

# برآورد کارایی انرژی و بررسی عوامل مؤثر بر آن در استان‌های ایران (رهیافت مدل توبیت)

یونس گلی\*

میثم صفری تخت شیرینی\*\*

## چکیده

رشد اقتصادی همراه با بهبود کیفیت محیط زیست از اهداف اصلی اقتصادها است. بر همین اساس افزایش کارایی انرژی، سیاستی مؤثر برای کاهش اثرات جانبی منفی رشد اقتصادی است. مطالعه حاضر با استفاده از داده‌هایی در سطح استانی برای دوره زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ به برآورد و بررسی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی پرداخته است. نتایج حاصل از روش مرزی تصادفی نشان داده که استان ایلام و بوشهر به ترتیب با مقادیر ۰/۱۶ و ۰/۴۱ کمترین و بیشترین کارایی انرژی را داشته‌اند. نتایج مدل توبیت نشان می‌دهد که صنعتی شدن، تولید حقیقی سرانه و قیمت انرژی اثر مثبت و معناداری را بر افزایش کارایی انرژی داشته و شهرنشینی و چگالی جمعیت اثر منفی و نامعناداری را بر کارایی انرژی دارد. بر این اساس تقویت کیفیت ناوگان حمل‌ونقل عمومی برای بهره‌برداری از صرفه مقیاس شهری و تراکم جمعیت و بهبود تکنولوژی تولیدی بخش صنعت از جمله سیاست‌های مؤثر برای بهبود کیفیت محیط زیست در کنار رشد اقتصادی است.

واژه‌های کلیدی: کارایی انرژی، صنعتی شدن، شهرنشینی، مدل توبیت  
طبقه‌بندی JEL: C24, O13, O14, P28

\* دانش‌آموخته دکتری علوم اقتصادی دانشگاه رازی (نویسنده مسئول) younes.goli67@gmail.com

\*\* دانشجوی کارشناسی ارشد اقتصاد انرژی، دانشگاه شهید بهشتی m.safaritakhte@mail.sbu.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۸/۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۷/۹/۱۷

فصلنامه راهبرد اقتصادی، سال پنجم، شماره هفدهم، تابستان ۱۳۹۵، صص ۱۲۷-۱۰۷

## مقدمه

سازگاری بین اهداف اقتصادی در تعیین رشد اقتصادی بالاتر و رفاه بیشتر همواره یکی از اهداف هر اقتصادی تلقی می‌شود؛ زیرا ممکن است ناسازگاری بین اهداف اقتصادی هزینه‌های غیرقابل جبرانی را بر اقتصاد تحمیل کند. امروزه رشد اقتصادی در کنار حفظ محیط زیست، مسئله مهمی برای سیاست‌گذاری است؛ از یک طرف انرژی یکی از نهاده‌های تولیدی است که نقش بسزایی در رشد اقتصادی دارد و از طرف دیگر هر چه میزان مصرف انرژی افزایش یابد، کیفیت محیط زیست و رفاه جامعه کاهش می‌یابد. در همین راستا با در نظر گرفتن مسئله رشد اقتصادی، بهبود کارایی مصرف انرژی گامی اساسی برای کاهش اثرات جانبی منفی مصرف انرژی است. بر اساس داده‌های بانک مرکزی، نسبت انرژی مصرفی به تولید<sup>(۱)</sup> در کل اقتصاد از رقم ۰/۱۷۳ در سال ۱۳۸۳ به رقم ۰/۲۱۸ در سال ۱۳۹۳ افزایش یافته است، به همین دلیل سطح کیفیت محیط زیست در اقتصاد ایران در حد نازلی قرار دارد.

کارایی انرژی به معنای حداقل انرژی مصرفی به ازای سطح مشخصی از تولید قابل تعریف است؛ هر چه میزان شکاف مصرف انرژی از مقادیر بهینه افزایش یابد، می‌توان با ارائه سیاست‌های مناسب زمینه کاهش مصرف انرژی بدون تغییر در سطح تولید را فراهم کرد. عوامل متعددی از جمله صنعتی شدن و شهرنشینی می‌توانند بر کارایی مصرف انرژی تأثیرگذار باشند. انرژی مصرفی بخش صنعت به ازای هر واحد تولید بیش از سایر بخش‌های اقتصادی است و به این واسطه سهم بخش صنعت در تولید دی‌اکسید کربن بیش از سایر بخش‌های

اقتصادی است (Kopidou et al, ۲۰۱۶). در مورد اثر شهرنشینی بر مصرف انرژی، بر اساس نظریه تراکم شهری، افزایش شهرنشینی از یک طرف موجب بهره‌برداری از صرفه‌های مقیاس برای زیرساخت‌های عمومی شهری شده و در نهایت منجر به کاهش مصرف انرژی و کاهش انتشار CO<sub>2</sub> می‌شود (Burton, ۲۰۰۰)، از طرف دیگر ممکن است به دلیل نبود زیرساخت‌های مناسب و تراکم بالای شهری باعث افزایش انتشار گاز دی‌اکسید کربن شود (Burgess, ۲۰۰۰). هر اقتصادی برای توسعه و رشد باید توجه ویژه‌ای را به بخش صنعت داشته باشد. «کالدور»<sup>۱</sup> (۱۹۶۶) به دلیل مشخصات تولید در بخش صنعت، آن را به‌عنوان موتور رشد اقتصادی تلقی می‌کند. صنعتی شدن عامل اصلی برای بهبود بهره‌وری و رشد افزایش یافته است. همچنین شهرنشینی به‌عنوان نتیجه توسعه اقتصادی، نقش مهمی را در تغییرات کارایی مصرف انرژی دارد. هر چه میزان شهرنشینی افزایش یابد، تقاضا برای خدمات شهری با انرژی‌بری زیاد نیز افزایش می‌یابد. به‌طور کلی سؤال اصلی برای مطالعه حاضر به این صورت قابل طرح است که «آیا شهرنشینی و صنعتی شدن در سال‌های اخیر در ایران در راستای افزایش کارایی انرژی بوده است یا خیر!» با توجه به اهمیت بالای کارایی انرژی در حفظ پایداری و بهبود کیفیت محیط زیست، مطالعه حاضر به برآورد کارایی انرژی و بررسی عوامل مؤثر بر آن در استان‌های ایران می‌پردازد. ساختار مطالعه به این صورت است که ابتدا مبانی نظری و پیشینه مطالعات ارائه و سپس به روش تحقیق و گردآوری داده‌ها پرداخته می‌شود و در قسمت پایانی با به‌کارگیری مدل‌های مورد استفاده، برآورد مدل و تحلیل نتایج انجام می‌یابد.

## ۱. مبانی نظری

یکی از اهداف اصلی تمام اقتصادها، توسعه اقتصادی برای افزایش سطح رفاه آحاد جامعه است. در این راستا توسعه بخش صنعت به‌عنوان راهبردی اساسی برای رشد بالاتر اقتصادی قابل طرح است. صنعتی شدن از یک سو فرایند توسعه اقتصادی یک کشور را تسریع می‌کند و از سوی دیگر به دلیل انرژی‌بری بالاتر،

---

1. Kaldor

منبع اصلی آلودگی و ضایعات است (امامی میدی و همکاران، ۱۳۹۳). اهمیت فراوان بخش صنعت در فرایندهای رشد اقتصادی ناشی از واقعیتی است که توسعه در کشورهای توسعه یافته به طور عموم با صنعتی شدن تحقق یافته و توسعه صنایع با رشد اقتصادی و افزایش سطح زندگی عمومی همراه بوده است. در کشورهای در حال توسعه نیز کارایی و بهره‌وری در بخش صنعت به میزان قابل ملاحظه‌ای از بخش کشاورزی بیشتر است، به خصوص آنکه صنعت توانسته کارایی سایر بخش‌ها را نیز افزایش دهد (Chenery et al, 1986).

کالدور (۱۹۶۶) به دلیل مشخصات تولید در بخش صنعت، آن را به‌عنوان موتور رشد اقتصادی تلقی می‌کند. ویژگی نخست اینکه بخش صنعت به‌صورت ایستا و پویا بازدهی فزاینده‌ای دارد، درحالی‌که فعالیت‌های کشاورزی و سایر فعالیت‌ها با بازدهی کاهشی روبه‌رو هستند؛ دوم اینکه وقتی بخش صنعت توسعه می‌یابد، با انتقال نیروی کار از آن بخش، بهره‌وری نیروی کار در سایر بخش‌ها و به‌طور کلی در کل اقتصاد افزایش می‌یابد. همچنین بخش صنعت بیشترین پیوندهای پیشین و پسین در اقتصاد است که موجب افزایش رشد اقتصادی سایر بخش‌ها و در نتیجه رشد اقتصادی در کل اقتصاد می‌شود؛ بنابراین به‌طور کلی از یک‌طرف، صنعت یکی از بخش‌های اقتصادی است که می‌تواند زمینه رشد اقتصادی را فراهم آورد و از طرف دیگر، صنعت انرژی‌بری بالایی دارد که می‌تواند زمینه‌ساز کاهش کیفیت محیط زیست باشد. بر همین اساس افزایش کارایی مصرف انرژی در کنار توسعه صنعتی، گامی اساسی برای حداقل کردن اثرات جانبی منفی رشد اقتصادی است.

به موازات توسعه بخش صنعت و رشد اقتصادی، شهرنشینی به‌عنوان یکی از پدیده‌های جمعیتی توسعه می‌یابد. شهرنشینی پیامد توسعه اقتصادی است (Jones, D. W. 1991). به عبارتی صنعتی شدن باعث مهاجرت نیروی کار از بخش کشاورزی و روستایی به بخش صنعتی و شهری می‌شود. در سال‌های اخیر پیامدهای شهرنشینی و اثرات قابل ملاحظه آن بر مصرف انرژی و کیفیت محیط زیست به‌عنوان یکی از مسائل مهم مورد توجه بوده است. نظریه تراکم شهری از

جمله نظریات ارائه شده در زمینه اثر شهرنشینی بر مصرف انرژی است که می‌توان آن را به کارایی انرژی مربوط دانست. این نظریه مزایای زیست‌محیطی ناشی از تراکم شهری را به این صورت مطرح می‌کند که تراکم بالای شهری موجب بهره‌برداری از صرفه‌های مقیاس برای زیرساخت‌های عمومی شهری (به‌عنوان مثال، حمل‌ونقل عمومی، مدارس و عرضه آب) شده، وابستگی به ماشین، مسیرهای طولانی حمل‌ونقل و اتلاف‌های ناشی از توزیع برق را کاهش می‌دهد و در نهایت منجر به کاهش مصرف انرژی و افزایش کارایی مصرف انرژی می‌شود (Burton, 2000; Capello and Camagni, 2000). برخی از منتقدان اما بر این باورند که زیان‌های ناشی از افزایش تراکم شهری به احتمال زیاد به علت تراکم ترافیک، ازدحام بیش از حد و آلودگی هوا از منافع ناشی از آن بیشتر است (2001 Breheny). در اصل بدون پشتیبانی از زیرساخت‌های مناسب شهری، تراکم بالای شهری می‌تواند مسائل و مشکلات زیست‌محیطی قابل توجهی را به بار آورد (Burgess, 2000)؛ بنابراین زیرساخت‌های شهری، نقش بسزایی را در اثرگذاری شهرنشینی بر کارایی مصرف انرژی دارد. هر چه زیرساخت‌های شهری در جهت استفاده از ناوگان حمل‌ونقل عمومی باکیفیت فراهم باشد، انتظار بر این است که تقاضای برای حمل‌ونقل عمومی افزایش و میزان مصرف انرژی به ازای سطح ثابتی از تولید کاهش یابد، به عبارتی کارایی مصرف انرژی در اقتصاد افزایش پیدا می‌کند.

## ۲. پیشینه تحقیق

اهمیت افزایش کارایی انرژی برای بهبود کیفیت محیط زیست در کنار توسعه اقتصادی در سال‌های اخیر مورد توجه پژوهشگران در کشورهای مختلف قرار گرفته است و مطالعات متعددی در این زمینه انجام شده است. شهابی‌نژاد (۱۳۹۵) با استفاده از رهیافت مرزی تصادفی برای کشورهای آسیایی و دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۱ نشان می‌دهد که کشورهای سریلانکا، ماکائو، ویتنام، فیلیپین و هند دارای کارایی انرژی بالاتر و کشورهای کویت، قطر و بحرین دارای کمترین کارایی انرژی هستند و میزان کارایی انرژی در ایران برابر با ۰/۴۵ است. گراوند و

همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای دوره ۱۳۸۷-۱۳۷۳ نشان می‌دهند که کارایی انرژی صنعت پتروشیمی به‌طور متوسط برابر با ۰/۶۸۸ است. کفایی و آقائیان‌وش (۱۳۹۵) با استفاده از تابع تولید مرزی تصادفی ترانسلوگ و داده‌های دوره زمانی ۱۳۷۳ تا ۱۳۹۱ نشان می‌دهد که کارایی انرژی تمام بخش‌های اقتصادی کاهش یافته است و بخش خدمات کمترین کارایی انرژی را دارد. کفایی و خسروی (۱۳۹۵) با استفاده از داده‌های دوره زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۰ و روش مرزی تصادفی نشان می‌دهند که کارایی انرژی کشور برابر با دو درصد است. کفایی و آقائیان‌وش (۱۳۹۶) با استفاده از رهیافت داده‌های پانل، نشان می‌دهند که موجودی سرمایه مستقیم خارجی اثر مثبت بر کارایی انرژی و ارزش افزوده اثر منفی بر کارایی انرژی دارد. «ونگ و همکاران»<sup>۱</sup> (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای با استفاده از تحلیل پوششی داده‌ها برای بخش صنعت پکن در دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۲ نشان می‌دهند که تمرکز بازار و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی اثر مثبت و معناداری را بر کارایی انرژی دارد. «لیو و لین»<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) نشان می‌دهند که در بخش حمل‌ونقل چین، استان‌های شرقی بیشترین کارایی انرژی را داشته و شکاف کارایی انرژی بین استان‌ها در حال کاهش بوده است. همچنین اثر ساختار صنعت و قیمت سوخت بر کارایی انرژی مثبت و معنادار است. «سادورسکی»<sup>۳</sup> (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های ۷۶ کشور برای دوره زمانی ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ نشان می‌دهند که افزایش یک درصد صنعتی شدن باعث افزایش شدت انرژی به‌اندازه ۰/۰۷ تا ۰/۱۲ درصد می‌شود. «لین و لانگ»<sup>۴</sup> (۲۰۱۵) با استفاده از روش تحلیل مرزی تصادفی نشان می‌دهند که کارایی انرژی در صنعت شیمیایی چین برای دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ معادل ۰/۶۸۹ است. «لیو و همکاران»<sup>۵</sup> (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای با استفاده از داده‌های ۲۸۵ شهر برای دوره

- 
1. Wang et al
  2. Liu and Lin
  3. Sadorsky
  4. Lin and Long
  5. Liu et al

۲۰۱۳-۲۰۰۴ چین نشان می‌دهند که انباشت صنعت می‌تواند کارایی انرژی را افزایش دهد. «اوتساوکا و گوتو»<sup>۱</sup> (۲۰۱۵) با استفاده از تحلیل مرزی تصادفی برای اقتصاد ژاپن نشان می‌دهند افزایش چگالی جمعیت باعث افزایش کارایی انرژی می‌شود. لین و ونگ (۲۰۱۴) با استفاده از تحلیل مرزی تصادفی نشان می‌دهند که کارایی انرژی صنعت آهن و فلزات برای دوره زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۱ برابر با ۰/۶۹۹ است. لین و یانگ (۲۰۱۳) نشان می‌دهند که کارایی انرژی صنعت حرارتی چین در دوره ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۰ برابر با ۰/۸۵ است. «یانگ و همکاران»<sup>۲</sup> (۲۰۱۸) با استفاده از شواهد ۳۰ استان چین برای دوره زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۱۴ و رهیافت DEA نشان می‌دهند که کارایی انرژی کاهش یافته است و کارایی انرژی در مناطق شرقی بالا و در مناطق غربی پایین است. «ایکسی و همکاران»<sup>۳</sup> (۲۰۱۸) با تحلیل مرزی تصادفی نشان می‌دهند، کارایی انرژی در بخش حمل‌ونقل چین در دوره زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۶ برابر با ۰/۶۷۳ است. «لی و همکاران»<sup>۴</sup> (۲۰۱۸) با استفاده از تحلیل مرزی تصادفی نشان می‌دهند، شهرنشینی اثر منفی و معناداری را بر کارایی انرژی در دوره زمانی ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۴ دارد.

با بررسی مطالعات انجام شده، هیچ مطالعه‌ای اثرات شهرنشینی و صنعتی شدن بر کارایی انرژی را در سطح استانی بررسی نکرده است. یکی از مشکلات اصلی مطالعه کفایی و آفائیان‌وش (۱۳۹۶) این است که متغیر وابسته تحقیق بین «صفر و یک» است و به همین دلیل نمی‌توان از رهیافت پانل دیتا برای بررسی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی استفاده کرد، بلکه باید از مدل توبیت استفاده نمود که مطالعه حاضر این مسئله را برطرف ساخته است؛ بنابراین مطالعه حاضر از نظر موضوع مورد مطالعه، داده‌ها و روش اقتصادسنجی مورد استفاده جدید و دارای نوآوری است.

- 
1. Otsuka and Goto
  2. Yang et al
  3. Xie et al
  4. Li et al

### ۳. روش تحقیق

برآورد کارایی انرژی با استفاده از رهیافت مرزی تصادفی و برآورد اثر صنعتی شدن و شهرنشینی بر کارایی انرژی با استفاده از مدل توییت از جمله اهداف اصلی برای مطالعه حاضر است. برای اندازه‌گیری کارایی انرژی مصرفی، دو روش «تحلیل پوششی داده‌ها (DEA)»<sup>۱</sup> و «تحلیل مرزی تصادفی (SFA)»<sup>۲</sup> وجود دارد. هرکدام از روش‌های موجود مزایا و معایبی دارند. عیب اصلی روش ناپارامتری DEA، عدم تمایز بین جزء عدم کارایی و جزء خطای آماری است و تمام جزء خطا را به‌عنوان عدم کارایی در نظر می‌گیرد. درحالی‌که روش پارامتری SFA، بین جزء خطای آماری و جزء عدم کارایی مصرف انرژی تمایز قائل شده است و جزء خطا را از عامل ناکارایی مصرف انرژی تفکیک می‌کند. تعیین شکل تابعی خاص برای برآورد عدم کارایی به‌عنوان عیب اصلی SFA است؛ چرا که تعیین نادرست شکل تابعی باعث ایجاد خطا در برآورد جزء خطا و ناکارایی مصرف انرژی می‌شود. به دلیل اهمیت زیاد تمایز بین جزء خطا و ناکارایی در مصرف انرژی در این مطالعه از روش SFA استفاده می‌شود.

با فرض اینکه نهاده‌های نیروی کار (L)، انرژی (E) و سرمایه (K) برای تولید (Y) مورد استفاده قرار می‌گیرند. از تابع فاصله انرژی «شفارد»  $(D_E(L, K, E, Y))$  برای برآورد کارایی انرژی استفاده می‌شود. با توجه به این واقعیت که تابع فاصله شفارد همگن از درجه یک از نهاده انرژی است، بنابراین بر اساس مطالعه ایکسی و همکاران (۲۰۱۸) تابع فاصله انرژی شفارد به‌صورت «رابطه ۱» قابل تعیین است:

$$\begin{aligned} \ln D_E(E_{it}, L_{it}, K_{it}, Y_{it}) &= \ln E_{it} + \ln D_E(1, L_{it}, K_{it}, Y_{it}) \\ &= \ln E_{it} + \beta_0 + \beta_K \ln K_{it} + \beta_L \ln L_{it} + \beta_Y \ln Y_{it} + \beta_T \ln T \\ &+ \beta_{KL} \ln K_{it} \ln L_{it} + \beta_{KY} \ln K_{it} \ln Y_{it} + \beta_{LY} \ln L_{it} \ln Y_{it} \\ &+ \beta_{KT} (\ln K_{it} * T) + \beta_{LT} (\ln L_{it} * T) + \beta_{YT} (\ln Y_{it} * T) \\ &+ \beta_{YY} (\ln Y_{it})^2 + \beta_{LL} (\ln L_{it})^2 + \beta_{KK} (\ln K_{it})^2 + \beta_{TT} (T)^2 + v_{it} \end{aligned} \quad (1)$$

1. Data envelopment analysis

2. Stochastic Frontier Analysis



با منظم کردن رابطه «۱» و با توجه به اینکه  $u_{it} = \ln D_E(E_{it}, L_{it}, K_{it}, Y_{it})$  متغیر نامنفی نشان‌دهنده ناکارایی مصرف انرژی است، لذا معادله مورد استفاده برای برآورد کارایی انرژی به صورت «رابطه ۲» است که ضرایب با روش حداکثر درست‌نمایی تخمین زده شود.

$$\begin{aligned} -\ln E_{it} = & +\beta_0 + \beta_K \ln K_{it} + \beta_L \ln L_{it} + \beta_Y \ln Y_{it} + \beta_T \ln T + \beta_{KL} \ln K_{it} \ln L_{it} \\ & + \beta_{KY} \ln K_{it} \ln Y_{it} + \beta_{LY} \ln L_{it} \ln Y_{it} + \beta_{KT} (\ln K_{it} * T) \\ & + \beta_{LT} (\ln L_{it} * T) + \beta_{YT} (\ln Y_{it} * T) + \beta_{YY} (\ln Y_{it})^2 \\ & + \beta_{LL} (\ln L_{it})^2 + \beta_{KK} (\ln K_{it})^2 + \beta_{TT} (T)^2 + v_{it} - u_{it} \end{aligned} \quad (2)$$

بسیاری از مطالعات تجربی از قبیل پیت و لی (۱۹۸۱) برای برآورد کارایی از تخمین دو مرحله‌ای استفاده می‌کنند، به این صورت که جزء ناکارایی تابع عواملی است که جزء ماهیت ذاتی مقاطع مورد مطالعه است و می‌تواند باعث ایجاد تفاوت کارایی بین مقاطع شود. «باست و کولی»<sup>۱</sup> (۱۹۹۵) معتقدند که جزء ناکارایی به صورت «رابطه ۳» قابل بررسی است.

$$u_{it} = \delta z_i \quad (3)$$

«Z» شامل متغیرهایی است که بر عدم کارایی انرژی مؤثر است؛ اما غیرقابل کنترل است، برای این منظور از متغیرهای دمایی برای هر استان استفاده شده است. ویژگی اصلی متغیر وابسته تحقیق (کارایی انرژی)، محدود و پیوسته بودن است، به همین دلیل باید برای تبیین عوامل مؤثر بر کارایی انرژی از مدل توبیت استفاده کرد (Wang et al, 2017, Lie & Shi 2013, Liu & Lin, 2018). با توجه به مبانی نظری و مطالعات انجام شده، کارایی انرژی تابعی از نسبت شهرنشینی، صنعتی شدن، چگالی جمعیت، تولید سرانه واقعی و قیمت انرژی است که به صورت «رابطه ۴» قابل تعیین است:

$$\begin{aligned} effe_{it} = & \beta_0 + \beta_1 urban_{it} + \beta_2 indu_{it} + \beta_3 dens_{it} + \beta_4 pric_t \\ & + \beta_5 gdp_{it} + \varepsilon_{it} \end{aligned} \quad (4)$$

در «معادله ۳»،  $effe$  کارایی انرژی برآورد شده به وسیله تابع مرزی تصادفی «معادله

۲ «در استان (i) و در زمان (t) است؛ «urban» نسبت جمعیت شهری به کل جمعیت استان، «indu» نسبت ارزش افزوده بخش صنعت به ارزش افزوده کل استان، «dens» نسبت جمعیت به نفر در واحد سطح به کیلومتر مربع، «pric» شاخص قیمت انرژی به سال پایه سال ۹۰ و «gdp» تولید سرانه واقعی هر استان به قیمت پایه سال ۱۳۹۰ است.

یکی از ویژگی‌های اساسی برای هر مطالعه مطلوب، سازگاری بین ساختار داده‌ها و روش تحقیق است. با توجه به اینکه مقدار کارایی انرژی در استان‌ها به صورت پیوسته و بین دو حد «یک و صفر» قرار دارد، نمی‌توان از مدل‌های مرسوم برای بررسی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی استفاده کرد؛ زیرا استفاده از روش‌های مرسوم منجر به برآورد اریب و ناسازگار از پارامترها می‌شود. به همین دلیل از مدل توبیت برای برآورد «رابطه ۴» استفاده می‌شود. رگرسیون مدل توبیت به صورت «رابطه ۵» است:

$$y_i^* = \beta X_i + \mu_i, \mu_i \sim N(0, \sigma_{\mu_i}^2)$$

$$y_i = \begin{cases} y_i^*, & y_i^* > 0 \\ 0, & y_i^* \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

در رابطه ۵، اگر مقدار متغیر پنهان « $y_i^*$ » بالاتر از صفر باشد، در این صورت مقدار متغیر پنهان برابر با مقدار واقعی « $y_i$ » است و برای مقادیر کمتر از صفر متغیر پنهان، مقدار واقعی « $y_i$ » برابر با صفر است، X متغیرهای تعیین‌کننده متغیر وابسته هستند (Wang et al, ۲۰۱۷).

#### ۴. گردآوری و تحلیل داده‌ها

برای اندازه‌گیری تمام متغیرهای تحقیق از گزارش منطقه‌ای مرکز آمار و برای اندازه‌گیری مصرف انرژی از ترازنامه انرژی استفاده شده است. مصرف انرژی به تفکیک استان‌ها و حامل‌های انرژی در ترازنامه انرژی موجود است. شواهد برای متوسط تمام استان‌ها در جدول شماره ۱ نشان می‌دهد که در سال ۱۳۸۵ مقدار مصرف انرژی به طور متوسط برای هر استان برابر با ۳۲/۳۲ میلیون بشکه معادل نفت خام است و در سال ۱۳۹۴ تا ۳۸/۷۶ میلیون افزایش یافته است. نسبت ارزش افزوده بخش صنعت به کل ارزش افزوده به طور متوسط برای هر استان از رقم

۰/۲۳۳ در سال ۱۳۸۵ به ۰/۱۷۴ درصد در سال ۱۳۹۴ کاهش یافته است. نسبت جمعیت شهرنشینی برای هر استان به طور متوسط از ۶۲/۶۳ درصد در سال ۱۳۸۵ به ۶۷/۹۶ درصد رسیده و افزایش داشته است. اقتصادها برای توسعه اقتصادی مستمر نیازمند توسعه بخش صنعت هستند و شهرنشینی پیامد توسعه صنعتی و اقتصادی است؛ بنابراین افزایش مصرف انرژی به دلیل تغییرات ذکر شده منطقی است.

تغییرات چگالی جمعیت به این صورت بوده که در سال ۱۳۸۵ به ازای هر کیلومتر از مساحت به طور متوسط ۷۶/۲۵ نفر سکونت داشته و این تعداد در سال ۱۳۹۴ به ۸۵/۰۸ نفر افزایش یافته است. هر چه میزان چگالی جمعیت افزوده شود، از یک طرف به دلیل تراکم جمعیت به ازای فاصله‌ای ثابت، کارایی مصرف انرژی کاهش می‌یابد و از طرف دیگر به دلیل کاهش مسافت بین مناطق، زمینه برای افزایش کارایی مصرف انرژی فراهم می‌شود. برآیند دو اثر متفاوت چگالی جمعیت به ساختار شهری و زیربنای حمل و نقل بستگی دارد، هر چه ساختارهای حمل و نقل عمومی در وضعیت مطلوبی باشند، اثر مثبت چگالی جمعیت بر کارایی مصرف انرژی تقویت می‌شود. تولید حقیقی یکی از متغیرهای مؤثر بر کارایی انرژی است، هر چه اقتصاد در فعالیت‌های دارای ارزش افزوده بالا تمرکز یابد، کارایی مصرف انرژی بالاتر خواهد بود؛ چرا که حاصل مصرف انرژی، افزایش سطح تولید حقیقی بوده است. شواهد برای مطالعه حاضر نشان می‌دهد که تولید حقیقی سرانه از رقم ۰/۰۶۹ میلیارد ریال در سال ۱۳۸۵ به مقدار ۰/۰۶۶ میلیارد ریال در سال ۱۳۹۴ کاهش یافته است.

جدول ۱. روند کلی داده‌های مورد استفاده

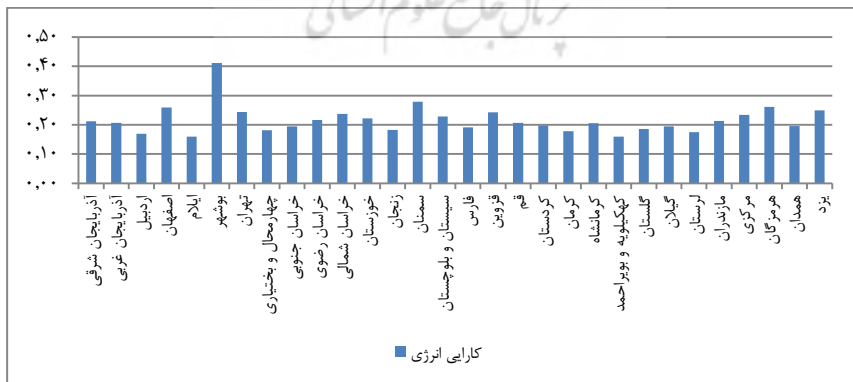
|       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |                            |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------------------------|
| ۱۳۹۴  | ۱۳۹۳  | ۱۳۹۲  | ۱۳۹۱  | ۱۳۹۰  | ۱۳۸۹  | ۱۳۸۸  | ۱۳۸۷  | ۱۳۸۶  | ۱۳۸۵  |                            |
| ۳۸/۷۶ | ۴۴/۲۳ | ۴۲/۷۶ | ۴۱/۲۴ | ۴۱/۲۲ | ۳۸/۵۹ | ۳۶/۷۴ | ۳۵/۷۲ | ۳۴/۹۶ | ۳۲/۳۲ | انرژی مصرفی                |
| ۰/۶۸  | ۰/۶۷۳ | ۰/۶۷  | ۰/۶۶۵ | ۰/۶۶  | ۰/۶۵۳ | ۰/۶۴۶ | ۰/۶۴  | ۰/۶۳۳ | ۰/۶۲۶ | شهرنشینی                   |
| ۰/۱۷۴ | ۰/۱۹۳ | ۰/۲۱۶ | ۰/۲۲  | ۰/۱۵  | ۰/۲۳۵ | ۰/۲۳۲ | ۰/۲۴۳ | ۰/۲۳۸ | ۰/۲۳۳ | صنعتی شدن                  |
| ۰/۸۵۱ | ۰/۸۴  | ۰/۸۳  | ۰/۸۲  | ۰/۸۱  | ۰/۸   | ۰/۷۹  | ۰/۷۸۱ | ۰/۷۷۲ | ۰/۷۶۲ | چگالی جمعیت <sup>(۳)</sup> |
| ۰/۰۶۶ | ۰/۰۷۴ | ۰/۰۸۳ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۸۱ | ۰/۰۷۱ | ۰/۰۶۴ | ۰/۰۶۷ | ۰/۰۷۳ | ۰/۰۶۹ | تولید سرانه واقعی          |

منبع: یافته‌های تحقیق

## ۵. برآورد مدل و تحلیل نتایج

در این بخش از مطالعه ابتدا کارایی انرژی با استفاده از «رابطه ۲» (۳) و نرم افزار Frontier برآورد می‌شود. نتایج حاصل از برآورد مدل ۲ به‌عنوان معیار کارایی انرژی مصرفی متوسط استان‌های ایران در دوره زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ در نمودار شماره ۱ ارائه شده است. بر اساس نتایج حاصل از برآوردها، استان بوشهر دارای بیشترین کارایی انرژی مصرفی معادل با ۴۱ درصد و استان ایلام دارای کمترین کارایی انرژی مصرفی معادل با ۱۶ درصد است. به عبارتی با ثابت فرض نمودن میزان سرمایه و نیروی کار در استان ایلام، برای دستیابی به سطح فعلی تولید، می‌توان به‌طور بهینه مصرف انرژی را به‌اندازه ۸۴ درصد کاهش داد. این در حالی است که برای استان بوشهر می‌توان ۵۹ درصد مصرف انرژی را کاهش داد. روند تغییرات کارایی انرژی در طول سال‌های مورد مطالعه برای تمام استان‌ها به‌طور متوسط به این صورت بوده است که در سال ۱۳۸۵ کارایی انرژی برابر با ۰/۲۱۶ بوده و این رقم در سال ۱۳۹۴ به مقدار ۰/۲۱۸ افزایش یافته است. دلایل متعددی برای پایین بودن کارایی انرژی مصرفی قابل ذکر است؛ نخست اینکه بر اساس شواهد ترازنامه انرژی ایران سهم انرژی مصرفی در بخش خانگی بیش از سایر بخش‌ها است و به همین دلیل سهم بالایی از انرژی استفاده شده به‌صورت مصرفی است و به ازای سطح تولید نیست. دوم اینکه قاچاق سوخت یکی از ویژگی‌های بارز مناطق مرزی است و باعث شده به ازای انرژی مصرفی، تولیدی وجود نداشته باشد.

نمودار ۱. کارایی مصرف انرژی برای دوره ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴



در گام دوم، به برآورد عوامل مؤثر بر کارایی انرژی با استفاده از مدل توییت و کاربرد نرم‌افزار Stata پرداخته می‌شود. با توجه به اینکه داده‌های استانی استفاده شده است، باید به این سؤال پاسخ داده شود که «برای برآورد مدل باید از کدام روش، ترکیبی (pool) یا پانل (panel) برای تخمین عوامل مؤثر بر کارایی انرژی استفاده شود». نتایج حاصل از آزمون نسبت راست‌نمایی<sup>(۴)</sup> برای انتخاب بین رگرسیون پانل توییت و ترکیبی در جدول شماره ۲ نشان می‌دهد که رگرسیون پانل به روش تصادفی بر مدل ترکیبی ترجیح دارد؛ چرا که نسبت واریانس جزء پانل به کل واریانس برابر با ۸۹/۵ درصد است. این نشان‌دهنده اهمیت بالای ناهمگنی بین استان‌ها در جزء خطا است. هر چه سهم واریانس جزء پانل از کل واریانس در سطح پایین‌تری باشد، نشان‌دهنده وجود نداشتن تمایز بین استان‌ها است و می‌توان از روش ترکیبی برای برآورد مدل استفاده کرد. همچنین مقدار آماره نسبت راست‌نمایی برابر با ۴۴۴/۶۲ است که در سطح خطای یک درصد معنادار است؛ بنابراین از مدل پانل توییت با روش اثرات تصادفی استفاده می‌شود. نتایج حاصل از برآورد مدل در جدول شماره ۲ نشان می‌دهد که اثر صنعتی شدن و تولید حقیقی بر کارایی انرژی در سطح خطای پنج درصد و اثر قیمت انرژی در سطح خطای ۱۰ درصد مثبت و معنادار است. از آنجا که توسعه بخش صنعت به دلیل داشتن بیشترین پیوندهای پسین و پیشین در میان بخش‌های اقتصادی، نقش بسزایی را در توسعه اقتصادی دارد و به‌عنوان یکی از بخش‌های دارای ارزش افزوده بالا مطرح است، به ازای سطح مشخصی از مصرف انرژی در این بخش، تولید بالاتری در اقتصاد ایجاد شده و بنابراین کارایی انرژی مصرفی افزایش می‌یابد. در واقع شواهد نشان می‌دهد که با افزایش یک درصد در سهم صنعت، کارایی انرژی مصرفی به اندازه ۰/۰۴۷ درصد افزایش می‌یابد. با اینکه اثر صنعتی شدن بر کارایی انرژی مثبت است، اما بر اساس شواهد آماری نسبت صنعتی شدن در اقتصاد ایران کاهش یافته است؛ بنابراین از یک‌طرف باید سهم صنعت در اقتصاد ایران افزایش یابد و از طرف دیگر با بهبود تکنولوژی تولید بخش صنعت، ضریب اثر صنعتی شدن بر کارایی انرژی افزایش یابد.

شهرنشینی نیز به عنوان نتیجه توسعه اقتصادی، مسئله‌ای واقعی در تمام اقتصادهای در حال توسعه است. به همین دلیل اغلب با توسعه اقتصادی، تراکم جمعیت در مناطقی با رونق اقتصادی افزایش می‌یابد. با افزایش شهرنشینی و چگالی جمعیت نیاز به زیرساخت‌های شهری برای بهره‌برداری از صرفه‌های مقیاس<sup>(۵)</sup> تراکم جمعیت افزایش می‌یابد. از یک طرف بر اساس شواهد جدول شماره ۱، نسبت شهرنشینی افزایش یافته است و از طرف دیگر بر اساس نتایج مدل توییت در جدول شماره ۲، اثر شهرنشینی بر کارایی انرژی منفی و نامعنادار است؛ بنابراین نتایج برآورد مدل در کنار شواهد واقعی نشان‌دهنده نامطلوب بودن ساختار شهری و حمل‌ونقل و عدم بهره‌برداری از چنین پتانسیلی برای افزایش کارایی انرژی در سال‌های اخیر است. در واقع با افزایش شهرنشینی و چگالی جمعیت، باید کارایی ناوگان حمل‌ونقل عمومی در جهتی بهبود یابد که انگیزه استفاده از وسایل حمل‌ونقل خصوصی به دلیل ترافیک حمل‌ونقل ناشی از آن به‌طور معناداری کاهش یابد. برای مثال «فان و همکاران»<sup>۱</sup> (۲۰۰۶) برای ۱۷ کشور اروپایی نشان می‌دهند که شهرنشینی به دلیل وجود زیرساخت‌های مناسب در جهت بهره‌برداری از صرفه‌های مقیاس ناشی از افزایش جمعیت باعث کاهش انتشار CO<sub>2</sub> می‌شود، همچنین اوتساوکا و گوتو (۲۰۱۵) برای اقتصاد ژاپن نشان می‌دهند، افزایش چگالی جمعیت باعث افزایش کارایی انرژی می‌شود؛ بنابراین نباید افزایش چگالی جمعیت و شهرنشینی را به عنوان تهدیدی برای کارایی انرژی مدنظر قرار داد، بلکه باید آن‌ها را به عنوان فرصتی برای افزایش کارایی انرژی قلمداد کرد. در واقع نتیجه مطالعه حاضر نشان می‌دهد که با ساختار فعلی شهرها و حمل‌ونقل، نمی‌توان آینده سیاست‌های توسعه پایدار را در ایران مطلوب دانست.

اثر تولید سرانه بر کارایی انرژی نشان می‌دهد که هر چه میزان تولید حقیقی سرانه افزایش یابد، چون انرژی به عنوان نهاده برای افزایش تولید مصرف شده، کارایی انرژی نیز افزایش یافته است. در واقع با افزایش یک میلیارد ریال در تولید

حقیقی سرانه، میزان کارایی انرژی ۰/۱۲۵ درصد افزایش می‌یابد، این در حالی است که بر اساس شواهد جدول شماره ۲ روند تغییرات تولید سرانه بسیار کند و نوسانی بوده است، به همین دلیل توجه به مقوله تولید با هدایت مناسب اعتبارات و ایجاد ثبات اقتصادی لازم و ضروری است.

جدول ۲. برآورد مدل توییت پانل

| ارزش احتمال   | آماره Z | ضریب    |             |
|---|---------|---------|-------------|
| ۰/۰۱۳   | ۲/۴۹    | ۰/۰۴۷   | صنعتی شدن   |
| ۰/۶۲۹   | -۰/۴۸   | -۰/۰۲۶  | شهرنشینی    |
| ۰/۸۳۲   | -۰/۲۱   | -۰/۰۰۱۲ | چگالی جمعیت |
| ۰/۰۰  | ۳/۵۵    | ۰/۱۲۵   | درآمد سرانه |
| ۰/۰۷  | ۱/۸۱    | ۰/۰۰۴۵  | قیمت انرژی  |
| ۰/۰۰  | ۵/۹۸    | ۰/۲۱۲   | عرض از مبدأ |
| Likelihood ratio=444.62 prob=0.00<br>Rho=0.895 <sup>(۶)</sup> |         |         |             |

منبع: یافته‌های تحقیق

در نهایت اثر قیمت حامل‌های انرژی بر کارایی انرژی مثبت و معنادار است، به این صورت که هر چه میزان قیمت انرژی افزایش یابد، تولیدکنندگان درصد کاهش تقاضا برای انرژی با سطح ثابت از تولید، یا به عبارتی افزایش کارایی انرژی هستند. با افزایش یک درصد در شاخص قیمت، میزان کارایی انرژی به اندازه ۰/۰۰۴۵ افزایش می‌یابد. سیاست افزایش قیمت حامل‌های انرژی به تنهایی به ظاهر باعث افزایش کارایی انرژی می‌شود، اما به دلیل اثرات قابل ملاحظه آن بر تورم و کاهش رفاه جامعه نمی‌تواند به عنوان سیاستی مطلوب مدنظر قرار گیرد؛ بلکه توجه عمده سیاست‌گذاران باید به مسائل زیربنایی کشور از قبیل بهبود وضعیت حمل و نقل، بهبود ساختارهای شهری و بهبود تکنولوژی برای افزایش کارایی انرژی متمرکز باشد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهاد

یکی از اهداف اصلی برای تمام اقتصادها، افزایش رفاه جامعه به واسطه رشد اقتصادی است. توسعه بخش صنعت یکی از بخش‌هایی است که از یک طرف باعث رشد اقتصادی بالاتر و از طرف دیگر باعث تولید آلاینده‌ها و کاهش کیفیت

محیط زیست می‌شود؛ بنابراین افزایش کارایی انرژی مصرفی گامی مهم در جهت کاهش اثرات جانبی منفی توسعه بخش صنعت است. بر همین اساس مطالعه حاضر با استفاده از داده‌هایی در سطح استانی برای دوره زمانی ۱۳۸۵ تا ۱۳۹۴ و تابع تولید ترانسلوگ ابتدا به برآورد کارایی انرژی پرداخته و سپس با استفاده از مدل توبیت عوامل مؤثر بر کارایی انرژی را بررسی کرده است. نتایج حاصل از برآورد کارایی انرژی نشان می‌دهد که استان بوشهر با میزان ۰/۴۱ بیشترین و استان ایلام با مقدار ۰/۱۶ کمترین کارایی انرژی مصرفی را دارد و متوسط کارایی انرژی در سطح کشور برابر با ۰/۲۲ است. یکی از دلایل پایین بودن کارایی انرژی، قاچاق سوخت در مناطق مرزی و بالا بودن سهم مصرف انرژی است. همچنین عوامل مؤثر بر کارایی انرژی نشان می‌دهد که صنعتی شدن، افزایش قیمت انرژی و تولید سرانه واقعی باعث افزایش کارایی انرژی مصرفی می‌شود و افزایش چگالی جمعیت و شهرنشینی به‌طور نامعناداری باعث کاهش کارایی انرژی می‌شود. شواهد نشان می‌دهد که هر چه سهم فعالیت‌هایی با ارزش افزوده بالا باشد، کارایی انرژی افزایش می‌یابد؛ این در حالی است که بر اساس شواهد آماری نسبت صنعتی شدن کاهش یافته است و می‌توان با بهبود تکنولوژی تولید در بخش صنعت، زمینه را برای افزایش بیشتر کارایی انرژی فراهم آورد. اثر منفی و نامعنادار شهرنشینی و چگالی جمعیت ناشی از ناتوانی سیاست‌گذاران در جهت بهره‌برداری صحیح از مزیت‌های شهرنشینی و تراکم جمعیت به‌واسطه صرفه‌مقیاس است، هرچند بر اساس شواهد آماری، افزایش چگالی جمعیت و نسبت شهرنشینی در سال‌های اخیر، نوعی فرصت برای بهره‌گیری از صرفه‌های مقیاس شهری بوده است. به‌طور کلی، تقویت فعالیت‌های دارای ارزش افزوده بالا، بهبود تکنولوژی تولیدی بخش صنعت، بهبود زیربنای شهری در جهت بهره‌مندی از صرفه مقیاس شهری و توسعه و افزایش کیفیت ناوگان حمل‌ونقل عمومی گامی مهم در جهت افزایش کارایی انرژی و بهره‌مندی بیشتر از مزایای توسعه و رشد اقتصادی است.



## پی‌نوشت‌ها

۱. نسبت انرژی مصرفی به تولید به صورت انرژی مصرفی به میلیون بشکه معادل نفت خام تقسیم بر تولید ناخالص داخلی واقعی به قیمت پایه سال ۱۳۹۰ محاسبه شده است.
۲. برای اندازه‌گیری چگالی جمعیت از نسبت جمعیت نفر به مساحت هر استان به ۱۰۰ کیلومتر مربع استفاده شده است.
۳. نتایج حاصل از برآورد رابطه ۲ در پیوست مقاله آمده است.
۴. فرضیه صفر آزمون نسبت راست‌نمایی معادل عدم تمایز بین روش تصادفی و ترکیبی است.
۵. صرفه مقیاس به این معناست که با افزایش جمعیت زمینه استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی فراهم می‌شود.
۶. نسبت واریانس جزء خطای پانل به کل واریانس جزء خطا.

## منابع

- امامی مبینی، علی، خورسندی، مرتضی، مرشدی، بهنام. (۱۳۹۲). بررسی عوامل مؤثر بر تخریب محیط زیست با استفاده از شاخص آلودگی آب: مطالعه موردی ایران. *مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*. ۱۳: ۸۴-۶۹.
- شهابی نژاد، وحید (۱۳۹۵)، اندازه‌گیری کارایی و پتانسیل صرفه‌جویی در مصرف انرژی در کشورهای آسیا: تحلیل مرزی تصادفی، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۱۲(۴۹): ۲۲۴-۲۰۱.
- کفایی، محمدعلی، آقائیان‌وش، پریا (۱۳۹۵). برآورد و مقایسه کارایی انرژی در بخش‌های اقتصادی ایران، فصلنامه اقتصاد و الگوسازی. ۲۷: ۱۲۲-۹۷.
- کفایی، محمدعلی، آقائیان‌وش، پریا (۱۳۹۶). شناسایی عوامل مؤثر بر کارایی انرژی بخشی در اقتصاد ایران، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۵۲: ۳۴-۱.
- کفایی، محمدعلی، خسروی، عاطفه (۱۳۹۵). برآورد کارایی انرژی در استان‌های ایران به روش تابع مرزی تصادفی، فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. ۵۰: ۱۲۸-۱۰۱.
- گراوند، سهراب، مهرگان، نادر، صادقی، حسین و ملکشاهی، مجتبی (۱۳۹۲). ارزیابی کارایی انرژی در صنعت پتروشیمی کشور، سیاست‌گذاری اقتصادی. ۵(۱۰): ۷۴-۵۷.
- Battese, G. E., & Coelli, T. J. (1995). A model for technical inefficiency effects in a stochastic frontier production function for panel data. *Empirical economics*, 20 (2), PP. 325- 332.
- Boyd, G. A. (2008). Estimating plant level energy efficiency with a stochastic frontier. *The Energy Journal*, PP. 23- 43.
- Boyd, G., Dutrow, E., & Tunnessen, W. (2008). The evolution of the ENERGY STAR® energy performance indicator for benchmarking industrial plant manufacturing energy use. *Journal of cleaner production*, 16 (6), PP. 709- 715.
- Brehey, M. (2001). Densities and sustainable cities: the UK experience. *Cities for the new millennium*, pp. 39- 51.

- Buck, J., Young, D. (2007). The potential for energy efficiency gains in the Canadian commercial building sector: a stochastic frontier study. *Energy* 32 (9). PP.1769–1780.
- Burgess, R. 2000. The Compact City Debate: a Global Perspective. In: Jenks, M. Burgess, R. (Eds.), *Compact Cities: Sustainable Urban Forms for Developing Countries*. Spon Press, New York, PP.9–24.
- Burton, E. 2000. The Compact City: Just or Just Compact? A Preliminary Analysis. *Urban Studies* 37 (11): 1969–2001.
- Burton, E. (2000). The compact city: just or just compact? A preliminary analysis. *Urban studies*, 37 (11), 1969- 2006.
- Capello, R., & Camagni, R. (2000). Beyond optimal city size: an evaluation of alternative urban growth patterns. *Urban Studies*, 37 (9), 1479- 1496.
- Chenery, H., Robinson, S., Syrquin, M., 1986. *Industrialisation and Growth a Comparative Study*. World Bank. Oxford University Press.
- Fan, Y., Liu, L. C., Wu, G., & Wei, Y. M. (2006). Analyzing impact factors of CO2 emissions using the STIRPAT model. *Environmental Impact Assessment Review*, 26 (4), PP. 377- 395.
- Feijóo, M. L., Franco, J. F., & Hernández, J. M. (2002). Global warming and the energy efficiency of Spanish industry. *Energy Economics*, 24 (4), PP. 405- 423.
- Jones, D. W. (1991). How urbanization affects energy- use in developing countries. *Energy Policy*, 19 (7), PP. 621- 630.
- Kaldor, N. (1966). *Causes of the slow rate of economic growth of the United Kingdom: an inaugural lecture*. Cambridge University Press.
- Kopidou, D., Tsakanikas, A., & Diakoulaki, D. (2016). Common trends and drivers of CO2 emissions and employment: a decomposition analysis in the industrial sector of selected European Union countries. *Journal of Cleaner Production*, 112, PP.4159- 4172.
- Li, H., & Shi, J. F. (2014). Energy efficiency analysis on Chinese industrial sectors: an improved Super- SBM model with undesirable outputs. *Journal of cleaner production*, PP. 65, 97- 107.
- Lin, B., & Long, H. (2015). A stochastic frontier analysis of energy efficiency of China's chemical industry. *Journal of Cleaner Production*, PP. 87, 235- 244.
- Lin, B., & Wang, X. (2014). Exploring energy efficiency in China's iron and

- steel industry: A stochastic frontier approach. *Energy Policy*, PP. 72, 87-96.
- Lin, B., & Yang, L. (2013). The potential estimation and factor analysis of China' s energy conservation on thermal power industry. *Energy Policy*, PP. 62, 354- 362.
- Liu, J., Cheng, Z., & Zhang, H. (2017). Does industrial agglomeration promote the increase of energy efficiency in China?. *Journal of Cleaner Production*, PP. 164, 30- 37.
- Liu, W., & Lin, B. (2018). Analysis of energy efficiency and its influencing factors in China's transport sector. *Journal of Cleaner Production*, PP. 170, 674- 682.
- Otsuka, A., & Goto, M. (2015). Estimation and determinants of energy efficiency in Japanese regional economies. *Regional Science Policy & Practice*, 7 (2), 89- 101.
- Sadorsky, P. (2013). Do urbanization and industrialization affect energy intensity in developing countries?. *Energy Economics*, PP. 37, 52- 59.
- Wang, J. M., Shi, Y. F., & Zhang, J. (2017). Energy efficiency and influencing factors analysis on Beijing industrial sectors. *Journal of Cleaner Production*, PP. 167, 653- 664.
- Xie, C., Bai, M., & Wang, X. (2018). Accessing provincial energy efficiencies in China's transport sector. *Energy Policy*, PP. 123, 525- 532.
- Li, K., Fang, L., & He, L. (2018). How urbanization affects China's energy efficiency: A spatial econometric analysis. *Journal of Cleaner Production*, PP. 200, 1130- 1141.
- Yang, T., Chen, W., Zhou, K., & Ren, M. (2018). Regional energy efficiency evaluation in China: A super efficiency slack- based measure model with undesirable outputs. *Journal of Cleaner Production*, PP. 198, 859- 866.

## پیوست

### پیوست ۱. برآورد تابع فاصله شفارد بر اساس رابطه ۱

|                | مقدار ضریب | انحراف معیار | نسبت t |
|----------------|------------|--------------|--------|
| $\beta_0$      | -۱۶/۷      | ۲۳/۵         | -۰/۷۱  |
| $\beta_y$      | ۲/۸۷       | ۱/۲۵         | ۲/۲۸   |
| $\beta_l$      | -۰/۶۸      | -۰/۲۹        | ۲/۳۶   |
| $\beta_k$      | -۰/۲۸۳     | ۱/۵۴         | -۰/۱۱۱ |
| $\beta_{ll}$   | -۰/۵۵      | -۰/۰۷        | -۷/۹۳  |
| $\beta_{kk}$   | ۱/۶۷       | ۰/۸۴۴        | ۱/۹۸   |
| $\beta_{yy}$   | ۱/۷۴       | ۰/۱۸۵        | ۱/۰۵   |
| $\beta_{kl}$   | ۰/۴۱۲      | ۰/۱۷۶        | ۲/۳۴   |
| $\beta_{ky}$   | -۳/۶۷۳     | ۱/۶۸         | -۲/۱۷  |
| $\beta_{ly}$   | ۰/۱۷۹      | -۰/۳۵        | ۰/۵۱   |
| $\beta_t$      | -۰/۰۸      | ۰/۴۴۹        | -۰/۱۷۸ |
| $\beta_{tt}$   | ۰/۰۲۵      | ۰/۰۵۴        | ۰/۴۶۱  |
| $\beta_{tl}$   | -۰/۰۹۹     | ۰/۰۳۲        | -۳/۰۸  |
| $\beta_{tk}$   | -۰/۴۶۸     | ۰/۵۸۶        | -۰/۷۹۹ |
| $\beta_{ty}$   | ۰/۵۵۵      | ۰/۲۹۳        | ۱/۸۹   |
| $\delta_0$     | ۱/۷۱       | ۱/۱۵۹        | ۱/۴۷   |
| $\delta_1$     | ۰/۰۰۵      | ۰/۰۰۷۳       | ۰/۷۶۶  |
| $\delta_2$     | -۰/۰۲۸۲    | ۰/۰۰۶۳       | -۴/۴۷  |
| Sigma- Squared | ۰/۰۹۵      | ۰/۰۰۷۷       | ۱۲/۳   |
| Gamma          | -۰/۵       | ۰/۰۴۷        | ۱۰/۵۳  |