

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
وَصَلَّى اللَّهُ عَلَى مُحَمَّدٍ وَآلِهِ الطَّاهِرِينَ

دستنامه بین المللی

اقتصاد انرژی

جلد اول

ویراستاران:

جوآن اونی

لستر سی. هانت

مترجمان:

دکتر مهدی صادقی شاهدانی

دکتر حجت الله برامکی یزدی

دکتر عبدالمحمد کاشیان



انتشارات
دانشگاه امام صادق علیه السلام

عنوان: دستنامه بین‌المللی اقتصاد انرژی (جلد اول)

ویراستاران: جوآن اونز و لستر سی. هانت

مترجمان: دکتر مهدی صادقی شاهدانی، دکتر حجت‌الله برامکی یزدی و دکتر عبدالمحمد کاشیان

ناشر: دانشگاه امام صادق علیه‌السلام

ویراستار ادبی: سید محمد موسوی

صفحه‌آرا و طراح جلد: محمد روشنی

نمایه‌ساز و ناظر نسخه‌پرداز و چاپ: رضا دیبا

چاپ و صحافی: چاپ سپیدان

چاپ اول: ۱۳۹۶

قیمت: ۲۲۰/۰۰۰ ریال

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۲۱۴-۶۰۵-۲

تهران: بزرگراه شهید چمران، پل مدیریت، انتشارات دانشگاه امام صادق علیه‌السلام

صندوق پستی ۱۵۹-۱۴۶۵۵ • کد پستی: ۰۱۴۶۵۹۴۳۶۸۱ • تلفکس: ۸۸۳۷۰۱۴۲

فروشگاه اینترنتی: www.ketabesadiq.ir • [E-mail: press@isu.ac.ir](mailto:press@isu.ac.ir)

عنوان و نام پدیدآور: دستنامه بین‌المللی اقتصاد انرژی / ویراستاران جوآن اونز ، لستر سی. هانت؛ مترجمان مهدی صادقی شاهدانی، حجت‌الله برامکی یزدی، عبدالمحمد کاشیان.

مشخصات نشر: تهران: دانشگاه امام صادق (ع)، ۱۳۹۶.

مشخصات ظاهری: ۳۶۸ ص (ج ۱).

شابک: ۹۷۸-۶۰۰-۲۱۴-۶۰۵-۲

شناسه افزوده: انرژی، منابع - جنبه‌های اقتصادی

شناسه افزوده: هانت، لستر سی.

شناسه افزوده: اونز، جوآن

شناسه افزوده: صادقی شاهدانی، مهدی، ۱۳۴۱ - مترجم

شناسه افزوده: برامکی یزدی، حجت‌الله، ۱۳۶۴ - ، مترجم

شناسه افزوده: کاشیان، عبدالمحمد، ۱۳۶۵ - ، مترجم

شناسه افزوده: دانشگاه امام صادق (ع)

رده‌بندی کنگره: ۱۳۹۶ م ۳ / ۹۵۰۲ HD

رده‌بندی دیویی: ۳۳۳/۷۹

شماره کتابشناسی ملی: ۵۰۱۸۴۱۱

تمام حقوق محفوظ است، هیچ بخشی از این کتاب بدون اجازه مکتوب ناشر قابل تکثیر یا تولید مجدد به هیچ شکلی از جمله چاپ، فتوکپی، انتشار الکترونیکی، فیلم و صدا و انتقال در فضای مجازی نمی‌باشد.
این اثر تحت پوشش قانون حمایت از حقوق مؤلفان و مصنفان ایران قرار دارد.

فهرست مطالب

۱. گذری بر تاریخ انرژی.....	۱۳
۱. اهمیت تاریخ.....	۱۳
۲. انرژی در دوره کشاورزی.....	۱۴
۳. محدودیت‌های اقتصاد انرژی‌های ارگانیک.....	۱۶
۴. گذار به دوره سوخت‌های فسیلی.....	۱۹
۵. سیستم‌های مدرن انرژی.....	۲۴
۶. نیاز دنیا به انرژی.....	۲۹
۷. ارزیابی سیاست‌های انرژی.....	۳۱
۸. انرژی و تأثیرات زیست‌محیطی آن.....	۳۲
۹. ملاحظات پایانی.....	۳۴
منابع.....	۳۶
۲. نظریه اقتصاد انرژی: یک مرور اجمالی.....	۳۹
مقدمه.....	۳۹
۱. تحلیل هزینه - فایده و ساختار بازار.....	۴۱
۲. میزان کاهش بها در اجتماع در تحلیل هزینه - فایده.....	۴۵
۳. حداقل هزینه و تصمیمات سرمایه‌گذاری در تدارک انرژی.....	۵۰
۴. قیمت‌گذاری پیک - بار.....	۵۵
۵. یک مدل قیمت‌گذاری نقطه‌ای ساده شده با تقاضای تصادفی یا بدون آن.....	۵۷
۶. ساختار بازار انرژی.....	۶۲
۷. رقابت در بازارهای انرژی عمده فروش.....	۶۳

۶۹.....	۸. چه چیز میزان بهینه ورود به بازار را تعیین می‌کند؟
۷۰.....	۹. مشکل قیمت‌گذاری دسترسی.....
۷۵.....	۱۰. نتایج.....
۷۵.....	یادداشت‌ها.....
۷۶.....	منابع.....
۷۹.....	۳. اقتصاد عرضه انرژی.....
۷۹.....	۱. معرفی.....
۸۱.....	۲. مدل ساده استخراج منابع تمام‌شدنی.....
۸۱.....	۲-۱. مدل اصلی.....
۸۵.....	۲-۲. مثال: تابع خطی.....
۸۶.....	۲-۳. مدل ساده با فرض تولید انحصاری.....
۸۷.....	۲-۴. شواهد تجربی و مدل ساده.....
۸۸.....	۳. ایجاد برخی از پیچیدگی‌های ضروری در مدل اولیه.....
۸۹.....	۳-۱. هزینه استخراج.....
۹۰.....	۳-۲. مثال: نمونه‌ای از هزینه وابسته به منابع.....
۹۲.....	۳-۳. ناهمگنی منابع و هزینه‌های غیرثابت.....
۹۳.....	۳-۴. اکتشاف.....
۹۵.....	۳-۵. عدم اطمینان.....
۹۷.....	۳-۶. محدودیت‌های تولید و سرمایه‌گذاری انباشته.....
۱۰۰.....	۳-۷. مفاهیم قیمت‌های منابع.....
۱۰۱.....	۴. رفتار شرکت‌ها.....
۱۰۳.....	۵. یادداشتی در خصوص نقطه اوج نهایی نفتی (یا نقطه حداکثر برداشت).....
۱۰۸.....	۶. سخن آخر.....
۱۰۹.....	منابع.....
۱۱۱.....	۴. نظریه و کاربرد سیاست انرژی.....
۱۱۱.....	مقدمه.....
۱۱۲.....	۱. نظریه دخالت در حوزه انرژی.....
۱۱۸.....	۲. فازهای سیاست انرژی ایالات متحده.....
۱۲۴.....	۳. سیاست زیست‌محیطی.....

۴. کنترل مصرف.....	۱۲۶
۵. کناره‌گیری کراهِت‌بار از زغال سنگ پس از ۳۸ سال.....	۱۳۰
۶. نتیجه‌گیری در سیاست انرژی.....	۱۳۲
منابع.....	۱۳۲
۵. نظریه تقاضای انرژی.....	۱۳۵
مقدمه.....	۱۳۵
۱. حسابداری انرژی.....	۱۳۷
۲. رابطه انرژی - سرمایه.....	۱۳۹
۳. تقاضای انرژی در بلندمدت.....	۱۴۰
۳-۱. ساختار اقتصادی.....	۱۴۳
۳-۲. تغییرات فنی.....	۱۴۵
۳-۳. توضیحی در مورد رابطه انرژی - درآمد.....	۱۴۶
۳-۴. شدت انرژی در مقابل راندمان انرژی.....	۱۴۷
۴. مدل‌سازی تقاضای انرژی.....	۱۴۸
۴-۱. مدل ایستای بنگاه نمونه.....	۱۴۸
۴-۲. مدل پویای یک خانوار.....	۱۵۰
۵. کشش تقاضای انرژی.....	۱۵۴
۶. توضیح بیشتر در خصوص اثرات تغییر قیمت‌ها.....	۱۶۱
۷. سخن آخر.....	۱۶۵
منابع.....	۱۶۷
۶. مدل‌سازی تجربی تقاضای انرژی.....	۱۶۹
مقدمه.....	۱۶۹
۱. روش‌های ابتدایی برای مدل‌سازی و ارزیابی.....	۱۷۱
۲. روش و رویکردهای سیستم معادلات.....	۱۷۵
۲-۱. مدل‌سازی سمت تولید.....	۱۷۶
۲-۲. مدل‌سازی و مدل‌های تقاضای انرژی مصرف‌کننده.....	۱۸۱
۳. پویایی و نتایج تحقیق برای تخمین و مدل‌سازی تقاضای انرژی.....	۱۹۰
۴. واکنش‌های نامتقارن تقاضا نسبت به تغییرات قیمت.....	۱۹۶
۵. خلاصه و نتیجه‌گیری.....	۲۰۴
منابع.....	۲۰۷

۷. اقتصاد کارایی انرژی..... ۲۱۱

- ۲۱۱..... کلیات
- ۲۱۲..... ۱. اقتصاد کوچک باز: محدودیت‌های منابع، تکنولوژی و پایداری
- ۲۱۴..... ۲. کارایی و بهره‌وری انرژی
- ۲۱۶..... ۳. افزایش کارایی و مصرف انرژی
- ۲۱۷..... ۴. تغییرات قیمت در چارچوب مدل
- ۲۲۱..... ۵. تعدیل مدل
- ۲۲۱..... ۵-۱. کشش تقاضای صادراتی
- ۲۲۲..... ۵-۲. کشش جانشینی در تولید
- ۲۲۴..... ۵-۳. عرضه سایر عوامل
- ۲۲۶..... ۶. مصرف
- ۲۲۶..... ۶-۱. تأثیر بهبود کارایی انرژی در بخش تولید بر استفاده از انرژی در بخش مصرف
- ۲۲۸..... ۶-۲. تأثیر بهبود کارایی انرژی بر مصرف
- ۲۳۰..... ۷. نتیجه‌گیری
- ۲۳۰..... ضمیمه 7A مرز تولید با کشش جایگزینی صفر
- ۲۳۱..... منابع

۸. مبانی نظری اثر بازگشتی..... ۲۳۳

- ۲۳۳..... مقدمه
- ۲۳۳..... ۱. انرژی - تعاملات اقتصادی - اصول
- ۲۳۵..... ۱-۱. نقش قیمت انرژی در ایجاد کارایی انرژی
- ۲۳۷..... ۱-۲. نقش پتانسیل جایگزینی
- ۲۳۸..... ۲. تعاملات میان انرژی و اقتصاد با تکنولوژی جدید
- ۲۴۳..... ۲-۱. اثر بازگشتی در مصرف انرژی
- ۲۴۶..... ۲-۲. مطالعه بیشتر در این بخش
- ۲۴۷..... ۳. تعاملات اقتصاد و انرژی - پویایی‌های زمانی
- ۲۴۸..... ۳-۱. پویایی‌های زمانی با تکنولوژی موجود
- ۲۵۱..... ۳-۲. پویایی‌های زمانی با تکنولوژی جدید
- ۲۵۴..... ۳-۳. مطالعه بیشتر در این بخش
- ۲۵۴..... ۴. نگاه همزادی

۴-۱. مطالعه بیشتر در این بخش.....	۲۵۸
۵. تقابل محصول و درآمد.....	۲۵۸
۶. تولید چند محصول و ترجیحات مصرف‌کننده.....	۲۶۱
۶-۱. انتقال ترجیحات مصرف‌کننده.....	۲۶۳
۶-۲. افزایش قیمت انرژی.....	۲۶۵
۶-۳. منافع کارایی انرژی.....	۲۶۶
۷. تعادل عمومی.....	۲۶۷
۷-۱. مطالعه بیشتر در این بخش.....	۲۷۰
۸. سنجش میزان بازگشت.....	۲۷۱
۸-۱. مطالعه بیشتر در این بخش.....	۲۷۲
۹. احتیاط‌ها و محدودیت‌ها.....	۲۷۲
۱۰. نتایج اقتصادی از تئوری بازگشت.....	۲۷۴
۱۱. خلاصه دلالت‌های سیاستی.....	۲۷۵
۱۲. نتیجه‌گیری.....	۲۷۶
۱۲-۱. مطالعه بیشتر در این بخش.....	۲۷۶
توجه.....	۲۷۶
منابع.....	۲۷۷
۹. اثر بازگشتی: تعریف و تخمین.....	۲۷۹
مقدمه.....	۲۷۹
۱. مسائل تعریفی.....	۲۸۵
۲. شواهدی برای آثار بازگشتی مستقیم.....	۲۸۸
۲-۱. رویکردهای برآورد آثار بازگشتی مستقیم.....	۲۹۱
۲-۲. رویکرد شبه آزمایشی.....	۲۹۱
۲-۳. رویکرد اقتصادسنجی.....	۲۹۳
۲-۴. برآوردهای آثار بازگشتی مستقیم.....	۲۹۶
۳. شواهد برای آثار بازگشتی غیرمستقیم و آثار بازگشتی در گستره اقتصاد.....	۳۰۱
۳-۱. برآوردهای آثار بازگشتی غیرمستقیم و آثار بازگشتی در گستره اقتصاد.....	۳۰۵
۳-۱-۱. برآوردهای انرژی تعیین‌یافته.....	۳۰۵
۳-۱-۲. برآوردهای مدل‌سازی انرژی.....	۳۰۹

۴. نتایج.....	۳۱۶
یادداشت‌ها.....	۳۱۷
منابع.....	۳۲۲
۱۰. مدل‌سازی صرفه‌جویی انرژی و مزیت‌های محیط زیستی حاصل از سیاست‌های	
انرژی و تکنولوژی‌های جدید.....	۳۲۷
مقدمه.....	۳۲۷
۱. رویکردهای «مبتنی بر مهندسی» برای ارزیابی تکنولوژی‌های جدید.....	۳۲۹
۱-۱. رویکرد هزینه چرخه عمر.....	۳۲۹
۲-۱. دوره بازگشت سرمایه.....	۳۳۲
۳-۱. پرداختن به عدم قطعیت در محاسبات LCC.....	۳۳۲
۴-۱. مجموع صرفه‌جویی انرژی حاصل از تکنولوژی‌های جدید.....	۳۳۵
۵-۱. سایر موضوعات.....	۳۳۶
۲. مدل‌سازی پذیرش تکنولوژی‌های جدید توسط مصرف‌کنندگان.....	۳۳۸
۱-۲. کنار گذاشتن وسیله و مدل‌های مخاطره.....	۳۴۰
۲-۲. مدل‌های متغیر پنهان آنالیز پروبیت و لجیت LOGIT/PROBIT ANALYSIS.....	۳۴۵
۳. صرفه‌جویی بالقوه انرژی کل و رفتار اقتصادی.....	۳۴۷
۴. نقاط قوت و ضعف رویکردهای مختلف.....	۳۵۴
منابع.....	۳۵۷
نمایه.....	۳۵۹

فهرست نمودارها

نمودار ۱-۱: میزان استفاده از چوب و زغال سنگ در تأمین انرژی (سال ۱۴۰۰ تا ۱۹۰۰).....	۲۱
نمودار ۲-۱: قیمت انرژی در بریتانیا از سال‌های ۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰.....	۲۳
نمودار ۳-۱: تولید نفت خام دنیا بر اساس منطقه از سال ۱۹۰۰ تا ۲۰۰۰.....	۲۷
نمودار ۴-۱: مصرف انرژی دنیا بر اساس انواع انرژی.....	۲۸
نمودار ۵-۱: سرانه مصرف انرژی در دنیا و تراکم انرژی از ۱۸۲۰ تا ۲۰۰۰.....	۳۰
نمودار ۶-۱: میزان تولید دی‌اکسید کربن بر اساس مناطق دنیا در سال‌های ۱۸۰۰ تا ۲۰۰۰.....	۳۲
نمودار ۱-۲: مازاد مصرف‌کننده فردی و جمعی.....	۴۰
نمودار ۲-۲: اولین و دومین مورد از بهترین تخصیص‌های اعتبار برای انحصار طبیعی.....	۴۴

فهرست مطالب □ ۱۱

نمودار ۳-۲: وزن‌های معادل کمک رفاهی برای مصرف فعلی و آتی.....	۴۷
نمودار ۴-۲: حداقل روی آوردن مثبت جامعه به سرمایه مستلزم مصرف کمتر در دوره فعلی است، حتی زمانی که وزن‌های معادل کمک رفاهی برای مصرف فعلی و آتی موجود باشند.....	۴۷
نمودار ۵-۲: حداقل سود شبکه تک دوره در ظرفیت فراینده با ۱ واحد و $q_2 - q_1 = \Delta Q$ واحد.....	۵۱
نمودار ۶-۲: قیمت‌گذاری پیک دو دوره و بدون پیک، وقتی که ظرفیت زیر مقدار بهینه باشد:	
$p_{01} + p_{02} > 2r + c$ ، و در مقدار بهینه: $p_{01} + p_{02} = 2R + C$	۵۵
نمودار ۷-۲: حداقل هزینه چنددستگاهی و چنددوره‌ای تولید انرژی.....	۶۲
نمودار ۸-۲: مدل بازار نقطه قدرت گرین و نیوبری.....	۶۸
نمودار ۹-۲: محرک ورود جدید.....	۷۰
نمودار ۱۰-۲: محصولات بسته‌بندی نشده برای قیمت‌گذاری دسترسی.....	۷۲
نمودار ۱۱-۲: حد قیمت جهانی.....	۷۴
نمودار ۱-۳: مسیر بهینه قیمت منابع تمام‌شدنی (با در نظر گرفتن هزینه استخراج ثابت).....	۸۴
نمودار ۲-۳: قیمت خرید نفت خام داخلی در آمریکا و قانون R درصد.....	۸۸
نمودار ۳-۳: تبیین قیود کوتاه‌مدت بر ظرفیت تولیدی.....	۹۹
نمودار ۴-۳: مسیر بهینه قیمت در فروض مختلف.....	۱۰۱
نمودار ۵-۳: منحنی هابت و نقطه حداکثر برداشت.....	۱۰۴
نمودار ۱-۵: نمونه ساختار جداول تراز انرژی.....	۱۳۸
نمودار ۲-۵: روند شدت انرژی در ایالات متحده در طی سال‌های ۱۸۸۰ تا ۲۰۰۵.....	۱۴۱
نمودار ۳-۵: ماده‌زدایی و شدت انرژی.....	۱۴۳
نمودار ۴-۵: قیمت سوخت، تعداد خودرو، راندمان و استفاده از خودرو در ایالات متحده (۱۹۶۰ تا ۲۰۰۵).....	۱۶۴
نمودار ۱-۶: لگاریتم طبیعی قیمت واقعی نفت.....	۱۹۷
نمودار ۲-۶: لگاریتم طبیعی مصرف سرانه نفت.....	۱۹۸
نمودار ۳-۶: تجزیه لگاریتم طبیعی قیمت واقعی نفت آمریکا.....	۲۰۱
نمودار ۱-۸: محصول (ستانده) اقتصادی در مقابل نهاده انرژی.....	۲۳۴
نمودار ۲-۸: اهمیت پتانسیل جایگزینی.....	۲۳۶
نمودار ۳-۸: تغییر در مصرف انرژی با تکنولوژی جدید.....	۲۴۲
نمودار ۴-۸: اثرهای بازگشتی ممکن.....	۲۴۳
نمودار ۵-۸: پویایی‌های زمانی نسبت EY با یک افزایش در قیمت انرژی.....	۲۴۹
نمودار ۶-۸: پویایی‌های زمانی محصول واقعی Y با یک افزایش در قیمت انرژی.....	۲۵۰
نمودار ۷-۸: پویایی‌های زمانی مصرف انرژی E با یک افزایش در قیمت انرژی.....	۲۵۱

- نمودار ۸-۲: پویایی‌های زمانی محصول واقعی Y با یک تکنولوژی کارایی انرژی ۲۵۳
- نمودار ۸-۹: پویایی‌های زمانی مصرف انرژی E با تکنولوژی کارایی جدید ۲۵۴
- نمودار ۸-۱۰: نگاه همزاد شکل ۸/۱ (قیمت محصول در مقابل قیمت انرژی) ۲۵۵
- نمودار ۸-۱۱: نگاه همزاد شکل ۸/۳ (تأثیر تکنولوژی کارایی انرژی جدید) ۲۵۶
- نمودار ۸-۱۲: عرضه و تقاضای محصول در اقتصاد ۲۵۷
- نمودار ۸-۱۳: تأثیر افزایش قیمت انرژی ۲۵۹
- نمودار ۸-۱۴: تأثیر افزایش کارایی انرژی ۲۶۰
- نمودار ۸-۱۵: تعادل تولیدکننده / مصرف‌کننده با دو کالا ۲۶۱
- نمودار ۸-۱۶: تعادل تولیدکننده / مصرف‌کننده با انتقال ترجیحات ۲۶۴
- نمودار ۸-۱۷: تعادل تولیدکننده / مصرف‌کننده با قیمت انرژی افزایش یافته ۲۶۵
- شکل ۹-۱: نمایش آثار بازگشتی برای مصرف‌کنندگان ۲۸۲
- شکل ۹-۲: نمایش آثار بازگشتی برای تولیدکنندگان ۲۸۳



گذری بر تاریخ انرژی^۱

۱. اهمیت تاریخ

زندگانی و پیشرفت بشر، وابستگی زیادی به انرژی دارد. وقتی از انرژی سخن می‌گوییم، در واقع از حیات انسان‌ها سخن گفته‌ایم. میلیون‌ها سال است که موجودات زنده با یافتن غذا، انرژی مورد نیاز خود را تأمین کرده‌اند تا از این طریق به حیات خود ادامه دهند. تلاش آن‌ها در این مسیر سبب شده که جمعیت انسان‌ها در ۱۰ هزار سال اخیر به صورت غیرمنتظره‌ای رشد کند و به چندین میلیارد برسد. این نوعی از انرژی است که نیازهای اولیه انسان‌ها را تأمین می‌کند و می‌توان آن را انرژی ارگانیک نامید.

دیگر انواع انرژی (یعنی انرژی‌های غیر ارگانیک و مورد نیاز موجودات زنده) این امکان را به انسان‌ها داده است که بتوانند به صورتی ماهرانه، جوامعی پیچیده ایجاد نمایند. انرژی بیشتر و استفاده بهینه‌تر از انرژی سبب شده است که انسان‌ها گرما، سوخت، حمل‌ونقل و روشنایی بیشتری داشته باشند^۲. از همین روست که بسیاری از افراد اعتقاد دارند کیفیت زندگی بسیار بالا رفته است. اقتصاد انسان‌ها^۳ (شامل تولید، مبادله و مصرف کالا و خدمات) تا حد زیادی وابسته به منابع انرژی است. رشد اقتصادی به صورت قابل ملاحظه‌ای به در دسترس بودن، استخراج، توزیع و استفاده از منابع انرژی ربط دارد؛ به عبارت دیگر، رابطه بین مصرف انرژی و توسعه اقتصادی رابطه بسیار نزدیکی است^۴. برای درک بهتر این رابطه، باید به فرآیند رشد و توسعه

1. A brief history of energy
2. Fouquet 2008
3. Human economies

۴. برای مثال می‌توانید به Judson, 1999 مراجعه نمایید.

اقتصادی توجه کرد و از آن طریق تأثیر تغییر در شرایط انرژی بر رشد و توسعه اقتصادی و نیز تأثیرات زیست‌محیطی مصرف انرژی را به‌دست آورد.

اقتصاددانان تلاش زیادی کرده‌اند که رابطه انرژی و رشد اقتصادی را تبیین نمایند. با این حال به دلیل ناکافی بودن آمارهای مورد نیاز در بررسی رابطه انرژی و رشد اقتصادی، بسیاری از اقتصاددانان به تحلیل‌های مقطعی^۱ در مورد رابطه انرژی و GDP در یک نقطه زمانی خاص می‌پردازند. از طرفی تلاش‌های بسیار زیادی صورت گرفته است تا تاریخ انرژی به خوبی تبیین شود.^۲ این مقاله نیز، تلاش دیگری برای تبیین تاریخ انرژی است که از آخرین تحقیقات انجام گرفته در این حوزه، بهره برده است.

در ابتدا به بررسی سیر تکاملی اقتصادهای مبتنی بر انرژی ارگانیک پرداخته‌ایم که این اقتصادها ثمره استفاده مستقیم از منابع انرژی خورشیدی است. در ادامه به بررسی محدودیت‌های انرژی‌های ارگانیک پرداخته و تلاش جامعه اروپا برای از میان برداشتن آن موانع را مورد بررسی قرار می‌دهیم. بخش بعدی به بررسی اولین موفقیت دنیا در استفاده از انرژی‌های فسیلی در بریتانیا می‌پردازد و نشان می‌دهد که چگونه اقتصادی بر پایه انرژی‌های فسیلی شکل گرفت. همین موضوع زمینه را فراهم می‌سازد که به بررسی روند فعلی و گذشته سیستم انرژی دنیا بپردازیم. از همین منظر بحث‌های مختصری از سیاست‌های انرژی در طول تاریخ را تقدیم خواهیم کرد و در پایان به بررسی جنبه‌های زیست‌محیطی انرژی خواهیم پرداخت. بخش نهایی این مقاله نیز به ارایه جمع‌بندی و خلاصه‌ای از آنچه بیان کردیم، خواهد گذشت و جمع‌بندی خود از مصرف انرژی در ۱۰ هزار سال گذشته را ارایه خواهیم کرد.

۲. انرژی در دوره کشاورزی

زندگی بر روی زمین، وابسته به انرژی خورشیدی است. خورشید در هر ثانیه و به‌طور متوسط ۱۳۶۶ وات بر هر مترمربع می‌تابد که اگر کل زمین را مد نظر قرار دهیم، ۱۷۰ هزار تراوات خواهد بود. این مقدار انرژی معادل ۱۲۸۰۰۰۰۰۰ میلیون تن نفت برای هر سال است.^۳ گیاهان بخشی از این انرژی را جذب می‌کنند و از طریق فتوسنتز، زمینه را برای چرخه غذایی حیوانات آماده می‌کنند. انسان‌های اولیه برای اینکه نیازهای خود را تأمین کنند، به زمین‌های کشاورزی احتیاج داشتند. آن‌ها می‌توانستند از این طریق مواد غذایی مورد احتیاج خود را که تقریباً برابر ۲۰۰۰ کیلوکالری در روز بود، تأمین نمایند. به مرور زمان و هم‌زمان با توسعه کشاورزی، سطح تولید سرانه واحد زراعی با افزایش قابل توجهی همراه شد و از همین جهت

1. cross-sectional

۲. برای مثال می‌توان به کارهای Cottrell 1955; Cipolla 1962; Wrigley 1988; Smil 1994 and, Fouquet 2008 مراجعه کرد.

3. Ruddiman, 2001

بود که جمعیت شروع به افزایش کرد. هر چند تردیدها و مشاجرات در این باره بسیار زیاد است، اما شواهد بسیار محکمی وجود دارد که نشان می‌دهد کشاورزی در شکل‌های مختلف آن با شکار نیز توأم بود. به سخن دیگر انسان‌های اولیه برای مدت‌های مدیدی در کنار کشاورزی، اقدام به شکار نیز می‌کردند و از این طریق امرار معاش می‌نمودند.^۱

۱۲ هزار سال پیش جمعیت کره زمین تنها ۴ میلیون نفر بود. در این دوره بخشی از زمین و یا مراتع برای کشاورزی انتخاب می‌شد و بعد از استفاده به آتش کشیده می‌شد.^۲ زمین سوخته‌ای که باقی می‌ماند زمینی بود که برای چند سال قابل کشت بود. بعد از مدتی که باروری زمین کاهش می‌یافت، آن‌جا را ترک می‌کردند و سراغ زمین دیگری می‌رفتند.

۷ هزار سال پیش جمعیت زمین به ۵ میلیون نفر رسید و افراد سراغ مکان‌های ثابتی برای کشاورزی رفتند. هنوز مشخص نیست چه عواملی سبب شد که با افزایش جمعیت، افراد بیشتر سراغ انتخاب این نوع از مکان‌های ثابت بروند.^۳

در دو هزار سال بعدی ابداعات و اختراعات تأثیر زیادی در رشد و توسعه کشاورزی داشت. ابداعاتی مانند روش‌های آبیاری، استفاده از حیوانات در کشاورزی، گاوآهن، چرخ و ابزارهای فلزی تأثیر زیادی در این امر داشتند. به گونه‌ای که ۵ هزار سال پیش، قریب به ۱۵ میلیون نفر ساکن زمین بودند. در ۳ هزار سال بعدی نیز جمعیت دنیا به ۱۷۰ تا ۲۵۰ میلیون نفر رسید.^۴

در بسیاری از مناطقی که مردم آن‌جا را برای زندگی انتخاب کرده بودند، زمستان‌ها بسیار معتدل بود و هر چه این مناطق به استوا نزدیک‌تر بود، اعتدال آن بیشتر می‌شد. به همین دلیل به ابزارهای گرمایشی نیاز مبرمی نبود. با این وجود در جوامع ابتدایی آتش کاربرد بسیار زیادی داشت و عمدتاً برای پخت‌وپز مورد استفاده قرار می‌گرفت و تأثیر بسیار زیادی در بهبود کیفیت تغذیه داشت.^۵

با این حال، امکان استفاده از آتش برای ایجاد گرما سبب شد که زیست‌گاه‌ها به مناطق معتدل‌تر انتقال یابند. قبل از صنعتی‌شدن اروپا، مردم برای ایجاد گرما از بازمانده‌های محصولات، سرگین و مخصوصاً چوب استفاده می‌کردند و از این طریق خود را در برابر سرمای شدید حفاظت می‌کردند. در مناطق سردسیرتر میزان استفاده از چوب روزانه به ۱۰ کیلوگرم یا ۳۰ هزار کیلوکالری می‌رسید که این تقریباً سه‌چهارم انرژی مورد نیاز خانوارها را تأمین می‌کرد و باقی آن به‌طور عمده برای تعلیف حیوانات مورد استفاده قرار می‌گرفت.^۶ علاوه بر اینکه آتش گرمای لازم برای زندگی افراد را فراهم کرده و پخت‌وپز را تسهیل

1. (Boserup 1965; Cowan and Watson 1992; Smil 1994, p. 23).

2. slash and burn

3. Boserup 1965

4. Malanima 2003, p. 80

5. ibid., p. 80

6. ibid., p. 75

می‌کرد، برای روشنایی نیز مورد استفاده قرار می‌گرفت و از این طریق نقش زیادی در ایجاد امنیت داشت. از طرفی همین انرژی گرمایی بود که به انتقال مواد و کالاهای مورد نیاز صنایع و مردم کمک کرد. به سخن دیگر بهبود تدریجی به‌کارگیری آتش، انسان‌ها را قادر ساخت تا گرما و نور مفیدتری ایجاد نمایند و از این طرق به رشد جمعیت کمک کند و وسعت زندگی خود را از خط استوا فراتر برده و به دوردست‌ترین نقاط کره زمین انتقال دهد.

جمعیت رو به گسترش بود و بسیاری از جوامع با استفاده مستقیم و غیرمستقیم از انرژی خورشیدی به حیات خود ادامه می‌دادند. در قرن ۱۶ بود که یک‌هشتم مساحت سطح زمین تحت کشت پیوسته قرار داشت.^۱ تراکم جمعیت در آن دوره به ۵ الی ۱۰ نفر در هر کیلومترمربع می‌رسید. عمده تمرکز کشاورزی‌های پیوسته در آسیا (جنوب، جنوب شرق و شرق دور)، خاورمیانه، مصر، آفریقای شمالی، اروپا و آمریکای مرکزی بود.^۲

با این حال تراکم جمعیت به صورت قابل‌ملاحظه‌ای از یک منطقه به منطقه دیگر و بر اساس نوع کشاورزی تغییر می‌کرد. به عنوان مثال در ژاپن بیش از ۸۵۰ نفر در هر کیلومترمربع زندگی می‌کردند. در چین این عدد به ۵۰۰ نفر می‌رسید، در هند ۲۷۰ نفر و در اروپا فقط ۶۰ نفر بود.^۳ در آسیا تعداد بیشتری زمین را تحت کشت می‌آوردند و کشاورزی‌شان پربارتر بود. تراکم جمعیت به این معنا بود که عرضه نیروی کار بسیار زیاد و دستمزدها بسیار پایین بود و همین امر گسترش کشاورزی را تشدید می‌کرد. در این نوع فعالیت‌های متمرکز، استفاده از حیوانات و ماشین‌آلات خطرناک به‌نظر می‌رسید و انگیزه‌ها برای استفاده از نوآوری‌های مبتنی بر ماشین و حیوانات بسیار پایین بود. به سخن دیگر کشاورزی‌های متراکم‌تر انگیزه کمتری برای نوآوری‌های فنی داشتند و از این‌رو پایین‌ترین سطح از استاندارد زندگی در این مناطق بود.^۴

در اروپا که اکثر زمین‌ها بهره‌وری کمتری داشتند و مقدار زمین کفاف زندگی افراد بیشتری را نمی‌داد، نگهداری حیوانات به صرفه‌تر بود. اگرچه حیوانات نیز به غذای مناسب نیاز داشتند، با این حال کارهای مورد نیاز صاحبانشان را بهتر انجام می‌دادند. از گاو و بعدها از اسب برای شخم زدن زمین استفاده می‌شد و از مدفوع آن‌ها به عنوان کود استفاده می‌شد. استفاده از آن‌ها برای باربری در کارهای تجاری و صنعتی نیز بسیار حائز اهمیت بود و در نهایت اینکه برای حمل و نقل شخصی و عمومی نیز از آن‌ها استفاده گردید.^۵

۳. محدودیت‌های اقتصاد انرژی‌های ارگانیک

بررسی‌ها نشان می‌دهد که در اواخر قرن هفدهم به ازای هر نفر در اروپا تنها یک حیوان (و

1. *ibid.*, p. 63

2. *ibid.*, p. 65

3. *ibid.*, p. 72

4. *ibid.*, p. 74

5. Langdon 2003

شاید یک گاو) وجود داشت. در بسیاری از مناطق اروپا از اسب به جای گاو استفاده می‌کردند و از آن طریق نیروی مورد نیاز خود را تأمین می‌کردند. به تدریج و با بهبود فناوری‌های مدیریت اسب در قرون وسطی، استفاده از اسب به‌طور غیرمنتظره‌ای افزایش یافت.^۱ در قرن نوزدهم، نعل‌کوبی اسب که تأثیر زیادی در کاهش تلفات اسب داشت، در اروپا رایج شد. استفاده از یراق اسب، تأثیر زیادی در بالا رفتن بهره‌وری آن داشت، به گونه‌ای که قبل از آن از میله‌ای استفاده می‌شد که بهره‌وری اسب را تا ۸۰ درصد کاهش می‌داد.^۲

یکی دیگر از عواملی که سبب افزایش میزان تولید غذا شد، تسلط انسان بر دیگر انواع انرژی بود. مخصوصاً انرژی بادی و آبی که از آن‌ها برای آسیاب کردن غلات استفاده می‌شد. چرخ چاه (یا دولاب) که قریب به ۲۵۰۰ سال پیش و در زمان امپراتوری روم اختراع شده بود مسیر خود را به اروپا تغییر داد و در اروپا مورد استفاده قرار گرفت. دولاب در اروپا به عنوان یکی از منابع تولید انرژی مورد استفاده قرار گرفت و از آن برای آسیاب کردن غلات، صنعت پارچه، چرم‌سازی، گداختن و شکل دادن به آهن و اره کردن چوب استفاده می‌شد.^۳

گسترش آسیاب‌های آبی و بادی در قرن ۱۲ که سراسر اروپا را در بر گرفته بود، سبب تسهیل تولید آرد و نان در اروپا شد.^۴ با این حال ادعای اینکه انقلاب انرژی در قرون وسطی اتفاق افتاده (آن طوری که ویلسون گفته^۵) کمی اغراق‌آمیز به نظر می‌رسد، چرا که در اروپا و مخصوصاً در بریتانیا تولید نیرو با استفاده از حیوانات به صورت قابل ملاحظه‌ای بیشتر از نیروی تولیدی آب و یا آسیاب بود.^۶ علی‌رغم رشد زیادی که در امکان تولید نیرو به وجود آمد، رشد خارق‌العاده جمعیت اروپا که صد سال پیش به وقوع پیوست، فشار زیادی را بر زمین‌ها وارد آورد. همزمان با استفاده از زمین‌هایی که حاصل‌خیزی کمتری دارند، بازدهی کاهش می‌یافت. جنگل‌ها به شدت مورد تعرض قرار می‌گرفتند و تبدیل به مکان‌هایی برای تولید محصولات کشاورزی می‌شدند. این کار به تولید محصولات کشاورزی و مخصوصاً در دوره‌هایی که قیمت محصولات افزایش می‌یافت، کمک می‌کرد. در اواخر قرون وسطی، اروپا شاهد اولین سیاست‌گذاری‌های انرژی بود و آن توجه به مسئله عرضه چوب بود.^۷

در قرن ۱۴ با ورود طاعون به اروپا و مرگ‌ومیر بسیاری از افراد و کاهش شدید جمعیت، فشار به زمین تا حد زیادی تقلیل یافت، اما در قرن ۱۶ اوضاع مجدداً به حالت قبلی خود بازگشت. از قرن ۱۵ بود که غرب اروپا شاهد رشد قابل ملاحظه‌ای در تولید محصولات

1. Langdon 1986, p. 19

2. Mokyr 1990, p. 36

3. Reynolds 1983

4. Langdon 2005

5. Carus-Wilson 1941

6. Fouquet 2008

7. Hatcher 1993; Warde 2003, p. 585

کشاورزی بود.^۱ نیروی باد تأثیر زیادی در کاهش هزینه‌ها داشت.^۲ با این حال افزایش تولید غذا، باعث افزایش جمعیت نیز شد. همین امر باعث فشار مجدد بر اراضی شد و چه زمین‌های محصولات جنگلی و چه زمین‌های محصولات کشاورزی را تحت تأثیر قرار داد.

هلند اولین کشوری بود که اقتصاد خود را از محدودیت‌های ناشی از زمین خلاصی بخشید و توانست یک اقتصاد صنعتی مدرن ایجاد نماید. با شروع قرن ۱۶، تنها یک‌چهارم نیروی کار در کشاورزی مشغول کار بودند. حدود ۱۲ درصد به ماهیگیری و ۳ درصد به حفاری برای کشف پیت^۳ (زغال سنگ نارس) مشغول بودند. ۳۸ درصد از جمعیت در کارهای صنعتی مشغول بودند و در صنایعی مانند نساجی، فلزکاری و آبجوسازی مشغول به فعالیت بودند. باقی افراد نیز عمدتاً به تجارت و خدمات حمل‌ونقل مشغول بودند.^۴

در قرن ۱۴ و ۱۵ مجموعه‌ای از بحران‌های کشاورزی سبب شد که بخشی از جمعیت به مراکز شهری مهاجرت نمایند. همین موضوع سبب شد که نیروی کار زیادی برای ماهیگیری و صنایع مذکور فراهم و امکان استفاده از مزیت‌های بازده به مقیاس به‌وجود آید و در کنار برخی از آموزش‌ها، قیمت محصولات را به شدت ارزان کند.

زمانی که نیروی دریایی هلند توانست قدرتش در به کارگیری باد را برای هدایت کشتی‌های تجاری بهبود بخشد، امکان جابه‌جایی کالاها در سراسر اروپا فراهم شد و این بدان معنا بود که کالاها در سراسر اروپا می‌توانست به صورت رقابتی تولید شود.^۵ شهرهای اطراف دریای شمال شروع به تجارت در مقیاس وسیع کردند و می‌توانستند کالاها را به کشاورزی خود را به مناطق دیگر جابه‌جا کنند. همین امر سبب کاهش فشار به زمین‌های کشاورزی هلند شد.^۶ هلند با واردکردن غلات و دیگر محصولات کشاورزی و صادر کردن محصولات پرارزش مشکلات ناشی از زمین را حل کرد. در قرن ۱۶ و ۱۷ اقتصاد رشد زیادی کرد و شاهد یک گذار از اقتصاد کشاورزی به اقتصاد صنعتی بودیم. آن چیزی که می‌توانست این گذار را مدیریت کند، دسترسی به یک منابع سوخت قابل اطمینان برای تولید انرژی بود. کشورهای جنوبی و مرطوب دریای شمال (در حال حاضر هلند و بلژیک) شروع به تولید فراوان^۷ کردند. در قرن سیزدهم شهرهای بلژیک مانند آنتورپ و بروژ^۸ به بهره‌برداری از منابع انرژی پرداختند. از آنجا که رشد تولید پیت در خاک با سرعت بسیار پایین همراه بود، نوعی انرژی

1. Smil 1994, p. 75

2. Maddison 2003, p. 47

3. peat

4. van Zanden 2003, p. 1016

5. ibid., p. 1019

6. van Zanden 2003, p. 1022

7. peat

8. Antwerp and Bruges

تجدیدپذیر محسوب می‌شد. شهرهای بلژیک نه تنها به استفاده از منابع داخلی مبادرت ورزیدند، بلکه مجبور شدند از مناطق نزدیک به خودشان مانند برابانت^۱ و حتی هلند نیز واردات انرژی داشته باشند. به همین صورت در قرن ۱۶، میزان استخراج از منابع پیت در نزدیکی آمستردام به شدت افزایش یافت و با گذشت زمان کم‌کم شروع به کاهش کرد. مخصوصاً بعد از بحران ۱۶۲۰ که مقادیر زیادی از پیت در بخش‌هایی از هلند^۲ (امروزی) در دسترس بود و می‌توانست به هلاند (Holland^۳) و بسیاری از مناطق شهری جنوب دریای شمال از طریق شبکه گسترده آن‌ها وارد شود^۴.

میزان استفاده یک اقتصاد ارگانیک از انرژی تنها به اندازه‌ای است که انرژی خورشیدی چه به صورت مستقیم و چه به صورت غیرمستقیم تبدیل به خدمات ارزشمند می‌شود. نمونه آن دوره طلایی هلند است که می‌تواند راهکار بسیار مناسبی برای عرضه انرژی‌های ارگانیک باشد، اما مسئله این است که آن راهکارها موقتی بودند. دوره طلایی هلند متکی بر باد برای حمل‌ونقل و پیت برای گرما بود. میزان عرضه پیت نیز به میزان دسترسی به زمین وابسته بود، با این حال، ذخیره‌ای برای انرژی‌ها غلیظ‌تر و متراکم‌تر از سوخت‌های زیست‌توده‌ای^۵ بود. به عبارت دیگر، این دوره حد فاصلی بین دوره‌های استفاده از سوخت‌های ارگانیک و سوخت‌های معدنی بود. درحالی‌که اقتصاد هلند با وابستگی به پیت به رشد خود ادامه می‌داد، کم‌کم با کمبود زمین به عنوان منبعی برای انرژی مواجه شد و مجبور بود برای تأمین نیازهای خود از انرژی‌ها غلیظ‌تر و متراکم‌تر واردات داشته باشد. از این‌رو در قرن هجدهم با واردات زغال سنگ بریتانیا نیازهای خود را تأمین می‌کرد^۶.

۴. گذار به دوره سوخت‌های فسیلی

راهکار بریتانیا برای رفع نگرانی‌های موجود در این زمینه، استفاده از سوخت‌های معدنی بود^۷. در قرن شانزدهم بود که بحران استفاده از چوب، بار سنگینی را بر اقتصاد بریتانیا تحمیل کرد و آن‌ها را مجبور به یک گذار از انرژی کرد^۸. البته شواهدی وجود دارد که فراگیر بودن این بحران را زیر سؤال می‌برد و مدعیان این است که کمبود منابع به صورت محلی و در مناطقی خاص بوده باشد^۹ و ظاهر امر این است که علت جایگزین شدن زغال سنگ قیمت کم آن بوده است نه بحران

1. Brabant
2. Netherlands

۳. Holland در قدیم نام یکی از استان‌های غربی هلند امروزی بوده است.

4. ibid., p. 1025
5. biomass
6. van den Wouden 2003, p. 463
7. Cipolla 1962; Wrigley 1988; Warde 2007; Fouquet 2008).
8. Nef 1926
9. Hatcher 2003 and Figure 1.1

چوب. مخصوصاً در مناطق شهری که برای تولید گرما از آن استفاده می‌کردند.^۱

علت جایگزینی زغال سنگ هر چه باشد، مهم این است که این امر منجر به کاهش فشار بر زمین شد؛ زمین‌هایی که به دلیل رشد جمعیت هر روز فشار بیشتری به خود می‌دیدند. بعدها و در بین سال‌های ۱۶۵۰ تا ۱۷۴۰ قیمت سوخت‌های چوبی به شدت افزایش یافت و همین امر سبب شد که مصرف‌کنندگان و از جمله صنایع مجبور به استفاده از زغال سنگ شوند. این موضوع سبب شد که اقتصاد و مخصوصاً فعالیت‌های صنعتی به حدی رشد کنند که در شرایط استفاده از انرژی‌های قدیمی آن مقدار رشد ممکن نبود. به عنوان مثال برخی از تخمین‌ها دلالت بر آن دارد که اگر در سال ۱۸۰۰، انرژی اقتصاد بریتانیا متکی بر چوب بود، هر ساله به اندازه وسعت بریتانیا رویش درخت لازم بود تا بتواند نیازهای کشور را رفع نماید.

هنوز با اینکه انرژی‌های طبیعی منابعی را در اختیار ما قرار می‌دهند، استخراج از منابع معدنی ادامه دارد و برخی از نیازهای انرژی بشر را تأمین می‌کند. در ابتدا از واگن‌های دستی برای استخراج این معادن استفاده کمی شد و بعدها قطار این نیاز را تأمین می‌کرد؛ به عبارت دیگر نرخ استخراج و زیرساخت‌های عرضه، میزان تولید انرژی را تعیین می‌کرد.

در قرون وسطی، بسیاری از زغال سنگ‌های بریتانیا، متعلق به کلیسا بود. با اصلاحاتی که هنری سوم (۱۵۰۹-۱۵۴۷) ایجاد کرد، اجازه داد که اراضی کلیساهای کاتولیک به فروش رسد. در قرن ۱۶ بود که زمین‌های تحت تملک اسقف دورهام^۲ به تاجران نیوکستل^۳ واگذار شد و میل شدیدی به گسترش صنعت زغال سنگ ایجاد شد. زمانی که این زمین‌ها به دست تاجران افتاد، میزان استخراج زغال سنگ به شدت افزایش یافت.^۴

از یک طرف صنعت زغال سنگ شروع به رشد کرد و منابع بسیار جدیدی راه‌اندازی شد و از طرف دیگر تقاضای زغال سنگ برای تولید گرما بالا رفت. از قرن ۱۵ تا قرن ۱۷، رشد صنعت زغال سنگ به قدری بود که اصلاً قابل مقایسه با دوره‌های قبل از آن نبود. درحالی که در ابتدای این دوران تولید زغال سنگ بخش کوچکی از فعالیت‌های اقتصادی را به خود اختصاص داده بود، در پایان این دوره به یکی از بزرگ‌ترین تولیدکننده‌های ثروت در شمال شرق انگلستان تبدیل شده بود. حوالی سال ۱۵۰۰ تولید برابر ۲۷ هزار toe بود (هر toe معادل یک تن نفت) و در سال ۱۷۰۰ به بیش از ۱,۵ میلیون toe رسید.^۵

علی‌رغم رشد زیاد تولید زغال سنگ، با افزایش تقاضا در قرن ۱۷، عرضه زغال سنگ دیگر پاسخ‌گوی نیازها نبود و قیمت آن شروع به افزایش کرد (نمودار ۱,۱ دلالت بر همین

1. Fouquet 2008
 2. Durham
 3. Newcastle
 4. Hatcher 1993
 5. ibid