



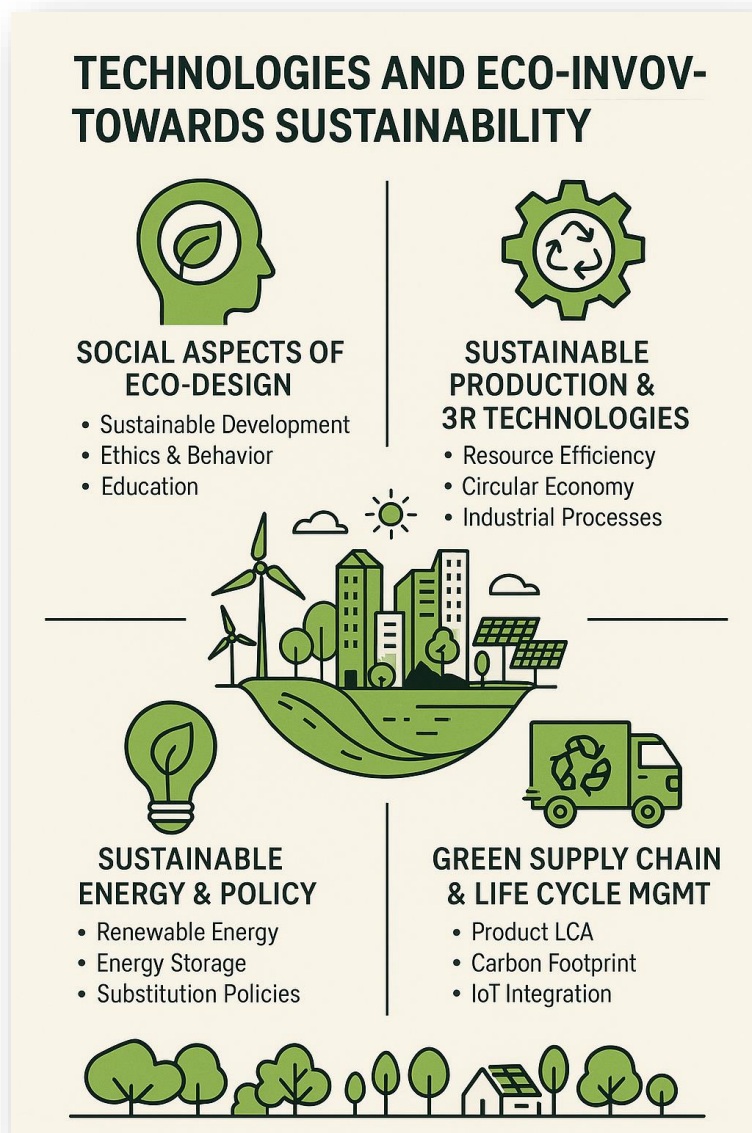
کتابچه راهنمای،

فناوری‌ها و نوآوری‌های زیست‌محیطی در مسیر پایداری

طراحی زیست‌محیطی، ارزیابی و مدیریت

«Technologies and Eco-innovation towards Sustainability:

Eco-Design Assessment and Management» Springer (2019)





پیشگفتار سخن انجمن مدیریت سبز ایران

هوش سبز؛ ترجمان دانش به توسعه پایدار

این کتاب مجموعه‌ای علمی است از پژوهش‌های بین‌المللی در حوزه طراحی، مهندسی و مدیریت پایداری هدف آن این است که نشان دهد چگونه فناوری‌های نو، مدل‌های اقتصادی جدید و روش‌های طراحی می‌توانند به توسعه‌ای منجر شوند که هم سودآور باشد و هم حافظ محیط زیست و عدالت اجتماعی به عبارت ساده، کتاب به دنبال پاسخ این پرسش است: «چطور می‌توان میان رشد اقتصادی، مصرف منابع، و حفاظت از محیط زیست تعادل برقرار کرد؟»

کتاب در چهار محور اصلی نوشته شده است:

۱. بعد اجتماعی پایداری و طراحی سبز: چگونه اخلاق، فرهنگ، آموزش و رفتار مردم بر طراحی پایدار و مصرف تأثیر می‌گذارند - مثال‌ها: نقش دانشگاه‌ها، آگاهی زیست‌محیطی، برچسب کربن، و سیاست‌های آموزشی
 ۲. تولید پایدار و فناوری‌های 3R کاهش، استفاده مجدد، بازیافت: نگاهی فناورانه به بازمهندسی فرآیندهای صنعتی و کاهش پسماند - مثال‌ها: بازیافت الکترونیکی، پلیمرهای زیستی، انرژی هوشمند
 ۳. انرژی و سیاست‌گذاری: ارزیابی سیاست‌های انرژی پاک، مدل‌های اقتصادی تجدیدپذیر، و راه‌های جایگزینی سوخت‌های فسیلی
 ۴. زنجیره تأمین سبز و مدیریت چرخه عمر محصول: تحلیل چرخه عمر، طراحی زنجیره‌های کم‌کربن، و نقش اینترنت اشیاء در کنترل مصرف منابع
- این کتاب نوشته شده تا:

- دانش مهندسی و مدیریت را به عمل تبدیل کند؛ یعنی فاصله میان پژوهش دانشگاهی و تصمیم‌گیری صنعتی را پر کند
 - چارچوبی ارائه دهد برای طراحی سیاست‌ها و محصولات با نگاه چرخه عمر، نه صرفاً کاهش آلودگی
 - الگوی همکاری میان دانشگاه، صنعت و دولت (Triple Helix) را در مسیر پایداری معرفی کند
 - از «نوآوری سبز (Eco-innovation)» به عنوان موتور اصلی توسعه آینده دفاع کند
- این کتاب برای طیف گسترده‌ای از متخصصان و تصمیم‌گیران مفید است:

فایده و کارکرد	گروه مخاطب
برای طراحی استراتژی‌های کاهش اثرات زیست‌محیطی و صرفه‌جویی انرژی	مدیران صنعتی و مدیران انرژی / HSE
جهت تدوین سیاست‌های انرژی و اقتصاد چرخشی	سیاست‌گذاران و مشاوران محیط‌زیست
برای آموزش و توسعه مفهوم -طراحی اکولوژیکی- در آموزش عالی	اساتید و پژوهشگران دانشگاهی
برای آشنایی با مدل‌های کاربردی پایداری	دانشجویان رشته‌های محیط‌زیست، انرژی، مهندسی صنایع و مدیریت
جهت تبیین مبانی علمی نسل چهارم مدیریت سبز و پیوند آن با فناوری‌های نوین	اعضای انجمن مدیریت سبز ایران

پیام اصلی کتاب عبارت است از: «پایداری یک پروژه فنی نیست، بلکه یک فرآیند یادگیری اجتماعی/انسانی/اخلاقی و درنهایت فناورانه است»

محمدحسن امامی

پاییز ۴۰۴





فهرست مطالب

- فصل ۱: انتقال دانش در توسعه پایدار محصولات – مطالعه موردی طراحی اکولوژیکی در اروپا
- فصل دوم: بازاندیشی در ارزیابی پایداری: گنجاندن بُعد اخلاقی در تصمیم‌گیری
- فصل سوم: مدیریت زیست‌محیطی در آموزش عالی: بررسی عملکرد و چالش‌ها
- فصل چهارم: بررسی جنبش زیست‌محیطی برای حفاظت از درختان کهنسال
- فصل پنجم: واکنش ساکنان نسبت به تأسیسات انرژی تجدیدپذیر و تأثیر تمایل به سرمایه‌گذاری
- فصل ششم: ادغام پایداری در آموزش طراحی صنعتی: مطالعه موردی دانشگاه‌های ژاپن
- فصل هفتم: ویژگی‌های برجسته‌گذاری کربن و نقش آن در تحریک رفتار خرید مصرف‌کنندگان
- فصل هشتم: توسعه‌ی نظام مدیریت پسماند شهری از دیدگاه زیست‌محیطی و اقتصادی
- فصل نهم: بهینه‌سازی فرآیند حذف سولفید هیدروژن در تولید هیدروژن از زیست‌توده بر پایه ارزیابی چرخه عمر
- فصل دهم: کاربرد پایدار پلیمرهای زیستی (Sustainable Application of Biopolymer)
- فصل یازدهم: پیاده‌سازی سامانه اندازه‌گیری انرژی برای تولید هوشمند
- فصل دوازدهم: بازیافت تجهیزات الکترونیکی (WEEE) و طراحی سامانه‌های هوشمند جمع‌آوری و بازسازی
- فصل سیزدهم: ارزیابی سیاست‌های ترویج انرژی خورشیدی در کشورهای در حال توسعه
- فصل چهاردهم: مدل‌سازی هزینه‌های تولید انرژی از زیست‌توده در مقیاس ملی
- فصل پانزدهم: تحلیل چرخه عمر سامانه‌های سلول سوختی خانگی برای کاهش اثرات کربنی
- فصل شانزدهم: سیاست‌های جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر در اروپا و آسیا
- فصل هفدهم: پیوند میان زیست‌فناوری و توسعه پایدار منطقه‌ای: یک مدل سیاستی برای کشورهای در حال توسعه
- فصل هجدهم: نوآوری‌های اکولوژیک در سیستم‌های انرژی آینده: نقش ذخیره‌سازی انرژی و شبکه‌های هوشمند
- فصل نوزدهم: درس‌آموخته‌های روان‌شناسی محیط‌زیست برای توسعه سیاست‌های پایداری
- فصل بیستم: پیشنهاد یک مدل ارزیابی زیست‌محیطی برای سلول‌های سوختی خانگی با رویکرد تحلیل چرخه عمر (LCA) و طراحی فرآیند
- فصل بیست‌ویکم: مطالعه‌ای درباره مدل هزینه تولید برق زیست‌توده با لحاظ کردن «اثر یادگیری»
- فصل بیست‌ودوم: مدل جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر و حفاظت محیط‌زیست

3





فصل ۱: انتقال دانش در توسعه پایدار محصولات – مطالعه موردی طراحی اکولوژیکی در اروپا

۱۱ مقدمه

تولید دانش و فناوری‌های پیشرفته در علم و مهندسی مدرن، نه تنها موجب شناخت بهتر دنیای فیزیکی ما شده است، بلکه توانایی انسان را برای پیش‌بینی، کنترل و بهره‌برداری از محیط افزایش داده تا زندگی‌ای ایمن‌تر، راحت‌تر و مطلوب‌تر بسازد اما نگاهی دقیق‌تر به ساختار کنونی تولید دانش در دانشگاه‌ها و صنعت نشان می‌دهد که در دوران حاضر، چهار پارادایم جدید در حال غالب شدن‌اند:

۱ اقتصاد دانش‌محور،

۲ توسعه پایدار،

۳ علم و مهندسی در عصر پسانوگرایی (Postmodern)،

۴ و انتقال معکوس دانش و نوآوری (Reverse Knowledge Transfer & Innovation)

در این وضعیت، نیاز به درک ارتباط میان حوزه‌های دانش و نیز یافتن راه‌هایی برای ادغام مؤثر تخصص‌های گوناگون بیش از هر زمان دیگری اهمیت یافته است به‌ویژه در حوزه‌ی توسعه پایدار، لازم است بدانیم چگونه دانش و تجربه‌های برخاسته از پژوهش دانشگاهی و فعالیت صنعتی می‌توانند به‌طور واقعی به سیاست‌گذاری، تصمیم‌سازی و حل مسئله در جامعه کمک کنند

در حال حاضر، بسیاری از پروژه‌های پژوهشی در مهندسی و علوم، تحت نظارت دقیق نهادهای اجتماعی قرار دارند تا مشخص شود که آیا نتایج و محصولاتشان واقعاً به جامعه سود می‌رسانند و با اصول توسعه پایدار سازگارند یا خیر این شرایط باعث شده پژوهش‌ها به سمت ائتلاف‌های

میان‌رشته‌ای و تحولی بروند که در آن‌ها نه تنها دانشمندان و مهندسان، بلکه سیاست‌گذاران و فعالان اجتماعی نیز حضور دارند





اما با وجود این تحولات، هنوز فاصله‌ی زیادی میان «آنچه می‌دانیم» و «آنچه انجام می‌دهیم» وجود دارد این شکاف را اصطلاحاً «شکاف دانستن-انجام دادن» (Know-Do Gap) می‌نامند علت آن نه فقط ناآگاهی افراد یا نظام‌های قدیمی سازمانی است، بلکه ناشی از پیچیدگی نظام‌های فناوریانه و اجتماعی است که درگیر توسعه پدیدارند

در این شرایط، مفهومی به نام «ترجمه دانش» (Knowledge Translation) مطرح شده است؛ پارادایمی که در علوم اجرایی و سیاست‌گذاری، ابزاری برای پر کردن شکاف دانستن و انجام دادن به شمار می‌آید اما در عمل، نبود روش‌های نظام‌مند و ابزارهای مبتنی بر دانش، مانع تحقق کامل این هدف شده است

۱۲ دانش، نوآوری و شیوه‌های خلق آن

۱۲۱ انواع دانش و چگونگی شکل‌گیری آن

در ساده‌ترین سطح، «داده» به هرگونه اطلاعات رمزگذاری شده اطلاق می‌شود که قابل پردازش باشد وقتی داده‌ها در یک بافتار معنا پیدا کنند، تبدیل به «اطلاعات» می‌شوند و زمانی که این اطلاعات با تجربه و تخصص در یک حوزه ترکیب گردد، به «دانش» بدل می‌شود

بخش مهمی از دانش، ضمنی (Tacit Knowledge) است؛ دانشی که در ذهن و تجربه‌ی انسان‌ها نهفته است و به آسانی قابل ثبت یا انتقال نیست در مهندسی، بخش عمده‌ای از این دانش به صورت مهارت‌های فنی و تجربیات عملی وجود دارد و معمولاً از طریق آموزش عملی و تجربه شخصی منتقل می‌شود دانش مهندسی شامل چند گونه دانش است:

- دانش فنی درباره‌ی عملکرد ابزار یا فرایند،
- دانش هنجاری (Normative) درباره‌ی «چگونه باید باشد»،
- و دانش بصری و ترسیمی (Visual Knowledge) در قالب نقشه‌ها و دیگرام‌ها

به‌طور خلاصه، در مهندسی و فناوری، دانش ترکیبی از دانستن چگونه (Know-how) و دانستن اینکه (Know-that) است

۱۲۲ نوآوری و اختراع

نوآوری و اختراع دو مفهوم نزدیک ولی متمایزند

- اختراع (Invention) به معنای خلق یک ایده، ابزار یا روش کاملاً جدید است
- نوآوری (Innovation) یعنی به کارگیری خلاقانه‌ی یک ایده در عمل، بازار یا سیاست عمومی

در این فصل، نویسنده نوآوری را خروجی دانش می‌داند؛ یعنی دانشی که در فرایند نوآوری خلق شده و می‌تواند دوباره بازتولید شود بنابراین نوآوری تنها محصول فنی نیست، بلکه نوعی دانش بازآفرین‌پذیر و قابل انتقال است به بیان ساده‌تر: نوآوری، دانشی است که به درد عمل می‌خورد و می‌تواند دوباره در موقعیت‌های دیگر به کار گرفته شود





۱۳ فرآیندهای به‌کارگیری دانش در عمل

۱۳۱ ترجمه و انتقال دانش

در سال‌های اخیر، تلاش‌های زیادی برای پر کردن شکاف بین دانش دانشگاهی و کاربرد واقعی آن در صنعت و جامعه صورت گرفته است هدف این تلاش‌ها آن است که بدانیم «چگونه می‌توان دانش را به عمل تبدیل کرد» در ادبیات علمی، واژه‌های متعددی برای این مفهوم وجود دارد؛ از جمله:

- علم اجرا (Implementation Science)
- انتقال و تبادل دانش (Knowledge Transfer and Exchange)
- ترویج و اشاعه دانش (Dissemination and Diffusion)
- و اصطلاحی که در کانادا رواج یافته: Knowledge Translation یا ترجمه دانش

با وجود تفاوت‌های واژگانی، مفهوم اصلی همه یکی است: باید از سطح انتشار مقاله و سخنرانی فراتر رفت و دانش را به تصمیم‌گیری، سیاست‌گذاری و خدمات اجتماعی وارد کرد به بیان نویسنده: «ترجمه دانش یعنی تبدیل بینش علمی به تصمیم اجرایی و عملی»

چارچوب‌هایی مانند مدل «دانش تا عمل (Knowledge-to-Action Framework)» در کانادا، نمونه‌هایی از کاربرد موفق این رویکرد هستند. در این مدل، پرسش‌های کلیدی عبارت‌اند از:

- چه دانشی باید منتقل شود؟
- به چه کسی؟
- چگونه و با چه ابزارهایی؟
- و در نهایت چه تأثیری خواهد داشت؟

بنابراین ترجمه دانش، نه صرفاً انتقال اطلاعات، بلکه تبدیل نظام‌مند دانایی به تصمیم است

۱۳۲ کارگزاری دانش و تعاملات انسانی

یکی از مهم‌ترین روش‌های جدید برای پیوند میان پژوهش و کاربرد، مفهوم کارگزاران دانش (Knowledge Brokers) است کارگزار دانش فرد یا نهادی است که بین دانشگاه، صنعت و سیاست‌گذاران نقش واسطه را ایفا می‌کند تا دانش علمی به‌درستی فهمیده، ارزیابی و در تصمیم‌ها استفاده شود در واقع، کارگزاران دانش:

- زبان علم را به زبان تصمیم ترجمه می‌کنند،
- اعتماد بین گروه‌های مختلف را افزایش می‌دهند،
- و از شکل‌گیری ارتباطات بلندمدت میان پژوهشگران و کاربران دانش حمایت می‌کنند

نویسنده تأکید می‌کند که عامل انسانی در این فرآیند حیاتی است؛ زیرا انتقال واقعی دانش تنها از طریق تعامل انسانی، گفتگو، و یادگیری متقابل رخ می‌دهد، نه صرفاً از طریق اسناد و گزارش‌ها.





۱۴ مسیرهای نوآوری و جریان‌های سازمان‌یافته دانش

۱۴۱ طرح کلی

فرآیند ترجمه دانش چندبُعدی است و به جنبه‌هایی چون:

- تعریف مسئله،
- خلق دانش،
- تبادل و انتقال آن،
- و مسیر حرکت نوآوری‌ها ارتباط دارد

در واقع، جهت‌گیری پژوهش و انتخاب موضوعات تحقیقاتی نیز خنثی نیستند؛ بلکه بازتابی از ارزش‌ها و اولویت‌های جامعه یا نهادهای تصمیم‌گیرنده هستند در نتیجه، آنچه به‌عنوان «نوآوری» یا «دانش سودمند» پذیرفته می‌شود، خود تابع ساختارهای قدرت و فرهنگ سازمانی است.

۱۴۲ یادگیری، یادزدایی و پذیرش نوآوری

در توسعه پایدار، گاهی باید یاد بگیریم که برخی چیزها را از یاد ببریم — یعنی از روش‌های قدیمی و الگوهای ذهنی گذشته رها شویم این مفهوم را نویسنده «یادزدایی (Unlearning)» می‌نامد و آن را شرط لازم برای نوآوری می‌داند او می‌گوید: «همان‌گونه که یادگیری برای حرکت به‌سوی هدف ضروری است، یادزدایی نیز برای رها شدن از مسیرهای نادرست ضروری است»

نمونه‌ای از این پدیده، در نوآوری معکوس (Reverse Innovation) دیده می‌شود: گاهی راه‌حلی که در کشورهای درحال توسعه ایجاد شده‌اند، می‌توانند برای کشورهای صنعتی نیز مفید باشند — اما ساختارهای قدیمی، قوانین سخت‌گیرانه و ذهنیت‌های محافظه‌کارانه مانع پذیرش آن می‌شوند مثلاً مدل «کارکنان سلامت جامعه‌ای (Community Health Workers)» که در کشورهای آفریقایی و آسیایی به‌خوبی کار می‌کند، می‌تواند الگویی برای نظام‌های درمانی در اروپا و آمریکا باشد، اما نظام‌های حقوقی و حرفه‌ای پیچیده، مانع از یادزدایی و پذیرش این تجربه‌ها می‌شوند بنابراین، برای نوآوری واقعی در توسعه پایدار، باید فرهنگ سازمانی را از نو بازتعریف کرد و آمادگی رها کردن الگوهای ناکارآمد را داشت.

۱۴۳ سازمان‌دهی و بازنمایی دانش

دانش پایدار باید قابل مستندسازی، بازتولید و اشتراک‌گذاری باشد در مهندسی و طراحی پایدار، نقشه‌های مفهومی، درخت‌های دانش، و ابزارهای تصویری برای این منظور حیاتی‌اند نویسنده پیشنهاد می‌دهد:

- از نقشه‌های مفهومی (Concept Maps) برای نمایش ارتباطات بین مفاهیم و داده‌ها استفاده شود؛
- برای مستندسازی ایده‌ها، چیزی شبیه «فهرست قطعات مفهومی» (Bill of Concepts) ایجاد شود؛
- و از درخت‌های دانش (Trees of Knowledge) برای ثبت مهارت‌ها و توانمندی‌های اعضای پروژه بهره گرفته شود





این ابزارها کمک می‌کنند که دانش تولیدشده در یک پروژه، نه تنها برای اعضای آن، بلکه برای نسل‌های بعدی قابل استفاده باشد — یعنی دانش از حالت شخصی به حالت سازمانی تبدیل شود.

۱۵ نتیجه‌گیری

با رشد جوامع دانش‌محور و ظهور ظرفیت‌های نوآوری در کشورهای در حال توسعه، مرز میان علم دانشگاهی و مهندسی صنعتی در حال فروپاشی است این نزدیکی فرصت‌های تازه‌ای برای همکاری و هم‌افزایی میان دانشگاه، صنعت و دولت ایجاد کرده است.

اما نویسنده هشدار می‌دهد که این هم‌گرایی تنها زمانی ثمربخش است که:

- ابزارهای مدیریت دانش به صورت نظام‌مند به کار گرفته شوند،
- یادگیری و یادزدایی همزمان اتفاق بیفتد،
- و «نوآوری» نه به عنوان محصول، بلکه به عنوان فرآیند خلق دانش اجتماعی درک شود

او در پایان می‌نویسد: «دانش باید از چارچوب دانشگاه خارج شود و به جریان زندگی، سیاست و صنعت پیوندد — این، معنای واقعی ترجمه دانش در خدمت توسعه پایدار است»

خلاصه‌ی کل فصل در یک جمله:

این فصل توضیح می‌دهد که پایداری نه با تولید فناوری جدید، بلکه با ایجاد نظام‌های یادگیری، ارتباط، و ترجمه دانش میان دانشگاه، صنعت و جامعه تحقق می‌یابد.





فصل دوم: بازاندیشی در ارزیابی پایداری: گنجاندن بُعد اخلاقی در تصمیم‌گیری

۲۱ مقدمه

با ادامه‌ی روند توسعه‌ی انسانی و بهره‌برداری بی‌رویه از منابع، اکوسیستم‌های زمین در معرض فرسایش و تخریب گسترده قرار گرفته‌اند. این واقعیت اکنون آشکار شده است که اگر بخواهیم آینده‌ای پایدار داشته باشیم، باید به سرعت الگوی تصمیم‌گیری و ارزیابی‌های خود را اصلاح کنیم.

همان‌گونه که نویسنده اشاره می‌کند: «جامعه امروز نیازمند ابزارها، مدل‌ها و شاخص‌هایی است که نشان دهد فعالیت‌های کنونی ما تا چه اندازه پایدار یا ناپایدارند» در این میان، ارزیابی پایداری (Sustainability Assessment - SA) به عنوان ابزاری کلیدی مطرح است. این روش به تصمیم‌گیرندگان کمک می‌کند تا تشخیص دهند کدام اقدام‌ها، طرح‌ها یا سیاست‌ها به پایداری نزدیک‌ترند و کدام یک خطرناک‌تر اما تانگ بر یک نکته‌ی مهم تأکید می‌کند: روش‌های فعلی ارزیابی پایداری بیشتر بر محاسبات کمی و مدل‌های اقتصادی متمرکزند، در حالی که بُعد اخلاقی، ارزشی و انسانی در این تحلیل‌ها مغفول مانده است. آیا می‌توان «پایداری» را فقط با عدد و نمودار سنجید، در حالی که تصمیم‌های انسانی سرشار از ارزش‌ها، ترجیحات و داوری‌های اخلاقی‌اند؟ از دید او، پاسخ منفی است. بنابراین، این فصل تلاشی است برای تلفیق اخلاق زیست‌محیطی با علم ارزیابی پایداری و طراحی اکولوژیکی.

۲۲ وضعیت کنونی ارزیابی پایداری و کاستی‌های آن

ارزیابی پایداری فرآیندی است که باید تصمیم‌گیری را به سمت توسعه‌ای هماهنگ با محیط زیست، جامعه و اقتصاد هدایت کند. اما واقعیت آن است که SA ریشه در ابزارهایی مانند ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (EIA) و ارزیابی راهبردی زیست‌محیطی (SEA) دارد، و این دو ابزار عمدتاً برای سنجش «آسیب‌های محیطی» طراحی شده‌اند، نه برای ادغام ارزش‌های اخلاقی یا عدالت اجتماعی در عمل، ارزیابی

پایداری امروزی اغلب به سه بُعد موسوم به سه‌گانه‌ی پایداری (Triple Bottom Line) محدود می‌شود:



پایداری سه‌گانه



۱. بُعد اقتصادی،

۲. بُعد اجتماعی،

۳. بُعد زیست‌محیطی

اما تانگ می‌گوید این سه‌گانه کافی نیست، زیرا:

- بیشتر شاخص‌ها و مدل‌های ارزیابی، کمی و عددی هستند (مانند هزینه-فایده، تحلیل چرخه عمر، یا شاخص‌های عملکرد)

- ارزش‌های کیفی مانند عدالت، احترام به طبیعت، یا مسئولیت اخلاقی، در مدل‌های کمی قابل اندازه‌گیری نیستند

به‌ویژه در روش‌های پولی‌سازی (Monetary Valuation)، طبیعت فقط به‌عنوان منبع ارزش اقتصادی دیده می‌شود این نگرش می‌تواند منجر به «معامله کردن محیط‌زیست» شود — جایی که تخریب طبیعت، با سود اقتصادی توجیه می‌گردد نویسنده هشدار می‌دهد: «وقتی طبیعت را صرفاً به‌عنوان منبعی برای خدمات و کالا در نظر می‌گیریم، به تدریج روح اخلاقی پایداری را از دست می‌دهیم»

۲۲ ضرورت افزودن بُعد اخلاقی

۲۳۱ پیوند میان مفهوم و عمل

هدف اصلی SA این است که فعالیت‌ها به‌گونه‌ای طراحی شوند که بیشترین سهم را در توسعه پایدار داشته باشند اما «پایداری» مفهومی چندوجهی است؛ نمی‌توان آن را فقط با شاخص‌های فیزیکی یا اقتصادی سنجید ارزش‌ها، نیت‌ها و ترجیحات اخلاقی تصمیم‌گیران در این میان نقشی اساسی دارند تانگ تأکید می‌کند که ارزیابی پایداری باید از نگاه صرفاً فنی و عددی خارج شده و به ابزاری هنجاری (Normative Tool) تبدیل شود، یعنی ابزاری که نه تنها توصیف کند چه هست، بلکه نشان دهد چه باید باشد به بیان دیگر: «پایداری باید از علم سنجش، به اخلاق انتخاب ارتقا یابد»

۲۳۲ تحول در درک رابطه انسان و طبیعت

یکی از محورهای اصلی فصل، بازنگری در نگاه انسان به طبیعت است در بسیاری از مدل‌های کنونی، اکوسیستم به‌صورت «ارائه‌دهنده خدمات به انسان» (Ecosystem Services) تعریف می‌شود یعنی ارزش طبیعت در میزان بهره‌ای است که به ما می‌رساند.

اما از دید اخلاقی، این نگرش انسان‌محور (Anthropocentric) است و نمی‌تواند پایداری واقعی ایجاد کند نویسنده پیشنهاد می‌دهد که باید به سمت دیدگاهی زیست‌محور (Biocentric) یا اکولوژیکی حرکت کنیم، که در آن خود طبیعت دارای ارزش ذاتی است، نه صرفاً ابزاری برای رفاه انسان او با استناد به اندیشمندانی مانند آلدو لئوپولد (Aldo Leopold) می‌نویسد: «زمین نه دارایی ما، بلکه جامعه‌ای است که ما نیز عضوی از آنیم وقتی زمین را با عشق و احترام ببینیم، از آن سوءاستفاده نخواهیم کرد» این دیدگاه، «اخلاق زمین» یا Land Ethic نام دارد و بنیان اخلاق زیست‌محیطی مدرن محسوب می‌شود در چنین نگرشی، انسان و طبیعت در یک شبکه‌ی حیات (Web of Life) درهم‌تنیده‌اند، و تصمیم‌گیری پایدار باید این همبستگی را بازتاب دهد.





۲۴ پیوند میان اخلاق، سیاست و ارزیابی پایداری

برای اینکه بُعد اخلاقی در تصمیم‌گیری‌های زیست‌محیطی وارد شود، باید سازوکارهای چندسطحی ایجاد گردد:

۱. در سطح سیاست‌گذاری:

چارچوب‌های ارزیابی باید شامل ارزش‌های عدالت زیست‌محیطی، برابری بین‌نسلی و حق طبیعت باشند

۲. در سطح آموزش و طراحی:

مهندسان و طراحان باید یاد بگیرند که تصمیم‌های فنی‌شان، پیامدهای اخلاقی دارد
آموزش طراحی اکولوژیکی باید مفاهیمی چون همدلی با طبیعت، احترام به زندگی، و مسئولیت اجتماعی را در بر گیرد

۳. در سطح مشارکت عمومی:

جوامع محلی و ذی‌نفعان باید در فرآیند ارزیابی مشارکت داده شوند، تا تصمیم نهایی بازتاب‌دهنده ارزش‌های فرهنگی و اخلاقی آنان باشد

۲۵ چارچوب اخلاقی پیشنهادی برای ارزیابی پایداری

تانگ در پایان، یک الگوی مفهومی برای ادغام اخلاق در ارزیابی پایداری ارائه می‌دهد که از سه لایه تشکیل شده است:

توضیح	لایه
درک علمی از مسائل پایداری و جمع‌آوری داده‌های معتبر	لایه شناختی (Cognitive)
بازتاب ارزش‌ها، عدالت، و مسئولیت‌های اخلاقی تصمیم‌گیران	لایه هنجاری (Normative)
تعامل میان ذی‌نفعان، جامعه مدنی و کارشناسان برای رسیدن به اجماع اخلاقی	لایه مشارکتی (Participatory)

در این چارچوب، تصمیم‌گیری نه فقط بر اساس داده‌ها، بلکه بر اساس گفت‌وگو و قضاوت اخلاقی جمعی انجام می‌شود به این ترتیب، ارزیابی پایداری به پلی میان علم و وجدان انسانی تبدیل می‌گردد.

۲۶ نتیجه‌گیری

- پایداری مفهومی صرفاً فنی یا اقتصادی نیست؛ بلکه روندی اخلاقی و فرهنگی است
- بدون توجه به ارزش‌های اخلاقی، هیچ شاخص یا مدل عددی نمی‌تواند معنای واقعی پایداری را بازتاب دهد
- آینده‌ی طراحی اکولوژیکی باید از «محاسبه‌گرایی» فاصله بگیرد و به سمت انسان‌محوری اخلاقی و طبیعت‌محوری معنوی حرکت کند

نویسنده فصل را با این جمله به پایان می‌برد: «پایداری زمانی حاصل می‌شود که علم، اخلاق و انسانیت در تصمیم‌گیری‌ها در کنار هم قرار گیرند»





این فصل می‌تواند به‌عنوان مرجع نظری در دوره‌های آموزشی یا سخنرانی‌های «مدیریت اخلاقی پایداری» مورد استفاده قرار گیرد. پیام کلیدی آن برای مدیران، مهندسان و سیاست‌گذاران چنین است: «هیچ طراحی سبزی بدون اخلاق سبز ممکن نیست» و این مفهوم را می‌توان به‌صورت یک شعار یا محور برای سخنرانی انجمن چنین نام‌گذاری کرد: «از شاخص تا ارزش: اخلاق، قلب تپنده توسعه پایدار»

خلاصه تحلیلی مدیریتی

(Executive Summary for Green Management Professionals)

«از شاخص تا ارزش: اخلاق، قلب تپنده توسعه پایدار»

۱ پیام محوری فصل

پایداری را نمی‌توان فقط با عدد، شاخص و مدل سنجید؛ پایداری، پیش از آنکه یک علم مهندسی باشد، یک انتخاب اخلاقی و انسانی است. هر تصمیم سبز، تصمیمی اخلاقی است؛ زیرا درباره‌ی «حق زندگی»، «عدالت زیست‌محیطی» و «احترام به طبیعت» داوری می‌کند.

۲ مسئله‌ی اصلی که فصل مطرح می‌کند

در دهه‌های اخیر، ارزیابی‌های پایداری (SA) به ابزارهایی دقیق، اما سرد و مکانیکی بدل شده‌اند. مدل‌های اقتصادی و زیست‌محیطی، تصمیم‌ها را بر مبنای عدد و شاخص اتخاذ می‌کنند، در حالی که:

- ارزش‌های فرهنگی و اجتماعی نادیده گرفته می‌شوند،
- عدالت بین‌نسلی در محاسبات دیده نمی‌شود،
- و طبیعت صرفاً به‌عنوان «منبع خدمات» تلقی می‌شود.

نویسنده می‌گوید این رویکرد باعث می‌شود که علم، اخلاق را از تصمیم جدا کند؛ در نتیجه، حتی پروژه‌ای «به‌ظاهر سبز» ممکن است از درون ناپایدار باشد.

۳ راه‌حل پیشنهادی

پیشنهاد تانگ، بازگرداندن بُعد اخلاقی به فرآیند تصمیم‌گیری است. این یعنی ارزیابی پایداری باید نه فقط از شاخص‌ها، بلکه از پرسش‌های اخلاقی آغاز شود:

- آیا این پروژه عدالت زیست‌محیطی را رعایت می‌کند؟
- آیا نسل‌های آینده از این تصمیم آسیب می‌بینند؟
- آیا ارزش ذاتی طبیعت محترم شمرده شده است؟





- آیا منافع اقتصادی، بر حق حیات غیرانسان‌ها غلبه یافته است؟

این نگاه، پایداری را از سطح «بزار» به سطح «وجدان» ارتقا می‌دهد

۴ مدل سه‌لایه‌ای ارزیابی پایداری اخلاقی

لایه	شرح	ابزارها و اقدامات پیشنهادی
۱ لایه شناختی (Cognitive)	شناخت علمی و داده‌محور از وضعیت زیست‌محیطی و اجتماعی	تحلیل چرخه عمر (LCA)، مدل‌های انرژی، شاخص‌های مصرف منابع
۲ لایه هنجاری (Normative)	ادغام ارزش‌ها، عدالت و اصول اخلاقی در تصمیم‌گیری	منشور اخلاقی محیط‌زیست، آموزش مسئولیت اجتماعی، ارزیابی ارزش‌های غیرمادی
۳ لایه مشارکتی (Participatory)	حضور ذی‌نفعان و جامعه در فرآیند تصمیم	جلسات گفت‌وگو، نظرخواهی عمومی، هم‌اندیشی بین کارشناسان و شهروندان

تنها زمانی تصمیمی پایدار است که در این سه لایه، همزمان درست باشد: علمی، اخلاقی، و اجتماعی

۵ دستاوردهای کلیدی برای مدیران و تصمیم‌گیران

۱. اخلاق، موتور نوآوری پایدار است

بدون وجدان اخلاقی، فناوری سبز به کالایی مصرفی تبدیل می‌شود، نه به عامل تحول

۲. پایداری نیازمند عدالت است، نه فقط کارایی

توسعه‌ای که عدالت زیست‌محیطی و بین‌نسلی را نادیده بگیرد، دیر یا زود به فروپاشی منجر می‌شود

۳. علم باید به زبان ارزش ترجمه شود

مدیران باید بتوانند یافته‌های علمی را به معیارهای انسانی، فرهنگی و بومی تبدیل کنند

چک‌لیست تصمیم‌گیری اخلاقی در پروژه‌های سبز

این چک‌لیست می‌تواند در جلسات ارزیابی طرح‌ها، پروژه‌ها یا سیاست‌های سبز به کار رود هر پرسش با پاسخ «بله / تا حدی / خیر» قابل ارزیابی¹³ است.





شماره	پرسش کلیدی	بله	تا حدی	خیر
۱	آیا تصمیم شما احترام به زندگی (انسانی و غیرانسانی) را در نظر گرفته است؟	☐	☐	☐
۲	آیا عدالت بین نسل کنونی و نسل‌های آینده رعایت شده است؟	☐	☐	☐
۳	آیا منافع اقتصادی باعث قربانی شدن ارزش‌های زیست‌محیطی نشده است؟	☐	☐	☐
۴	آیا جوامع محلی در تصمیم‌گیری مشارکت داده شده‌اند؟	☐	☐	☐
۵	آیا اثرات اجتماعی و فرهنگی پروژه ارزیابی شده است؟	☐	☐	☐
۶	آیا ارزش ذاتی طبیعت (نه فقط کارکرد اقتصادی آن) محترم شمرده شده است؟	☐	☐	☐
۷	آیا تصمیم نهایی با اصول اخلاق حرفه‌ای و مسئولیت اجتماعی سازگار است؟	☐	☐	☐
۸	آیا نظام پایش اخلاقی برای ارزیابی مستمر تصمیم‌ها وجود دارد؟	☐	☐	☐
۹	آیا پیامدهای ناخواسته یا ریسک‌های اخلاقی تصمیم بررسی شده‌اند؟	☐	☐	☐
۱۰	آیا نتیجه‌ی تصمیم قابل توضیح و دفاع اخلاقی در برابر جامعه است؟	☐	☐	☐

اگر پاسخ «بله» در بیش از ۸ مورد باشد، پروژه از نظر اخلاقی پایدار ارزیابی می‌شود اگر کمتر از ۵ مورد بله است، نیاز به بازنگری اخلاقی در تصمیم وجود دارد





فصل سوم: مدیریت زیست‌محیطی در آموزش عالی: بررسی عملکرد و چالش‌ها

(Environmental Management in Higher Education: Performance and Challenges)

۳۱ مقدمه

در دهه‌ی اخیر، مؤسسات آموزش عالی در سراسر جهان با فشار فزاینده‌ای روبه‌رو شده‌اند تا نقش خود را در گذار به توسعه پایدار ایفا کنند. دانشگاه‌ها نه تنها مراکز آموزش و پژوهش هستند، بلکه الگوهای فرهنگی و رفتاری برای جامعه محسوب می‌شوند بنابراین، آن‌ها باید خود نمونه‌ای از «مدیریت پایدار» باشند؛ هم در آموزش و پژوهش، و هم در عملیات روزمره.

نویسندگان یادآور می‌شوند که امروزه بیش از ۹۰۰ دانشگاه در جهان دارای برنامه‌های رسمی برای مدیریت محیط‌زیست، کاهش اثرات کربنی و ترویج فرهنگ پایداری هستند. با این حال، بیشتر این برنامه‌ها پراکنده و فاقد چارچوب یکپارچه‌اند.

به همین دلیل، در این فصل تلاش شده است تا چارچوبی نظام‌مند برای مدیریت زیست‌محیطی در دانشگاه‌ها طراحی و ارزیابی شود.

۳۲ نقش دانشگاه در توسعه پایدار

دانشگاه‌ها سه نقش اصلی در مسیر پایداری دارند:

۱. نقش آموزشی: تربیت نسل آینده‌ی تصمیم‌گیران، مهندسان و مدیران با درک محیط‌زیستی
۲. نقش پژوهشی: تولید دانش، فناوری و نوآوری برای حل چالش‌های زیست‌محیطی
۳. نقش الگویی: تبدیل شدن به «آزمایشگاه زنده (Living Lab)» که در آن خود دانشگاه به الگوی عملی پایداری بدل شود





به‌ویژه در اروپا، ابتکارهایی نظیر **University Environmental Management System (UEMS)** و **Green Campus Movement** در جهت تحقق این اهداف پدید آمده‌اند اما سؤال این است: آیا این تلاش‌ها واقعاً در عمل تأثیرگذارند؟ و دانشگاه‌ها تا چه اندازه توانسته‌اند پایداری را به فرهنگ سازمانی خود تبدیل کنند؟

۳۳ چارچوب نظام مدیریت زیست‌محیطی دانشگاهی

نویسندگان برای پاسخ به این پرسش، یک مدل مفهومی تحت عنوان زیر طراحی کرده‌اند

HEI-EMS (Higher Education Institution – Environmental Management System)

این مدل چهار سطح عملکردی دارد:

سطح	محور عملکرد	توضیح
سیاست و تعهد ۱ (Policy and Commitment)	تدوین بیانیه پایداری، سیاست محیط‌زیستی، اهداف کربن صفر	مدیریت ارشد باید مسئولیت‌پذیری زیست‌محیطی را رسمی کند
ساختار سازمانی ۲ (Organization & Resources)	تشکیل کمیته‌ی سبز، تعیین مسئول محیط‌زیست، تأمین بودجه	بدون ساختار رسمی، هیچ اقدام پایداری ماندگار نیست
برنامه‌ریزی و اجرا ۳ (Planning & Implementation)	آموزش، کاهش مصرف انرژی، مدیریت پسماند، حمل‌ونقل سبز	اقدام‌های عملی و قابل سنجش برای کاهش اثرات محیطی
ارزیابی و بهبود ۴ (Assessment & Improvement)	پایش شاخص‌ها، ممیزی محیط‌زیست، گزارش‌دهی عمومی	چرخه‌ی بازخورد برای ارتقا و شفافیت

این چارچوب به مدل‌های استاندارد مانند **ISO 14001** و **EMAS (Eco-Management and Audit Scheme)** نیز متصل است، اما با نیازهای آموزشی و پژوهشی دانشگاه‌ها تطبیق داده شده است.

۳۴ تحلیل عملکرد و چالش‌ها

نتایج مطالعه‌ی میدانی در چند دانشگاه اروپایی (ایتالیا، آلمان، اسپانیا و فرانسه) نشان داد که اجرای نظام مدیریت زیست‌محیطی در دانشگاه‌ها با چند چالش اصلی روبه‌روست:

الف) چالش‌های مدیریتی

- کمبود منابع مالی برای پروژه‌های سبز





- ناپایداری در مدیریت؛ تغییر مدیران باعث توقف برنامه‌ها می‌شود
- ناهماهنگی بین بخش‌های آموزشی، فنی و اداری

ب) چالش‌های فرهنگی

- نبود آگاهی محیط‌زیستی میان کارکنان و دانشجویان
- تصور اشتباه که «پایداری وظیفه‌ی بخش محیط‌زیست است، نه همه‌ی دانشگاه»
- ضعف در ارتباط بین برنامه‌های درسی و سیاست‌های زیست‌محیطی دانشگاه

ج) چالش‌های فنی

- نبود داده‌های دقیق در مصرف انرژی، آب، پسماند و انتشار کربن
 - ضعف در سیستم‌های پایش و ممیزی
 - فقدان شاخص‌های بومی و قابل مقایسه بین دانشگاه‌ها
- نویسندگان تأکید می‌کنند که راه‌حل اصلی، یکپارچه‌سازی پایداری با مأموریت دانشگاه است؛ یعنی محیط‌زیست نه به‌عنوان پروژه‌ای جداگانه، بلکه به‌عنوان بخشی از هویت آموزشی و پژوهشی نهاد دیده شود.

۳۵ ابزارها و روش‌های ارزیابی عملکرد

برای ارزیابی پایداری در دانشگاه‌ها، چند ابزار بین‌المللی وجود دارد که در این فصل معرفی و مقایسه شده‌اند:

1. UI GreenMetric (اندونزی)

رتبه‌بندی جهانی دانشگاه‌های سبز بر اساس شاخص‌هایی مانند انرژی، پسماند، حمل‌ونقل و آموزش

2. STARS (AASHE, آمریکا)

چارچوب جامع ارزیابی پایداری در آموزش عالی شامل بیش از ۶۰ شاخص آموزشی، اجتماعی و مدیریتی

3. EMAS و ISO 14001 (اتحادیه اروپا)

استانداردهای رسمی سیستم‌های مدیریت محیط‌زیست، با رویکرد فرآیندی و ممیزی

۴. Sustainability Tracking, Assessment & Rating System (STARS)





ابزاری برای خودارزیابی و مقایسه‌ی پیشرفت پایداری بین مؤسسات آموزش عالی نویسندگان نتیجه می‌گیرند که مهم‌تر از انتخاب ابزار، تعهد مدیریتی و فرهنگ سازمانی پایداری است حتی بهترین مدل‌ها بدون مشارکت فعال دانشجویان و کارکنان، تأثیر محدودی دارند.

۳۶ دانشگاه به‌عنوان آزمایشگاه زنده (Living Lab)

یکی از رویکردهای نوین، تبدیل دانشگاه به آزمایشگاه زنده پایداری استدر این رویکرد:

- پردیس دانشگاه نه فقط محل آموزش، بلکه خود موضوع آزمایش و پژوهش می‌شود؛
 - دانشجویان در پروژه‌های واقعی مانند مدیریت انرژی، پسماند یا طراحی سبز ساختمان‌ها مشارکت می‌کنند؛
 - و نتایج مستقیماً در سیاست‌گذاری‌های دانشگاه به کار می‌رود
- این مدل، شکاف بین آموزش نظری و اقدام عملی را پر می‌کند و حس «مالکیت محیط‌زیستی» را در جامعه‌ی دانشگاهی ایجاد می‌نماید.

۳۷ نتیجه‌گیری

نویسندگان فصل را با این سه نتیجه کلیدی جمع‌بندی می‌کنند:

۱. دانشگاه‌ها موتور فرهنگ پایداری‌اند
هر اقدام کوچک در دانشگاه، الگویی برای جامعه است
۲. مدیریت زیست‌محیطی باید نهادمند و فراگیر باشد
از مدیریت ارشد تا کارمند خدمات و دانشجو، همه باید بخشی از سیستم باشند
۳. پایداری فقط با آموزش به دست نمی‌آید؛ با مشارکت، تمرین و سنجش واقعی است که پایدار می‌شود

جمع‌بندی مدیریتی

این فصل برای «انجمن مدیریت سبز ایران» می‌تواند به‌عنوان مرجع طراحی «الگوی دانشگاه سبز ایران» مورد استفاده قرار گیرد نکات کلیدی قابل‌کاربرد در کشور ما عبارت‌اند از:

محور	اقدام پیشنهادی
سیاست‌گذاری	تدوین منشور دانشگاه سبز در سطح ملی و استانی
مدیریت منابع	ایجاد دفتر محیط‌زیست در دانشگاه‌ها و تخصیص بودجه‌ی سبز
آموزش	ادغام مفاهیم پایداری در برنامه‌های درسی تمام رشته‌ها
پژوهش و نوآوری	حمایت از پروژه‌های تحقیقاتی در حوزه‌ی انرژی و مدیریت منابع
مشارکت اجتماعی	تشکیل گروه‌های داوطلب دانشجویی و کمپین‌های سبز
پایش و گزارش‌دهی	انتشار سالانه‌ی «گزارش پایداری دانشگاه» به‌صورت شفاف

دانشگاه سبز؛ جایی که آموزش، عمل می‌شود و پایداری، زیسته می‌شود





الگوی عملیاتی نظام مدیریت زیست‌محیطی در دانشگاه‌ها

هدف کلان: ایجاد نظامی جامع و نهادمند برای مدیریت زیست‌محیطی در دانشگاه‌های ایران به منظور کاهش اثرات محیطی، ارتقای آگاهی سبز، و تبدیل دانشگاه به الگوی عملی توسعه پایدار

ساختار مدل

مدل از پنج بُعد راهبردی و چهار سطح اجرایی تشکیل شده است

بُعد اول: سیاست و راهبری سبز

هدف: نهادینه‌سازی پایداری در سطح تصمیم‌گیری و سیاست دانشگاه

شاخص ارزیابی	مسئول اجرا	شرح	اقدام کلیدی
تصویب و انتشار منشور	هیئت رئیسه، شورای دانشگاه	بیانیه رسمی با تعهد به توسعه پایدار، کاهش کربن، مدیریت منابع	تدوین منشور پایداری دانشگاه
تعداد جلسات رسمی و مصوبات سالانه	رئیس دانشگاه	با حضور نمایندگان دانشجویان، اعضای هیئت علمی و کارکنان	ایجاد شورای عالی محیط‌زیست
گزارش عملکرد سالانه	معاونت اداری و مالی	مسئول هماهنگی پروژه‌های سبز در همه‌ی حوزه‌ها	انتصاب مدیر سبز دانشگاه (Chief Sustainability Officer)
درصد تحقق اهداف هر سال	دفتر محیط‌زیست	کاهش مصرف انرژی، آب، پسماند و کربن	تعیین اهداف کمی سبز

بُعد دوم: نظام مدیریت و عملیات

هدف: مدیریت کارآمد منابع و کاهش اثرات محیطی پردیس

هدف کمی سالانه	ابزار و شاخص	اقدام کلیدی	حوزه
کاهش ۱۰٪ سالانه	شاخص مصرف کیلووات ساعت/دانشجو	نصب کنتور هوشمند، عایق کاری، استفاده از انرژی تجدیدپذیر	انرژی
کاهش ۱۵٪	لیتر مصرفی به ازای مترمربع فضا	بازچرخانی آب خاکستری، سیستم قطره‌ای، اصلاح شیرآلات	آب
۵۰٪ بازیافت تا سه سال	درصد بازیافت از کل تولید	تفکیک در مبدا، بازیافت کاغذ و پلاستیک، کمپوست زباله غذایی	پسماند
۳۰٪ افزایش تا دو سال	نسبت سفرهای پایدار	مسیر دوچرخه، حمل‌ونقل عمومی، پارکینگ سبز	حمل‌ونقل
اجرای طرح پایلوت در ۱ دانشکده	ممیزی انرژی و LCA	استانداردسازی ساختمان‌های جدید با معیار انرژی A	ساختمان سبز





بعد سوم: آموزش، پژوهش و فرهنگ‌سازی

هدف: پرورش فرهنگ زیست‌محیطی و تلفیق آموزش سبز در نظام آموزشی

شاخص	ابزار	اقدام
تعداد رشته‌های دارای واحد پایداری	سرفصل مشترک مصوب شورای آموزش	گنجاندن درس «پایداری و محیط‌زیست» در تمام رشته‌ها
تعداد مشارکت‌کنندگان	نمایشگاه، کارگاه، پاک‌سازی، مسابقات نوآوری	برگزاری «هفته دانشگاه سبز»
درصد پایان‌نامه‌های مرتبط با موضوعات پایداری	اعطای امتیاز و گرنت پژوهشی	حمایت از پایان‌نامه‌های سبز
تعداد انجمن‌های فعال	با حمایت دفتر فرهنگی	ایجاد «انجمن‌های دانشجویی سبز»

بعد چهارم: پایش، گزارش‌دهی و شفافیت

هدف: اندازه‌گیری پیشرفت، پاسخگویی عمومی، و بهبود مستمر

شاخص	شرح	اقدام
انتشار گزارش عمومی	بر پایه استاندارد GRI یا STARS	تدوین گزارش سالانه پایداری
اجرای ممیزی هر شش ماه	بازبینی شاخص‌های مصرف و عملکرد سبز	ممیزی داخلی محیط‌زیست
تأییدیه سالانه	ممیزی توسط انجمن مدیریت سبز ایران	ارزیابی بیرونی (External Audit)
فعال بودن سامانه	نمایش زنده داده‌های مصرف انرژی و آب	ایجاد داشبورد سبز دیجیتال

بعد پنجم: ارتباطات، شبکه‌سازی و نوآوری اجتماعی

هدف: پیوند دانشگاه با جامعه، صنعت و دولت در مسیر پایداری

شاخص موفقیت	هدف	اقدام
تعداد پروژه‌های مشترک	کاهش آلاینده‌ها، بازیافت، انرژی پاک	امضای تفاهم‌نامه با شهرداری و صنعت برای پروژه‌های سبز
عضویت و گزارش سالانه	تبادل تجربه و داده	عضویت در شبکه بین‌المللی «Green Campus»
تعداد استارت‌آپ‌های سبز ایجادشده	توسعه ایده‌های دانشجویی	ایجاد مرکز نوآوری سبز (Green Innovation Hub)
تعداد برنامه‌های CSR در سال	آموزش محیط‌زیست در مدارس و جوامع محلی	برنامه مسئولیت اجتماعی دانشگاه (CSR)





چهار سطح اجرایی مدل

نمونه اقدام	دامنه اجرا	سطح
«منشور دانشگاه سبز ایران»	تدوین سیاست ملی دانشگاه‌های سبز توسط انجمن و وزارت علوم	سطح ۱: استراتژیک (ملی)
«دفتر مدیریت سبز»	تشکیل ساختار اجرایی سبز در هر دانشگاه	سطح ۲: سازمانی (دانشگاه)
طرح «پردیس کم‌کربن»	اجرای پروژه‌های انرژی، پسماند، آب، حمل‌ونقل	سطح ۳: عملیاتی (پردیس/دانشکده)
کمپین «من سبزم چون»	رفتار سبز اساتید، کارکنان و دانشجویان	سطح ۴: فرهنگی (افراد)

شاخص‌های کلیدی ارزیابی (KPIs)

هدف پنج‌ساله	واحد سنجش	شاخص
کاهش ۳۰٪	kWh/دانشجو	سرانه مصرف انرژی
کاهش ۲۵٪	لیتر/نفر/روز	سرانه مصرف آب
افزایش به ۶۰٪	درصد	نسبت بازیافت پسماند
۸۰٪ رشته‌ها	درصد واحدهای درسی مرتبط	سطح آموزش سبز
۱ گزارش سالانه	دفعات در سال	انتشار گزارش پایداری

راهکار اجرایی پیشنهادی

۱ تدوین دستورالعمل ملی دانشگاه سبز ایران با همکاری وزارت علوم ۲ برگزاری دوره‌ی آموزشی «مدیر سبز دانشگاهی» برای معاونان اداری-مالی

۳ تشکیل بانک اطلاعات پایداری دانشگاه‌ها (Green Data Bank)

۴ ایجاد جایزه‌ی سالانه‌ی Green Campus Award برای دانشگاه‌های برتر

۵ تهیه‌ی «شاخص ملی عملکرد پایداری آموزش عالی ایران» (ISPI)

شعار اجرایی مدل: «از آموزش تا اقدام؛ دانشگاه ایرانی، پیشگام توسعه پایدار»





فصل چهارم: بررسی جنبش زیست‌محیطی برای حفاظت از درختان کهنسال

(Exploring the Environmental Movement for the Preservation of Big Trees: A Case Study of Urban Thailand)

۴۱ مقدمه

درختان کهنسال در مناطق شهری، فراتر از ارزش زیباشناختی خود، بخشی از حافظه تاریخی و هویت فرهنگی شهر هستند اما در بسیاری از شهرهای آسیایی، به‌ویژه در کشورهایی با رشد سریع اقتصادی مانند تایلند، توسعه شهری، ساخت‌وسازهای جدید، و گسترش شبکه‌های حمل‌ونقل باعث شده‌اند که بسیاری از این درختان در معرض نابودی قرار گیرند.

نویسنده یادآور می‌شود که:

«درختان بزرگ، شاهدان خاموش تمدن‌اند؛ اما در طرح‌های توسعه شهری اغلب به‌عنوان مانع دیده می‌شوند، نه میراث»

در پاسخ به این روند، طی دهه‌ی گذشته در تایلند و برخی کشورهای همسایه، جنبش‌های مردمی برای حفاظت از درختان بزرگ و فضاهای سبز تاریخی شکل گرفته است این فصل به تحلیل ریشه‌ها، ساختار و تأثیرات این جنبش‌ها در بستر اجتماعی و فرهنگی تایلند می‌پردازد.

۴۲ زمینه و پیش‌زمینه

۴۲۱ توسعه شهری و بحران زیست‌محیطی در تایلند

تایلند از دهه‌ی ۱۹۸۰ به‌سرعت در مسیر صنعتی‌شدن و توسعه شهری گام نهاد اما این رشد اقتصادی، پیامدهایی جدی داشت:

- کاهش شدید فضای سبز شهری؛
- افزایش آلودگی هوا و حرارت جزیره‌های حرارتی؛
- نابودی اکوسیستم‌های محلی و میراث طبیعی





بر اساس داده‌های وزارت منابع طبیعی تایلند (۲۰۱۷)، بیش از ۴۰٪ درختان کهنسال بانکوک در عرض ۲۰ سال از بین رفته‌اند در چنین شرایطی، جامعه‌ی مدنی وارد عمل شد تا صدای طبیعت باشد.

۴۲۲ شکل‌گیری جنبش «درختان کهنسال من، میراث شهر من»

در سال ۲۰۱۰، گروهی از دانشجویان، معماران و فعالان فرهنگی بانکوک، کمپینی با نام -My Big Tree: My City Heritage آغاز کردند هدف آن، شناسایی، ثبت و حفاظت از درختان تاریخی و کهنسال در محدوده‌ی شهری بود این حرکت از دل شبکه‌های اجتماعی آغاز شد و به تدریج به یک جنبش عمومی تبدیل گردید که شامل:

- داوطلبان محلی برای پایش و شناسایی درختان؛
- همکاری با مدارس برای آموزش اهمیت درختان؛
- و مطالبه‌گری از شهرداری برای ثبت قانونی درختان تاریخی

۴۲۳ روش‌شناسی مطالعه

نویسنده از روش تحقیق کیفی با ابزارهای زیر استفاده کرده است:

- مصاحبه با ۳۵ نفر از فعالان و مدیران شهری؛
- مشاهده‌ی میدانی در سه شهر (بانکوک، چیانگ‌مای و نان)؛
- تحلیل محتوای شبکه‌های اجتماعی و پست‌های کمپین

هدف پژوهش، فهم فرآیند اجتماعی و فرهنگی حفاظت از طبیعت در محیط شهری است، نه فقط ارزیابی فنی

۴۴ یافته‌های کلیدی

۴۴۱ از محیط‌زیست به شهروندی سبز

نتایج نشان می‌دهد که این جنبش‌ها صرفاً زیست‌محیطی نیستند، بلکه جنبش‌های هویتی و اجتماعی نیز هستند شرکت‌کنندگان در کمپین‌ها احساس می‌کردند که حفاظت از درختان، نوعی احترام به گذشته و بازسازی حس تعلق شهری است به گفته‌ی یکی از مصاحبه‌شوندگان:

«ما از درختان دفاع می‌کنیم، چون آن‌ها بخشی از خانواده‌ی ما هستند»

در واقع، پایداری در اینجا به معنای پیوستگی فرهنگی و زیستی است، نه فقط کاهش آلودگی یا حفظ گونه‌ها





۴۴۲ ابزارهای خلاق برای حفاظت

جنبش‌های مردمی از روش‌های بسیار خلاقانه استفاده کردند، از جمله:

- نقشه‌برداری دیجیتال درختان با GPS و اشتراک در وبسایت‌ها؛
- برچسب‌گذاری فرهنگی (Cultural Tagging) برای معرفی تاریخ هر درخت؛
- برگزاری جشنواره‌های سالانه‌ی «روز درخت بزرگ»؛
- و استفاده از هنر عمومی (نقاشی، مجسمه، شعر) برای جلب حمایت عمومی

این ابزارها باعث شدند حفاظت از درختان از یک موضوع تخصصی، به یک فرهنگ شهری جمعی تبدیل شود

۴۴۳ تعامل با سیاست و نهادها

در ابتدا شهرداری‌ها در برابر جنبش مقاومت نشان می‌دادند، زیرا درختان اغلب مانع توسعه‌ی جاده‌ها یا ساختمان‌های جدید تلقی می‌شدند اما با افزایش توجه رسانه‌ها و حمایت عمومی، دولت محلی مجبور شد با فعالان همکاری کند.

در سال ۲۰۱۵، شهرداری بانکوک برنامه‌ای به نام **Big Tree Register** ایجاد کرد که طی آن حدود ۱۲۰۰ درخت با سن بیش از ۵۰ سال شناسایی و ثبت شدند این اقدام نتیجه‌ی مستقیم فشار و مشارکت جامعه مدنی بود.

۴۵ تحلیل فرهنگی و اجتماعی

جنبش حفاظت از درختان در تایلند، نمونه‌ای روشن از پایداری فرهنگی (Cultural Sustainability) است در این دیدگاه:

- طبیعت و فرهنگ جدای از هم نیستند؛
- حفظ یک درخت، حفظ بخشی از تاریخ و حافظه‌ی جمعی است؛
- و توسعه‌ی پایدار، بدون احترام به ریشه‌های فرهنگی، ناقص است

در سنت بودایی تایلند نیز، درختان کهنسال جایگاه معنوی دارند در برخی مناطق، به‌ویژه در شمال کشور، درختان مقدس با پارچه‌های نارنجی ۲۴ (نشانه‌ی بودا) پوشانده می‌شوند تا از قطع آن‌ها جلوگیری شود این پیوند میان دین، فرهنگ و محیط‌زیست، موجب پایداری و عمق جنبش شده است

۴۶ درس‌هایی برای سایر کشورها

نویسنده چند نتیجه‌ی عملی برای سیاست‌گذاران و دانشگاهیان بیان می‌کند:





۱. توسعه بدون حافظه، پایداری ندارد

فضاهای سبز شهری باید به‌عنوان میراث فرهنگی و نه فقط منابع زیست‌محیطی حفظ شوند

۲. مشارکت عمومی کلید موفقیت است

قوانین و طرح‌های دولتی تنها زمانی مؤثرند که مردم احساس «مالکیت اخلاقی» نسبت به طبیعت داشته باشند

۳. آموزش، نقطه‌ی شروع هر تحول زیست‌محیطی است

مدارس و دانشگاه‌ها باید آموزش محیط‌زیستی را با تجربه‌ی عملی پیوند دهند، نه فقط در سطح نظری

۴. فناوری می‌تواند تسهیل‌کننده‌ی جنبش سبز باشد

ابزارهای دیجیتال، نقشه‌برداری، و شبکه‌های اجتماعی می‌توانند مشارکت مردمی را گسترش دهند

۴۷ نتیجه‌گیری

جنبش حفاظت از درختان بزرگ در تایلند نشان داد که:

- پایداری از پایین به بالا (Bottom-up Sustainability) گاهی مؤثرتر از سیاست‌های رسمی است؛
- تغییر واقعی زمانی رخ می‌دهد که ارزش‌های فرهنگی، عشق به طبیعت و هویت شهری در هم تنیده شوند؛
- و شهر سبز نه با قانون، بلکه با عاطفه‌ی جمعی و وجدان فرهنگی ساخته می‌شود

نویسنده فصل را با این جمله زیبا به پایان می‌برد:

«درختان بزرگ، حافظان خاموش عدالت میان نسل‌ها هستند آنان را که بپایند، آینده را نیز بپایند»

جمع‌بندی مدیریتی، برای انجمن مدیریت سبز ایران، این فصل می‌تواند مبنای الهام‌بخشی برای جنبش‌های شهری پایداری فرهنگی و سبز

در کشور باشد تجربه‌ی تایلند نشان می‌دهد که تغییر از مردم آغاز می‌شود، نه از مقررات.

پیشنهادهای اجرایی بومی:

حوزه	اقدام پیشنهادی
شهری	تدوین برنامه‌ی «درختان کهنسال ایران» با همکاری شهرداری‌ها
فرهنگی	برچسب‌گذاری فرهنگی و تاریخی درختان ارزشمند شهرها
آموزشی	گنجاندن پروژه‌های میدانی در رشته‌های معماری، شهرسازی و محیط‌زیست
اجتماعی	تشکیل کمپین مردمی «درخت، میراث زنده ما» با حضور دانشجویان
فناوری	طراحی اپلیکیشن نقشه‌ی درختان شهری و امکان ثبت داوطلبانه درختان





فصل پنجم: واکنش ساکنان نسبت به تأسیسات انرژی تجدیدپذیر و تأثیر تمایل به سرمایه‌گذاری

(Residents' Reactions Against Renewable Energy Facilities and Influence of Investment Willingness)

۵۱ مقدمه

با رشد جهانی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بسیاری از کشورها پروژه‌های بزرگی در زمینه‌ی نیروگاه‌های بادی، خورشیدی و زیست‌توده اجرا کرده‌اند

اما در کنار پیشرفت فناوریانه، چالش اجتماعی مهمی نیز پدید آمده است: در بسیاری از مناطق، ساکنان محلی در برابر نصب و بهره‌برداری از این تأسیسات مقاومت نشان می‌دهند نویسندگان این پدیده را «اثر نات در حیاط من» یا همان **NIMBY (Not In My Backyard)** می‌نامند؛ یعنی: «ما با انرژی پاک موافقیم، اما نه در نزدیکی محل زندگی‌مان».

از این‌رو، پذیرش اجتماعی (**Social Acceptance**) به یکی از عوامل تعیین‌کننده‌ی موفقیت پروژه‌های انرژی تجدیدپذیر تبدیل شده است هدف این فصل بررسی این است که آیا تمایل مردم به مشارکت مالی و سرمایه‌گذاری، می‌تواند نگرش منفی آنان را تغییر دهد یا خیر.

۵۲ چارچوب نظری

پژوهش بر اساس سه فرضیه‌ی کلیدی بنا شده است:

۱. فرضیه ۱: واکنش منفی ساکنان نسبت به تأسیسات انرژی تجدیدپذیر، به میزان آگاهی و اعتماد آنان بستگی دارد
۲. فرضیه ۲: اگر ساکنان در پروژه سهام یا سرمایه‌گذار باشند، نگرش آنان مثبت‌تر خواهد شد
۳. فرضیه ۳: شفافیت در اطلاعات و مشارکت اجتماعی، عامل میانجی میان نگرش منفی و تمایل به همکاری است





این فرضیه‌ها بر پایه‌ی نظریه‌ی پذیرش فناوری (Technology Acceptance Model - TAM) و نیز مدل عدالت رویه‌ای (Procedural Justice) طراحی شده‌اند

۵۳ روش پژوهش

۵۳۱ نمونه و داده‌ها

تحقیق در سال ۲۰۱۸ در سه منطقه از ژاپن (هوکایدو، نیگاتا، و اوکیناوا) انجام شده است؛ مناطقی که در آن‌ها نیروگاه‌های بادی و خورشیدی نصب شده‌اند تعداد پاسخ‌گویان: ۳۲۰ نفر از ساکنان محلی ابزار پژوهش: پرسش‌نامه با مقیاس لیکرت (Likert Scale) در پنج سطح از «کاملاً مخالف» تا «کاملاً موافق»

۵۳۲ متغیرهای اصلی

- نگرش نسبت به پروژه (مثبت/منفی)
- آگاهی از مزایا و خطرات زیست‌محیطی
- اعتماد به مجریان پروژه
- تمایل به سرمایه‌گذاری (سرمایه‌ی مالی یا مشارکت اجتماعی)
- میزان رضایت از روند اطلاع‌رسانی و مشورت

تحلیل داده‌ها با روش مدل‌یابی معادلات ساختاری (SEM) انجام شده است

۵۴ نتایج و یافته‌ها

۵۴۱ رابطه میان آگاهی، اعتماد و پذیرش

نتایج نشان داد که هرچه آگاهی زیست‌محیطی ساکنان بیشتر باشد، میزان پذیرش پروژه بالاتر است با این حال، عامل کلیدی‌تر از آگاهی، اعتماد به مجریان پروژه بود اگر مردم احساس کنند که شرکت‌های انرژی یا نهادهای دولتی شفاف و قابل اعتمادند، احتمال پذیرش اجتماعی تا ۴۰٪ افزایش می‌یابد

۵۴۲ تأثیر تمایل به سرمایه‌گذاری

تحلیل‌ها نشان داد که افرادی که تمایل به مشارکت اقتصادی داشتند (مثلاً خرید سهام نیروگاه محلی)، نگرش بسیار مثبت‌تری نسبت به پروژه داشتند به عبارت دیگر، مشارکت مالی، حس مالکیت و تعلق اجتماعی ایجاد می‌کند در مناطقی که مدل «سرمایه‌گذاری مردمی» اجرا شده بود، شکایات و مقاومت‌های اجتماعی به شدت کاهش یافته بود





۵۴ نقش عدالت رویه‌ای

وقتی مردم احساس کنند که در فرآیند تصمیم‌گیری مورد مشورت قرار گرفته‌اند، مخالفتشان کاهش می‌یابد بنابراین، شفافیت و گفت‌وگو با ذی‌نفعان محلی از هر مداخله‌ی تبلیغاتی مؤثرتر است

۵۵ تحلیل و تفسیر

نویسندگان نتیجه می‌گیرند که پذیرش اجتماعی انرژی‌های تجدیدپذیر یک مسئله‌ی فنی نیست، بلکه اجتماعی و روان‌شناختی است. اگر پروژه‌ها از ابتدا به‌صورت مشارکتی طراحی شوند، نه تنها مقاومت‌ها کاهش می‌یابد، بلکه مردم خود به عامل گسترش انرژی پاک تبدیل می‌شوند. به‌طور خلاصه:

- مردم در صورتی با پروژه همراه می‌شوند که از آن سود مستقیم یا غیرمستقیم ببرند (مالی، اجتماعی یا زیست‌محیطی)
- احساس بی‌عدالتی یا تصمیم‌گیری از بالا به پایین، بزرگ‌ترین عامل مقاومت است
- مدل‌های موفق معمولاً بر پایه‌ی مالکیت جمعی و انرژی محلی (Community Energy) شکل می‌گیرند

۵۶ پیامدهای سیاستی

نویسندگان چند پیشنهاد سیاستی کلیدی ارائه می‌کنند:

پیشنهاد	محور
پروژه‌های انرژی باید از مرحله‌ی طراحی، ذی‌نفعان محلی را درگیر کنند	مدیریت پروژه
مدل «سرمایه‌گذاری مردمی» و «تعاونی انرژی سبز» باید توسعه یابد	اقتصاد اجتماعی
آگاهی‌بخشی در زمینه‌ی مزایای واقعی انرژی پاک و رفع سوءبرداشت‌ها	آموزش عمومی
ایجاد کانال‌های ارتباطی دوطرفه بین شرکت‌ها، دولت و ساکنان محلی	ارتباطات اجتماعی
توزیع متوازن منافع پروژه‌ها میان جوامع شهری و روستایی	عدالت فضایی

۵۷ نتیجه‌گیری

۱. پایداری بدون پذیرش اجتماعی، ممکن نیست

حتی بهترین فناوری‌ها در صورت مخالفت مردم شکست می‌خورند





۲. مردم زمانی همراه می‌شوند که در تصمیم شریک باشند

مشارکت مالی یا اجتماعی، کلید موفقیت پروژه‌های انرژی پاک است

۳. اعتماد و شفافیت، زیربنای هر تحول سبز است

سیاست‌گذاران باید از تصمیم‌های دستوری به سمت گفت‌وگو و هم‌سازی حرکت کنند

فصل با این جمله به پایان می‌رسد: «انرژی پاک تنها زمانی پذیرفته می‌شود که عدالت، اعتماد و مشارکت در آن جاری باشد»

جمع‌بندی مدیریتی

برای ایران، نتایج این فصل اهمیت زیادی دارد بسیاری از پروژه‌های بادی، خورشیدی یا زیست‌توده در مناطق محلی با مقاومت اجتماعی مواجه‌اند الگوی ژاپنی می‌تواند مبنای سیاست‌های بومی‌سازی مشارکت مردمی باشد پیشنهادهای کاربردی برای کشور:

حوزه	اقدام پیشنهادی
سیاست‌گذاری انرژی	طراحی مدل «انرژی محلی ایران (Iran Community Energy Model)» با سهام مردمی
آموزش و فرهنگ‌سازی	برگزاری کارگاه‌های آشنایی با انرژی‌های پاک برای شوراهای محلی و دهیاران
سرمایه‌گذاری اجتماعی	ایجاد صندوق‌های «سرمایه سبز محلی» برای پروژه‌های خورشیدی روستایی
رسانه و اطلاع‌رسانی	مستندسازی پروژه‌های موفق با محوریت مردم محلی
عدالت محیط‌زیستی	توزیع منافع پروژه بین ساکنان منطقه و جامعه گسترده‌تر





فصل ششم: ادغام پایداری در آموزش طراحی صنعتی: مطالعه موردی دانشگاه‌های ژاپن

(Sustainable Integration in Industrial Design Education: A Case Study of Japanese Universities)

۶۱ مقدمه

در دهه‌های اخیر، جهان طراحی صنعتی دچار تحولی اساسی شده است در گذشته، طراحی صنعتی بر زیبایی، عملکرد و تولید انبوه متمرکز بود، اما امروزه با بحران‌های زیست‌محیطی، کمبود منابع و تغییرات اقلیمی، طراحان وظیفه دارند فراتر از زیبایی و کارایی بیندیشند نویسنده می‌گوید: «طراح صنعتی امروز باید طراح آینده‌ای پایدار باشد»

در همین راستا، کشور ژاپن به‌عنوان یکی از پیشروترین کشورها در حوزه‌ی فناوری و طراحی، در حال بازنگری نظام آموزش طراحی خود است تا ارزش‌های پایداری، نوآوری سبز و تفکر چرخه عمر در آن نهادینه شود

۶۲ پیشینه و ضرورت

در ژاپن، طراحی صنعتی نقش مهمی در بازسازی اقتصادی پس از جنگ جهانی دوم داشت اما از دهه‌ی ۱۹۹۰، با افزایش نگرانی‌های محیط‌زیستی، مفهوم طراحی سبز (Eco-Design) و ارزیابی چرخه عمر (LCA) به تدریج وارد دانشگاه‌ها شد باین‌حال، آموزش سنتی طراحی همچنان بر جنبه‌های هنری و فنی تأکید دارد و توجه به ابعاد اجتماعی و زیست‌محیطی هنوز محدود است پرسش کلیدی این فصل چنین است: چگونه می‌توان اصول پایداری را به‌طور واقعی در برنامه‌های درسی طراحی صنعتی ادغام کرد، به‌گونه‌ای که طراحان آینده توانایی خلق محصولات مسئولانه و پایدار را داشته باشند؟

۶۳ روش تحقیق

نویسنده با استفاده از روش مطالعه‌ی موردی، چهار دانشگاه ژاپنی را بررسی کرده است: ۱ دانشگاه توکیو، ۲ دانشگاه کیوتو، ۳ دانشگاه چیبای، ۴ و مؤسسه فناوری کاناواوا

روش گردآوری داده‌ها شامل:

- تحلیل محتوای سرفصل‌های درسی،





• مصاحبه با اساتید و دانشجویان،

• و مشاهده‌ی پروژه‌های دانشجویی در زمینه طراحی پایدار بوده است

۶۴ نتایج و یافته‌ها

۶۴۱ روند کلی ادغام پایداری

در هر چهار دانشگاه، تلاش‌هایی برای ادغام مفاهیم پایداری مشاهده می‌شود، اما میزان و عمق آن متفاوت است.

به‌طور خلاصه:

دانشگاه	وضعیت ادغام پایداری
توکیو	سرفصل مستقل طراحی پایدار از سال ۲۰۱۴
کیوتو	ترکیب پایداری در پروژه‌های میان‌رشته‌ای طراحی و مهندسی
چیبا	تمرکز بر طراحی محصول با تحلیل چرخه عمر (LCA)
کانازاوا	آموزش تفکر سیستماتیک و طراحی برای اقتصاد چرخشی

۶۴۲ چهار ستون آموزش طراحی پایدار

بر اساس تحلیل داده‌ها، نویسنده چهار محور کلیدی برای آموزش طراحی پایدار را معرفی می‌کند:

توضیح	محور
آموزش اینکه هر محصول باید از مرحله طراحی تا بازیافت با حداقل اثر زیست‌محیطی طراحی شود	تفکر چرخه عمر (Life Cycle Thinking)
تشویق طراحان به در نظر گرفتن پیامدهای اجتماعی و فرهنگی طرح خود	خلاقیت مسئولانه (Responsible Creativity)
تلفیق طراحی با مهندسی، علوم مواد، اقتصاد و علوم انسانی	همکاری میان‌رشته‌ای (Interdisciplinary Collaboration)
یادگیری از طریق پروژه‌های واقعی و تعامل با صنعت	تجربه‌محوری و یادگیری پروژه‌ای (Experiential Learning)





۶۴۳ چالش‌های اصلی

- کمبود استادان متخصص در حوزه طراحی سبز - بیشتر استادان طراحی صنعتی در زمینه‌های زیبایی‌شناسی یا فناوری تخصص دارند و آموزش محیط‌زیستی کمتر دیده‌اند
- مقاومت ساختاری در دانشگاه‌ها - تغییر برنامه‌های درسی زمان‌بر و وابسته به مقررات وزارت آموزش است
- کمبود ارتباط میان دانشگاه و صنعت سبز - پروژه‌های صنعتی هنوز بر اساس سود اقتصادی تعریف می‌شوند نه بر مبنای پایداری
- فقدان نظام ارزیابی پایداری در پروژه‌های طراحی - پروژه‌ها بیشتر بر خلاقیت ظاهری ارزیابی می‌شوند تا بر اثرات چرخه عمر

۶۵ نمونه‌ای از یک پروژه دانشجویی

در دانشگاه چپبا، گروهی از دانشجویان پروژه‌ای با عنوان - **Zero Waste Furniture** مبلمان بدون پسماند اجرا کردند در این پروژه:

- مواد بازیافتی از پسماند چوب و فلز استفاده شد،
 - طراحی برای بازتولید (**Design for Remanufacturing**) رعایت شد،
 - و کل چرخه عمر محصول (از تولید تا بازگشت به طبیعت) ارزیابی گردید
- این نمونه نشان داد که آموزش تجربی، مؤثرترین روش در انتقال مفهوم پایداری به دانشجویان است

۶۶ الگوی پیشنهادی برای آموزش طراحی پایدار

نویسنده با جمع‌بندی یافته‌ها، مدل «۴P» آموزش طراحی پایدار را معرفی می‌کند:

مؤلفه	عنوان	توضیح
P1	Philosophy (فلسفه)	درک اخلاقی از مسئولیت طراح نسبت به انسان و طبیعت
P2	Process (فرآیند)	استفاده از ابزارهایی مانند LCA ، طراحی برای بازیافت، و آنالیز مواد
P3	Practice (عمل)	اجرای پروژه‌های واقعی با همکاری صنعت و جامعه
P4	People (انسان)	محور قرار دادن نیازها، ارزش‌ها و فرهنگ جامعه در طراحی

این مدل می‌کوشد بین خلاقیت، فناوری و اخلاق زیست‌محیطی توازن برقرار کند





۶۷ نتیجه‌گیری

فصل با سه نتیجه کلیدی پایان می‌یابد:

۱. پایداری باید در هسته‌ی آموزش طراحی صنعتی قرار گیرد، نه در حاشیه‌ی آن
 ۲. یادگیری از تجربه و همکاری میان‌رشته‌ای، بهترین راه آموزش طراحی پایدار است
 ۳. دانشجوی طراحی آینده، باید مهندس اخلاقی و معمار تغییر اجتماعی باشد
- نویسنده می‌نویسد: «آینده‌ی طراحی در دست کسانی است که می‌فهمند زیبایی، بدون مسئولیت، دیگر زیبا نیست»

جمع‌بندی مدیریتی

این فصل الگویی ارزشمند برای توسعه‌ی آموزش دانشگاهی در حوزه طراحی صنعتی و معماری در ایران است در شرایطی که بسیاری از پروژه‌های طراحی کشور هنوز بر مبنای زیبایی و هزینه تعریف می‌شوند، این مدل می‌تواند مسیر را به‌سوی طراحی پایدار ایرانی باز کند

پیشنهادهای اجرایی برای ایران:

محور	اقدام پیشنهادی
سیاست آموزشی	تدوین سرفصل «طراحی پایدار و اکولوژیکی» در رشته‌های طراحی صنعتی و معماری
دانشگاهی	ایجاد کارگاه‌های میان‌رشته‌ای بین دانشکده‌های طراحی، مهندسی و محیط‌زیست
پژوهش و پروژه‌ها	حمایت از پروژه‌های دانشجویی در حوزه طراحی سبز و بازیافت مواد
صنعتی	برگزاری همکاری میان دانشگاه‌ها و صنایع تولیدی در قالب طرح «طراحی سبز ایرانی»
فرهنگی	برگزاری نمایشگاه سالانه «Design for Earth» توسط انجمن مدیریت سبز ایران





فصل هفتم: ویژگی‌های برچسب‌گذاری کربن و نقش آن در تحریک رفتار خرید مصرف‌کنندگان

(Attributes of Carbon Labelling to Drive Consumer Purchase Intentions)

۷۱ مقدمه

در دو دهه‌ی اخیر، آگاهی عمومی نسبت به تغییرات اقلیمی به شدت افزایش یافته است. نتیجه، مصرف‌کنندگان در بسیاری از کشورها به دنبال اطلاعاتی هستند که نشان دهد محصولات مورد استفاده‌شان چه اثری بر محیط زیست دارند یکی از ابزارهای مهم در این زمینه، برچسب کربن (Carbon Label) است. نشان یا عددی روی بسته‌بندی محصولات که میزان انتشار دی‌اکسید کربن در طول چرخه عمر محصول را نمایش می‌دهد نویسندگان یادآور می‌شوند:

«اگر مصرف‌کننده بداند خرید او چگونه بر اقلیم اثر می‌گذارد، احتمالاً انتخابی آگاهانه‌تر و مسئولانه‌تر خواهد داشت» با این حال، اثربخشی واقعی برچسب‌های کربن در تغییر رفتار مصرف‌کننده هنوز مورد بحث است. این فصل به بررسی آن می‌پردازد که کدام ویژگی‌های طراحی و اطلاعاتی در برچسب‌ها بیشترین تأثیر را بر قصد خرید دارند.

۷۲ مفهوم و پیشینه‌ی برچسب‌گذاری کربن

برچسب کربن نخستین بار در سال ۲۰۰۷ در بریتانیا توسط شرکت Carbon Trust معرفی شد. هدف آن، ارائه اطلاعات ساده و قابل فهم به مصرف‌کنندگان بود تا بتوانند بین محصولات مختلف بر اساس «ردپای کربنی» مقایسه کنند. در آسیا نیز کشورهایی چون ژاپن، کره جنوبی و تایوان سیستم‌های ملی برچسب کربن را راه‌اندازی کرده‌اند اما چالش اصلی آن است که:

- برخی برچسب‌ها بسیار فنی‌اند و مردم معنای اعداد را درک نمی‌کنند
- برخی دیگر بیش از حد ساده‌اند و از دقت علمی فاصله می‌گیرند
- و گاهی نیز مصرف‌کنندگان به صحت داده‌های منتشرشده بی‌اعتمادند

در نتیجه، طراحی مؤثر برچسب کربن نیازمند تعادل میان دقت علمی و وضوح ارتباطی است





۷۳ چارچوب نظری پژوهش

نویسندگان برای تحلیل رفتار مصرف‌کننده از نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده (Theory of Planned Behavior – TPB) استفاده کرده‌اند بر اساس این نظریه، سه عامل بر قصد خرید اثر می‌گذارند:

۱. نگرش: (Attitude) باور فرد نسبت به مفید بودن خرید محصول کم‌کربن
 ۲. هنجار اجتماعی: (Subjective Norms) فشار یا حمایت اجتماعی برای رفتار سبز
 ۳. کنترل ادراک‌شده: (Perceived Behavioral Control) باور فرد به توانایی خود در انجام رفتار (مثلاً توان مالی یا دسترسی)
- نویسندگان این سه عامل را با سه ویژگی برجسته کربن پیوند می‌دهند:

تأثیر روانی مرتبط	ویژگی برجسته
افزایش درک و نگرش مثبت	وضوح و سادگی طراحی
افزایش اعتماد و هنجار اجتماعی	اعتبار و منبع اطلاعات
افزایش حس کنترل و تصمیم آگاهانه	مقایسه‌پذیری (Benchmarking)

۷۴ روش پژوهش

پژوهش به صورت پیمایش تجربی در کشور تایوان انجام شده است نمونه شامل ۲۵۰ مصرف‌کننده شهری در تایپه بوده که از سوپرمارکت‌های دارای برجسته کربن خرید می‌کردند پرسش‌نامه شامل دو بخش بوده است:

۱. نگرش و آگاهی زیست‌محیطی پاسخ‌گو

۲. برداشت از ویژگی‌های طراحی و اعتماد به برجسته کربن

تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار AMOS و مدل معادلات ساختاری (SEM) صورت گرفته است

۷۵ یافته‌ها

۷۵۱ اثر آگاهی زیست‌محیطی

افرادی که پیش‌تر از تغییرات اقلیمی و ردپای کربن اطلاع داشتند، به‌طور چشمگیری تمایل بیشتری به خرید محصولات دارای برجسته کربن نشان دادند بنابراین، دانش محیط‌زیستی پیش‌نیاز تغییر رفتار مصرفی است





۷۵۲ نقش وضوح و طراحی گرافیکی

برچسب‌هایی که از رنگ‌های ساده (سبز، زرد، قرمز) و نمادهای بصری مانند برگ یا زمین استفاده می‌کردند، درک بیشتری ایجاد می‌کردند. نمادشناسی ساده‌تر از داده‌های عددی مؤثرتر بود در واقع، مصرف‌کنندگان معمولاً اعداد دقیق (مثلاً ۲۵۰ گرم CO₂) را درک نمی‌کنند، اما وقتی رنگ قرمز یا سبز می‌بینند، مفهوم را می‌فهمند.

۷۵۳ اعتبار منبع

اعتماد به برچسب، مهم‌ترین عامل مؤثر بر رفتار خرید بود اگر منبع برچسب یک نهاد مستقل دولتی یا دانشگاهی باشد، پذیرش آن چند برابر افزایش می‌یابد برچسب‌هایی که توسط خود شرکت‌ها صادر شده‌اند، به دلیل تردید در صداقت، کم‌اثرند

۷۵۴ قابلیت مقایسه

برچسب‌هایی که امکان مقایسه‌ی ساده میان محصولات را فراهم می‌کنند (مثلاً با ستاره یا رتبه‌بندی)، تصمیم‌گیری مصرف‌کننده را تسهیل می‌کنند به‌ویژه برای گروه کالاهای مشابه (نوشیدنی‌ها، لوازم خانگی و مواد غذایی بسته‌بندی‌شده)، این ویژگی تعیین‌کننده است

۷۶ تحلیل و بحث

نتایج نشان می‌دهد که برچسب کربن صرفاً ابزار اطلاع‌رسانی نیست، بلکه ابزار روان‌شناختی تغییر رفتار است هرچه طراحی آن انسانی‌تر و معنادارتر باشد، تأثیرش بر انتخاب مصرف‌کننده بیشتر است اما نویسندگان هشدار می‌دهند:

- اگر تعداد برچسب‌ها زیاد و متنوع شود، اثر خستگی اطلاعاتی (Information Fatigue) رخ می‌دهد
 - اگر اعتبار نهادهای ارزیاب کاهش یابد، اعتماد عمومی از بین می‌رود
 - اگر تفاوت قیمت محصولات کم‌کربن زیاد باشد، حتی مصرف‌کنندگان آگاه نیز تمایل خود را از دست می‌دهند
- بنابراین، موفقیت برچسب‌گذاری کربن نیازمند سیاست هماهنگ میان آموزش، طراحی، و قیمت‌گذاری است

۷۷ پیشنهاد‌های سیاستی

پیشنهاد	محور
استفاده از نمادهای رنگی و بصری ساده به جای داده‌های پیچیده	طراحی برچسب
ایجاد مرجع ملی معتبر برای صدور برچسب‌های کربن (مانند Carbon Trust تایوان)	نهاد ارزیاب
گنجاندن مفهوم ردپای کربن در برنامه‌های آموزشی مدارس و رسانه‌ها	آموزش عمومی
ارائه‌ی مشوق مالیاتی برای تولیدکنندگان محصولات کم‌کربن	اقتصاد و قیمت‌گذاری
ترویج برندهایی که تعهد واقعی به کاهش انتشار دارند، نه صرفاً شعار تبلیغاتی	بازاریابی سبز





۷۸ نتیجه‌گیری

فصل با این جمله خلاصه می‌شود: «برچسب کربن زمانی مؤثر است که ساده، صادق و قابل اعتماد باشد» نتیجه‌ی اصلی پژوهش این است که:

- وضوح، اعتبار و مقایسه‌پذیری سه عنصر حیاتی برای موفقیت برچسب‌گذاری کربن هستند
- آگاهی و اعتماد دو نیروی روانی‌اند که رفتار خرید سبز را هدایت می‌کنند
- برای آینده‌ی پایداری، لازم است دولت، صنعت و مصرف‌کنندگان در یک زنجیره‌ی اعتماد متقابل قرار گیرند

جمع‌بندی مدیریتی

در ایران، نظام برچسب‌گذاری انرژی A تا G در لوازم خانگی و خودروها تا حدی شناخته‌شده است اما برچسب کربن برای محصولات عمومی هنوز وجود ندارد این فصل می‌تواند مبنای طراحی «برنامه ملی برچسب کربن ایران» باشد

پیشنهادهای کاربردی:

حوزه	اقدام پیشنهادی
سیاست ملی	تدوین «استاندارد برچسب کربن ایران» با همکاری سازمان محیط‌زیست و سازمان استاندارد
صنعت و تولید	تشویق تولیدکنندگان برای اندازه‌گیری و گزارش ردپای کربن محصولات
بازاریابی سبز	آموزش شرکت‌ها برای استفاده اخلاقی و معتبر از برچسب‌ها، بدون سبزشویی (Greenwashing)
آموزش عمومی	آشنایی مصرف‌کنندگان با مفهوم ردپای کربن در رسانه‌ها، مدارس و فروشگاه‌ها
فناوری دیجیتال	طراحی اپلیکیشن ایرانی برای اسکن و مشاهده ردپای کربن کالاها





فصل هشتم: توسعه‌ی نظام مدیریت پسماند شهری از دیدگاه زیست‌محیطی و اقتصادی

روش‌شناسی نظام بهینه‌ی در دسترس (Best Available System Methodology)

(Development of a Municipal Waste Management System from Environmental and Economic Evaluation Perspectives: A Best Available System Methodology)

۸۱ مقدمه

مدیریت پسماند شهری یکی از چالش‌های اصلی جوامع معاصر است؛ زیرا رشد سریع جمعیت، شهرنشینی و الگوهای مصرف، موجب افزایش حجم پسماند و پیچیدگی در روش‌های دفع آن شده است در کشورهای توسعه‌یافته، تمرکز از جمع‌آوری و دفع ساده به سمت کاهش در منبع، بازیافت و استفاده‌ی مجدد حرکت کرده است اما سؤال اصلی که نویسندگان در این فصل مطرح می‌کنند این است: چگونه می‌توان میان جنبه‌ی زیست‌محیطی و اقتصادی مدیریت پسماند تعادل برقرار کرد و بهترین نظام ممکن را برای یک شهر انتخاب نمود؟- برای پاسخ به این پرسش، آنان روشی نوین به نام - «Best Available System (BAS)» نظام بهینه‌ی در دسترس معرفی کرده‌اند، که تلفیقی از تحلیل چرخه عمر (LCA) و ارزیابی اقتصادی (Cost-Benefit Analysis) است.

۸۲ پیش‌زمینه و ضرورت

اغلب برنامه‌های مدیریت پسماند در جهان، یا به‌طور کامل زیست‌محیطی هستند (مثلاً تمرکز بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای)، یا کاملاً اقتصادی (تمرکز بر کم‌هزینه بودن جمع‌آوری و دفع) اما در عمل، سیاست‌گذاران شهری باید هر دو بُعد را هم‌زمان در نظر بگیرند نویسندگان تأکید می‌کنند که: -اگر سیستمی از نظر زیست‌محیطی عالی اما از نظر مالی ناپایدار باشد، عمر آن کوتاه خواهد بود؛ و برعکس- به همین دلیل، طراحی یک چارچوب ترکیبی و داده‌محور ضرورت دارد

۸۳ روش‌شناسی نظام BAS

مدل پیشنهادی از چهار گام تشکیل شده است:





۱ تعریف اهداف و محدوده

- تعیین مرز سیستم (از تولید پسماند تا بازیافت یا دفن نهایی)
- شناسایی ذی‌نفعان (شهرداری، بخش خصوصی، جامعه‌ی محلی)

۲ تحلیل زیست‌محیطی با روش LCA

- برآورد میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO_2)، CH_4 ، N_2O)
- سنجش مصرف انرژی، آب، و اثرات اکولوژیکی هر مسیر مدیریت پسماند
- مقایسه‌ی روش‌های مختلف (دفن، سوزاندن، بازیافت، کمپوست)

۳ تحلیل اقتصادی

- محاسبه‌ی هزینه‌های سرمایه‌گذاری، بهره‌برداری، حمل‌ونقل و نیروی انسانی
- محاسبه‌ی منافع مستقیم (فروش مواد بازیافتی، تولید انرژی از زباله)
- برآورد شاخص «هزینه به‌ازای هر تن پسماند (Cost per Ton)»

۴ ادغام و انتخاب نظام بهینه (Integration)

- نرمال‌سازی داده‌ها در مقیاس زیست‌محیطی و اقتصادی
- وزن‌دهی به شاخص‌ها بر اساس اولویت سیاستی (مثلاً ۶۰٪ محیط‌زیستی، ۴۰٪ اقتصادی)
- انتخاب سیستم بهینه با بالاترین امتیاز تلفیقی

۸۴ مطالعه‌ی موردی: شهر کوبه (Kobe) ژاپن

این مدل در شهر کوبه ژاپن به‌صورت آزمایشی اجرا شده استدر این شهر، سالانه بیش از ۷۵۰ هزار تن پسماند شهری تولید می‌شود که شامل مواد آلی، پلاستیک، فلزات، کاغذ و شیشه استسه سناریوی مدیریتی مورد مقایسه قرار گرفت:

نتیجه	توضیح	سناریو
کم‌هزینه ولی با بالاترین آلودگی زیست‌محیطی	دفن مستقیم در لندفیل	A
هزینه‌ی متوسط، انتشار کمتر، بازیافت انرژی	سوزاندن زباله با بازیافت انرژی	B
هزینه بالا ولی کمترین اثر زیست‌محیطی	بازیافت حداکثری + کمپوست	C

نتیجه نشان داد که سناریوی B (سوزاندن با بازیافت انرژی)، بهترین گزینه‌ی تلفیقی از نظر شاخص BAS است، زیرا در عین کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای، هزینه‌ی عملیاتی کمتری نسبت به بازیافت کامل دارد





۸۵ تحلیل و بحث

از یافته‌های کلیدی این مطالعه:

۱. توازن اقتصادی و زیست‌محیطی واقع‌گرایانه‌تر از تمرکز مطلق بر یکی از آنهاست
۲. داده‌های دقیق میدانی (میزان پسماند، انرژی مصرفی، نرخ بازیافت) برای تصمیم‌گیری حیاتی‌اند
۳. فناوری به تنهایی کافی نیست؛ ساختار مدیریتی و مشارکت اجتماعی نیز اهمیت دارد
۴. مدیریت پسماند یک چرخه است، نه یک خط یعنی باید از طراحی محصول تا پایان عمر آن فکر شود (Design for Recycling)

۸۶ چارچوب شاخص‌های ارزیابی در مدل BAS

نویسندگان مجموعه‌ای از شاخص‌های کمی برای ارزیابی پیشنهاد می‌کنند:

هدف	واحد	شاخص	بعد
حداقل‌سازی انتشار	kg CO ₂ /ton	انتشار CO ₂ معادل	زیست‌محیطی
کاهش مصرف انرژی فسیلی	MJ/ton	انرژی مصرفی	
استفاده‌ی بهینه از فضا	m ² /ton	مصرف زمین	
کاهش هزینه‌های عملیاتی	USD/ton	هزینه کل سیستم	اقتصادی
افزایش بازده اقتصادی	USD/ton	ارزش مواد بازیافتی	
اثرات اجتماعی مثبت	نفر/سال	اشتغال ایجادشده	

در مجموع، شاخص پایداری کل (Overall Sustainability Index) از ترکیب این متغیرها محاسبه می‌شود

۸۷ نتیجه‌گیری

این فصل سه پیام کلیدی دارد:

۱. مدیریت پسماند پایدار باید تلفیقی از تحلیل علمی، اقتصادی و اجتماعی باشد
۲. روش BAS می‌تواند ابزار مؤثری برای تصمیم‌گیرندگان شهری در انتخاب راهکارهای بهینه باشد
۳. بازیافت همراه با بازیابی انرژی (Waste-to-Energy) در شرایط شهری مدرن، متعادل‌ترین گزینه از نظر پایداری است





نویسندگان جمع‌بندی می‌کنند: «هیچ سیستم کامل و بدون هزینه‌ای وجود ندارد؛ اما نظامی پایدار است که کمترین خسارت و بیشترین منفعت را توأمان ایجاد کند».

جمع‌بندی مدیریتی

در ایران، بحران پسماند یکی از دغدغه‌های جدی شهری است (به‌ویژه در شمال کشور و کلان‌شهرها) مدل **BAS** می‌تواند مبنایی علمی برای تعیین اولویت‌های بهینه‌ی مدیریت پسماند شهری باشد.

پیشنهاد‌های اجرایی برای کشور:

حوزه	اقدام پیشنهادی
سیاست شهری	تدوین مدل بومی «نظام بهینه‌ی مدیریت پسماند ایران» (IBAS) با معیارهای زیست‌محیطی و اقتصادی
فناوری	توسعه‌ی نیروگاه‌های Waste-to-Energy در شهرهای بزرگ
اقتصاد سبز	جذب سرمایه‌گذاری بخش خصوصی در طرح‌های بازیافت انرژی از زباله
پایش و داده‌ها	ایجاد سامانه‌ی ملی اطلاعات پسماند با داده‌های واقعی
آموزش و فرهنگ‌سازی	آموزش شهروندان برای تفکیک در مبدأ و کاهش پسماند خانگی





فصل نهم: بهینه‌سازی فرآیند حذف سولفید هیدروژن در تولید هیدروژن از زیست‌توده بر پایه ارزیابی چرخه عمر

(LCA-Directed Optimization of Hydrogen Sulfide Removal During Biomass-Derived Hydrogen Production)

۹۱ مقدمه

در مسیر گذار جهانی از سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های پاک، هیدروژن (H_2) یکی از گزینه‌های اصلی است. هیدروژن می‌تواند به‌عنوان سوختی بدون کربن، جایگزین مناسبی برای نفت و گاز باشد؛ اما چالش اصلی در نحوه‌ی تولید آن نهفته است. در حال حاضر بیشتر هیدروژن دنیا از طریق فرآیند گاز طبیعی به‌دست می‌آید که با انتشار زیاد CO_2 همراه است. در مقابل، تولید هیدروژن از زیست‌توده (Biomass) یک مسیر پایدارتر محسوب می‌شود، زیرا از منابع تجدیدپذیر استفاده می‌کند و چرخه‌ی کربن بسته‌ای دارد.

با این حال، در فرآیند گازی‌سازی زیست‌توده، ترکیبات گوگردی مانند H_2S (گاز سولفید هیدروژن) به‌وجود می‌آیند که برای سلول‌های سوختی و محیط زیست بسیار سمی‌اند. بنابراین حذف مؤثر H_2S از جریان گاز، گامی حیاتی در تولید پایدار هیدروژن است. نویسندگان در این فصل روشی را ارائه می‌دهند که در آن تحلیل چرخه عمر (LCA) مستقیماً برای بهینه‌سازی فرآیند حذف H_2S به کار می‌رود، تا هم کارایی زیست‌محیطی و هم اقتصادی افزایش یابد.

۹۲ پیش‌زمینه و ضرورت

در فرآیند گازی‌سازی زیست‌توده، مخلوطی از گازهای CO ، H_2 ، CH_4 و H_2S تولید می‌شود. حذف سولفید هیدروژن معمولاً به یکی از روش‌های زیر انجام می‌شود:

۱. جذب شیمیایی (Chemical Absorption) با استفاده از محلول‌های قلیایی مانند $NaOH$

۲. جذب فیزیکی (Physical Adsorption) روی مواد متخلخل (کربن فعال، اکسید آهن)





۳. اکسیداسیون زیستی (Biological Oxidation) با کمک میکروارگانیسم‌ها

هر روش مزایا و معایب خود را دارد هدف این تحقیق، یافتن روشی است که در کل چرخه عمر فرآیند (از تولید مواد جذب‌کننده تا دفع پسماند)، کمترین اثر زیست‌محیطی را داشته باشد.

۹۳ روش تحقیق

۹۳۱ مدل فرایند

فرایند مورد بررسی شامل مراحل زیر است:

- گازی‌سازی زیست‌توده‌ی چوبی؛
- خنک‌سازی و جداسازی ذرات؛
- حذف H_2S از جریان گاز؛
- و تولید نهایی هیدروژن برای کاربرد در سلول‌های سوختی

۹۳۲ ارزیابی چرخه عمر (LCA)

تحلیل بر اساس استاندارد ISO 14040 انجام شده و شامل سه مرحله‌ی اصلی است:

۱. تعریف هدف و مرز سیستم؛
۲. فهرست موجودی (Inventory Analysis) شامل انرژی، مواد شیمیایی، و انتشارها؛
۳. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی (Impact Assessment) با تمرکز بر انتشار CO_2 ، مصرف انرژی و سمیت

۹۳۳ سناریوهای مورد مقایسه

سه فناوری حذف H_2S بررسی شدند:

ویژگی	روش حذف	سناریو
متداول، ولی نیازمند مواد شیمیایی زیاد	جذب شیمیایی با NaOH	A
هزینه کمتر، قابلیت احیاء	جذب فیزیکی با اکسید آهن بازیافتی	B
دوستدار محیط زیست، ولی با کارایی پایین‌تر	اکسیداسیون زیستی	C





۹۴ نتایج LCA

۹۴۱ انتشار کربن

نتایج نشان داد که سناریوی (B جذب فیزیکی با اکسید آهن) حدود ۴۰٪ کمتر از روش شیمیایی انتشار CO_2 دارد، زیرا مواد جذب‌کننده قابل احیاءند و نیاز به محلول‌های شیمیایی جدید کاهش می‌یابد.

۹۴۲ مصرف انرژی

روش زیستی (سناریوی C) انرژی عملیاتی بسیار پایینی دارد، اما زمان واکنش طولانی و حجم راکتور زیاد باعث افزایش هزینه‌های غیرمستقیم می‌شود.

۹۴۳ هزینه کل

در محاسبات اقتصادی، مجموع هزینه‌ی هر کیلوگرم هیدروژن تولیدی به صورت زیر بود:

سناریو	هزینه‌ی کل (USD/kg H_2)
A	162
B	138
C	147

در نتیجه، سناریوی B نه تنها از دیدگاه زیست‌محیطی بلکه اقتصادی نیز برتر بود

۹۵ بهینه‌سازی فرایند بر اساس LCA

با تلفیق داده‌های زیست‌محیطی و هزینه‌ای، یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه ایجاد شد پارامترهای اصلی قابل تنظیم عبارت بودند از:

- دما و فشار واکنش؛
- میزان احیای جاذب آهن؛
- نرخ جریان گاز؛
- و نسبت انرژی بازیافتی

مدل ریاضی با استفاده از نرم‌افزار GAMS اجرا شد نتیجه نشان داد که افزایش بازیافت حرارتی در سیستم حذف می‌تواند انتشار کل CO_2 را تا ۱۵٪ دیگر کاهش دهد بدون آن که هزینه به‌طور قابل توجهی افزایش یابد.





۹۶ بحث و تحلیل

نویسندگان چند نکته‌ی کلیدی را برجسته می‌کنند:

۱. LCA نه فقط ابزار ارزیابی، بلکه ابزار تصمیم‌سازی و بهینه‌سازی است
۲. فرآیندهای انرژی پاک باید در سطح سیستم بررسی شوند، نه فقط در سطح واکنش شیمیایی
۳. ترکیب تحلیل زیست‌محیطی با بهینه‌سازی اقتصادی، مسیر توسعه‌ی فناوری‌های واقعاً پایدار را فراهم می‌کند
۴. حذف مؤثر سولفید هیدروژن برای دوام سلول‌های سوختی حیاتی است؛ زیرا حتی مقادیر ناچیز H_2S می‌تواند کاتالیزور پلاتین را تخریب کند

۹۷ نتیجه‌گیری

۱. روش جذب فیزیکی با اکسید آهن احیاءپذیر، بهترین گزینه‌ی موجود برای حذف H_2S در تولید هیدروژن زیست‌توده‌ای است
۲. استفاده از تحلیل چرخه عمر به عنوان راهنمای طراحی، باعث کاهش هم‌زمان هزینه و انتشار شد
۳. بهینه‌سازی تلفیقی می‌تواند پایه‌ای برای طراحی نسل جدید نیروگاه‌های هیدروژن پاک باشد

نویسندگان در پایان می‌نویسند:

«پایداری انرژی در گرو دیدن تمام چرخه‌ی زندگی است، نه تنها محصول نهایی»

جمع‌بندی مدیریتی

در ایران، توسعه‌ی فناوری‌های تولید هیدروژن از زیست‌توده (بیوگاز، پسماند کشاورزی، فضولات دامی) می‌تواند به کاهش وابستگی به سوخت فسیلی و تحقق اهداف کاهش کربن کمک کند

پیشنهادهای کاربردی:

حوزه	اقدام پیشنهادی
فناوری ملی هیدروژن	ایجاد طرح «هیدروژن زیستی ایران» با استفاده از پسماند کشاورزی
مدیریت زیست‌محیطی	استفاده از LCA برای طراحی و ارزیابی نیروگاه‌های زیست‌توده‌ای
اقتصاد سبز	جذب سرمایه بخش خصوصی با تضمین خرید انرژی پاک
پژوهش دانشگاهی	حمایت از پایان‌نامه‌ها در حوزه حذف H_2S و بهینه‌سازی فرایندهای بایو-هیدروژن
آموزش	دوره‌های تخصصی «تحلیل چرخه عمر انرژی‌های نو» برای مدیران HSE و مهندسان فرآیند





فصل دهم: کاربرد پایدار پلیمرهای زیستی (Sustainable Application of Biopolymer)

۱۰۱ مقدمه

در دنیای امروز، آلودگی پلاستیکی به یکی از بزرگ‌ترین تهدیدهای محیط‌زیستی تبدیل شده است. پلاستیک‌های نفت‌پایه، به دلیل دوام بسیار زیاد، باعث آلودگی خاک، اقیانوس‌ها و زنجیره غذایی شده‌اند. از این رو، توجه به پلیمرهای زیستی (Biopolymers) و مواد قابل تجزیه در طبیعت به سرعت در حال افزایش است. پلیمرهای زیستی موادی هستند که از منابع تجدیدپذیر (مانند نشاسته، سلولز، کیتین، اسید لاکتیک و پروتئین‌ها) تولید می‌شوند و قابلیت تجزیه پذیری دارند. نویسندگان در این فصل می‌کوشند نشان دهند که چگونه می‌توان از این مواد به صورت پایدار، اقتصادی و صنعتی استفاده کرد.

۱۰۲ پیش‌زمینه و ضرورت

پلاستیک‌های نفتی سنتی (مانند پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن و پلی‌استایرن) سالانه بیش از ۳۵۰ میلیون تن تولید می‌شوند که کمتر از ۱۰٪ از آن‌ها بازیافت می‌شوند و باقی در طبیعت انباشته می‌گردند. در مقابل، پلیمرهای زیستی نظیر (PLA پلی‌لاکتیک اسید)، (PHA پلی‌هیدروکسی آلکانوات) و نشاسته‌ی ترموپلاستیک (TPS) می‌توانند جایگزین مناسبی باشند، زیرا:

- از منابع طبیعی و کشاورزی تولید می‌شوند؛
- در شرایط طبیعی یا صنعتی قابل تجزیه‌اند؛
- و ردپای کربنی (Carbon Footprint) بسیار کمتری دارند





اما موانعی مانند هزینه‌ی بالا، ضعف مکانیکی و چالش‌های تولید انبوه هنوز مانع گسترش کامل آن‌ها شده است هدف این فصل بررسی راهکارهایی برای رفع این موانع است.

۱۰۳ انواع پلیمرهای زیستی و ویژگی‌های آن‌ها

۱ پلی‌لاکتیک اسید (PLA)

- منبع: تخمیر قندها (ذرت، نیشکر)
- ویژگی‌ها: شفاف، مقاوم، قابل بازیافت حرارتی
- کاربرد: بسته‌بندی، ظروف یک‌بار مصرف، چاپ سه‌بعدی
- مشکل: شکنندگی در دمای پایین

۲ پلی‌هیدروکسی آلکانوات‌ها (PHA)

- منبع: فعالیت میکروبی روی مواد آلی زائد
- ویژگی‌ها: کاملاً زیست‌تجزیه‌پذیر، مقاوم در برابر آب
- کاربرد: پزشکی، کشاورزی، پوشش‌های زیستی
- مشکل: تولید کند و پرهزینه

۳ کیتوسان (Chitosan)

- منبع: پوسته سخت پوستان (میگو، خرچنگ)
- ویژگی‌ها: ضدباکتری، زیست‌سازگار، قابل ترکیب با مواد دیگر
- کاربرد: داروسازی، بسته‌بندی مواد غذایی

۴ نشاسته‌ی ترموپلاستیک (TPS)

- منبع: سیب‌زمینی، ذرت، تاپیوکا
- ویژگی‌ها: سبک، تجزیه‌پذیر، ارزان
- مشکل: جذب رطوبت بالا و کاهش پایداری مکانیکی

۱۰۴ ارزیابی زیست‌محیطی (LCA) پلیمرهای زیستی





نویسندگان برای مقایسه‌ی تأثیر زیست‌محیطی، ارزیابی چرخه عمر (LCA) را بر سه نوع پلیمر (PLA)، PET، PP انجام داده‌اند
نتایج:

شاخص	PLA (زیستی)	PET (نفتی)	PP (نفتی)
انتشار CO_2 (kg/kg)	۱۱	۲۵	۲۰
مصرف انرژی (MJ/kg)	۵۰	۸۰	۷۲
قابلیت بازیافت	متوسط	زیاد	زیاد
تجزیه‌پذیری زیستی	بالا	ندارد	ندارد

نتیجه: PLA از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای و تجزیه‌پذیری برتر است، اما از نظر مقاومت مکانیکی و قابلیت بازیافت در مقیاس صنعتی، هنوز جای پیشرفت دارد.

۱۰۵ بهبود کارایی و پایداری اقتصادی

الف) ترکیب و اصلاح (Blending & Compounding)

ترکیب پلیمرهای زیستی با افزودنی‌هایی مانند الیاف طبیعی (کنف، بامبو، سیسال) می‌تواند مقاومت و دوام آن‌ها را افزایش دهد

ب) استفاده از پسماند زیستی

استفاده از ضایعات کشاورزی (سبوس برنج، پوسته‌ی گندم، پوست میوه) به عنوان منبع مواد خام باعث کاهش هزینه و افزایش پایداری می‌شود

ج) بازیافت و بازتولید

برخی پلیمرهای زیستی مانند PLA قابلیت ذوب مجدد و بازآآوری دارند که می‌تواند چرخه‌ی بسته‌ای برای مواد ایجاد کند

د) مقیاس‌پذیری صنعتی

سرمایه‌گذاری در فناوری‌های تولید انبوه و راکتورهای بیوشیمیایی پیشرفته، کلید کاهش قیمت تمام‌شده‌ی این مواد است

۱۰۶ کاربردهای صنعتی در حال گسترش

۱. بسته‌بندی مواد غذایی: فیلم‌های نازک PLA و PHA جایگزین پلاستیک‌های معمولی شده‌اند

۲. پزشکی و داروسازی: پلیمرهای زیستی برای بخیه‌های جذب‌شونده، داربست‌های بافتی و سیستم‌های رهایش دارو به کار می‌روند

۳. چاپ سه‌بعدی (3D Printing): PLA یکی از رایج‌ترین مواد در پرینترهای سه‌بعدی است





۴. کشاورزی: فیلم‌های مالچ زیستی برای کاهش تبخیر و تجزیه در خاک بدون پسماند پلاستیکی

۵. خودروسازی: قطعات داخلی خودرو از ترکیب الیاف بامبو و پلیمرهای زیستی ساخته می‌شوند

۱۰۷ چالش‌ها و آینده‌ی پژوهش

۱. هزینه‌ی بالا: قیمت PLA هنوز حدود دو برابر پلی‌پروپیلن است

۲. رقابت با مواد غذایی: استفاده از ذرت و نیشکر ممکن است فشار بر منابع کشاورزی وارد کند

۳. تجزیه ناقص در شرایط واقعی: بسیاری از مواد «تجزیه‌پذیر» فقط در شرایط صنعتی (دما و رطوبت بالا) تجزیه می‌شوند

۴. استانداردسازی: نبود استاندارد جهانی برای برچسب‌گذاری و ارزیابی عملکرد زیست‌پایه

۵. بازیافت ترکیبی: اختلاط پلاستیک‌های زیستی و نفتی در زباله‌ها فرآیند بازیافت را دشوار می‌کند

با این وجود، پیشرفت در فناوری‌های زیستی و نانومواد امیدبخش است در آینده، پلیمرهای زیستی نسل جدید با خواص مکانیکی بهتر و قیمت پایین‌تر جایگزین پلاستیک‌های فسیلی خواهند شد

۱۰۸ نتیجه‌گیری

۱. پلیمرهای زیستی راهی کلیدی برای گذار از اقتصاد نفت‌پایه به اقتصاد زیستی هستند

۲. ادغام فناوری زیستی، مهندسی مواد و طراحی چرخه عمر می‌تواند پایداری واقعی ایجاد کند

۳. سیاست‌گذاری و حمایت صنعتی برای تجاری‌سازی گسترده‌ی این مواد ضروری است

نویسندگان می‌نویسند: - هر گرم پلیمر زیستی، گامی است در جهت حذف یک گرم پلاستیک ابدی-

جمع‌بندی مدیریتی

ایران با ظرفیت بالای کشاورزی، تولید نشاسته، الیاف طبیعی و پسماند زیستی، می‌تواند به راحتی وارد حوزه‌ی تولید پلیمرهای زیستی بومی شود

پیشنهادهای اجرایی:

محور	اقدام پیشنهادی
پژوهش و توسعه	ایجاد مراکز تحقیقاتی در دانشگاه‌ها برای تولید PLA و PHA از پسماند کشاورزی
سیاست صنعتی	مشوق مالیاتی برای شرکت‌های تولیدکننده‌ی بسته‌بندی‌های زیست‌تجزیه‌پذیر
اقتصاد چرخشی	راه‌اندازی پروژه‌های بازیافت زیستی در صنایع غذایی و دارویی
برند ملی	توسعه‌ی نشان تجاری «BioMade in Iran» برای محصولات زیستی داخلی
آموزش	طراحی دوره‌ی آموزشی «فناوری مواد سبز» برای مهندسان و مدیران صنایع پلیمر





فصل یازدهم: پیاده‌سازی سامانه اندازه‌گیری انرژی برای تولید هوشمند

(Implementation of an Energy Metering System for Smart Production)

۱۱۱ مقدمه

صنایع تولیدی در سراسر جهان در حال گذار به سمت **صنعت ۴۰ (Industry 40)** هستند؛ نسل جدیدی از تولید که در آن داده، هوش مصنوعی و فناوری‌های دیجیتال نقش محوری دارند اما یک نکته‌ی حیاتی در این گذار، **پایداری انرژی** است بیش از ۳۰٪ از کل مصرف انرژی جهان به صنایع تولیدی اختصاص دارد، در حالی که بخش قابل توجهی از آن به دلیل فقدان داده‌های دقیق از مصرف واقعی هدر می‌رود.

نویسندگان در این فصل تأکید می‌کنند:

-نخستین گام در بهینه‌سازی انرژی، اندازه‌گیری هوشمند و پیوسته‌ی آن است-

هدف این فصل، طراحی و اجرای یک سامانه اندازه‌گیری انرژی در محیط تولید هوشمند است تا بتوان از طریق داده‌های بلادرنگ، مصرف انرژی را کنترل و بهینه کرد.

۱۱۲ پیش‌زمینه

در گذشته، مدیریت انرژی صنعتی عمدتاً به صورت دستی انجام می‌شد؛ اطلاعات مربوط به مصرف برق، گاز یا بخار به طور دوره‌ای ثبت می‌شد و معمولاً تصمیم‌ها با تأخیر گرفته می‌شدند اما در تولید مدرن، نیاز به **داده‌های لحظه‌ای و تحلیلی** وجود دارد تا بتوان در زمان واقعی تصمیم گرفت اینجا است که مفهوم سامانه اندازه‌گیری هوشمند (**Smart Metering System**) وارد می‌شود: ترکیبی از حسگرها، شبکه‌های داده، نرم‌افزارهای تحلیل و الگوریتم‌های یادگیری ماشینی برای پایش و کنترل مصرف انرژی.





۱۱۳ ساختار سامانه اندازه‌گیری انرژی

سامانه‌ی پیشنهادی در این پژوهش، از پنج ماژول اصلی تشکیل شده است:

ماژول	وظیفه	ابزار/فناوری
۱ حسگر انرژی (Energy Sensor Layer)	اندازه‌گیری برق، فشار هوا، بخار، دما	حسگرهای جریان و توان سه‌فاز، حسگرهای IoT
۲ جمع‌آوری داده (Data Acquisition Layer)	جمع‌آوری و انتقال داده‌ها به مرکز کنترل	پروتکل‌های OPC UA ، MQTT
۳ ذخیره‌سازی و تحلیل (Data Management Layer)	ذخیره، پردازش و تحلیل الگوهای مصرف	پایگاه‌داده ابری و الگوریتم‌های یادگیری
۴ رابط کاربری (Human-Machine Interface)	نمایش نمودارها، هشدارها و توصیه‌ها	داشبورد انرژی و نرم‌افزار SCADA
۵ ماژول تصمیم‌یار (Decision Support)	پیشنهاد اقدامات اصلاحی و تنظیمات بهینه	مدل‌های پیش‌بینی و شبیه‌سازی انرژی

۱۱۴ مطالعه‌ی موردی

کارخانه مورد بررسی

کارخانه‌ای در آلمان که قطعات دقیق فلزی برای صنعت خودرو تولید می‌کند، به‌عنوان پایلوت انتخاب شد پیش از اجرای سیستم، هیچ پایش دیجیتالی از انرژی وجود نداشت و مصرف برق ماشین‌ها حدود ۲/۸ GWh در سال بود.

مراحل اجرا

۱ نصب ۱۲۰ حسگر هوشمند در ماشین‌آلات اصلی و زیرسیستم‌ها؛ ۲ اتصال داده‌ها به شبکه داخلی کارخانه (Industrial Ethernet) ؛ ۳ تحلیل بلادرنگ داده‌ها و شناسایی نقاط اتلاف انرژی؛ ۴ اعمال تغییرات خودکار در برنامه‌ی تولید.

نتایج

- کاهش ۱۲٪ در مصرف کل برق در شش ماه نخست؛
- کاهش ۹٪ در اوج مصرف (Peak Load) ؛
- و شناسایی حدود ۱۵ مورد ناکارآمدی در تجهیزات فشرده‌سازی هوا و سیستم‌های تهویه

۱۱۵ تحلیل و درس‌آموخته‌ها

۱. داده‌های جزئیات‌محور (Granular Data) کلید بهبود بهره‌وری انرژی هستند
۲. ادغام سامانه‌ی انرژی با تولید دیجیتال (Digital Twin) امکان شبیه‌سازی و پیش‌بینی دقیق مصرف را فراهم می‌کند
۳. بازخورد بلادرنگ برای اپراتورها سبب می‌شود تصمیم‌های انرژی در سطح خط تولید گرفته شود، نه فقط در سطح مدیریت
۴. هوشمندی پیش‌گویانه (Predictive Analytics) می‌تواند ناهنجاری‌ها و خرابی‌ها را پیش از وقوع شناسایی کند





۱۱۶ مزایای زیست‌محیطی و اقتصادی

بهبود	پس از سیستم	پیش از سیستم	شاخص
↓ ۱۲/۵٪	GWh ^{۲/۴۵}	GWh ^{۲/۸}	مصرف برق سالانه
↓ ۱۲٪	تن ۱۲۲۵	تن ۱۴۰۰	انتشار CO ₂
صرفه‌جویی ≈ ۳۰ هزار یورو / سال	۲۱۰ هزار یورو	۲۴۰ هزار یورو	هزینه انرژی

این نتایج نشان دادند که سرمایه‌گذاری در سامانه‌های اندازه‌گیری هوشمند انرژی، در کمتر از دو سال بازگشت‌پذیر است

۱۱۷ چالش‌ها و ملاحظات

۱. یکپارچگی داده‌ها: تنوع برندها و پروتکل‌های تجهیزات صنعتی مانع همگونی داده‌ها می‌شود
۲. امنیت سایبری: اتصال حسگرها به شبکه‌های ابری، خطر حملات سایبری را افزایش می‌دهد
۳. پذیرش انسانی: کارکنان خط تولید باید آموزش ببینند تا از داده‌های انرژی به‌صورت مؤثر استفاده کنند
۴. هزینه‌ی اولیه: هزینه‌ی نصب حسگرها و زیرساخت داده‌ای نسبتاً بالا است، اما در بلندمدت جبران می‌شود

۱۱۸ نتیجه‌گیری

فصل با سه جمع‌بندی کلیدی پایان می‌یابد:

۱. اندازه‌گیری دقیق، پیش‌نیاز هر نوع بهینه‌سازی انرژی است
 ۲. سامانه‌های هوشمند اندازه‌گیری انرژی، پل میان تولید دیجیتال و پایداری زیست‌محیطی‌اند
 ۳. تبدیل داده به تصمیم، جوهره‌ی کارخانه‌ی سبز آینده است
- نویسندگان می‌نویسند: «هر کیلووات ساعت انرژی که اندازه‌گیری نشود، قابل مدیریت نیست»

جمع‌بندی مدیریتی

در صنایع ایران، به‌ویژه در نفت، گاز، فولاد، سیمان و خودروسازی، ردپای انرژی و کربن بسیار بالاست و نبود داده‌های بلادرنگ از مصرف واقعی یکی از چالش‌های اصلی است.





پیشنهادهای اجرایی برای کشور:

حوزه	اقدام پیشنهادی
فناوری	ایجاد سامانه‌ی ملی «پایش هوشمند انرژی صنعتی ایران (ISEMS)» با حسگرهای بومی IoT
سیاست‌گذاری	الزام واحدهای بزرگ صنعتی به گزارش بلادرنگ داده‌های انرژی و انتشار
اقتصاد سبز	ارائه‌ی مشوق مالیاتی برای کارخانه‌هایی که از سامانه‌ی اندازه‌گیری هوشمند استفاده می‌کنند
آموزش	برگزاری دوره‌ی «مدیر انرژی دیجیتال» برای کارشناسان HSE و مدیران تولید
پژوهش و توسعه	همکاری دانشگاه‌ها با صنایع در حوزه‌ی هوش مصنوعی برای بهینه‌سازی انرژی





فصل دوازدهم: بازیافت تجهیزات الکترونیکی (WEEE) و طراحی سامانه‌های هوشمند جمع‌آوری و بازسازی

(Design and Optimization of WEEE Recycling Systems for Sustainable Resource Management)

۱۲۱ مقدمه

در دنیای دیجیتال امروز، ضایعات تجهیزات الکتریکی و الکترونیکی (WEEE – Waste Electrical and Electronic Equipment) به سرعت در حال رشد است. تلفن‌های همراه، لپ‌تاپ‌ها، لوازم خانگی و ابزارهای هوشمند، پس از پایان عمر مفید خود، به حجم عظیمی از زباله‌های سمی و فلزات ارزشمند تبدیل می‌شوند. بر اساس آمار سازمان ملل (۲۰۱۸)، سالانه بیش از ۵۰ میلیون تن پسماند الکترونیکی در جهان تولید می‌شود؛ کمتر از ۲۰٪ آن به درستی بازیافت می‌گردد در حالی که همین ضایعات منبعی غنی از طلا، نقره، مس و فلزات نادر خاکی هستند.

نویسندگان می‌نویسند: «در هر تن پسماند الکترونیکی، فلزات گران‌بهای نهفته است که چند برابر سنگ معدن طبیعی ارزش دارند»

این فصل به طراحی و بهینه‌سازی یک سامانه‌ی پایدار برای جمع‌آوری و بازیافت WEEE می‌پردازد که هم از نظر زیست‌محیطی و هم اقتصادی کارآمد باشد.

۱۲۲ چالش‌های زیست‌محیطی و اقتصادی WEEE

ضایعات الکترونیکی ترکیبی از مواد مفید و خطرناک‌اند: پلاستیک‌ها، شیشه، آلومینیوم، مس، و فلزات سنگین (سرب، جیوه، کادمیم) ^۴ چالش اصلی در این است که چگونه مواد ارزشمند را بدون آسیب به محیط زیست استخراج کنیم.

چالش‌های اصلی:

۱. ترکیب پیچیده مواد: بازیافت نیازمند فناوری‌های چندمرحله‌ای است

۲. هزینه‌های بالای جداسازی: اغلب بیش از ارزش بازیافتی





۳. مدیریت غیردولتی و غیررسمی: بخش بزرگی از WEEE در کشورهای در حال توسعه به صورت غیرقانونی دفن یا سوزانده می‌شود

۴. کمبود طراحی برای بازیافت (Design for Disassembly)

۱۲۳ چارچوب طراحی سامانه‌ی پایدار WEEE

نویسندگان مدلی چندسطحی ارائه می‌کنند که از سه ماژول اصلی تشکیل شده است:

ابزارها و رویکردها	عملکرد	سطح
مدل بهینه‌سازی مکانی (Location-Routing Model)	طراحی شبکه‌ی جمع‌آوری شهری و نقاط تحويل کالا	سطح ۱ - جمع‌آوری (Collection)
طراحی ماژولار، فناوری حسگر نوری و هوش مصنوعی	تفکیک قطعات، استخراج مواد با ارزش	سطح ۲ - جداسازی و طبقه‌بندی (Disassembly & Sorting)
سیستم حلقه بسته (Closed-Loop Recycling)	ذوب، پالایش فلزات و بازیافت پلاستیک‌ها	سطح ۳ - بازیافت و بازتولید (Recycling & Remanufacturing)

در این مدل، داده‌های واقعی از مصرف انرژی، انتشار CO_2 و هزینه‌ی عملیاتی برای هر مرحله محاسبه می‌شود تا بهترین ترکیب (از نظر زیست‌محیطی و اقتصادی) انتخاب گردد

۱۲۴ مطالعه‌ی موردی: سامانه‌ی جمع‌آوری در اوساکا (Osaka, Japan)

در شهر اوساکا، طرح آزمایشی جمع‌آوری هوشمند WEEE از سال ۲۰۱۷ آغاز شد ویژگی‌های این طرح:

- استفاده از کانتینرهای هوشمند مجهز به RFID برای شناسایی دستگاه‌ها؛
- همکاری با فروشگاه‌های لوازم خانگی برای تحويل دستگاه‌های فرسوده؛
- و استفاده از نرم‌افزار بهینه‌سازی مسیر برای کاهش مصرف سوخت کامیون‌ها

نتایج:

- افزایش ۳۵٪ در میزان بازگشت تجهیزات نسبت به روش سنتی؛
- کاهش ۲۵٪ در انتشار CO_2 ناشی از حمل‌ونقل؛
- و صرفه‌جویی اقتصادی معادل ۱۸٪ در هزینه‌های عملیاتی سالانه

۱۲۵ تحلیل زیست‌محیطی (LCA)

ارزیابی چرخه عمر برای سه سناریو انجام شد:





ویژگی	نوع سیستم	سناریو
بیشترین آلودگی و از بین رفتن منابع	دفن و سوزاندن	A
بازیابی فلزات اصلی اما با تلفات بالا	بازیافت جزئی	B
بازیافت مواد + بازسازی قطعات + طراحی ماژولار	سامانه‌ی حلقه بسته هوشمند (Smart Closed-Loop System)	C

نتایج نشان داد سناریوی C باعث:

- ۶۵٪ کاهش انتشار CO_2 ،
- ۷۵٪ کاهش دفن پسماند،
- و افزایش ۴۵٪ی بازده اقتصادی بازیافت فلزات می‌شود

۱۲۶ نقش طراحی در چرخه‌ی عمر محصولات الکترونیکی

یکی از نکات کلیدی این فصل، تأکید بر مفهوم **Design for Disassembly (DfD)** و **Design for Recycling (DfR)** است یعنی محصولات باید از ابتدا به‌گونه‌ای طراحی شوند که در پایان عمرشان بتوان به‌سادگی بازشان کرد و قطعات را جدا نمود برای نمونه، طراحی لپ‌تاپ‌ها و گوشی‌ها با پیچ‌های استاندارد و باتری‌های جداشدنی، می‌تواند هزینه‌ی بازیافت را تا ۳۰٪ کاهش دهد نویسندگان این را «نوآوری پیشگیرانه» می‌نامند، زیرا در طراحی اولیه، چرخه‌ی بازیافت آینده نیز دیده شده است.

۱۲۷ چالش‌ها

۱. نبود هماهنگی قانونی و نهادی: قوانین بازیافت در کشورهای مختلف متفاوت و گاه متناقض‌اند
۲. عدم وجود پایگاه داده مواد (Material Database) برای محصولات الکترونیکی
۳. هزینه‌های بالای فناوری‌های جداسازی دقیق (Sensor-based Sorting)
۴. رفتار مصرف‌کننده: بسیاری از کاربران وسایل قدیمی را نگه می‌دارند یا به‌درستی تحویل نمی‌دهند

۱۲۸ نتیجه‌گیری

سه پیام کلیدی فصل:

۱. پسماند الکترونیکی منبع ثروت است، نه زباله

۲. طراحی هوشمند و سامانه‌های حلقه بسته، راه آینده‌ی مدیریت WEEE هستند





۳. ادغام فناوری دیجیتال (IoT و هوش مصنوعی) با مدل‌های لجستیکی، بازده بازیافت را به شدت افزایش می‌دهد

نویسندگان می‌نویسند:

«پایداری در صنعت الکترونیک زمانی محقق می‌شود که هر محصول، آغازگر زندگی دوباره‌ی محصول بعدی باشد»

جمع‌بندی مدیریتی

در ایران، حجم ضایعات الکترونیکی سالانه بیش از ۳۰۰ هزار تُن برآورد می‌شود، اما بخش اندکی از آن به صورت رسمی بازیافت می‌گردد تجربه‌ی ژاپن و اروپا می‌تواند مبنای طراحی نظام ملی مدیریت WEEE ایران باشد.

پیشنهادهای اجرایی برای کشور:

محور	اقدام پیشنهادی
سیاست‌گذاری ملی	تدوین «قانون مسئولیت تولیدکننده» (EPR) برای بازگشت محصولات الکترونیکی به چرخه بازیافت
فناوری	ایجاد مراکز بازیافت هوشمند با تفکیک اتوماتیک فلزات و پلاستیک
شهری	نصب کانتینرهای جمع‌آوری هوشمند در شهرهای بزرگ (RFID-based bins)
آموزش و فرهنگ‌سازی	راه‌اندازی کمپین «تحويل دستگاه قدیمی - دریافت سبز» با مشارکت مردم
اقتصاد چرخشی	تشکیل تعاونی‌های مردمی برای جمع‌آوری و فروش پسماند الکترونیکی ارزشمند





فصل سیزدهم: ارزیابی سیاست‌های ترویج انرژی خورشیدی در کشورهای در حال توسعه

(Evaluation of Solar Energy Promotion Policies in Developing Countries)

۱۳۱ مقدمه

تغییرات اقلیمی و رشد سریع جمعیت، کشورهای در حال توسعه را با چالش دوگانه‌ای روبه‌رو کرده است: از یک‌سو نیاز به افزایش تولید انرژی برای توسعه اقتصادی، و از سوی دیگر ضرورت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در این میان، انرژی خورشیدی به‌عنوان یکی از پاک‌ترین و در دسترس‌ترین منابع تجدیدپذیر، نقش کلیدی در آینده‌ی پایدار این کشورها دارد.

اما پرسش اصلی این است:

«کدام سیاست‌ها واقعاً به گسترش استفاده از انرژی خورشیدی در کشورهای در حال توسعه کمک کرده‌اند؟»

این فصل با بررسی نمونه‌های تطبیقی از آسیا و آمریکای لاتین، به ارزیابی کارایی سیاست‌های حمایتی مختلف از جمله یارانه‌ها، تعرفه‌های تشویقی، مالیات سبز، و برنامه‌های آموزش محلی می‌پردازد.

۱۳۲ پیش‌زمینه و ضرورت

بر اساس آمار آژانس بین‌المللی انرژی (IEA):

- بیش از ۸۰۰ میلیون نفر در جهان هنوز به برق دسترسی ندارند؛
- بیش از نیمی از آن‌ها در کشورهای جنوب آسیا و آفریقا زندگی می‌کنند





انرژی خورشیدی می‌تواند بدون نیاز به شبکه‌های گسترده برق‌رسانی، از طریق سامانه‌های فتوولتائیک غیرمتمرکز (Off-grid PV systems)، برق را به روستاها و مناطق دورافتاده برساند اما توسعه این فناوری نیازمند سیاست‌های حمایتی پایدار است؛ چراکه در مراحل اولیه، هزینه نصب و نگهداری همچنان بالاست.

۱۳۳ چارچوب ارزیابی سیاستی

نویسندگان یک مدل پنج‌بعدی ارزیابی سیاست انرژی خورشیدی (Solar Policy Assessment Model – SPAM) ارائه کرده‌اند

شاخص ارزیابی	شرح	بعد
هزینه نصب هر وات	مشوق‌های مالی، وام‌های کم‌بهره، یارانه تجهیزات	۱ اقتصادی (Economic)
تعداد سازمان‌های هماهنگ‌کننده	ساختار حاکمیت و هماهنگی میان نهادها	۲ نهادی (Institutional)
سطح رضایت خانوارها	مشارکت جوامع محلی و پذیرش اجتماعی	۳ اجتماعی (Social)
درصد تجهیزات تولید داخل	بومی‌سازی فناوری و توان فنی داخلی	۴ فناورانه (Technological)
تن CO_2 صرفه‌جویی شده در سال	میزان کاهش انتشار CO_2 و بهبود کیفیت هوا	۵ زیست‌محیطی (Environmental)

۱۳۴ مطالعات موردی

IN هند – برنامه ملی مأموریت خورشیدی (JNNSM)

از سال ۲۰۱۰، دولت هند برنامه‌ای عظیم برای نصب سامانه‌های خورشیدی خانگی و نیروگاه‌های مزارع خورشیدی آغاز کرد ویژگی‌ها:

- یارانه‌ی مستقیم تا ۳۰٪ هزینه تجهیزات؛
- تعرفه خرید تضمینی برق (Feed-in Tariff) به مدت ۲۵ سال؛
- هدف نصب ۱۰۰ گیگاوات انرژی خورشیدی تا سال ۲۰۲۲

نتیجه:

افزایش چشمگیر ظرفیت نصب‌شده از ۲ گیگاوات (۲۰۱۲) به بیش از ۴۰ گیگاوات (۲۰۱۹) اما در برخی مناطق، مشکلات در نگهداری و کیفیت پنل‌ها دیده شد.

MX مکزیک – برنامه خورشید برای همه (Solar para Todos)

در این طرح، شرکت‌های کوچک و متوسط تشویق شدند تا پنل‌های خورشیدی روی پشت‌بام نصب کنند





- دولت ۴۰٪ هزینه اولیه را تأمین کرد
- بانک‌های توسعه، وام‌های بدون بهره ارائه دادند
- کمپین‌های آموزشی گسترده‌ای برای خانوارها برگزار شد

نتیجه:

افزایش ۲۵٪ی در پذیرش عمومی و کاهش میانگین قبض برق در خانوارهای متوسط

نکته کلیدی موفقیت: آگاهی اجتماعی و اعتماد به سیاست‌ها

IR ایران (اشاره تطبیقی در فصل)

در این فصل اشاره کوتاهی به تجربه‌ی ایران نیز شده است:

- در مناطق روستایی، پروژه‌های کوچک انرژی خورشیدی غیردولتی (Off-grid) اجرا شده‌اند
 - چالش اصلی: نبود سازوکار مالی پایدار و ضعف در تعمیر و نگهداری محلی
- نویسندگان پیشنهاد می‌کنند ایران با الگوبرداری از مدل مکزیک، می‌تواند با تمرکز بر آموزش محلی و تعاونی‌های انرژی، مشارکت مردمی را افزایش دهد.

۱۳۵ یافته‌های اصلی

۱. سیاست‌های مالی به‌تنهایی کافی نیستند
کشورهایی که فقط یارانه یا وام داده‌اند، بدون آموزش و نگهداری محلی، در بلندمدت با شکست مواجه شدند
۲. آموزش و مالکیت محلی عامل موفقیت است
وقتی جوامع محلی مالک سیستم‌ها هستند و تعمیر آن را یاد می‌گیرند، دوام پروژه‌ها چند برابر می‌شود
۳. شفافیت نهادی حیاتی است
در کشورهایی که چند نهاد بدون هماهنگی درگیر پروژه‌ها بوده‌اند، اتلاف منابع رخ داده است
۴. سیاست ترکیبی (Hybrid Policy) مؤثرتر است
ترکیب مشوق مالی + آموزش + نظارت + بومی‌سازی فناوری، بیشترین نتیجه را دارد

۱۳۶ ارزیابی زیست‌محیطی

در مدل SPAM، محققان میزان صرفه‌جویی CO₂ را در کشورها مقایسه کردند:





کشور	میزان کاهش انتشار CO ₂ (هزار تن در سال)	درصد سهم انرژی خورشیدی از کل
هند	۴۵'۰۰۰	۱۲٪
مکزیک	۸'۰۰۰	۶٪
ایران	۱'۵۰۰	۲٪<

در مجموع، انرژی خورشیدی در این کشورها سالانه بیش از ۵۵ میلیون تن انتشار CO₂ را کاهش داده است

۱۳۷ نتیجه‌گیری

۱. سیاست‌های انرژی پایدار باید چندبُعدی باشند — نه فقط مالی بلکه فرهنگی و آموزشی

۲. بومی‌سازی فناوری و ظرفیت‌سازی محلی برای نگهداری سیستم‌ها ضروری است

۳. تعامل دولت، بخش خصوصی و جامعه‌ی محلی کلید پایداری بلندمدت پروژه‌هاست

نویسندگان می‌نویسند:

«پنل خورشیدی تنها زمانی پایدار است که در کنار آن، فرهنگ نگهداری و آگاهی اجتماعی رشد کند»

جمع‌بندی مدیریتی

در ایران، ظرفیت تابش خورشید یکی از بالاترین مقادیر جهان است (متوسط بیش از ۲۸۰ روز آفتابی در سال) اما سهم انرژی خورشیدی در سبد ملی هنوز بسیار پایین است این فصل می‌تواند مبنایی برای طراحی «سیاست مشارکتی انرژی خورشیدی ایران» باشد

پیشنهاد‌های اجرایی برای کشور:

محور	اقدام پیشنهادی
سیاست مالی	تدوین برنامه یارانه‌ای هدفمند برای خانوارهای روستایی و مناطق کم‌برق
نظام نهادی	ایجاد «صندوق انرژی‌های پاک ایران» با مشارکت دولت و بخش خصوصی
آموزش	تربیت تکنسین‌های محلی برای نصب و نگهداری پنل‌ها
جامعه‌محوری	تشکیل تعاونی‌های انرژی روستایی با مدل مالکیت اشتراکی
نظارت و شفافیت	گزارش عمومی سالانه از عملکرد نیروگاه‌های خورشیدی و میزان صرفه‌جویی کربن





فصل چهاردهم: مدل‌سازی هزینه‌های تولید انرژی از زیست‌توده در مقیاس ملی

(Modeling the Cost of Biomass Power Generation at National Scale)

۱۴۱ مقدمه

در بسیاری از کشورها، گذار از سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های تجدیدپذیر با دو چالش روبه‌روست:

۱. هزینه‌ی بالای تولید انرژی پاک،

۲. نبود چارچوب داده‌محور برای تصمیم‌گیری در سیاست‌گذاری انرژی

یکی از منابع مهم اما کمتر استفاده‌شده در کشورهای آسیایی، زیست‌توده (Biomass) است مواد آلی حاصل از پسماندهای کشاورزی، جنگلی و شهری که می‌تواند از طریق احتراق یا گازی‌سازی، به برق، حرارت یا سوخت مایع تبدیل شود نویسندگان در این فصل روشی برای مدل‌سازی هزینه‌ی تولید برق از زیست‌توده در سطح ملی ارائه می‌دهند که ترکیبی از داده‌های واقعی، تحلیل مکانی (GIS) و مدل‌های اقتصادی است. هدف، کمک به دولت‌ها برای تصمیم‌گیری در خصوص اینک:

«در کجا و با چه نوع فناوری، تولید انرژی از زیست‌توده به‌صرفه‌تر و پایدارتر است؟»

۱۴۲ پیش‌زمینه و ضرورت

زیست‌توده، برخلاف خورشید یا باد، منبعی ذخیره‌پذیر و انعطاف‌پذیر است اما هزینه‌های جمع‌آوری، حمل‌ونقل و فناوری فرآوری آن بالاست و از منطقه‌ای به منطقه‌ای دیگر تفاوت دارد در ژاپن، مانند بسیاری از کشورها، سیاست‌های حمایت از انرژی زیست‌توده پس از زلزله‌ی فوکوشیما ۲۰۱۱ به‌شدت توسعه یافت اما نبود تحلیل دقیق از هزینه‌ی واقعی، موجب شد برخی پروژه‌ها اقتصاداً ناکارآمد باشند به همین دلیل، نیاز به یک مدل علمی برای برآورد دقیق هزینه‌ها و شناسایی مناطق بهینه احساس می‌شد.

۱۴۳ چارچوب مدل اقتصادی





مدل هزینه‌ی ملی شامل سه بخش اصلی است:

فرمول پایه	محتوا	بخش
$C1 = (Ch + Ct + Cs) \times Q$	شامل برداشت، بسته‌بندی، و انتقال اولیه زیست‌توده از مزارع	هزینه‌ی جمع‌آوری (Collection Cost)
$C2 = D \times f(E, \rho, v)$	وابسته به فاصله، چگالی انرژی و زیرساخت جاده‌ای	هزینه‌ی حمل‌ونقل (Transportation Cost)
$C3 = E_{output} CapEx + OpEx$	شامل هزینه ساخت نیروگاه، عملیات و نگهداری، بازده انرژی	هزینه‌ی تبدیل انرژی (Conversion Cost)

هزینه کل نهایی (LCOE) به صورت زیر تعریف می‌شود: (LCOE = Levelized Cost of Energy)

$$LCOE = \frac{C_1 + C_2 + C_3}{MWh}$$

۱۴۴ داده‌ها و فرضیات

مدل بر اساس داده‌های واقعی از وزارت محیط‌زیست ژاپن (۲۰۱۸-۲۰۱۹) ساخته شد داده‌ها شامل:

- نقشه‌های GIS از توزیع پسماند کشاورزی و جنگلی،
- ظرفیت زیست‌توده در هر استان،
- هزینه حمل‌ونقل بر اساس فاصله،
- و بازده انواع نیروگاه‌ها (گازی‌سازی، احتراق مستقیم، بیوگاز)

سه نوع زیست‌توده بررسی شد:

۱. پسماند برنج و نی؛
۲. چوب جنگلی و تراشه؛
۳. فضولات دامی و فاضلاب شهری

۱۴۵ نتایج مدل ملی

میانگین هزینه نهایی (LCOE)





انتشار CO ₂ نسبت به زغال سنگ	بازده انرژی	میانگین هزینه تولید برق (USD/MWh)	نوع زیست توده
۸۰٪ کمتر	۲۳٪	۹۲	پسماند کشاورزی
۷۵٪ کمتر	۲۸٪	۱۰۵	چوب جنگلی
۷۰٪ کمتر	۳۲٪	۱۲۴	فضولات دامی

نتایج نشان داد که زیست توده‌ی کشاورزی اقتصادی ترین منبع برای تولید برق است، به‌ویژه در استان‌هایی با شبکه حمل و نقل کارآمد و تراکم بالای مزارع.

نواحی بهینه برای توسعه

با استفاده از تحلیل GIS، مناطق جنوبی ژاپن (استان‌های کوچی و کوماموتو) به‌عنوان نواحی با بالاترین پتانسیل هزینه-اثربخش (Cost-Effectiveness Potential) شناسایی شدند.

۱۴۶ تحلیل حساسیت

مدل نشان داد که سه عامل بیشترین تأثیر را بر هزینه‌ی نهایی دارند:

توضیح	اثر بر هزینه	عامل
فاصله زیاد منبع تا نیروگاه	↑ ۳۰٪ افزایش	هزینه حمل و نقل (Fuel Logistics)
فناوری‌های گران گازی سازی	↑ ۲۵٪	قیمت سرمایه گذاری اولیه (CapEx)
کاهش مستقیم LCOE	↓ ۲۰٪ کاهش	یارانه دولتی (Subsidy Rate)

بر این اساس، سیاست‌های مؤثر شامل تجمیع منابع زیست توده در مراکز منطقه‌ای و افزایش بازده تجهیزات کوچک مقیاس محلی است.

۱۴۷ ارزیابی زیست محیطی

بر اساس مدل چرخه عمر (LCA)، نیروگاه‌های زیست توده نسبت به زغال سنگ حدود ۷۵٪ کاهش در انتشار CO₂ و ۶۰٪ کاهش در مصرف منابع فسیلی دارند اما اگر حمل و نقل مواد خام طولانی باشد، بخشی از مزیت زیست محیطی از بین می‌رود به همین دلیل، نویسندگان توصیه می‌کنند که نیروگاه‌های زیست توده باید در نزدیکی منابع مواد اولیه ساخته شوند.

۱۴۸ نتیجه گیری

سه نکته‌ی کلیدی از این فصل:

۱. مدل سازی هزینه در مقیاس ملی، ابزاری استراتژیک برای سیاست گذاری انرژی پایدار است





۲. زیست‌توده‌ی کشاورزی اقتصادی‌ترین منبع انرژی زیستی است در صورتی که شبکه‌ی جمع‌آوری محلی کارآمد باشد

۳. تمرکززدایی و نیروگاه‌های کوچک محلی از نظر هزینه و محیط زیست سودمندتر از پروژه‌های عظیم متمرکز هستند

نویسندگان نتیجه می‌گیرند: «آینده‌ی انرژی زیست‌توده، نه در نیروگاه‌های بزرگ، بلکه در شبکه‌های کوچک و هوشمند محلی است»

جمع‌بندی مدیریتی

در ایران، سالانه بیش از ۱۲۰ میلیون تن پسماند کشاورزی و دامی تولید می‌شود که می‌تواند منبع عظیمی برای تولید انرژی پاک باشد اما استفاده از آن هنوز بسیار محدود است.

پیشنهادهای اجرایی برای کشور:

محور	اقدام پیشنهادی
سیاست ملی انرژی زیستی	تدوین نقشه‌ی ملی «زیست‌توده ایران» با استفاده از داده‌های GIS
زیرساخت منطقه‌ای	ایجاد نیروگاه‌های کوچک زیست‌توده در مراکز کشاورزی (مانند خوزستان، مازندران، فارس)
اقتصاد سبز	حمایت مالی از بخش خصوصی از طریق تضمین خرید برق زیستی (Feed-in Tariff)
فناوری و پژوهش	توسعه‌ی فناوری‌های بومی گازی‌سازی و بیوگاز
آموزش و ظرفیت‌سازی	تربیت متخصصان «مدیریت انرژی زیستی» در دانشگاه‌ها و مراکز فنی





فصل پانزدهم: تحلیل چرخه عمر سامانه‌های سلول سوختی خانگی برای کاهش اثرات کربنی

(Life Cycle Assessment of Residential Fuel Cell Systems for Carbon Reduction)

۱۵۱ مقدمه

سلول‌های سوختی خانگی (Residential Fuel Cells) یکی از نوآوری‌های کلیدی در مسیر انرژی پاک شهری هستند این سامانه‌ها قادرند برق و گرما را به صورت هم‌زمان در مقیاس خانگی تولید کنند، با بازدهی بالاتر و انتشار گازهای گلخانه‌ای بسیار کمتر از شبکه‌های سنتی برق کشورهایی مانند ژاپن، آلمان و دانمارک از پیشگامان استفاده از سلول‌های سوختی خانگی اند در ژاپن، پروژه ENE-FARM از سال ۲۰۰۹ بیش از ۲۵۰ هزار واحد را در منازل مسکونی نصب کرده است هدف این فصل، بررسی عملکرد زیست‌محیطی این سامانه‌ها بر اساس تحلیل چرخه عمر (LCA) و مقایسه‌ی آن‌ها با سیستم‌های معمول تولید برق خانگی است.

۱۵۲ ساختار کلی سامانه

سلول سوختی خانگی معمولاً از نوع PEMFC (Proton Exchange Membrane Fuel Cell) یا SOFC (Solid Oxide Fuel Cell) است اجزای اصلی عبارت‌اند از:

- واحد تولید سوخت (Reformer) برای تبدیل گاز طبیعی به هیدروژن؛
- سلول الکتروشیمیایی که برق و گرما تولید می‌کند؛
- واحد بازیابی حرارتی برای استفاده از گرمای خروجی؛
- سیستم کنترل و ذخیره‌سازی انرژی

سامانه به گونه‌ای طراحی شده که می‌تواند همزمان برق و آب گرم مورد نیاز خانه را تأمین کند





۱۵۳ چارچوب ارزیابی چرخه عمر (LCA)

ارزیابی مطابق با استاندارد ISO 14040/14044 انجام شد و مراحل زیر را دربر می‌گیرد:

۱. تعریف هدف و مرز سیستم:

محدوده از استخراج مواد اولیه تا پایان عمر مفید (۱۵ سال) در نظر گرفته شده است

۲. فهرست موجودی (LCI):

شامل مصرف مواد (پلاتین، نیکل، فولاد ضدزنگ)، انرژی تولید، و انتشار گازها

۳. ارزیابی اثرات (LCIA):

تمرکز بر سه شاخص اصلی:

○ انتشار گازهای گلخانه‌ای (CO₂-eq)

○ مصرف انرژی اولیه (MJ)

○ اسیدی‌شدن و سمیت زیست‌محیطی

۴. تجزیه و تحلیل حساسیت:

مقایسه بین سلول‌های سوختی و سیستم سنتی ترکیبی (شبکه برق + دیگ گازی)

۱۵۴ نتایج اصلی

۱۵۴۱ کاهش انتشار CO₂

نتایج نشان می‌دهد که در مقایسه با سیستم سنتی، یک سلول سوختی خانگی می‌تواند بین ۳۰ تا ۴۵٪ انتشار CO₂ را کاهش دهد

نوع سامانه	انتشار CO ₂ (kg/year/household)	کاهش نسبت به سیستم سنتی
سیستم سنتی (برق شبکه + دیگ گازی)	۵'۰۰۰	-
سلول سوختی PEMFC	۳'۲۰۰	۳۶٪↓
سلول سوختی SOFC	۲'۸۰۰	۴۴٪↓

علت اصلی این کاهش، بازدهی بالا و استفاده از گرمای تلف‌شده است

۱۵۴۲ بازده انرژی





بازده کل انرژی در سامانه‌های سلول سوختی حدود ۸۰ تا ۹۰٪ است (شامل ۴۰٪ برق + ۴۵٪ گرما) در حالی که سیستم سنتی در بهترین حالت ۶۰٪ بازده دارد.

۱۵۴۳ اثرات زیست‌محیطی غیرکربنی

از منظر اسیدی‌شدن و سمیت، تفاوت چندانی بین سیستم‌ها وجود ندارد، اما تولید سلول‌های سوختی به دلیل استفاده از فلزات گرانبها (پلاتین و نیکل) در مرحله ساخت، بار زیست‌محیطی بالاتری دارد این اثر در طول عمر ۱۵ سال با صرفه‌جویی انرژی جبران می‌شود.

۱۵۵ تحلیل اقتصادی

میانگین هزینه نصب یک واحد خانگی سلول سوختی در ژاپن حدود ۹'۰۰۰ دلار است اما با یارانه‌های دولتی (حدود ۵۰٪) و صرفه‌جویی در قبوض انرژی، دوره بازگشت سرمایه حدود ۸ تا ۱۰ سال تخمین زده می‌شود در مقایسه، هزینه تولید برق از سلول سوختی در مقیاس خانگی بین ۲۰٪ تا ۲۵/۰ دلار بر کیلووات ساعت است، که در صورت افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی، کاملاً رقابتی می‌شود.

۱۵۶ بحث و تحلیل

۱. مزیت زیست‌محیطی:

در صورت استفاده از گاز طبیعی، انتشار CO_2 کاهش می‌یابد؛ و در آینده با استفاده از هیدروژن سبز، این مقدار تقریباً صفر خواهد شد.

۲. چالش‌های فنی:

دوام کاتالیزور پلاتین و هزینه نگهداری بالا از موانع گسترش هستند

۳. یکپارچگی با شبکه هوشمند:

در آینده، خانه‌ها با سلول‌های سوختی می‌توانند به میکروشبکه (Microgrid) تبدیل شوند و برق اضافی را به شبکه بفروشند

۴. تحلیل سیاستی:

حمایت دولت‌ها از طریق یارانه، آموزش و زیرساخت هیدروژن برای گسترش بازار ضروری است

۱۵۷ نتیجه‌گیری

سه نکته کلیدی این فصل:

۱. سلول‌های سوختی خانگی می‌توانند تا ۴۰٪ انتشار کربن را کاهش دهند و نقش مهمی در پایداری انرژی شهری دارند

۲. تحلیل چرخه عمر (LCA) ابزار مؤثری برای ارزیابی تصمیمات فناورانه در مقیاس واقعی است

۳. گذر از گاز طبیعی به هیدروژن سبز آینده‌ی این فناوری را کاملاً بدون کربن می‌سازد





نویسندگان تأکید می‌کنند: «خانه‌ی آینده، نه مصرف‌کننده‌ی انرژی، بلکه تولیدکننده‌ی انرژی پاک است»

جمع‌بندی مدیریتی

در ایران، زیرساخت گسترده‌ی گاز طبیعی و پتانسیل بالای تابش خورشید شرایطی ایده‌آل برای توسعه‌ی سلول‌های سوختی خانگی و منطقه‌ای فراهم کرده است.

پیشنهادهای اجرایی برای کشور:

محور	اقدام پیشنهادی
سیاست ملی انرژی پاک خانگی	تدوین «طرح خانه سبز ایران» با استفاده از سلول‌های سوختی گازی کوچک
فناوری بومی	توسعه‌ی سلول‌های سوختی PEMFC در دانشگاه‌ها و پارک‌های علم و فناوری
اقتصاد انرژی	ارائه یارانه یا تسهیلات برای خرید و نصب سیستم‌های خانگی
مدیریت شهری	ایجاد محله‌های پایلوت با میکروشبکه‌ی انرژی پاک (در کیش، یزد یا قزوین)
آموزش	تربیت متخصصان نگهداری و تعمیرات سیستم‌های سوختی در مراکز فنی حرفه‌ای





فصل شانزدهم: سیاست‌های جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر در اروپا و آسیا

(Policies for Replacing Fossil Fuels with Renewable Energy in Europe and Asia)

۱۶۱ مقدمه

جهان در دهه‌ی دوم قرن بیستویکم با بحران دوگانه‌ی «گرمایش جهانی» و «امنیت انرژی» روبه‌روست از یک‌سو کشورها متعهد شده‌اند انتشار گازهای گلخانه‌ای را طبق توافق پاریس (۲۰۱۵) کاهش دهند، و از سوی دیگر وابستگی شدید به نفت و گاز، ریسک اقتصادی و سیاسی بالایی ایجاد کرده است در این شرایط، سیاست‌های جایگزینی انرژی فسیلی با انرژی‌های تجدیدپذیر به‌عنوان ستون اصلی استراتژی‌های توسعه پایدار در هر دو قاره‌ی اروپا و آسیا مطرح شده‌اند نویسندگان این فصل تلاش می‌کنند با تحلیل تطبیقی، شباهت‌ها، تفاوت‌ها و درس‌های مشترک سیاست‌های انرژی در دو منطقه را نشان دهند.

۱۶۲ چشم‌انداز جهانی انرژی

طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی (IEA):

- در سال ۲۰۱۸، سهم سوخت‌های فسیلی از کل انرژی جهان حدود ۸۱٪ بوده است
 - تا سال ۲۰۵۰، در صورت تحقق سناریوهای توسعه پایدار، این سهم باید به کمتر از ۴۰٪ برسد
- در همین دوره، انرژی‌های تجدیدپذیر (خورشید، باد، زیست‌توده، زمین‌گرمایی) باید بیش از نیمی از تولید برق جهان را تأمین کنند بنابراین، سیاست‌گذاری انرژی نه فقط فنی بلکه اقتصادی، اجتماعی و ژئوپلیتیکی است.

۱۶۳ سیاست‌های اروپا

اروپا در سه دهه‌ی گذشته یکی از پیشگامان گذار انرژی (Energy Transition) بوده است





الف) سیاست انرژی سبز اتحادیه اروپا

از سال ۲۰۰۹ با تصویب بسته‌ی انرژی موسوم به **20-20-20 Targets**:-

- ۲۰٪ کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای،
 - ۲۰٪ افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر،
 - و ۲۰٪ بهبود بهره‌وری انرژی تا سال ۲۰۲۰ هدف‌گذاری شد
- در سال ۲۰۲۱ این اهداف در قالب **Green Deal 2050** به سطح بالاتری ارتقا یافتند:
- خنثی‌سازی کامل کربن (**Carbon Neutrality**) تا سال ۲۰۵۰

ب) ابزارهای کلیدی سیاستی اروپا

۱. تعرفه‌ی خرید تضمینی برق تجدیدپذیر (**Feed-in Tariff**)
→ پرداخت نرخ ثابت برای برق تولیدشده از انرژی‌های پاک؛ عامل رشد شدید بازار خورشیدی و بادی در آلمان، دانمارک و اسپانیا
۲. بازار تجارت کربن (**EU-ETS**)
→ نظام قیمت‌گذاری انتشار CO_2 ؛ شرکت‌ها موظف به خرید مجوز برای انتشار هستند
۳. مالیات بر انرژی فسیلی (**Carbon Tax**)
→ در کشورهای اسکاندیناوی اجرا شد و موجب تغییر رفتار مصرفی شد
۴. یارانه تحقیق و نوآوری سبز (**Horizon Europe**)
→ حمایت مالی از پژوهش‌ها و فناوری‌های انرژی پاک

ج) نتایج

- سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در برق اتحادیه اروپا از ۱۴٪ (۲۰۱۰) به ۳۴٪ (۲۰۲۰) رسیده است
- آلمان و دانمارک در برق بادی و خورشیدی به خودکفایی نزدیک شده‌اند
- اما چالش‌هایی نظیر نوسانات شبکه، هزینه بالای ذخیره‌سازی و وابستگی به واردات گاز باقی مانده است

۱۶۴ سیاست‌های آسیا

در آسیا، روند گذار انرژی ناهمگون‌تر است، زیرا سطح توسعه‌ی اقتصادی و منابع طبیعی در کشورها متفاوت است





JP ژاپن

پس از فاجعه فوکوشیما (۲۰۱۱)، ژاپن سیاست - **Energy Mix 2030** را اعلام کرد:

- کاهش وابستگی به هسته‌ای از ۳۰٪ به ۲۰٪؛
- افزایش انرژی‌های تجدیدپذیر به ۲۲-۲۴٪؛
- و توسعه فناوری‌های کارآمد گازی و هیدروژنی برنامه‌ی **Hydrogen Society 2050** ژاپن، نخستین نقشه‌راه جامع اقتصاد هیدروژن در جهان است

CN چین

چین بزرگ‌ترین تولیدکننده و مصرف‌کننده انرژی جهان است در برنامه پنج‌ساله سیزدهم (۲۰۱۶-۲۰۲۰):

- ظرفیت نصب‌شده انرژی خورشیدی به بیش از ۲۰۰ گیگاوات رسید
- هدف بلندمدت: کربن خنثی تا ۲۰۶۰ ابزارهای کلیدی: یارانه‌های گسترده، سرمایه‌گذاری دولتی، و انتقال فناوری داخلی

IN هند

با برنامه‌ی ملی مأموریت خورشیدی (**JNNSM**)، هند قصد دارد تا ۲۰۳۰ سهم انرژی تجدیدپذیر را به ۵۰٪ از ظرفیت برق برساند چالش اصلی، تأمین مالی و زیرساخت‌های شبکه است

۱۶۵ مقایسه تطبیقی اروپا و آسیا

بُعد	اروپا	آسیا
رویکرد سیاستی	مبتنی بر مقررات و مالیات کربن	مبتنی بر یارانه و سرمایه‌گذاری دولتی
هدف اقلیمی	کربن خنثی تا ۲۰۵۰	کربن خنثی تا ۲۰۶۰ (در چین)
سطح توسعه فناوری	بالاتر در انرژی بادی و ذخیره‌سازی	برتری در هزینه پایین تولید خورشیدی
چالش اصلی	هزینه و ذخیره‌سازی انرژی	رشد تقاضا و آلودگی شهری
نقش مردم و بخش خصوصی	بسیار فعال (بازار باز انرژی)	محدود ولی در حال رشد





۱۶۶ تحلیل سیاستی

نویسندگان با استفاده از مدل «سیاست انرژی پایدار سه‌وجهی (Triple-P: Planet–People–Profit)

تحلیل می‌کنند که سیاست‌های مؤثر باید میان سه جنبه توازن برقرار کنند:

۱. Planet – سیاره: کاهش واقعی انتشار و حفاظت از اکوسیستم‌ها

۲. People – مردم: دسترسی عادلانه به انرژی و امنیت اجتماعی

۳. Profit – سود: پایداری اقتصادی برای جذب سرمایه‌گذاری خصوصی

اروپا در جنبه‌ی Planet پیشروست، آسیا در Profit و رشد اقتصادی، و کشورهایی که بتوانند این سه را تلفیق کنند، آینده‌ی انرژی جهان را خواهند ساخت

۱۶۷ نتیجه‌گیری

۱. سیاست‌های گذار انرژی باید متناسب با ساختار اقتصادی هر کشور طراحی شوند تقلید صرف از مدل‌های دیگر کارآمد نیست

۲. ترکیب ابزارهای اقتصادی (مالیات، یارانه) با آموزش و نوآوری فناورانه بهترین نتیجه را دارد

۳. همکاری منطقه‌ای در فناوری و زیرساخت (مانند شبکه‌های برق مشترک یا تجارت گاز و هیدروژن) نقش حیاتی در موفقیت گذار سبز دارد

۴. قیمت واقعی کربن باید در تصمیم‌های اقتصادی لحاظ شود تا بازار به سمت انرژی پاک هدایت گردد

نویسندگان جمع‌بندی می‌کنند: «سیاست انرژی پایدار، هنر توازن میان علم، اقتصاد و عدالت اجتماعی است»

جمع‌بندی مدیریتی

ایران با منابع عظیم فسیلی و تابش بالای خورشید، در موقعیتی منحصربه‌فرد برای گذار تدریجی و هوشمند انرژی قرار دارد بر اساس درس‌های این فصل، سیاست ملی انرژی ایران می‌تواند بر پایه‌ی مدل ترکیبی اروپا-آسیا بازطراحی شود

پیشنهادهای اجرایی:

محور	اقدام پیشنهادی
سیاست ملی گذار انرژی	تدوین نقشه‌ی راه «ایران ۲۰۵۰ بدون کربن» با تکیه بر گاز، خورشید و هیدروژن
اقتصاد سبز	اعمال تدریجی «مالیات کربن» و اختصاص درآمد آن به توسعه انرژی‌های پاک
نهادسازی	ایجاد «شورای ملی گذار انرژی» با حضور دولت، دانشگاه و بخش خصوصی
فناوری و نوآوری	حمایت از پروژه‌های ذخیره‌سازی انرژی و شبکه‌های هوشمند
آموزش و فرهنگ‌سازی	توسعه‌ی آموزش عمومی درباره مصرف مسئولانه و آینده انرژی پاک





فصل هفدهم: پیوند میان زیست‌فناوری و توسعه پایدار منطقه‌ای: یک مدل سیاستی برای کشورهای در حال توسعه

(Biotechnology and Regional Sustainable Development: A Policy Model for Developing Countries)

۱۷۱ مقدمه

زیست‌فناوری (Biotechnology) در سه دهه اخیر به یکی از مهم‌ترین موتورهای رشد اقتصادی تبدیل شده است از سلامت و کشاورزی گرفته تا محیط‌زیست و انرژی، زیست‌فناوری می‌تواند به صورت مستقیم بر توسعه پایدار تأثیر بگذارد اما پرسش کلیدی این فصل این است: چگونه کشورها، به ویژه کشورهای در حال توسعه، می‌توانند زیست‌فناوری را به ابزار توسعه منطقه‌ای و پایداری تبدیل کنند؟

نویسندگان تأکید می‌کنند که توسعه زیست‌فناوری فقط فناوری نیست؛ یک سیاست‌گذاری هوشمند و بلندمدت است این فصل چارچوبی ارائه می‌دهد که چگونه دولت‌ها می‌توانند از زیست‌فناوری برای ایجاد اشتغال، کاهش اثرات زیست‌محیطی و افزایش بهره‌وری منابع استفاده کنند.

۱۷۲ زمینه و ضرورت

زیست‌فناوری ظرفیت‌های مهمی برای پایداری دارد:

۱ زیست‌فناوری کشاورزی (Agri-biotech)

- تولید بذرهای مقاوم به خشکی و شوری
- افزایش عملکرد محصولات
- کاهش مصرف کودهای شیمیایی





۲ زیست فناوری صنعتی (White Biotechnology)

- تولید زیست پلیمرها، سوخت زیستی، آنزیم‌های صنعتی
- کاهش مصرف انرژی در صنایع

۳ زیست فناوری محیط زیستی (Environmental Biotechnology)

- تصفیه پساب، حذف فلزات سنگین
- بازیافت زیستی پسماند

۴ زیست فناوری سلامت (Medical Biotechnology)

- واکسن‌ها، داروهای زیستی، ابزارهای تشخیصی

نویسندگان تأکید می‌کنند:

«کشورهای در حال توسعه که زیست فناوری را وارد زنجیره اقتصاد خود می‌کنند، جهش توسعه‌ای خواهند داشت»

۱۷۳ چالش‌های کشورهای در حال توسعه

نویسندگان چالش‌ها را در ۴ دسته بیان می‌کنند:

۱. فقدان زیرساخت‌های آزمایشگاهی و تحقیقاتی

۲. کمبود متخصصان زیست فناوری

۳. عدم وجود سیاست‌گذاری یکپارچه

۴. مشکلات تأمین مالی و سرمایه‌گذاری بلندمدت

این فصل تلاش می‌کند راهکاری ارائه دهد که این چالش‌ها را به فرصت تبدیل کند

۱۷۴ مدل سیاستی «چارچوب پنج‌ستونی زیست فناوری پایدار»

نویسندگان یک مدل سیاست‌گذاری معرفی می‌کنند که شامل ۵ ستون اصلی است:





توضیح	ستون
ایجاد شبکه دانشگاه-صنعت؛ تربیت متخصصان زیست‌فناوری؛ اعزام دانشجویان به مراکز پیشرفته	۱ (Human Capital) سرمایه انسانی
ایجاد آزمایشگاه‌های ملی، مراکز رشد زیست‌فناوری و بانک‌های ژنتیکی	۲ (Tech Infrastructure) زیرساخت‌های فناوریانه
حمایت از استارت‌آپ‌های زیستی و انتقال فناوری	۳ (Innovation & Commercialization) نوآوری و تجاری‌سازی
توسعه خوشه‌های زیست‌فناوری (Biotech Clusters) در هر استان	۴ (Regional Economy) اقتصاد منطقه‌ای
استفاده از زیست‌فناوری برای مدیریت پسماند، آب و کاهش آلودگی	۵ (Environmental Sustainability) پایداری محیط‌زیستی

۱۷۵ مثال‌های جهانی موفق

KR کره جنوبی - خوشه زیست‌فناوری «پانگیو»

- تمرکز بر شرکت‌های زیست‌دارو
- حمایت دولتی
- رشد صادرات داروهای زیستی

BR برزیل - بیواتانول (سوخت زیستی)

- تبدیل نیشکر به سوخت پاک
- کاهش وابستگی به نفت
- ایجاد هزاران شغل روستایی

IP لژاپن - زیست‌فناوری محیط‌زیستی

- استفاده از میکروارگانیسم‌ها برای تصفیه آب
- بازیافت پسماند با فناوری‌های زیستی

نتیجه: کشورهایی موفق‌اند که سیاست و فناوری را هم‌زمان توسعه دهند

۱۷۶ مدل توسعه‌ی منطقه‌ای مبتنی بر زیست‌فناوری

نویسندگان یک مدل کاربردی ارائه می‌کنند که در آن هر منطقه بر اساس منابع خود به یک قطب زیست‌فناوری تخصصی تبدیل می‌شود:





منطقه	مزیت	حوزه زیست‌فناوری
مناطق کشاورزی	پسماند کشاورزی، زمین حاصلخیز	زیست‌فناوری کشاورزی، زیست‌سوخت‌ها
مناطق شهری	دانشگاه‌ها، بیمارستان‌ها	زیست‌فناوری پزشکی
مناطق ساحلی	تنوع زیستی دریایی	زیست‌فناوری دریایی
مناطق صنعتی	زیرساخت تولید	زیست‌فناوری صنعتی

۱۷۷ تحلیل اقتصادی - زیست‌فناوری و اشتغال

طبق مدل ارائه‌شده: هر ۱ میلیون دلار سرمایه‌گذاری در زیست‌فناوری صنعتی، می‌تواند ۴۰-۵۵ شغل مستقیم و ۷۰-۱۰۰ شغل غیرمستقیم ایجاد کند در حوزه‌ی سلامت، این عدد بیشتر است: هر ۱ میلیون دلار → ۶۰ شغل مستقیم این اعداد نشان می‌دهد زیست‌فناوری موتور اشتغال‌زایی پایدار است.

۱۷۸ نتیجه‌گیری

فصل با سه گزاره کلیدی پایان می‌یابد:

۱. زیست‌فناوری برای کشورهای در حال توسعه، یک مسیر میان‌بر به توسعه پایدار است

۲. باید میان سیاست، بازار، دانشگاه و جامعه پل ارتباطی پایدار ایجاد شود

۳. توسعه‌ی زیست‌فناوری باید منطقه‌ای، بومی و مبتنی بر مزیت‌های جغرافیایی باشد

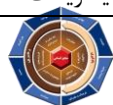
نویسندگان جمع‌بندی می‌کنند: «آینده اقتصاد سبز، از آزمایشگاه زیست‌فناوری آغاز می‌شود»

جمع‌بندی مدیریتی

ایران با تنوع بالای زیستی، ظرفیت کشاورزی، و شبکه دانشگاهی گسترده، می‌تواند به‌سادگی وارد مسیر اقتصاد زیستی (Bioeconomy) شود

پیشنهادهای اجرایی برای ایران:

حوزه	اقدام پیشنهادی
سیاست ملی زیست‌فناوری	تدوین «نقشه ملی اقتصاد زیستی ایران»
توسعه منطقه‌ای	ایجاد خوشه‌های زیست‌فناوری کشاورزی در خوزستان، مازندران و فارس
محیط زیست	استفاده از زیست‌فناوری برای حذف فلزات سنگین، تصفیه پساب و بازیافت پسماند
نوآوری و صنعت	ایجاد شتاب‌دهنده‌های تخصصی برای زیست‌مواد، زیست‌سوخت و زیست‌پلیمر
آموزش و نیروی انسانی	راه‌اندازی دوره‌های تخصصی «زیست‌فناوری پایدار» برای مهندسان محیط زیست





فصل هجدهم: نوآوری‌های اکولوژیک در سیستم‌های انرژی آینده: نقش ذخیره‌سازی انرژی و شبکه‌های هوشمند

(Eco-Innovations for Future Energy Systems: The Role of Energy Storage and Smart Grids)

۱۸۱ مقدمه

جهان در حال حرکت از شبکه‌های انرژی سنتی به سمت زیرساخت‌های هوشمند، انعطاف‌پذیر و کم‌کربن است. دو فناوری کلیدی در این گذار عبارت‌اند از:

۱. سیستم‌های ذخیره‌سازی انرژی (ESS – Energy Storage Systems)

۲. شبکه‌های هوشمند (Smart Grids)

این فصل نشان می‌دهد که چگونه این دو فناوری، ستون‌های اصلی آینده انرژی پایدار هستند و چرا کشورهای مختلف باید برای پیاده‌سازی آن‌ها سرمایه‌گذاری کنند. نویسندگان می‌گویند: «انرژی تجدیدپذیر، بدون ذخیره‌سازی و شبکه هوشمند، ناقص است»

۱۸۲ چالش انرژی تجدیدپذیر: ناپایداری (Intermittency)

منابع تجدیدپذیر مانند خورشید و باد مستمر نیستند

- خورشید فقط در روز می‌تابد
- باد متغیر است
- تولید انرژی نامنظم است

اما مصرف انرژی پیوسته و قابل پیش‌بینی نیست

بنابراین برای ایجاد یک سیستم انرژی پایدار لازم است:





- انرژی اضافی ذخیره شود

- انرژی ذخیره‌شده در زمان‌های نیاز آزاد شود

- شبکه بتواند نوسانات را پیش‌بینی و مدیریت کند

این همان نقش **ESS + Smart Grid** است

۱۸۳ فناوری‌های ذخیره‌سازی انرژی

نویسندگان چهار نوع اصلی **ESS** را معرفی و مقایسه می‌کنند:

۱ باتری‌های لیتیوم-یون (**Li-ion**)

- رایج‌ترین نوع
- مناسب برای شبکه و خانگی
- چالش: هزینه و بازیافت

۲ سیستم‌های تلمبه‌ای (**Pumped Hydro Storage**)

- ۹۰٪ ذخیره‌سازی جهانی انرژی
- ظرفیت بالا
- نیازمند جغرافیای مناسب (کوهستان + مخزن)

۳ هیدروژن (**Power-to-Hydrogen**)

- استفاده از برق اضافی برای تولید هیدروژن
- ذخیره‌سازی بلندمدت
- نقش مهم در «اقتصاد هیدروژنی آینده»

۴ باتری‌های جریان (**Flow Batteries**)

- دوام بالا
- مناسب برای ذخیره‌سازی حجیم
- در مراحل توسعه صنعتی





۱۸۴ شبکه‌های هوشمند

شبکه هوشمند ترکیبی از فناوری‌های دیجیتال است:

- حسگرهای هوشمند
- کنتورهای هوشمند (Smart Meters)
- تحلیل داده آنی
- هوش مصنوعی برای پیش‌بینی بار

هدف شبکه هوشمند:

- کاهش پیک مصرف
- تسهیل اتصال انرژی تجدیدپذیر
- بهبود کارایی شبکه
- جلوگیری از خاموشی

نویسندگان، شبکه هوشمند را «مغز سیستم انرژی آینده» می‌نامند

۱۸۵ مدل یکپارچه ESS + Smart Grid

این فصل یک مدل سه‌لایه از سیستم انرژی پایدار ارائه می‌دهد:

فناوری‌ها	نقش	لایه
خورشیدی، بادی، زیست‌توده	تولید برق پاک	۱ تولید انرژی
باتری، هیدروژن، تلمبه‌ای	تنظیم نوسانات	۲ ذخیره‌سازی
IoT، حسگر، AI، کنتور هوشمند	مدیریت، کنترل و توزیع	۳ شبکه هوشمند

این سه لایه تنها در صورتی کار می‌کنند که به صورت دیجیتال یکپارچه باشند

۱۸۶ مطالعه موردی – ژاپن

پس از زلزله و سونامی ۲۰۱۱، ژاپن تصمیم گرفت شبکه برق آینده را دیجیتال و پایدار کند





- پروژه شبکه هوشمند یوکوهاما: کاهش ۲۵٪ مصرف اوج
 - سیستم ذخیره‌سازی مینامی‌سوما: باتری ۴۰ مگاواتی برای تثبیت برق بادی
 - پروژه هیدروژن فوکوشیما: بزرگ‌ترین واحد تولید هیدروژن با انرژی خورشیدی
- این مثال‌ها نشان دادند که سرمایه‌گذاری در کنترل و ذخیره‌سازی انرژی، بهره‌وری را چند برابر می‌کند

۱۸۷ تحلیل اقتصادی – چرا ESS + Smart Grid ضروری است؟

نویسندگان ثابت می‌کنند که:

- ذخیره‌سازی انرژی، هزینه خاموشی‌ها را ۳۰٪-۵۰٪ کاهش می‌دهد
- شبکه‌های هوشمند بهره‌وری انرژی را ۱۵٪-۲۰٪ افزایش می‌دهند
- ESS می‌تواند نیاز به ساخت نیروگاه‌های پشتیبان گاز طبیعی را کاهش دهد
- کشورهایی با ESS قوی، وابستگی انرژی کمتری دارند

این سیستم‌ها نه تنها زیست‌محیطی، بلکه اقتصادی‌اند

۱۸۸ چالش‌ها

فصل به ۵ چالش بزرگ اشاره می‌کند:

۱. هزینه بالای باتری‌ها و زیرساخت دیجیتال
۲. مسائل امنیت سایبری شبکه انرژی
۳. استانداردهای متفاوت بین کشورها
۴. مشکل بازیافت باتری
۵. کمبود متخصصان انرژی دیجیتال

۱۸۹ نتیجه‌گیری

سه پیام کلیدی:

۱. آینده انرژی بدون ذخیره‌سازی پایدار نیست





۲. شبکه هوشمند، ستون کنترل کل سیستم است

۳. ادغام فناوری انرژی + دیجیتال، شرط اصلی گذار سبز است

نویسندگان فصل را با این جمله به پایان می‌برند: «تجربه جهانی نشان می‌دهد انرژی پاک فقط زمانی کار می‌کند که ذخیره شود، مدیریت شود و با هوش مصنوعی هماهنگ گردد»

جمع‌بندی مدیریتی

ایران با داشتن:

- پتانسیل عظیم خورشید
- شبکه برق گسترده
- زیرساخت گاز
- و نیاز به کاهش مصرف سوخت فسیلی

می‌تواند از این فصل برای طراحی نقشه راه ملی ذخیره‌سازی انرژی و شبکه هوشمند استفاده کند

پیشنهادهای اجرایی:

حوزه	اقدام پیشنهادی
فناوری	توسعه باتری‌های بومی و ذخیره‌سازی هیدروژن
سیاست‌گذاری	اجرای پایلوت شبکه هوشمند در ۵ شهر کشور
اقتصاد سبز	مشوق مالیاتی برای نصب باتری خانگی و کنترل هوشمند
دانشگاه و صنعت	تربیت «مهندسان انرژی دیجیتال»
زیرساخت	ایجاد مراکز ملی ذخیره‌سازی انرژی برای پایداری شبکه





فصل نوزدهم: درس آموخته‌های روان‌شناسی محیط‌زیست برای توسعه سیاست‌های پایداری

(Insights from Environmental Psychology for Designing Sustainability Policies)

۱۹۱ مقدمه

پایداری فقط فناوری نیست پایداری، قبل از هر چیز، رفتار انسانی است نویسندگان فصل با این گزاره آغاز می‌کنند: «بزرگ‌ترین مانع پایداری، انسان است؛ و بزرگ‌ترین فرصت پایداری نیز انسان است»

این فصل توضیح می‌دهد که چرا بسیاری از سیاست‌های زیست‌محیطی شکست می‌خورند: چون طراحان سیاست، روان‌شناسی مردم را نمی‌فهمند هدف فصل:

- استفاده از اصول روان‌شناسی محیط‌زیست
- برای طراحی سیاست‌های واقعی، عملی و قابل اجرا
- که رفتار مردم را «به‌صورت طبیعی و غیرتحمیلی» تغییر دهد

۱۹۲ چرا مردم رفتار پایدار نمی‌کنند؟

براساس تحقیقات نویسندگان، پنج مانع روانی مهم وجود دارد:

(Psychological Distance) ۱) فاصله روانی

مشکلات محیط‌زیستی «دور» به نظر می‌رسند مثلاً مردم می‌گویند:

- تغییر اقلیم در قطب شمال است
- آلودگی هوا تقصیر کارخانه‌هاست





• یا «اثر تصمیم من خیلی کوچک است» (2) مقاومت در برابر تغییر (Loss Aversion)

مردم از «از دست دادن» بیشتر می‌ترسند تا «به دست آوردن» مثلاً: کم کردن مصرف بنزین → از دست دادن راحتی افزایش قیمت انرژی → حس ضرر

(3) فشار هنجاری (Social Norms)

اگر مردم ببینند دیگران رفتار پایدار ندارند، خودشان هم انجام نمی‌دهند

(4) عدم اعتماد به نهادها

بدون اعتماد، حتی بهترین سیاست‌ها نیز با شکست مواجه می‌شوند

(5) پیچیدگی انتخاب‌ها

اگر رفتار پایدار پیچیده باشد (فرم، اپلیکیشن، هزینه)، انجام نمی‌شود

۱۹۳ ابزارهای روان‌شناسی برای تغییر رفتار

نویسندگان ۶ ابزار طلایی معرفی می‌کنند:

۱ تلنگر (Nudge)

تغییر رفتار بدون اجبار مثلاً: برچسب مصرف انرژی روی یخچال که می‌گوید «۹۰٪ مردم مدل کم‌مصرف را انتخاب کرده‌اند»

۲ تقلید اجتماعی (Social Learning)

مردم از مردم یاد می‌گیرند، نه از دولت

۳ هویت سبز (Green Identity)

وقتی پایداری تبدیل به «هویت» شود، پایدار می‌ماند (مشابه حس هویت ورزشکاری، مذهبی یا حرفه‌ای)

۴ میکروپاداش‌ها (Micro-Rewards)

پاداش‌های کوچک، تکرار رفتار را افزایش می‌دهد مثلاً: هر بار شارژ کردن کارت مترو بجای استفاده از ماشین، ۵ امتیاز سبز

۵ سادگی انتخاب (Choice Architecture)

اگر رفتار پایدار ساده‌تر باشد، انتخاب می‌شود

۶ باز خورد بلادرنگ (Real-Time Feedback)





نمایش لحظه‌ای مصرف انرژی باعث کاهش ۱۰-۱۵٪ مصرف می‌شود

۱۹۴ مطالعه موردی - ژاپن

ژاپن از روان‌شناسی برای تغییر رفتار شهروندان استفاده کرده است

نمونه‌ها:

- نمایش نمودار مصرف انرژی منازل روی تلویزیون
- پیام «خانه‌های مشابه شما ۲۰٪ کمتر برق مصرف می‌کنند»
- پروژه «محل سبز» با هویت جمعی سبز
- استفاده از دانش‌آموزان برای انتقال پیام به خانواده‌ها

نتیجه:

- کاهش ۱۲٪ مصرف برق خانگی
- افزایش ۳۲٪ مشارکت در بازیافت
- تقویت اعتماد عمومی به نهادهای شهری

۱۹۵ طراحی سیاست عمومی بر مبنای روان‌شناسی

نویسندگان - مدل ۵- A را معرفی می‌کنند:

A	مفهوم	کارکرد
Awareness	آگاهی	فهم ساده مشکل
Appeal	جذابیت	چرا رفتار پایدار خوب است؟
Access	دسترسی	رفتار پایدار باید ساده‌تر باشد
Action	اقدام	ابزار و فرآیند مشخص رفتار
Anchor	نهادینه‌سازی	تبدیل رفتار به عادت اجتماعی

سیاست سبز موفق، هر پنج مرحله را طی می‌کند

۱۹۶ تحلیل کاربردی برای سیاست‌گذاران





این فصل می‌گوید:

برای موفقیت سیاست‌های سبز، باید:

۱. مردم را شریک کنیم، نه مخاطب
۲. روایت‌سازی کنیم، نه دستوردهی
۳. ارزش‌ها، فرهنگ و هویت استفاده کنیم
۴. پیچیدگی را برداریم
۵. بازخورد بدهیم
۶. رفتار را جشن بگیریم

۱۹۷ نتیجه‌گیری

سه پیام کلیدی فصل:

۱. فناوری، بدون تغییر رفتار، کافی نیست
 ۲. بهترین سیاست‌های محیط‌زیستی، سیاست‌های روان‌شناختی‌اند
 ۳. تغییر بزرگ، از رفتارهای کوچک شروع می‌شود
- آخرین جمله فصل: «پایداری نه با قوانین، بلکه با فهم انسان آغاز می‌شود»

جمع‌بندی مدیریتی

برای انجمن مدیریت سبز ایران، این فصل بسیار مهم است، زیرا دقیقاً نشان می‌دهد:

چرا بسیاری از سیاست‌های محیط‌زیستی در ایران اجرا نمی‌شوند؟ چگونه باید سیاست، آموزش و فرهنگ‌سازی را بر مبنای روان‌شناسی طراحی کرد؟





پیشنهادهای اجرایی:

حوزه	اقدام پیشنهادی
همایش‌ها و کارگاه‌ها	برگزاری کارگاه «نودجینگ و روان‌شناسی محیط‌زیست» برای مدیران
کمپین‌ها	طراحی کمپین «هویت سبز ایرانی» با مشارکت مردم
شهری	نصب کنتورهای انرژی هوشمند با بازخورد لحظه‌ای
آموزش	استفاده از دانش‌آموزان به‌عنوان «سفیر سبز خانواده»
سیاست‌گذاری	تدوین سیاست بر مبنای مدل ۵A برای پروژه‌های ملی





فصل بیستم: پیشنهاد یک مدل ارزیابی زیست‌محیطی برای سلول‌های سوختی خانگی با رویکرد تحلیل چرخه عمر (LCA) و طراحی فرآیند

(The Proposal of Environmental Evaluation of Household Fuel Cell Considering Life-Cycle Analysis and Process Designing)

۲۰۱ مقدمه

سلول‌های سوختی خانگی (Home Fuel Cells) در ده سال اخیر به یکی از مهم‌ترین فناوری‌های تولید غیرمتمرکز انرژی پاک تبدیل شده‌اند. این سیستم‌ها می‌توانند هم‌زمان برق و حرارت تولید کنند (CHP – Combined Heat and Power)، و بازدهی آن‌ها بسیار بیشتر از شبکه برق معمولی است اما برای آنکه بدانیم این فناوری «واقعاً سبز» است، باید اثرات آن را در تمام چرخه عمر بررسی کنیم:

- از استخراج مواد اولیه
- ساخت سلول سوختی
- مصرف گاز طبیعی
- تولید برق و گرما
- تا دفع و بازیافت قطعات در پایان عمر سیستم

این فصل یک چارچوب پیشنهادی ارائه می‌دهد تا بتوانیم ارزیابی زیست‌محیطی سلول‌های سوختی خانگی را دقیق‌تر و کامل‌تر انجام دهیم.





۲۰۲ ضرورت موضوع

با وجود مطالعات قبلی، هنوز دو مشکل وجود دارد:

۱) ارزیابی صرفاً روی انتشار CO_2 تمرکز داشته است

در حالی که سلول سوختی ممکن است در مراحل اولیه (ساخت، حمل و نقل، قطعات فلزی) اثرهای دیگری نیز داشته باشد:

• اسیدی شدن (Acidification)

• سمیت فلزی

• مصرف منابع کمیاب

• مصرف انرژی اولیه

۲) طراحی فرآیند سیستم در ارزیابی لحاظ نشده است

یعنی طراحان سلول سوختی نمی‌دانند:

کدام بخش سیستم بیشترین اثر منفی را دارد؟ در کدام مرحله باید اصلاح فنی انجام شود؟

فصل ۲۰ تلاش می‌کند این دو نقص را برطرف کند

۲۰۳ ساختار مدل ارزیابی پیشنهادی

مدل پیشنهادی فصل شامل ۵ مرحله است:

۱ تعریف مرز سیستم (System Boundary)

مرزبندی کاملاً گسترده در نظر گرفته شده است:

۱. استخراج مواد اولیه

۲. تولید اجزا

۳. مونتاژ و تست

۴. نصب در خانه

۵. مصرف روزانه گاز

۶. تولید برق

۷. مدیریت گرمای خروجی

۸. نگهداری و تعمیرات

۹. بازیافت و دفع نهایی





این گستردگی باعث می‌شود تصویر کاملی از اثرات زیست‌محیطی به‌دست بیاید

۲ تحلیل چرخه عمر (Life-Cycle Inventory – LCI)

در این مرحله داده‌های دقیق از:

- مصرف انرژی
 - مصرف گاز
 - وزن قطعات
 - مقدار فلزات (پلاتین، نیکل)
 - انتشار آلاینده‌ها در هر مرحله
- جمع‌آوری می‌شود

۳ تحلیل اثرات زیست‌محیطی (LCIA)

شش شاخص اصلی بررسی می‌شود:

مفهوم	شاخص
گرمایش جهانی (CO_2)	Global Warming
اسیدی شدن	Acidification
غنی‌سازی آب‌ها	Eutrophication
مصرف منابع	Resource Depletion
سمیت انسانی	Human Toxicity
مه‌دود فتوشیمیایی	Photochemical Smog

این گستره، ارزیابی را بسیار جامع‌تر از مطالعات قبلی می‌کند

۴ طراحی فرآیند برای کاهش اثرات (Eco-Process Design)

نویسندگان پیشنهاد می‌کنند:

- استفاده از پلاتین کمتر
- افزایش طول عمر کاتالیست
- کاهش حجم سیستم تبدیل گاز به هیدروژن (Reformer)
- بهبود عایق‌های حرارتی





• طراحی برای بازیافت آسان تر قطعات

این بخش ارتباط مستقیم میان LCA و طراحی مهندسی برقرار می‌کند

۵ مقایسه با سیستم‌های متداول

سلول سوختی خانگی با دو سیستم مقایسه می‌شود:

۱. برق شبکه + آبگرم‌کن گازی (سیستم معمول)

۲. پمپ حرارتی + شبکه برق

۲۰۴ نتایج کلیدی

۱ (کاهش انتشار CO_2 نسبت به سیستم معمول

سلول سوختی خانگی حدود ۳۰٪ کاهش انتشار ایجاد می‌کند

دلیل:

- بازده بالای تولید برق
- استفاده از گرمای تلف‌شده
- کاهش نیاز به شبکه برق

۲ (اثر منفی مرحله ساخت سیستم

مرحله مونتاژ و تولید سیستم سلول سوختی دارای اثر زیست‌محیطی بالاست، به دلیل استفاده از:

- پلاتین
- نیکل
- فولاد ضدزنگ
- الکترولیت
- قطعات نسوز

این اثر در طی ۱۵ سال عمر سیستم با صرفه‌جویی انرژی جبران می‌شود

۳ (بیشترین فرصت بهبود: طراحی داخلی سیستم

نتایج نشان می‌دهد:

- ۴۵٪ از کل اثرات زیست‌محیطی قابل کاهش است
- اگر طراحی سیستم اصلاح شود:





○ کاهش مصرف فلزات گرانبها

○ افزایش طول عمر

○ قابلیت جداسازی و بازیافت راحت‌تر

۴) نتایج مهم در سایر شاخص‌ها

وضعیت	شاخص
۱۰-۱۲٪ کمتر از سیستم سنتی	اسیدی شدن
مشابه سیستم معمول	مهدود فتوشیمیایی
در مرحله تولید بالاتر است	سمیت فلزی
به دلیل پلاتین بالا است	مصرف منابع

به‌طور کلی برتری زیست‌محیطی سیستم، در مرحله مصرف تثبیت می‌شود

۲۰۵ تحلیل تکمیلی

سیستم‌های سوختی خانگی زمانی واقعاً سبز هستند که:

- با هیدروژن سبز کار کنند
- طراحی آن‌ها با LCA سازگاری داشته باشد
- فرآیند تولید آن پایدار شود

نویسندگان تأکید می‌کنند:

«طراحی فرآیند باید از همان ابتدا بر پایه LCA انجام شود، نه پس از تولید محصول»

۲۰۶ نتیجه‌گیری

سه پیام کلیدی فصل:

۱. LCA باید بخشی از فرآیند طراحی سلول سوختی باشد، نه فقط ابزار ارزیابی

۲. مرحله ساخت بیشترین فرصت برای کاهش اثر زیست‌محیطی را دارد

۳. سلول سوختی خانگی، با طراحی درست، می‌تواند ۳۰-۴۰٪ انتشار کربن خانگی را کاهش دهد





نویسندگان نتیجه می‌گیرند: «آینده انرژی خانگی در ترکیب طراحی سبز و فناوری سلول سوختی نهفته است»

جمع‌بندی مدیریتی

این فصل برای ایران بسیار ارزشمند است، زیرا:

- ایران بزرگ‌ترین شبکه گازرسانی خانگی جهان را دارد
- مصرف انرژی خانگی در ایران بسیار بالاست
- سلول سوختی خانگی می‌تواند یک تحول واقعی در بهره‌وری و کاهش کربن ایجاد کند

پیشنهادهای اجرایی:

حوزه	اقدام پیشنهادی
فناوری ملی	توسعه سلول سوختی خانگی ایرانی با طراحی بر پایه LCA
صنعت	بومی‌سازی واحدهای Reformer برای تبدیل گاز طبیعی
سیاست	طرح ملی «خانه کم‌کربن ایران» با یارانه نصب سلول سوختی
دانشگاه	تربیت متخصصان LCA و طراحی فرآیند سبز
پژوهش	پروژه تحقیقاتی: «کاهش مصرف پلاتین با نانوفناوری»





فصل بیست و یکم: مطالعه‌ای درباره مدل هزینه تولید برق زیست‌توده با لحاظ کردن «اثر یادگیری»

برای ارزیابی قیمت‌گذاری خرید تضمینی برق (Feed-in-Tariff)

(Study on a Model of Cost of Electricity for Biomass Including Learning Effect to Evaluate Feed-in-Tariff Pricing)

۲۱۱ مقدمه

در بسیاری از کشورها، سیاست خرید تضمینی برق یا **Feed-in-Tariff (FIT)** یکی از مهم‌ترین ابزارهای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر است اما چالش اصلی این است که: «چه قیمتی برای خرید برق زیست‌توده عادلانه، پایدار و مشوق سرمایه‌گذاری است؟»

برای پاسخ به این سؤال، باید هزینه واقعی تولید برق زیست‌توده را دقیقاً محاسبه کرد اما هزینه در طول زمان ثابت نمی‌ماند، زیرا فناوری‌ها با تجربه و تولید بیشتر ارزان‌تر می‌شوند این پدیده «اثر یادگیری» یا **Learning Effect** نام دارد این فصل یک مدل محاسبه هزینه برق زیست‌توده (**LCOE**) ارائه می‌دهد که اثر یادگیری را نیز وارد معادله می‌کند تا سیاست‌گذاران بتوانند قیمت **FIT** را به صورت علمی تعیین کنند.

۲۱۲ پیش‌زمینه

هزینه تولید برق از زیست‌توده شامل سه بخش اصلی است:

۱. هزینه سرمایه‌گذاری (**CapEx**)

۲. هزینه عملیاتی و نگهداری (**OpEx**)

۳. هزینه تأمین سوخت زیست‌توده

در روش‌های مرسوم، این هزینه‌ها ثابت فرض می‌شوند اما در عمل:

- با افزایش تجربه شرکت‌ها





- افزایش مقیاس تولید
 - پیشرفت فناوری
 - و استاندارد شدن تجهیزات
- هزینه‌ها کاهش می‌یابد

به همین دلیل باید مدل هزینه‌ای داشت که پویایی و یادگیری را هم لحاظ کند

۲۱۳ مفهوم «منحنی یادگیری (Learning Curve)»

در علم اقتصاد انرژی، منحنی یادگیری بیان می‌کند: «با هر دو برابر شدن ظرفیت انباشته، هزینه فناوری درصد مشخصی کاهش می‌یابد»

این درصد را **Learning Rate (LR)** می‌گویند

مثال:

$LR = 20\% \rightarrow$ یعنی هر بار تولید انباشته دو برابر می‌شود، هزینه ۲۰٪ کاهش می‌یابد

برای زیست‌توده، داده‌های ۱۰ سال گذشته ژاپن نشان داد:

- **LR** حدود ۱۵٪ تا ۱۸٪ است

- یعنی فناوری زیست‌توده به‌مرور به‌طور طبیعی ارزان‌تر خواهد شد

۲۱۴ مدل پیشنهادی هزینه برق زیست‌توده (LCOE)

مدل شامل سه جزء است:

$$LCOE = \frac{CapEx(t) + OpEx(t) + Fuel(t)}{E_{annual}}$$

اما برخلاف مدل‌های معمول، این فصل پیشنهاد می‌کند:

$$CapEx(t) = CapEx_0 \times (Cumulative Production)^{-LR}$$

که در آن:

- **LR** نرخ یادگیری
- **CapEx₀** هزینه اولیه
- «تولید انباشته» نشان‌دهنده مقدار تجربه بازار است

این فرمول، **LCOE** را تابع زمان و تجربه می‌کند





۲۱۵ داده‌های مورد مطالعه – ژاپن

نویسندگان داده‌های واقعی ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۸ را تحلیل کردند:

- متوسط LCOE زیست‌توده در سال ۲۰۱۰ $\rightarrow$ ۲۴۰ دلار/مگاوات ساعت
 - در سال ۲۰۱۸ $\rightarrow$ ۱۶۰ دلار/مگاوات ساعت
 - حدود ۳۵٪ کاهش که دقیقاً با منحنی یادگیری ۱۶٪ سازگار است
- همچنین:

- نیروگاه‌های کوچک بیشترین کاهش هزینه را داشته‌اند
- نیروگاه‌های مبتنی بر چوب و پلت زیستی، LR بیشتری داشته‌اند

۲۱۶ نقش مدل در تعیین قیمت FIT

قیمت FIT باید:

۱. بیشتر از LCOE فعلی باشد تا پروژه سودآور شود
 ۲. کمتر از LCOE آینده باشد تا بازار بیش از حد یارانه نگیرد
- مدل نویسندگان این امکان را فراهم می‌کند:

- قیمت FIT امروز را طوری تعیین کنیم

که هم سرمایه‌گذار تشویق شود و هم بار مالی بر دولت کمتر شود

برای مثال:

- LCOE فعلی: ۱۶۰
- LCOE پیش‌بینی ۵ سال آینده: ۱۳۰
- پیشنهاد قیمت FIT: ۱۴۵-۱۵۰ دلار/مگاوات ساعت

نه زیاد، نه کم

۲۱۷ تحلیل حساسیت





مدل نشان داد سه عامل بیشترین اثر را بر LCOE دارند:

عامل	اثر
نرخ یادگیری (LR)	LCOE کاهش ۳-۴٪ → LR هر ۱٪ افزایش
قیمت سوخت زیست‌توده	بیشترین حساسیت
مقیاس نیروگاه	نیروگاه‌های ۵-۱۰ مگاوات کم‌هزینه‌ترین‌اند

۲۱۸ نتیجه‌گیری

نتایج اصلی فصل:

۱. زیست‌توده یک فناوری پویا است؛ هزینه آن در زمان کاهش می‌یابد
 ۲. تعیین قیمت FIT باید با لحاظ اثر یادگیری انجام شود
 ۳. مدل ارائه‌شده می‌تواند «قیمت عادلانه و اقتصادی» برای سیاست‌گذاران ایجاد کند
 ۴. کشورهای در حال توسعه می‌توانند با این مدل، ریسک سرمایه‌گذاری در انرژی زیست‌توده را کاهش دهند
- نویسندگان جمع‌بندی می‌کنند: «سیاست انرژی پایدار، نیازمند فهم پویایی هزینه‌ها در طول زمان است، نه اعداد ثابت»

جمع‌بندی مدیریتی

این فصل برای ایران بسیار کاربردی است چرا؟

- ایران ۱۲۰ میلیون تن پسماند کشاورزی و دامی دارد
- زیست‌توده یکی از قابل‌دسترس‌ترین انرژی‌های پاک ایرانی است
- قیمت‌گذاری FIT در ایران هنوز علمی و پایدار نیست
- مدل یادگیری می‌تواند سرمایه‌گذاری بخش خصوصی را فعال کند





فصل بیست و دوم: مدل جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر و حفاظت محیط‌زیست

(Renewable Energy Substitution Model and Environmental Preservation)

۲۲.۱ مقدمه

تغییرات اقلیمی و کاهش منابع فسیلی، کشورها را مجبور کرده است که به سمت جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر حرکت کنند اما پرسش کلیدی این است: «چگونه و با چه منطقی می‌توان انرژی‌های فسیلی را به‌طور نظام‌مند با انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین کرد، به‌گونه‌ای که هم اقتصاد پایدار بماند و هم محیط‌زیست حفاظت شود؟»

در این فصل، نویسندگان یک مدل تحلیلی-ریاضی ارائه می‌دهند که نشان می‌دهد:

- چه مقدار انرژی فسیلی باید جایگزین شود؟
- سهم هر نوع انرژی تجدیدپذیر چقدر باشد؟
- سرعت جایگزینی چقدر باید باشد؟
- و چه مقدار حفاظت محیط‌زیستی (کاهش انتشار) حاصل می‌شود؟

این مدل، ابزاری برای سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان انرژی است

۲۲.۲ چارچوب نظری فصل

مدل ارائه‌شده بر سه نظریه کلیدی مبتنی است:





1) نظریه جانشینی انرژی (Energy Substitution Theory)

وقتی منبع جدید وارد بازار می‌شود، در صورتی جایگزین منبع قدیمی می‌شود که:

- قیمت کمتر / برابر باشد
- کارایی بالاتری داشته باشد
- مزیت زیست‌محیطی داشته باشد

۲) تابع تولید انرژی (Energy Production Function)

که مصرف فسیل، تجدیدپذیر و فناوری را در یک تابع ترکیب می‌کند

۳) تابع خسارت زیست‌محیطی (Environmental Damage Function)

که نشان می‌دهد هر واحد انرژی فسیلی چه مقدار هزینه زیستی-زیست‌محیطی ایجاد می‌کند

سپس این سه تابع با هم ادغام می‌شوند

۲۲۳ ساختار مدل جایگزینی انرژی

نویسندگان یک مدل سه‌سطحی ارائه می‌کنند:

سطح ۱: مدل انرژی (Energy Module)

تولید کل انرژی از دو منبع است:

$$E = E_f + E_r$$

که در آن:

- (E_f) انرژی فسیلی
- (E_r) انرژی تجدیدپذیر

هدف: کاهش (E_f) و افزایش (E_r)

سطح ۲: مدل انتشار (Emission Module)

$$CO_2 = \alpha E_f - \beta E_r$$

- شدت کربن انرژی فسیلی: (α)





- میزان کاهش انتشار توسط انرژی تجدیدپذیر: (beta)

سطح ۳: مدل زیست‌محیطی (Environmental Module)

$$\text{Damage} = \gamma \text{CO}_2$$

که (gamma) ضریب خسارت اقلیمی-سلامتی است

۲۲۴ هدف مدل

هدف مدل، یافتن ترکیب بهینه‌ای از انرژی‌هاست که:

- انتشار CO_2 کمینه شود
 - هزینه تولید انرژی حداقل شود
 - جایگزینی تجدیدپذیرها با سرعت قابل مدیریت انجام شود
 - رفاه اقتصادی حفظ شود
- مدل از طریق برنامه‌ریزی ریاضی (Optimization) حل می‌شود

۲۲۵ ورودی‌های مدل (داده‌ها)

نویسندگان از داده‌های واقعی کشورهای آسیایی و اروپایی استفاده کرده‌اند:

داده‌ها شامل:

- هزینه تولید هر نوع انرژی
- شدت کربن هر منبع
- نرخ رشد تقاضای انرژی
- پتانسیل خورشیدی، بادی، زیست‌توده
- نرخ کاهش هزینه فناوری
- اثرات زیست‌محیطی مرتبط

۲۲۶ نتایج مدل

۱ (سهام بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر

نتایج نشان می‌دهد:

- انرژی خورشیدی باید سریع‌ترین رشد را داشته باشد
- انرژی بادی در مناطق مناسب ۲۰-۳۰٪ از جایگزینی را تأمین می‌کند
- انرژی زیست‌توده در مناطق کشاورزی نقش مهمی دارد





- زمین‌گرایی سهم ثابت ولی کم‌ریسک دارد

۲) کاهش انتشار CO₂

اگر کشورها مطابق مدل رفتار کنند:

- انتشار CO₂ در مدت ۱۵ سال ۴۰٪-۵۵٪ کاهش می‌یابد در حالی که هزینه اقتصادی «به‌طور متوسط ۵٪» افزایش پیدا می‌کند نویسندگان نتیجه می‌گیرند: «کاهش شدید انتشار بدون فروپاشی اقتصادی امکان‌پذیر است»

۳) سرعت جایگزینی

مدل نشان می‌دهد:

- خیلی کند → در سال جایگزینی کمتر از ۲٪
- باعث بی‌ثباتی اقتصادی → در سال جایگزینی بیشتر از ۷٪

بنابراین سرعت بهینه:

- ۴ تا ۶٪ در سال «این همان سرعت گذار سبز پایدار است»

۴) کشورها باید بسته‌ای ترکیبی استفاده کنند

مدل نشان داد:

- سیاست تک‌منبعی شکست می‌خورد

- بسته سیاستی شامل:

- خرید تضمینی (FIT)

- مالیات کربن

- یارانه فناوری

- شبکه هوشمند

- ذخیره‌سازی انرژی

مؤثرترین ترکیب است

۲۲۷ تحلیل زیست‌محیطی

با اجرای مدل:





- سلامت انسان بهبود می‌یابد
- رانش خاک، آلودگی آب و هوا کاهش می‌یابد
- تنوع زیستی حفظ می‌شود
- هزینه‌های درمانی و خسارت اقلیمی کاهش می‌یابد

۲۲.۸ جمع‌بندی

سه پیام کلیدی فصل:

۱ (مدل جایگزینی انرژی، امکان کاهش شدید انتشار با هزینه قابل تحمل را فراهم می‌کند

۲ (ترکیب چند نوع انرژی تجدیدپذیر، بهترین راه است

۳ (سرعت ۴ تا ۶٪ در سال، سرعت طلایی گذار انرژی است

نویسندگان نتیجه می‌گیرند: «گذار انرژی زمانی موفق است که علمی، تدریجی و ترکیبی باشد»

جمع‌بندی مدیریتی

ایران با منابع عظیم خورشیدی، بادی و زیست‌توده، می‌تواند به‌سادگی الگوی فصل ۲۲ را در مقیاس ملی اجرا کند

پیشنهادهای عملی:

پیشنهاد	حوزه
تدوین «مدل ملی جایگزینی انرژی ایران» بر مبنای سرعت ۴-۶٪ در سال	سیاست‌گذاری
اعمال تدریجی مالیات کربن و تخصیص درآمد آن به انرژی پاک	اقتصاد انرژی
توسعه شبکه هوشمند و ذخیره‌سازی انرژی	زیرساخت
حمایت از نیروگاه‌های خورشیدی و بادی کوچک‌مقیاس	فناوری
کمپین ملی «خانه‌های خورشیدی ایران»	جامعه

