجویان کارشناسی است. در مراکز آموزشی و مؤسسات ارزشیابی مختلف از جمله<sup>۲</sup> ABET در آمریکا،<sup>۳</sup> CEAB در کانادا و ENAEE در اروپا<sup>۴</sup> بر اجرای بایسته این درس تأکید شده است [۱، ۲، ۳ و ۴]. همچنین، این تجربه آموزشی را دست‌اندر کاران صنعت، استادان و حتی دانشجویان نیز ضروری تشخیص داده‌اند [۵، ۶ و ۷].

به دلیل اهمیت زیادی که درس طراحی پایانی دارد، در دهه گذشته آمارگیریها و نظرخواهیهای متعددی در خصوص محتوا و نحوه اجرای آن در کشورهای مختلف، به ویژه در آمریکای شمالی،

- 
1. Capstone Design Course or Senior Project
  2. Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET)
  3. Canadian Engineering Accreditation Board (CEAB)
  4. European Network for Accreditation of Engineering Education (ENAEE)

صورت گرفته است. از مهم‌ترین این آمارگیریها، بررسیهای صورت گرفته در فاصله یک دهه؛ یعنی سالهای ۱۹۹۵ و ۲۰۰۵ میلادی است [۵، ۶ و ۷]. مرور این آمارگیریها اطلاعات با ارزشی را در باره سازکار اجرای این درس مهم و تغییرات صورت گرفته در آن در طی یک دهه در اختیار قرار می‌دهد. نظرخواهیهای ذکر شده عمدتاً به صورت برخط انجام شده است. بدین منظور، پرسشنامه‌هایی برای کلیه مؤسساتی که برنامه‌های آموزش مهندسی فعال داشته‌اند، ارسال شده است. در جدیدترین این بررسیها، که نتایج آن در سال ۲۰۰۵ منتشر شده است [۶]، پرسشنامه نظرخواهی در باره درس طراحی پایانی برای ۳۵۰ مرکز آموزشی آمریکا ارسال شده است که ۱۷۲۴ برنامه کارشناسی رشته‌های مختلف مهندسی ارزشیابی شده این کشور را ارائه می‌کردند و بسیاری از آنها در این نظرخواهی شرکت کردند.

بررسیهایی از این دست نشان داده است که گرچه ساختار درس طراحی پایانی در مراکز آموزشی مختلف بسیار با هم تفاوت دارد، ولی تقریباً هدف اصلی همه آنها فراهم آوردن یک تجربه واقعی طراحی مهندسی است. هدفهای دیگر این درس بالا بردن تواناییهای ارتباطی و افزایش اعتماد به نفس دانشجویان و کمک به افزایش ارتباط دانشگاه با صنعت است. درس طراحی پایانی اغلب حاوی طراحی یک محصول یا فرایند خاص است که یک یا گروهی از دانشجویان آن را انجام داده‌اند [۵]. طراحی مهندسی به صورت‌های مختلفی تعریف شده است، ولی در این مقاله به مفهوم زیر به کار گرفته می‌شود [۱ و ۲]

*طراحی مهندسی فرایند به وجود آوردن یک جزء، فرایند یا سیستم برای برطرف کردن یک نیاز است. طراحی فرایندی اغلب تکراری و محتاج تصمیم‌گیری است که در آن علوم پایه، ریاضیات و علوم مهندسی برای تبدیل بهینه منابع برای رسیدن به هدف مشخص به کار گرفته می‌شوند. از عناصر اصلی طراحی می‌توان تهیه هدفها و ملاکها، تجزیه و تحلیل، ساخت، آزمودن و ارزیابی را نام برد. مؤلفه طراحی یک برنامه آموزشی باید حاوی بیشتر مواردی باشد که در ادامه آمده است: توسعه خلاقیت دانشجویان، استفاده از مسائل دارای پایان باز، توسعه و به کارگیری 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 این، ضروری است که تنوعی از محدودیتهای واقع بینانه در نظر گرفته شود، مانند تأثیر عوامل اقتصادی، ایمنی، قابلیت اطمینان، زیبایی شناسی، اخلاقی و اجتماعی. به تعریف مذکور می‌توان تأکید بر کارگروهی برای حل مسئله و اجرای طراحی را نیز اضافه کرد.*

در این مقاله به دنبال مرور وضعیت ارائه پروژه کارشناسی مهندسی در کشور ایران در چند دهه گذشته، محتوا و نحوه ارائه درس طراحی پایانی در کشورهای آمریکای شمالی، که معادل پروژه کارشناسی مهندسی در کشور ماست، بررسی و در پایان پیشنهادهایی برای بازنگری این درس در

کشور و افزایش کارایی آن به منظور دستیابی به دستاوردهای در نظر گرفته شده برای آموزش مهندسی ارائه شده است.

## ۲. پروژه کارشناسی مهندسی در ایران

آموزش عالی در کشور ما در چند دهه گذشته تغییرات ساختاری و محتوایی زیادی داشته است. دانشگاه‌های کشور در سال ۱۳۵۹، به دلیل انقلاب فرهنگی، تعطیل شدند و این تعطیلی تا سال ۱۳۶۲ ادامه یافت. در این فاصله ستاد و شورای انقلاب فرهنگی، تأسیس شد [۸]. بعد از انقلاب فرهنگی آموزش متمرکز در اولویت قرار گرفت و همراه با آن، بازنگری برنامه‌های آموزشی آغاز شد. بدین منظور، گروه‌هایی متشکل از استادان دانشگاه و در مواردی نمایندگانی از صنعت در ستاد انقلاب فرهنگی تشکیل شدند و برنامه‌های آموزشی طی جلسات متعدد بازنگری شدند. در سه دهه گذشته، این برنامه‌های مصوب در مواردی بیش از یک نوبت بازنگری مجدد شده‌اند. در حال حاضر، برنامه‌های کارشناسی مهندسی کشور از ساختار عمومی کم و بیش یکسانی برخوردارند. طول هر نیمسال ۱۶ هفته، مدت هر واحد نظری ۱۶ ساعت و هر واحد عملی و آزمایشگاهی ۳۲ ساعت در نیمسال است. مجموع واحدهای دوره کارشناسی مهندسی حدود ۱۴۰ واحد است که به صورت دروس عمومی، پایه، اصلی، تخصصی و اختیاری عرضه می‌شود [۹].

بررسی برنامه‌های مصوب آموزش کارشناسی مهندسی کشور نشان می‌دهد که در همه آنها درسی به نام پروژه کارشناسی منظور شده است. در جدول ۱ نمونه‌هایی از مشخصات درس مصوب برای پروژه کارشناسی در رشته‌های مختلف مهندسی کشور ارائه شده است [۹]. مرور این جدول نشان می‌دهد که:

- پروژه کارشناسی به طور یکنواخت در همه مراکز آموزش مهندسی ۳ واحد است که اغلب در یک نیمسال و گاه در دو نیمسال از سال چهارم عرضه می‌شود؛
- تعداد ساعات در نظر گرفته شده برای فعالیتهای درس متفاوت و از ۴۸ تا ۱۶۲ ساعت متغیر است؛
- بسیاری از برنامه‌های مصوب بدون سرفصل مدون برای درس پروژه کارشناسی است؛
- درسهای "پروژه کارشناسی" مصوب بدون هدف است و در مواردی که دارای هدف است، سمت‌گیری مشخصی بین هدفهای این درس در رشته‌های مختلف مشاهده نمی‌شود؛
- در بیشتر موارد تأکید چندانی به رکن مهم آموزش این درس؛ یعنی طراحی نشده است و تأکید پروژه‌ها در بهترین حالت بر انجام پژوهش است، نه طراحی؛
- در اغلب موارد سازکار و نحوه اجرای درس مشخص نشده و در مواردی که ذکر شده، ناقص است؛
- تأکید درس بر اجرای پروژه است و در اغلب موارد هیچ‌گونه تدریس کلاسی برای آن در نظر گرفته نشده است؛
- در بیشتر موارد اجرای پروژه به صورت فردی است و به کارگروهی کمتر توجه شده است؛

• در بیشتر موارد روشی مشخص برای ارزیابی درس و پروژه آن عرضه نشده است. با مرور جدول ۱ و مطالب مذکور مشخص می‌شود که سرفصلهای درس پروژه کارشناسی در وضعیت موجود اطلاعات چندانی در اختیار استادان مجری درس قرار نمی‌دهد و از این‌روست که ارائه این درس در مراکز آموزشی مختلف کشور، هم از نظر هدف، هم محتوا و هم نحوه اجرا و ارزیابی، تفاوت‌های فاحشی با هم دارند. در حالی که در برخی از دانشگاهها طراحی به‌عنوان یکی از اولویتهای اصلی در تعریف پروژه کارشناسی است، در مراکزی دیگر سطح درس به‌شدت نزول کرده و به گردآوری مطالب از چند مرجع و در مواردی فقط ترجمه از یک متن و ارائه یک گزارش کتبی خلاصه می‌شود.

جدول ۱: نمونه‌هایی از دروس مصوب پروژه کارشناسی رشته‌های مختلف آموزش مهندسی ایران (مصوب شورای عالی برنامه ریزی) [۹]

<p><b>پروژه کارشناسی مهندسی شیمی</b> (مصوب ۱۳۸۱/۱۰/۲۱)، تعداد واحد ۳، نوع درس عملی - نظری، پیشنیاز/همنیاز عملیات واحد ۲ و طرح راکتور؛</p> <p>هدف درس: ؟، سرفصلها: این درس یکی از درسهای اساسی مهندسی شیمی است که در آن دانشجو با طراحی کارخانه آشنا می‌شود. موضوع پروژه طراحی واحدی حتی‌المقدور در گروه تخصصی مورد انتخاب دانشجو تعیین می‌شود. دانشجویان به گروههای ۵ نفره تقسیم می‌شوند. در هر گروه از دانشجویان با نمرات بالا، متوسط و پایین حضور خواهند داشت. سرگروه به تشخیص استاد درس تعیین می‌شود و می‌تواند دانشجویی با بالاترین نمره در نظر گرفته شود. طراحی اصولی و طراحی جزئی طوری انجام می‌شود که واحد مورد نظر به صورت کلید روشن (Turn key) قابل ساخت باشد.</p>
<p><b>پروژه کارشناسی مهندسی معدن</b> (مصوب ۱۳۷۹/۷/۹)، تعداد واحد ۳، نوع واحد؟، همنیاز و پیشنیاز: نیمسال ۸ گذراندن حداقل ۱۲۰ واحد درسی). هدف درس: آشنایی دانشجو با روش انجام دادن پروژه‌های معدنی و نحوه ارائه نتایج. سرفصلها:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- پروژه به منزله پایان نامه دوره کارشناسی است.</li> <li>- موضوع و محتوای پروژه طبق نظر استاد راهنمای دانشجویان در هر گرایش تعیین خواهد شد.</li> <li>- توصیه می‌شود در پروژه جنبه‌های محاسباتی و طراحی مد نظر قرار گیرد، به‌طوری که به نوعی محتوای دروس اصلی و تخصصی به‌کار گرفته شود.</li> <li>- ترجیحاً در انجام دادن پروژه از همکاری واحدهای معدنی یا سازمانهای مرتبط بهره گرفته شود.</li> <li>- دانشجویان ملزم به ارائه گزارش پروژه طبق فرمت تعیین شده هستند و باید گزارش کار را به صورت فایل Word و چاپ شده ارائه دهند.</li> </ul>
<p><b>پروژه کارشناسی مهندسی متالورژی و مواد</b> (مصوب ۱۳۷۳/۷/۳)، تعداد واحد ۳، نوع واحد: عملی، پیشنیاز: پس از گذراندن ۱۰۰ واحد درسی</p> <p>هدف درس: ؟، سرفصلهای درس: ؟</p>
<p><b>پروژه کارشناسی اپتیک و لیزر</b> (مصوب ۱۳۷۹/۱۱/۱۶)، تعداد واحد ۳، نوع واحد ؟، پیشنیاز: بعد از گذراندن ۱۰۰ واحد، هدف درس: ؟، سرفصلهای درس: ؟</p>

<p>پروژه کارشناسی مهندسی فناوری اطلاعات (مصوب ۱۳۸۱/۲/۲۹)، تعداد واحد ۳، نوع واحد: عملی، تعداد ساعت ۴۸، پیشنیاز: ارائه مطالب فنی و مهندسی فناوری اطلاعات، هدف درس: ؟، سرفصلهای درس: ؟</p>
<p>پروژه کارشناسی مهندسی صنایع پلیمر (مصوب ۱۳۷۴/۴/۸)، تعداد واحد ۳، نوع واحد انفرادی، تعداد ساعت ۱۶۲، پیشنیاز ندارد، نوع درس: ؟ هدف درس: در آخرین مرحله دانشجویان موظفاند پروژه‌ای را در یکی از زمینه‌های مربوط به صنایع پلیمری، اعم از تولید بیا صنایع تبدیلی پلیمر با در نظر گرفتن آخرین تحولات علمی در این زمینه انجام دهند. دانشجویان موظفاند علاوه بر فناوری جدید، بر جنبه‌های اقتصادی پروژه نیز تأکید کنند. سرفصلهای درس: ؟</p>
<p>پروژه کارشناسی مهندسی تعمیر و نگهداری هواپیما (مصوب ۹۰/۶/۱۹)، تعداد واحد ۳، نوع واحد ؟، پیشنیاز ترم آخر (حداقل ۱۰۰ واحد گذرانده شده باشد)، زمان مورد نیاز؟، هدف درس ؟، سرفصل درس ؟، نحوه اجرای درس</p> <p>۱. موضوع پایان نامه تحقیق و بررسی در خصوص یکی از مباحث ویژه هواپیما از قبیل سازه هواپیما، سیستم‌های هواپیما، طراحی هواپیما و ... است.</p> <p>۲. انتخاب موضوع، استاد راهنما و مراجع مورد استفاده با مشورت و صلاحدید و تأیید گروه هواپیما انجام می‌شود.</p> <p>۳. پایان نامه در ۵ جلد تهیه می‌شود.</p> <p>۴. دانشجو باید در جلسه‌ای در حضور استاد راهنما و دیگر استادان و علاقه‌مندان از پایان نامه خود دفاع کند.</p>
<p>پروژه کارشناسی مهندسی برق، مصوب ۱۳۸۸، دانشگاه صنعتی شریف [۱۰]، این درس در دو نیمسال و جمعاً به ارزش ۳ واحد ارائه می‌شود.</p> <p>پروژه کارشناسی ۱؛ تعداد واحد ۱؛ پیشنیاز ندارد؛ هدف درس: آموزش گزارش نویسی، تهیه پیشنهاد پروژه و جست و جوی منابع علمی.</p> <p>سرفصلهای درس: پروژه در ترم اول در یک کلاس ۳۰ نفری برگزار می‌شود و مباحث آن شامل آموزش مدیریت پروژه، جست و جوی کتابخانه‌ای، روش ارائه گزارش پروژه، روش گزارش نویسی فنی و در آن هر یک از دانشجویان پیشنهاد پروژه خود را در سه هفته آخر ترم در حضور سایر دانشجویان ارائه و از آن دفاع می‌کنند و جمعاً معادل ۱ واحد است.</p> <p>پروژه کارشناسی ۲؛ تعداد واحد ۲؛ پیشنیاز پروژه کارشناسی ۱، هدف درس: به‌کارگیری قابلیت‌های آموزش داده شده در طول دوره برای انجام دادن یک پروژه کامل برق، در زمینه مهندسی اعم از تجزیه و تحلیل، طراحی و ساخت، ضمن مدیریت سازماندهی شده این پروژه.</p> <p>سرفصلهای درس: انجام دادن پروژه مصوب در پروژه کارشناسی ۱ با نظارت استاد راهنمای پروژه و دفاع از آن در کلاس مربوط.</p>

### ۳. پروژه کارشناسی مهندسی در آمریکای شمالی

آموزش مهندسی در چند دهه گذشته تغییرات چشمگیری داشته است. برای مثال، در سالهای بعد از جنگ جهانی دوم به تدریج تأکید بر علوم مهندسی و مطالب تئوری در دانشگاه‌های آمریکا افزایش یافت و در مقابل، درسهای عملی کارگاهی و آزمایشگاهی و روشهای تولید و طراحی کاهش یافتند یا حذف شدند [۱۱ و ۱۲]. یکی از دلایل این امر کمک به دانشجویان مهندسی برای درک بهتر اصول پیچیده موجود در پیشرفتهای فناوری مدرن بود. حاصل این تغییر، تربیت دانش آموختگانی با تجربه کمتر در زمینه عملیات مهندسی و طراحی بود. در یکی دو دهه گذشته گزارشهای متعددی را

شرکتهای صنعتی بزرگ منتشر کردند که ضمن اظهار ناخوردگی از وضعیت موجود، اغلب به این نتیجه می‌رسیدند که در شرایط کنونی هدفهای دانشگاه و صنعت از هم فاصله گرفته‌اند. یکی از راهکارهای مقابله با این مسئله تأکید 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 کنند. با راه‌اندازی این درس در سال پایانی دوره کارشناسی کوشش شده است که بخش فعالیتهای عملی طراحی به برنامه درسی بازگردانده شود. سازمان ارزشیابی آموزش مهندسی آمریکا (ابت) به نحو زیر بر وجود چنین درسی در برنامه دوره کارشناسی تأکید کرده است [۱، ۲ و ۷]

- درسهای دارای مؤلفه طراحی مهندسی معمولاً در نیمه دوم دوره کارشناسی عرضه می‌شوند. بخشی از این نیاز باید حداقل به وسیله یک درس در سال چهارم تأمین شود، که با اتکا به دروس آموزش داده شده در سالهای قبل به‌طور عمده به طراحی می‌پردازد.
- مؤلفه طراحی یک برنامه درسی مهندسی باید شامل حداقل برخی از اقلام زیر باشد: توسعه خلاقیت دانشجویان، استفاده از مسائل با پایان باز (مسائل دارای بیش از یک جواب)، توسعه و به‌کارگیری روش‌شناسی طراحی، طرح و ساماندهی صورت مسئله و ویژگیهای طراحی، در نظر گرفتن راه‌حلهای مختلف و در نظر گرفتن امکان پذیری و توصیف دقیق سیستم. همچنین، در نظر گرفتن واقع‌بینانه تعدادی از محدودیتهای از جمله عوامل اقتصادی، ایمنی، قابلیت اطمینان، زیبایی‌شناختی، اخلاق و تأثیرات اجتماعی.

با وجود آنکه محتوا و نحوه ارائه درسهای طراحی پایانی در مراکز آموزشی مختلف متفاوت است، هدف چنین درسی همواره بخشهایی از دستورالعمل یادشده را در خود دارد. این امر باعث هم‌ارزی مناسب این درس در رشته‌های مختلف شده است.

### ۳.۱. ساختار درس

گرچه در درس طراحی پایانی بر کار عملی و اجرای پروژه تأکید می‌شود، ولی برای بالا بردن کارایی آن در بسیاری از مراکز آموزشی تدریس کلاسی نیز منظور می‌شود. آمارگیریهای صورت گرفته در باره سهم تدریس کلاسی و پروژه در اجرای این درس نشان داد که ۵۵٪ مراکز آموزشی دارای تدریس کلاسی و اجرای همزمان پروژه بوده‌اند، ۱۸/۵٪ ابتدا تدریس کلاسی داشته و به‌دنبال آن پروژه را اجرا کرده‌اند، در ۱۷/۵٪ موارد فقط پروژه ارائه شده و در ۱/۵٪ مراکز نیز فقط تدریس کلاسی وجود داشته است و بالاخره، ۷/۵٪ مراکز نیز از روشهای متنوع دیگر استفاده کرده‌اند [۶]. همچنان‌که دیده می‌شود، در بیشتر مراکز آموزشی تدریس کلاسی و اجرای پروژه به‌صورت همزمان در اولویت قرار داشته و ارائه درس فقط به‌صورت تدریس مطالب تئوریک مربوط به طراحی در کلاس بسیار نادر بوده

است. طول مدت اجرای این درس در اغلب مراکز آموزشی مورد بررسی یک یا دو نیمسال بوده است. در تعداد محدودی از مراکز نیز این درس در یک یا دو کوارتر عرضه می‌شود. نظر به اینکه ساختار درس طراحی پایانی در مؤسسات آموزشی و رشته‌های مختلف تا حد زیادی با هم متفاوت است، کوشش‌های چندی برای طبقه‌بندی انواع این درس صورت گرفته است. فعالیتهای مربوط به یادگیری عملی را می‌توان به دو دسته شبیه‌سازی و عملیات واقعی تقسیم کرد. شبیه‌سازی شامل طرح ریزی موقعیتی است که به‌دقت برای رسیدن به‌هدفی خاص طراحی شده و به‌خوبی تحت کنترل آموزشگر است. این در حالی است که فعالیتهای نوع دوم دانشجویان را از طریق طرح مسائل با پایان باز<sup>۱</sup> و دارای بیش از یک جواب، با موقعیتهای واقعی روبه‌رو می‌کند. در اینجا استاد فقط می‌تواند از طریق انتخاب شرایط و تعیین ملاکهای عملکرد مناسب، برای اطمینان از دستیابی به دستاوردهای مورد نظر، نقش داشته باشد. درس طراحی را می‌توان از دیدی دیگر به دو گروه طراحی برای ارزیابی اقتصادی و طراحی ساخت تقسیم کرد. تقسیم‌بندیهای یادشده به‌گونه‌ای نشان دهنده هدفهای کلی درس طراحی مهندسی هستند [۷].

گرچه طبقه‌بندی این درس، به‌دلیل ساختار متفاوتی که در مراکز آموزشی مختلف دارد، تا حدی مشکل است، ولی شاید بتوان محتوای این درس را تا حدی بر مبنای رشته تحصیلی طبقه‌بندی کرد [۵، ۶ و ۷].

- درس طراحی پایانی در گروههای مهندسی عمران معمولاً درسهایی از نوع شبیه‌سازی هستند. محصول مورد انتظار چنین درسهایی عبارت از طراحی روی کاغذ<sup>۲</sup> و ارزیابی اقتصادی است. در پروژه‌های طراحی رشته عمران ساخت معمولاً ناممکن است، چون مستلزم احداث سازه‌ها و سیستم‌های بزرگ است. البته، ساختگاههای واقعی می‌توانند برای پروژه‌ها انتخاب شوند تا احساس واقعی‌تری را از شبیه‌سازی به‌دست دهند.
- درس طراحی پایانی در مهندسی شیمی به‌طور معمول مستلزم شبیه‌سازی یا تحلیل فرایند است. ساخت دستگاههای آزمایش و دیگر تجهیزات ممکن است به درسهای مهندسی شیمی افزوده شود تا مؤلفه‌ای سخت‌افزاری به پروژه دانشجویان بیفزاید.
- درس طراحی پایانی در مهندسی مکانیک یا ساخت و تولید، اغلب مستلزم ساخت و آزمایش یک نمونه اولیه<sup>۳</sup> است. پروژه‌های دانشجویان می‌تواند دارای فرایندهای تولید، طراحی وسایل و یکپارچگی سیستم‌ها<sup>۴</sup> باشد. در مواردی که مدت زمان درس محدود است و زمان کافی برای

- 
1. Open ended Problems
  2. Paper Designs
  3. Prototype
  4. Systems Integrations



ساخت یک نمونه اولیه وجود ندارد، فعالیتهای درس ممکن است به طراحیهای کاغذی یا گزارش امکان‌پذیری محدود بشود.

• درس طراحی پایانی در رشته‌های مهندسی برق و کامپیوتر اغلب شامل پروژه‌هایی است که با یک سخت‌افزار همراه است. در اینجا پروژه‌ها اغلب حاوی اندرکنش نرم‌افزار کامپیوتر با سخت‌افزار مرتبط با آن است.

ساختن و آزمودن نمونه‌های اولیه و ابزارهای خاص معمولاً در درسهای کوتاه مدت امکان‌پذیر نیست. میزان جزئیات لازم در طراحیهای روی کاغذ و مطالعات امکان‌سنجی نیز با مدت زمان درس محدود می‌شود. در گروهی از مراکز آموزشی درس طراحی پایانی فرمت یک شرکت فرضی را دارد.

### ۲.۳. محتوای درس

دامنه وسیعی از مطالب و تواناییها را می‌توان با درس طراحی پایانی به دانشجویان منتقل کرد. بیست و چهار زمینه مختلفی که آموزش آنها در این درس گزارش شده، در جدول ۲ ارائه شده است. همچنان‌که دیده می‌شود، فراوان‌ترین زمینه آموزش داده شده در این درس مهارتهای حرفه‌ای است که تقریباً همه آنها در ستون چپ جدول قرار گرفته‌اند. این در حالی است که مهارتهای فنی، البته با وزنهایی کمتر، در ستون سمت راست جدول قرار گرفته‌اند [۷ و ۱۳]. همچنان‌که مؤسسات ارزشیابی بین‌المللی نیز تأکید کرده‌اند، مهارتهای حرفه‌ای مؤلفه مهمی از آموزش مهندسی است و درس مورد بحث یکی از نقاطی است که بیش از همه می‌توان به آموزش و انتقال این مهارتها پرداخت. نکته شایان ذکر دیگر اینکه مقایسه دو آمارگیری که در فاصله ۱۰ سال در آمریکای شمالی صورت گرفته است، روند افزایشی توجه به مهارتهای حرفه‌ای مثل ارتباطات مهندسی، کار گروهی و مدیریت را نشان می‌دهد [۵، ۶ و ۷]. بسیاری از درسهای طراحی پایانی، به‌همراه طراحی محصول یا فرایند، حاوی تدریس کلاسی نیز هستند. مباحثی که در سخنرانیهای کلاسی گنجانده می‌شود، به‌طور عمده مسائل مرتبط با پروژه طراحی و ارائه آن است.

جدول ۲: فراوانی موضوعات آموزش داده شده در درس طراحی پایانی در مراکز آموزشی آمریکای

شمالی [۷ و ۱۳]

مهارتهای فنی	مهارتهای حرفه‌ای
۴۸ خلاقیت یا توسعه مفهوم	۸۷ ارتباطات نگارشی
۴۶ ابزارهای تحلیل	۸۳ ارتباطات شفاهی
۴۵ مالکیت فکری	۷۶ اخلاق مهندسی
۳۷ ساخت نمونه و آزمایش آن	۷۲ برنامه ریزی پروژه و زمان‌بندی
۳۴ بهینه‌سازی	۶۸ تصمیم‌گیری

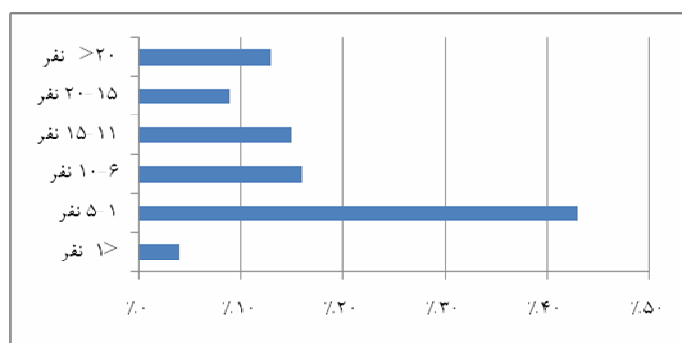
۲۹	پایداری	۶۶	تشکیل گروه
۲۹	ساخت	۶۳	دینامیک گروه
۲۹	ارزیابی ریسک	۶۱	اقتصاد مهندسی
۲۹	طراحی و جانمایی در کد	۵۶	توسعه یا نگارش ویژگیهای عملکردی
۲۴	اعتبار محصول	۵۲	ایمنی در طراحی محصول
۱۷	توسعه عملکرد کیفیت	۵۰	رهبری (مدیریت)
۱۳	و غیره	۴۹	استانداردها و دستورالعملها

### ۳.۳. نقش استادان

سرپرستی و اجرای درس طراحی پایانی را یک، دو یا چند نفر از اعضای هیئت علمی بر عهده دارند. حالتی که یک نفر درس را اداره می‌کند، مشابه فرایند مدیریتی است که در صنعت وجود دارد و در آن یک مهندس مسئول هر پروژه است. در مقابل، ارائه درس به وسیله گروهی از آموزشگران نشان‌دهنده تأکید بیشتر بر کار گروهی است. بررسیهای صورت گرفته نشان داد که بخش تدریس کلاسی این درس را بیشتر یک تا دو استاد ارائه می‌کنند، ولی تعداد به مراتب بیشتری از استادان در زمینه پروژه‌های این درس مشارکت دارند. نحوه مشارکت ۵۷٪ استادان در این درس به صورت راهنما، ۳۴٪ به صورت مشاور و ۱۶٪ نیز به صورت ارزیاب پروژه بوده است [۶].

نقشی که استادان در ارائه این درس دارند، در مراکز آموزشی مختلف متفاوت است. برخی از آموزشگران نقش استاد راهنما را بازی می‌کنند و فقط زمانی که ضرورت داشته باشد در پروژه دانشجویان مداخله می‌کنند. آموزشگران دیگر نقش راهنمای فنی پروژه دانشجویان را به عهده دارند. در مواردی که چند آموزشگر درگیر درس طراحی پایانی هستند، هر استاد معمولاً نقش راهنمای یک گروه طراحی را دارد و با توجه به زمینه تخصصی‌اش، مشاور فنی پروژه طراحی گروههای دیگر است. در مواردی که کارفرمای صنعتی وجود ندارد، آموزشگران می‌توانند نقش کارفرمای پروژه را نیز بازی کنند. به نظر بیشتر استادانی که از آنها نظرخواهی شده است، سرپرستی یک درس طراحی پایانی مستلزم صرف زمان به مراتب بیشتری در مقایسه با یک درس عادی مهندسی است. از این رو، برخی از استادان تمایل کمتری به مشارکت در ارائه این درس دارند. این گروه بیشتر به دنبال ارائه درسهایی هستند که وقت کمتری از آنها بگیرد و فرصت بیشتری برای پژوهش و انجام دادن کارهایی که در ارتقای آنها نقش مؤثرتری دارد، در اختیار آنها قرار دهد [۷]. برخی از استادان به دلیل نبودن درس دیگر، برای پرکردن ساعات موظفی، مجبور به ارائه این درس می‌شوند و بالاخره، گروهی از استادان به دلیل کمبود امکانات و منابع یا آشنا نبودن با طراحی واقعی، نارضایتی خود را از ارائه این درس نشان داده‌اند.

**نسبت استاد به دانشجو:** کمتر اتفاق می‌افتد که یک برنامه آموزش مهندسی دارای تعداد نسبتاً کمی دانشجو و تعداد زیادی استاد علاقه‌مند و دارای تجربه در طراحی باشد. در مقابل، آنچه بیشتر دیده می‌شود، شرایطی است که تعداد دانشجویان زیاد و فقط یک یا دو استاد علاقه‌مند یا دارای تجربه طراحی وجود دارد. نسبت دانشجویان درس به استادان درگیر در ارائه آن در دانشگاه‌های آمریکا در شکل ۱ آمده است [۶]. آمار این شکل از تقسیم تعداد دانشجویان درس به تعداد استادانی که به نحوی در ارائه درس مشارکت دارند، به دست آمده است. همچنان‌که در این شکل دیده می‌شود، بالاترین رقم مربوط به مراکز است که بین یک تا پنج عضو هیئت علمی در ارائه درس و پروژه‌های آن مشارکت داشته‌اند.



شکل ۱: نسبت استاد به دانشجو در درس طراحی پایانی [۶]

#### ۴.۳. تشکیل تیمهای کاری

آمارگیریهای صورت گرفته نشان داد که ۶۰٪ مراکز آموزشی درس طراحی پایانی را به صورت گروهی، ۲۶٪ به صورت گروهی بین رشته‌ای و ۱۴٪ نیز آن را به صورت انفرادی ارائه می‌دهند؛ به عبارت دیگر، در حدود ۸۶٪ از مراکز مورد بررسی فعالیتهای این درس به صورت گروهی انجام می‌شود [۵ و ۶]. نکته قابل توجه اینکه در فاصله بین دو آمارگیری سالهای ۱۹۹۵ و ۲۰۰۵ از میزان توجه به فعالیت فردی در درس طراحی پایانی کاسته و به تعداد گروههای متشکل از دانشجویان یک رشته یا گروههای متشکل از دانشجویان رشته‌های مختلف افزوده شده است. سؤالاتی که در خصوص تشکیل گروههای درس طراحی پایانی مطرح می‌شوند، عبارت‌اند از: چرا از گروه استفاده می‌شود؟ چگونه گروه تشکیل می‌شود؟ نحوه تعامل دانشجویان با یکدیگر در طول انجام دادن پروژه چگونه است؟

**برتری استفاده از تیم:** امروزه، داشتن عملکردی مناسب به‌عنوان عضوی از یک گروه یکی از مهارت‌های مورد لزوم مهندسان به شمار می‌رود و بر آن تأکید شده است [۱۳]. به عقیده بسیاری، در دنیای کنونی فعالیت‌های مهندسی فقط به وسیله کارگروهی به سرانجام می‌رسد. از این روست که بسیاری از استادان از پروژه‌های گروهی برای آماده کردن دانشجویان برای کار آتی در گروه‌های حرفه‌ای در صنعت استفاده می‌کنند. دلایل دیگر استفاده از گروه شبیه سازی بهتر شرایط حاکم بر صنعت و افزایش توانایی فایق آمدن بر پروژه‌های بزرگ‌تر است. کارگروهی همچنین، موجب تقویت مهارت‌های مدیریتی و ارتباطی دانشجویان می‌شود.

**تشکیل تیم طراحی:** امروزه، در درس طراحی پایانی از چندین روش برای تشکیل گروه‌های دانشجویی استفاده می‌شود. بسیاری از آموزشگران سعی می‌کنند که همه اعضای گروه از توانایی کم و بیش یکنواختی برخوردار باشند. دسته‌ای دیگر اعضای گروه را به‌صورت تصادفی انتخاب می‌کنند و بالاخر، گروه سوم به دانشجویان اجازه می‌دهند که خود اعضای گروه را انتخاب کنند. البته، نظرهای مثبت و منفی چندی در خصوص هر یک از روشهای مذکور ارائه شده است. استادانی که گروه‌های طراحی با تواناییهای برابر را ترجیح می‌دهند، بر این باورند که تعادل مناسب مهارتها و علائق به هر گروه دانشجویی فرصتی مساوی برای تکمیل پروژه طراحی می‌دهد. بررسیها نشان می‌دهد که رایج‌ترین روش محول کردن تشکیل گروه به خود دانشجویان است تا بدین وسیله آنها با کسانی که می‌شناسند و بهتر می‌توانند کار کنند، همگروه شوند. نقطه ضعف این روش آن است که اعضای چنین گروه‌هایی معمولاً کمتر مایل‌اند از کار یکدیگر انتقاد کنند و بالاخره اینکه انتخاب تصادفی شرایط واقعی موجود در صنعت را به نحو بهتری شبیه سازی می‌کنند. مشکل انتخاب تصادفی تفاوت تواناییهای افراد گروه است که خود می‌تواند مشکل‌زا باشد.

**اندازه تیم طراحی:** تعداد اعضای گروه می‌تواند دامنه‌ای از یک تا همه اعضای کلاس داشته باشد. بررسیهای متعددی در باره تعداد بهینه اعضای گروه‌های درس طراحی پایانی صورت گرفته است. نزدیک به نیمی از مراکز مورد نظر خواهی گروه‌های چهار تا شش نفره را مناسب تشخیص داده‌اند [۵ و ۶]. گروه‌های تک نفره و گروه‌های بیش از هفت نفر نیز به‌ندرت تشکیل می‌شوند. در گروه‌های کوچک‌تر، در صورتی که یکی از اعضای گروه درس را حذف کند، بخش عمده‌ای از کارهای گروه روی زمین خواهد ماند. در مقابل، در گروه‌های دارای اعضای زیاد حتماً افرادی خواهند بود که مسئولیتی را به عهده نخواهند داشت.

**چالشهای کار تیمی:** برای بسیاری از دانشجویان کار مشترک به صورت عضو یا سرپرست یک گروه اولین تجربه است. از این روست که گروههای دانشجویی اغلب با مسائل و درگیریهای زیادی رو به رو می شوند. مهم ترین این چالشها در جدول ۳ ارائه شده است [۵ و ۷].

**جدول ۳. مشکلات رایج میان اعضای تیم طراحی [۵ و ۷]**

---

۱. ارتباطات ضعیف بین اعضای گروه
۲. رهبری و مدیریت ضعیف
۳. نبود توافق
۴. معوق گذاردن کارها
۵. نبود همکاری
۶. نبود اعتماد به نفس
۷. هماهنگ نبودن ساعات آزاد دانشجویان
۸. مشکلات شخصی اعضای گروه
۹. ...

---

**۵.۳. پروژه درس طراحی**

در اغلب مراکز آموزشی تأکید اصلی درس طراحی پایانی بر اجرای پروژه است. محتوای پروژهها در رشتههای مختلف تا حدی متفاوت است و دامنه‌ای از طراحی، ساخت و آزمودن محصول را در بر دارد. عمده ترین پرسشها در خصوص پروژههای درس طراحی این است که چگونه پروژه تعریف شود؟ نیازهای پروژه تعریف شده کدام است؟ انجام دادن پروژه چه هزینه‌هایی را در بر خواهد داشت؟

**تعریف عنوان پروژه:** برای بسیاری از آموزشگران یافتن پروژههای طراحی مناسب از دشوارترین کارهای مرتبط با درس طراحی پایانی است. ویژگیهای یک پروژه طراحی مناسب را به نحو زیر می توان خلاصه کرد [۷].

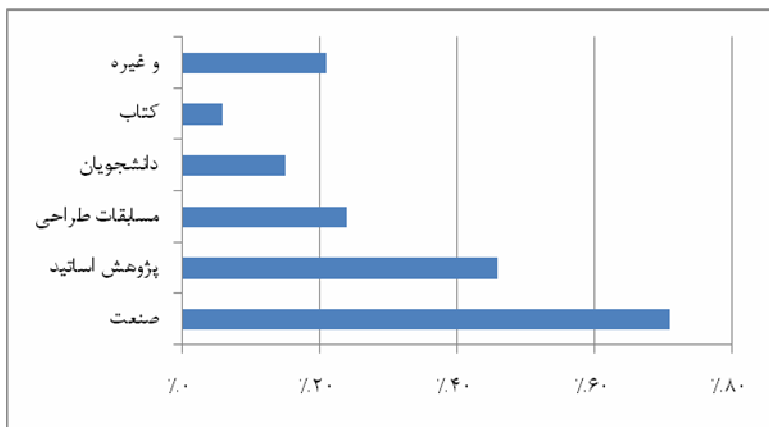
- چالش برانگیز باشد؛
- شانس بالایی برای اجرای موفقیت آمیز آن وجود داشته باشد؛
- آن اندازه خاص نباشد که منابع و مراجع لازم برای آن یافت نشود؛
- بر کاربرد تئوری تأکید داشته باشد؛
- نیاز به کار طراحی مهندسی داشته باشد؛
- استانداردهای خاص و ملاکهای ایمنی را اقماع کند؛

• در صورتی که صنعت درگیر آن است، به داده‌ها و اطلاعاتی که استفاده از آنها غیر مجاز است، نیاز نداشته باشد.

در برخی از درسهای طراحی آموزشگر یک پروژه فرضی را برای دانشجویان انتخاب می‌کند. روش انتخاب پروژه به آموزشگر اجازه می‌دهد که آن بخش از طراحی را در پروژه منظور کند که به نظر وی از اهمیت بیشتری برخوردار است. در این حالت، آموزشگر می‌تواند دامنه پروژه را به گونه‌ای متناسب با زمان اختصاص یافته به درس محدود کند.

در مواردی، درس دارای پروژه صنعتی است. تجربه نشان می‌دهد در شرایطی که پروژه را یک شرکت یا مرکز صنعتی ارائه می‌کند، دانشجویان ترغیب می‌شوند و بیشتر برای اجرای بایسته آن احساس مسئولیت می‌کنند. در برخی از درسها به دانشجویان اجازه داده می‌شود پروژه درس را شناسایی و پیشنهاد کنند. این امر باعث برداشته شدن بار مسئولیت زیادی از دوش هماهنگ کننده درس می‌شود و وی فقط باید اعتبار و مناسب بودن پروژه را کنترل کند. این نوع از انتخاب پروژه می‌تواند یک حالت مالکیت و التزام در خصوص پروژه را در دانشجویان ایجاد کند و پیامدهای مثبتی را به همراه داشته باشد.

منبع دیگر تأمین پروژه‌های دانشجویی خود دانشگاه است. در سالهای اخیر روند انتخاب پروژه از دیگر گروههای آموزشی دانشگاه مورد توجه بیشتری قرار گرفته است. بالاخره، باید از مسابقات طراحی، که اغلب انجمنهای حرفه‌ای آنها را ترتیب می‌دهند، به‌عنوان منبع مناسبی برای تعریف پروژه درس طراحی پایانی نام برد. مسابقات طراحی به تمام دانشجویان یک گروه آموزشی یا یک درس اجازه می‌دهد تا به روی یک پروژه واحد کار کنند [۷]. چنین شرایطی مدیریت درس را به مراتب آسان‌تر می‌کند. حال و هوای مسابقات طراحی انگیزه‌ای در دانشجویان ایجاد می‌کند تا طراحی بهتری را انجام دهند. واقعی بودن این‌گونه پروژه‌ها از دیگر ویژگیهای مثبت آنهاست. نتیجه نظرخواهی از مراکز مختلف در خصوص منابع تعریف پروژه‌های درس در شکل ۲ آمده است. همچنان که در این شکل دیده می‌شود، بیش از نیمی از موضوعات از بیرون دانشگاه و به‌ویژه صنعت و به دنبال آن از پژوهشهای استادان تأمین می‌شود و بقیه از مسابقات طراحی استفاده می‌شود یا دانشجویان آن را پیشنهاد می‌دهند. حدود ۱۱٪ نیز از منابع متفرقه دیگر بوده است [۶].



شکل ۲: منابع تعریف موضوعات پروژه درس طراحی پایانی [۶]

تعداد پروژه‌های تعریف شده برای یک دوره ارائه درس متنوع بوده است. در بیش از دو سوم موارد، برای هر گروه پروژه‌ای خاص در نظر گرفته شده است. در مواردی نیز چند گروه به‌طور همزمان ولی مستقل روی یک پروژه کار می‌کرده‌اند و بالاخره، در مواردی نادر نیز فقط یک پروژه برای تمام دانشجویان درس تعریف شده است. بررسی تعداد ساعات کار هفتگی خارج از کلاس دانشجویان روی پروژه نشان می‌دهد که در بیشتر مراکز دانشجویان بیش از هفت ساعت در هفته بر روی پروژه خود کار کرده‌اند.

**نیازهای پروژه طراحی:** عوامل اصلی که نیازها و خروجیهای درس طراحی پایانی را تعیین می‌کنند، عبارت‌اند از: گروه آموزشی ارائه‌کننده درس، مدت زمان ارائه درس و قضاوت استادان ارائه‌کننده درس. بررسیها نشان می‌دهد که تقریباً همه مراکز آموزشی ارائه‌کننده این درس حداقل یک گزارش کتبی و یک یا تعداد بیشتری ارائه شفاهی را طلب می‌کنند [۶، ۷ و ۱۳]. فهرستی از اقدامات مورد نیاز درس طراحی پایانی در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴: فعالیتهای مورد نیاز درس طراحی پایانی [۶، ۷ و ۱۳]

اقدامات اولیه
• تعریف و تأیید پروژه
• پژوهش در منابع
• گزارش امکان سنجی
پروژه طراحی
• طراحی روی کاغذ
• تحلیل (سنتر) پروژه یا فرایند
• گزارش پیشرفت کار هفتگی (کتبی یا شفاهی)
• ارائه تصویری (نقشه‌های دقیق)
• تحلیل هزینه‌ها
• تامین وسیله آزمایش
• نگارش کد کامپیوتری
• ساخت نمونه اولیه
• ساخت نمونه محصول
• انجام دادن آزمایشهای راستی آزمایی
• تحلیل داده‌ها
• گزارش نهایی (کتبی و شفاهی)

**هزینه اجرای پروژه:** هزینه اجرای پروژه‌های کارشناسی در آمریکا از چند ده دلار تا چند ده هزار دلار بوده است [۵ و ۶]. در پروژه‌هایی که نیاز به ساخت‌افزایی دارند، در ۸۷٪ موارد این هزینه‌ها زیر ۱۰۰۰ دلار است و پروژه‌هایی که نیاز به ساخت افزار ندارند، اغلب با هزینه ناچیز یا بدون هیچ‌گونه هزینه‌ای به انجام می‌رسند. سرمایه لازم برای انجام دادن پروژه طراحی از منابع مختلفی تأمین می‌شود. پروژه‌هایی که نیاز به سرمایه زیاد دارند، معمولاً نیاز به کارفرمای صنعتی دارند. در مقابل، پروژه‌هایی که نیاز به سرمایه کمی دارند، اغلب خود دانشجویان آن را تأمین می‌کنند. منبع دیگر تأمین هزینه پروژه‌ها می‌تواند گزینش استادان یا حمایت‌های گروه آموزشی یا دانشگاه باشد. مشارکت صنعت در پروژه‌های درس طراحی می‌تواند فراتر از تأمین هزینه‌های آن باشد، از آن جمله آنکه تأمین داده‌ها و اطلاعات لازم، تجهیزات و مواد اولیه و ارائه مشاوره فنی در خصوص پروژه. نقش صنعت در تأمین منابع مالی پروژه‌های درس طراحی پایانی با گذشت زمان پررنگ‌تر شده است.



### ۳.۶. ارزیابی درس

یکی از مشکل‌ترین وظایف آموزشگران ارزیابی عملکرد دانشجویان درس طراحی پایانی و اختصاص نمرات مناسب به هر یک از اعضای گروه است. ارزیابی درس طراحی پایانی، به دلیل طبیعت خاصی که دارد، اغلب ذهنی است. در شرایطی که ارائه درس بدون برگزاری امتحان رسمی است، ارزیابی با توجه به گزارشهای ارائه شده و کار تکمیل شده دانشجویان انجام می‌شود. در مواردی که برای درس امتحان در نظر گرفته می‌شود، این امکان به وجود می‌آید که یک روش نمره دادن، مشابه درسهای دیگر، به کار گرفته شود. ارزیابی عملکرد دانشجویان، به ویژه در حالتی که به صورت گروهی کار می‌کنند، به مراتب مشکل‌تر است، چون تعیین نقش و سهم هر یک از اعضای گروه در کار انجام شده به سختی قابل تشخیص است. البته، روشهای متعددی برای غلبه بر این مشکل پیشنهاد شده است [۶، ۷ و ۸] که یکی از راههای محتمل این است که همگروهیها ارزیابی را انجام دهند، چون اعضای گروه بیش از هر کس دیگری از سهم هر یک از اعضا در تکمیل پروژه آگاه‌اند. در مواردی که درس طراحی دارای پروژه‌ای است که حاوی یک مؤلفه کار فردی و یک مؤلفه کار گروهی است، آموزشگر می‌تواند به هر دانشجوی یک نمره برای کار فردی و یک نمره نیز به کل گروه برای کار گروهی اختصاص دهد. در روشی دیگر، برای همه اعضای گروه نمره‌ای مشابه در نظر گرفته می‌شود. بالاخره در مواردی نیز پروژه به کارهای مشخص و مجزا تقسیم می‌شود و هر دانشجو در زمان ارائه پیشنهاد پروژه فهرست کارها و فعالیتهایی را که خواهد داشت، مشخص می‌کند. در چنین شرایطی باید کوشش استاد بر این باشد که کارها و فعالیتهای به‌طور یکنواخت بین اعضای گروه تقسیم شود.

### ۳.۷. تأمین دستاوردهای برنامه آموزشی

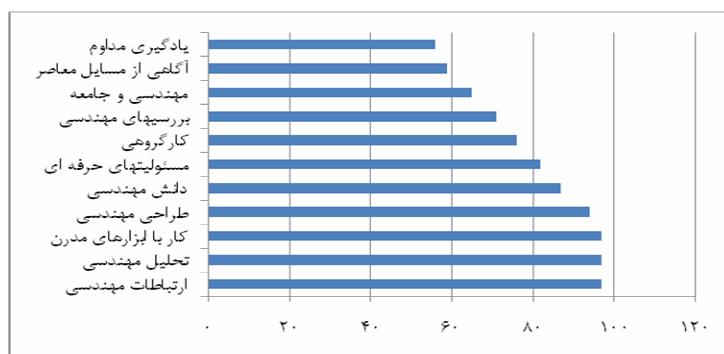
در دهه پایانی قرن گذشته آموزش مهندسی به تربیت دانش‌آموختگانی متهم شد که توانایی لازم برای کار مؤثر در صنعت را ندارند. این کاستی تغییرات چشمگیری را در آموزش مهندسی در طی قرن حاضر ایجاد کرد [۱، ۲، ۱۱ و ۱۲]. یکی از این تغییرات ارائه ملاکهای جدید برای ارزشیابی برنامه‌های آموزش مهندسی بود [۱]. تمرکز ملاکهای جدید، به جای ورودیهای آموزش (چه و چگونه آموزش داده می‌شود)، بر خروجیها و دستاوردهای آن (دانشجویان چه فرا گرفته‌اند) بود. ملاکهای عمومی یک برنامه کارشناسی مهندسی، که امروزه به‌طور وسیعی در دنیا به‌کار گرفته می‌شود، عبارت است از: (۱) دانشجویان؛ (۲) هدفهای برنامه؛ (۳) دستاوردهای دانشجویان؛ (۴) ارتقای مداوم کیفیت؛ (۵) برنامه درسی؛ (۶) استادان؛ (۷) امکانات؛ (۸) پشتیبانی دانشگاه.

به دنبال عرضه ملاکهای جدید در آغاز قرن حاضر، تأکید ارزشیابی برنامه‌های آموزشی بر دستاوردها (ملاک ۳) قرار گرفت. تعدادی از سازمانهای ارزشیابی معتبر ۱۱ دستاورد پایه را برای یک دانش‌آموخته مهندسی در نظر گرفته‌اند (جدول ۵). بررسیهای صورت گرفته نشان داده است که همه

این دستاوردها را می‌توان به درجات مختلف به وسیله درس پروژه پایانی پوشش داد [۵، ۶ و ۷]. همچنان‌که در شکل ۳ دیده می‌شود، ارتباطات مؤثر بیش از همه و یادگیری مداوم کمتر از بقیه دستاوردها با این درس قابل ارزیابی است [۶]. یادآوری می‌شود که گرچه دستاوردهای مختلف را می‌توان در این درس آموزش داد و آن را ارزیابی کرد، ولی هیچ یک از این دستاوردها را نمی‌توان فقط با این درس به‌طور کامل آموزش داد.

**جدول ۵: دستاوردهای پایه دوره کارشناسی مهندسی ۱ و ۲.**

- 
۱. دانش مهندسی: توانایی به‌کارگیری دانشهای ریاضی، علوم و مهندسی
  ۲. بررسیهای مهندسی: توانایی طراحی و اجرای آزمایشها و همچنین، تحلیل و تفسیر داده‌ها
  ۳. طراحی مهندسی: توانایی طراحی یک سیستم، وسیله یا فرایند برای رفع نیازها با در نظر گرفتن واقع‌بینانه محدودیتهای اقتصادی، اجتماعی، سیاسی، اخلاقی، تندرستی و ایمنی
  ۴. کارگروهی: توانایی کار در گروههای دارای عملکردهای چندگانه
  ۵. تحلیل مهندسی: توانایی شناسایی، ساماندهی و حل مسائل مهندسی
  ۶. مسئولیتهای حرفه‌ای: توانایی درک مسئولیتهای حرفه‌ای و اخلاقی
  ۷. ارتباطات مهندسی: توانایی ایجاد ارتباط مؤثر
  ۸. مهندسی و جامعه: کسب آموزشهای لازم برای درک تأثیر راه‌حلهای مهندسی در قالب جهانی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی
  ۹. یادگیری مداوم: درک ضرورت کسب مداوم آموزش در طول کار حرفه‌ای
  ۱۰. آگاهی از مسائل معاصر
  ۱۱. کار با ابزارهای مدرن: توانایی استفاده از فناوریها، مهارتها و ابزارهای مدرن و ضروری برای فعالیتهای مهندسی
-



شکل ۳: میزان امکان دستیابی به دستاوردهای در نظر گرفته شده برای یک برنامه آموزش مهندسی، توسط درس طراحی پایانی [۶]

#### ۴. بازنگری پروژه کارشناسی مهندسی کشور

پروژه پایانی دوره کارشناسی مهندسی به عنوان اوج فعالیتهای این دوره شناخته شده است. با مقایسه محتوا و نحوه ارائه پروژه کارشناسی در کشور با نحوه ارائه آن در رشته‌های مهندسی مختلف دانشگاههای آمریکای شمالی، چالشهای عمده اجرای پروژه کارشناسی در ایران مشخص می‌شود. به منظور رفع این کاستیها و بالابردن میزان هم‌ارزی این درس با آنچه در دنیا رایج است، اعمال اصلاحات زیر در این درس پیشنهاد می‌شود. هم‌ارزی دستاوردهای برنامه و هر یک از دروس آن با روند رایج در جهان شرط موفقیت در فرایند ارزشیابی برنامه‌های آموزش مهندسی کشور است.

##### ۱.۴. ساختار و محتوای درس

لازم است سمت‌گیری اصلی درس و پروژه آن بر طراحی مهندسی استوار شود. بدین منظور، پیشنهاد می‌شود: که عنوان درس از "پروژه کارشناسی" به "پروژه طراحی" تغییر یابد تا تأکید بیشتر بر هدف اصلی درس؛ یعنی طراحی در نام آن نیز منعکس شود. همچنین، پیشنهاد می‌شود تدریس کلاسی برای آشنا شدن دانشجویان با الفبای طراحی و مطالب دیگر در برنامه آموزشی منظور شود.

پیشنهاد می‌شود درس مشتمل بر هر دو مؤلفه کارفردی و گروهی باشد تا دانشجویان بتوانند چالشها و منافع هر دو روش را تجربه کنند. در اغلب مراکز آموزش مهندسی کشور، به دلیل کثرت دانشجویان و محدود بودن تعداد استادان، هر آموزشگر مجبور می‌شود برای چند دانشجو پروژه‌های کارشناسی مجزایی را تعریف و آنها را سرپرستی کند. در چنین شرایطی، اغلب استادان با کمبود عنوان برای پروژه‌ها روبه‌رو می‌شوند و فرصت لازم برای ارائه راهنمایی و مشاوره در خصوص هر کدام

از آنها را نخواهند داشت. در صورتی که پروژه‌ها به صورت گروهی ارائه شوند، ضمن کاهش چالشهای موجود، به دلایل زیر دستاوردهای حاصل از درس به نحو چشمگیری بهبود می‌یابد:

- کاهش تعداد عناوین پروژه‌ها: در یک کلاس ۳۰ نفری به جای تعریف ۳۰ پروژه فردی، فقط ۶ پروژه برای تیمهای ۵ نفری تعریف می‌شود؛
  - بالا رفتن کیفیت دستاوردهای پروژه: در صورتی که زمان لازم برای اجرای هر پروژه فردی را ۱۰۰ ساعت در نظر بگیریم، با تیمی شدن کار در یک گروه ۵ نفره تعداد ساعاتی که صرف اجرای پروژه می‌شود، به ۵۰۰ ساعت خواهد رسید و در نتیجه، می‌توان خروجی به مراتب با کیفیت‌تری را از هر پروژه انتظار داشت؛
  - تقویت تواناییهای حرفه‌ای: مهارتهایی چون ارتباط شفاهی و نگارشی، کار کردن در گروه، مسئولیت‌پذیری، برنامه‌ریزی و زمان‌بندی و اخلاق مهندسی در کار تیمی بهتر تأمین می‌شود.
- پیشنهاد می‌شود که تا حد امکان انتخاب اعضای تیم طراحی به خود دانشجویان واگذار شود.

**تعریف پروژه درس:** استاد درس در ابتدای نیمسال فهرستی از عناوین پروژه‌های مورد علاقه استادان دانشکده را گردآوری و آگهی می‌کند. هر تیم دانشجویی می‌تواند پروژه طراحی خود را از فهرست مذکور یا فهرست دانشکده‌های دیگر [در خصوص پروژه‌های بین رشته‌ای] انتخاب کند. اعضای تیم همچنین، می‌توانند موضوعی خارج از فهرستهای آگهی شده را انتخاب و در صورت تأیید استاد درس روی آن کار کنند.

**زمان ارائه درس:** حداقل دو نیمسال به دانشجویان برای انجام دادن پروژه طراحی فرصت داده شود. همچنین، دانشجویان از پایان سال سوم اجازه داشته باشند تیمهای کاری خود را تشکیل دهنده پروژه طراحی خود را انتخاب و کار روی آن را آغاز کنند. نامنویسی رسمی برای درس می‌تواند در یکی از نیمسالهای سال چهارم انجام شود (بعد از گذراندن مثلاً ۱۰۰ واحد).

#### ۲.۴. ارزیابی درس

ارزیابی درس به دو صورت فردی با آزمون کتبی و گروهی با ارزیابی پروژه انجام می‌شود. پیشنهاد می‌شود که خروجی پروژه‌ها به صورت‌های مختلف عرضه شود تا ضمن ارتقای مهارتهای ارتباطی و کارگروهی، معیار مناسب‌تری برای ارزیابی پروژه در اختیار استادان درس قرار گیرد.

**گزارش شفاهی:** اعضای تیم طراحی در طول اجرای پروژه چندین ارائه شفاهی فردی و گروهی به شرح زیر خواهند داشت:

- **گزارشهای شفاهی پیشرفت کار:** در ارائه‌های شفاهی در طول اجرای پروژه به هر عضو گروه پنج دقیقه فرصت داده می‌شود تا نقشی را که در اجرای پروژه داشته است، مطرح کند و به سؤالات طرح شده پاسخ گوید؛
- **جلسات تبادل نظر:** علاوه بر برگزاری جلسات مشاوره حضوری در طول اجرای پروژه، در موارد لازم استاد راهنما و استادان مشاور جلسه بحث و تبادل نظر نهایی در خصوص پروژه را قبل از ارائه نسخه نهایی پروژه با اعضای گروه برگزار می‌کنند؛
- **ارائه شفاهی نهایی:** در پایان اجرای پروژه گزارش شفاهی پروژه به وسیله پاورپوینت برای استادان راهنما و دیگر دانشجویان عرضه می‌شود.

**گزارش کتبی:** دستاوردهای این درس در چند گزارش کتبی به شرح زیر عرضه می‌شوند:

- **گزارش پیشنهاد پروژه:** شامل ضرورت و هدف از اجرای پروژه، ساختار و اعضای تیم طراحی، برنامه زمان‌بندی، هزینه‌ها، طرح راستی آزمایی و فهرستی از وجوه چالش‌بر انگیز است؛
- **گزارشهای کتبی پیشرفت کار:** شامل فعالیتهای صورت‌گرفته، فعالیتهای پیش رو، هرگونه تغییرات در خصوص برنامه اولیه و جدول مسئولیتهای هر یک از اعضای گروه است؛
- **گزارش نهایی پروژه:** علاوه بر گزارشهای کتبی پیشرفت کار در طول اجرای پروژه، یک گزارش نهایی با فرمت استاندارد تهیه و به دو صورت کاغذی و الکترونیکی عرضه می‌شود. پروژه‌های تکمیل شده می‌تواند در وب سایت درس یا گروه منتشر شود؛
- **نمایش پوستر و ماکت پروژه:** در یک روز معین نمایشگاه پوستر از تمام پروژه‌ها برگزار می‌شود. و در هر مورد که امکان دارد، اصل یا ماکت پروژه اجرا شده به نمایش گذارده می‌شود. در طول روز اعضای هر گروه اطلاعات لازم را در خصوص پروژه خود در اختیار بازدید کنندگان (استادان، نمایندگان از صنعت، دانشجویان و خانواده آنها) قرار می‌دهد و در پایان روز، کارهای برتر را استاد درس و همکاران وی شناسایی و معرفی می‌کنند. استادان درس، گروه آموزشی، دانشکده، دانشگاه یا صنعت می‌توانند به بهترین طراحها جایزه نقدی، مدال یا لوح تقدیر اهدا کنند.

**نمره دهی درس:** وزن نمرات دانشجویان درس پروژه طراحی به نحو زیر پیشنهاد می‌شود:

- ۵۰٪/ ارزیابی فنی طراحی صورت گرفته؛

• ۵۰٪ ارتباطات فنی ( گزارشهای کتبی و ارائه های شفاهی).

### ۳.۴. راهنمای درس "پروژه طراحی"

در جدول ۶ یک طرح درس نمونه‌وار برای درس پروژه طراحی پیشنهاد شده است. آنچه در جدول ۶-۱۴ عرضه شده، الگویی عمومی برای عرضه مناسب پروژه کارشناسی مهندسی (پروژه طراحی) است. [۱۴]. مراکز آموزشی مختلف و رشته‌های تحصیلی مهندسی گوناگون می‌توانند با توجه به شرایط و نیازها تغییرات لازم را در این برنامه انجام دهند یا به اهداف مورد نظر و دستاوردهای حاصل از آن بیفزایند و به‌طور کلی، هر گونه اصلاحاتی را در برنامه اعمال کنند، به نحوی که کارایی آن به‌عنوان عمده‌ترین درس کارشناسی مهندسی افزایش یابد. باید توجه داشت که هرگونه تغییر باید به‌گونه‌ای صورت گیرد که اندازه‌گیری کارایی آن امکان‌پذیر باشد.

#### جدول ۶: راهنمای درس "پروژه طراحی"

 <p>دانشکده فنی</p>	<p>نام درس: پروژه طراحی؛ شماره درس: .....؛ مقطع: کارشناسی؛ نوع درس: اجباری (۲+۱ واحد)؛ پیشنیاز/ هم‌نیاز گذراندن ۱۰۰ واحد؛ مطالب پیشنیاز: ...</p> <p>کتاب مرجع: طراحی مهندسی، حسین معماریان، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۹۲.</p>
<p><b>هدفهای آموزشی (کلی):</b> در پایان این درس انتظار می‌رود دانشجو بتواند:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>۱. مراحل مختلف یک فرایند طراحی را توضیح دهد (۳)*</li> <li>۲. مسئله یا نیاز موجود را شناسایی و یک محصول (کالا، فرایند، سیستم و یا برنامه) را برای حل مسئله یا برطرف کردن آن نیاز، طراحی کند (۳ و ۵)</li> <li>۳. یک آزمون راستی آزمایشی را توسعه داده و به روی محصول طراحی شده اعمال کند (۵)</li> <li>۴. در یک تیم چند منظوره عملکردی مناسب داشته باشد (۴)</li> <li>۵. با دستورالعملهای اخلاق حرفه‌ای و نیاز به مسئولیتهای حرفه‌ای و اخلاقی آشنا باشد (۶)</li> <li>۶. استانداردهای مناسب را در مورد محصول طراحی شده، به کار گیرد (۵)</li> <li>۷. طراحی را با در نظر گرفتن واقع بینانه تعدادی از محدودیتهای متصور (اقتصادی، زیست محیطی، پایداری، قابلیت تولید، اخلاقی، ایمنی، سلامتی، اجتماعی، سیاسی)، انجام دهد (۳، ۵ و ۸)</li> <li>۸. ارائه‌های شفاهی مؤثری را عرضه کند (۷)</li> <li>۹. تأثیر اجتماعی راه حل‌های مختلف مهندسی بر مسائل معاصر را توضیح دهد (۸ و ۱۰)</li> <li>۱۰. اطلاعات فنی لازم را برای تکمیل طراحی سیستم، مؤلفه یا برنامه، از منابع بیرونی به دست آورد (۹)</li> <li>۱۱. یک گزارش نهایی بنویسد که طراحی و آزمون راستی آزمایشی آن را توضیح دهد (۷).</li> </ol>	
<p><b>هدفهای یادگیری درس (دستاوردها):</b> دانشجویی که این درس را با موفقیت پشت سر بگذارد، قادر خواهد بود:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>۱. طرح پیشنهاد پروژه شامل برنامه زمان‌بندی، هزینه‌ها، طرح راستی آزمایشی و فهرستی از وجوه چالش برانگیز را بنویسد؛ در خصوص طراحیهای اولیه و تحلیل گزینه‌های محتمل قضاوت کند؛ یک آزمون راستی آزمایشی را طراحی، اجرا و تفسیر کند (۳)</li> </ol>	

<p>۲. در باره ویژگیهای یک کار تیمی موفق مثل غلبه بر تضادها، خود ارزیابی و اعمال رهبری بحث کند؛ به عنوان عضوی از یک تیم برای تکمیل یک پروژه کار کند و ارتباط موثری با افراد تیم داشته باشد (۴)</p> <p>۳. مسئولیتهای یک مهندس حرفه‌ای را مورد بحث قرار دهد؛ با توجه به یک سناریوی عرضه شده، موارد اخلاقی را شناسایی و رفتار مناسب را توصیف کند و مبانی اخلاقی برای این گزینه ها را مورد بحث قرار دهد (۶)</p> <p>۴. عناصر یک ارائه شفاهی مؤثر را توصیف کند؛ یک ارائه شفاهی مؤثر را ساماندهی و ارائه کند؛ به طور مؤثری از ارتباطات الکترونیکی و روشهای تصویری در ارائه شفاهی استفاده کند (۷)</p> <p>۵. فهرستی از سؤالات در باره تأثیر جهانی، اجتماعی و زیست محیطی کاربرد رشته تخصصی مهندسی را تهیه کند؛ با استفاده از مراجع، یک ارائه شفاهی یا گزارش کتبی، در ارتباط با تأثیر جهانی، اجتماعی و زیست محیطی یک کاربرد مهندسی خاص تهیه کنید (۸)</p> <p>۶. روشهای یادگیری یک فناوری تازه را مورد بحث قرار دهد (۹). تأثیر اجتماعی فناوری و مهندسی را تشخیص دهد؛ مسائل سیاسی مرتبط با مهندسی را تشخیص دهد (۱۰).</p>
<p style="text-align: center;"><b>سرفصلها</b></p> <p>نیمسال اول: جلسات تدریس و فعالیتهای کلاسی</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>۱. معرفی درس و تعریف طراحی مهندسی</li> <li>۲. (تشکیل تیمهای طراحی و تصویب پیشنهادهای پروژه ها)</li> <li>۳. جایگاه خلاقیت در طراحی مهندسی</li> <li>۴. طراحی مهندسی و کار تیمی</li> <li>۵. (ارائه شفاهی پیشرفت پروژههای طراحی ۱)</li> <li>۶. فرایند طراحی مهندسی</li> <li>۷. تعریف مسئله طراحی</li> <li>۸. عملکردها و مشخصات طراحی</li> <li>۹. یافتن پاسخ مسئله طراحی</li> <li>۱۰. گزارش دستاوردهای طراحی</li> <li>۱۱. (ارائه شفاهی پیشرفت پروژه های طراحی ۲)</li> <li>۱۲. مدیریت پروژه طراحی</li> <li>۱۳. قابلیتهای یک طراحی خوب</li> <li>۱۴. نقش اخلاق در طراحی مهندسی</li> <li>۱۵. کلاس تعطیل (گزارش کتبی پیشرفت پروژه طراحی)</li> <li>۱۶. آزمون نهایی کتبی</li> </ol> <p>نیمسال دوم: فعالیتهای نیمسال دوم بر کار گروهی بر روی پروژه متمرکز است. در این نیمسال کلاس درس عمومی تشکیل نمی‌شود و به جای آن، به صورت گزارشهای شفاهی ۵ دقیقه‌ای فردی و گزارشهای کتبی گروهی، پیشرفت کار پروژه، به صورت یک در میان در هفته‌های فرد ارائه می‌شوند</p>
<p><b>تکالیف و پروژه‌ها:</b> این درس دارای فعالیتهای عملی کلاسی، جست و جوی کتابخانه‌ای و اینترنتی، کارگروهی، کار در منزل و اجرای پروژه است.</p>

**نمره دهی:**

- گزارش کتبی پیشنهاد پروژه طراحی (گروهی) ۵٪
- گزارشهای پیشرفت کار شفاهی در طول دو نیمسال (فردی) ۱۰٪
- گزارشهای پیشرفت کار کتبی در طول دو نیمسال (گروهی) ۱۰٪
- آزمون نهایی کتبی پایان نیمسال اول (فردی) ۲۵٪
- سخنرانی و نمایش پوستر پایان نیمسال دوم (گروهی) ۲۰٪
- ارائه گزارش نهایی پایان نیمسال دوم (گروهی) ۳۰٪

**سایر مراجع**

Abarca, J. et. al (2000), Introductory Engineering Design; A project-based approach, Regents of University of Colorado, 221 pp.  
 Design, introduction. Open Learn, The Open University,  
 Dieter, G. and Schmidt, L. (2012), Engineering design, McGraw Hill, 880 pp.  
 Dym, C. L. and Little, P. (2008), Engineering design, a project based introduction, Wiley, 352 pp.  
 Dym, C. L. and Brown, D. C. (2012), Engineering Design, representations and reasoning, Second Edition, Cambridge University Press, 193 pp.  
 Eggert, R. J. (2010), Engineering design, 2nd ed. High Peak Press.  
 Haik, Y., and Shahin, T. M. (2011), Engineering Design Process. Cengage Learning, 304 pp.  
 Pahi, G., Beitz, W., Schulz, H. J. and Jarechi, U (2007), Engineering design, 3rd Ed. Springer 639 pp.  
 Samuel, A. and Weir, J. (1999), Introduction to Engineering Design. Elsevier Science and Technology Books, 405 pp.

\* شماره ردیف دستاورد از جدول ۵.

**۵. نتیجه گیری**

بررسی وضعیت آموزش پروژه پایانی دوره کارشناسی در دیگر کشورها کاستیهای نحوه اجرای فعلی آن در کشور را نشان می‌دهد. برای رفع این مشکل پیشنهاد می‌شود که نام درس پروژه کارشناسی به "پروژه طراحی" تغییر یابد و محتوا و نحوه اجرای آن با توجه به الگوهای رایج در جهان تغییر کند. تأکید اصلی درس پروژه طراحی بر توسعه تواناییهای زیر در دانشجویان خواهد بود:

- **طراحی مهندسی:** توانایی شناسایی راه حل برای مسائل مهندسی پیچیده و دارای پایان باز و همچنین، طراحی وسایل، فرایندها، سیستمها و برنامه‌ها برای برطرف کردن نیازی خاص با توجه مناسب به محدودیتهای ایمنی و تندرستی، اقتصادی، زیست محیطی، فرهنگی، اجتماعی و با توجه به استانداردها.
- **مهارتهای ارتباطی:** توانایی تبادل مفاهیم پیچیده مهندسی با اعضای حرفه و همچنین، افراد جامعه. این تواناییها عبارت‌اند از: مهارت در خواندن، نوشتن، صحبت کردن، گوش دادن و توانایی درک و نگارش گزارشهای مؤثر 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 پیش بینی این اندرکنشها و طراحی پایدار با توجه به مسائل زیست محیطی است.

با اعمال تغییرات یادشده، ضمن بالارفتن تواناییهای فنی و حرفه‌ای دانش‌آموختگان، یکی از موانع مهم ارزشیابی موفقیت آمیز برنامه‌های آموزش مهندسی کشور در سطح ملی و بین‌المللی برطرف خواهد شد.

## مراجع

1. ABET (2006), Engineering change, a study of the impact of EC 2000, Executive summary, Accreditation Board for Engineering and Technology, 30 p.
2. ABET (2010), Accreditation Board for Engineering and Technology (ABET), Available at: [www.abet.org](http://www.abet.org) (accessed June 2012).
3. CEAB, Canadian Engineering Accreditation Board, Available at: ([http://www.engineerscanada.ca/e/pr\\_accreditation.cfm](http://www.engineerscanada.ca/e/pr_accreditation.cfm)) (accessed June 2012)
4. ENAEE (2005), Constitution act and status, 15 pp. European Network for Accreditation of Engineering Education (<http://www.enaee.eu>).
5. Todd, R. H., Magleby, S. P., Sorensen, C. D., Swan, B. R. and Anthony, D. K. (1995), A Survey of Capstone Engineering Courses in North America, Engineering Education, (April): 165-174.
6. Howe, S. and Wilbarger, J. (2005), National survey of engineering capstone design course, American Society of Engineering Education (ASEE) Annual Conference and Exposition, Session 2525.
7. 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.
۸. معاریان، حسین (۱۳۹۱)، نوآوری در آموزش مهندسی، انتشارات دانشگاه تهران،
۹. وزارت علوم تحقیقات و فناوری، برنامه‌های مصوب شورای عالی برنامه ریزی وزارت علوم و آموزش عالی (بازدید مرداد ۱۳۹۱) <http://www.msrt.ir/sites/Talented/shora/DocLib/Forms/AllItems.aspx>
۱۰. کمیته برنامه‌ریزی مهندسی برق (۱۳۸۸)، کتاب راهنمای برنامه آموزشی مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۸۴ ص.
11. Crawley, E. F., Malmqvist, J., Östlund, S. and Brodeur, D. R. (2007). Rethinking Engineering Education, The CDIO Approach, Springer, 258 pp.
12. 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>

13. Shuman, L., Besterfield-Sacre, M. and McGourty, J. (2005), The ABET 'Professional Skills' – Can They Be Taught? Can They Be Assessed?, *Journal of Engineering Education*, pp. 41-55.

۱۴. معماریان، حسین (۱۳۹۲)، طراحی مهندسی، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۸ص.