فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال بیست و دوم / شماره ۸۹/ تابستان ۱۴۰۵ / صفحات ۲۲۱-۱۸۳

طراحی مدل مفهومی گذار به انرژی کم‌کربن الگوی کشورهای درحال‌توسعه نفت‌خیز در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته غیرنفتی

کیومرث حیدری [۱]

استادیار گروه اقتصاد و رئیس پژوهشکده مطالعات سیاستگذاری و حکمرانی، پژوهشگاه نیرو، تهران، ایران، (kheydari@nri.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۲۰

چکیده

با وجود کاهش مستمر هزینه عرضه انرژی‌های تجدیدپذیر، گذار از منابع انرژی فسیلی، همچنان به عنوان یک هدف مطرح است. مطالعات زیادی به شناسایی موانع تحقق این هدف توجه کرده‌اند. این مقاله، با اتکای به دو نظریه اثبات شده (رانت قیمت و هرم نیازهای مازلو) و یک مفهوم تجربی (منحنی زیست‌محیطی کوزنتس)، یک چارچوب مفهومی را توسعه داده و متکی به آن، سه مفهوم چتر فناوری، اوج اقتصادی نفت و وقفه گذار را معرفی می‌کند. به دلیل تفاوت کشورها در برخورداری از رانت قیمت و چگالی جمعیت روی هرم نیازهای مازلو و به تبع آن تفاوت حساسیت نسبت به آثار زیست‌محیطی، منحنی چتر فناوری، اوج اقتصادی و وقفه گذار برای هر کشور متفاوت خواهد بود. رانت قیمت بزرگتر و چگالی بیشتر جمعیت در سطوح پائین نیازها، در مواردی می‌تواند گذار انرژی را تا نیم قرن طولانی‌تر کند. شواهد تجربی گذار چین از زغال‌سنگ به نفت تائیدی بر این مطلب است. نتایج نشان می‌دهد گذار انرژی ایران، به دلیل برخورداری از مشخصات فوق، حداقل با سه دهه تاخیر نسبت به کشورهای توسعه یافته غیر نفتی مانند سوئیس و سوئد محقق می‌شود. نتایج این مطالعه، ضمن گسترش مرز دانش، چارچوبی مفهومی برای توضیح دلایل عدم تحقق اهداف کاهش انتشار را فراهم می‌کند.

طبقه‌بندی JEL: O3,Q2,Q4.

کلیدواژه‌ها: اوج اقتصادی نفت، توسعه پایدار، کربن صفر، چتر فناوری.

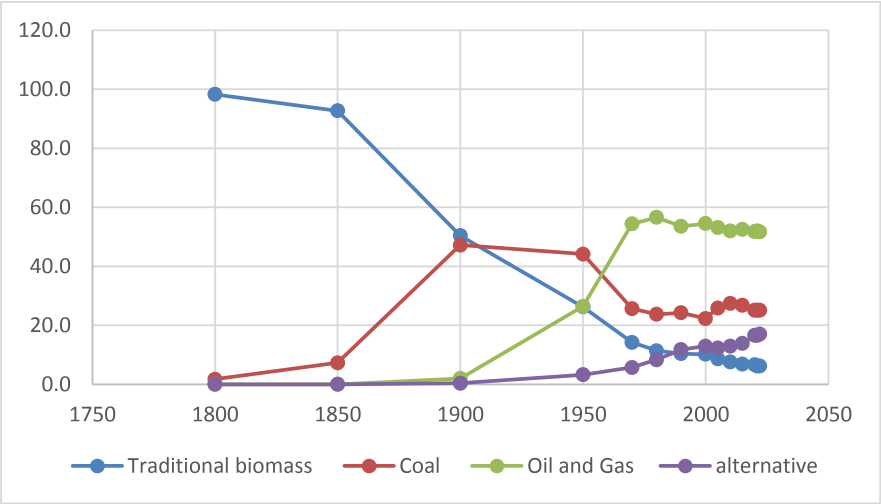
---

۱. نویسنده مسئول

۱- مقدمه

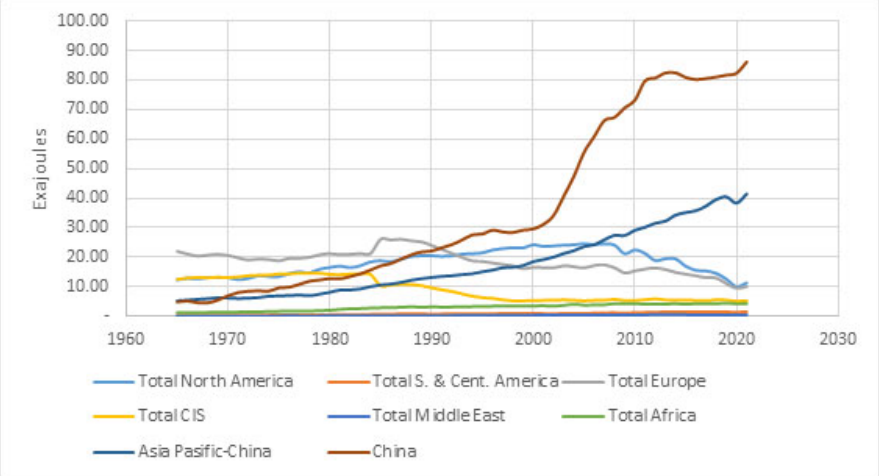
در کنفرانس‌های سالانه تغییرات اقلیمی سازمان ملل متحد[1]، به ویژه از معاهده ریو و پروتکل کیوتو تا توافق‌نامه پاریس، به طور مستمر بر فاصله گرفتن از انرژی فسیلی به‌عنوان هدف مشترک کشورهای عضو تأکید شد است. (به طور مثال الدهان، ۲۰۲۳ و بیانیه پایانی cop29 ملاحظه شود). آیا جهان به این هدف نزدیک شده است؟ پاسخ، منفی است. نگاهی به روند و همچنین سهم مصرف سوخت‌های فسیلی و به دنبال آن میزان انتشار، حاکی از عدم موفقیت جامعه جهانی در تحقق هدف فوق است. آمارهای منتشر شده نشان می‌دهد بجز سال ۲۰۲۰، متاثر از شیوع کووید ۱۹ و رکود ناشی از آن، انتشار ناشی از مصرف منابع فسیلی همواره افزایشی بوده است. نمودار (۱) روند جهانی مصرف منابع انرژی را نشان می‌دهد[2]. همچنان که یانگ و همکاران (۲۰۲۴) تاکید کرده‌اند، جهان تاکنون دو گذار انرژی را تجربه کرده و اکنون وارد گذار سوم شده است. گذار اول، از دهه ۱۹۸۰ با کاهش شدید در حامل‌های انرژی سنتی[3] و افزایش مصرف زغال‌سنگ رخ داده، پس از آن به ویژه از سال ۱۹۵۰، در گذار دوم، زغال‌سنگ جای خود را به نفت و گاز داده است. در سومین گذار انرژی، کاهش مصرف منابع فسیلی به نفع منابع کم‌کربن در جریان است. نکته حائز اهمیت اینکه، با وجود دوبار تجربه گذار انرژی، هیچ یک از منابع انرژی به طور کامل از بازار حذف نشده‌اند.

1. Conferences of the Parties (COP)
2. BP, 2021
3. Traditional Biofuel



نمودار ۱. سهم (درصد) منابع انرژی (BP,2021)

عدم حذف حامل‌های انرژی، با وجود گذار انرژی، می‌تواند به این معنا باشد که انتخاب مصرف‌کنندگان انرژی در کشورهای مختلف شبیه هم نبوده و متکی به الگوها و معیارهای متفاوت است. نمودار (۲) روند مصرف زغال‌سنگ در مناطق مختلف جهان را نشان می‌دهد. تفاوت محسوس روند رو به رشد مصرف چین، برخلاف روند کاهشی این حامل در سایر مناطق جهان، علامتی است که می‌تواند حقایق عمیق‌تری را آشکار کند.



نمودار ۲. روند مصرف زغال سنگ در جهان (BP,2021)

روند افزایشی مصرف زغال‌سنگ در چین، علی رغم آثار زیست‌محیطی انتشار CO2 ناشی از آن (ریچی و همکاران، ۲۰۲۰) و گذار جهان از این حامل انرژی، این سوال را مطرح می‌کند که آیا این رفتار می‌تواند برونداد یک الگوی منظم، متکی به یک منطق علمی باشد که انتظار داشته باشیم در گذار جدید به انرژی کم‌کربن توسط سایر کشورهای نفت‌خیز تکرار شود؟ به بیان دیگر، سئوال اصلی پژوهش این است، آیا می‌توان یک چارچوب مفهومی توسعه داد که قادر باشد عوامل هزینه‌ای موثر بر مسیر گذار انرژی یک کشور خاص (مانند ایران) را شناسائی و تفاوت آن با سایر کشورها را توضیح دهد؟ این پژوهش از حیث توسعه زیرساخت نظری، رویکرد منتخب به موضوع گذار انرژی، طراحی یک مدل مفهومی توضیح دهنده در این زمینه و همچنین ارائه نتایجی متفاوت با برداشت‌های رایج از گذار انرژی دارای نوآوری است. در عین حال از منظر تاثیر بر سیاست‌گذاری انرژی و تلنگر به سیاست‌گذار برای بازتنظیم سیاست‌های ناظر بر گذار انرژی کشور (به عنوان یک کشور نفت خیز در حال توسعه) حائز اهمیت است.

ساختار مقاله به شرح زیر تنظیم شده است. پس از معرفی مسئله و سؤالات تحقیق، ادبیات موضوع مرور شده است. سپس، چارچوب مفهومی و مدل نظری ارائه و در بخش بعد، یافته‌های تجربی بررسی و تحلیل شده‌اند. قبل از نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی نیز تحلیل و تفسیر نتایج ارائه شده است.

۲- پیشینه پژوهش

یافتن منبع انرژی پاک‌تر، در دسترس‌تر و ارزان‌تر همواره مورد توجه جوامع مختلف بوده است. در یک نگاه کلی، پژوهش‌های انجام شده در این زمینه را می‌توان به سه گروه تقسیم کرد.

گروه اول شامل مطالعاتی با تمرکز بر محدودیت منابع نفتی است. موضوع مشترک این مطالعات، پایان‌پذیری این منابع بوده است. نظریه اوج نفت[1] (هوبرت، ۱۹۵۶) را می‌توان نقطه آغاز این مطالعات دانست. این نظریه بیان می‌کند تولید نفت بر اساس یک الگوی قله‌ای، تا یک اوج معین افزایش یافته و به دنبال آن تا تخلیه منبع روند کاهشی

1. Peak Oil

خواهد داشت. با توجه به مفهوم اوج نفت، پژوهشگران زیادی (کاوالو، ۲۰۰۴; برانت، ۲۰۰۷; هلم، ۲۰۱۱; لوتز و همکاران، ۲۰۱۲; و دلانوی و همکاران، ۲۰۲۱) به جنبه‌های مختلف این نظریه پرداخته‌اند. کاوالو (۲۰۰۴) دلایل شکست پیش‌بینی اوج نفت و همچنین اوج گاز را بررسی کرده است. وی ثبات بازار، نرخ رشد تقاضا، در دسترس بودن واردات نفت ارزان قیمت و تغییر ذخایر قابل استخراج را در این زمینه مؤثر می‌داند. برانت (۲۰۰۷) نظریه اوج نفت را با استفاده از داده‌های ۱۳۹ منطقه تولیدکننده نفت آزموده و وجود منحنی قله‌ای شکل تولید نفت را تائید می‌کند. هلم (۲۰۱۱) به نقد فروض نظریه اوج نفت و پیامدهای آن بر سیاست انرژی پرداخته و به طور خاص تأثیر گازهای نامتعارف (گاز شیل) و گسترش حمل و نقل برقی را مطرح و برایند آنها را در جهت تشدید چالش ذخایر سوخت فسیلی ارزیابی می‌کند. دلانوی و همکاران (۲۰۲۱) تاثیر منابع نفتی نامتعارف بر عرضه فرآورده‌های نفتی را بررسی کرده و جایگزینی سریع و انتقال از منابع فسیلی به منابع کم‌کربن را با علامت سئوال مواجه می‌کند.

برخلاف وجه مشترک این مطالعات، مدلسازی استخراج نفت خام به‌عنوان یک سیال فیزیکی، ارتباط چندانی با رفتار تولیدی نفت خام، به‌عنوان یک کالای اقتصادی، ندارد. به بیان دیگر اصولا مسئله گذار انرژی (عبور از نفت به منابع کم‌کربن) ناظر به جریان فیزیکی تولید نفت نبوده بلکه یک گذار فنی- اجتماعی است (اندرو اسپید، ۲۰۱۶).

مسئله مشترک مطالعات گروه دوم (کافمن و شیرز، ۲۰۰۸; لنز، ۲۰۰۹; هلم، ۲۰۰۷و کلاوس، ۲۰۰۳) این است که آیا منبع انرژی پاک‌تر و مقرون به صرفه‌تری نسبت به منابع فسیلی وجود دارد؟ کافمن و شیرز (۲۰۰۸) به سرعت جایگزینی نفت خام با منابع انرژی جایگزین پرداخته‌اند. این تحقیق بر شناسایی نیروهای بازار محور و همچنین عدم اطمینان در مورد ذخایر نفت خام و تولید آن تمرکز کرده است. لنز(۲۰۰۹) تاثیر استراتژیک سیاست‌های انرژی‌های تجدیدپذیر بر بازار نفت را از طریق مطالعه ویژگی‌های اصلی بازار جهانی انرژی، عناصر استراتژیک آن، بازیگران اصلی بازار (ایالات متحده و اوپک) و تعاملات آنها موردبررسی قرار داده است. هلم (۲۰۰۷) با تمرکز بر چالش‌های امنیت عرضه، قراردادهای بلند مدت و مسائل زیست‌محیطی بر اهمیت توجه به عوامل مختلف شکست بازار، هنگام تنظیم سیاست‌های انرژی، تأکید

می‌کند. کلاوس (۲۰۰۳) با توجه به حجم بالای تقاضای انرژی در ایالات متحده و منابع محدود نفت و گاز، افزایش معنی‌دار استفاده از منابع تجدیدپذیر را در نیمه اول قرن جاری پیش‌بینی کرده است.

گروه سوم (گوو و همکاران، ۲۰۱۵; میکایلیدز، ۲۰۲۰; ژو و همکاران، ۲۰۲۱; ماکادو، و همکاران، ۲۰۲۱; رولد و همکاران، ۲۰۲۳; الازاب، و همکاران، ۲۰۲۴)، موانع جایگزینی سوخت‌های فسیلی با انرژی‌های جایگزین را مورد توجه قرار داده‌اند. دسترسی به منابع با کیفیت، ضریب ظرفیت پایین نیروگاه‌های متکی به منابع انرژی تجدیدپذیر، عدم قطعیت منابع تجدیدپذیر و قابلیت اطمینان سیستم قدرت، به عنوان موانع مهم در این مسیر شناسایی و معرفی شده‌اند. آلمازان گومز و همکاران (۲۰۲۴) نیز در قالب یک مطالعه موردی، موانع کنار گذاشتن زغال‌سنگ در اتحادیه اروپا و پیچیدگی آن را بررسی کرده‌اند. نکته حائز اهمیت اینکه تمام مشکلات جایگزینی منابع فسیلی با تجدیدپذیر، فنی نیستند. سوواکول، (۲۰۰۹) و همچنین ساسکیند و همکاران، (۲۰۲۲) بر تاثیر موانع اجتماعی و فرهنگی تاکید کرده‌اند.

مطالعات فوق را می‌توان شاهدی برای تفکر و جستجوگری پیوسته برای گذار از سوخت‌های زیستی سنتی به زغال‌سنگ، مجددا از زغال‌سنگ به نفت و گاز و در نهایت هدف‌گذاری برای گذار از منابع فسیلی به منابع جایگزین کم‌کربن قلمداد کرد. کاهش سهم نفت از ۴۴/۳ درصد در سال ۱۹۷۰ به ۳۰/۹ درصد در سال ۲۰۱۹ (آژانس بین المللی انرژی، ۲۰۲۲) می‌تواند یکی از پیامدهای همین جستجوگری مستمر باشد. علاوه بر این از سال ۲۰۱۴ تا ۲۰۲۱، ظرفیت تولید برق تجدیدپذیر جهانی، با نرخ رشد قابل توجه سالانه ۷/۶۵ درصد، از ۱۸۲۹ گیگاوات به ۳۰۶۴ گیگاوات افزایش یافته است. همچنین، هزینه تولید برق از منابع تجدیدپذیر، با نرخ کاهشی شدید سالانه ۱۷/۱۵ درصد، از ۰/۳۸ دلار برای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۱۰ به ۰/۰۴۷ دلار برای هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۲۱ کاهش یافته است (آژانس بین المللی انرژی تجدیدپذیر، ۲۰۲۲). همچنان که شرلوک (۲۰۲۰) نشان می‌دهد، کاهش شدید هزینه‌ها، موجب برتری مطلق پروژه‌های تجدیدپذیر نسبت به پروژه‌های با سوخت فسیلی شده است.

علاوه بر سه گروه فوق، در مطالعات جدید (از جمله چایلد و بریر، ۲۰۱۷، هونگ و همکاران، ۲۰۱۹، گایلن و همکاران، ۲۰۱۹ و ون و همکاران، ۲۰۲۰) به طور خاص به

موضوع گذار انرژی پرداخته شده است. نقش انرژی تجدیدپذیر، تحلیل آثار کمی و ارتباط آن با توسعه پایدار از محورهای مورد بررسی این مطالعات است. به طور خاص و همچنان که اشاره شد یانگ و همکاران (۲۰۲۴) ضمن تأکید بر دو گذار انرژی قبلی از سوخت‌های زیستی به زغال‌سنگ و از زغال‌سنگ به نفت و گاز، گذار فعلی را عبور از منابع فسیلی به منابع کم‌کربن قلمداد کرده‌اند. این پژوهش با تفکیک گذار صریح و ضمنی انرژی، ابداعات فناوری و مکانیزم بازار، ترتیبات سیاستی و عوامل فرهنگی را موتور محرک گذار انرژی معرفی کرده و در نهایت به آثار اقتصادی و اجتماعی گذار انرژی پرداخته است.

ابعاد تجربی ارتباط میان منابع فسیلی، متغیرهای کلان اقتصادی و انرژی تجدیدپذیر در مطالعات مختلفی در داخل کشور (از جمله اسدزاده و جلیلی، ۱۳۹۴، تهامی‌پور و همکاران ۱۳۹۵، ارباب و همکاران ۱۳۹۶و پرهیزکار کهنه اوغاز و همکاران، ۱۴۰۰) مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در ارتباط با دو متغیر کلیدی این پژوهش یعنی مسئله هرم نیازها و توجه به محیط‌زیست و همچنین تاثیر توسعه‌یافتگی بر افزایش توجه به محیط‌زیست و انرژی پاک، به دو مطالعه مرتبط در داخل کشور می‌توان اشاره کرد. خلیلی و همکاران (۱۴۰۴) که به موضوع گذار انرژی و شاخص‌های محیط‌زیست پرداخته‌اند و شریف‌نژاد و همکاران (۱۴۰۰) که به عوامل موثر بر مصرف انرژی پاک توجه کرده‌اند. اگر چه نتایج این دو مطالعه، هم راستا با نتایج مورد انتظار پژوهش حاضر است، اما تمرکز محققان در آنها بر شواهد تجربی است. در حالی‌که در مطالعه حاضر بر طراحی مدل مفهومی پیشران‌های مسئله تمرکز دارد.

بررسی سابقه تاریخی پژوهش حاکی از غنی بودن مطالعات انجام شده است. بنابراین کدام مسئله مغفول مانده که به عنوان شکاف تحقیق در این پژوهش مورد توجه قرار گرفته است؟ این مطالعه، بر مبنای نظریه اقتصاد خرد (به ویژه نظریه انتخاب مصرف‌کننده و نقش آثار خارجی (هزینه‌های تعمیم یافته تامین انرژی)) و همچنین تاثیر تغییر وضعیت رفاهی بر تغییر ترجیحات مصرف‌کننده (هرم نیازهای مازلو) یک چارچوب مفهومی قابل اتکا برای توضیح عوامل موثر بر گذار انرژی و آزمون آن بر اساس داده‌ها و شواهد تجربی ارائه می‌کند. به بیان دیگر، این مطالعه به جای توجه به شواهد تجربی و آزمون داده‌های تاریخی، زیرساخت نظری موضوع را (در چارچوب یک مدل

مفهومی متصل متکی به نظریه‌های اثبات شده) توسعه داده است. به این ترتیب می‌توان پیشران‌های گذار انرژی در یک کشور منتخب را شناسائی و معرفی نمود. به عنوان یکی از دستاوردهای این مطالعه می‌توان به توضیح مسیر گذار انرژی برای کشورهای نفت خیز در حال توسعه و تفاوت احتمالی آن با کشورهای غیر نفتی و توسعه یافته اشاره نمود.

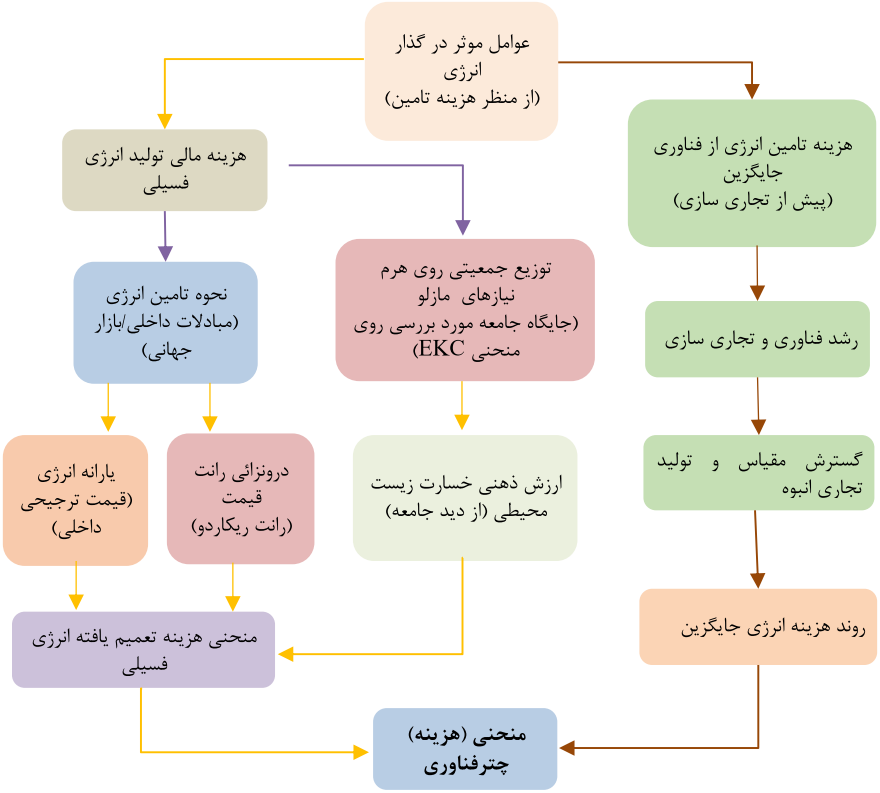
۳- روش‌شناسی پژوهش

مطالعه حاضر با اتکا به نظریه اقتصاد خرد، به ویژه مفهوم هزینه تعمیم‌یافته تامین انرژی از یک سو و دو نظریه اثبات شده یعنی رانت قیمت (رانت ریکاردو) و هرم نیازهای مازلو[۱] از سوی دیگر، یک مدل مفهومی برای بررسی عوامل هزینه‌ای موثر بر گزینه‌های موجود و جایگزین برای تامین انرژی را توسعه می‌دهد. بر این اساس بخش اول این پژوهش، یک تحلیل نظری بوده و منجر به طرح سه مفهوم جدید یعنی اوج اقتصادی نفت[۲]، چتر فناوری و وقفه گذار شده است. از این نظر، نوآوری و مشارکت محقق در توسعه علم مورد توجه بوده است. مدل مفهومی توسعه داده شده، نمودار (۳)، نیز مبنای جدیدی برای نوع نگاه به مسئله و پژوهش‌های کاربردی جدید فراهم می‌آورد. در عین حال، اگر چه مطالعات کاربردی متکی به مدل مفهومی پیشنهادی نیازمند مطالعات مستقل دیگری است، اما در بخش دوم مقاله، به روش تحلیلی-توصیفی و علیت شواهد محور و با استفاده از داده‌های ثبت شده، سه مفهوم معرفی شده در عمل مورد بررسی قرار گرفته‌اند. روش جمع‌آوری داده‌ها، کتابخانه‌ای و پایگاه داده محور است. به بیان دیگر، در بخش انرژی عمدتا از اطلاعات منتشر شده توسط پایگاه‌هایی مانند BP و EIA استفاده شده است. در بخش آمارهای اقتصادی نیز پایگاه‌هائی مانند WB مورد استناد قرار گرفته‌اند.

---

[۱] . به عنوان یک کار تجربی تکمیلی، منحنی زیست محیطی کوزنتس نیز در همین زمینه مورد استناد و بهره‌برداری قرار گرفته است.

[۲]. در مقایسه با مفهوم اوج نفت که در بخش پیشینه تحقیق معرفی شد.



نمودار ۳. مدل مفهومی استخراج منحنی چتر فناوری و وقفه دوران گذار (گروه تحقیق)

در ادامه، نقش هر یک از عوامل اصلی نقش آفرین در مدل مفهومی، تشریح می‌شود.

۳-۱- نقش هزینه‌ها در انتخاب حامل انرژی، الگوی تعمیم یافته

با فرض اینکه انرژی یک کالای اقتصادی است، هزینه دسترسی به آن ($C(q)$) عامل اصلی در انتخاب مصرف‌کننده خواهد بود. هزینه تولید و دسترسی به انرژی با هدف مصرف نهائی را می‌توان به سه جزء تقسیم کرد: اول هزینه‌های مالی (مستقیم) تولید، دوم رانت قیمت (اختلاف قیمت انرژی در بازار با هزینه تولید (جزء اول)) و سوم هزینه‌های ناشی از آثار زیست‌محیطی. نکته حائز اهمیت اینکه برخلاف جزء اول که اجتناب ناپذیر است، جزء دوم و سوم، برخلاف آثار ملموس آنان، می‌توانند پنهان بمانند و در مبادلات مالی انرژی ظاهر نشوند. به طور مثال، یک کشور نفتی ممکن است با

پرداخت هزینه تولید و پالایش نفت، فرآورده‌های نفتی را در اختیار شهروندان قرار دهد. در این حالت، این کشور خود را از فرصت کسب درآمد ناشی از رانت قیمت محروم کرده، اما تاثیر آن صرفا در قالب یک فرصت از دست رفته مطرح می‌شود. همچنین با تولید و مصرف انرژی فسیلی، آثار و تبعات زیست‌محیطی گسترده‌ای به جامعه (محلی و بین المللی) تحمیل می‌شود. با این‌حال این جزء از هزینه‌ها نیز به عنوان آثار خارجی شناخته شده و برخلاف جزء اول تا قبل از وضع مقررات و درون‌زا کردن تمام یا بخشی از این آثار در حساب‌ها (هزینه و قیمت) ظاهر نمی‌شود. این جزء حتی مشابه جزء دوم (فرصت از دست رفته) هم نیست. زیرا جزء دوم به سادگی با مقایسه قیمت جهانی با قیمت مبادله در بازار داخلی قابل تشخیص است.

چنانچه احتساب هر سه جزء معرفی شده به‌عنوان هزینه تعمیم یافته تولید و مصرف حامل‌های انرژی فسیلی قلمداد شود، سوال این است که اکتفا به مرز حداقلی یا احتساب کل هزینه‌های تعمیم یافته چه تاثیر بر الگوی کشورها برای گذار انرژی دارد؟ همچنین کدام کشورها براساس مشخصات قابل شناسایی، تمایل به مرز حداقلی دارند و کدام یک سیاست‌گذاری خود را بر مبنای هزینه‌های تعمیم یافته طراحی و تنظیم خواهند کرد؟

برای پاسخ به این سوالات باید ریشه‌های شکل گیری قیمت (امکان برخورداری هر کشور از رانت قیمت) و ظرفیت واکنش عملی جامعه به آثار زیست‌محیطی تولید و مصرف منابع انرژی فسیلی توجه کرد.

۳-۲- تاثیر رانت قیمت

جزء دوم از هزینه‌های تعمیم یافته تولید و مصرف منابع فسیلی، ناظر به رانت قیمت یا هزینه سلب فرصت است. فرض کنید یک کشور نفت‌خیز یک بشکه نفت به بازار جهانی نفت عرضه کند، هزینه عرضه نفت به بازار جهانی معادل c و قیمت بازار نفت نیز معادل p فرض می‌شود. اختلاف قیمت و هزینه (p- c)، رانت قیمت[1] را تشکیل می‌دهد. برای خریداران نفت از بازار جهانی، این جزء بخشی از قیمت است. بنابراین، بجز موارد استثناء[2]، کشورهائی که در بازار جهانی اقدام به خرید نفت می‌کنند، این جزء را پرداخت

۱. ریشه تاریخی این بحث به مفهوم رانت زمین (ریکاردو، ۱۸۲۱) برمی‌گردد.

۲. در مواردی ممکن است یک کشور نفت را به قیمت جهانی از بازار نفت خریداری کرده و با قیمت یارانه‌ای در داخل کشور توزیع کند.

می‌نمایند. از این منظر، اختلافی بین کشورهای خریدار نفت از بازار جهانی نیست. بااین‌حال، کشورهای صادر کننده نفت[۱]، برای آن بخش از نفت تولیدی که در داخل کشور عرضه می‌شود الزاما این جزء را در محاسبات لحاظ نخواهند کرد[۲]. به طور مثال اگر هزینه تولید یک بشکه نفت در یک کشور نفتی ۲۰ دلار و قیمت بازار جهانی ۸۰ دلار باشد. مبنای تصمیم مصرف‌کنندگانی که نفت را از بازار جهانی خریداری می‌کنند، نفت ۸۰ دلار است. بااین‌حال، کشور صادر کننده می‌تواند با چشم‌پوشی از رانت قیمت (در اینجا ۶۰ دلار)، نفت را در بازار داخلی ۲۰ دلار قیمت‌گذاری کرده و تامین نیاز مصرف‌کنندگان داخلی را تضمین نماید. در این حالت، این گروه از مصرف‌کنندگان، رفتار خود را بر اساس قیمت ۲۰ دلار تنظیم خواهند کرد. به بیان دیگر، رانت قیمت و شیوه برخورد با آن می‌تواند عامل تمایز کشورها در الگوی گذار انرژی باشد. به بیان دیگر، نوع برخورد یک کشور با رانت قیمت، بر درجه انعطاف‌پذیری برای انطباق با محیط جدید و فشار برای حرکت به سمت انرژی جایگزین تاثیرگذار است.

۳-۳- آثار زیست‌محیطی مصرف سوخت فسیلی

جزء سوم از هزینه‌های تعمیم یافته مصرف انرژی فسیلی، به آثار خارجی تولید و مصرف این منابع برمی‌گردد. این جزء به طور مستقیم در هزینه‌ها ظاهر نمی‌شود. بدیهی است مصرف‌کنندگان انرژی در دو کشور مختلف که یکی اقدام به محاسبه و درون‌زا کردن این آثار کرده و دیگری خیر، رفتار یکسانی نخواهند داشت. این در حالی است که با وجود ارائه دو روش متمایز برای نحوه درون‌زا کردن آثار خارجی (از جمله آثار زیست‌محیطی) توسط پیگو (۱۹۴۵) و کوز (۱۹۹۰)، در عمل تضمینی برای سنجش دقیق این آثار و درون‌زا کردن آنها وجود ندارد. در مورد این جزء نیز، صرف‌نظر از روش درون‌زا کردن آثار (وضع مالیات بر کربن یا طراحی یک مکانیزم مبادله پذیر-بازار کربن)، سوال این است که بر مبنای چه مشخصاتی می‌توان پیش بینی کرد یک کشور مستعد وضع مقررات برای درون‌زا کردن این آثار است یا خیر؟ پاسخ این سوال را باید با

---

۱. و یا کشورهای دارای منابع نفتی برای مصرف داخل و فاقد ظرفیت صادراتی.

۲. بحث بر سر هزینه فرصت ناشی از مصرف داخلی نفت به جای عرضه به بازار جهانی نیست. در اینجا امکان عدم تنظیم قیمت داخلی بر اساس قیمت بازار جهانی و تاثیر آن بر رفتار مصرف‌کننده است.

بررسی برخی شاخص‌های اقتصادی کشور منتخب، بر اساس دو مفهوم هرم نیازهای مازلو و منحنی زیست‌محیطی کوزنتس پیدا کرد.

۳-۴- هرم نیازهای مازلو

نیازهای انسان را می‌توان در پنج گروه (سلسله مراتب نیازهای مازلو، ۱۹۴۳) طبقه‌بندی کرد. بر این اساس، یک انسان ابتدا تامین نیازهای پایه مانند نیاز به غذا، آب و ایمنی را هدفگذاری کرده و سپس با حصول اطمینان از رفع این نیازها، به سمت سطوح بالاتر مانند تامین عزت نفس و خودشکوفایی (اخلاق و رعایت حقوق دیگران) متمایل می‌شود. تائورمینا و گائو (۲۰۱۳) از طریق آزمون‌های روان سنجی، دسته‌بندی نیازهای مازلو را تائید کرده‌اند. علاوه بر این، نشان داده‌اند با تامین نیازهای سطح پایین‌تر، مطالبه‌گری برای نیازهای سطح بالاتر، برجسته‌تر می‌شود. اهمیت این موضوع در این است که با فرض متکی بودن نظام سیاسی به آرای مردم، جامعه‌ای که نگاه افراد آن متوجه تامین نیازهای پایه باشد، رهبرانی را انتخاب می‌کنند که رفع این نیازها را در شعارهای خود بگنجانند. حال چنانچه درونزا کردن آثار زیست‌محیطی تولید و مصرف انرژی "اهمیت کیفیت محیط‌زیست برای انسان" فرض شود، این امر ارتباط تنگاتنگی با رعایت حقوق دیگران داشته و مستلزم جامعه‌ای است که نگاهش متوجه راس هرم نیازهای پنج گانه باشد. تانگر و همکاران (۲۰۱۱) استدلال می‌کنند که افراد فقیر تمایل دارند شرایط اقتصادی خود راحتی به بهای خسارت به محیط محلی اطراف، بهبود دهند. شایان ذکر است که حتی مطالعاتی (از جمله وهبا و همکاران (۱۹۷۶) که سلسله مراتب نیازها را مورد تردید قرار می‌دهند، نیازهای خودشکوفایی را مستثنی می‌کنند.

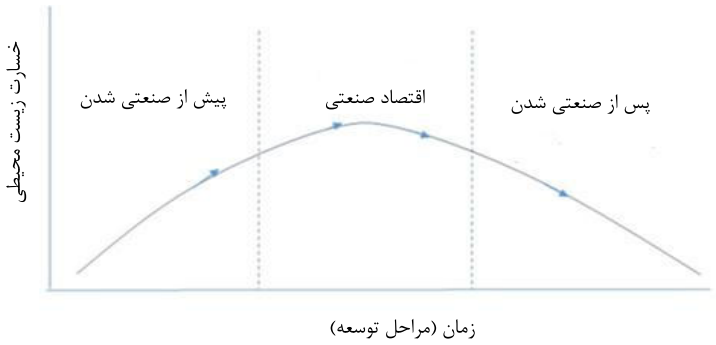
با اتکاء به مفهوم تمایل به پرداخت برای جبران آثار زیست‌محیطی در کنار منحنی نیازهای مازلو، می‌توان رفتار یک کشور در این زمینه را به الگوی گذار انرژی مرتبط کرد. با استناد به معیارهائی مانند درآمد ملی سرانه و ضریب جینی می‌توان ضمن مرتبط کردن هرم نیازهای مازلو با وضعیت توسعه اقتصادی یک کشور (توسعه‌یافته و درحال‌توسعه)، اثر آن بر سیاست‌های ناظر بر گذار انرژی را مورد توجه قرار داد. برای این منظور انتظار می‌رود با توزیع جمعیت یک کشور روی هرم نیازها، نگاشت مربوط به کشورهای توسعه‌یافته در راس هرم چگال‌تر از کشورهای درحال‌توسعه یا توسعه نیافته باشد و برعکس، سطوح

پائین‌تر نیازها برای کشورهای توسعه نیافته چگال‌تر خواهد بود. به بیان دیگر اگر کل جمعیت یک کشور به ترتیب به صورت N1، N2، N3، N4 و N5 روی سطوح پنج گانه نیازها توزیع شود، انتظار می‌رود سهم عمده جمعیت برای یک کشور درحال‌توسعه متمایل به N1 و N2 و برای یک کشور توسعه‌یافته متمایل به N4 و N5 باشد.

بر پایه تحلیل نظری نیازهای مازلو، انتظار می‌رود محیط‌زیست برای مردم کشورهای توسعه‌یافته حائز اهمیت بیشتری باشد و بنابراین، نسبت به مصرف‌کنندگان کشورهای درحال‌توسعه، تمایل به پرداخت بیشتری برای حفظ محیط‌زیست داشته باشند. در یک جامعه متکی به رای مردم، انتخاب رهبرانی که برای حفظ محیط‌زیست، نسبت به وضع مالیات بر مصرف سوخت‌های فسیلی و کربن (بری، ۲۰۲۲) اقدام می‌کنند، بازتاب بیرونی این مسئله است. بنابراین در کنار تاثیر رانت قیمت، به‌عنوان عامل تمایز احتمالی یک کشور نفت‌خیز با یک کشور غیرنفتی، مطالبات اجتماعی متفاوت برای حفظ محیط‌زیست و بنابراین برخورد متفاوت کشورها با جزء سوم از هزینه‌های تعمیم‌یافته انرژی، عاملی برای شکل دهی دو الگوی متمایز برای کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه است. بر این اساس، دو عامل، رانت قیمت و آثار زیست‌محیطی، اثری هم افزا برای شکل دهی الگوی گذار انرژی یک کشور درحال‌توسعه نفتی، نسبت به یک کشور توسعه‌یافته غیرنفتی خواهند داشت.

۳-۵- منحنی زیست‌محیطی کوزنتس

منحنی زیست‌محیطی کوزنتس از یک منظر، انعکاس شواهدی در تائید مطالب است. این منحنی، به‌عنوان یک مفهوم تجربی، بیان می‌کند در مسیر رشد اقتصادی یک کشور، بین درآمد سرانه و تخریب محیط‌زیست رابطه مستقیم برقرار است. نمودار ۴ ملاحظه شود.



نمودار ۴. منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (Panayotou,۱۹۹۳)

این مفهوم در ابتدا توسط گروسمن و کروگر (۱۹۹۱)، برمبنای رابطه معکوس میان درآمد سرانه و نابرابری درآمد ارائه شد که اولین بار کوزنتس (۱۹۵۵) آن را معرفی کرد. در عمل، مطالعات تجربی مختلفی (شفیق، ۱۹۹۴; دی بروین، ۱۹۹۷; پرمن و استرن، ۲۰۰۳; مارکاندیا و همکاران، ۲۰۰۴; دیکن و نورمن، ۲۰۰۶; تانگر و همکاران ۲۰۱۱، لورنته و همکاران ۲۰۱۸; بکون و همکاران، ۲۰۱۹; آددوین و همکاران ۲۰۲۰; وانگ، ال.، و همکاران، ۲۰۲۰؛ لیو و همکاران، ۲۰۲۱ و لیل و مارکز ۲۰۲۲) وجود رابطه U شکل معکوس بین تولید ناخالص داخلی سرانه و تخریب (کیفیت) محیط‌زیست را تایید کرده‌اند. حتی مطالعاتی (مانند میلز و منتظر، ۲۰۰۹)، که قطعیت این رابطه را مورد تردید قرار داده‌اند، تأکید کرده‌اند این رابطه ممکن است در مقایسه با تنوع زیستی بیش از حد ساده شده باشد. این نتیجه، وجود رابطه بین تولید ناخالص داخلی سرانه و آسیب‌های زیست‌محیطی را رد نمی‌کند.

شایسته است به این نکته توجه شود که تبعات زیست‌محیطی منابع فسیلی به این معنی نیست که انرژی جایگزین فاقد تبعات زیست‌محیطی است(مرادین، ۲۰۲۰)، در عین حال تمایل به پرداخت مصرف‌کننده الزاما با خسارت وارد شده به محیط‌زیست متناسب نیست (بولینو ۲۰۱۰).

بر این اساس، منحنی زیست‌محیطی کوزنتس می‌تواند بیان دیگری برای بازتاب نیازهای مازلو قلمداد شود. از تلفیق هرم نیازها و منحنی زیست‌محیطی می‌توان گفت نزولی بودن منحنی اخیر در سطوح بالای درآمدی، به این معنی است که کشورهای توسعه‌یافته با وضع مقررات، تمام یا بخشی از آثار خارجی تولید و مصرف سوخت‌های فسیلی را درون‌زا کرده و به این ترتیب زمینه حفظ محیط‌زیست را فراهم می‌نمایند. دلیل این موضوع، تغییر توجه مردم از نیازهای پایه به نیازهای سطوح بالاتر (از جمله نگاه مراقبتی به محیط اطراف) است.

به این ترتیب، با توجه به شرایط کشور مورد بررسی و اولویت‌های آن، می‌توان تصویری از هزینه تعمیم‌یافته تامین انرژی استخراج و ارائه نمود. در ساده ترین شکل ممکن، انتظار می‌رود کشور نفتی در حال توسعه، متمایل به کران پائین هزینه تعمیم یافته و کشور توسعه‌یافته غیرنفتی، متمایل به کران بالای هزینه تعمیم‌یافته تامین انرژی باشد.

۳-۶- منحنی هزینه انرژی جایگزین

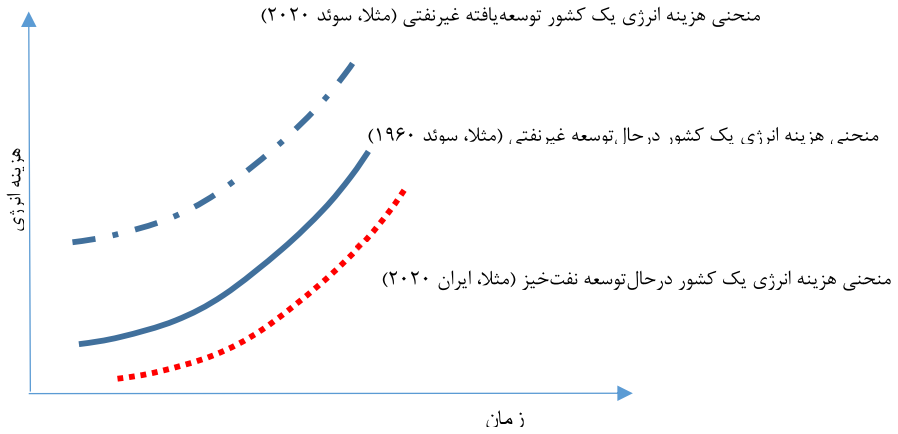
هزینه تعمیم یافته تولید و مصرف انرژی فسیلی، یک بخش موثر بر گذار انرژی است. بخش مهم دیگر، هزینه عرضه انرژی جایگزین و روند آن است. چنانچه یک مصرف‌کننده

بخواهد انرژی مورد نیاز را از منابع جایگزین، نسبت به منبع رایج (مثلا نفت یا زغال سنگ) تامین کند، به امکان دسترسی به منبع جایگزین و هزینه آن توجه خواهد کرد. در دسترس بودن منبع جایگزین مسئله‌ای مهم، اما خارج از موضوع این پژوهش است. با فرض دسترسی، انتخاب نهائی بستگی به هزینه انرژی جایگزین در مقایسه با انرژی فسیلی دارد. بنابراین، روند هزینه انرژی جایگزین بخش دیگری است که در چارچوب مدل مفهومی باید مورد توجه قرار داد تا بتوان در مورد تصمیم نهائی مصرف‌کنندگان در مسیر گذار انرژی نتیجه‌گیری کرد. در بخش یافته‌های تجربی، این موضوع دقیق‌تر بررسی خواهد شد.

با توجه به این مباحث روند تاریخی هزینه انرژی جایگزین نیز قابل استخراج است. لذا در کنار هزینه تعمیم یافته تامین انرژی فسیلی، می‌توان منحنی چتر فناوری، اوج اقتصادی و وقفه گذار را به لحاظ نظری و به دنبال آن، براساس اطلاعات در دسترس، به صورت تجربی استخراج و ارائه کرد.

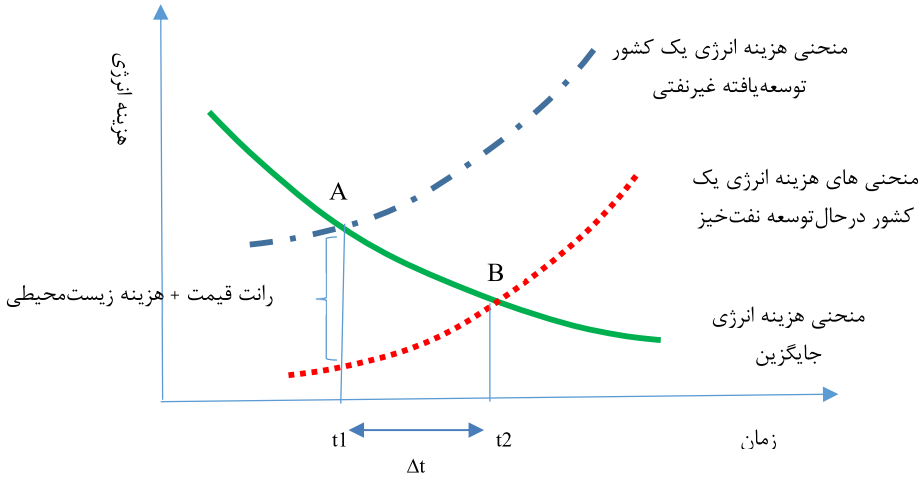
۳-۷- اوج اقتصادی نفت و منحنی چتر فناوری

با توجه به مباحث فوق، هنگام استخراج منحنی هزینه تعمیم یافته تولید و مصرف انرژی فسیلی، انتظار می‌رود این منحنی برای یک کشور توسعه‌یافته غیرنفتی مانند سوئد، نسبت به یک کشور نفتی درحال‌توسعه مانند ایران، به راست و بالا جابجا شود. این منحنی برای همان کشور نیز (مثلا سوئد قبل و بعد از توسعه) یکسان نیست (نمودار ۵). شکاف میان این منحنی‌ها ناشی از دو عامل است. اول، تاثیر رانت قیمت نفت و دوم آثار زیست‌محیطی (نمودار ۶).



شکل ۵. منحنی های نوعی هزینه مصرف انرژی برای یک کشور توسعه‌یافته غیرنفتی در مقابل یک کشور درحال‌توسعه غنی از نفت (نتایج تحقیق)

از سوی دیگر، با توجه تاثیر پویا و عمومی فناوری، انتظار می‌رود منحنی هزینه منابع انرژی جایگزین دارای روند نزولی باشد. بنابراین می‌توان این دو منحنی را در یک دستگاه ترسیم کرد.



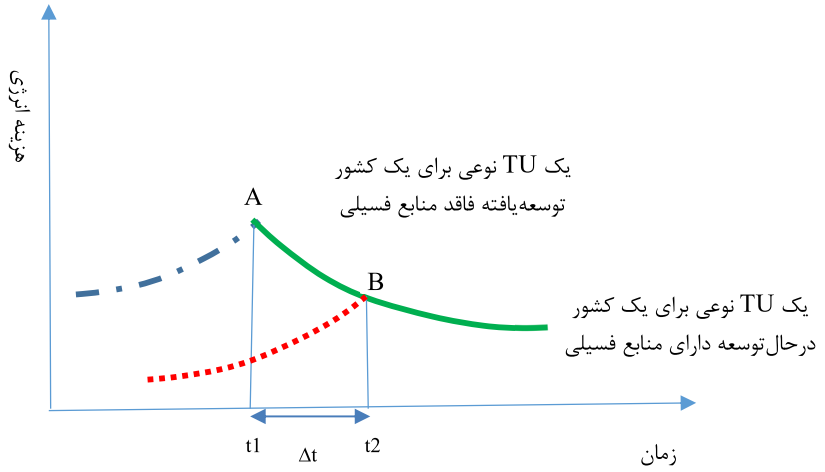
شکل ۶. منحنی های نوعی هزینه مصرف انرژی فسیلی و جایگزین برای یک کشور توسعه‌یافته غیرنفتی در مقایسه با یک کشور درحال‌توسعه نفت‌خیز. با وجود حرکت از میادین بزرگ به میادین کوچک و منابع با کیفیت به ماسه های نفتی و نفت و گاز شیل و تاثیر آن بر مثبت شدن شیب این منحنی، بااین‌حال این موضوع تاثیری بر نتایج مطالعه ندارد. حتی اگر شیب منحنی هزینه عرضه انرژی فسیلی ثابت یا کاهنده باشد، نتایج نهائی برقرار است. (نتایج تحقیق)

از منحنی‌های هزینه نمودار ۶ می‌توان چهار نکته را استخراج کرد:

اول، A و B را می‌توان به‌عنوان نقاط عطف، چرخش کسب و کار در بخش انرژی در نظر گرفت. این نقطه را می‌توان اوج اقتصادی نفت یا پایان عصر نفت نام‌گذاری کرد. یعنی زمانی که توجه کارآفرینان از منبع انرژی فعلی به منبع جدید معطوف می‌شود. همچنان که یانگ و همکاران (۲۰۲۴) اشاره کرده‌اند، این به معنای آغاز یک عصر جدید و نه جایگزینی ناگهانی منبع انرژی جدید است. تأکید یمانی (۱۹۷۵)، بر اینکه "عصر حجر به دلیل فقدان سنگ به پایان نرسید همین طور پایان عصر نفت نیز الزاما با تخلیه منابع نفتی نخواهد بود"، بیان دیگری برای این تغییر است. این نقطه یک وضعیت مطلق نیست، بلکه هر فعال اقتصادی با منحنی‌های خاص خودش مواجه بوده و تصمیم خواهد گرفت. هر چه هزینه‌های دسترسی به انرژی فسیلی بیشتر کاهش یابد (در حالت خاص، دسترسی رایگان به منابع فسیلی)، عدم تقاطع دو منحنی معرفی شده و غلبه مستمر منابع فسیلی بر انرژی جایگزین، دور از انتظار نیست. استمرار تولید و مصرف زغال‌سنگ در چین، علی‌رغم گذار جهان از زغال‌سنگ به نفت، یک نمونه از این وضعیت است.

دوم، نقطه عطف چرخش محیط کسب و کار در کشورهای درحال‌توسعه نفت‌خیز نسبت به کشورهای توسعه‌یافته غیرنفتی دارای وقفه (Δt) است. به بیان دیگر، آغاز توجه به انرژی جایگزین برای گروه اخیر، زودتر فرا رسیده و مسیر گذار را نیز سریع تر طی می‌کنند. اندروز اسپید[1] (۲۰۱۶) تأکید می‌کند گذار انرژی، شامل این وقفه، ممکن است بین نیم قرن تا یکصد سال به طول بیانجامد. در گذار از زغال سنگ به نفت، نمودار ۲ نشان می‌دهد این وقفه (Δt) برای کشور چین بیشتر از نیم قرن بوده است.

1. Andrews-Speed (2016).



شکل ۷. منحنی فناوری نوعی برای دو کشور منتخب. به این نکته باید توجه داشت که منحنی هزینه انرژی جایگزین برای کشورهای درحال‌توسعه، به دلیل عدم دسترسی به فناوری و همچنین هزینه جابجائی تجهیزات فناوری جدید، متمایز با کشورهای توسعه‌یافته بوده و سمت راست آن قرار می گیرد. این وضعیت موجب افزایش وقفه گذار انرژی (Δt) خواهد شد. (نتایج تحقیق)

سوم، در حالتی که دو منحنی همدیگر را قطع می‌کنند، در سمت راست نقطه تقاطع، بهره‌برداری از منبع فسیلی و در سمت راست آن بهره‌برداری از منبع انرژی جایگزین دارای صرفه اقتصادی است. بنابراین در مجموع، منحنی هزینه (برای منبع دارای صرفه اقتصادی)، را می‌توان به صورت یک چتر ترسیم یا تصور کرد. به بیان دیگر، رشد فناوری، موجب محافظت از مصرف‌کننده در مقابل تحمیل هزینه‌های بالاتر می‌شود[۱]. این منحنی را می‌توان چتر هزینه انرژی متاثر از فناوری و یا به اختصار، "چتر فناوری[۲]" نام‌گذاری کرد. نمودار ۷ نشان داده شده است.

چهارم گر چه موضوع این مطالعه محدود به انرژی است، اما نظریه فوق و مفهوم چتر فناوری قابل تعمیم به هر کالا یا خدمت دیگری می‌باشد. در بخش انرژی، گذار از زغال‌سنگ به نفت و گاز در دهه ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ منجر به شکل‌گیری یک چتر فناوری شده است.

---

۱. مانند چتر برای اجتناب از خیس شدن عمل می‌کند.

2. Technology Umbrella (TU)

۴- یافته‌های تجربی پژوهش

با توجه به چارچوب مفهومی و یافته‌های نظری بخش ۳، در این بخش ضمن بررسی شواهد تجربی، شمای کلی دو منحنی هزینه‌های عرضه انرژی فسیلی و جایگزین ترسیم شده و منحنی چتر فناوری برای گروه کشورهای منتخب استخراج می‌شود. برای سادگی، بررسی‌های تجربی محدود به نفت خام به‌عنوان مهم‌ترین حامل فسیلی شده است. بر این اساس، ابتدا شواهد مربوط به هزینه مستقیم تولید و عرضه نفت خام بررسی می‌شوند. سپس دو جزء رانت قیمت و هزینه تخریب محیط‌زیست بررسی خواهند شد. به این ترتیب، منحنی هزینه عرضه انرژی فسیلی ترسیم خواهد شد. از سوی دیگر، با توجه به یافته‌های تجربی، منحنی هزینه انرژی جایگزین نیز استخراج خواهد شد. در نهایت، منحنی چتر فناوری از ترسیم همزمان دو منحنی قبلی در یک دستگاه حاصل می‌شود.

۴-۱- هزینه عرضه نفت خام

در حالت تعمیم یافته، هزینه عرضه و مصرف نفت شامل سه جزء است. اول هزینه مالی مستقیم تولید و عرضه نفت، دوم اختلاف قیمت بازار جهانی نفت و هزینه تولید (هزینه فرصت یا رانت ریکاردو) و سوم آثار زیست‌محیطی تولید و مصرف نفت. هر یک از این سه جزء به شرح زیر است[۱].

۴-۱-۱- جزء اول: هزینه‌های مستقیم عرضه نفت

هزینه‌های عرضه نفت به ویژگی‌های میدان نفتی و نوع نفت (سبک، سنگین معمولی یا غیر متعارف) بستگی دارد. جدول ۱ هزینه تولید و کل هزینه‌های عرضه را در کشورهای مختلف نشان می‌دهد.

---

[۱]. با وجود شواهدی (مانند افت فشار میادین بزرگ، بهره‌برداری از میادین کوچک پرهزینه و همچنین بهره‌برداری از نفت نامتعارف) مبنی بر صعودی بودن هزینه تولید نفت خام شده، برای سادگی این منحنی به صورت خطی رسم شده. حتی نزولی بودن آن نیز، تحت شرایطی، می تواند نتیجه نهائی را مخدوش نکند.

جدول ۱. هزینه عرضه نفت در کشورهای منتخب

کشور	هزینه عرضه ($/bbl)		کشور	هزینه عرضه ($/bbl)		کشور
	کل	تولید		کل	تولید	
۲۱/۳۱	۴/۲۴	نروژ	۴۴/۳۳	۱۷/۳۶	انگلستان
۱۹/۷۱	۶/۸۷	اندونزی	۳۴/۹۹	۹/۴۵	برزیل
۱۹/۲۱	۲/۹۸	روسیه	۲۸/۹۹	۸/۸۱	نیجریه
۱۰/۵۷	۲/۱۶	عراق	۲۷/۶۲	۷/۹۴	ونزوئلا
۹/۰۹	۱/۹۴	ایران	۲۶/۶۴	۱۱/۵۶	کانادا
۸/۹۸	۳	عربستان سعودی	۲۳/۳۵	۵/۸۵	شیل آمریکا (نفت شیل)

Kosatka.media

در کنار اطلاعات فوق، جدول دیگری با تفکیک هزینه سرمایه ای و بهره‌برداری نیز توسط پایگاه اطلاعاتی (ststista) تولید و به شرح زیر منتشر شده است.

جدول ۲. هزینه عرضه نفت در کشورهای منتخب به تفکیک هزینه سرمایه‌ای و بهره‌برداری

	هزینه عرضه ($/bbl)				هزینه عرضه ($/bbl)		
کشور	سرمایه ای	بهره برداری	کل	کشور	سرمایه ای	بهره برداری	کل
انگلستان	۲۱/۸	۳۰/۷	۵۲/۵	قزاقستان	۱۶/۳	۱۱/۵	۲۷/۸
برزیل	۱۷/۳	۳۱/۵	۴۸/۸	لیبی	۱۶/۶	۷/۲	۲۳/۸
کانادا	۱۷/۸	۲۲/۴	۴۱/۱	ونزوئلا	۹/۶	۱۳/۹	۲۳/۵
آمریکا	۲۱/۵	۱۴/۸	۳۶/۳	الجزایر	۱۳/۲	۲/۷	۲۰/۴
نروژ	۲۴	۱۲/۱	۳۶/۱	روسیه	۸/۹	۸/۴	۱۷/۳
آنگولا	۱۸/۸	۱۶/۶	۳۵/۴	ایران	۶/۹	۵/۷	۱۲/۶
کلمبیا	۱۵/۵	۱۹/۸	۳۵/۳	امارات	۶/۶	۵/۷	۱۲/۳
نیجریه	۱۶/۲	۱۵/۳	۳۱/۵	عراق	۵/۶	۵/۱	۱۰/۷
چین	۱۵/۶	۱۴/۳	۲۹/۹	عربستان سعودی	۴/۵	۵/۴	۹/۹
مکزیک	۱۸/۳	۱۰/۷	۲۹	کویت	۳/۷	۴/۸	۸/۵

Ststista, 2015

هرچند محقق نتوانسته زمان محاسبه ارقام جدول شماره (۱) را تشخیص دهد، اما با مقایسه ارقام آن با جدول شماره (۲)، به نظر می‌رسد زمان محاسبات مربوط به قبل از سال ۲۰۱۵ باشد. با این وجود نکته حائز اهمیت این است که اولا ترتیب کشورها بین دو جدول تفاوت چندانی ندارد. دوم اینکه، مقدار کمی هزینه تولید نفت، تاثیری بر نتیجه‌گیری کلی این مطالعه ندارد.

مطابق اطلاعات این دو جدول، هزینه عرضه نفت خام در کشورهائی مانند ایران، عراق، عربستان و کویت حدود ۱۰ دلار برای هر بشکه نفت خام است. یعنی، مبادله نفت در بازارهای داخلی در این سطح از قیمت (یا کمی بیشتر) می‌تواند جریان نقدینگی کافی برای سرمایه‌گذاری و عرضه نفت به ویژه برای بازار داخلی و برای یک افق بلندمدت را فراهم نماید. در سه کشور برزیل، کانادا و انگلستان، متوسط هزینه تولید و عرضه نفت به بازار بیش از ۴۰ دلار برای هر بشکه می‌باشد. این رقم برای کشور آمریکا حدود ۳۵ دلار است. اهمیت اطلاعات این جدول در این است که آستانه وابستگی به نفت را مشخص می‌کند. یعنی حتی اگر با ورود گسترده منابع تجدیدپذیر و افت قیمت انرژی، برخی از این کشورها (مانند ایران) تمام تقاضای نفت در بازارهای بین المللی را از دست بدهد، حداقل در بحث نظری، می‌توان فرض کرد با عقب نشینی از قیمت می‌تواند ضمن انتقال بخشی از ظرفیت تقاضا به داخل، بازار هدف را تغییر دهد.

در مجموع، بر اساس اطلاعات جداول فوق، انتظار می‌رود حد پائین منحنی چتر فناوری متعلق به یکی از پنج کشور نفت‌خیز و درحال‌توسعه یعنی ایران، امارات متحده عربی، عربستان سعودی، عراق یا کویت باشد. همچنان که ملاحظه خواهد شد، کران بالا خارج از این مجموعه و متعلق به کشورهای توسعه یافته غیر نفتی است.

۴-۱-۲- جزء دوم: قیمت بازار و رانت قیمت

دومین جزء هزینه تعمیم یافته تولید و مصرف نفت، اختلاف قیمت بازار جهانی و هزینه عرضه نفت به این بازارهاست. به بیان دیگر، چنانچه کشوری مانند عراق بتواند هر بشکه نفت خود را ۸۰ دلار به فروش برساند، آنگاه با هزینه تقریبی ۱۱ دلار برای هر بشکه، از ۶۹ دلار رانت برخوردار شده است. استخراج رقم دقیق رانت قیمت به عوامل مختلفی از جمله نوع نفت، هزینه عرضه به بازار و قیمت فروش بستگی دارد. بنابراین نمی‌توان رقم

ثابتی را برای آن ارائه کرد، هرچند برآورد این رقم ضروری هم به نظر نمی‌رسد. آنچه ضروری است، کران پائین هزینه تولید کشورهای برخوردار از منابع نفت می‌باشد. کشورهای خریدار نفت نیز با پرداخت قیمت بازارهای جهانی عملا رانت قیمت را برای مصرف‌کننده درون زا می‌کنند. به بیان دیگر، مصرف‌کننده هر دو جزء اول و دوم هزینه را پرداخت می‌کند. جدول ۳ سری زمانی قیمت بازار را به صورت اسمی و واقعی نشان می‌دهد. بر این اساس کشوری مانند ژاپن، توسعه‌یافته و فاقد منابع نفتی، بدون احتساب آثار زیست‌محیطی نفت، باید حدود ۷۱ دلار پرداخت کند تا به نفت خام دسترسی داشته باشد.

جدول ۳. قیمت نفت (اسمی و واقعی)

به قیمت ثابت ۲۰۲۱	دلار روز	سال	به قیمت ثابت ۲۰۲۱	دلار روز	سال
۴۷/۱۶	۴۳/۷۳	۲۰۱۶	۹۴/۳۵	۷۹/۵	۲۰۱۰
۵۷/۲۲	۵۴/۱۹	۲۰۱۷	۱۲۸/۰۱	۱۱۱/۲۶	۲۰۱۱
۷۳/۵	۷۱/۳۱	۲۰۱۸	۱۲۵/۸۸	۱۱۱/۶۷	۲۰۱۲
۶۵	۶۴/۲۱	۲۰۱۹	۱۲۰/۷۲	۱۰۸/۶۶	۲۰۱۳
۴۳/۸	۴۱/۸۴	۲۰۲۰	۱۰۸/۱۷	۹۸/۹۵	۲۰۱۴
۷۰/۹۱	۷۰/۹۱	۲۰۲۱	۵۷/۲	۵۲/۳۹	۲۰۱۵

BP states-review-2021

نکته دیگر اینکه، با وجود پیش‌بینی قیمت نفت خام تحت سناریوهای مختلف (آژانس بین المللی انرژی، ۲۰۲۲) ، این امر اصولا تابع روند گذار و خروجی آن است نه تعیین کننده آن.

۴-۱-۳- جزء سوم: خسارات زیست‌محیطی

سومین جزء از هزینه تعمیم یافته تولید و مصرف نفت، خسارت‌های زیست‌محیطی است. تا قبل از برآورد ارزش مالی این خسارت‌ها و وضع مقرراتی (مانند مالیات بر کربن) برای درون‌زا کردن این آثار، عملا فعالان بازار، نقطه بهینه تصمیم (تولید یا مصرف) را مستقل از خسارت وارد شده استخراج و مبنای رفتار تولید یا مصرف خود قرار می‌دهند. از این منظر، کشورهائی که ناگزیر به خرید نفت با قیمت بازار جهانی نفت هستند را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. اول گروهی که با اتخاذ تدابیر لازم، خسارت‌های

زیست‌محیطی تولید و مصرف نفت خام را درون‌زا کرده‌اند. دوم کشورهائی که چنین مقرراتی وضع نکرده‌اند[۱]. برای تشخیص آثار این جزء، دو موضوع موردبررسی قرار می‌گیرد. اول خسارت‌های زیست‌محیطی تولید و مصرف نفت و دوم شناسایی کشورهائی که با وضع مالیات بر کربن، در صدد درون‌زا کردن این جزء از هزینه بوده‌اند.

۴-۲- خسارت‌های زیست‌محیطی عرضه و مصرف نفت

با فرض انتشار CO2 به‌عنوان معیار آلایندگی سوخت‌های فسیلی، جدول ۴ میزان انتشار را برای انواع سوخت/صنعت نشان می‌دهد. بر اساس اطلاعات این جدول، زغال‌سنگ و نفت دارای بیشترین آلایندگی هستند. با توجه به تنوع نفت خام بیش از ۱۵۰ نوع مختلف عملا نمی‌توان یک کمیت خاص برای آلایندگی آن در نظر گرفت. مشکل دیگر، یافتن یک معادل کمی (مالی) برای آن است. در اینجا نیز ضمن تأکید بر اهمیت ارزش‌گذاری ذهنی در مقایسه با محاسبه خسارت وارد شده، برای حالت اخیر نیز روش‌های متعددی ارائه شده است. یک لیتر نفت می‌تواند یک میلیون لیتر آب را آلوده کند[۲]. براساس گزارش موسسه تلوس، مصرف نفت در یک سال (۱۹۹۲) منجر به انتشار ۳/۲۶ میلیون تن SO_X، ۱۱/۹۴ میلیون تن NO_X و ۷۱ میلیون تن CO2 شد.

جدول ۴. انتشار CO2 بر حسب نوع سوخت یا صنعت در جهان

سوخت / نوع صنعت	انتشار CO_2-میلیارد تن	
	۲۰۲۱	۲۰۲۲
زغال سنگ	۱۴/۹۸	۱۵/۲۲
نفت	۱۱/۵۱	۱۱/۸۸
گاز	۷/۹۲	۷/۷۵
سیمان	۱/۶۹	۱/۶۱
شعله ور شدن	۰/۴۰۳	۰/۳۹۷
سایر صنایع	۰/۳۰۱	۰/۳۰۱
مجموع	۳۶/۸۲	۳۷/۱۵

Global Carbon Budget (2023)

۱. این گروه ممکن است در آینده با وضع مقررات لازم به گروه اول بپیوندند. همچنان که در ادامه بیان می شود، کیفیت مقررات وضع شده هم مهم است.

2. oil care campaign www.oilcare.org.uk/whatwedo.

مگیل (۲۰۱۷)، انتشار دی‌اکسید کربن برای ماسه‌های نفتی و نفت فوق سنگین را به ترتیب، ۹/۳ و ۱۵/۸ گرم بر مگا ژول گزارش کرده است. تولید نفت مصنوعی از طریق استخراج سطحی و ارتقاء منجر به انتشار ۱۶۴-۶۲ کیلوگرم معادل CO2 در هر بشکه می‌شود. این میزان انتشار به مراتب بیشتر از مشابه آن (۵۸-۲۷ کیلوگرم) در منابع متعارف است (کارپنتیر و همکاران، ۲۰۰۹). در همین مرجع، میزان انتشار آلاینده از روش‌های مختلف استخراج، بین ۹۹ تا ۱۷۶ کیلوگرم در هر بشکه برآورد شده است. این میزان آلودگی ۳/۲ تا ۴/۵ برابر بیشتر از میزان تولید هر بشکه نفت متعارف در آمریکای شمالی است. بنابراین، بسته به نوع نفت و شرایط تولید و مصرف آن، می‌توان جزء سوم از هزینه‌های تعمیم یافته نفت را محاسبه کرد. برخی منابع (انرژتیک، ۱۹۹۴) هزینه زیست‌محیطی نفت را ۴۵/۰۹ دلار در هر بشکه برآورد کرده‌اند. همچنین وانگ و همکاران (۲۰۲۰) هزینه زیست‌محیطی نفت را ۴۷۸/۹ یوان در هر تن[1] برآورد کرده‌اند.

بر این اساس، چنانچه یک کشوری به طور تقریبی معادل ۴۵ دلار مالیات بر کربن بر هر بشکه نفت وضع کند، جزء سوم را درون‌زا کرده و هزینه‌های تعمیم‌یافته را از مصرف‌کننده دریافت خواهد نمود.

۴-۳- مالیات بر کربن یا یارانه انرژی

از منظر آثار زیست‌محیطی منابع فسیلی، کشورهای دنیا را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. گروه اول کشورهائی که با وضع مالیات بر منابع فسیلی، قیمت پرداختی مصرف‌کننده را به هزینه تعمیم یافته نزدیک می‌کنند و در مقابل گروه دوم کشورهایی که با اعطای یارانه باعث گسترش شکاف قیمت و هزینه عرضه نفت می‌شوند. جدول ۵ بیست کشور با پرداخت بالاترین میزان یارانه انرژی در جهان را نشان می‌دهد. روسیه، ایران، چین و عربستان در صدر این جدول قرار دارند. میزان یارانه پرداختی هر کشور تقریبا در دامنه ۲۰ تا ۱۶۰ میلیون دلار محاسبه شده است. لذا، این کشورها نمی توانند در گروه کشورهائی قرار داده شوند که هزینه تعمیم یافته تولید و مصرف انرژی فسیلی را محاسبه و از مصرف‌کننده دریافت می‌کنند. در مقایسه با گروه اول، جدول ۶ نیز ۲۰ کشور اول جهان را نشان می‌دهد که نسبت به وضع و اعمال مقررات مالیات کربن اقدام

---

۱. تقریبا معادل ۶۶/۸ دلار در هر تن.

کرده‌اند. اینکه جدول ۶ شامل کشورهای توسعه‌یافته اروپایی است، کاملا در انطباق با نظریه و انتظارات محقق است.

جدول ۵. بیست کشور اول پرداخت کننده بیشترین میزان یارانه انرژی

کشور	مجموع یارانه انرژی فسیلی (میلیون دلار)	کشور	مجموع یارانه انرژی فسیلی (میلیون دلار)
روسیه	۱۶۱	ویتنام	۳۳
ایران	۱۲۷	پاکستان	۲۷
چین	۱۰۴	بنگلادش	۲۶
عربستان	۷۷	ازبکستان	۲۳
مصر	۶۵	عراق	۲۲
هند	۵۵	کویت	۲۱
اندونزی	۴۴	آرژانتین	۲۱
الجزایر	۴۰	قطر	۲۰
امارات	۳۷	اکراین	۱۹
قزاقستان	۳۵	نیجریه	۱۹

EIA (2023)

با توجه به اینکه هر تن معادل CO2 پیامد مصرف تقریبی ۳ بشکه نفت خام است، بنابراین، وضع ارقام جدول ۶ به‌عنوان مالیات کربن به این معنی است که کشورهای اروپائی بین ۲ تا ۴۱ دلار به قیمت نفت در بازار اضافه کرده و برای جبران خسارت‌های زیست‌محیطی این رقم را، از مصرف‌کنندگان دریافت کرده‌اند. این اطلاعات، در مقایسه با محاسبات انجام شده در مورد قیمت بازار جهانی نفت و خسارت تقریبی زیست‌محیطی آن، دو نکته مهم را نشان می‌دهد. اول، بجز سه کشور سوئیس، لیختن‌اشتاین و سوئد، هیچ کشور دیگری در جهان موفق نشده تا این حد به کران بالای هزینه تعمیم یافته تولید و مصرف نفت خام نزدیک شود. دوم، با وجود وجه مشترک اغلب کشورهای توسعه‌یافته در وضع مقررات مالیات کربن، رقم وضع شده به‌عنوان مالیات، در میان کشورها یکسان نبوده به طوری که مقررات وضع شده در کشورهائی مانند اسلوونی، اسپانیا، لتونی، لهستان و استونی را می‌توان خنثی فرض کرد.

جدول ۶. مالیات کربن برای کشورهای منتخب اروپایی

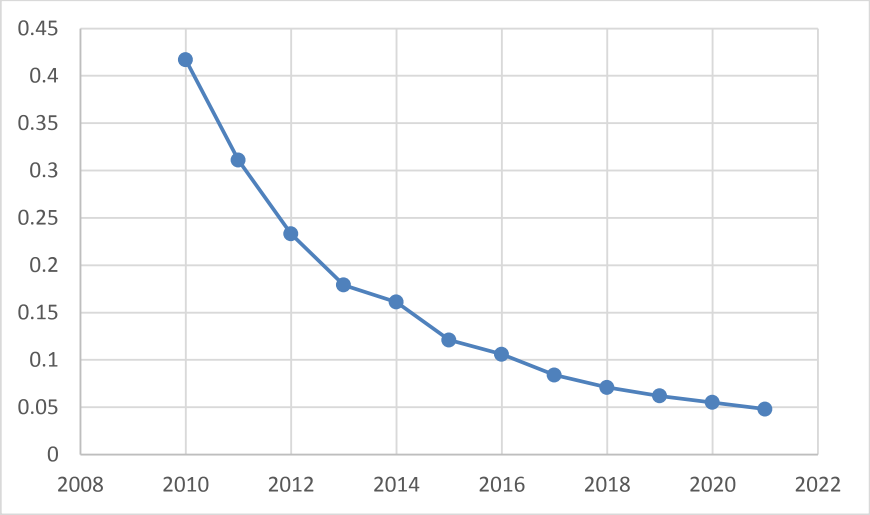
نرخ مالیات کربن (یورو/تن معادل co2)	کشور	نرخ مالیات کربن (یورو/تن معادل co2)	کشور
۳۰	آلمان	۱۲۰/۱۶	سوئیس
۳۲/۵	اتریش	۱۲۰/۱۶	لیختن اشتاین
۲۴/۳۷	دانمارک	۱۱۵/۳۴	سوئد
۲۳/۹	پرتغال	۸۳/۴۷	نروژ
۲۰/۴۶	انگلستان	۷۶/۹۲	فنلاند
۱۷/۳	اسلوونی	۵۱/۰۷	هلند
۱۴/۹۸	اسپانیا	۴۸/۴۵	ایرلند
۱۴/۹۸	لتونی	۴۴/۵۵	فرانسه
۱۳/۲۷	لهستان	۴۴/۱۹	لوکزامبورگ
۲	استونی	۳۵/۴	ایسلند

The World Bank (2023)

۴-۴- هزینه انرژی جایگزین

در کنار هزینه تولید و مصرف نفت، استخراج منحنی چتر فناوری مستلزم برآورد هزینه انرژی جایگزین است. برای سادگی، انرژی خورشیدی به‌عنوان نماینده انرژی جایگزین منابع فسیلی فرض می‌شود. تغییر این حامل، نتایج اصلی این تحقیق را مخدوش نمی‌کند. برای تخمین سطح و روند هزینه انرژی خورشیدی، منابع مختلفی در دسترس است. سوانسون (۲۰۱۱) قیمت‌های فروش، به قیمت ثابت سال ۲۰۱۰، ماژول‌های فتوولتائیک را در مقابل تعداد ماژول‌های فتوولتائیک تولیدی از سال ۱۹۷۸ ترسیم کرده است. رایکلشتاین و ساهو (۲۰۱۸) وگلنک و همکاران (۲۰۲۱) روند کاهشی هزینه‌های تولید برق خورشیدی و دلایل آن را ارائه کرده‌اند. همچنین هاستینگز- سایمون و همکاران (۲۰۲۲) نشان می‌دهند قراردادهای خرید برق تجدیدپذیر جدید در برخی از ایالت‌های کانادا در محدوده ۳۰ تا ۴۳ دلار کانادا برای هر مگاوات ساعت (۲۳ تا ۳۳ دلار آمریکا) منعقد شده است. پژوهش‌های مختلف (پورتر ۱۹۹۰; تیرول ۱۹۸۸; لیبرمن ۱۹۸۴) روند کاهشی هزینه انرژی خورشیدی را تائید کرده‌اند. آژانس بین‌المللی

انرژی‌های تجدیدپذیر (۲۰۲۲)، نیز به‌عنوان یک مرجع قابل اتکاء روند کاهشی هزینه تولید انرژی خورشیدی را (از ۰/۴۱۷ دلار در هر کیلووات ساعت در سال ۲۰۱۰ به ۰/۰۴۸ در سال ۲۰۲۱) گزارش کرده است.



نمودار ۸. منحنی هزینه انرژی جایگزین (IRENA, 2022)

نکته حائز اهمیت اینکه همانند هر فناوری جدید، کاهش هزینه عرضه انرژی جایگزین در ابتدا شیب تند کاهشی را تجربه کرده، اما به تدریج در یک سطح معین به تعادل بلندمدت می‌رسد یعنی جائی که کاهش هزینه دیگر به سادگی میسر نخواهد بود. همچنان که الیا[1] و همکاران (۲۰۲۱) اشاره می‌کنند، تشخیص عوامل پیش برنده کاهش هزینه عرضه انرژی جایگزین نقش مهمی در اجتناب از خطای پیش بینی کاهش این هزینه در آینده دارد.

۴-۵- برآورد منحنی چتر فناوری

با توجه به چارچوب بیان شده برای هزینه سوخت‌های فسیلی و انرژی جایگزین، حال می‌توان منحنی چتر فناوری را ترسیم کرد. برای این منظور و در راستای تقسیم‌بندی ارائه شده در ابتدای مقاله، می‌توان کشورهای نمونه را بر مبنای توسعه‌یافتگی و نفت خیز بودن انتخاب و بررسی کرد. جدول ۷ صرفا یک پیشنهاد اولیه در این زمینه ارائه می‌دهد.

1. A. Elia et. al. 2021.

جدول ۷. یک نمونه از انتخاب کشورها بر اساس دو عامل منتخب

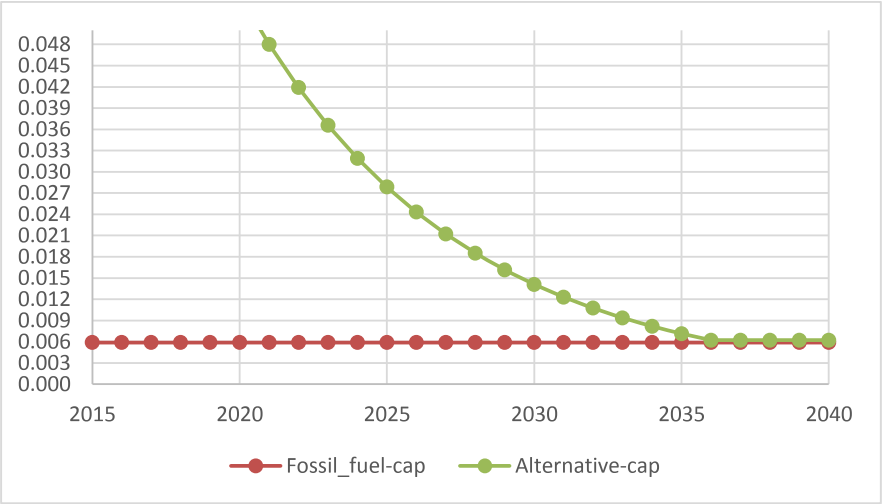
غیرنفتی	نفت‌خیز	
پاکستان	ایران، عربستان سعودی و عراق	درحال‌توسعه
سوئیس، سوئد، لیختن اشتاین	نروژ، آمریکا، بریتانیا	توسعه‌یافته

با توجه به شواهد تجربی بخش قبل، می‌توان فرضیه مرتبط با سوال پژوهش مبنی بر تمایل کشورهای در حال توسعه نفتی به کران پائین از هزینه تعمیم یافته و کشورهای توسعه یافته غیر نفتی به کران بالا را تائید کرد. برای این منظور، قیمت و یارانه انرژی کشورهای نفتی به ویژه ایران با قیمت و مالیات کربن کشورهای توسعه‌یافته غیر نفتی مانند سوئیس و سوئد مقایسه شود. از این نظر، با توجه به یارانه معنی‌دار انرژی و عدم احتساب مالیات کربن (بابت آثار زیست‌محیطی) ایران، به کران پائین نزدیک است و در مقابل به دلیل تامین انرژی در بازار جهانی (پرداخت هزینه تولید و رانت قیمت) و همچنین وضع مالیات بر کربن بسیار سنگین (با توجه به آثار زیست‌محیطی)، سوئیس، سوئد و لیختن‌اشتاین به کران بالا نزدیک شده‌اند. سایر کشورها بین این دو کران قرار می‌گیرند.

۴-۶- منحنی چتر فناوری کشورهای درحال‌توسعه نفت‌خیز

بر اساس اطلاعات جدول ۱، هزینه تولید و مصرف نفت‌خام حتی در میادین بزرگ و ارزان، کمتر از ۱۰ دلار برای هر بشکه گزارش نشده است. لذا این رقم را می‌توان کران پائین هزینه تامین انرژی فسیلی به حساب آورد. با تبدیل این رقم به انرژی الکتریکی، معادل ۰/۶ سنت برای هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی حاصل خواهد شد[۱]. بنابراین با ترسیم کران پائین هزینه نفت در کنار نمودار ۸، چتر فناوری برای کشورهای نفت‌خیز درحال‌توسعه حاصل خواهد شد. نمودار ۹.

۱. در اینجا یک معادل سازی حرارتی صورت گرفته است. اگر تبدیل انرژی مورد توجه باشد، این رقم، متاثر از راندمان تبدیل، کمتر خواهد شد.



نمودار ۹. منحنی چتر فناوری برای یک کشور درحال‌توسعه معمولی نفت‌خیز (نتایج تحقیق)

این نتیجه نشان می‌دهد گذار انرژی برای کشورهای نفت‌خیز درحال‌توسعه، بسیار طولانی خواهد بود. به بیان دیگر، این کشورها برای یک دوره طولانی در مقابل گذار انرژی مقاومت خواهند کرد. تاکید می‌شود این مقاومت به معنای عدم بروز خسارت نیست. در چارچوب تحلیل انجام شده، این کشورها ارزش ذهنی خسارت را کمتر از مقدار واقعی منظور می‌کنند زیرا دهک‌های زیادی[1] از جامعه در سطوح پائین هرم نیازها قرار دارند.

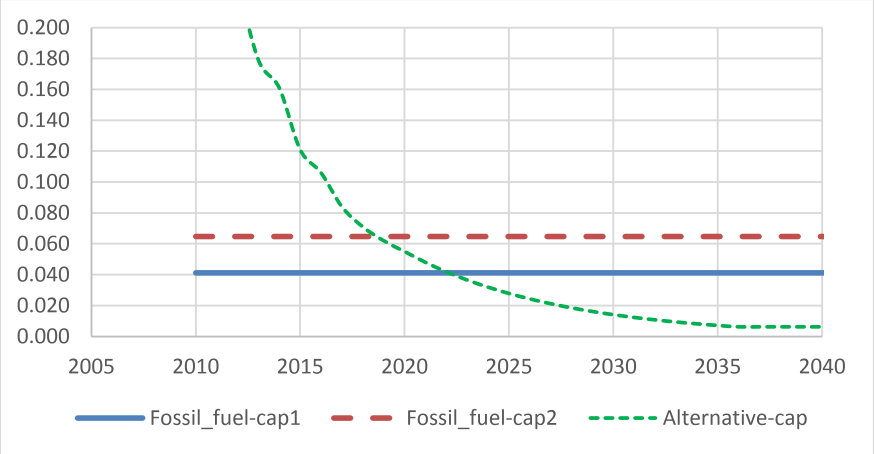
۴-۷- منحنی چتر فناوری کشورهای توسعه‌یافته غیرنفتی

در مقایسه با گروه کشورهای درحال‌توسعه و برخوردار از منابع انرژی فسیلی، کشورهای توسعه‌یافته را می‌توان به دو گروه تقسیم کرد. اول، سه کشور سوئیس، سوئد و لیختن اشتاین که به طور خاص با وضع مالیات بر کربن بالا، تفاوت معنی داری با سایر کشورها دارند. دوم، سایر کشورهای توسعه‌یافته که آثار زیست‌محیطی تولید و مصرف منابع فسیلی را از طریق مالیات بر کربن درون زا کرده‌اند اما نه به نسبت سه کشور مورد اشاره.

۱. نکته حائز اهمیت و قابل بررسی در مطالعات بعدی، تاثیر نظام سیاسی (دیکتاتوری یا دموکراتیک) بر این موضوع است. می‌توان نشان داد علی‌رغم سهم بالای دهک‌ها در سطوح پائین هرم نیازها، یک سیستم متمرکز قدرت، برای نمایش یا ارضای خواسته‌های شخصی، ممکن است طرح‌های جاه‌طلبانه‌ای در حوزه انرژی جایگزین را به اجرا درآورد.

بنابراین می‌توان دو منحنی متمایز چتر فناوری برای کشورهای توسعه‌یافته ترسیم نمود. اول، کران بالای هزینه تعمیم یافته تولید و مصرف نفت خام. سه کشور سوئیس، سوئد و لیختن اشتاین در این زمینه در یک گروه قرار می‌گیرند. با احتساب مالیات بر کربن و نفت ۷۰ دلاری برای هر بشکه در بازار جهانی نفت (در مجموع و به طور تقریبی معادل ۱۱۰ دلار برای هر بشکه)، هزینه معادل برای مقایسه با منابع انرژی جایگزین تقریبا معادل ۶/۵ سنت برای هر کیلووات ساعت انرژی الکتریکی خواهد بود. این رقم برای گروه دوم، اغلب کشورهای اروپائی، معادل تقریبی ۴/۱ سنت برای هر کیلووات ساعت است. به این ترتیب، دو منحنی چتر فناوری برای این دو گروه از کشورها به صورت شکل ۱۰ خواهد بود.

منحنی چتر فناوری برای کشورهای توسعه‌یافته و عمدتا غیرنفتی نشان می‌دهد سه کشور سوئد، سوئیس و لیختن‌اشتاین اولین کشورهائی هستند که در سال ۲۰۱۹ اوج اقتصادی نفت را پشت سر گذاشته و وارد عصر بعد از نفت شده‌اند. سایر کشورهای توسعه‌یافته نفتی، عملا با یک وقفه تقریبی ۵ ساله و از سال ۲۰۲۳ از اوج اقتصادی نفت عبور کرده‌اند. با وجود عدم افزایش مالیات بر کربن در کشورهای اخیر نسبت به سه کشور قبل، کاهش هزینه انرژی جایگزین این نقصان را جبران کرده است.



نمودار ۱۰. منحنی چتر فناوری برای کشورهای توسعه‌یافته غیرنفتی (دو گروه). با وجود ترسیم خطی منحنی هزینه انرژی فسیلی، در عمل، عواملی مانند افت فشار میادین بزرگ نفتی، حرکت به سمت میادین کوچک و پرهزینه و همچنین افزایش سهم منابع نفتی نامتعارف، انتظار می رود این منحنی دارای شیب مثبت باشد. در این حالت تقاطع منحنی های فوق، انعکاس تصویری بهتری برای چتر فناوری خواهد بود. (نتایج تحقیق)

۵- نتیجه گیری و پیشنهادها

این مطالعه از جنبه نظری، امکان وجود الگوی متمایز برای کشورهای مختلف را بررسی کرده است. برای این منظور، چارچوب مفهومی جایگزینی منابع فسیلی با انرژی‌های جایگزین طراحی و بکار گرفته شد. در همین ارتباط با معرفی مفهوم هزینه‌های تعمیم یافته تولید و مصرف منابع فسیلی، هزینه مستقیم تولید به‌عنوان کران پائین محاسبه و کران بالا نیز با افزودن رانت قیمت و خسارت‌های زیست‌محیطی به جزء اول، محاسبه گردید.

نظریه رانت قیمت، هرم نیازهای مازلو و منحنی زیست‌محیطی کوزنتس، زیرساخت نظری این مفاهیم را توضیح داده و به دنبال آن، شواهد تجربی مربوط به هزینه تولید نفت، قیمت بازارهای جهانی و خسارت‌های زیست‌محیطی (در کنار یارانه انرژی یا مالیات کربن) نیز بررسی و ارائه شد. از چارچوب نظری مطالعه حاضر این نتیجه حاصل شد که از تلاقی منحنی هزینه (تعمیم یافته) انرژی فسیلی با منحنی هزینه انرژی جایگزین، می‌توان منحنی چتر فناوری را استخراج کرد. نقطه اوج این منحنی، اوج اقتصادی نفت محسوب شده و آغاز یک عصر جدید است.

در بخش نتایج و شواهد تجربی، ضمن استخراج منحنی چتر فناوری برای کشورهای درحال‌توسعه نفت‌خیز و توسعه‌یافته غیرنفتی، دو یافته‌های تجربی نشان می‌دهد کشورهای درحال‌توسعه و نفت‌خیز طی یک دهه آینده در نقطه بی‌تفاوتی گذار از انرژی فسیلی به انرژی جایگزین خواهند بود. این بی‌تفاوتی متمایل به انرژی فسیلی است لااقل به این دلیل که این کشورها به فناوری انرژی جایگزین دسترسی ندارند. کشورهای توسعه‌یافته نیز به دو گروه تقسیم می‌شوند. گروه اول، تعداد محدودی، در حال حاضر سه کشور سوئد، سوئیس و لیختن اشتاین که بالاترین رقم مالیات بر کربن را وضع کرده و از سال ۲۰۱۹ از اوج اقتصادی نفت و منابع فسیلی عبور کرده‌اند. گروه دوم شامل سایر کشورهای توسعه‌یافته غیرنفتی است که به دلیل وضع مالیات بر کربن پائین‌تر، نسبت به گروه اول، دارای تاخیر زمانی در عبور از اوج اقتصادی نفت بوده‌اند، اما به دلیل کاهش هزینه عرضه انرژی جایگزین، عملا این گروه از کشورها نیز از سال ۲۰۲۳ از اوج اقتصادی نفت عبور کرده‌اند.

نتایج این تحقیق از آن جهت حائز اهمیت است که موجب می‌شود انتظارات حول یک هدف مشترک و کلان معطوف به حقیقت نظام تصمیم‌گیری کشورها در این حوزه شده و هدفگذاری‌های غیر واقعی و انتظار گذر زودهنگام انرژی را واقع بینانه‌تر نماید. در عین حال، تلاش برای گذار انرژی به ناگزیر می‌بایست به تلاش برای شناسایی و رفع کاستی‌هائی منجر شود که موجب مقاومت در مقابل تغییر می‌شوند.

آیا یک کشور نفتی درحال‌توسعه می‌تواند رفتار متفاوتی نسبت به الگوی ارائه شده در این مدل داشته باشد؟ پاسخ تحت شرایطی مثبت و خارج از آن منفی است. چنانچه کشور نفتی درحال‌توسعه متکی به یک نظام دموکراتیک باشد، پاسخ منفی است. زیرا نیازهای شهروندان مطالبه‌گری اجتماعی را شکل می‌دهد. چنانچه سیاست‌مداران منتخب خلاف این نیازها رفتار کنند، در ادوار بعدی مجددا مورد اقبال مردم نخواهند بود. بااین‌حال، چنانچه ساختار سیاسی کشور متمرکز باشد، امکان انحراف رفتار کشور موردبررسی از الگوی پیشنهادی وجود دارد. در این حالت، بر حسب تشخیص حکمران مادام العمر، امکان اتخاذ تصمیمات ناسازگار با شرایط اجتماعی کشور وجود دارد. اینکه چنین سیستمی چه میزان پایدار خواهد بود، سئوالی جدی اما خارج از موضوع این مقاله است.

به عنوان یک توصیه سیاستی کلیدی، بازبینی سیاست‌های توسعه انرژی تجدید پذیر و شیوه‌های حمایتی جاری در این حوزه در ایران، تمرکز بر توسعه فناوری به جای نصب مولد وارداتی، به عنوان یک کشور در حال توسعه نفتی، ضروری است.

در نهایت، مادام که نیروهای پیشران و تاثیرگذار بر انتخاب کارآفرینان در کشورهای مختلف تغییر نکنند، تمرکز بر گذار انرژی، دور شدن از منابع فسیلی و کاهش انتشار همچنان به‌عنوان یک هدف مشترک مهم، دور از دسترس باقی خواهد ماند.

تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافعی در انجام این پژوهش وجود ندارد. محقق به نتایج علمی پایبند است.

سپاسگزاری‌ها

نقطه آغازین این بحث به دوران تحصیل محقق در دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه برمی‌گردد. با این حال، لازم است از پژوهشگاه نیرو و سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری ایران (ساتبا) به واسطه حمایت از انجام این پژوهش نیز سپاسگزاری شود.

منابع

- ارباب، حمیدرضا، علی امامی میبدی و صبا رجبی قادری، ۱۳۹۶، رابطه مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و رشد اقتصادی در کشورهای منتخب اوپک، پژوهشنامه اقتصاد ایران، سال ششم، شماره ۲۳، صص ۵۶-۲۹.
- اسدزاده، احمد و زهرا جلیلی، ۱۳۹۴، تأثیر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در کشورهای پیشرفته: شواهدی از هم‌انباشتگی پانلی و برآوردگر CUP-FM، جلد ۱۱ شماره ۴۷، صص ۱۸۰-۱۶۱.
- پرهیزکار کهنه اوغاز، مرتضی، مسعود نیکوقدم و عبدالله خوشنودی، ۱۴۰۰، بررسی اثر مصرف انرژی تجدیدپذیر بر توسعه پایدار در کشورهای عضو اوپک، فصلنامه اقتصاد و تجارت نوین، شماره ۵۰، صص ۶۰-۲۹.
- تهامی‌پور، مرتضی، سمانه عابدی، رضا کریمی بابا احمدی و مرتضی ابراهیمی زاده، ۱۳۹۵، بررسی تاثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر سرانه رشد اقتصادی واقعی ایران، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، سال پنجم، شماره ۹، صص ۷۷-۵۳.
- خلیلی، امیررضا، مجتبی بهمنی و مهدی نجاتی، ۱۴۰۴، بررسی رابطه‌ی بین گذار انرژی و شاخص‌های زیست‌محیطی ایران با استفاده از مدل پویا، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، جلد ۲۱، شماره ۸۵، صفحات ۶۸-۳۳.
- شریف نزاد، مریم، مهدی محمدی راز و محمدحسن فطرس، ۱۴۰۴، عوامل مؤثر بر مصرف انرژی‌ها پاک (با تأکید بر نابرابری توزیع درآمد): شواهدی از کشورهای توسعه یافته و درحال توسعه رهیافت مدل (PMG-ARDL)، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، جلد ۲۱، شماره ۸۵، صفحات ۱۷۰-۱۴۷.
- Adedoyin, F. F., et al., 2020, Modelling coal rent, economic growth and CO2 emissions: Does regulatory quality matter in BRICS economies? Science of the Total Environment, Volume 710.
- Albouy D., Farahani A., 2017, Valuing public goods more generally: The case of infrastructure, (Working Paper No. 17–272). W.E. Upjohn Institute for Employment Research. https://research.upjohn.org/up_workingpapers/272.
- Badger algorithm, 2024, Electric Power Systems Research, Volume 228.
- BP (2018&2021), Statistical Review of World Energy.

- Brandt, A., 2007, Testing Hubbert, Energy Policy, 35(5), 3074-3088
- Bollino, C. A. , 2009, The Willingness to Pay for Renewable Energy Sources: The Case of Italy with Socio-demographic Determinants, the Energy Journal, Volume 30, Number2-4.
- Bray, Sean, 2022, Carbon Taxes in Europe, http://taxfoundation.org/data/all/carbon-taxes-in-europe.
- Cavallo, A. J., 2004, Hubbert's Petroleum Production Model: An Evaluation and Implications for World Oil Production Forecasts, Natural Resources Research, December, 13(4).
- Charpentier, A. D., et al., 2009, Understanding the Canadian Oil Sands Industry's Greenhouse Gas Emissions, Environmental Research Letters, Volume 4, Number 1.
- Canadian Fuel Association, http:/context.capp.ca/energy-matters/2021/og-101-types-of-oil.
- de Bruyn, S.M., 2006, Explaining the Environmental Kuznets Curve: structural change and international agreements in reducing sulfur emissions. Environment and Development Economics 2 (4), 1997.
- Deacon, R.T., Norman, C.S., Does the Environmental Kuznets Curve describe how individual countries behave. Land Economics 82 (2).
- Cop29 statement, https://www.un.org/en/unis-nairobi/un-secretary-general-cop29-closing-statement
- Delannoy, L., et al., 2021, Peak Oil and the Low-Carbon Energy Transition: A net-energy perspective, Applied Energy, 304.
- Dong, K., et al., 2016, A Review of China's Energy Consumption Structure and Outlook based on a Long-Range Energy Alternatives Modelling Tool, Petroleum Science.
- EIA, 2018, Petroleum Supply Monthly, www.eia.gov.
- EIA,2023, Energy subsidy by country, www.eia.gov.
- EEA,2018, Final Energy Consumption by Mode of Transport, www.eea.europa.eu.
- El Dahan, Maha, 2023, COP28 agreeable to Saudis as it lets nations chart own course - source, Reuters. Archived from the original on 2023-12-13.
- Elazab, R., M. Ser-Alkhatm, Maged A. Abu Adma & K.M. Abdel-Latif., 2023, A two-stage stochastic programming approach for planning of SVCs in PV microgrids under load and PV uncertainty considering PV inverters reactive power using Honey

- ENERGETICS 1994, the environmental externality cost of petroleum. https://afdc.energy.gov/files/pdfs/2743.pdf
- Fallaci, O., 1975, A Sheik Who Hates to Gamble, the New York Times, September 14, 1975.
- Festus V. A. at al., 2019, Toward a sustainable environment: Nexus between CO2 emissions, resource rent, renewable and nonrenewable energy in 16-EU countries, Science of The Total Environment, Volume 657.
- Fuelseurope, 2017, Fuels Europe Refining Products for Our Everyday Life –Statistical Report. www.fuelseurope.eu.
- Glenk, G., et al., 2021, Cost Dynamics of Clean Energy Technologies, Schmalenbach Journal of Business Research 73:179–206.
- Grossman G.M., Krueger A.B., 1991, Environmental impacts of a North American free trade agreement. Natl. Bur. Econ. Res. Work. Pap.
- Guo, Q., et al, 2015, Hierarchical automatic voltage control for integration of large-scale wind power: Design and implementation, Electric Power Systems Research, Volume 12.
- Hastings-Simon, S., et al., 2022, Tim Weis Alberta's Renewable Electricity Program: Design, results, and lessons learned, Energy Policy, Volume 171.
- Helm, D. 2011, Peak Oil and Energy Policy, a critique, Oxford Review of Economic Policy, Volume 27, number 1, pp 68-91.
- Helm, D., 2007, European Energy Policy: Securing Supplies and Meeting the Challenge of Climate Change, European Investment Bank (EIB), Luxembourg, 12(1), 30-48.
- Hubbert, M. K., 1956, Nuclear Energy and Fossil Fuels: API Conference, San Antonio, TX. Later published as Publ. no. 95, Shell Development Co.
- Hubbert, M. K., 1962, Energy Resources: A Report to the Committee on Natural Resources of the NAS-NRC, Publication no. 1000-D, NAS-NRC: Washington, DC, 141 p.
- IEA, 2011, Medium-Term Oil Market Report, OECD/International Energy Agency, page 62.
- IEA, 2021, Renewables 2020. Technical Report, IEA, Paris. https://www.iea.org/reports/renewables-2020 .
- IRENA, 2022, Renewable Power Generation Costs.
- IRF, 2020, World Road Statistics 2022 Edition.

- Kaufman, R. K. & Shiers, L. D., 2008, Alternatives to Conventional Crude Oil: When, How Quickly, and Market Driven? 67(3), 405-411.
- Klass, D. L., 2003, A Critical Assessment of Renewable Energy Usage in the USA, Energy Policy, 31(4), 353-367.
- KNOEMA, https://knoema.com/vyronoe/cost-of-oil-production-by-country
- KOSATKA.MEDIA, https://kosatka.media/en/category/neft/analytics/sebestoimost-dobychi-nefti-v-mire
- Kuznets, S, 1955, Economic Growth and Income Inequality, American Economic Review, 45, pp. 1–28.
- Leal PH, Marques AC.,2022, The evolution of the environmental Kuznets curve hypothesis assessment: A literature review under a critical analysis perspective, Heliyon .
- Lee, S., et al., 2009, Handbook of Alternative Fuel Technologies. CRC Press, ISBN 978-0-8247-4069-6.
- Lenz, A., 2009, Strategic Impact of Renewable Energy Policy on the Oil Market, MS in International Economic Studies, International Competition Policy, Department of Economics, University of Maastricht.
- Lieberman, M., 1984, the Learning Curve and Pricing in the Chemical Processing Industries. The RAND Journal of Economics 15(2):213–228 .
- Liu, X. et al., 2021, Effect of economic growth on environmental quality: Evidence from tropical countries with different income levels, Science of The Total Environment, Volume 774.
- Lorente D. B. et al., 2018, How economic growth, renewable electricity and natural resources contribute to CO2 emissions? Energy Policy, Volume 113.
- Lutz, K., et al., 2012, Economic Effects of Peak Oil, Energy Policy, vol. 48, Issue C, 829-834, 2012.
- Machado, F., D.R., et al, 2021, Asynchronous parallel stochastic dual dynamic programming applied to hydrothermal generation planning, Electric Power Systems Research, Volume 191.

- Magill, B., 2017, Carbon Emission Factors into Major Oil Sands Shakeup, https://www.climatecentral.org/news/carbon-emissions-factor-into-oil-sands-shakeup-21341.
- Mahmoud A. Wahba, Lawrence G. Bridwell, 1976, Maslow reconsidered: A review of research on the need hierarchy theory, Organizational Behavior and Human Performance, Volume 15, Issue 2 .
- Maradin, D., 2021, Advantages and Disadvantages of Renewable Energy Sources Utilization, International Journal of Energy Economics and Policy, 11(3), 176-183.
- Markandya, A., Pedroso, S. and A. Golub, 2004, Empirical Analysis of National Income and SO2 Emissions in Selected European Countries, FEEM Working Paper 1.04, Milan: Fondazione Eni Enrico Mattei (FEEM).
- Maslow, A. H., 1943, A Theory of Human Motivation, Psychological Review, issue 50.
- Michaelides, E. E., 2020, Fossil Fuel Substitution with Renewables for Electricity Generation – Effects on Sustainability Goals. European Journal of Sustainable Development Research, 4(1), em0111. https://doi.org/10.29333/ejosdr/6344.
- Michaelides, E. E., 2020, Fossil Fuel Substitution with Renewables for Electricity Generation – Effects on Sustainability Goals. European Journal of Sustainable Development Research, 4(1), em0111. https://doi.org/10.29333/ejosdr/6344.
- Mills, J. H., Waite, T. A., 2009, Economic prosperity, biodiversity conservation, and the environmental Kuznets curve, Ecological Economics, Volume 68, Issue 7, Pages 2087-2095
- Mohammad, G. R., et al., 2017, Clean Energy for Sustainable Development, Comparisons and Contrast of New Approaches, Elsevier.
- Nehring, R., 1978, Giant Oil Fields and World Oil Resources, Central Intelligence Agency, Rand Org., 1978, page 14-22.
- OPEC, 2018. World Oil Outlook 2040, Page 130.
- Perman, R., Stern, D.L., 2003, Evidence from panel unit root and co-integration tests that the Environmental Kuznets Curve does not exist. Australian Journal of Agricultural and Resource Economics 47 (3).
- Porter, M. E., 1998, The Competitive Advantage of Nations, Free Press .

- Reichelstein, S., and Sahoo, A., 2018, Relating Product Prices to Long-Run Marginal Cost: Evidence from Solar Photovoltaic Modules. Contemporary Accounting Research 35(3):1464–1498.
- Ricardo, D., 1821, Economic Rent and Opportunity Cost, University of Toronto, www.economics.utoronto.ca/munro5/ECONRENT.pdf
- Ritchie, H., et al., 2023, CO_2 emissions by fuel, OurWorldInData.org, Retrieved from: 'https://ourworldindata.org/emissions-by-fuel' [Online Resource].
- Roald, L., A., et al, Power systems optimization under uncertainty: A review of methods and applications, Electric Power Systems Research, Volume 214, Part A.
- Shafik, N., 1994, Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis, Oxford Economic Papers, New Series, Vol. 46, Special Issue on Environmental Economics, pp. 757-773.
- Sherlock, M., 2020, The Renewable Electricity Production Tax Credit: in Brief. Congressional Research Service Report 435453. https://fas.org/sgp/crs/misc/R43453.pdf.
- Sovacool, B., 2009, The cultural barriers to renewable energy and energy efficiency in the United States, Technology in Society, Volume 31 (4).
- Speight, J. G., 2008, Synthetic Fuels Handbook: Properties, Process, and Performance. McGraw-Hill Professional, ISBN 978-0-07-149023-8.
- STATISTA, 2023, https://www.statista.com/statistics/271823/global-crude-oil-demand/
- STATISTA, 2015, Average cost to produce one barrel of oil in top oil producing countries worldwide in 2015(in U.S. dollars per barrel), https://www.statista.com/statistics/597669/cost-breakdown-of-producing-one-barrel-of-oil-in-the-worlds-leading-oil-producing-countries/?srsltid=AfmBOoqw5npMvhbm_CmFRpIkYhXWtjr4WTx3ZgGEHkawnsspVDjnkts1
- Susskind, L., et al., 2022. Sources of Opposition to Renewable Energy Projects in the United States, Energy Policy 165, 2022, https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421522001471.
- Swanson, R., 2011. The Silicon Photovoltaic Roadmap. Stanford Energy Seminar. https://www.youtube.com/watch?v=_MbG1-JgtXg

- Tanger, S. M., et al., 2011, Macroeconomic conditions in the U.S. and congressional voting on environmental policy: 1970–2008, Ecological Economics, 70.
- Taormina R.J., Gao J.H., 2013, Maslow and the motivation hierarchy: Measuring satisfaction of the needs, The American Journal of Psychology, Vol. 126, No. 2.
- Tirole, J., 1988, Theory of Industrial Organization. : MIT Press.
- Wang, L., et al., 2020, A Study on Environmental Cost of China's Oil Production and Utilization, 2nd International Conference on Materials Engineering and Applications.
- World Bank, 2023, Carbon Pricing Dashboard, last updated Mar. 31, 2023, https:// carbonpricingdashboard.worldbank.org/map_data; Financial Administration, Republic of Slovenia – Environmental Taxes, retrieved Aug. 31.
- Yamani, Z., 1975, A sheik who hates to gamble, the New York Times, September 14, Page 215
- Zhou, Y., et al., 2021, Study on leveraging wind farms' robust reactive power range for uncertain power system reactive power optimization, Applied Energy, Volume 298.

Designing a Conceptual Model for the Transition to Low-Carbon Energy Oil-rich Developing Versus Non-Oil-Rich Developed Countries

Kioumars Heydari [1]
Assistant Professor, Economic Research Group, Niroo Research Institute, Tehran, Iran, (kheydari@nri.ac.ir)

Received: 2025/07/22 Accepted: 2025/11/11

Abstract

Despite the continuous reduction in the cost of supplying renewable energy, transitioning away from fossil energy sources remains a goal. Many studies have focused on identifying the obstacles. Based on two proven theories (price rent and Maslow's hierarchy of needs) and the empirical concept of the Environmental Kuznets Curve (EKC), this article develops a conceptual framework and introduces three concepts: the technological umbrella, economic peak oil and transition lag. Due to differences in countries' enjoyment of price rent and population density on Maslow's hierarchy of needs, as well as differences in sensitivity to environmental impacts, the technological umbrella, peak oil and transition lag curves differ for each country. In some cases, larger price rents and higher population densities at low levels of need can prolong the energy transition by up to half a century. Empirical evidence from China's transition from coal to oil confirms this. The results show that, due to the above characteristics, Iran's energy transition will be achieved at least three decades later than in developed non-oil countries such as Switzerland and Sweden. While expanding the frontier of knowledge, the results of this study provide a conceptual framework to explain why emission reduction goals are not being achieved.

JEL Classification: O3,Q2,Q4.
Keywords: Technology Umbrella, Economic Peak Oil, Sustainable Development, Zero-Carbon.

1. Corresponding Author