مدل‌سازی سناریوهای سیاستی پیش‌بینی شدت انرژی در محصولات معدنی پس از آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی[1]

ساناز شهبازی[2]
دانشجوی دکتری گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه، ایران، s.shahbazi@urmia.ac.ir

حسن حیدری
استاد گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه ارومیه، ایران، h.heidari@urmia.ac.ir

مهدی نجاتی
دانشیار گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت، دانشگاه شهید باهنر کرمان، ایران، mnejati@uk.ac.ir

علی امامی میبدی
استاد گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه علامه طباطبایی، ایران. emami@atu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۴/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۵/۲۱

چکیده

این مطالعه تاثیر تغییرات قیمت انرژی بر شدت مصرف انرژی در محصولات معدنی را با استفاده از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه پویا (DCGE) با مقداردهی به پارامترهای مدل، برای شبیه‌سازی طی دو سناریو (۱. شوک قیمتی پنج درصدی به گاز طبیعی ۲. شوک قیمتی پنج درصدی نفت) تا افق زمانی ۲۰۵۰، برای سه گروه از مناطق و کشورها (۱. ایران ۲. شرکای تجاری عمده ۳. سایر مناطق)، بررسی شده است. نتایج شبیه‌سازی مدل DCGE برای ایران در سناریوی اول بهبود مستمر در بهره‌وری انرژی را پیشنهاد می‌کند که مقادیر شدت انرژی در کل منفی باقی می‌ماند، سناریوی دوم افزایش موقتی شدت انرژی برای ایران و به دنبال آن کاهش تدریجی را به تصویر می‌کشد که نشان‌دهندهٔ افزایش انرژی بخش محصولات معدنی در آینده نزدیک است. شرکای تجاری و سایر مناطق کاهش شدیدتری در شدت انرژی تحت سناریوی دوم با نرخ کاهش سریع‌تری نشان داده و دربرگیرندهٔ انتظارات بالاتری برای بهبود بهره‌وری انرژی می‌باشد. با استناد به نتایج به دست آمده می‌توان بیان نمود ایران از نظر مصرف انرژی برای تولید محصولات معدنی کارآمدتر می‌شود، که این امر می‌تواند ناشی از عوامل مختلفی مانند پیشرفت‌های تکنولوژیکی، بهبود فرآیندهای تولید و ... باشد، که در حال اجرا است.

طبقه‌بندی JEL: Q۳۱, Q۳۸,Q۴۳, C۶۸.
کلیدواژه‌ها: تغییرات قیمت انرژی، شدت انرژی، محصولات معدنی، الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه پویا.

[1]. این مقاله مستخرج از رساله دکتری نویسنده مسئول، در بازهٔ زمانی فرصت مطالعاتی وی در دانشکده اقتصاد دانشگاه علامه طباطبایی می‌باشد.
[2]. نویسنده مسئول

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

۱- مقدمه

انرژی یک عنصر حیاتی و ضروری در چشم‌انداز جهانی بوده، الگوهای مصرف آن از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. مسیر مصرف انرژی به طور قابل توجهی بر استراتژی‌های اقتصادی و سیاسی تأثیر می‌گذارد (ابراهیمی سالاری و قطب‌الدینیان یزد، ۱۳۹۳). شدت انرژی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله سیاست‌های مقداری و قیمتی دولت قرار دارد، قیمت‌گذاری دستوری سوخت، صادرات نفت خام و واردات فرآورده‌های نفتی، گسترش شهرنشینی، مبادلات انرژی با کشورهای همسایه (مرادی و همکاران، ۱۴۰۱)، وضعیت آب‌وهوایی، فعالیت‌های اقتصادی (گردشگری، خدمات، تجارت، تولید) و صنعتی شدن در داخل کشور موثر هستند. در بین فعالیت‌های ذکر شده گردشگری، تجارت و خدمات معمولاً مصرف انرژی کم‌تری را در مقایسه با فعالیت‌های تولیدی مانند صنعت، صنایع معدنی، کشاورزی، پالایش نفت و پتروشیمی (که تمایل به انرژی بالاتری دارند) نشان می‌دهند (معاونت پژوهش‌های اقتصادی، ۱۳۹۵). صنعت معدن نقش مهمی را در قلب اقتصاد جهانی مدرن ایفا کرده، طیف وسیعی از مواد معدنی را استخراج و فرآوری می‌نماید که برای توسعه اقتصادی و پیشرفت بشر ضروری است. به عنوان یک صنعت اولیه که منابع ضروری را تولید کرده، از برخی از بزرگ‌ترین روندهای ساختاری در جهان از رشد جمعیت گرفته (شهرنشینی) تا کربن‌زدایی پشتیبانی می‌کند (اقتصاد انرژی[1]، ۲۰۲۱). این صنعت در سطح جهان مسئول مصرف قابل توجه انرژی است، در حال حاضر تقریباً ۱,۷ درصد از مصرف انرژی نهایی جهانی را به خود اختصاص داده است. با این حال، مصرف انرژی نهایی صنعت معدن احتمالاً تا سال ۲۰۶۰ به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد، که به خط سیر اقتصادی آینده، تکامل شدت انرژی و نرخ بازیافت در آینده وابسته می‌باشد (آرامندیا و همکاران[2]، ۲۰۲۳).

تجزیه‌وتحلیل شدت انرژی یک ابزار ارزشمند برای درک و ارزیابی الگوهای مصرف انرژی در بخش‌های مختلف است، شدت انرژی یک بخش یا صنعت را می‌توان با مقدار انرژی مورد نیاز برای تولید یک واحد خروجی یا شرکت در یک فعالیت خاص اندازه‌گیری کرد (لطفی و همکاران، ۱۳۹۷). عوامل مهمی که بر شدت انرژی تأثیرگذار

1. Engeco
2. Aramendia et al.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

هستند را می‌توان در دو گروه اصلی دسته‌بندی کرد؛ ۱. تغییرات ساختاری: تغییرات در ترکیب اقتصاد، مانند کاهش در صنایع انرژی‌بر و افزایش بخش‌های کم مصرف انرژی، می‌تواند منجر به کاهش شدت کلی انرژی، حتی بدون بهبود در بهره‌وری انرژی شود. ۲. عوامل رفتاری: تغییر در الگوهای مصرف انرژی، مانند افزایش تقاضای گرمایش یا سرمایش به دلیل تغییرات جمعیتی، می‌تواند بر شدت انرژی تأثیر بگذارد، بدون اینکه منعکس کنندهٔ بهبود در بازده انرژی باشد (سایت انرژی دولتی[1]، ۲۰۲۳). از لحاظ تاریخی، قیمت حامل‌های انرژی مانند برق، گاز طبیعی و نفت کوره اغلب توسط دولت‌ها تنظیم یا به آنها یارانه پرداخت می‌شود. با این حال، حرکت به سمت قیمت‌گذاری انرژی مبتنی بر بازار این پتانسیل را دارد که بر شدت انرژی تولید مواد معدنی تأثیر بسزایی بگذارد. هنگامی‌که قیمت انرژی آزاد می‌شود، تولیدکنندگان ممکن است انگیزه بیشتری برای سرمایه‌گذاری در اقدامات بهره‌وری انرژی، اتخاذ فناوری‌های جدید یا تغییر به سمت روش‌های تولید کم مصرف انرژی داشته باشند.

برخی مطالعات از جمله بردی[2] (۲۰۱۳)، نوس و همکاران[3] (۲۰۱۴) مصرف انرژی جهانی تولید فلزات اولیه را با استفاده از نیازهای انرژی مستقیم و غیرمستقیم بررسی نموده‌اند، دوستارمنور و همکاران (۱۳۹۳)، شرزه‌ای و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی اصلاح سیاست‌ها بر شدت مصرف حامل‌های انرژی پرداخته‌اند. ویدمن و همکاران[4] (۲۰۱۵)، سبالوس و همکاران[5] (۲۰۱۷) به تلاش‌هایی در رابطه با جلوگیری از اثرات مخرب ناشی از فعالیت‌های معدنی در شرایط کنونی اشاره کرده‌اند. هیکل و جورجوس[6] (۲۰۱۹) اذعان داشته‌اند که محرک‌های اصلی رشد اقتصادی آینده ارتباط زیادی با استخراج منابع و فعالیت‌های معدنی دارد. نوابی و همکاران (۱۳۹۸) اثر قیمت انرژی بر شدت انرژی درکارگاه‌های صنعتی ایران را بررسی نموده‌اند. همچنین، در مطالعه آرامندیا و همکاران (۲۰۲۳) جریان مواد معدنی و مصرف انرژی با استفاده از داده‌های نظرسنجی زمین‌شناسی ایالات‌متحده به روش رگرسیون خطی بررسی شده است.

1. energy.gov
2. Bardi
3. Nuss et al.
4. Wiedmann et al.
5. Ceballos et al.
6. Hickel & Giorgos

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

مطالعات پیشین با هدف بررسی مصرف انرژی و کارایی در صنایع خاص، بررسی سیاست‌های انرژی در یک کشور ارائه شده‌اند، در زمینه مدل‌سازی و درک استفاده از انرژی در بخش معدن شکاف عمده‌ای نمایان است. شدت انرژی یک عامل مهم در تحلیل‌های اقتصاد خرد است که بر کارایی و رقابت عملیات معدنی تأثیر می‌گذارد. در زمینه وسیع‌تر اقتصاد صنعتی، شدت انرژی مفهومی چندوجهی است که شرایط حاکم بر بازار، عرضه انرژی و پویایی تقاضا را دربرمی‌گیرد. درجه انحراف از رقابت خالص در بازار انرژی به طور قابل توجهی بر شدت انرژی صنعت معدن تأثیرگذار بوده و آن را به سمت ساختار بازار انحصاری سوق می‌دهد. بنابراین، درک و مدیریت شدت انرژی برای شرکت‌های معدنی جهت بهینه‌سازی فرآیندهای تولید، کاهش هزینه‌ها و افزایش رقابت‌پذیری خود در بازار جهانی ضروری است. اهمیت موضوعات مرتبط با انرژی در چشم‌انداز جهانی امروز، با تأکید فزاینده بر تقاضای انرژی در صنایع مختلف و نیاز مبرم به منابع پاک و پایدار، بسیار مهم است. شدت انرژی در بخش معدن برای سیاست‌گذاران و متخصصان صنعت نیز مهم می‌باشد، زیرا نقش ویژه‌ای در ارزیابی سودآوری و هزینه‌های تولید صنایع مختلف ایفا می‌کند. با توجه به اهمیت روزافزون نگرانی‌های انرژی در چشم‌انداز جهانی معاصر، شکاف قابل‌توجه مطالعات پیشین، بررسی شدت مصرف انرژی و پیامدهای آن در حوزه محصولات معدنی، با توجه به نیاز ذاتی انرژی بالای آنها، ضروری است. این مطالعه با استفاده از یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه پویا (DCGE)، که این رویکرد در مطالعات پیشین مورد استفاده قرار نگرفته است، همچنین مدل GTAP-E در مطالعات محدودی با سایر عناوین معرفی شده، لذا تشریح جامع این الگو از وجوه تمایز مطالعه حاضر می‌باشد. مورد دیگری که بر جنبه نوآورانه این مطالعه می‌افزاید، استفاده از الگوریتم‌های حل معادلات در نرم افزار GEMPACK به صورت مدل پویا و بهره‌گیری از داده‌های تمام مناطق و کشورهای پایگاه داده می‌باشد.

سوال اساسی پژوهش حاضر این است که تأثیر مصرف انرژی بر تولید محصولات معدنی چگونه است؟ جهت پاسخ به سوال پژوهش در بخش دوم تحقیقات نظری و تجربی پیشین، در بخش سوم مدل، داده‌ها و روش‌شناسی تشریح می‌گردد. بخش چهارم، یافته‌های آماری و تجربی تحقیق را ارائه کرده و نتایج را در پرتو تئوری و شواهد

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

تجربی مرتبط مورد بحث قرار می‌دهد. در نهایت، بخش پنجم مقاله به ارائه نتیجه‌گیری‌های مطالعه و پیامدهای سیاستی بالقوه آن‌ها اختصاص دارد و به عنوان منبعی ارزشمند برای تصمیم‌گیری آگاهانه عمل می‌کند.

۲- مروری بر ادبیات موضوع

آیرس و وار[1] (۲۰۱۲) بر نقش حیاتی انرژی به عنوان پایه و اساس بقای انسان در مدل فیزیولوژیکی رشد تاکید می‌کنند و از آن به عنوان شاهراه توسعه اقتصادی یاد می‌کنند. آنها استدلال می‌کنند که ثروت در جامعه بشری صرفاً از منابع ارزشمند به دست نمی آید، بلکه از تغییر و اتلاف عمدی انرژی[2] حاصل می‌شود. آنها با ادغام ترمودینامیک در تئوری رشد اقتصادی، فرض اقتصادی سنتی انرژی نامحدود را به چالش می‌کشند و انرژی را به عنوان یک عامل اساسی تولید برجسته می‌کنند. این مفهوم‌سازی مجدد پیامدهای قابل‌توجهی برای سیاست‌گذاری اقتصادی دارد، زیرا بر اهمیت انرژی در تولید و رشد اقتصادی تاکید می‌کند. تحلیل‌گران انرژی معمولاً از مصرف انرژی به ازای هر دلار تولید ناخالص داخلی (GDP) به عنوان معیار شدت انرژی استفاده می‌کنند. در بسیاری از موارد، تحلیل‌گران و سیاست‌گذاران مصرف انرژی را برای بررسی شدت انرژی برای هر یک از چهار بخش عمده مصرف کننده انرژی-مسکونی، تجاری، صنعتی، حمل‌ونقل تفکیک می‌کنند. صنعت معدن بخش مهمی از اقتصاد جهانی است، هم از منظر ایجاد شغل و منافع اقتصادی گسترده، هم از نظر تامین مواد اولیه برای بسیاری از محصولاتی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرد که از این جهت می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر مصرف انرژی داشته باشد (اعظم و همکاران[3]، ۲۰۲۲).

رباب و همکاران (۲۰۱۳) یک رویکرد پایدار به انرژی برای رشد اقتصادی، صنعتی شدن، حفاظت از محیط‌زیست و مدیریت منابع طبیعی را بررسی کردند، آنها بیان نمودند که بخش انرژی برای استخراج و تولید انرژی به شدت به منابع معدنی متکی

1. Ayres & Warr

۲. دگرگونی و اتلاف عمدی انرژی به فرآیند تبدیل انرژی از شکلی به شکل دیگر و از دست دادن آن به گونه‌ای، اطلاق می‌شود که قابل بازیابی نباشد. این مفهوم ریشه در قوانین ترمودینامیک دارد، به‌ویژه قوانین اول و دوم که بیان می‌کنند انرژی را نمی‌توان ایجاد کرد یا از بین برد، اما می‌توان آن را به شکلی تبدیل کرد.

3. Azam et al.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

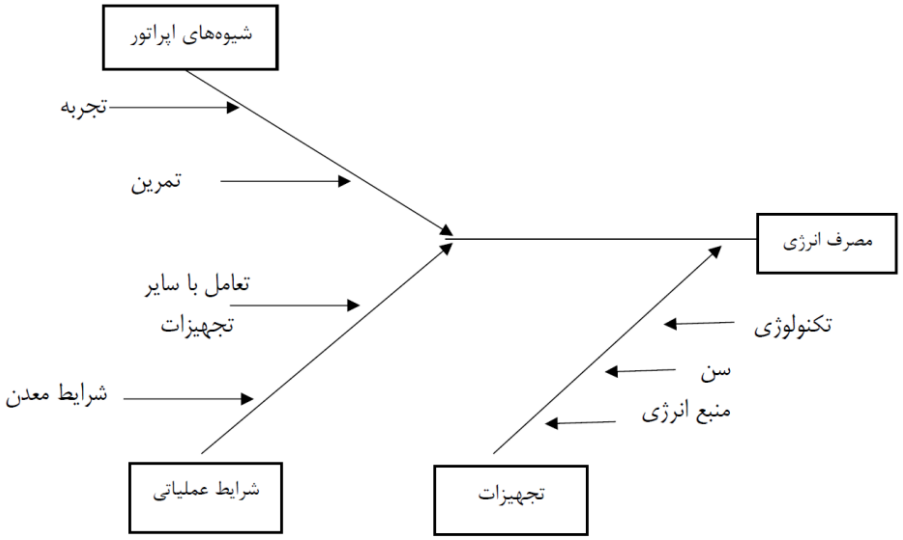
است. آژانس بین‌المللی انرژی[1] (IEA) بر نقش مهم شدت انرژی و محصولات معدنی در انتقال انرژی جهانی تاکید کرده است. براساس تحلیل آژانس بین‌المللی انرژی، تغییر به سمت منابع انرژی تجدیدپذیر برای دستیابی به اهداف آب‌وهوایی بسیار مهم خواهد بود. با این حال، صنعت معدن یک مصرف کننده قابل توجه انرژی و منبع انتشار گازهای گلخانه‌ای است. داده‌های آژانس بین‌المللی انرژی نشان می‌دهد، در حالی‌که شدت انرژی به دلیل بهبود بهره‌وری در حال کاهش است، برای دستیابی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای لازم است این کاهش بیش‌تر تسریع شود (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۳).

صنعت معدن نقشی محوری در رسیدگی به گرمایش جهانی و حمایت از انتقال انرژی جهانی دارد. انرژی یکی از بزرگ‌ترین هزینه‌های شرکت‌های معدنی است که تقریباً ٪۳۰ از کل هزینه‌های عملیاتی نقدی را تشکیل می‌دهد، این صنعت سالانه تقریباً ۳۶۵ میلیارد کیلووات ساعت انرژی برای تولید محصولات حیاتی برای حمایت از اقتصاد مصرف می‌کند. این مصرف انرژی در درجه اول به دلیل فرآیندهای انرژی‌بر در معدن هم‌چون انفجار، آبگیری، حفاری، تهویه، جابجایی مواد، خرد کردن، سنگ‌زنی و جداسازی می‌باشد، به عنوان مثال خرد کردن ۲۵٪، گازوئیل در تجهیزات سیار ۴۶٪، تهویه معدن و سایر الکتریسیته‌ها به ترتیب ۱۵٪ و ۱۴٪ سهم دارند (مجمع جهانی اقتصاد، ۲۰۲۲). بهره‌وری انرژی تحت تأثیر کارایی تجهیزات در تبدیل انرژی ورودی به کار مفید (خروجی) و استقرار (یعنی نحوه استفاده از تجهیزات) است. شواهدی وجود دارد که نشان می‌دهد استراتژی‌های تولید و شیوه‌های اپراتور تأثیر قابل‌توجهی بر کارایی انرژی در معدن دارند (عواه اوفی و سامرز[2]، ۲۰۱۱). همچنین، تحقیقات دیگر نشان می‌دهد که استفاده از تجهیزات عوامل کلیدی در بهره‌وری انرژی در عملیات معدن هستند (ککویویچ و کوملینوویچ[3]، ۲۰۱۰). کاهش شدت انرژی در بخش صنعتی و زیربخش‌های آن می‌تواند مزایای متعددی از جمله رشد اقتصادی، هم‌سویی با استانداردهای جهانی، کاهش هزینه‌های تولید، حفظ سوخت‌های فسیلی برای استفاده در آینده و در نهایت کاهش آلودگی محیط‌زیست را به همراه داشته باشد (فدائی و ویسی، ۱۴۰۰). همچنین، با افزایش شدت انرژی هزینه‌های مرتبط با مصرف انرژی برای

1. International Energy Agency
2. Awuah-Offei and Summers
3. Kecojevic and Komljenovic

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

صنایعی که انرژی‌بر هستند، نیز افزایش می‌یابد. نمودار زیر به طور جامع، عوامل موثر بر مصرف انرژی سیستم‌های معدن را نشان می‌دهد.



نمودار ۱. عوامل موثر بر مصرف انرژی

ماخذ: عواه اوفی و همکاران[1]، ۲۰۱۲

شرکت‌های معدنی فرصت قابل توجهی برای کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های خود از طریق مدیریت فعال‌تر انرژی، از جمله استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر دارند، به گونه‌ای که می‌توانند با بازنگری در طراحی معدن با در نظر گرفتن یک برنامه مدیریت انرژی، مصرف انرژی خود را ۱۵ تا۲۰٪ کاهش دهند (عواه اوفی و همکاران، ۲۰۱۲). در حالی‌که قیمت انرژی مستقیماً بر هزینه‌ها و استراتژی‌های عملیاتی تأثیر می‌گذارد، همچنین به طور غیرمستقیم بر پیشرفت فناوری، تقاضای بازار و پاسخ‌های نظارتی تأثیر می‌گذارند. تأثیر بلندمدت این پویایی‌ها احتمالاً منجر به گرایش به سمت بهره‌وری انرژی بیش‌تر در تولید مواد معدنی می‌شود، که برای حفظ سودآوری در بازار انرژی در نوسان و در عین حال پرداختن به نگرانی‌های جهانی در مورد پایداری و حفاظت از محیط‌زیست ضروری است.

1. Awuah-Offei et al.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

۳- پیشینه پژوهش

لیو و همکاران[1] (۲۰۲۴) با استفاده از روش پانل دیتا (GMM) براساس داده‌های ۵۵ کشور در سراسر جهان از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ با چگونگی تاثیرگذاری مواد معدنی بر انتقال انرژی جهانی را بررسی نموده‌اند. نتایج آنان نشان می‌دهد که مصرف مواد معدنی فلزی و غیرفلزی هر دو به عنوان عوامل بازدارنده در انتقال انرژی تجدیدپذیر عمل می‌کنند که با سهم مصرف انرژی تجدیدپذیر اندازه‌گیری می‌شود، مصرف مواد معدنی فلزی، به ویژه، اثر بازدارندگی مهم‌تری از خود نشان می‌دهد.

آرامندیا و همکاران (۲۰۲۳) تخمینی از مصرف انرژی نهایی تاریخی صنعت معدن در سطح جهان و یک تحلیل اکتشافی از مسیرهای احتمالی آینده برای مصرف انرژی نهایی صنعت معدن را تا سال ۲۰۶۰ ارائه کرده‌اند. اظهار داشته‌اند که مصرف انرژی نهایی آینده صنعت معدن در درجه اول توسط فعالیت‌های اقتصادی آینده تعیین می‌شود، در صورت ادامه روندهای فعلی (یعنی رشد اقتصادی بالا در کنار تولید ناخالص داخلی بالا) تا رسیدن به مقداری در محدوده ۴ تا ۱۲ درصد از مصرف انرژی نهایی جهانی پیش‌بینی شده است.

روکیکی و همکاران[2] (۲۰۲۲) تغییرات مصرف انرژی و شدت انرژی در کشورهای اتحادیه اروپا را در همه‌گیری کووید-۱۹ با شاخص‌های دینامیک، براساس چهار معیار؛ ۱. صنعت ۲. کشاورزی، جنگل‌داری و شیلات ۳. خدمات ۴. حمل‌ونقل، ارزیابی نموده‌اند. نتایج آنان نشان داد که حمل‌ونقل، صنعت و خانوارها بیش‌ترین سهم مصرف انرژی (حدود ۸۰٪) و کشاورزی کم‌ترین سهم را به خود اختصاص داده است. به عبارت دیگر، همه‌گیری کووید-۱۹ باعث کاهش مصرف انرژی در تمام بخش‌های اقتصاد شده که بزرگ‌ترین بخش حمل‌ونقل و خدمات، کوچک‌ترین بخش صنعت می‌باشد.

ویدودو و کودو[3] (۲۰۲۲) در مقاله‌ای اثر تغییرات قیمت انرژی بر مصرف انرژی، به ویژه نفت و زغال سنگ، برای بخش‌های تولیدی اندونزی به روش پانل نامتعادل از سال ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۵ بررسی نموده‌اند. نتایج آنان نشان می‌دهد که رابطه منفی معناداری بین قیمت نفت و مصرف نفت وجود دارد که کشش قیمتی برای تقاضای نفت از ۰,۱۸۴ تا

1. Liu et al.
2. Rokicki et al.
3. Widodo and Kudo

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

۰,۳۸۷ بر مقدار مطلق آن متغیر است. به عبارت دیگر، یک درصد افزایش قیمت صرفاً بر مصرف بسیار کم‌تر از یک درصد تأثیر گذاشته است، تغییرات قیمت نفت بیش‌ترین تأثیر را بر زیربخش‌های نساجی، پوشاک و کفش دارد.

روتزر و همکاران[1] (۲۰۲۰) یک رویکرد مبتنی بر فرآیند را برای تعیین کمیت شدت انرژی در صنعت معدن مس در دهه‌های ۱۹۳۰ ، ۱۹۷۰ و ۲۰۱۰ اتخاذ کردند. آنان نشان می‌دهند که چگونه رابطه بین عیار سنگ و شدت انرژی در طول زمان با تأثیر پیشرفت‌های فناوری تغییر می‌کند و دریافتند که پیشرفت‌های فنی به طور قابل توجهی شدت انرژی معدن مس را با وجود کاهش عیار سنگ بین دهه‌های ۱۹۳۰ و ۱۹۷۰ کاهش داده است. در مقابل، مقیاس اثرات پیشرفت‌های تکنولوژیکی بین دهه ۱۹۷۰ و ۲۰۱۰ بسیار محدودتر بوده که منجر به افزایش تقریباً ۳۰ ٪ در شدت متوسط انرژی مس شده است.

فرناندز[2] (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای مصرف کالاهای معدنی و شدت استفاده هفت فلز عمده شامل فولاد، آلومینیوم، مس، سرب، نیکل، قلع و روی، برای دورهٔ زمانی ۱۹۷۵ تا ۲۰۱۵، براساس الگوی خودتوضیح برداری با وقفه‌های توزیعی (ARDL) با داده‌های ۲۵ کشور (کشورهایی با درآمد بالا، متوسط رو به بالا و پایین) را بررسی نموده‌اند. نتایج آنان نشان می‌دهد که شدت استفاده از فلز (یعنی کل مصرف فلز/تولید ناخالص داخلی) به توسعه اقتصادی بستگی دارد، فرضیه شدت استفاده به جز مس، نیکل و روی به عنوان یک رابطه تعادلی بلندمدت وجود نداشته است.

سی مکللان[3] (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای روند مواد معدنی و انرژی را از منظر طراحی زیست‌محیطی با تمرکز بر الزامات رقابتی انرژی برای تولید و فرآوری مواد معدنی و تقاضا برای مواد معدنی در فناوری‌های انرژی مورد بررسی قرار داده است. نتایج وی نشان می‌دهد که افزایش تقاضا برای مواد معدنی ادامه دارد، اما استفاده از انرژی در استخراج این مواد معدنی با وجود بهبود کارایی برای فرآوری و ذوب فلزات به سرعت در حال رشد است که یک تأثیر بالقوه مهم برای تولید سنگ معدن اولیه و فلزات است. با

1. Rotzer et al.
2. Fernandez
3. C. McLellan

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

توجه به آینده انرژی پایدار، توجه به در دسترس بودن و بازیافت مواد معدنی در آینده در هنگام طراحی محصولات یا خدمات ضروری است.

آراندا یوسان و همکاران[1] (۲۰۱۲) مصرف انرژی بخش‌های غذا و نوشیدنی، نساجی، مواد شیمیایی و محصولات معدنی غیرفلزی در اسپانیا در طی سال‌های ۲۰۰۹ و ۲۰۱۰ از چندین کارخانه از هر صنعت را براساس طبقه‌بندی ملی فعالیت‌های اقتصادی ۱۹۹۳، کدگذاری کرده و سپس تجزیه‌وتحلیل نموده‌اند. نتایج آنان نشان می‌دهد که بخش محصولات معدنی غیرفلزی بیش‌ترین مصرف (۲۴,۷٪) را در مقایسه با سه بخش دیگر (غذا، نوشیدنی و تنباکو ۹,۶٪، نساجی ۴,۶٪، مواد شیمیایی، ۱۴,۷٪) داشته است. همچنین، بخش‌های غذا، نوشیدنی و تنباکو و مواد شیمیایی مصرف انرژی حرارتی بالایی را نشان دادند (به ترتیب ۹۳,۰ و ۷۱,۵٪).

زورکی و همکاران (۱۴۰۲) در مطالعه‌ای تأثیر شدت و قیمت حامل‌های انرژی (برق، غیربرق، کل) را بر رفاه اقتصادی ایران در بازۀ زمانی ۱۴۰۰-۱۳۵۰ با استفاده از رهیافت خودرگرسیونی با وقفه‌های توزیعی در بلندمدت بررسی کردند. نتایج آنان حاکی از آن است که قیمت واقعی انرژی (کل و غیر برق)، درآمد سرانه و شدت انرژی برق به طور مثبت بر رفاه اقتصادی تأثیر می‌گذارد، قیمت واقعی برق، شدت انرژی (کل و غیربرق) و تورم تاثیر منفی بر رفاه اقتصادی دارند. همچنین نرخ بیکاری تأثیر قابل توجهی بر رفاه اقتصادی ندارد.

خواجوند و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای به بررسی قابلیت استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر در عملیات معدنی در سراسر استرالیا، کانادا، آفریقای جنوبی و ایران پرداخته‌اند. یافته‌های آنان نشان می‌دهد که استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها هزینه‌های معادن را کاهش می‌دهد، بلکه با کاهش اتکا به سوخت‌های فسیلی، آلودگی زیست‌محیطی را نیز کاهش می‌دهد، بنابراین زمینه را برای تبدیل بخش معدن به یک صنعت سازگار با محیط‌زیست و پایدار فراهم می‌کند.

بیسادی و همکاران (۱۳۹۹) شدت انرژی بخش‌های اقتصادی ایران را از سال ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۰ با تمرکز بر اثر مقیاس و الگوی مصرف، با استفاده از الگوی داده-ستانده بررسی نموده‌اند. نتایج آنان نشان می‌دهد که اثر مقیاس محرک اصلی افزایش شدت

1. Aranda-Uson et al.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

انرژی بوده در حالی‌که الگوی مصرف کم‌ترین تأثیر را داشته است. از ۲۴ بخش مورد بررسی، ۱۳ بخش افزایش شدت انرژی را تجربه کرده‌اند که ۹ بخش از این بخش‌ها، جزء زیربخش‌های صنعتی بودند.

طباطبایی و همکاران (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای تأثیر آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی بر شدت مصرف انرژی در بخش برق ایران را با استفاده از الگوی خودرگرسیون برداری مورد بررسی قرار داده‌اند. یافته‌های آنان نشان می‌دهد که بعد از آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی، شدت مصرف انرژی کاهش یافته و بیش‌ترین کاهش در سال اولیه بوده و در سال‌های بعد با سرعت کم‌تری ادامه داشته، البته آنان اظهار داشته‌اند که تاثیر عوامل تولید بر شدت انرژی به صورت مشخصی حاصل نشده و در برخی موارد موجب افزایش و در برخی موارد باعث کاهش شده است.

تقی‌پور خوئینی و همکاران (۱۳۹۴) طی سال‌های ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۲، مطالعه‌ای به منظور تحلیل تأثیر قیمت حامل‌های انرژی بر شدت انرژی در ایران و ترکیه به روش الگو تصحیح خطا (VECM) انجام داده‌اند. نتایج آنان نشان داد که همبستگی معکوس بین قیمت بنزین و شدت مصرف انرژی در هر دو کشور وجود دارد. در حالی‌که افزایش قیمت بنزین منجر به کاهش شدت مصرف انرژی در ایران و ترکیه شده، این اثر در ترکیه بارزتر بوده که علت آن عمدتا ناشی از بهبود کارایی انرژی و مدیریت تقاضا بوده است.

دوستارمنور و همکاران (۱۳۹۳) مطالعه‌ای به منظور بررسی تأثیر سیاست‌های قیمت‌گذاری انرژی بر شدت مصرف منابع مختلف انرژی طی سال‌های ۱۳۸۸-۱۳۷۲ براساس روش رگرسیون به ظاهر نامرتبط (SUR) انجام داده‌اند. یافته‌های آنان نشان داد که بین قیمت گاز طبیعی، برق و فرآورده‌های نفتی و سطوح شدت انرژی، همبستگی منفی و معناداری وجود دارد. سهم بخش خدمات در تولید ناخالص داخلی با تأثیر منفی قابل توجهی بر شدت مصرف کل انرژی و شدت مصرف برق همراه است.

سلیمانی و شهرکی (۱۳۹۳) تاثیر هدف‌مندی یارانه انرژی بر تجزیه شدت انرژی در صنعت سیمان را طی سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۲ با استفاده از مدل معادلات همزمان از طریق مطالعه موردی سیمان بجنورد، ارزیابی نموده‌اند. یافته‌های آنها نشان می‌دهد که همبستگی واضحی بین کاهش یارانه‌های انرژی و کاهش شدت انرژی وجود دارد. این امر نظریهٔ رابطه معکوس بین قیمت انرژی و تقاضا را تایید می‌کند. همچنین، رابطه بین

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

یارانه‌های انرژی و شدت انرژی در صنعت سیمان منفی و قابل توجه است و نقش مهم یارانه‌های انرژی را در شکل دادن به الگوهای مصرف انرژی صنعت برجسته می‌کند.

در حالی‌که تحقیقات موجود پایه‌ای برای درک تأثیرات گسترده‌تر تغییرات قیمت انرژی بر متغیرهای کلان اقتصادی ایجاد کرده است، اکثر مطالعات مصرف و شدت انرژی را در بخش‌های وسیع یا صنایع خاص مانند تولید، حمل‌ونقل و بخش‌های مسکونی بررسی نموده‌اند. فقدان تحقیقات اختصاصی در مورد بخش محصولات معدنی درک افراد را از پویایی منحصر به فرد و چالش‌های این بخش در مورد شدت مصرف انرژی محدود می‌کند. همچنین، شکاف واضحی در توسعه مدل‌های تخصصی DCGE وجود دارد، استفاده از مدل تعادل عمومی قابل محاسبه پویا (DCGE) یک چارچوب تحلیلی پیچیده برای ارزیابی تعاملات پیچیده بین قیمت انرژی، الگوهای مصرف و متغیرهای اقتصادی در بخش محصولات معدنی ارائه می‌دهد. این رویکرد می‌تواند درک دقیق‌تری از روابط موجود ارائه داده و پیامدهای چنین تغییراتی را بر شدت مصرف انرژی در محصولات معدنی به دقت ارزیابی کند. پرداختن به این شکاف‌ها از طریق رویکردهای مدل‌سازی دقیق‌تر می‌تواند درک جامعی از این رابطه پیچیده را به طور قابل توجهی افزایش دهد. درک این‌که چگونه تغییرات قیمت انرژی بر شدت مصرف انرژی محصولات معدنی تأثیر می‌گذارد، می‌تواند تصمیمات سیاستی مربوط به قیمت‌گذاری انرژی، تخصیص منابع و ملاحظات زیست‌محیطی را تعیین کند. این مطالعه با تحلیل دقیق و جامع از چگونگی تأثیر تغییرات در قیمت انرژی بر شدت مصرف انرژی در صنعت محصولات معدنی، درصدد ارائه بینش‌هایی است که می‌تواند سیاست‌گذاری و بهره‌وری انرژی را هدایت نماید.

۴- روش شناسی تحقیق

انتشار آلودگی‌های زیست‌محیطی، به ویژه انتشار دی‌اکسیدکربن، می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر شاخص‌های مختلف اقتصاد کلان و اقتصاد خرد از طریق روابط متقابل پیچیده بین بخش‌ها، متغیرهای اقتصادی و مناطق جغرافیایی داشته باشد (نجاتی و همکاران، ۱۳۹۹). توسعه مدل‌های جامعی که بتواند این اثرات را در یک محیط پویا که در آن شرایط دیگر ثابت نیستند، تجزیه‌وتحلیل کند، ضروری خواهد بود (جلایی و همکاران، ۱۴۰۰). در حوزه انرژی و اقتصاد محیطی، مدل‌های مختلف تعادل عمومی

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

قابل محاسبه (CGE) به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند (چوی و همکاران[1]، ۲۰۱۷؛ گارسیالئون و همکاران[2]، ۲۰۲۱؛ رائو و همکاران[3]، ۲۰۱۷) که چارچوبی سازگار برای تجزیه‌وتحلیل اثرات اقتصادی انرژی و سیاست زیست‌محیطی فراهم می‌کند. از دهه ۱۹۸۰ مدل CGE به طور گسترده‌تری به کار گرفته شد که به عنوان یک رویکرد غالب برای تجزیه‌وتحلیل پیامدهای سیاست‌های انرژی و زیست‌محیطی تبدیل شده است (چی و همکاران[4]، ۲۰۱۴). در میان چارچوب‌های مدل‌سازی که در این حوزه مفید هستند، مدل پروژه تحلیل تجارت جهانی-انرژی (GTAP-E) است که یک مدل تعادل عمومی قابل محاسبه چندعاملی، چندبخشی و چندمنطقه‌ای است، که توسط بورنیاکس و ترونگ[5] (۲۰۰۲) توسعه یافته است که برای تجزیه‌وتحلیل بازارهای انرژی و سیاست‌های زیست‌محیطی طراحی شده است. نوآوری کلیدی این مدل توانایی آن در توضیح صریح تأثیر مصرف انرژی بر انتشار گازهای گلخانه‌ای[6] (GHG)، به ویژه انتشار دی‌اکسیدکربن (CO_2) از احتراق سوخت‌های فسیلی است، این مدل شکل تعمیم یافتهٔ مدل تعادل عمومی GTAP است که توسط هرتل[7] (۱۹۹۷) طراحی شده است، استفاده از الگوهای تعادل عمومی چندمنطقه‌ای به جای الگوهای تعادل عمومی یک منطقه‌ای دارای مزیت‌های متعددی است. از نقاط قوت این الگوها توانایی آن‌ها جهت کمک به فهم پیوند بین بخش‌ها، کشورها و عوامل تولید در مقیاس جهانی است که به طور گسترده‌ای برای تجزیه‌وتحلیل اثرات انواع مختلف استراتژی‌ها و سیاست‌ها بر پارامترهای اقتصادی استفاده شده است (وو و همکاران[8]، ۲۰۱۹). این مدل‌ها محققان را قادر می‌سازد تا اثرات مستقیم، غیرمستقیم و حتی القایی انواع سیاست‌های اقتصادی را ارزیابی کنند و درک جامع‌تری از پیامدهای کلان اقتصادی آلودگی محیط‌زیست، مانند تأثیرات بر تولید، اشتغال، تجارت و رفاه در بخش‌ها و مناطق مختلف به دست آورند. این دانش می‌تواند به توسعه مداخلات و استراتژی‌های موثر سیاستی برای کاهش پیامدهای

1. Choi et al.
2. García-Le´on
3. Rao et al.
4. Chi et al.
5. Burniax & Trong
6. Green House Gas
7. Hertel
8. Wu et al.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

اقتصادی تخریب محیط‌زیست نیز کمک نماید (لکاویسیوس و همکاران[1]، ۲۰۱۹)، به گونه‌ای که یک محیط رقابتی را در نظر می‌گیرد که در آن شرکت‌ها و خانوارها قیمت‌ها را مطابق با داده‌ها در نظر می‌گیرند. در سمت تقاضا، خانوار منطقه‌ای نماینده یک مصرف کننده که سهم ثابتی از درآمد خود را به مخارج عمومی اختصاص می‌دهد و کالاهای قابل مبادله را مصرف می‌نماید، بخشی از درآمد خود را نیز پس‌انداز می‌کند. ساختار تولید اقتصاد مبتنی بر ساختار نهاده-ستانده است که در آن از واسطه‌های وارداتی یا داخلی برای تولید کالاها استفاده می‌شود. ساختار تولید تودرتو رفتار شرکت‌هایی را تعریف می‌کند که هزینه‌های خود را به حداقل می‌رساند و تقاضای عوامل خود را با تغییرات قیمت‌های نسبی تطبیق می‌دهد. اشکال کارکردی در ساختار تولید، امکانات جایگزینی را برای کشورهای مبدأ برای واردات، جایگزینی بین کالاهای داخلی و وارداتی بین محصولات میانی و با ارزش افزوده تعریف می‌کند (هرتل و تسیگاس[2]، ۱۹۹۷).

۴-۱- تحلیل تغییرات در شدت انرژی

شدت انرژی عبارت از نسبت مصرف انرژی به تولید ناخالص ملی یا تولید ناخالص داخلی است. شدت انرژی نشان دهندهٔ این مطلب است که به ازای یک واحد تولید ناخالص ملی چه میزان انرژی مصرف شده است. اگر چه تجزیه تغییرات تقاضای انرژی ابزاری مفید برای درک عوامل موثر بر تقاضای انرژی است، اما مطالعات آکادمیک بیشتر به تحلیل شدت انرژی و تجزیه آن متمرکز شده‌اند. در این روش (تجزیه تغییرات در شدت انرژی) دو عامل "شدت انرژی" و "تغییر ساختاری" را شناسایی کرده و سهم هر عامل را در تغییرات کل شدت انرژی بررسی می‌کنند. آن‌چه در ادامه بیان می‌شود، روش شاخص دیویزیا بوده و در سطح کل انرژی تشریح می‌گردد. تجزیه شدت انرژی به کمک شاخص دیویزیا با معادله پایه‌ای شدت انرژی آغاز می‌شود:

$$EI = \frac{E}{Q} = \sum_i \left(\frac{E_i Q_i}{Q_i Q}\right) = \sum_i EI_i S_i \qquad (۱)$$

1. Lekavicius et al.
2. Hertel & Tsigas

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

که E_i مصرف انرژی در بخش iام، Q_i متغیر فعالیت اقتصادی بخش iام، E مصرف انرژی در کل اقتصاد، Q فعالیت اقتصادی در کلیهٔ بخش‌های اقتصاد، S_i سهم بخشiام از ارزش اقتصادی همه بخش‌های اقتصاد، EI_i شدت انرژی بخش iام، با مشتق‌گیری از رابطه (۱) نسبت به زمان رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{d(EI)}{dt} = \sum_i \frac{d(EI_I)}{dt} S_i + \sum_i \frac{d(S_i)}{dt} EI_i \quad (۲)$$

با تقسیم دو طرف بر EI و با توجه به $EI = \sum_i EI_i S_i$، در نتیجه:

$$\frac{1}{EI}\frac{d(EI)}{dt} = \sum_i \frac{EI_i S_i}{EI_i S_i}\frac{d(S_i)}{S_i dt} + \sum_i \frac{EI_i S_i}{\sum_i EI_i S_i}\frac{d(EI_i)}{EI_i dt} \quad (۳)$$

با فرض $w_i = \frac{EI_i S_i}{\sum_i EI_i S_i} = \frac{\frac{E_i Q_i}{Q_i Q}}{\frac{E}{Q}}$ به عنوان وزن شدت انرژی در بخش iام نسبت به کل شدت انرژی، رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\frac{dEI}{EIdt} = \sum_i w_i \frac{dS_i}{S_i dt} + \sum_i w_i \frac{dEI_i}{EI_i dt}$$
$$\ln\left(\frac{EI^T}{EI^{T0}}\right) = \sum_i w_i \ln\left(\frac{S_i^T}{S_i^{T0}}\right) + \sum_i w_i \ln\left(\frac{EI_i^T}{EI_i^{T0}}\right) \quad (۴)$$

با بازنویسی رابطه فوق به فرم توانی و سپس ضربی، رابطه زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{EI^T}{EI^{T0}} = e^{\sum_i w_i \ln\left(\frac{S_i^T}{S_i^{T0}}\right) + \sum_i w_i \ln\left(\frac{EI_i^T}{EI_i^{T0}}\right)} = e^{\sum_i w_i \ln\left(\frac{S_i^T}{S_i^{T0}}\right)} . e^{\sum_i w_i \ln\left(\frac{EI_i^T}{EI_i^{T0}}\right)} = D_{st} D_{Int} \quad (۵)$$

که D_{st} در آن شاخص دیویزیای ساختاری در سال t و D_{Int} شاخص دیویزیای شدت انرژی در سال t است (امامی میبدی و همکاران، ۱۳۹۶: ۳۵).

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

۴-۲- پایگاه داده و تجمیع بخش‌ها

برای کالیبره کردن مدل از داده‌های SAM در مجموعه داده GTAP نسخه ۱۰ استفاده می‌شود. این نسخه شامل داده‌های ۱۴۱ منطقه، ۶۵ بخش و ۸ عامل تولید برای سال مرجع ۲۰۱۴ می‌باشد. داده‌های مطالعه حاضر در قالب چهار بخش (۱.کشاورزی، ۲. نفت، گاز، زغال سنگ و مواد معدنی ۳. صنعت ۴. خدمات) و پنج عامل تولیدی (نیروی کار ماهر، نیروی کار غیرماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه) و سه منطقه (ایران، شرکای تجاری ایران و سایر کشورها) تجمیع شده است. تجمیع داده‌های مربوط به مناطق، عوامل اولیه تولید و بخش‌های مختلف اقتصادی براساس اهداف پژوهش در جدول (۱) گردآوری شده است.

جدول ۱. تجمیع داده‌ها براساس ماتریس حسابداری اجتماعی

عناوین	قبل از تجمیع در پایگاه داده GTAP10	بعد از تجمیع و براساس اهداف پژوهش
بخش‌های اقتصادی	۶۵ بخش و زیربخش	۱۷ بخش (نفت، گاز، برق، الکتریسیته، زغال سنگ، آهن و فلزات اساسی، صنعت، کشاورزی، محصولات معدنی، محصولات شیمیایی، محصولات غذایی، محصولات دارویی، محصولات خودرویی، پوشاک و چرم، ریخته‌گری و خدمات)
عوامل اولیه تولید	نیروی کار ماهر، نیروی کار غیرماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه	نیروی کار ماهر، نیروی کار غیرماهر، منابع طبیعی، زمین و سرمایه
مناطق	۱۴۱ منطقه یا بخش	۱. ایران ۲. شرکای تجاری (آرژانتین، آفریقای جنوبی، اسپانیا، آذربایجان، آلمان، ارمنستان، ایتالیا، امارات متحده عربی، اندونزی، اوکراین، بریتانیا، برزیل، تایلند، تایوان، چین، ترکیه، روسیه، دانمارک، ژاپن، فرانسه، قزاقستان، عراق، سنگاپور، سری‌لانکا، شیلی، یونان، مالزی، کره، هند، هلند) ۳. سایر مناطق جهان

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

انرژی به عنوان سنگ بنای اقتصاد جهانی، یکی از مهم‌ترین عوامل و پارامترهای امنیت ملی در جهان امروز می‌باشد، بدون تردید، اصلی‌ترین عامل دستیابی به رشد و توسعه پایدار هر کشوری است. با توجه به تمامی برآوردهای انجام شده توسط منابع معتبر جهانی تا دهه‌های آتی نفت و گاز طبیعی، منابع عمده تامین انرژی اقتصاد جهانی خواهند بود و بر مبنای این برآوردها، حجم تقاضای این دو حامل انرژی، به صورت روزافزون افزایش خواهد یافت. هدف اصلی مطالعه حاضر ارزیابی تاثیر تغییرات قیمت انرژی بر روند شدت استفاده از انرژی در محصولات معدنی می‌باشد، برای این منظور دو سناریوی (۱. شوک قیمتی پنج درصدی به گاز طبیعی، ۲. شوک قیمتی پنج درصدی نفت) در بازهٔ زمانی (از سال ۲۰۲۳ تا ۲۰۵۰) داده شده و نتایج این ارزیابی در قسمت بعدی به تفسیر بیان گردیده است.

۴-۳- حقایق آماری

شدت انرژی با تقسیم کل انرژی مصرفی یک کشور بر تولید ناخالص داخلی (GDP) محاسبه می‌شود. تولید ناخالص داخلی با نرخ ارز ثابت و برابری قدرت خرید برای حذف تأثیر تورم و منعکس کردن تفاوت‌ها در سطوح عمومی قیمت‌ها و ارتباط مصرف انرژی با سطح واقعی فعالیت اقتصادی بیان می‌شود. استفاده از نرخ برابری قدرت خرید برای تولید ناخالص داخلی به جای نرخ ارز، ارزش تولید ناخالص داخلی را در مناطقی با هزینه زندگی پایین افزایش می‌دهد و در نتیجه شدت انرژی آنها را کاهش می‌دهد. جدول زیر ۱۰ کشور جهان را که به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین میزان شدت انرژی را که در سال ۲۰۲۲ مصرف کرده‌اند، نشان می‌دهد.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

جدول۲. بیش‌ترین و کم‌ترین میزان شدت انرژی کشورها

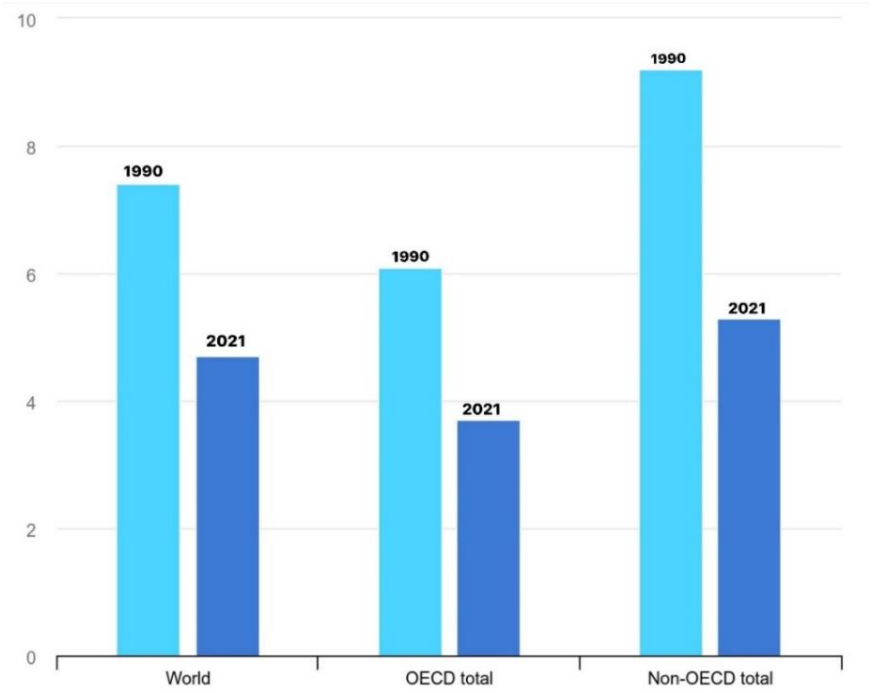
ردیف	بیشترین میزان شدت انرژی		کمترین میزان شدت انرژی	
	کشور	میزان شدت انرژی	کشور	میزان شدت انرژی
۱	کویت	۰,۲۶۴	بریتانیا	۰,۰۵
۲	روسیه	۰,۲۱۸	ترکیه	۰,۰۵۶
۳	ایران	۰,۲۰۷	رومانی	۰,۰۵۸
۴	اوکراین	۰,۱۹۳	کلمبیا	۰,۰۵۸
۵	کانادا	۰,۱۶۹	ایتالیا	۰,۰۶۲
۶	تایوان	۰,۱۶۳	پرتغال	۰,۰۶۲
۷	نیجریه	۰,۱۵۶	هلند	۰,۰۶۴
۸	ازبکستان	۰,۱۵۶	آلمان	۰,۰۶۵
۹	آفریقای جنوبی	۰,۱۵۶	اسپانیا	۰,۰۶۵
۱۰	عربستان صعودی	۰,۱۴۷	مصر	۰,۰۶۵

ماخذ: سایت آمار انرژی جهان، ۲۰۲۴

شدت انرژی اغلب به عنوان شاخصی برای کارایی انرژی استفاده می‌شود، شدت انرژی بیش‌تر نشان‌دهندۀ اتکای بیش‌تر به انرژی برای تولید خروجی اقتصادی است، در حالی‌که شدت انرژی کم‌تر نشان‌دهندۀ اقتصاد کارآمدتر انرژی است. کشور بریتانیا کم‌ترین و کشور کویت بیش‌ترین میزان شدت انرژی را به خود اختصاص داده‌اند. همبستگی بین شدت انرژی و کارایی انرژی همیشه کامل نیست، یک اقتصاد کوچک مبتنی بر خدمات در یک آب‌وهوای معتدل، شدت کم‌تری نسبت به یک اقتصاد بزرگ مبتنی بر صنعت در یک آب و هوای سرد خواهد داشت، حتی اگر دومی انرژی را به طور موثرتری مصرف کند. به همین ترتیب، گرایش به سمت شدت کم‌تر لزوماً توسط بهبود کارایی هدایت نمی‌شود. سایر عناصر نیز در تعیین سطوح و روندهای شدت نقش دارند، از جمله ساختار اقتصادی (سهم صنایع بزرگ مصرف کننده انرژی)، ویژگی‌های جغرافیایی (مانند مسافت‌های طولانی‌تر که منجر به تقاضای بیش‌تر برای حمل‌ونقل می‌شود)، شرایط آب و هوایی و نرخ ارز. در نمودار زیر تغییرات شدت انرژی جهانی

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

سال ۱۹۹۰ و سال ۲۰۲۱ در جهان (World)، سازمان توسعه و همکاری اقتصادی[1] (OECD)، سایر مناطق جهان (Non-OECD total) به وضوح نشان داده شده است.



نمودار ۲. شدت انرژی جهانی در سال ۱۹۹۰ و سال ۲۰۲۱

ماخذ: آژانس بین‌المللی انرژی[2]، ۲۰۲۳

شدت انرژی اقتصاد بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۱ در مناطق مختلف جهان، ۳۶ درصد کاهش یافته است. چنان‌چه مشخص است کاهش منطقه OECD بیش‌تر بوده است. در چین، شدت انرژی بیش از نصف (٪۷۲-) در این دوره کاهش یافته است. همچنین آژانس بین‌المللی انرژی طبق گزارشی اعلام کرده است که شدت انرژی جهانی در سال ۲۰۲۲ به میزان ٪۱,۲ کاهش یافته است، یعنی سریع‌تر از سال ۲۰۲۱، اما کندتر از روند تاریخی آن (٪۱,۹- در سال، بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹). البته در

1. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD)
2. Nternational Energy Agency (IEA)

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

مقایسه با کاهش بیش از ۳,۵٪ در سال که برای دستیابی به سناریوی دو درجه سانتی‌گراد لازم است، ناکافی می‌باشد. در سال ۲۰۲۲، مصرف انرژی جهانی با سرعت کم‌تری نسبت به تولید ناخالص داخلی جهانی افزایش یافته (به ترتیب ۲,۱٪+ و حدود ۳٪+) اما سطوح و روند شدت انرژی در مناطق مختلف جهان به طور گسترده‌ای متفاوت است که منعکس کنندهٔ تفاوت در ساختار اقتصادی و دستاوردهای بهره‌وری انرژی است. کاهش شدید شدت انرژی در کشورهای OECD وجود دارد، به طوری‌که (۳,۱٪- در سال ۲۰۲۲، بالاتر از روند ۲,۲٪- در سال، بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹)، که عمدتا به دلیل کاهش ۷,۶٪ در اتحادیه اروپا بوده است، شدت انرژی اروپا اکنون ۴۲٪ کم‌تر از میانگین جهانی است. همچنین، شدت انرژی در استرالیا ۲,۸-٪، ژاپن و کره جنوبی حدود ۲٪- کاهش و در ایالات متحده ۰,۳٪- و کانادا ۰,۴٪+ ثابت مانده است. در خارج از OECD، تقریباً هیچ تغییری در شدت انرژی در سال ۲۰۲۲ وجود نداشته است. در چین ۰,۱٪+، ۳۰٪ بالاتر از میانگین جهانی، در کل آسیا مانند آفریقا ۰,۷٪-، با وجود ۶,۴٪ ثابت مانده، در هند ۰,۵۶,۴٪+ و ۹۶,۴ کم‌تر از میانگین جهانی، در روسیه ۱,۷٪+ که ۹۵٪ بالاتر از میانگین جهانی، اما در آمریکای لاتین ۱٪-، از جمله ۰,۴٪ در برزیل کاهش، در مکزیک و آرژانتین ۰,۷٪- و در خاورمیانه ۲,۲٪- کاهش یافته است (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۳).

۵- نتایج تجربی

شدت انرژی یک کشور یا منطقه تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ساختار اقتصادی (به عنوان مثال خدمات در مقابل تولید)، آب و هوا، بهره‌وری انرژی ساختمان‌ها، وسایل نقلیه و صنعت است. البته، شدت انرژی در بخش‌های مختلف اقتصاد به طور قابل توجهی متفاوت است، نتایج شدت انرژی براساس بخش‌ها در جدول زیر نشان داده شده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

جدول۳. اثر تغییر قیمت گاز و نفت بر شدت انرژی براساس بخش‌ها

	سناریوی اول			سناریوی دوم		
بخش ها	ایران	شرکای تجاری	سایر مناطق	ایران	شرکای تجاری	سایر مناطق
کشاورزی	-۱,۴۸	-۰,۰۱	۰	-۱۰,۸۲	-۰,۳۳	-۰,۵۲
نفت	-۰,۲	-۰,۰۱	-۰,۰۳	۲۰,۱۶	۱,۳۱	۱,۲
گاز	۹,۷	۰,۵۴	۰,۸۶	-۰,۲۷	۰,۲۴	۰,۲۷
زغال سنگ	-۰,۰۴	۰,۲۳	۰,۲۹	-۰,۸۲	۰,۸۵	۱,۷۶
محصولات معدنی	-۱,۸	-۰,۱۱	-۰,۱۲	-۱۳,۲۴	-۰,۷۶	-۰,۸۵
صنعت	-۲,۴۸	۰,۱۱	-۰,۱۲	-۸,۷۲	۰,۵۱	-۰,۴
خدمات	-۰,۹	۰,۱۴	-۰,۱۷	-۱۱,۸۶	۰,۰۲	-۱,۲

ماخذ: محاسبات محقق

مقادیر شدت انرژی بیانگر مقدار انرژی مصرف شده در هر واحد تولید اقتصادی در هر بخش است. مقادیر منفی نشان‌دهندهٔ کاهش مصرف انرژی در واحد فعالیت اقتصادی است، در حالی‌که مقادیر مثبت نشان‌دهندهٔ افزایش است. طبق نتایج به دست آمده در سناریوی اول، شدت انرژی در اکثر بخش‌ها کاهش می‌یابد که بیش‌ترین کاهش در بخش‌های صنعت، محصولات معدنی و خدمات است. پیش‌بینی می‌شود بخش کشاورزی، زغال سنگ و نفت کاهش اندک و بخش گاز افزایش قابل توجهی داشته است. در سناریوی دوم، بخش نفت افزایش قابل توجهی داشته، در حالی‌که بخش‌های کشاورزی، محصولات معدنی، صنعت و خدمات همگی کاهش بیش‌تری داشته‌اند. در حالی‌که پروژه هر دو سناریو در بیش‌تر بخش‌ها شدت انرژی را کاهش می‌دهد، سناریوی دوم تغییرات چشم‌گیرتری (مثبت و منفی) در مقایسه با سناریوی اول نشان می‌دهد. بخش گاز تنها بخشی است که روند ثابتی را نشان می‌دهد، با افزایش اندک در سناریوی اول و کاهش اندک در سناریوی دوم.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

بخش گاز شرکای تجاری در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول دارای شدت انرژی کم‌تری و زغال سنگ نسبت به سناریوی اول شدت انرژی بالاتری دارد. بخش‌های کشاورزی و محصولات معدنی در سناریوی دوم از شدت انرژی منفی کم‌تری نسبت به سناریوی اول برخوردار هستند. بخش‌های نفت و زغال‌سنگ در سناریوی دوم در مقایسه با سناریوی اول دارای شدت انرژی به طور قابل توجهی بالاتری هستند. بخش‌های صنعت و خدمات در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول شدت انرژی کم‌تری دارند. این تغییرات تأثیرات متنوع سناریوهای مختلف بر شدت انرژی در بخش‌های مختلف را برجسته می‌کند.

برای سایر مناطق در سناریوی اول، بخش‌های نفت، گاز، زغال‌سنگ و صنعت مقادیر مثبتی را نشان می‌دهند که نشان‌دهندهٔ افزایش شدت انرژی است، بخش‌های کشاورزی، محصولات معدنی و خدمات مقادیر منفی را نشان می‌دهند که حاکی از کاهش شدت انرژی است. در سناریوی دوم، تغییر قابل توجهی در شدت انرژی در بخش‌ها وجود دارد. نفت، زغال سنگ و خدمات به طور قابل توجهی مقادیر مثبت بالاتری را نشان می‌دهند که نشان‌دهندهٔ افزایش قابل توجهی در شدت انرژی است. کشاورزی، محصولات معدنی و صنعت هم‌چنان مقادیر منفی را نشان می‌دهند که حاکی از کاهش شدت انرژی است. با مقایسه این دو سناریو، سناریوی دوم به طور کلی افزایش بارزتری در شدت انرژی در بخش‌های مختلف به ویژه در نفت، زغال‌سنگ و خدمات را نشان می‌دهد، در حالی‌که سناریوی اول توزیع متعادل‌تری از تغییرات شدت انرژی را در میان بخش‌های مختلف نشان می‌دهد.

صنعت معدن مصرف کنندهٔ قابل توجه انرژی و منبع انتشار گازهای گلخانه ای است. تولید مواد معدنی کلیدی مانند گرافیت، لیتیوم و کبالت می‌تواند تا ۵۰۰ درصد افزایش یابد تا از انتقال انرژی پشتیبانی کند. شدت انرژی استخراج معدن و فرآوری مواد معدنی به طور گسترده‌ای متفاوت است. برخی از صنایع معدنی غیرفلزی دارای شدت انرژی نسبتاً کم‌تری هستند، در حالی‌که طبیعت انرژی بر استخراج و فرآوری برخی از مواد معدنی حیاتی یک چالش کلیدی است. شدت انرژی یک منبع معدنی نه تنها به استخراج و فرآوری بستگی دارد، بلکه به نحوه استفاده از آن به عنوان ماده در فناوری انرژی نهایی نیز بستگی دارد. در جدول (۴) شدت انرژی برای محصولات معدنی تا افق ۲۰۵۰ ارائه شده است.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

جدول۴. اثر تغییر قیمت گاز و نفت بر شدت انرژی برای محصولات معدنی تا افق ۲۰۵۰

	سناریوی اول			سناریوی دوم		
سال	ایران	شرکای تجاری	سایر مناطق	ایران	شرکای تجاری	سایر مناطق
۲۰۲۳	-۹,۵۴	-۰,۰۴	-۰,۰۹	-۱۱,۷۳	-۰,۳۵	-۰,۳۵
۲۰۲۴	-۹,۴۸	-۰,۰۴	-۰,۰۹	-۱۳,۴۷	-۰,۳۹	-۰,۳۹
۲۰۲۵	-۹,۴۸	-۰,۰۴	-۰,۰۹	-۱۵,۰۵	-۰,۴۴	-۰,۴۴
۲۰۲۶	-۹,۵۱	-۰,۰۵	-۰,۱	-۱۶,۴۷	-۰,۴۸	-۰,۴۸
۲۰۲۷	-۹,۵۶	-۰,۰۵	-۰,۱	-۱۷,۷۴	-۰,۵۳	-۰,۵۴
۲۰۲۸	-۹,۶۱	-۰,۰۵	-۰,۱۱	-۱۸,۸۷	-۰,۵۹	-۰,۶
۲۰۲۹	-۹,۶۶	-۰,۰۶	-۰,۱۱	-۱۹,۸۵	-۰,۶۵	-۰,۶۶
۲۰۳۰	-۹,۷۳	-۰,۰۷	-۰,۱۲	-۲۰,۷	-۰,۷۲	-۰,۷۴
۲۰۳۱	-۹,۷۹	-۰,۰۸	-۰,۱۳	-۲۰,۲۴	-۰,۷۸	-۰,۸
۲۰۳۲	-۹,۸۶	-۰,۰۹	-۰,۱۴	-۱۹,۷۲	-۰,۸۴	-۰,۸۷
۲۰۳۳	-۹,۹۴	-۰,۱۰	-۰,۱۶	-۱۹,۱۳	-۰,۹۱	-۰,۹۵
۲۰۳۴	-۱۰,۰۳	-۰,۱۱	-۰,۱۷	-۱۸,۴۶	-۰,۹۹	-۱,۰۴
۲۰۳۵	-۱۰,۱۴	-۰,۱۳	-۰,۱۹	-۱۷,۷۶	-۱,۰۹	-۱,۱۴
۲۰۳۶	-۱۰,۲۷	-۰,۱۵	-۰,۲۲	-۱۶,۹۹	-۱,۱۹	-۱,۲۶
۲۰۳۷	-۱۰,۴۳	-۰,۱۷	-۰,۲۴	-۱۶,۱۵	-۱,۳	-۱,۳۹
۲۰۳۸	-۱۰,۶۲	-۰,۱۹	-۰,۲۷	-۱۵,۲۲	-۱,۴۲	-۱,۵۴
۲۰۳۹	-۱۰,۸۵	-۰,۲۲	-۰,۳۱	-۱۴,۲۲	-۱,۵۴	-۱,۷
۲۰۴۰	-۱۱,۱	-۰,۲۴	-۰,۳۴	-۱۳,۲۱	-۱,۶۶	-۱,۸۶
۲۰۴۱	-۱۱,۳۷	-۰,۲۵	-۰,۳۷	-۱۲,۲۲	-۱,۷۴	-۲,۰۱
۲۰۴۲	-۱۱,۶۴	-۰,۲۶	-۰,۴۰	-۱۱,۲۴	-۱,۸	-۲,۱۴
۲۰۴۳	-۱۱,۸۹	-۰,۲۵	-۰,۴۲	-۱۰,۳۴	-۱,۸	-۲,۲۳
۲۰۴۴	-۱۲,۰۶	-۰,۲۳	-۰,۴۲	-۹,۵۹	-۱,۷۴	-۲,۲۶
۲۰۴۵	-۱۲,۱۲	-۰,۲۰	-۰,۴۱	-۹,۰۸	-۱,۶۴	-۲,۲۳
۲۰۴۶	-۱۲,۰۵	-۰,۱۷	-۰,۳۹	-۸,۷۶	-۱,۵۲	-۲,۱۴
۲۰۴۷	-۱۱,۸۷	-۰,۱۴	-۰,۳۶	-۸,۵۷	-۱,۳۹	-۲
۲۰۴۸	-۱۱,۶۲	-۰,۱۲	-۰,۳۲	-۸,۴۵	-۱,۲۹	-۱,۸۳
۲۰۴۹	-۱۱,۳۵	-۰,۱۱	-۰,۲۸	-۸,۵۲	-۱,۲۴	-۱,۶۶
۲۰۵۰	-۱۱,۰۹	-۰,۱۱	-۰,۲۴	-۸,۹۳	-۱,۲۲	-۱,۵۳

ماخذ: محاسبات محقق

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

جدول (۴) شدت انرژی پیش‌بینی شده را برای محصولات معدنی در ایران، شرکای تجاری آن و سایر مناطق را تا سال ۲۰۵۰ نشان می‌دهد. برای ایران در سناریوی اول، شدت انرژی از ۹,۵۴- در سال ۲۰۲۳ شروع می‌شود و به تدریج تا سال ۲۰۵۰ به میزان ۱۱,۰۹- کاهش می‌یابد که نشان‌دهندهٔ بهبود مداوم در بهره‌وری انرژی برای محصولات معدنی در طول زمان است. مقادیر شدت انرژی در کل منفی باقی می‌ماند که بیان‌گر این مطلب است که بخش محصولات معدنی در حال تبدیل شدن به انرژی کم‌تر و کارآمدتر شدن در مصرف انرژی است. در سناریوی دوم شدت انرژی از ۱۱,۷۳- در سال ۲۰۲۳ شروع می‌شود، سپس به شدت افزایش می‌یابد و در سال ۲۰۳۰ به اوج خود یعنی میزان ۲۰,۷- می‌رسد. پس از سال ۲۰۳۰، مقادیر شروع به کاهش کرده و تا سال ۲۰۵۰ به ۸,۹۳- می‌رسد. این سناریو نشان می‌دهد که بخش محصولات معدنی انرژی بیش‌تری خواهد داشت، با افزایش قابل توجهی در مصرف انرژی در هر واحد خروجی. با این حال، پس از سال ۲۰۳۰، انتظار می‌رود این بخش دوباره کارآمدتر شود. این دو سناریو به طور قابل توجهی در پیش‌بینی متفاوت هستند. سناریوی اول بهبود مستمر در بهره‌وری انرژی، در حالی که سناریوی دوم افزایش موقت شدت انرژی و به دنبال آن کاهش تدریجی را پیش‌بینی می‌کند.

برای شرکای تجاری در سناریوی اول کاهش تدریجی را در طول سال‌ها نشان می‌دهد که از ۰,۰۴- در سال ۲۰۲۳ شروع شده و به ۰,۱۱- در سال ۲۰۴۹ می‌رسد که نشان‌دهندهٔ کاهش مداوم شدت انرژی است. سناریوی دوم کاهش قابل توجهی را به تصویر می‌کشد. در سال ۲۰۲۳ از ۰,۳۵- شروع شده و با سرعت بیش‌تری کاهش می‌یابد، در سال ۲۰۵۰ به ۱,۲۲- می‌رسد. این سناریو نسبت به سناریوی اول کاهش شدیدتری را ارائه می‌دهد. سناریوی دوم رویکرد تهاجمی‌تری را برای کاهش شدت انرژی با نرخ کاهش سریع‌تر نسبت به سناریوی اول ارائه می‌دهد. تا سال ۲۰۵۰، سناریوی دوم به سطح شدت انرژی بسیار کم‌تری نسبت به سناریوی اول دست می‌یابد که نشان دهندهٔ هدف بلندپروازانه‌تری برای بهره‌وری انرژی است.

در سایر مناطق نیز سناریوی اول کاهش تدریجی شدت انرژی را از ۰,۰۹- در سال ۲۰۲۳ به ۰,۲۴- در سال ۲۰۵۰ نشان می‌دهد که نشان‌دهندهٔ کاهش نسبتاً متوسط در طول سال‌ها می‌باشد. در مقابل، سناریوی دوم کاهش قابل توجهی در شدت انرژی را

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

نشان می‌دهد که از ۰,۳۵- در سال ۲۰۲۳ شروع شده و تا سال ۲۰۵۰ به ۱,۵۳- می‌رسد، که کاهش شدیدتری را در مقایسه با سناریوی اول نشان می‌دهد. این سناریو کاهش شدیدتر و سریع‌تری را در طول سال‌ها نشان می‌دهد، که بیان‌گر تعهد قوی‌تر به افزایش بهره‌وری انرژی در فرآیندهای محصولات معدنی است.

شاخص قیمت واقعی انرژی تغییر در قیمت‌های پرداخت شده برای انرژی در طول زمان را اندازه‌گیری می‌کند که برای تورم تعدیل شده می‌باشد، که معیار مهم برای درک هزینه واقعی انرژی و تأثیر آن بر اقتصاد، پس از محاسبه تورم عمومی است. براساس داده‌ها، شاخص قیمت واقعی انرژی جهانی در سال ۲۰۲۲ حدود ۱۵۲,۶ بود که نشان می‌دهد قیمت انرژی در سال‌های اخیر، پس از تعدیل تورم عمومی، به طور قابل‌توجهی افزایش یافته است. به طور خاص، داده‌ها نشان می‌دهند که قیمت‌های منابع مختلف انرژی مانند بنزین، زغال‌سنگ و انرژی‌های تجدیدپذیر به سرعت در حال تغییر بوده‌اند که منعکس‌کنندهٔ نوسانات در بازارهای جهانی انرژی است. جدول (۵) شاخص قیمت واقعی انرژی را نشان می‌دهد.

جدول ۵. اثر تغییر قیمت گاز و نفت بر شاخص قیمت واقعی انرژی

	سناریوی اول			سناریوی دوم		
بخش‌ها	ایران	شرکای تجاری	سایر مناطق	ایران	شرکای تجاری	سایر مناطق
زغال سنگ	۰,۰۱	۰,۰۴-	۰,۱۱-	۱,۸۹-	۰,۱۷-	۰,۴۶-
نفت	۰,۰۸-	۰,۰۷	۰,۲۲	۴۹,۱۶	۳,۰۶	۳,۳۲
گاز	۱۹,۵۵	۰,۴۸	۰,۶۹	۶,۹۹-	۰,۲۵	۰,۸۴
فرآورده‌های نفتی	۰,۰۴	۰,۰۶	۰,۱۱	۳۹,۲۱	۲,۵۲	۲,۷۹
الکتریسیته	۶,۴۵	۰,۱۰	۰,۲۱	۱۷,۲۹	۰,۳۷	۰,۷۹

ماخذ: محاسبات محقق

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

شاخص قیمت واقعی انرژی برای ایران در سناریوی اول، گاز بیش‌ترین تاثیر مثبت را بر شاخص قیمت واقعی انرژی دارد و پس از آن برق. نفت تأثیر منفی دارد، در حالی‌که زغال سنگ و فرآورده‌های نفتی کم‌ترین تأثیر را دارند. در سناریوی دوم، نفت تأثیر مثبت قابل توجهی بر شاخص قیمت واقعی انرژی دارد و فرآورده‌های نفتی نیز نقش مثبتی در این زمینه دارند. گاز و الکتریسیته اثرات منفی نشان می‌دهند، به ویژه زغال سنگ که تأثیر منفی قابل توجهی دارد. این سناریوها تأثیرات متفاوت منابع مختلف انرژی بر شاخص قیمت واقعی انرژی برای محصولات معدنی در ایران را برجسته می‌کند، به طوری‌که نفت در سناریوی دوم نقش مهمی در افزایش این شاخص دارد.

در رابطه با شرکای تجاری سناریوی اول، زغال‌سنگ و فرآورده‌های نفتی کاهش جزئی در شاخص‌های قیمتی نشان می‌دهند، در حالی‌که نفت، گاز و برق افزایش متوسطی را تجربه می‌کنند. از سوی دیگر، در سناریوی دوم، زغال‌سنگ، فرآورده‌های نفتی و برق تغییرات قابل‌توجهی در شاخص‌های قیمتی دارند که زغال‌سنگ و برق کاهش یافته و فرآورده‌های نفتی افزایش قابل‌توجهی دارند. نفت در سناریوی دوم افزایش قابل توجهی را نشان می‌دهد، در حالی‌که گاز افزایش متوسطی دارد.

برای سایر مناطق نیز می‌توان بیان نمود که قیمت نفت و فرآورده‌های نفتی در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول به شدت افزایش می‌یابد. قیمت زغال سنگ و گاز نیز در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول افزایش بیش‌تری دارد. همچنین، قیمت برق در هر دو سناریو نسبتاً افزایش می‌یابد، اما در سناریوی دوم بیش‌تر است.

قیمت انرژی تاثیر مستقیمی بر مصرف انرژی دارد. قیمت‌های بالاتر انرژی عموماً منجر به کاهش تقاضای انرژی می‌شود، زیرا مصرف‌کنندگان و کسب‌وکارها به دنبال کاهش مصرف انرژی و روی آوردن به فناوری‌های کارآمدتر انرژی هستند. برعکس، کاهش قیمت انرژی منجر به افزایش مصرف انرژی می‌شود. شدت انرژی یا مصرف انرژی

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

در واحد تولید ناخالص داخلی نیز یک عامل کلیدی است. در جدول (۶) ارزش مصرف انرژی در قیمت عامل‌ها (ارزش افزوده) ارائه شده است.

جدول ۶. اثر تغییر قیمت گاز و نفت بر ارزش مصرف انرژی در قیمت عامل‌ها (ارزش افزوده)

	سناریوی اول			سناریوی دوم		
بخش‌ها	ایران	شرکای تجاری	سایر مناطق	ایران	شرکای تجاری	سایر مناطق
زغال سنگ	-۰,۸۵	۰,۴۱	-۰,۱۲	-۳۷,۳۵	۱,۶۱	-۰,۲۷
نفت	-۰,۷۹	۰,۴۷	۰,۰۶	-۱۴,۴۵	۳	۱,۷۶
گاز	-۰,۵۴	۰,۶۳	۰,۳۳	-۱۰,۴۳	۲,۳۷	۰,۶۹
فرآورده‌های نفتی	-۰,۸۲	۰,۴۲	-۰,۰۱	-۳,۴	۲,۴۲	۰,۴۵
الکتریسیته	۰,۵۵	۰,۴۲	-۰,۰۱	۱,۴۸	۲,۱۶	۰,۲۹

ماخذ: محاسبات محقق

داده‌های جدول (۶) نشان‌دهندهٔ مصرف انرژی در قیمت عوامل (ارزش افزوده) در مناطق بررسی شده، برای منابع مختلف است. این مقادیر منعکس کنندهٔ اثرات متفاوت مصرف انرژی در بخش‌های مختلف بر قیمت عوامل (ارزش افزوده) هستند که بر تعامل پیچیده بین هزینه‌های انرژی و عملکرد کلی اقتصادی این بخش‌ها تاکید می‌کنند. ارزش‌های فرعی مصرف انرژی در قیمت عوامل (ارزش افزوده) در مناطق مختلف ایران نشان می‌دهد که در سناریوی اول، مصرف انرژی در بخش‌های زغال‌سنگ، نفت، گاز و فرآورده‌های نفتی رو به کاهش است، در حالی‌که مصرف برق در حال افزایش است. سناریوی دوم کاهش بسیار قابل توجهی در مصرف انرژی در همه بخش‌ها به جز برق را نشان می‌دهد که در حال افزایش است. مقادیر منفی بزرگ‌تر نشان‌دهندهٔ کاهش شدیدتر مصرف انرژی در بخش‌های زغال سنگ، نفت، گاز و فرآورده‌های نفتی است.

برای شرکای تجاری در سناریوی اول، ارزش مصرف انرژی در قیمت عوامل (ارزش افزوده) مقادیر نسبتاً پایینی را در بین منابع مختلف انرژی نشان می‌دهد. مقادیر از ۰,۴۱ برای زغال سنگ تا ۰,۶۳ برای گاز متغیر است که نشان‌دهندهٔ سطح متوسط مصرف انرژی است که بیان‌گر یک الگوی مصرف انرژی محافظه‌کارانه‌تر یا کارآمدتر در

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

این سناریو است. در سناریوی دوم نتایج ارزش قابل توجهی را در تمام منابع انرژی نشان می‌دهد. مقادیر از ۱,۶۱ برای زغال سنگ تا ۳,۰ برای نفت متغیر است که نشان‌دهندهٔ سطح بسیار بالاتر مصرف انرژی است، به عبارت دیگر فعالیت اقتصادی با کارآمدی کم‌تر یا انرژی‌بری بیش‌تری در این سناریو است. تفاوت بین این دو سناریو احتمالاً منعکس کنندهٔ مفروضات متفاوتی در مورد رشد اقتصادی، توسعه فناوری و سیاست انرژی است. سناریوی اول نشان‌دهندهٔ یک مسیر پایدارتر و کم کربن باشد، در حالی‌که سناریوی دوم یک مسیر انرژی‌بر و وابسته به سوخت فسیلی را به تصویر می‌کشد.

برای سایر مناطق در سناریوی اول، زغال سنگ تأثیر منفی دارد، در سناریوی دوم، مقدار زغال سنگ به ۰,۲۷- کاهش می‌یابد که نسبت به سناریوی اول تأثیر منفی بیش‌تری را نشان می‌دهد. در سناریوی اول، نفت دارای تأثیر مثبت بوده و در سناریوی دوم، ارزش نفت به طور قابل توجهی افزایش می‌یابد که نشان‌دهندهٔ تأثیر مثبت بسیار قوی‌تری نسبت به سناریوی اول است. فرآورده‌های نفتی و الکتریسیته در هر دو سناریو دارای مقادیر فرعی مثبت با مقادیر متفاوت هستند. گاز در سناریوی دوم از ارزش فرعی بالاتری نسبت به سناریوی اول برخوردار است. تأثیر منابع مختلف انرژی بین دو سناریو متفاوت است. کاهش‌های پیش بینی شده برای زغال سنگ در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول شدیدتر است. افزایش‌های پیش‌بینی شده برای نفت، گاز، فرآورده‌های نفتی و برق در سناریوی دوم نسبت به سناریوی اول به طور قابل توجهی بیش‌تر است. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که سناریوی دوم تغییر محسوس‌تری را به سمت افزایش مصرف انرژی برای نفت، گاز، محصولات نفتی و برق پیش‌بینی می‌کند، در حالی‌که انتظار می‌رود مصرف زغال سنگ در مقایسه با سناریوی اول به شدت کاهش یابد.

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

مطالعه حاضر ارزیابی تاثیر تغییرات قیمت انرژی بر روند شدت استفاده از انرژی در محصولات معدنی را براساس الگوی پروژه تحلیل تجارت جهانی (GTAP) و پایگاه داده‌های آن طی دو سناریوی شوک پنج درصدی گاز طبیعی و شوک پنج درصدی نفت خام بررسی کرده است. بدین منظور، مدل GTAP-E به عنوان یک ابزار ارزشمند برای تجزیه‌وتحلیل روابط پیچیده بین انرژی، اقتصاد، محیط زیست-تجارت و شناسایی راه‌حل‌های بهینه برای تعامل بخش‌های مختلف اقتصادی و زیست‌محیطی در مواجهه با

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

چالش‌های انرژی استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی نقش مهمی در تولید محصولات معدنی ایفا می‌کند و افزایش مصرف انرژی می‌تواند منجر به افزایش تولید این محصولات شود. همچنین، استفاده از فناوری‌های انرژی کارآمد می‌تواند به بهبود پایداری تولید مواد معدنی کمک کند.کاهش مشاهده شده در شدت انرژی را می‌توان به عوامل مختلفی نسبت داد، که عبارتند از: الف) پیشرفت‌های تکنولوژیکی: به کارگیری فناوری‌های کارآمد انرژی، مانند لوازم با راندمان بالا، روشنایی LED و سیستم‌های هوشمند مدیریت انرژی، به کاهش مصرف انرژی کمک کرده است. ب) تغییرات ساختاری در اقتصاد: تغییر به سمت بخش‌های کم مصرف انرژی، مانند خدمات و صنایع دانش بنیان، منجر به کاهش شدت کلی انرژی شده است. ج) سیاست‌های دولت: مقررات، مشوق‌ها و کمپین‌های آگاهی بخشی بهینه‌سازی انرژی، کسب‌وکارها و مصرف‌کنندگان را تشویق به اتخاذ شیوه‌های صرفه‌جویی در انرژی کرده است. نتایج به دست آمده هم‌سو و هم‌جهت با مطالعه‌هایی همچون طباطبایی و همکاران (۱۳۹۵)، دوستارمنور و همکاران (۱۳۹۳)، تقی‌پور خوئینی و همکاران (۱۳۹۴)، ویدودو و کودو (۲۰۲۲)، آرامندیا و همکاران (۲۰۲۳) می‌باشد. اگر این روند کاهشی در طی افق زمانی ۲۰۵۰ ادامه داشته باشد چندین پیامد مثبت در پی خواهد داشت، از جمله: ۱) کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای: اقدامات حفظ انرژی با کاهش انتشار دی‌اکسیدکربن مرتبط با انرژی به کاهش تغییرات آب‌وهوایی کمک می‌کند. ۲) رقابت‌پذیری بهبودیافته: شرکت‌های کارآمد انرژی می‌توانند با کاهش هزینه‌های عملیاتی مرتبط با مصرف انرژی، مزیت رقابتی کسب کنند. ۳) افزایش امنیت انرژی: با کاهش تقاضای انرژی، کشورها می‌توانند کم‌تر به منابع انرژی وارداتی وابسته شوند و امنیت انرژی را بهبود بخشند.

همچنین نتایج نشان می‌دهد که مصرف انرژی یک عامل کلیدی در تولید محصولات معدنی است و سیاست‌گذاران باید به این موضوع توجه ویژه داشته باشند و راهکارهایی برای افزایش کارایی انرژی در این بخش ارائه دهند. سیاست‌های حمایتی برای تشویق شرکت‌های معدنی به استفاده از فناوری‌های انرژی کارآمد می‌تواند مفید باشد. همچنین، سیاست‌های مربوط به قیمت‌گذاری انرژی می‌تواند بر مصرف انرژی در بخش معدن تأثیر گذاشته و به بهبود کارایی انرژی در این بخش کمک نماید. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان پیشنهاداتی به صورت زیر ارائه نمود:

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

- تشویق و حمایت از توسعه و پذیرش فناوری‌های نوین انرژی کارآمد در صنعت تولید مواد معدنی.
- شناسایی و اجرای بهترین شیوه‌ها در فرآیندهای تولید مواد معدنی برای افزایش بهره‌وری انرژی.
- قوانین و استانداردهای سخت‌گیرانه‌تری در مورد بهره‌وری انرژی برای صنایع معدنی وضع و اجرا شود.
- تشویق جهت اشتراک‌گذاری دانش و همکاری بین ایران، شرکای تجاری اصلی آن و سایر مناطق برای ترویج پذیرش شیوه‌ها و فناوری‌های کارآمد انرژی در صنعت معدنی.
- ایجاد مشوق‌های مالی، مانند اعتبارات مالیاتی، یارانه‌ها، یا وام‌های کم بهره، برای حمایت از تولیدکنندگان مواد معدنی در تلاش‌های آنها برای بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش اثرات زیست‌محیطی آنها.
- تخصیص منابع برای ارتقا و نوسازی زیرساخت انرژی حامی صنعت معدنی، تضمین تامین انرژی قابل اعتماد و کارآمد برای حمایت از تولید پایدار.
- تعامل با سهام‌داران صنعت، از جمله تولیدکنندگان مواد معدنی، سیاست‌گذاران، و سازمان‌های محیطزیست، برای جمع‌آوری بازخورد، شناسایی چالش‌ها، و توسعه و اجرای مشترک استراتژی‌های کارآمد انرژی.
- ارتقاء ماشین‌آلات و تجهیزات موجود به مدل‌های با کارایی انرژی بیش‌تر می‌تواند شدت انرژی را به میزان قابل توجهی کاهش دهد. دولت ایران می‌تواند حمایت مالی یا مشوق‌های مالیاتی برای تشویق شرکت‌های معدنی به سرمایه‌گذاری در فناوری‌های مدرن و صرفه‌جویی در انرژی ارائه کند.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

منابع

- ابراهیمی سالاری، تقی و قطب الدینیان یزد، یاسمین. (۱۳۹۳). تحلیلی از روند شدت مصرف انرژی در کشورهای عمده صادرکننده نفت خام (طی دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۰)، سومین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین در نگهداشت انرژی.
- امامی‌میبدی، علی؛ خوشکلام‌خسروشاهی، موسی؛ و مهدوی، روح‌الله. (۱۳۹۶). اقتصاد انرژی با تاکید بر نفت و گاز، ناشر: شرکت هزاره سوم اندیشه.
- بیسادی، زینب؛ فریدزاد، علی؛ بانوئی، علی اصغر. (۱۳۹۹). تجزیه شدت انرژی در سطح بخش‌های اقتصادی ایران با تأکید بر دو اثر مقیاس و الگوی مصرف، دانشگاه شهید بهشتی، فصلنامه اقتصاد و الگوسازی، دوره ۱۱، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، ص ۹۳-۱۲۲.
- تقی‌پور خوئینی، حمیدرضا؛ کریمی موغاری؛ زهرا و زروکی، شهریار. (۱۳۹۶). اثر قیمت حامل‌های انرژی بر شدت انرژی؛ مطالعه تطبیقی ایران ترکیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم اداری و اقتصادی.
- جلائی، مهدیس السادات؛ جلائی، عبدالمجید؛ صادقی، زین العابدین و نجاتی، مهدی. (۱۴۰۰). بررسی اثر واقعی کردن قیمت گاز طبیعی بر تورم، شاخص رفاه و انتشار کربن در ایران: رهیافت الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه پویا، دانشگاه شهید بهشتی، فصلنامه اقتصاد و الگوسازی، دورهٔ ۱۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۴۰۰، ص ۱۹۶-۱۷۳.
- خواجوند، سمیه؛ حسنعلی زاده، زهرا و اردشیری، پویا. (۱۴۰۰). انرژی تجدیدپذیر برای صنعت معدن؛ مطالعات موردی، روندها و توسعه‌ها و مدل‌های تجاری، دومین کنفرانس بین‌المللی و پنجمین کنفرانس ملی صیانت از منابع طبیعی و محیط‌زیست.
- دفتر مطالعات اقتصادی، معاونت پژوهش‌های اقتصادی، دی ماه ۱۳۹۵.
- دوستارمنور، ابراهیم؛ الماسی، مجتبی و سهیلی، کیومرث. (۱۳۹۳). تأثیر سیاست‌های قیمت‌گذاری انرژی بر شدت مصرف حامل‌های انرژی در ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه رازی.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

- زورکی، شهریار؛ محنت فر، یوسف و ملاتبار فیروزجایی، فاطمه. (۱۴۰۲). تحلیل اثر شدت و قیمت حامل‌های انرژی بر رفاه اقتصادی در ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال نوزدهم، شماره ۷۸، پائیز ۱۴۰۲، ص ۳۹-۱.
- سلیمانی، میلاد و شهرکی، جواد. (۱۳۹۳). ارزیابی تاثیر هدفمندی یارانه انرژی بر تجزیه شدت انرژی در صنعت سیمان (مطالعه موردی سیمان بجنورد)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان.
- شرزه‌ای، غلامعلی؛ خلیلی عراقی، منصور و برخورداری، سجاد. (۱۳۹۳). اصلاح یارانه‌های انرژی و مسیر زمانی مصارف انرژی (رهیافت مدل DCGE)، فصلنامه تحقیقات اقتصادی، دورهٔ ۴۹، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۳، ص ۸۳۳-۷۹۹.
- طباطبایی، سید طیبه؛ شقاقی، وحید و ممی‌پور، سیاب. (۱۳۹۵). بررسی اثرات آزادسازی قیمت حامل‌های انرژی بر شدت مصرف انرژی در صنعت برق کشور، ICIE 2016.
- فدائی، مهدی و ویسی، شهلا. (۱۴۰۰). شدت انرژی، ساختار مالکیت و تمرکز صنعتی در صنایع کارخانه ای ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هفدهم، شماره ۶۹، تابستان ۱۴۰۰، ص ۲۲۹-۱۹۷.
- لطفی، صدیقه؛ نیک‌پور، عامر و سلیمانی، محمد. (۱۳۹۷). بررسی تاثیر فرم شهر بر میزان مصرف انرژی در بخش مسکونی مطالعه موردی: شهر همدان، فصلنامه شهر پایدار، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۱، بهار ۱۳۹۸، ص ۱۲۲-۱۰۹.
- مرادی، فیض‌اله؛ عاقلی، لطفعلی و عصاری آرانی، عباس. (۱۴۰۱). تاثیر نااطمینانی در سیاست‌های اقتصادی بر شدت انرژی در ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی، سال هجدهم، شماره ۷۲، بهار ۱۴۰۱، ص ۵۸-۲۷.
- نجاتی، مهدی؛ بهمنی، مجتبی؛ جلایی اسفندآبادی، عبدالمجید و بلاغی اینالو، یاسر. (۱۳۹۹). تحلیل اثرات رفاهی آزادسازی تجاری با رویکرد الگوی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر چندمنطقه‌ای: مورد مطالعه ایران و اتحادیه اقتصادی اوراسیا، دانشگاه شهید بهشتی، فصلنامه اقتصاد و الگوسازی، دوره ۱۱، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، ص ۱۵۳-۱۷۹.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

- نوابی، صادق؛ مشرفی، رسام و درگاهی، حسن. (۱۳۹۸). اثر قیمت انرژی بر شدت انرژی در کارگاه‌های صنعتی ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید بهشتی.
- Aramendia, E., Brockway, P. E., Peter G. Taylor, P. G., ana Jonathan Norman, J. (2023). Global energy consumption of the mineral mining industry: Exploring the historical perspective and future pathways to 2060, Global Environmental Change 83 (2023) 102745.
- Aranda-Uson, A., Ferreira, G., Mainar-Toledo, M. D., Sabina Scarpellini, S., and Sastresa, E. L. (2012). Energy consumption analysis of Spanish food and drink, textile, chemical and non-metallic mineral products sectors, Energy 42 (2012) 477e485.
- Azam, W., Khan, I., Ali, S.A. (2022). Alternative energy and natural resources in determining environmental sustainability: a look at the role of government final consumption expenditures in France. Environ. Sci. Pollut. Res. https://doi.org/ 10.1007/s11356-022-22334-z.
- Ayres, R. U & Warr, B (2012). Useful work and information as drivers of economic growth, Ecological Economics.
- Awuah-Offei, K., Askari Nasab, H., & Brown, O. (2012). Improving Truck-Shovel Energy Efficiency through Discrete Event Modeling, See discussions, stats, and author profiles for this publication at: https://www.researchgate.net/publication/343682361.
- Bardi, Ugo. (2014). Extracted: How the quest for mineral wealth is plundering the planet. Chelsea Green Publishing. ISBN 1-60358-541-9.
- Burniax, J-M., & Truong, T. P. (2002). GTAP-E: an energy-environmental version of the GTAP model. GTAP technical paper 16.
- Ceballos, G. Ehrlich, P. R., Dirzo, R. (2017). Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signalled by vertebrate population losses and declines. Proc. National Acad. Sci. 114 (30), E6089–E6096. https://doi.org/10.1073/ pnas.1704949114.
- Chi, Y., Guo, Zh., Zheng, Y, .and Zhang, X. (2014). Scenarios Analysis of the Energies' Consumption and Carbon Emissions in China Based on a Dynamic CGE Model, Sustainability 2014, 6, 487-512; doi:10.3390/su6020487.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

- Choi, Y., Liu, Y., Lee, H. (2017). The economy impacts of Korean ETS with an emphasis on sectoral coverage based on a CGE approach. Energy Policy 109, 835–844. https:// doi.org/10.1016/j.enpol.2017.06.039.
- C. McLellan, B. (2017). The Minerals-Energy Nexus: Past, Present and Future, M. Matsumoto et al. (eds.), Sustainability Through Innovation in Product Life Cycle Design, EcoProduction, DOI 10.1007/978-981-10-0471-1_42.
- Energy Economy. (2021).
- Fernandez, V. (2017). Mineral commodity consumption and intensity of use re-assessed. Finana (2017), doi:10.1016/j.irfa, 2018.05.003.
- García-Le´on, D., Casanueva, A., Standardi, G., Burgstall, A., Flouris, A.D., Nybo, L. (2021). Current and projected regional economic impacts of heatwaves in Europe. Nat. Commun. 12, 5807. https://doi.org/10.1038/s41467-021-26050-z.
- Hickel, J. Kallis, G. (2019). Is Green Growth Possible? New Political Economy 1–18. https://doi.org/10.1080/13563467.2019.1598964.
- Hertel, T. W. (1997). Global Trade Analysis: Modeling and Applications, Cambridge, MA, Cambridge University Press.
- Hertel, T. W., & Tsigas, M. E. (1997). Structure of GTAP. In: Hertel T. W. (ed.) global trade analysis: modeling and applications. Cambridge university press, Cambridge, 9-71.
- International Energy Agency (IEA), 2023.
- Kecojevic, V., and Komljenovic, D. (2010). Haul Truck Fuel Consumption and CO2 Emissions under Various Engine Load Conditions, Mining Engineering, Vol. 62, No. 12, pp. 44-48.
- Liu, Y., Dong, K., Taghizadeh-Hesary, F., and Dong, X. (2024). How do minerals affect the global energy transition? Metallic versus non-metallic mineral, Resources Policy 92 (2024) 104975.
- Lekavicius, W., Galinis, A. & Miškinis, V. (2019). Long-term economic impacts of energy development scenarios: The role of domestic electricity generation. Applied Energy, 253(3), 113527, https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261919312012?via%3Dihub.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]

- Nuss, Philip, Eckelman, Matthew J. (2014). Life Cycle Assessment of Metals: A Scientific Synthesis. PLoS One 9 (7). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101298
- Rabab, S., Zaman, K., Mushtaq, M., Ahmad, M. (2013). Energy for economic growth, industrialization, environment and natural resources: living with just enough. Renew. Sustain. Energy Rev. 25, 580–595. https://doi.org/10.1016/j. rser.2013.05.024.
- Rao, N.D., van Ruijven, B.J., Riahi, K., Bosetti, V. (2017). Improving poverty and inequality modelling in climate research. Nat. Clim. Chang. 7, 857–862. https://doi. org/10.1038/s41558-017-0004-x.
- Rokicki, T., Jadczak, R., Kucharski, A., Borawski, P., Bełdycka-Borawska, A., Szeberenyi, A., and Perkowska, A. (2022). Changes in Energy Consumption and Energy Intensity in EU Countries as a Result of the COVID-19 Pandemic by Sector and Area Economy, Energies 2022, 15, 6243. https://doi.org/10.3390/ en15176243.
- Rotzer, N. Schmidt, M. (2020). Historical, Current, and Future Energy Demand from Global Copper Production and Its Impact on Climate Change. Resources 9 (4), 44. https://doi.org/10.3390/resources9040044.
- The World Economic Forum, 2022
- Wiedmann, Thomas O., Schandl, Heinz, Lenzen, Manfred, Moran, Daniel, Suh, Sangwon, West, James, Kanemoto, Keiichiro. (2015). The material footprint of nations. Proc. Natl. Acad. Sci. 112 (20), 6271–6276. https://doi.org/10.1073/pnas.1220362110.
- Widodo, P. P., and Kudo, T. (2022). The Impact of Fuel Price on Energy Consumption on Indonesia's Industries: A Firm-Level Analysis, Journal of Economic Education, JEE 11 (2) 2022: 420-436.
- World Energy Statistics | Enerdata, 2024.
- Wu, Y. H., Liu, C. H., Hung, M. L., Liu, T. Y., & Masui, T. (2019). Sectoral energy efficiency improvements in Taiwan: Evaluations using a hybrid of top-down and bottom-up models. Energy Policy, 132, 1241-1255.

[Downloaded from iiesj.ir on 2026-05-27]