



## مهندسی پایداری

(کارشناسی ارشد مکانیزاسیون کشاورزی)

دکتر محسن سلیمانی      دکتر گل محمد خوب بخت

دکتر عباس عساکره

امروزه کتاب‌خوانی و علم‌آموزی، نه تنها یک وظیفه‌ی ملی، که یک واجب دینی است.

#### مقام معظم رهبری

در عصر حاضر یکی از شاخصه‌های ارزیابی رشد، توسعه و پیشرفت فرهنگی هر کشوری میزان تولید کتاب، مطالعه و کتاب‌خوانی مردم آن مرز و بوم است. ایران اسلامی نیز از دیرباز تاکنون با داشتن تمدنی چندهزارساله و مراکز متعدد علمی، فرهنگی، کتابخانه‌های معتبر، علما و دانشمندان بزرگ با آثار ارزشمند تاریخی، سرآمد دولت‌ها و ملت‌های دیگر بوده و در عرصه‌ی فرهنگ و تمدن جهانی به‌سان خورشیدی تابناک همچنان می‌درخشد و با فرزندان نیک‌نهاد خویش هنرنمایی می‌کند. چه کسی است که در دنیا با دانشمندان فرزانه و نام‌آور ایرانی همچون ابوعلی سینا، ابوریحان بیرونی، فارابی، خوارزمی و ... همچنین شاعران برجسته‌ای نظیر فردوسی، سعدی، مولوی، حافظ و ... آشنا نباشد و در مقابل عظمت آنها سر تعظیم فرود نیاورد. تمامی این افتخارات ارزشمند، برگرفته از میزان عشق و علاقه فراوان ملت ما به فراگیری علم و دانش از طریق خواندن و مطالعه منابع و کتاب‌های گوناگون است. به شکرانه‌ی الهی، تاریخ و گذشته ما، همیشه درخشان و پربار است. ولی اکنون در این زمینه در چه جایگاهی قرار داریم؟ آمار و ارقام ارائه‌شده از سوی مجامع و سازمان‌های فرهنگی در مورد سرانه‌ی مطالعه‌ی هر ایرانی، برایمان چندان امیدوارکننده نمی‌باشد و رهبر معظم انقلاب اسلامی نیز از این وضعیت بارها اظهار گله و ناخشنودی نموده‌اند.

کتاب، دروازه‌ای به سوی گستره‌ی دانش و معرفت است و کتاب خوب، یکی از بهترین ابزارهای کمال بشری است. همه‌ی دستاوردهای بشر در سراسر عمر جهان تا آنجا که قابل کتابت بوده است، در میان دست‌نوشته‌هایی است که انسان‌ها پدید آورده و می‌آورند. در این مجموعه‌ی بی‌نظیر، تعالیم الهی، درس‌های پیامبران به بشر، و همچنین علوم مختلفی است که سعادت بشر بدون آگاهی از آنها امکان‌پذیر نیست. کسی که با دنیای زیبا و زندگی‌بخش کتاب ارتباط ندارد بی‌شک از مهم‌ترین دستاوردهای انسانی و نیز از بیشترین معارف الهی و بشری محروم است. با این دیدگاه، به‌روشنی می‌توان ارزش و مفهوم رمزی عمیق در این حقیقت تاریخی را دریافت که اولین خطاب خداوند متعال به پیامبر گرامی اسلام (ص) این است که «بخوان!» و در اولین

سوره‌ای که بر آن فرستاده‌ی عظیم‌الشان خداوند، فرود آمده، نام «قلم» به تجلیل یاد شده‌است: «اقْرَأْ وَ رَبُّكَ الْأَكْرَمُ. الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ» در اهمیت عنصر کتاب برای تکامل جامعه‌ی انسانی، همین بس که تمامی ادیان آسمانی و رجال بزرگ تاریخ بشری، از طریق کتاب جاودانه مانده‌اند.

دانشگاه پیام‌نور با گستره‌ی جغرافیایی ایران‌شمول خود با هدف آموزش برای همه، همه‌جا و همه‌وقت، به‌عنوان دانشگاهی کتاب‌محور در نظام آموزش عالی کشورمان، افتخار دارد جایگاه اندیشه‌سازی و خردورزی بخش عظیمی از جوانان جویای علم این مرز و بوم باشد. تلاش فراوانی در ایام طولانی فعالیت این دانشگاه انجام پذیرفته تا با بهره‌گیری از تجربه‌های گرانقدر استادان و صاحب‌نظران برجسته کشورمان، کتاب‌ها و منابع آموزشی درسی شاخص و خودآموز تولید شود. در آینده هم، این مهم با هدف ارتقای سطح علمی، روزآمدی و توجه بیشتر به نیازهای مخاطبان دانشگاه پیام‌نور با جدیت ادامه خواهد داشت. به‌طور قطع استفاده از نظرات استادان، صاحب‌نظران و دانشجویان محترم، ما را در انجام این وظیفه‌ی مهم و خطیر یاری‌رسان خواهد بود. پیشاپیش از تمامی عزیزانی که با نقد، تصحیح و پیشنهادهای خود ما را در انجام این وظیفه‌ی خطیر یاری می‌رسانند، سپاسگزاری می‌نماییم. لازم است از تمامی اندیشمندانی که تاکنون دانشگاه پیام‌نور را منزلگاه اندیشه‌سازی خود دانسته و ما را در تولید کتاب و محتوای آموزشی درسی یاری نموده‌اند، صمیمانه قدردانی گردد. موفقیت و بهروزی تمامی دانشجویان و دانش‌پژوهان عزیز آرزوی همیشگی ما است.

دانشگاه پیام‌نور

## فهرست مطالب

|                                                                 |       |
|-----------------------------------------------------------------|-------|
| پیشگفتار .....                                                  | سیزده |
| فصل اول. مقدمه‌ای بر اصول مهندسی پایداری .....                  | ۱     |
| هدف کلی .....                                                   | ۱     |
| هدف‌های یادگیری .....                                           | ۱     |
| مقدمه .....                                                     | ۱     |
| ۱-۱ اصول .....                                                  | ۶     |
| ۲-۱ هدف‌ها و ساختار کتاب .....                                  | ۷     |
| ۳-۱ توضیحات پایانی .....                                        | ۷     |
| خلاصه فصل اول .....                                             | ۸     |
| خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل اول .....                            | ۸     |
| منابع .....                                                     | ۹     |
| فصل دوم. دوازده اصل مهندسی سبز به‌عنوان اصول پایه پایداری ..... | ۱۱    |
| هدف کلی .....                                                   | ۱۱    |
| هدف‌های یادگیری .....                                           | ۱۱    |
| مقدمه .....                                                     | ۱۱    |
| ۱-۲ مهندسی سبز چیست؟ .....                                      | ۱۳    |
| ۱-۱-۲ هشدارهای مهم .....                                        | ۱۴    |
| ۲-۲ ارزیابی اصل به اصل .....                                    | ۱۵    |
| خلاصه فصل دوم .....                                             | ۳۶    |
| خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل دوم .....                            | ۳۷    |
| منابع .....                                                     | ۳۸    |

|                                                                                                    |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| فصل سوم. چه زمانی یک زباله، واقعاً زباله نیست؟.....                                                | ۴۱ |
| هدف کلی.....                                                                                       | ۴۱ |
| هدف‌های یادگیری.....                                                                               | ۴۱ |
| مقدمه.....                                                                                         | ۴۱ |
| ۱-۳ حذف مفهوم زباله.....                                                                           | ۴۳ |
| ۱-۱-۳ فرایندهای بی‌نیاز از حلال.....                                                               | ۴۴ |
| ۲-۱-۳ خودجداشووندگی.....                                                                           | ۴۵ |
| ۳-۱-۳ تشدید فرایند.....                                                                            | ۴۷ |
| ۴-۱-۳ رسوب مواد.....                                                                               | ۴۹ |
| ۵-۱-۳ روکش‌ها (آغشته‌سازی، پاشش).....                                                              | ۴۹ |
| ۲-۳ استفاده از زباله به‌عنوان ورودی فرایند دیگر.....                                               | ۵۰ |
| ۱-۲-۳ بازیافت یک زباله جهت مادهٔ خام فرایند بعدی، در فرایند.....                                   | ۵۱ |
| ۱-۱-۲-۳ اکسید نیتروژن ( $N_2O$ ) از فرایند تولید ادیپیک اسید به‌عنوان ماده اولیه در تولید فتل..... | ۵۲ |
| ۲-۲-۳ بازیافت زباله به‌عنوان یک مادهٔ خام، در یک سازمان.....                                       | ۵۳ |
| ۱-۲-۲-۳ مواد سازندهٔ فرش‌ها در پایان عمر مفید آن‌ها به‌عنوان مواد خام اولیه در تولید فرش.....      | ۵۴ |
| ۳-۲-۳ گرمای تولیدشده از ترمز خودرو جهت شارژ باتری.....                                             | ۵۵ |
| ۳-۳ بازیافت هدررفت به‌عنوان مادهٔ خام فرایند بعدی، فراتر از مرزهای سازمانی.....                    | ۵۶ |
| ۱-۳-۳ پوست خرچنگ به‌عنوان مادهٔ خام در تولید کیتین و محصولات کیتوزانی.....                         | ۵۶ |
| ۲-۳-۳ روغن‌های زاید آشپزخانه به‌عنوان منبع تولید بیودیزل.....                                      | ۵۷ |
| خلاصهٔ فصل سوم.....                                                                                | ۵۹ |
| خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل سوم.....                                                                | ۶۰ |
| منابع.....                                                                                         | ۶۰ |
| فصل چهارم. معیارهای پایداری براساس چرخهٔ حیات.....                                                 | ۶۳ |
| هدف کلی.....                                                                                       | ۶۳ |
| هدف‌های یادگیری.....                                                                               | ۶۳ |
| مقدمه.....                                                                                         | ۶۴ |
| ۱-۴ ارزیابی چرخهٔ حیات.....                                                                        | ۶۶ |
| ۲-۴ استانداردهای ایزو (ISO)، برای LCA.....                                                         | ۶۶ |
| ۳-۴ تعریف هدف‌های و حوزهٔ مطالعه.....                                                              | ۶۷ |
| ۴-۴ سیاهه‌نویسی چرخهٔ حیات.....                                                                    | ۶۸ |
| ۱-۴-۴ فرایند جمع‌آوری داده‌ها.....                                                                 | ۶۹ |
| ۲-۴-۴ مطالعهٔ موردی: سیاهه‌نویسی چرخهٔ حیات برای یک سامانهٔ پیچیده: یک خودروی معمولی               |    |
| در آمریکای شمالی.....                                                                              | ۷۱ |
| ۵-۴ ارزیابی اثرات.....                                                                             | ۷۳ |
| ۶-۴ تفسیر.....                                                                                     | ۸۱ |

|         |                                                           |     |
|---------|-----------------------------------------------------------|-----|
| ۷-۴     | ارزیابی انرژی چرخه حیات                                   | ۸۲  |
| ۱-۷-۴   | ارزیابی انرژی چرخه حیات فناوری‌های انرژی: نسبت انرژی خالص | ۸۳  |
| ۸-۴     | ارزیابی هزینه چرخه حیات                                   | ۸۵  |
| ۹-۴     | بهینه‌سازی چرخه حیات                                      | ۹۲  |
| ۱۰-۴    | شاخص‌های پایداری چرخه حیات                                | ۹۵  |
| ۹۸      | خلاصه فصل چهارم                                           |     |
| ۱۰۱     | خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل چهارم                          |     |
| ۱۰۲     | منابع                                                     |     |
| ۱۰۷     | فصل پنجم. ارزیابی چرخه حیات در کشاورزی                    |     |
| ۱۰۷     | هدف کلی                                                   |     |
| ۱۰۷     | هدف‌های یادگیری                                           |     |
| ۱۰۸     | مقدمه                                                     |     |
| ۱-۵     | ارزیابی انرژی چرخه حیات                                   |     |
| ۱-۱-۵   | شکل‌های مختلف انرژی در کشاورزی                            | ۱۰۹ |
| ۲-۱-۵   | هم‌ارز انرژی                                              | ۱۱۰ |
| ۳-۱-۵   | نهادهای انرژی در نظام‌های تولیدی کشاورزی                  | ۱۱۰ |
| ۱-۳-۱-۵ | انرژی نیروی انسانی (کارگری)                               | ۱۱۰ |
| ۲-۳-۱-۵ | انرژی سوخت، روغن و الکتریسیته                             | ۱۱۱ |
| ۳-۳-۱-۵ | انرژی ابزار، ماشین‌ها و ادوات                             | ۱۱۳ |
| ۴-۳-۱-۵ | بذر                                                       | ۱۱۴ |
| ۵-۳-۱-۵ | انرژی کودها، سموم و علف‌کش‌ها                             | ۱۱۵ |
| ۴-۱-۵   | تخصیص انرژی و اثرات زیست‌محیطی به محصولات جانبی           | ۱۱۷ |
| ۵-۱-۵   | شاخص‌های انرژی                                            | ۱۲۱ |
| ۱-۵-۱-۵ | نسبت (بازده) انرژی                                        | ۱۲۱ |
| ۲-۵-۱-۵ | محتوای انرژی خالص (NEV)                                   | ۱۲۲ |
| ۳-۵-۱-۵ | بهره‌وری انرژی (EP)                                       | ۱۲۳ |
| ۴-۵-۱-۵ | نسبت انرژی فسیلی (FER)                                    | ۱۲۳ |
| ۲-۵     | ارزیابی چرخه حیات انتشار گازهای گلخانه‌ای                 | ۱۲۴ |
| ۱-۲-۵   | اثر گلخانه‌ای                                             | ۱۲۴ |
| ۲-۲-۵   | گازهای گلخانه‌ای                                          | ۱۲۵ |
| ۳-۲-۵   | پتانسیل گرمایش جهانی (GWP)                                | ۱۲۷ |
| ۴-۲-۵   | ارزیابی چرخه حیات انتشار گازهای گلخانه‌ای                 | ۱۲۷ |
| ۵-۲-۵   | مدل‌های LCA                                               | ۱۲۹ |
| ۱-۵-۲-۵ | بیز (BEES)                                                | ۱۳۰ |
| ۲-۵-۲-۵ | گبی                                                       | ۱۳۰ |

|     |                                                                   |
|-----|-------------------------------------------------------------------|
| ۱۳۰ | ..... گمیس (GEMIS) ۳-۵-۲-۵                                        |
| ۱۳۱ | ..... جی اچ جیوس ۴-۵-۲-۵                                          |
| ۱۳۲ | ..... گریٹ (GREET) ۵-۵-۲-۵                                        |
| ۱۳۲ | ..... لم (LEM) ۶-۵-۲-۵                                            |
| ۱۳۳ | ..... سیماپرو ۷-۵-۲-۵                                             |
| ۱۳۳ | ..... بیوگریس ۸-۵-۲-۵                                             |
| ۱۳۴ | ..... خلاصه فصل پنجم                                              |
| ۱۳۴ | ..... خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل پنجم                             |
| ۱۳۵ | ..... منابع                                                       |
| ۱۴۵ | ..... فصل ششم. ارزیابی چرخه حیات با استفاده از مدل سیماپرو        |
| ۱۴۵ | ..... هدف کلی                                                     |
| ۱۴۵ | ..... هدف‌های یادگیری                                             |
| ۱۴۵ | ..... مقدمه                                                       |
| ۱۴۶ | ..... ۱-۶ درس اول مقدمه عمومی                                     |
| ۱۴۶ | ..... ۱-۱-۶ مسئله                                                 |
| ۱۴۶ | ..... ۲-۱-۶ استفاده از ویزارد از پیش تعریف شده                    |
| ۱۴۷ | ..... ۳-۱-۶ استفاده از رابط کاربری استاندارد                      |
| ۱۴۷ | ..... ۱-۳-۱-۶ قدم اول: بررسی هدف و حوزه مطالعه                    |
| ۱۴۷ | ..... ۲-۳-۱-۶ قدم دوم: بررسی فرایندها در پایگاه داده              |
| ۱۴۸ | ..... ۳-۳-۱-۶ قدم سوم: بررسی پروفایل زیست محیطی یک محصول          |
| ۱۴۹ | ..... ۴-۳-۱-۶ قدم چهارم: ایجاد یک شبکه فرایندی                    |
| ۱۵۱ | ..... ۵-۳-۱-۶ قدم پنجم: ارزیابی چرخه حیات کامل                    |
| ۱۵۱ | ..... ۶-۳-۱-۶ قدم ششم: مقایسه دو محصول در مرحله تولید             |
| ۱۵۲ | ..... ۶-۳-۱-۶ قدم هفتم: مقایسه چرخه‌های حیات                      |
| ۱۵۴ | ..... ۸-۳-۱-۶ قدم هشتم: اجرای آنالیز حساسیت بر روی فرضیات جایگزین |
| ۱۵۴ | ..... ۹-۳-۱-۶ قدم نهم: بررسی یا انتخاب یک روش                     |
| ۱۵۵ | ..... ۱۰-۳-۱-۶ قدم دهم: بررسی بخش تفسیر                           |
| ۱۵۵ | ..... ۲-۶ درس دوم، الف) ورود فرایندهای تولید                      |
| ۱۵۵ | ..... ۱-۲-۶ مقدمه                                                 |
| ۱۵۶ | ..... ۲-۲-۶ آماده‌سازی برای ورود داده                             |
| ۱۵۶ | ..... ۱-۲-۲-۶ شروع با نسخه سیماپروی ثبت شده                       |
| ۱۵۶ | ..... ۲-۲-۲-۶ شروع با نسخه دمو سیماپرو                            |
| ۱۵۶ | ..... ۳-۲-۶ شروع پروژه مثال خوب                                   |
| ۱۵۷ | ..... ۱-۳-۲-۶ هدف و حوزه                                          |
| ۱۵۸ | ..... ۴-۲-۶ ورود داده فرایند ۱: قطع درخت                          |

|     |                                                         |
|-----|---------------------------------------------------------|
| ۱۵۹ | ۱-۴-۲-۶ ورود خروجی‌های فرایند (محصولات)                 |
| ۱۵۹ | ۲-۴-۲-۶ ورود ورودی‌ها                                   |
| ۱۶۰ | ۳-۴-۲-۶ ورودی‌های از منابع طبیعی                        |
| ۱۶۱ | ۴-۴-۲-۶ داده‌های فضای تکنیکی (مواد/ سوخت‌ها)            |
| ۱۶۲ | ۵-۴-۲-۶ ورود انتشارات و دیگر خروجی‌ها                   |
| ۱۶۳ | ۵-۲-۶ بازخورد سریع، بازرسی درخت یا شبکه                 |
| ۱۶۴ | ۶-۲-۶ ثبت نهایی یک فرایند (پرونده‌سازی)                 |
| ۱۶۵ | ۱-۶-۲-۶ ذخیره داده‌ها                                   |
| ۱۶۶ | ۷-۲-۶ فرایند اره‌برقی (الوار)                           |
| ۱۶۶ | ۸-۲-۶ توصیف خروجی‌ها، نوع مواد زاید و روند تخصیص        |
| ۱۶۸ | ۹-۲-۶ اضافه کردن برق، حمل و نقل و انتشارات              |
| ۱۶۹ | ۱۰-۲-۶ تشکیل شبکه درختی                                 |
| ۱۷۱ | ۱۱-۲-۶ ثبت نهایی                                        |
| ۱۷۱ | ۳-۶ درس دوم، ب) ورود تیمارهای ضایعات و سناریوهای ضایعات |
| ۱۷۱ | ۱-۳-۶ مقدمه                                             |
| ۱۷۴ | ۲-۳-۶ رکورد تیمار ضایعات برای لندفیل                    |
| ۱۷۶ | ۳-۳-۶ مدل‌سازی اثرات سوختن روباز                        |
| ۱۷۸ | ۴-۳-۶ سناریوهای ضایعات                                  |
| ۱۷۸ | ۱-۴-۳-۶ سناریوی ضایعات برای لندفیل                      |
| ۱۸۰ | ۲-۴-۳-۶ سناریوی ضایعات برای سوزاندن سرباز               |
| ۱۸۰ | ۳-۴-۳-۶ سناریوی ضایعات برای تفکیک جریان ضایعات          |
| ۱۸۲ | ۴-۶ درس دوم، ج) ورود چرخه حیات کامل یک محصول            |
| ۱۸۲ | ۱-۴-۶ مقدمه                                             |
| ۱۸۲ | ۲-۴-۶ مرحله تولید اسمبلی (Assembly product stage)       |
| ۱۸۳ | ۱-۲-۴-۶ مشاهده شبکه                                     |
| ۱۸۴ | ۲-۲-۴-۶ چرخه حیات محصول                                 |
| ۱۸۶ | ۳-۲-۴-۶ مشاهده ساختار فرایند                            |
| ۱۸۶ | ۵-۶ درس دوم، د) ارزیابی برخی از نتایج                   |
| ۱۸۶ | ۱-۵-۶ نتایج سیاهه‌نویسی (LCI)                           |
| ۱۸۷ | ۲-۵-۶ نتایج ارزیابی اثر (LCIA)                          |
| ۱۸۹ | ۱-۲-۵-۶ مشاهده شبکه کامل                                |
| ۱۹۰ | ۲-۲-۵-۶ بررسی جزئیات                                    |
| ۱۹۱ | منابع                                                   |
| ۱۹۳ | فصل هفتم. مبانی اقتصادی و اصول سرمایه‌گذاری             |
| ۱۹۳ | هدف کلی                                                 |
| ۱۹۳ | هدف‌های یادگیری                                         |

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| مقدمه .....                                                                 | ۱۹۳ |
| ۱-۷ تولید .....                                                             | ۱۹۴ |
| ۲-۷ تابع تولید .....                                                        | ۱۹۴ |
| ۱-۲-۷ انواع توابع تولیدی با یک نهاده متغیر .....                            | ۱۹۵ |
| ۱-۲-۷-۱ توابع تولیدی خطی (بازده ثابت) .....                                 | ۱۹۵ |
| ۲-۱-۲-۷ توابع تولیدی با بازده افزایشی .....                                 | ۱۹۶ |
| ۳-۱-۲-۷ توابع تولید با بازده کاهششی .....                                   | ۱۹۷ |
| ۳-۷ تولید کل .....                                                          | ۱۹۸ |
| ۴-۷ تولید نهایی .....                                                       | ۱۹۸ |
| ۵-۷ تولید متوسط .....                                                       | ۱۹۸ |
| ۶-۷ قانون بازده نزولی یا نسبت‌های متغیر .....                               | ۱۹۹ |
| ۷-۷ نواحی تولید .....                                                       | ۲۰۰ |
| ۱-۷-۷ ناحیه اول .....                                                       | ۲۰۰ |
| ۲-۷-۷ ناحیه دوم .....                                                       | ۲۰۱ |
| ۳-۷-۷ ناحیه سوم .....                                                       | ۲۰۱ |
| ۸-۷ ارزش تولید کل .....                                                     | ۲۰۲ |
| ۹-۷ ارزش تولید نهایی .....                                                  | ۲۰۲ |
| ۹-۷ ارزش تولید متوسط .....                                                  | ۲۰۲ |
| ۱۰-۷ مقدار مصرف نهاده .....                                                 | ۲۰۳ |
| ۱۲-۷ نحوه تخصیص یک نهاده متغیر در تولید چند محصول، جهت کسب بیشینه سود ..... | ۲۰۵ |
| ۱-۱۲-۷ منحنی امکانات تولیدی .....                                           | ۲۰۵ |
| ۱-۱۲-۷ نرخ جایگزینی نهایی .....                                             | ۲۰۵ |
| ۲-۱-۱۲-۷ انواع منحنی‌های امکانات تولیدی .....                               | ۲۰۶ |
| ۲-۱۲-۷ سود بیشینه در تولید دو محصول با یک نهاده متغیر .....                 | ۲۰۸ |
| ۳-۱۲-۷ تخصیص یک نهاده به تولید چندین محصول .....                            | ۲۰۸ |
| ۴-۱۲-۷ تولید چندین محصول با چندین نهاده متغیر .....                         | ۲۰۹ |
| ۱۳-۷ هزینه‌های تولید .....                                                  | ۲۰۹ |
| ۱-۱۳-۷ هزینه‌های آشکار و هزینه‌های پنهان .....                              | ۲۰۹ |
| ۲-۱۳-۷ هزینه کوتاه‌مدت و بلندمدت .....                                      | ۲۰۹ |
| ۳-۱۳-۷ هزینه کل کوتاه‌مدت .....                                             | ۲۱۰ |
| ۴-۱۳-۷ هزینه نهایی و هزینه‌های متوسط در کوتاه‌مدت .....                     | ۲۱۱ |
| ۵-۱۳-۷ هزینه‌های بلندمدت .....                                              | ۲۱۲ |
| ۱۴-۷ بیشینه‌کردن سود در کوتاه‌مدت با استفاده از منحنی‌های کل .....          | ۲۱۳ |
| ۱۵-۷ بیشینه‌کردن سود در کوتاه‌مدت با استفاده از روش نهایی .....             | ۲۱۴ |
| ۱۶-۷ منحنی عرضه کوتاه‌مدت .....                                             | ۲۱۶ |
| ۱۷-۷ ارزیابی اقتصادی پروژه‌های سرمایه‌گذاری .....                           | ۲۱۶ |

|     |                                                                         |
|-----|-------------------------------------------------------------------------|
| ۲۱۶ | ..... بهره ۱-۱۷-۷                                                       |
| ۲۱۷ | ..... ارزش زمانی پول ۲-۱۷-۷                                             |
| ۲۱۷ | ..... تعادل ۳-۱۷-۷                                                      |
| ۲۱۷ | ..... حداقل نرخ جذب‌کننده ۴-۱۷-۷                                        |
| ۲۱۷ | ..... ارزش آینده و ارزش کنونی ۵-۱۷-۷                                    |
| ۲۱۸ | ..... بهره ساده ۱-۵-۱۷-۷                                                |
| ۲۱۸ | ..... بهره مرکب ۲-۵-۱۷-۷                                                |
| ۲۲۰ | ..... مرکب‌شدن پیوسته ۳-۵-۱۷-۷                                          |
| ۲۲۱ | ..... ارزش کنونی و آینده سری درآمدی یا هزینه‌ای یکنواخت ۴-۵-۱۷-۷        |
| ۲۲۲ | ..... فرایند مالی با شیب یکنواخت ۶-۱۷-۷                                 |
| ۲۲۳ | ..... ارزش کنونی یک سری یکنواخت درآمدی یا هزینه‌ای دائمی ۱-۶-۱۷-۷       |
| ۲۲۴ | ..... روش‌های ارزیابی پروژه‌های سرمایه‌گذاری ۱۸-۷                       |
| ۲۲۴ | ..... روش‌های تنزیلی ۱-۱۸-۷                                             |
| ۲۲۴ | ..... روش ارزش کنونی ۱-۱-۱۸-۷                                           |
| ۲۲۶ | ..... روش یکنواخت (معادل) سالانه ۲-۱-۱۸-۷                               |
| ۲۲۷ | ..... روش نرخ بازگشت سرمایه ۳-۱-۱۸-۷                                    |
| ۲۲۸ | ..... مقایسه اقتصادی چند پروژه با استفاده از روش نرخ بازگشت سرمایه ۱۹-۷ |
| ۲۲۸ | ..... تجزیه و تحلیل سرمایه‌گذاری اضافی ۱-۱۹-۷                           |
| ۲۲۸ | ..... روش نسبت منافع به مخارج ۲-۱۹-۷                                    |
| ۲۲۹ | ..... روش‌های غیرتنزیلی ۲۰-۷                                            |
| ۲۲۹ | ..... روش دوره بازگشت سرمایه ۱-۲۰-۷                                     |
| ۲۳۰ | ..... درآمد به‌ازای هر واحد سرمایه ۲-۲۰-۷                               |
| ۲۳۰ | ..... محاسبه سرانگشتی ۳-۲۰-۷                                            |
| ۲۳۱ | ..... خلاصه فصل هفتم                                                    |
| ۲۳۲ | ..... خودآزمایی چهارگزینه‌ای فصل هفتم                                   |
| ۲۳۵ | ..... منابع                                                             |
| ۲۳۷ | ..... پاسخ‌نامه خودآزمایی‌های چهارگزینه‌ای                              |



## پیشگفتار

مسئله محیط‌زیست یا حفظ منابع طبیعی، برای ما مسئله‌ای  
تجملاتی و درجه‌دو نیست؛ یک مسئله حیاتی است. در تلاش  
ما برای توسعه کشور، اولویت باید در این بخش باشد.  
مقام معظم رهبری

امروزه نگاه سنتی به اقتصاد، تولید، صنعت و کشاورزی در حال تغییر است. نگاه نوین،  
به دنبال تولید با هزینه کمتر، در زمان کوتاه‌تر، صرف انرژی و منابع کمتر، آسیب کمتر  
به منابع و محیط‌زیست و در یک کلمه به دنبال تولید پایدار است. هدف از تولید و  
توسعه پایدار، تأمین نیازهای نسل کنونی بدون آسیب رساندن به منابع نسل‌های آینده  
است. اگر نسل‌های گذشته در رفع نیازهای خودشان، چارچوب مهندسی پایداری را  
رعایت می‌کردند، قطعاً در حال حاضر، دیگر شاهد فاجعه خشک شدن دریاچه ارومیه،  
بختگان یا پریشان، ریزگردها در اهواز، طوفان شن در زابل، آلودگی هوا در تهران،  
اصفهان یا اهواز، از بین رفتن جنگل‌های البرز یا زاگرس، سیل‌های ویرانگر در  
جای‌جای این سرزمین عزیز نبودیم، یا کمتر شاهد این بحران‌ها بودیم. در رویکرد  
نوین، هرگونه فعالیت اقتصادی و صنعتی بدون توجه به محیط‌زیست و پیوست  
زیست‌محیطی، قطعاً فاقد اعتبار است. مؤلفان این کتاب تلاش کرده‌اند تا راهنما و  
چارچوبی علمی، برای رعایت اصول مهندسی پایداری در فرایندهای تولیدی، بالاختص  
در مسائل کشاورزی ارائه دهند. کتاب حاضر، مشتمل بر چهار فصل است. در فصل

اول، کلیات، اصول و تعاریف مرتبط با مهندسی پایداری و مهندسی سبز آورده شده است. در فصل دوم، دوازده اصل به عنوان اصول پایه پایداری معرفی می شود. اگر کلیه امور بنگاه های تولیدی، از جمله طراحی، تولید، توزیع، مدیریت ضایعات و دفع و... در چارچوب این اصول، برنامه ریزی و اجرا شوند، یا از طرف دیگر، این اصول را نقض نکنند، آن بنگاه تولیدی در چارچوب اصول مهندسی پایداری حرکت خواهد کرد. در فصل سوم، نمونه هایی عملی از مواردی که به خوبی، اصول مهندسی پایداری را به کار گرفته اند، آورده شده است. به دلیل اهمیت دیدگاه مبتنی بر چرخه حیات در مهندسی پایداری، در فصول چهارم، پنجم و ششم به این مهم پرداخته شده است. در نهایت، در فصل هفتم به مسائل اقتصادی به عنوان یکی از سه اصل مهندسی پایداری پرداخته شده است.

قطعاً هر نوشته علمی، مخصوصاً در زمینه هایی که کمتر به آنان پرداخته شده است، خالی از اشکال نیست. مؤلفان، نظرات و دیدگاه های خوانندگان و متخصصان امر را در جهت بهبود مطالب کتاب به دیده منت می گذارند. در پایان، جا دارد از انتشارات دانشگاه پیام نور که فرصت چاپ و نشر مطالب این کتاب را فراهم کرده اند، صمیمانه سپاسگزاری کنیم.

خرداد ۱۳۹۶

محسن سلیمانی، استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز

گل محمد خوب بخت، استادیار دانشگاه پیام نور

عباس عساکره، استادیار دانشگاه شهید چمران اهواز

# فصل اول

## مقدمه‌ای بر اصول مهندسی پایداری

### هدف کلی

هدف کلی این فصل آشنایی با اصول کلی مفاهیم پایداری و توسعه پایدار، مهندسی پایداری، مهندسی سبز و تفاوت دیدگاه و رویکرد مهندسی پایداری با مهندسی سنتی است.

### هدف‌های یادگیری

دانشجو در این فصل با موارد زیر آشنا می‌شود:

۱. اصول مهندسی پایداری را خواهد شناخت.
۲. قادر خواهد بود تفاوت دیدگاه مهندسی پایداری را با مهندسی سنتی تمایز دهد.
۳. با رویکردهای کلی مدیریت ضایعات آشنا خواهد شد.

### مقدمه

مهندس فردی است که کار او طراحی یا ساخت ماشین‌ها، موتورهای یا اجزای برقی، جاده‌ها، خط آهن یا پل‌ها، محصولات خانگی، مواد کشاورزی و دیگر کالاهای موردنیاز جامعه، با استفاده از اصول علمی است. یک مهندس فرایندها را با استفاده از مجموعه‌ای از مواد خام و انرژی و تبدیل آن‌ها به محصولی قابل قبول توسعه می‌دهد. تولید محصولات موردنیاز جامعه با ضایعاتی نیز همراه است که برخی از این ضایعات اجتناب‌ناپذیر هستند. به‌طور تاریخی یک مهندس قادر بوده‌است فرایندی را بر پایه سود حداکثر بهینه کند و مواد بی‌ارزش و یا کم‌ارزش را به موادی با ارزش بالاتر تبدیل کند. از اواسط دهه ۱۹۷۰، مهندس به کسی اطلاق شد که مواد را به محصولاتی با ارزش‌تر، با رعایت ملاحظات زیست‌محیطی و به حداقل رساندن انتشار آلاینده‌ها،

تبدیل کند. چون محدودیت‌هایی بر جریان فرایندها اعمال شد، تلاش‌ها به سمت تولید موادی بی‌ضرر، قبل از رهاسازی آن‌ها به محیط‌زیست سوق داده شد. بااین‌حال، اهمیت چندانی به تأثیر یک محصول در محیط‌زیست و خطرزایی فرایند تولید داده‌نشد.

این روند در دهه ۱۹۹۰ با ایده‌های جلوگیری از تولید آلاینده‌گی که بر حفاظت از محیط‌زیست، با توقف آلاینده‌گی در همان منشأ تولید تأکید می‌کرد، تغییر یافت. کنگره ایالات متحده آمریکا در قانون جلوگیری از آلاینده‌گی در ۱۹۹۰، سیاست دولتی ایالات متحده را در ارتباط با آلاینده‌گی و محیط‌زیست تدوین کرد [۱]. سلسله‌مراتبی نشان‌داده‌شده در شکل ۱-۱، روشن می‌سازد که کاهش منبع (جلوگیری از ایجاد آلاینده‌گی)، بالاترین شکل جلوگیری از آلودگی بوده‌است. این سلسله‌مراتبی به‌طور عام، شامل افزایش بازدهی در استفاده از مواد خام، انرژی، آب و دیگر منابع و حفاظت از منابع، از طریق برنامه‌های حفاظتی است. در سال ۱۹۹۷، «دوازده اصل شیمی سبز» [۲] که توسط انتشارات آناستاز<sup>۱</sup> و وارنر<sup>۲</sup> منتشر شد، چارچوبی برای مفهوم جلوگیری از آلودگی تعیین کرد که از طریق آن دانشمندان و مهندسان قادر به جست‌وجو و یافتن راه‌هایی جهت کمینه‌کردن خسارت‌های ناشی از تولید محصولات شیمیایی به محیط‌زیست باشند.

مهندسی سبز [۳]، شامل مقررات و نظم و ترتیبی برای توسعه تخصص‌های مهندسی سنتی است. مهندسی شیمی، قادر به طراحی فرایند شیمیایی برای کمینه‌کردن مصرف محلول‌های آلی جهت مشارکت در شیمی سبز یا کاهش مصرف انرژی است. یک مهندس مکانیک ممکن است چرخه حیات محصولی تولیدشده و اثرات زیست‌محیطی ناشی از تولید و مصرف آن را ارزیابی کند. مهندسان عمران و معماران، فنون جدید برای استفاده مجدد از ضایعات و برطرف کردن خسارت ناشی از رهاسازی آن‌ها را بررسی می‌کنند. حتی مهندسان برق، هنگامی‌که درباره افزایش بازدهی وسایل ذخیره‌کننده انرژی (باتری)، یا جایگزینی فنون جدید برای تبدیل انرژی خورشیدی به برق تحقیق می‌کنند، نقش مهمی در پیاده‌سازی مهندسی سبز بازی می‌کنند.

این مثال‌ها نشان می‌دهد که چگونه مهندسان مختلف با رویکرد مقررات تخصصی و ویژه، در پیاده‌سازی مهندسی سبز مشارکت دارند. بااین‌حال، اصول مهندسی سبز فراتر از مرزهای مقرراتی و قراردادی است. درحالی‌که ارزیابی چرخه

1. Anastas

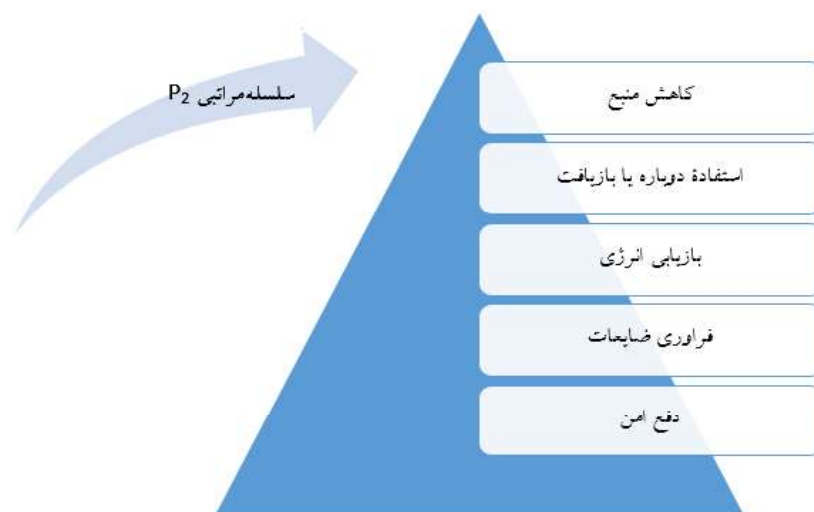
2. Warner

### ۳ مقدمه‌ای بر اصول مهندسی پایداری

حیات<sup>۱</sup> در حیطه کارهای مهندسی مکانیک است، ممکن است یک مهندس شیمی نیز فنون مشابهی را برای ارزیابی‌های فرایندهای شیمیایی به کار گیرد. به‌طور مشابه مهندسان عمران و مکانیک با همدیگر بر روی توسعه سامانه‌های حمل‌ونقل، و مهندسان برق و مکانیک به‌طور مشترک بر روی سلول‌های سوختی کار می‌کنند.

از پایداری یا توسعه پایدار اغلب به‌عنوان یک عامل ایجاد کسب‌وکار در کل دنیا یاد می‌شود. توسعه پایدار عموماً براساس تعریف کمیسیون بروندلند<sup>۲</sup> (۱۹۸۹) تعریف می‌شود: مهیاکردن نیازهای بشری بدون به خطر انداختن توانایی (پتانسیل) تولید نیازهای نسل آینده. از منظر کسب‌وکار، توسعه پایدار و پایداری، اغلب با سه اصل زیر توصیف می‌شود [۴].

- پویایی اقتصادی. جنبه‌های کسب‌وکار یک پروژه؛
  - نگرانی‌های اجتماعی. سلامت انسان و رفاه اجتماعی؛
  - مسائل طبیعی یا زیست‌محیطی. حفاظت از محیط‌زیست.
- سه اصل بالا مشخص می‌کند که یک تصمیم برای کسب‌وکار می‌بایست فراتر از مفهوم توانایی یک کسب‌وکار برای تولید سود باشد، یعنی فقط بحث سود اقتصادی یک شغل اهمیت ندارد، بلکه جنبه‌های اجتماعی و محیط‌زیستی نیز باید مد نظر باشد.



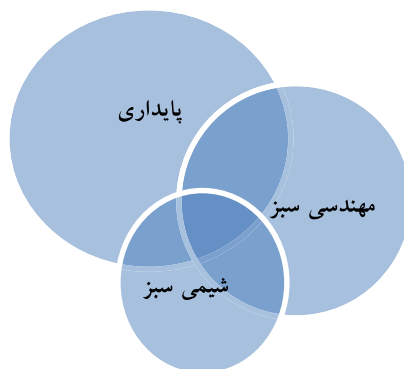
شکل ۱-۱. سلسله‌مراتبی جلوگیری از آلودگی.

---

1. Life Cycle Assessment (LCA)  
2. Brundtland Commission

معرفی استاندارد ISO 14000 در سال ۱۹۹۸ این فرصت را برای کسب‌وکارها ایجاد کرد تا فعالیت‌های خود را در حوزه مفهوم توسعه پایدار بازبینی کنند. همچنین این استاندارد، انگیزه‌ای برای ارزیابی کارایی زیست‌محیطی کسب‌وکارها ایجاد کرد [۵]. این استاندارد به دنبال یک سامانه مدیریت زیست‌محیطی است که شامل بهبود پیوسته، تعهد و التزام مدیریتی، برنامه‌ریزی، اجرا، اندازه‌گیری و ارزیابی باشد. در نتیجه تغییر ساختارهای مدیریت محیط‌زیست، رویکرد برنامه‌های زیست‌محیطی کسب‌وکارهای آینده‌نگر از تعامل با مقررات دولتی، به سمت یافتن راه‌هایی برای بهبود عملکرد زیست‌محیطی معطوف شد. در بسیاری از موارد، شرکت‌هایی که سامانه‌های مدیریت محیط‌زیستی را همانند موارد توصیه‌شده در استاندارد ISO 14000 برقرار کردند، از منافع تولیدی بسیاری بهره‌مند شدند [۶].

در طول سال‌ها، ایده شیمی سبز، مهندسی سبز و توسعه پایدار، با هم ادغام شدند و مجموعه‌ای از اصطلاحات و شاخص‌ها را برای توصیف ایده‌های مشابه ایجاد کردند. شکل ۱-۲ چارچوبی مفهومی برای درک این عناصر در یک مفهوم مناسب ارائه می‌دهد. همان‌طور که در این نمودار تصویر شده است، هم‌پوشانی اساسی بین مفاهیم متفاوت وجود دارد و هنوز هر کدام از این مفاهیم به تنهایی مشارکت منحصر به فردی در حوزه حفاظت از محیط‌زیست دارند. به عنوان مثال، یک شیمی‌دان سبز به تنهایی برای توسعه واکنش‌های شیمیایی جدید که منجر به مواد جدید و فنون جدید تولید مواد شیمیایی مورد نیاز جامعه امروزی باشد، مهارت‌هایی دارد. یک سم‌شناس (حدفاصل شیمی سبز و زیست‌شناسی) می‌تواند آسیب بالقوه‌ای را که یک ماده جدید ممکن است بر سلامت انسان داشته باشد، ارزیابی کند. یک مهندس سبز مفاهیم چرخه حیات را می‌داند و می‌تواند از این مفاهیم در تشخیص اثر زیست‌محیطی کلی یک فرایند یا تولید، از گهواره تا گور، استفاده کند. با این حال، نه کار یک مهندس سبز و نه کار یک شیمی‌دان سبز به‌طور عادی در قلمرو بررسی اثرات اجتماعی نیست، بلکه در قلمرو پایداری (شاید یک پایداری‌شناس) است. بنابراین می‌بینیم که تعیین یکی از این مفاهیم به عنوان یک مفهوم همه‌جانبه و دیگر مفاهیم، به عنوان زیرمجموعه مفهوم اول نامناسب است و این موارد در کنار هم، نشان‌دهنده ابعاد متفاوت مسائل، چالش‌ها و راه‌حل‌های حفاظت از محیط‌زیست است.



شکل ۱-۲. طرحواره مشخص‌کننده نقش‌های مختلف شیمی سبز، مهندسی سبز و پایداری.

توانایی به هم پیوند دادن مفاهیم اجتماعی و تصمیمات کسب‌وکار است که مهندسی سبز را از مهندسی پایداری متمایز می‌کند. اخیراً بحث خلاصه‌ای از مفاهیم مختلف توسط آبراهام [۷] آمده که در آن عناصر هر سه اصل (تعریف پایداری در بالا) ملاحظه شده‌است. درحالی‌که شیمی سبز سرمایه‌های طبیعی را مد نظر دارد، و مهندسی سبز قابلیت دوام اقتصادی و سرمایه‌های طبیعی را توأمان مد نظر دارد، پایداری هم شرایط انسانی را مد نظر دارد و هم شرایطی را برای بهبود کیفیت زندگی همه موجودات جست‌وجو می‌کند. در پایداری باید جنبه‌های غیرفنی فناوری، مفاهیم اجتماعی ناشی از این فناوری و محدودیت‌های اقتصاد، جامعه و محیط‌زیست را مد نظر قرار داد. مهندسی پایداری با جست‌وجو در خارج از محدوده فرایند یا محصول در حال توسعه، به دنبال راه‌حلهایی فراتر از راه‌حل‌های مهندسی سبز است و سامانه تولید یا توسعه را به عنوان بخشی از اکوسیستم جهانی که شامل کل بشریت می‌شود، مد نظر دارد. از مهندس پایداری تقاضا خواهد شد تا فرایندهایی را طراحی کند که نه تنها سود<sup>۱</sup> را حداکثر می‌کند، بلکه مزایای<sup>۲</sup> تعریف‌شده براساس سه اصل یادشده، یعنی محیط‌زیست، سلامت بشر و اقتصاد یا ترکیبی از هر سه مورد را به حداکثر برساند [۸]. مهندس پایداری، به منظور تحقق هدف‌های طرح پایدار، در وهله اول به عمق فنی، سپس به ملاحظه مسائل پایداری دربرگیرنده سؤالات و مسائل فنی نیاز دارد. برای مهیا کردن چارچوبی برای طرح پایدار، می‌توان اصولی را توصیف کرد، یا مفاهیمی را

1. Profit  
2. Benefit

که مهندس پایداری برای ارزیابی محصولات و فرایندها از آن استفاده می‌کند، طراحی کرد و راه‌حلهایی را برای تحقق هدف‌های اصول سه‌گانه بالا جست‌وجو کرد. اصول مهندسی پایداری که توسط کنفرانس «مهندسی سبز: تعریف اصول علمی»<sup>۱</sup> توسعه یافت، چنین خطوط راهنمایی را مهیا کرده‌است.

## ۱-۱ اصول

مهندسی پایداری، مقرارت مهندسی موجود را به مقرارتی تغییر می‌دهد که پایداری را ارتقاء می‌بخشد. مهندسی پایداری، توسعه و اجرای محصولات، فرایندها و سامانه‌های بادوام از نظر اقتصادی و فنی، که آسایش بشری را افزایش می‌دهند و هم‌زمان از سلامت بشری حفاظت کرده و حفاظت از زیست‌کره را (به‌عنوان معیار راه‌حل‌های مهندسی) ارتقاء می‌دهند، با هم ترکیب می‌کند.

مهندسان برای اجرای کامل راه‌حل‌های مهندسی پایداری، از اصول زیر استفاده

می‌کنند:

- فرایندهای مهندسی و محصولات به‌طور کلی از آنالیزهای سامانه‌ها استفاده کرده و ابزارهای ارزیابی زیست‌محیطی را به‌کار می‌گیرند؛
- درحالی‌که سلامت بشری و بهبود زندگی بشری حفاظت و حمایت می‌شود، اکوسیستم‌های طبیعی نیز حفظ می‌شوند؛
- از تفکر چرخه حیات در همه فعالیت‌های مهندسی استفاده می‌شود؛
- از اینکه همه مواد و انرژی ورودی و خروجی ذاتاً امن (بی‌خطر) بوده و تا حد ممکن بی‌خطر باقی بماند، اطمینان حاصل می‌شود؛
- کاهش و اتمام منابع طبیعی به حداقل می‌رسد؛
- کوشش می‌شود از تولید ضایعات (در چرخه تولید) جلوگیری شود؛
- راه‌حل‌های مهندسی، با آگاهی کافی از (باتوجه‌به) جغرافیا و فرهنگ‌های محلی توسعه و به‌کار گرفته می‌شوند؛
- راه‌حل‌های مهندسی، فراتر از فنون موجود و بارز کنونی ایجاد می‌شوند، بهبود می‌یابند، نوآوری می‌شوند و در جهت رسیدن به پایداری، فنون جدیدی ابداع می‌شوند؛

۱. این کنفرانس چهار روزه در ۱۹ ماه می سال ۲۰۰۳ در شهر Sandestin Resort، در ایالت فلوریدا، با حضور ۶۵ شیمی‌دان مطرح برگزار شد. در پایان کنفرانس، شرکت‌کنندگان در کنفرانس بر روی تئ اصل مهندسی سبز که به بیانیه سن‌دستین شهرت یافته‌است، به اجماع و توافق رسیدند.

- بنگاه‌داران و جوامع در توسعه راه‌حل‌های مهندسی، به‌طور فعال درگیر می‌شوند. اصول مهندسی پایداری الگویی را مهیا می‌کند که در این الگو مهندسان می‌توانند محصولات و خدماتی را جهت نیل به نیازهای اجتماع با کمترین اثرات بر روی اکوسیستم جهانی طرح‌ریزی کنند. این اصول را نمی‌توان از یکدیگر مستقل دانست، اما به‌تک‌تک آن‌ها باید به‌عنوان فلسفه توسعه پایدار یک اجتماع نگریست. این اصول تجویزی نیستند. آن‌ها همچنین متدولوژی و روش مشخصی را جهت الگوبرداری برای طرح پایدار، در اختیار مهندسان قرار نمی‌دهند، اما این اصول ایده‌های فراگیری برای مهندسين فراهم می‌کنند که قابل‌استفاده هم‌زمان با اصول طراحی سنتی جهت توسعه محصولات و خدمات جدید برای رشد و توسعه جامعه بشری هستند، درحالی‌که هم‌زمان اثر این طرح‌ها بر اکوسیستم جهانی به حداقل ممکن است.

## ۲-۱ هدف‌ها و ساختار کتاب

این کتاب در تلاش است تا نسخه جامعی که دربرگیرنده مسائل پایداری در یک مفهوم مناسب باشد برای مهندسان ارائه دهد. این مسائل براساس اصول مشخص‌شده در بخش قبلی‌اند، که در کنفرانس سن‌دستین<sup>۱</sup> مطرح شده‌اند و هدفشان مشارکت در طراحی محصولات و فرایندهاست. هدف، ایجاد چارچوبی است که در آن مهندسان می‌توانند با اسلوب پایدار، مهندسی کنند.

این کتاب به سه بخش تقسیم شده‌است:

- دید کلی و موارد عمومی؛
- گسترش بحث بر روی اصول؛
- مطالعات موردی و مثال‌هایی جهت تصویرسازی اصول.

## ۳-۱ توضیحات پایانی

اصول ارائه‌شده در این کتاب را نباید به‌عنوان مجموعه‌ای نهایی از دانش پایداری نگریست. واژه مهندسی پایداری، در حال رشد و توسعه پیوسته به‌سمت یک ابزار تصمیم‌ساز است. گسترش شاخص‌ها و توسعه روش‌ها، فرصت‌های جدیدی را برای مهندسان پایداری ایجاد می‌کند. به‌علاوه، تغییر اقتصاد جهانی و نوسانات پیوسته