فصلنامه آموزش مهندسی ایران، سال هجدهم، شماره ۷۰، تابستان ۱۳۹۵، صص. ۵۴- ۳۷

تدوین درس«طراحی سبز» برای دانشجویان مهندسی

سارا سادات تجاره[۱] و مهدی متقی‌پور[۲]

چکیده: در قرن حاضر بشر با چالشهای زیادی روبه‌رو شده است که یکی از آنها تخریب محیط‌زیست است. پدیده‌های مخاطره‌انگیزی نظیر افزایش گازهای گلخانه‌ای، شکاف لایهٔ اُزن، پدیدهٔ وارونگی هوا، بحران انرژی و رسیدن آسیبهای جدی به بوم سازگان جهانی از یک سو و رشد سریع فنّاوری و تولید انواع محصول در جهان از سوی دیگر به نظر می رسد که باید راهکارهای مناسبی برای تولید و مصرف و نیز کنترل و کاهش تأثیرات منفی بر روی محیط‌زیست ارائه شود. بررسی پیشرفتهای علمی و صنعتی در چند دههٔ اخیر نشان می‌دهد که مهندسان می‌توانند با ارائهٔ راهکارهای مناسب اثر قابل‌توجهی بر حفظ‌محیط زیست داشته باشند. به همین خاطر، لازم است تمام مهندسان از تأثیرات بالقوهٔ کار خود بر محیط‌زیست آگاه گردند و همچنین دوره‌های آموزشی مختلفی برای تربیت مهندسان جوان صورت پذیرد. در این مقاله، ابتدا به اهمیت و ضرورت آموزش دانشجویان مهندسی برای رسیدن به طراحی پایدار اشاره شده است. سپس برنامه‌های آموزشی تعدادی از دانشگاههای معتبر دنیا در راستای حفظ محیط‌زیست موردبررسی قرار گرفته‌اند و در نهایت با جمع‌بندی دوره‌های آموزشی مختلف و با استفاده از تجربیات نویسندگان این مقاله در برگزاری دوره‌های مشابه، رویکرد مناسب بسته به نوع مسئلهٔ انتخاب‌شده و درسی به نام طراحی سبز برای دانشجویان مهندسی در دانشگاه صنعتی شریف تدوین و تعریف شده است. به‌طوری که دانشجویان در این درس با فرایند طراحی محصول با حداکثری بررسی اثرات منحصربه‌فرد زیست‌محیطی آن در تمام دوره عمر محصول آشنا خواهند شد.

واژه‌های‌کلیدی: طراحی پایدار، طراحی سبز، طراحی محصول، اصول هانوفر، آموزش مهندسان

---

۱. گروه طراحی صنعتی، دانشکده هنر و معماری، واحد تهران غرب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
(نویسنده مسئول). sarahtejareh@gmail.com
۲. مربی مرکز گرافیک مهندسی دانشگاه صنعتی شریف. ایران. mmottaghi@sharif.edu

(دریافت مقاله: ۱۳۹۴/۸/۱۶)
(پذیرش مقاله:۱۳۹۴/۱۲/۸)

۱. مقدمه

امروزه، مسائل مربوط به محیط‌زیست تقریباً بر تمام فعالیتهای انسانی، به‌ویژه بخشهای تجارت و صنعت، تأثیرگذارند و در مرکز توجهات مردم، دولتها و حتی روابط بین‌الملل قرار دارند. اعلام سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ به‌عنوان دهۀ آموزش توسعۀ پایدار را می‌توان به‌منزلۀ هشداری تلقی کرد که سازمان ملل، جامعۀ جهانی را به جنبش بیداری زیست‌محیطی برای ارتقای بیشتر توسعۀ پایدار فراخوانده است (غفاری و ظهور، ۱۳۹۳).

طبیعت همیشه با سخاوتمندی تمام، همۀ امکانات لازم برای حیات را در اختیار ما گذاشته است اما انسان با خودخواهی، تنها به زندگی خودش فکر کرده و منجر به از بین رفتن گونه‌های دیگری از حیات شده است: غافل از اینکه ما در یک سیستم زندگی می‌کنیم و نابودی قسمتهایی از سیستم نهایتاً به نابودی خودِ ما منجر می‌شود (Mader, 2004). فعالیتهای بشری با سرعت بی‌سابقه‌ای موجب تغییر ترکیب هوای موجود در جو زمین است. اگر روند کنونی ادامه پیدا کند، ممکن است سیاره ما با یک شوک آب‌وهوایی روبه‌رو شود. این واقعه در یک زمان کوتاه اتفاق نمی‌افتد که بتوانیم تغییرات ناشی از آن را سریع احساس کنیم؛ هرچند که خطر تغییرات سریع آب‌وهوایی در زمان ما درحال افزایش است. مواردی از قبیل بحران انرژی، گرم شدن زمین و جوّ، تخریب لایۀ اُزن و شیوع آلودگیهای ناشی از مصرف بی‌رویۀ منابع انرژی، محدود بودن ذخایر فسیلی و نیز آلودگیهای ناشی از مصرف این نوع سوخت، موجب شده تا از اوایل دهۀ ۱۹۷۰ در کشورهای صنعتی قوانینی جامع برای بهینه‌سازی مصرف انرژی درخصوص منطقی ساختن الگوی مصرف اِعمال شود. طبیعتاً تداوم حیات بشر با کار و مصرف انرژی همراه است و برای این منظور لازم است تأثیرات سوء بر محیط‌زیست، تولید و مصرف انرژی به حداقل ممکن برسد (قیابکلو، ۱۳۹۳).

مسائل عمده در حفظ محیط‌زیست ازجمله تغییر ضخامت لایۀ ازن، متوازن نبودن گازها در جوّ زمین، ازدیاد گرما، گازهای گلخانه‌ای، بارانهای اسیدی و اکسیدکنندگان هستند که با رشد جمعیت مشکلات بیشتری را برای بشر رقم می‌زنند. هرچه رشد جمعیت بیشتر باشد تغییرات آب‌وهوایی مشکلات بیشتری ایجاد خواهد کرد و به همین دلیل کشورهای درحال‌توسعه صدمات بیشتری خواهند دید(قیابکلو، ۱۳۹۳).

در دنیای امروز به‌روزرسانی علوم مختلف در هر کشور امری اجتناب‌ناپذیر است و این مسئله در کشورهای درحال‌توسعه‌ای مثل ایران اهمیت ویژه‌ای دارد. چون سرآغاز و انتهای علوم مهندسی از دانشگاه سرچشمه می‌گیرد، تربیت نیروی انسانی متخصص و کارآمد برای ورود به بازار کار از سوی مراکز آموزشی امری مهم است که خود مستلزم شناخت رشته‌های مختلف دانشگاهی و لزوم اصلاحات آموزشی متناسب با نیازهای دانشجویان است (ارجمند و دانشفر، ۱۳۹۲). در آموزش عالی مسلماً

انباشت معلومات و دانش گروهی از نخبه‌ترین جوانان یک کشور نمی‌تواند هدف باشد، هدفهای آموزش عالی جهات کاربردی دارد و به اشکال مدیریتی، تدریسی، تحقیقی، طراحی، برنامه‌ریزی و اجرایی تبلور می‌یابد. نیازهای آموزشی در دوره‌های مهندسی عبارت‌اند از:

- مهندسی به‌عنوان بخشی از دانایی که انتظار شغل از آن می‌رود
- اهداف آن در سه بخش اصلی دانایی، توانایی و جهان‌پایی مشخص می‌شود
- اهداف دانایی و توانایی آن بر اساس نوع رشته‌ها و طبقه‌بندی رشته‌ها به‌درستی تجزیه و تحلیل شود
- اهداف جهان‌پایی هرچند از عمومیت بیشتری برخوردار است ولی باید نوع رشته و هدفهای کاربردی آن سمت و سو یابد تا ملموس شود
- به دلیل تغییرات وسیع مهندسی و فنّاوری در طول زمان، آمادگی پذیرش دانش و مهندسی فردا را داشته باشد (که مهمترین بخش این دانش است)
- نظامهای آموزش مهندسی به دلیل ماهیت این بخش از آموزش باید پویا و با اهداف نوآوری، خلاقیت و اکتشاف همراه باشد (حجازی و غفاری، ۱۳۸۴)

بدیهی است در چنین فضایی نقش آموزش عالی و برنامهٔ درسی زیست‌محیطی، که شامل دروس مرتبط با محیط‌زیست می‌شود، به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین ابزارها در تحقق توسعهٔ انسانی مطرح است تا از این طریق انسانها به‌عنوان محورهای توسعه بتوانند ضمن کسب توانمندیهای جدید، به ایفای نقشی فعال و تأثیرگذار در توسعهٔ پایدار محیط‌زیست بپردازند (محمدی و عزیزپور، ۱۳۹۲).

انتقال عادات سالم آموزشی، ارتباط مؤثرتر، یافتن راههای جدید برای ارائهٔ مفاهیم قدیمی به دانشجویان و ایجاد یک سیستم آموزشی مفیدتر ازجمله دغدغه‌های مربیان است. معلمین هر روز نه‌تنها زندگی خودشان را طراحی می‌کنند، که یک کلاس و برنامهٔ آن را نیز طراحی می‌کنند. در مصاحبه‌های انجام‌شده، برخی مدرسان اعلام کردند که در سیستم آموزشی یکی از مهمترین ارزشها جمع‌آوری گروهی از انسانها برای خلق ایده‌ها و ساختن دنیایی بهتر است و یکی از مسائل مدرسان برای رسیدن به این امر ایجاد برنامه‌ای منطقی برای عرضهٔ تجربیات به دانشجویان در قالب یک روند است. اما امروزه آنها نمی‌خواهند که این روند همچون آموزشهای دانشگاهی گذشته فضایی بسته داشته باشد بلکه می‌کوشند درعین‌حال که روندی منطقی را طی می‌کنند، آن روند آموزشی بدون محدودیت باشد و جایی برای خلاقیت هنرآموزان در آن در نظر گرفته شود (تجاره، ۱۳۹۲).

از طرفی در دنیای امروز رویکرد توسعه از توسعهٔ اقتصادی به توسعهٔ پایدار تغییر کرده است. همچنین نقش و جایگاه نظام آموزش عالی نیز دچار تحولات اساسی شده است. نظام آموزش عالی با رویکرد توسعهٔ اقتصادی، نهادی است که با تبعیت از رویکرد بازار و عقلانیت ابزاری می‌کوشد نیروی

انسانی ماهر برای اشتغال در اقتصاد سرمایه‌داری، تجاری‌سازی دانش و خلق ثروت از دانش تربیت کند. اما آموزش عالی با رویکرد توسعهٔ پایدار، نهادی است که درصدد تحقق ارزشهای اقتصادی، کاهش بیکاری، افزایش رفاه، از میان برداشتن فقر، برقراری عدالت اجتماعی، مصرف صحیح انرژیهای تجدیدناپذیر، حفاظت از لایهٔ اُزن، حفظ تنوع زیستی و جلوگیری از تغییرات اقلیمی برای نسلهای کنونی و آتی است. لذا، می‌توان نظام آموزش عالی را، که با رویکرد توسعهٔ پایدار حرکت می‌کند، آموزش عالی پایدار نامگذاری کرد. باید توجه داشت که این نظام آموزشی مأموریتها و وظایف خود درقبالِ تحقق توسعهٔ پایدار را از طریق دانشگاهها عملیاتی می‌سازد. بنابراین نیازمند دانشگاههایی است که از نظر ساختار سازمانی، سرمایهٔ انسانی، فرایندهای آموزشی و پژوهشی و غیره زمینه‌ساز تحقق آموزش عالی پایدار به‌طور خاص و توسعهٔ پایدار به‌طور عام باشند (ملکی‌نیا، بازرگان، واعظی و احمدیان، ۱۳۹۳).

جهت‌گیری برنامه‌های درسی ازجمله مسائلی است که زمینه‌ساز اصلاح و تغییر مبانی برنامه‌ریزی درسی و چارچوب برنامهٔ درسی ملی در بسیاری از کشورها شده است و دراین‌میان، مسائل زیست‌محیطی این امر را تشدید می‌کند و در دهه‌های اخیر بیشتر موردتوجه برنامه‌ریزان درسی قرار گرفته است تا جایی که توجه به ابعاد زیست‌محیطی در برنامه‌های درسی رشته‌های گوناگون مطرح شده است. منظور از برنامهٔ درسی، مجموعه فعالیتهای یاددهی و یادگیری است که در محیط واقعی کلاسهای درسی به اجرا درمی‌آید، دانشجویان بر مبنای علایق، ارزشها و تواناییهایشان، تجارب پیشین خود و با توجه به آنچه ارائه می‌شود، دست به انتخاب می‌زنند و از خود واکنش نشان می‌دهند (محمدی و عزیزپور، ۱۳۹۲). نیروی انسانی بزرگ‌ترین سرمایهٔ هر کشور محسوب می‌شود، این سرمایهٔ باارزش می‌تواند با پرورش و بهره‌گیری مؤثر، پایه‌های اقتصاد کشور را دگرگون کند و راه دشوار توسعه را هموار سازد (کارآموز و نظیف، ۱۳۸۸). مهمترین چالش مهندسی در قرن ۲۱ بازنگری ساختار آموزش مهندسی است تا از بی‌توجهی به دانش حرفه‌ای و کاربردی و نگاه یک‌بعدی به مهندسی به‌عنوان یک عامل اقتصادی جلوگیری شود. در قرن حاضر باید به آموزش مهندسی به‌عنوان پرورش‌دهندهٔ راهبران خلاّق و کارگشای جهان آتی یعنی تصمیم‌گیرندگان توجه شود. تصمیم گیرندگان، فعالانه شرایط آتی زندگی بشر را با دانش فنّاورانه و خلاقیت و لحاظ کردن اصول مدیریت نوین، که بر مبنای خلاقیت، بهینه‌سازی هزینه در نظامهای اقتصادی و اجتماعی و محیط‌زیستی است و نیز با کمک توجه به ارتباطات پروژه‌های نوین مهندسی شکل می‌دهند (Grasso, Burkins, Helble and et. al. 2008).

بر اساس دستور کار ۲۱ برای اطمینان از وجود محیط‌زیستی سالم و قابل‌سکونت برای نسلهای آتی تجارت، صنعت، دولتها و اشخاص حقیقی باید فعالیتهای خود را با هدف دستیابی به پایداری جهانی تطبیق دهند. ازآنجاکه، غایت فعالیتهای مهندسی بهبود شرایط زندگی انسانها از طریق توسعه

و کاربرد فنّاوری است، لذا نقش مؤثری در دستیابی بشر به جنبه‌های مختلف پایداری باتوجه‌به گرایشهای مختلف مهندسی دارد (کارآموز و نظیف، ۱۳۸۸).

توسعهٔ پایدار را می‌توان برای اولین بار به گزارش کمیسیون جهانی محیط‌زیست با عنوان «آیندهٔ مشترک ما»، که سازمان ملل متحد آن را در سال ۱۹۸۷ منتشر کرد، نسبت داد. در این گزارش، که عموماً به نام «گزارش کمیسیون برانتلند» خوانده می‌شود، توسعهٔ پایدار به‌عنوان توسعه‌ای که نیازهای کنونی جهان را تأمین کند و در کنار آن، بدون آنکه توانایی نسلهای آتی را در برآورده کردن نیازهایشان به مخاطره نمی‌اندازد، تعریف شده است (Agenda 21, ۱۹۹۲). بنابراین طراحی پایدار تأثیرات سوء بر محیط‌زیست، تولید و مصرف انرژی را به کمترین میزان می‌رساند (حجازی و غفاری، ۱۳۸۴). سه اصل توسعه پایدار، مردم، محیط‌زیست، منفعت و سود است. مفهوم توسعهٔ پایدار، حاصل رشد آگاهی از پیوندهای جهانی، مشکلات محیطی درحال‌رشد، موضوعات اجتماعی، اقتصادی، فقر و نابرابری و نگرانی دربارهٔ یک آیندهٔ سالم برای بشر است. توسعهٔ پایدار، قویاً موضوعات محیطی، اجتماعی و اقتصادی را به هم پیوند می‌دهد (Curl and Diehl, 2007) . در دو قرن گذشته، محیط به‌عنوان یک موضوع خارجی نسبت به بشر تلقی می‌شده است و در نتیجه مشکلات محلی برای استفاده و استثمار انسان، اساساً به صورت محلی دیده می‌شدند. در این دیدگاه، ارتباط انسان و محیط، به‌صورت غلبهٔ انسان بر طبیعت درک می‌شد و باور داشتند که دانش و فنّاوری بشر می‌تواند بر تمام موانع محیطی و طبیعی فائق آید. این دیدگاه مرتبط با توسعهٔ سرمایه‌داری و انقلاب صنعتی و علم مدرن است. همان‌طور که بیکن، یکی از پایه‌گذاران علم مدرن، آن را مطرح می‌کند: «جهان برای بشر ساخته می‌شود و نه بشر برای جهان» (Diehl, Boks and Wever, 2006) . به همین منظور، رویکردهای متفاوتی در طراحی محصول به وجود آمده است؛ مثلاً، طراحی چرخهٔ عمر محصول به‌جای طراحی محصول، طراحی سبز، طراحی اکودیزاین و وابسته به متن از جمله رویکردهایی هستند که در طراحی پایدار موردتوجه قرار می‌گیرند (علینقی‌زاده، افشاری و کیخاه، ۱۳۹۲). برای تغییرات حساس به بوم‌شناسی[۱] باید تغییراتی در اساس تفکر نسبت به ارتباط و جایگاه بشر در دنیای طبیعی ایجاد کنیم و از قید و بندهایی، که در علوم حاضر و دیدگاههای سیاسی، اقتصادی و اجتماعی وجود دارد و تلویحاً انسان را بی‌نیاز از طبیعت می‌داند، رها شویم. طراح باید به طبیعت به‌عنوان یک سیستم پویا بنگرد و مصنوع را وابسته به آن بداند دراین‌صورت ارتباط بین آنها، ارتباط پیوستگی نام می‌گیرد(Diehl, Boks and Wever, 2006) . در این مقاله به موضوعات اصول طراحی پایدار، شیوه‌های آموزشی و غیره پرداخته می‌شود.

---

۱. معادل مصوب فرهنگستان برای واژه «اکولوژی»

در ادامهٔ این مقاله، ابتدا به اصول حاکم بر طراحی پایدار می‌پردازیم و سپس برنامه‌های درسی تعدادی از دانشگاههای معتبر دنیا، که در راستای حفظ محیط‌زیست تدوین شده‌اند، موردبررسی قرار می‌دهیم. براساس دوره‌های آموزشی مختلف ارائه‌شده در این زمینه و با استفاده از تجربیات نویسندگان این مقاله در برگزاری دوره‌های مشابه، سرفصل درس «طراحی سبز» با رویکرد مناسب (بسته به نوع مسئله) ارائه می‌شود. سرفصل انتخاب‌شده مشابه با سرفصل درس شناخته‌شدهٔ طراحی محصول است که معمولاً، در دانشکده‌های مهندسی مکانیک و صنایع ارائه می‌شود با این تفاوت که ملاحظات زیست‌محیطی در اولویت ملزومات قرار دارند تا دانشجویان در این درس با فرایند طراحی محصول با حداکثر بررسی اثرات منحصربه‌فرد زیست‌محیطی آن در تمام دورهٔ عمر محصول آشنا شوند.

۲. اصول طراحی پایدار

در سال ۱۹۹۶ ویلیام مک دونو و همکارانش به‌منظور ارائهٔ معیارهای اخلاقی برای طراحی پایدار، اصولی را تحت‌عنوان «اصول هانوفر» ارائه دادند (۲۰۰۰) راه‌حلهای ارائه‌شده زمانی مؤثر خواهد بود که نوع بشر کوشش خود را برای تسلط بر طبیعت متوقف کند و به‌جای آن به طبیعت به‌عنوان یک الگو نگاه کند. «اصول هانوفر» باتوجه‌به سه اصل مردم، محیط‌زیست، سود و بهره‌وری پایدار شکل می‌گیرد (شکل ۱) .

شکل ۱: اصول هانوفر باتوجه‌به سه اصل مردم، محیط‌زیست، سود و بهره‌وری پایدار

الف) اصول مرتبط با مردم

- با سهیم شدن در علم و دانش، پیشرفت دائمی حاصل شود و ارتباط باز و گسترده بین همکاران، مشتریان، سازندگان و استفاده‌کنندگان شکل گیرد. این ویژگی مسئولیت اخلاقی را برای توسعهٔ پایدار تقویت کرده و امکان ایجاد ارتباط بین فرایند طبیعی و فعالیت انسانی را فراهم خواهد کرد
- احترام مابین ماده و روح حفظ شود و به پیوستگی بین آگاهی مادی و معنوی اشیا و مکانها توجه شود
- مسئولیت عواقب تصمیمات طراحی در زمینهٔ سعادت و زیست‌پذیری سیستمهای طبیعی و همزیستی موردپذیرش قرار گیرد

ب) اصول مرتبط با محیط‌زیست

- همزیستی بشر و طبیعت همراه با حقوق هر کدام رعایت شود
- بر منابع انرژی طبیعی تکیه شود؛ جهان بشری باید مانند جهان زنده، نیروی ابدی خود را از نیروی ابدی خورشید دریافت کند و این انرژی را مؤثر و ایمن برای استفادهٔ مسئولانه به کار بَرَد
- محدودیتهای طراحی موردپذیرش قرار گیرد. هیچ‌چیز از ساخته‌های دست بشر برای همیشه نمی‌پاید و طراحی همهٔ مشکلات را حل نمی‌کند. کسانی که برنامه‌ریزی می‌کنند یا چیزی را می‌سازند، باید درمقابل طبیعت فروتن و متواضع باشند و طبیعت را به‌مثابه یک مدل و الگو بپذیرند (Mebratu, 1998)

پ) اصول مرتبط با سود و بهره‌وری پایدار

- درک «پیوستگی» با طبیعت که با مدیریت درست در ارتقای کیفی بهره‌وری انجام می‌شود
- حذف زباله‌ها یا ضایعات؛ چرخهٔ زندگی شامل تولیدات و فرایندها با الگو گرفتن از سیستمهای طبیعی، که در آن هیچ‌چیز باطل و زائدی وجود ندارد، بهینه و ارزیابی شود
- اشیاء تعمیرپذیر باشند و برای مصرف طولانی ایجاد شوند تا به نسلهای آینده، مشکلات ناشی از بی‌توجهی به کیفیت محصولات، فرایندها یا استانداردها تحمیل نشود
- امکان استفاده از اجزاء محصولات اسقاطی در سایر محصولات فراهم باشد.

در شکل ۲ به‌روشنی می‌توان سه عامل نام برده به‌علاوهٔ زیرشاخه‌های هر یک و ارتباط آنها با یکدیگر را مشاهده کرد. ملاحظات زیست‌محیطی در طراحی محصولات و توسعهٔ آنها منافع زیادی را

به‌دنبال دارد. از جملهٔ این منافع می‌توان به کاهش هزینه‌ها، افزایش کیفیت محصول، ایجاد فرصتهای جدید کاری و افزایش قدرت رقابتی در بازار اشاره کرد. لازم به ذکر است که شناسایی جنبه‌های زیست‌محیطی یک محصول در طی چرخهٔ عمر خود ساده نیست و پیچیدگیهای خاص خود را دارد. آنچه اهمیت ویژه دارد، توجه به عملکرد زیست‌محیطی محصول در طی دورهٔ استفاده از آن است و بدیهی است که این ملاحظات باید متوازن با سایر عوامل مرتبط با محصول از قبیل عملکرد و کارکرد موردانتظار از آن، ملاحظات ایمنی در محصول، هزینه، بازار، کیفیت و سایر نیازمندیها و الزامات در طراحی محصول موردتوجه قرار گیرند. برای اِعمال ملاحظات زیست‌محیطی در طراحی محصولات یک سازمان، موضوعات کلان زیست‌محیطی لازم است در راهبردها و سیاستهای کاری سازمانها جای بگیرد و نهادینه شود.

شکل ۲: ماتریس توسعهٔ پایدار برگرفته از نظریهٔ ویلیام مک دونو

۳. شیوه‌های آموزشی دانشگاههای برتر دنیا برای حفظ محیط‌زیست

در دانشگاههای مختلف دنیا طی برنامه‌های درسی طراحی محصول رویکرد طراحی پایدار آموزش داده می‌شود. مرکز فعالیتهای طراحی «آر ام آی تی» در ملبورن استرالیا، طراحی پایدار را در برنامه‌های خود

گنجانده است. در اروپا دانشگاه فنّاوری دلف در هلند، درس طراحی پایدار «دی اف اس»[1] را ارائه می‌کند. در انگلستان دانشگاه لافبورو با امکانات خود در مقطع کارشناسی این مفهوم را به دانشجویان طراحی می‌آموزد. در آمریکا انجمن طراحی سبز در کارنگی ملون، پنسیلوانیا و فضای خلاقیت در دانشگاه ایالت آریزونا راهبر این مهم است که به دانشجویان بیاموزد خلق«ارزش افزوده» برای محصول در بازار نیازمند پاسخ به نیازهای حقیقی جامعه و کمینه تأثیرات بر محیط‌زیست است (Bould, Nicola, 2007).

طراحان به‌عنوان اولین حلقه از فرایندی، که سرانجام یک محصول را تعیین می‌کنند، مهمترین بازیگر عرصهٔ خلق محصولات همسو با محیط‌زیست هستند. در نتیجه توجه به طراحی یک محصول از حیث نقطه‌نظراتی، که با شاخصه‌های زیست‌محیطی هماهنگ باشد، برای طراحان بسیار مهم است. در این رابطه، وظیفهٔ طراح توجه به تمام مراحل دورهٔ عمر یک محصول است؛ از تولید یک محصول تا توزیع و استفاده و بازیافت یا تخریب و بازگشت مجدد به محیط‌زیست (Lande and Leifer, 2010) . همانطور که بیان شد یکی از روشهای ذکرشده برای آموزش این مهم به دانشجویان رویکرد طراحی سبز است که برخی ضوابط آن در ادامه آورده شده است:

الف) انرژی: بهره‌وری بهینه از انرژی (در تمام اجزاء فرایند طرح و تولید و استفاده و مرگ محصول) (باقری، ۱۳۹۱).

ب) مواد: قابلیت بازیافت طبق اصول استاندارد بین‌المللی (شکل ۳). اختصاص موادی با کارآیی لازم؛ استفاده از مواد عایق‌کاری در صورت نیاز برای جلوگیری از اتلاف انرژی؛ انتخاب شیوه‌های بهینهٔ تولید؛ کاهش تنوع مواد به‌کاررفته؛ استفاده از مواد بومی و طبیعی؛ خودداری از ترکیب موادی که با هم ناسازگارند؛ خودداری از به‌کارگیری مواد مرکب تا حد امکان؛ درنظرگیری تمییز و تشخیص مواد تشکیل‌دهنده پس از طی دورهٔ عمر محصول برای دمونتاژ (باقری، ۱۳۹۱؛ اصل فلاح، ۱۳۸۳).

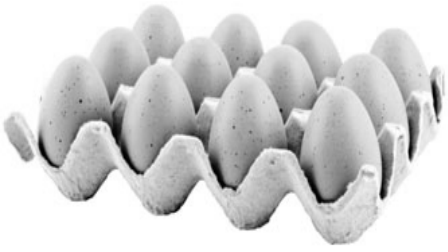
---

1. DFS

شکل ۳: قابلیت بازیافت مثل بازیافت بطریهای پلاستیکی

پ) مونتاژ: اطمینان از قابلیت تعویض قطعات یک مجموعه با هم در طراحی برای تولید مجدد؛ قابلیت تعمیر یا تعویض سادهٔ قطعات؛ امکان تعویض متعلقات فنّاوری بدون تأثیر بر پیکرهٔ کلی محصول؛ امکان به‌روز کردن یک طرح از طریق جابه‌جایی یک یا چند قطعهٔ کلیدی.

ت) پس از مصرف: جلوگیری از هر گونه آلودگی زیست‌محیطی (شکل ۴).



شکل ۴: شانه تخم‌مرغ تهیه‌شده از مقوای بازیافتی برای جلوگیری از آلودگی پس از مصرف

ث) فرم: استفاده از فرم طبیعی و دست‌نخورده مواد و مصالح؛ انتخاب و طراحی پیکره‌های کلاسیک به لحاظ ماندگاری.

ج) سبک: حداقل‌گرایی (مینیمالیسم)؛ تأکید بر قابلیت طراحی بر اساس نیازهای واقعی؛ خودداری از جزئیات غیرکاربردی و صرفاً تزیینی؛ استفاده از طرحهای چندمنظوره (باقری، ۱۳۹۱).

همچنین در رشتهٔ مهندسی مکانیک دانشگاه استنفورد در سال اول مقطع کارشناسی ارشد درسی با نام «خلاقیت طراحی با شرکای شرکت» وجود دارد که بسیار حائز اهمیت است و دانشجویان تجربهٔ بسیار خوبی از کار گروهی در این کلاس به دست می‌آورند. پس از سالها برگزاری این دوره‌ها، شرکتهای مختلف از آن حمایت کرده‌اند. البته مسائل و مشکلات شرکتها به گونه‌ای تعریف می‌شوند که در پایان سال تحصیلی قابل جمع‌بندی باشند و دانشجو سردرگم نماند. ازآنجاکه این پروژه‌ها عملی است، طراحی پایدار هم که با دنیای فیزیکی سروکار دارد در لابه‌لای دوره با اذهان خلاق درگیر می‌شود و دانشجویان سعی در ارائه راه‌حل‌هایی دارند که در آیندهٔ نه چندان دور به نفع بشریت اجرایی باشد (Lande and Leifer, 2010).

در دانشگاه کارنگی ملون مجموعه‌ای از روشها شامل الگوها و مطالعات موردی را برای درک اصول طراحی سبز ارائه داده‌اند تا به طراحی آگاه از محیطی از محصول و روند دست یابند. برخی از این الگوها حتی در دروس تجاری و فنی عمومی هم قابل استفاده هستند. الگوها از نتایج تحقیقات صنعت‌محور در طراحی سبز و بازدارنده از آلودگیها منتج شده‌اند. آنها شامل معرفی طراحی سبز، محاسبهٔ کامل ارزشی، مدیریت زباله‌ها، جابه‌جایی رایانه‌های شخصی، مهندسی معکوس برای طراحی سبز و مدیریت باتریهای قابل‌شارژ و بازیافت هستند. اهداف طراحی سبز عبارت‌اند از کاستن یا به حداقل رساندن استفاده از منابع تجدیدناپذیر، مدیریت منابع تجدیدشدنی برای پایداری و به حداقل رساندن استفاده از مواد سمی. براساس این اهداف، راههای مختلف برای استفاده از انرژیهای کارآمد معرفی می‌شود، مواد سمی و مضر شناسایی شده و در نهایت پروژه‌ای آگاهانه نسبت به محیط‌زیست انجام می‌پذیرد (Hendrickson, Chris, Conway-Schempf and et. al. 2000).

همچنین در جدول ۱ می‌توان نام پنج دانشگاه معتبر دنیا به‌همراه نام درسی با محتوای طراحی سبز و ماهیت آرا ملاحظه کرد.

جدول ۱: نام پنج دانشگاه به‌همراه ارائهٔ درسی با سرفصل طراحی سبز

ردیف	نام دانشگاه	نام درس	ماهیت درس
۱	فلوریدا	Principles of Green Engineering Design	طراحی مهندسی با ملاحظات زیست‌محیطی
۲	برکلی	Green Product Development: Design for Sustainability	مدیریت فرایندهای نوآوری برای محصولات سازگار با محیط‌زیست
۳	واشنگتن	Sustainable Product Design and Development	طراحی مهندسی با ملاحظات زیست‌محیطی و اقتصادی
۴	یل	Green Engineering and Sustainable Design	طراحی مهندسی در جهت پایداری
۵	هاروارد	Sustainable Product Design and the Innovation Ecosystem	طراحی محصول با ملاحظات زیست‌محیطی

۴. شیوهٔ تدوین سرفصل درس طراحی سبز

آنچه دربارهٔ آموزش می‌تواند شرح داده شود در قیاس با آنچه طی خود درسها رخ می‌دهد بسیار ناچیز است. لحن، آهنگ، پیوستگی کلام، مکان و زمان، استعداد ذهنی شاگردان و تمام موقعیتهای دیگری، که جوّی زنده را می‌آفرینند، نمی‌توانند دقیقاً بازساخته شوند. قسمتهایی از آموزش کشفی ـ شهودی است و به خلاقیت و توانایی فردی مربی بازمی‌گردد. در اینجا یک مدل برای تدریس در کلاسهای طراحی ارائه شده است که می‌تواند توجه مربیان را نسبت به برخی امور برانگیزاند، وگرنه تقلید سادهٔ بیرونی و تکرار مداوم شیوه‌ها فاقد نیروی خلاق است. تنها معلم با ذوق و قریحه قادر خواهد بود که در تعلیم و تربیت هر انسانی شگفتی وصف‌ناپذیر وجودش را محترم بشمرد و با زبان خاص هر فرد، آن استعداد را پاس دارد (ایتن، ۱۳۷۲). احترام به شخصیت هر فرد آغاز و انجام هر تعلیم و تربیتی است (تجاره، ۱۳۹۲).

پس از انجام مطالعات در اصول پایداری و روشهای مختلف تدریس طراحی پایدار در دل رشته‌های گوناگون در دانشکده‌های مختلف دنیا سرفصلی برای ۱۶ هفتهٔ کلاسی در طول یک ترم در جدول ۲ آورده شده است، که در شکل ۵ منسجم بودن این سر فصلها به‌منظور دستیابی به اصول توسعهٔ پایدار که همانا سود و بهره‌وری در سهم مردم، توجه به انسانها و زمین است، قابل‌مشاهده است.

شکل ۵: برنامهٔ درسی طی ۱۶ جلسه برای دستیابی به توسعهٔ پایدار

جدول ۲: ۱۶ جلسه مربوط به درس طراحی سبز

جلسه	عنوان جلسه
۱	تعریفهای اولیه و آشنایی با توسعهٔ پایدار
۲	تعریف یک پروژه و مشخص کردن محدوده طراحی بر اساس نیاز انسان و هماهنگ با طبیعت
۳	آشنایی با انرژیهای تجدیدپذیر مرتبط با پروژه
۴	الهام از طبیعت و رفتارشناسی موجودات زنده
۵	آشنایی با مواد قابل‌بازیافت و استاندارد درخصوص پروژه
۶	استفاده از مواد بومی و طبیعی
۷	ارائهٔ رویکرد پایدار مرتبط با پروژه از سوی دانشجویان
۸	بازنگری و اصلاحات
۹	استفاده از طرحهای چندمنظوره در حین کمینه‌گرایی
۱۰	ارزیابی ایده‌های برتر و انتخاب برترین ایده بر اساس بازبینهٔ طراحی پایدار در طول عمر محصول
۱۱	بازنگری
۱۲	جزئیات قابل‌تعمیر و تعویض
۱۳	ساخت پیش‌نمون[1] و در نظر گرفتن تعاملات استفاده‌گر با محصول
۱۴	بازنگری و برگشت به مراحل پیشین در صورت نیاز
۱۵	ارائهٔ نهایی طرح یا ایده
۱۶	ارزیابی ایده

این مطالب باتوجه‌به بستر تفکر پروژه طراحی برای مربیان تنظیم شده است که در آن در فاز اول، کشف موضوع همراه با جمع‌آوری اطلاعات است؛ در فاز دوم تفسیر اطلاعات در راستای یافتن راهکار نوین؛ در فاز سوم ایده‌پردازی دانشجویان قرار می‌گیرد؛ در فاز چهارم آزمایش و تست پیش‌نمون در نظر گرفته شده و در فاز آخر ارائه و ارزیابی نهایی و یا به عبارتی ساخت یک تجربهٔ مفید قرار گرفته است (تجاره، ۱۳۹۲).

۵. رویکرد درس طراحی سبز و شیوهٔ اجرای آن

رویکرد موردنظر در درس طراحی سبز می‌تواند بسته به سیاستهای سازمانی و شرکتی متفاوت باشد. این تفاوتها با اولویت‌بندی ضابطه‌های طراحی ایجاد می‌شود، تاکنون پنج رویکرد کلی با اولویت و محوریت ضابطه‌های مختلف در راستای طراحی پایدار در نظر گرفته شده است:

- اولویت بقای سیستم (همچون ضابطه‌های محیط‌زیستی و اجتماعی)؛

---

۱. معادل مصوب فرهنگستان برای واژهٔ «پروتوتایپ»

- اولویت محصول و نتیجهٔ مطلوب از سیستم (محصول‌محور؛ همچون ضابطه‌هایی برای در نظر گرفتن محصولی که نیاز انسان را با حداقل مواد برآورده می‌کند)؛
- اولویت روند مطلوب در سیستم (روندمحور؛ همچون ضابطه‌هایی برای به حداقل رساندن فرایند تولید برای رسیدن به محصول موردنظر)؛
- اولویت اقدامات و تأثیرات سیستم بر محیط (تأثیرمحور؛ همچون در نظر گرفتن ضابطه‌هایی برای استفاده حداقل انرژی، ابزارهایی برای پایش[۱] همچون الهام از طبیعت مثل ضابطه‌هایی که از بیومیمیکری یاد گرفته می‌شوند (Robe, Schmidt-Bleek, Aloisi de Larderel and et. al. 2002).

باتوجه‌به موضوعات مطرح‌شده از سوی دانشجویان ممکن است در هر پروژه‌ای یکی از این رویکردها پررنگ‌تر از بقیه باشد و نیز زمان محدود کلاسی، آن رویکرد برای نایل شدن سریع‌تر دانشجو به طراحی پایدار در نظر گرفته شود. سرفصل مطرح‌شده در جدول ۲ بر اساس روندی که یک طراح در فرایند طراحی محصول انجام می‌دهد، انتخاب شده است؛ با این ویژگی که محصول طراحی‌شده با مسائل زیست‌محیطی تطابق داشته باشد. به این ترتیب، دانشجو بر اساس نوع مسئله قادر است روند صحیحی برای یافتن راه‌حل مناسب با ویژگیهای زیست‌محیطی طی کند. شیوهٔ اجرا به این صورت است که ابتدا پس از آشنایی دانشجویان با موضوع درس و تعاریف پایه‌ای، هر یک باتوجه‌به توانمندیها و علایق یکدیگر به صورت انفرادی یا گروهی برای انجام پروژه اقدام می‌کنند و از آنها خواسته شود در طول هفتهٔ آتی بر روی نیازهایی، که در جامعه مشاهده می‌کنند، تمرکز کرده و موضوعات پیشنهادی را روی یک برگه یادداشت کنند.

در جلسهٔ دوم موضوعات در کلاس مطرح شده و به بحث گذاشته می‌شوند. سپس مدرس موضوع برتر و مناسب را برای هر گروه تأیید می‌کند و پروژه آغاز می‌شود؛ در جلسهٔ سوم انرژیهای تجدیدپذیر مرتبط با موضوعات دانشجویان معرفی می‌شوند؛ در جلسهٔ چهارم روشهای استفاده از بیومیمیکری به دانشجویان معرفی می‌شوند؛ در جلسات پنجم و ششم موضوع استفاده از مواد مناسب، قابل‌بازیافت و بومی برای پروژه‌ها مطرح می‌شود؛ در جلسهٔ هفتم گروهها موظف به ارائهٔ رویکرد پایدار موردنظر باتوجه‌به موضوع پروژه هستند؛ در جلسهٔ هشتم روند بازنگری و اصلاحات مرتبط تا این نقطه از انجام پروژه، نهایی می‌شود. هم‌اکنون اطلاعات سودمندی توسط دانشجویان گردآوری شده و دانشجویان با یک زمینهٔ فکری مناسب قادر به ایده‌پردازی هستند؛ لذا در جلسهٔ نهم ایده‌هایی، که در راستای پاسخ‌گویی به مشکل یا نیاز مطرح‌شده در بستر مطالعات طراحی پایدار شکل گرفته‌اند، ارائه می‌شود. در این مرحله امتیاز بیشتر به طرحهایی تعلق می‌گیرد که توانسته‌اند با کمترین امکانات بیشترین

---

۱ . معادل مصوب فرهنگستان برای واژهٔ « مانیتورینگ»

کارایی را داشته باشند؛ در جلسهٔ دهم چرخهٔ عمر محصول موردبررسی قرار می‌گیرد و مشکلات شناسایی می‌شوند؛ در جلسهٔ یازدهم اصلاحات انجام می‌شوند؛ در جلسه دوازدهم جزئیات طرح مشخص می‌شود، در این جلسه استفاده از قطعاتی که قابل تعمیر و تعویض باشند در اولویت قرار می‌گیرند و در جلسهٔ سیزدهم پیش‌نمون موضوع ساخته می‌شود و محصول در ارتباط با استفاده‌گران قرار می‌گیرد، سپس ایرادهای احتمالی دوباره شناسایی می‌شود و موردتوجه تیم طراحی قرار می‌گیرد تا ارائهٔ نهایی به بهترین شکل انجام پذیرد.

چنانچه گفته شد روش ارائه‌شده یک روش باز است که در آن اجازهٔ تعامل دانشجو با موضوعات به نحوی است که بتوانند با خلاقیت هرچه‌بیشتر به حل مشکل بپردازند اما در هر جلسه نکاتی به آنها یادآوری می‌شود که ضمن خلاقیت از مسیر اصلی هم دور نشوند و طراحی را در راستای اصول طراحی پایدار نگه دارند. رویکردهای مختلف به‌صورت ضمنی در هر جلسه مطرح می‌شود اما دانشجویان باتوجه‌به امکانات موجود در موضوع مدنظر یک رویکرد را در اولویت قرار می‌دهند و حتی‌الامکان سعی در استفاده از دیگر رویکردها را نیز دارند.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

در طراحی یک محصول با ویژگیهای طراحی پایدار تمام سعی یک طراح باید بر این اساس باشد که مختصات زیست‌محیطی محصول را در طول تمام مراحل تولید، استفاده، توزیع، بازیافت و تخریب محصول همواره بررسی کند و مطمئن باشد که طرحش در مسیر انطباق با این اصول و شاخصها قرار دارد. اصولی همچون کاهش تنوع مواد، کاهش مصرف انرژی، قابلیت بازاستفاده، قابلیت بازیافت و تفکیک اجزا، قابلیت تعمیر، کاهش مواد و ارتقای کیفیت مواد و غیره همه چارچوبهایی هستند که طراحان ناگزیرند تا در طرحهای خود آنها را لحاظ کنند. بدیهی است با پیشرفت فنّاوری و علوم روز، اصول مذکور هم می‌توانند متناسب با شیوه‌های جدید و نیازهای اجتماعی و زیست‌محیطی تغییر یابد. فلسفهٔ طراحی پایدار، پشتیبان و مشوقِ نگرشها و تصمیم‌هایی است که در هر مرحله از طراحی، ساخت و سپس مصرف، تأثیرات منفی بر محیط‌زیست و سلامت استفاده‌کنندگان را نیز در نظر گرفته باشد. ما هم در این مقاله بر آن شدیم تا با استفاده از اصول طراحی پایدار، سرفصل درس طراحی سبز را برای دانشجویان این مرزوبوم تنظیم کنیم که در طی شانزده هفتهٔ کلاسی و در طول یک ترم توسط مربیان گرانقدر سرزمینمان درس داده شود تا بتوانیم آیندهٔ بهتری را برای تولیدات داخلی ایران رقم بزنیم و دانشجویان را به سمت آینده‌نگری در طرحها و ایده‌هایشان سوق دهیم.

مراجع

ایتن، یوهانس (۱۳۷۲). *طرح و شکل*. ترجمه پیروز سیار. تهران: سروش.

ارجمند، مهدی و دانشفر، محمدامین(۱۳۹۲). بررسی ضعف دانشجویان دورهٔ کارشناسی رشتهٔ مهندسی شیمی در یادگیری درس موازنه مواد و انرژی (مطالعه موردی دانشکده مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد گچساران). *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*. ۱۵(۵۸) ،۱۱۱-۱۰۱

اصل فلاح، مهدی (۱۳۸۳). طراحی سبز، زندگی سبز. *دستاورد*، ۱۰(۱۹)، ۲۳.

باقری، ابراهیم (۱۳۹۱). پایداری و شیوه های طراحی پایدار. *دستاورد*،۲۲(۳۱)، ۸.

تجاره، ساراسادات(۱۳۹۲). تفکر پروژه‌ای برای مربیان. *فصلنامه تحلیلی پژوهشی*، چهار باغ. ۵(۱۲)، ۲۰.

حجازی، جلال و غفاری، محمدمهدی (۱۳۸۴). ارکان نظام آموزشی مهندسی. *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*. ۷(۲۸)، ۱۳۴-۹۴.

علینقی‌زاده، مهدی، افشاری، محسن و کیخاه، همتعلی (۱۳۹۲). قوانین طراحی پایدار یکی از پایه‌های اصلی معماری سبز. *نشریه فنی ـ تخصصی سازمان نظام مهندسی ساختمان استان اصفهان*. ۲۳(۳)، ۶۹ ـ ۶۴ .

غفاری، محمدمهدی و ظهور، حسن (۱۳۹۳). چشم‌انداز جهانی چالشهای آموزش و پژوهش مهندسی و توسعهٔ پایدار. *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*، ۱۶(۶۳)، ۲۴-۱۱.

قیابکلو، زهرا (۱۳۹۳). *تنظیم شرایط محیطی*. تهران: جهاد دانشگاهی واحد صنعتی امیرکبیر.

کارآموز، محمد و نظیف، سارا (۱۳۸۸). آموزش مهندسی با نگاه به محیط‌زیست: توسعهٔ هالیستیک. *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*. ۱۱(۴۳)، ۲۸-۱۳.

محمدی، مهدی و عزیزپور، فهیمه (۱۳۹۲). ارزیابی تناسب برنامه درسی تدوین‌شدهٔ زیست‌محیطی در رشته‌های مهندسی عمران، معماری و کشاورزی با معیارهای توسعهٔ پایدار زیست‌محیطی. *فصلنامه آموزش مهندسی ایران*. ۱۵(۵۹)،۹۴-۷۵.

ملکی‌نیا، عماد، بازرگان، عباس، واعظی، مظفرالدین و احمدیان، مجید (۱۳۹۳). شناسایی و اولویت‌بندی مؤلفه‌های دانشگاه پایدار. *فصلنامه پژوهش و برنامه‌ریزی در آموزش عالی*، ۲۰(۳)، ۲۶-۳.

Bould, Nicola L. (2007). Sustainable design education: students take charge of creating a clean, green university, Design studies. *Education for Sustainability*.

Curl M. R. M. and Diehl J. C. (2007). Design for sustainability a practical approach for developing economics. Delft University of Technology.

Diehl J. C, Boks C., and Wever R. (2006). Sustainable product design engineering and management education for industrial design engineering. *13th Cirp International Conference on Life Cycle Engineering*.

Grasso, D. Burkins, M.B., Helble, J. and Martinelli, D. (2008). Dispelling the myths of holistic engineering. *The Magazine of Professional Engineers*, 6(15)27-29,

Green engineering and sustainable design syllabus: http://environment.yale.edu/courses /detail/885/

Green product development: Design for sustainability, syllabus: http://www.me.berkeley. edu/sites /default/files/graduate/current-syllabi/ME290H.pdf

harvard.edu/academics/courses/sustainable-product-design-innovation-ecosystem/14518

Hendrickson, Chris, Conway-Schempf, Noellette, Scott Matthews, H. and McMichael, F.C. (2000). Green design educational modules and case studies. *Proceedings of the American Society of Engineering Education Conference*.

Lande, M., and Leifer, L. (2010). Difficulties student engineers face designing the future. *International Journal of Engineering Education*, 26(2), 271-277.

Mader, Sylvia S. (2004). Biology. *Mc Graw Hill*, 8th edition, New York.

McDonough W. (2000). *The Hannover principles design for sustainability*. Prepared for EXPO, The World's Fair Hannover, Germany.

Mebratu, D. (1998). Sustainability and sustainable development: Historical and conceptual review*, Elsevier Impact Assesrev,* 18, 493-520.

Robe, K.-H., Schmidt-Bleek, B., Aloisi de Larderel, J. , Basile, G., Jansen, J.L. , Kuehr, R., Thomas, P. Price, Suzuki, M., Hawken, P. and M. Wackernagel (2002). Strategic sustainable development-selection, design and synergies of applied tools. *Journal of Cleaner Production* 10.197-212.

Principles of green engineering design, syllabus: http://www.ufedge. ufl.edu/ docs /syllabi/EN V6932%20-%20Wallace.pdf.

Sustainable product design and development, syllabus: http://foster.uw.edu/wp-content /uploads/2015/04/MGMT579_SustainProduct_SUM14.pdf.

Sustainable product design and the innovation ecosystem, syllabus: https://www.extension.

United Nations Conference on Environment and Development(1992). Agenda 21: Earth summit – united nations program of action from Rio, Retrieved from http://www.un.org.