



فصلنامه‌ی اقتصاد مقداری

صفحه ی اصلی وب سایت مجله:

www.jqe.scu.ac.ir

شاپا الکترونیکی: 2717-4271

شاپا چاپی: 2008-5850



دانشگاه شهید چمران اهواز

کاربرد مدل غیرخطی فازی برای بررسی عوامل موثر بر مصرف و بهره وری

انرژی در ایران

مجتبی بهمنی*، رضا شرف گنجویی**، منصوره مراد علیزاده**

*دانشیار اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران. (نویسنده مسئول)
** کنتری اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.
*** کارشناسی ارشد اقتصاد، گروه اقتصاد، دانشکده اقتصاد و مدیریت کرمان، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران.

طبقه‌بندی JEL: M13, L11, L26, C23

اطلاعات مقاله

واژگان کلیدی:

اگرسیون غیر خطی فازی، مصرف انرژی، بهره وری انرژی.

آدرس پستی:

کرمان، بزرگراه امام خمینی، میدان پژوهش دانشگاه شهید باهنر

کرمان، دانشکده مدیریت و اقتصاد، کدپستی: 7616913439

ارتباط با نویسنده (گان) مسئول:

ایمیل: mbahmani@uk.ac.ir

0000-0003-0257-5775



قدراتی: از تمامی افراد و موسساتی که در انجام این تحقیق مولف را مساعدت نمودند، قدرانی می‌شود.
تضاد منافع: نویسنده مقاله اعلام می‌کند که در انتشار مقاله ارائه شده تضاد منافع وجود ندارد.
منابع مالی: نویسنده‌ها هیچگونه حمایت مالی برای تحقیق، تألیف و انتشار این مقاله دریافت نکرده‌اند.

چکیده

امروزه بهره‌وری انرژی به یک اولویت اقتصادی و در واقع به یک الزام تبدیل شده و ارتقای بهره‌وری یکی از عوامل مهم تعیین کننده رشد اقتصادی است و کمیابی انرژی بر این اهمیت افزوده است. همچنین بر پایه ملاحظات زیست‌محیطی و توسعه پایدار اقتصادی و اجتماعی، موضوع شناسایی و مطالعه عوامل تاثیرگذار بر مصرف و بهره‌وری انرژی اهمیت بیشتری پیدا کرده است. در مطالعات متعدد با بهره گیری از روش‌های اقتصادسنجی به بررسی عوامل موثر بر مصرف و بهره وری انرژی پرداخته شده است. این شیوه برآورد نیاز به اطلاعات کامل و قطعی دارد. در حالی که بسیاری از متغیرهای اقتصادی رفتاری نوسانی دارند. همچنین اطلاعات قطعی از عوامل تاثیرگذار بر این متغیرها در دسترس نمی‌باشد. در این مقاله برای بررسی عوامل موثر بر مصرف و بهره‌وری در انرژی در ایران از مدل خود رگرسیون انتقال ملایم لاجستیک فازی به دلیل انعطاف‌پذیری در مدل‌سازی برای دوره زمانی 1369-1398 استفاده شده است و از نرم افزار متلب برای برآورد توابع عضویت استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده تاثیر غیر خطی انتشار گاز CO₂ و قیمت گاز به ترتیب بر بهره‌وری و مصرف انرژی است. براساس این نتایج تاثیر تکنولوژی و ارزش افزوده بخش صنعت بر بهره وری و مصرف انرژی قابل توجه است، به گونه‌ای که در حد آستانه بالا بیشترین تاثیر گذاری را دارد. از سوی دیگر نتایج بیانگر تاثیر تقریباً یکسان متغیرهای مستقل بر مصرف انرژی در هر یک از سه حد آستانه تعیین شده می‌باشد که مربوط به ویژگی مصرف انرژی است. همچنین قیمت حامل‌های انرژی در این آستانه‌ها بیشترین تاثیر را بر مصرف انرژی دارند.

ارجاع به مقاله:

بهمنی، مجتبی، اشرف گنجویی، رضا و مراد علیزاده، منصوره. (1402). کاربرد مدل غیرخطی فازی برای بررسی عوامل موثر بر مصرف و بهره‌وری انرژی در ایران. فصلنامه‌ی اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)، 20(4)، 91-67.

 [10.22055/ije.2022.39807.2460](https://doi.org/10.22055/ije.2022.39807.2460)



© 2023 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

غیر قابل انتشار

1- مقدمه

جهان امروز بیش از هر دوران دیگری در حال بلعیدن انرژی است. تمامی چالش‌های مربوط به آلودگی هوا، تغییرات اقلیمی، جنگ بر سر منابع، جابه‌جایی‌های گسترده انسان‌ها و بحران‌های اقتصادی کوچک و بزرگ به‌نحوی با مصرف انرژی در جهان در ارتباط هستند. ایران در سال 2015 بعد از کشورهای روسیه، ازبکستان، اوکراین و آفریقای جنوبی دارای بالاترین شدت انرژی در دنیا بوده است (OECD, 2016). جدول 1 سرانه مصرف نهایی انرژی سال ایران و جهان را نشان می‌دهد.

جدول 1. سرانه مصرف انرژی
منبع: ترازنامه انرژی

Table 1. Per capita energy consumption
Source: Energy Balance

جهان	ایران	سرانه مصرف نهایی انرژی سال 2018 (تن معادل نفت خام)
1/19	2/07	

برای بررسی رابطه بین مصرف انرژی و تولید می‌توان از شاخص ضریب انرژی استفاده کرد که به شکل دقیق به‌رهروی انرژی را بیان می‌کند. جدول 2 متوسط ضریب انرژی طی دوره 1980 تا 2018 ایران و جهان را نشان می‌دهد.

جدول 2. متوسط سرانه مصرف انرژی
منبع: ترازنامه انرژی

Table 2. Average Per capita energy consumption
Source: Energy Balance

عرضه انرژی اولیه طی سال 1384 تا سال 1390 با رشد سالانه 4/4 درصدی همراه بوده و کل

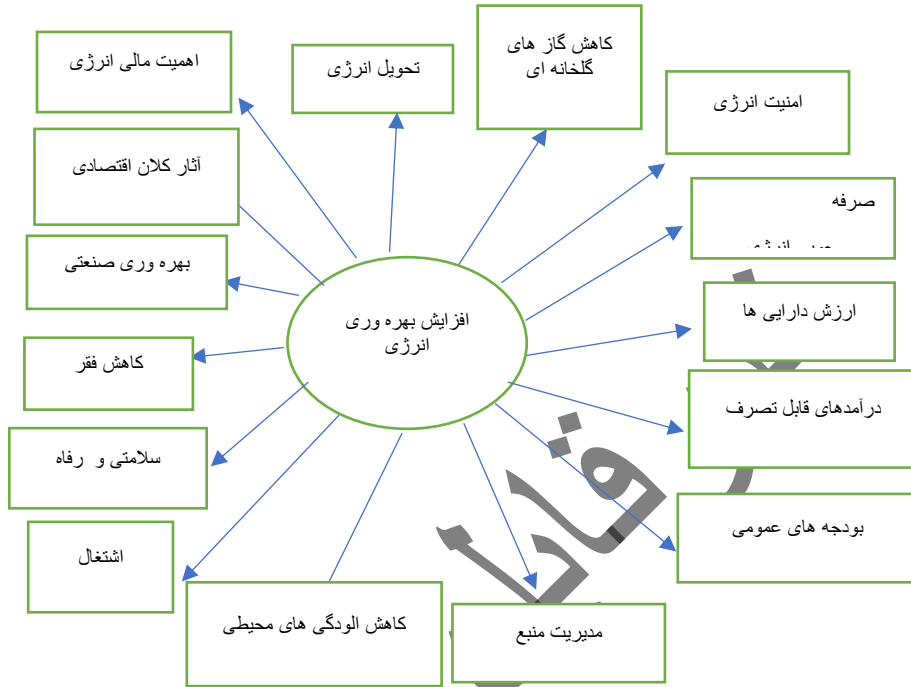
2008-2018	2000-2010	1990-2000	1980-90	متوسط ضریب انرژی طی دوره
1/27	1/09	1/61	3/31	ایران
0/46	0/56	0/37	0/49	جهان

مصرف نهایی انرژی از 840/1 به 1068/4 میلیون بشکه معادل نفت خام (رشد 27/1 درصدی) داشته است. این افزایش مصرف انرژی ضرورت اقدامات بهینه سازی در عرضه و تقاضای انرژی را ضروری می‌سازد. عنصر اصلی مصرف بهینه انرژی افزایش بهره‌وری است لذا میتوان گفت ایران به عنوان یک کشور رو به رشد و برخوردار از منابع انرژی غنی و وجود مخازن بزرگ نفتی، معادن عظیم زیرزمینی و پتانسیل بالقوه انرژی یکی از مصادیق الگوی رشد با فشار بر منابع طبیعی محسوب می‌شود. از این رو راه کارهای کاهش مصرف انرژی و بهبود بهره وری انرژی در اقتصاد ایران مورد توجه است چرا که تأمین انرژی از مهمترین دغدغه‌های بشر بوده و خواهد بود. بدون شک برنامه‌ریزی مناسب برای تأمین انرژی از اهداف هر جامعه می‌باشد.

رشد بهره وری عمدتاً ناشی از پیشرفت فناوری است. همچنین تفاوت قابل توجهی در تغییرات بهره‌وری انرژی در بین گروه‌های درآمدی است. از این رو امروزه بهره‌وری انرژی به یک الویت اقتصادی و در واقع به یک الزام تبدیل شده است و ارتقای بهره‌وری به یکی از عوامل مهم تعیین کننده رشد اقتصادی تبدیل شده است و کمیابی انرژی بر این اهمیت افزوده است. و استفاده کارآ از انرژی موجب بهبود در وضعیت امنیت انرژی، پایداری زیست محیطی و رونق شرایط اقتصادی می‌شود (Behbudi & Asgharpour, 2009). دلیل این امر به نقش محوری انرژی در زندگی مردم و همچنین اهمیت آن به عنوان نهاده کلیدی تولید بر می‌گردد.

همچنین تأثیرات کلان اقتصادی، پیامد های جغرافیایی- سیاسی و نگرانی های زیست محیطی و پایان پذیری انرژی بر کسی پوشیده نیست. از اینرو پس از شوک بزرگ نفتی مصرف بهینه انرژی در اوایل دهه 70 مورد توجه برنامه‌ریزان اقتصادی و مصرف کنندگان عمده انرژی قرار گرفته است. افزایش بهره وری انرژی منافع چند گانه ای به همراه دارد که مهمترین آنها کاهش انتشار آلاینده های زیست محیطی است. بسیاری از منافع افزایش بهره وری در شکل 1 ارایه شده است. امروزه در اقتصاد کلیه کشورها چه توسعه یافته و چه در حال توسعه افزایش بهره وری و مصرف بهینه انرژی به اولویتی ملی تبدیل شده است، بهره وری معیاری برای ارزیابی عملکرد نظام ها و تعیین میزان موفقیت یا ناکامی در رسیدن به اهداف نظام با توجه به مصرف منابع است. با توجه به رشد مصرف انرژی، توجه به بهینه سازی مصرف انرژی به منظور حفاظت از محیط زیست، تأمین امنیت عرضه و صیانت از منابع و ثروتهای ملی و توجه به مسایل بین نسلی به یکی از اولویت های مهم کشور تبدیل شده است.

افزایش بهره وری در سطح ملی موجب بالا رفتن سطح زندگی مردم، کاهش تورم و ایجاد توان رقابت ملی در بازارهای جهانی می شود. افزایش بهره وری ملی برآیند افزایش بهره وری در سازمانها، موسسات و بنگاههای اقتصادی است. لذا با توجه به اهمیت مصرف و بهره وری انرژی در اقتصاد، هدف این پژوهش بررسی عوامل موثر بر مصرف و بهره وری انرژی است. برای این منظور از مدل رگرسیون فازی، که قدرت توضیح دهندگی فوقالعادهای در این زمینه دارد به بررسی این موضوع پرداخته می شود. مدل های اقتصادسنجی برای تصریح به اطلاعات کامل و قطعی نیاز دارند این در حالی است که مصرف و بهره وری انرژی در حال تغییر و نوسان بوده، بنابراین با توجه به این نوسانات و عدم قطعیت نیازمند الگویی هستیم که این عدم قطعیت را مدل سازی کند. این مقاله در بخش های مختلف این موضوع را مورد تحلیل و بررسی قرار می دهد. ابتدا به تشریح مبانی نظری مربوط به موضوع و مرور برخی از مطالعات و پژوهش هایی که در این حوزه انجام شده، پرداخته خواهد شد. سپس الگوی مورد نظر طراحی و معرفی شده و با استفاده از داده های موجود برآورد خواهد شد. در انتها نیز با توجه به بررسی های آماری، جمع بندی و نتیجه گیری بحث ارائه می گردد.



شکل 1. منافع افزایش بهره‌وری انرژی
 مأخذ: گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، 2016
Figure 1. Benefits of increasing energy efficiency
 Source: International Energy Agency report, 2016

2- مبانی نظری

مصرف انرژی در دنیای حاضر فعالیت‌های اقتصادی را تحت تاثیر خود قرار داده است. در طول چهار دهه گذشته، انرژی در کنار سایر نهاده‌ها، جایگاه واقعی خود را یافته و به عنوان یکی از عوامل مهم و تأثیرگذار بر تولید به شمار می‌رود. تقاضای حامل‌های انرژی از دو جنبه می‌تواند بیان گردد؛ یکی تقاضای حامل‌های انرژی به عنوان کالای نهایی توسط مصرف‌کنندگان و دیگری به عنوان نهاده تولید توسط تولیدکنندگان، مورد توجه است (Ehsanfar, 2016). علاوه بر مصرف انرژی، بهبود بهره‌وری آن نیز توجه بیشتر کشورهای جهان را به خود جلب کرده است و سرمایه‌گذاری‌های زیادی را در این زمینه انجام می‌دهند. بهبود بهره‌وری به معنی استفاده بهینه، مؤثر و کارآمد از تمامی منابع تولید اعم از نیروی کار، سرمایه و انرژی است و در کشور ما که دارای منابع غنی انرژی می‌باشند، ارتقای بهره‌وری انرژی‌های پایان‌پذیر دارای اهمیت ویژه است (Ghanbari, Khaksar Astana, & Khaksar, 2014). از این‌رو توجه به معیار بهره‌وری انرژی می‌تواند راهنمایی باشد تا بتوان از طریق آن، مصرف صحیح و کارا از منابع انرژی را با توجه به پایان‌پذیری و آثار سوء زیست محیطی آن بکار گرفت. لذا به دلیل محدودیت و کمیابی منابع و نیز با توجه به نقش و اهمیت گسترده انرژی در رشد و توسعه اقتصادی کشورها، تعیین عوامل تأثیرگذار بر مصرف و بهره‌وری انرژی از اهمیت خاصی برخوردار است که در ادامه به توضیح عوامل تأثیرگذار بر مصرف و بهره‌وری انرژی پرداخته می‌-

شود. یکی از عوامل تاثیرگذار بر مصرف و بهره‌وری انرژی، رشد و توسعه اقتصادی است که از اهداف اصلی سیاست‌گذاران اقتصادی محسوب می‌شود. پژوهش‌های متعدد محققان در سطح جهان نشان داده است که سرعت روند رشد اقتصادی در کشورهای جهان تا حدود زیادی به سطح مصرف کارایی انرژی بستگی دارد. بهبود سطح زندگی مردم و مکانیزه شدن تولید به منظور ارتقای سطح بهره‌وری کار، افزایش سریع مصرف انرژی را موجب می‌شود (Ahmadi Shadmehri, Falahi, & Niazi, 2014). برخی از صاحب نظران اقتصادی مانند استرن و کولوند¹ بیان کرده‌اند که رابطه بین انرژی و تولید کل به وسیله عواملی از قبیل جانشینی بین انرژی و دیگر نهاده‌ها، تغییرات تکنولوژیکی، تغییر ترکیب عوامل انرژی و تغییر ترکیب محصول تولیدی تحت تاثیر قرار می‌گیرد. عامل تاثیرگذار دیگر قیمت انرژی است که رابطه بین دو متغیر قیمت و بهره‌وری انرژی از موضوعات مورد علاقه محققان و سیاست‌گذاران بخش انرژی بوده است. در هر بخش اقتصاد در صورتی که قیمت کمتر از قیمت تعادلی باشد با افزایش قیمت در بخش مربوطه این امکان وجود دارد که بهره‌وری افزایش یابد. بیندیک² نیز بیان می‌کند با افزایش هم‌هنگ قیمت حامل‌های انرژی اگر امکان جانشینی انرژی با سایر عوامل تولید وجود نداشته باشد سطح تولید پایین می‌آید و افزایش قیمت تاثیر قابل توجهی بر شاخص بهره‌وری مصرف نخواهد داشت. در حالی که اگر جانشینی بین عوامل امکان‌پذیر باشد با کاهش مصرف سطح تولید تغییر نکرده و شاخص بهره‌وری بهبود می‌یابد. متغیر دیگری که بر مصرف و بهره‌وری انرژی تاثیرگذار است انتشار دی اکسید کربن است. مصرف انرژی در جهان به منظور رشد اقتصادی رو به افزایش است و در نتیجه نشر گازهای گلخانه‌ای به ویژه CO₂ در اثر مصرف سوخت‌های فسیلی روندی فزاینده دارد. مایر و کنت³، ارتباط بین مصرف انرژی و تخریب محیط زیست را به این صورت بیان می‌کنند که هر چند پس از انقلاب صنعتی به ویژه در دهه‌های اخیر با استفاده بیشتر از انرژی، متوسط بهره‌وری عوامل تولید افزایش یافته و لیکن مصرف انرژی از طریق تأثیرات آلوده‌کننده خود، باعث تخریب محیط‌زیست گردید. بخش صنعت عامل دیگری است که بر مصرف و بهره‌وری انرژی مؤثر است. صنعتی شدن یکی از مهمترین عوامل افزایش شدت مصرف انرژی می‌باشد. شدت مصرف انرژی می‌تواند موجب تحریک فعالیت‌های اقتصادی شده و به عنوان نهاده مهم در کنار سایر نهاده‌های تولیدی موجب رشد ارزش افزوده فعالیت‌های صنعتی شود. از سوی دیگر رشد بخش‌ها و فعالیت‌های مختلف به ویژه فعالیت‌های صنعتی نیازمند رشد مصرف انرژی است، لذا برای افزایش سطح رفاه جامعه و تسریع در رشد اقتصادی بایستی انرژی مورد نیاز بخش‌ها و فعالیت‌های مختلف اقتصادی تامین شود (Mohammad zadeh & Ebrahimi, 2014).

2-1- عوامل مؤثر بر مصرف و بهره‌وری انرژی

افزایش تولید ناخالص داخلی، مصرف انرژی چه انرژی تجدید پذیر و چه انرژی تجدید ناپذیر را افزایش می‌دهد. رشد اقتصادی با افزایش سطح درآمد افراد، مصرف انرژی در بخش خانگی را افزایش می‌دهد. همچنین رشد تولید ناخالص داخلی می‌تواند از طریق افزایش سطح تولید محصولات - به ویژه کالاهای صنعتی که انرژی بر هستند - سطح مصرف انرژی را بالا ببرد. به عبارت بهتر همواره انرژی یکی از عوامل مهم در تولید است و میزان مصرف انرژی مانند هر نهاده دیگر به مقیاس فعالیت‌های اقتصادی در یک کشور بستگی دارد. بنابراین رشد اقتصادی بالا با به وجود آوردن نیازهای جدید فشار فزاینده‌ای بر مصرف انرژی وارد می‌کند (Lekse, 2018). طبق نظریه عمومی کالاها، رابطه میان قیمت انرژی و مصرف آن، اساساً به مسئله "قیمت - تقاضا" نسبت داده می‌شود. به عبارتی انرژی نیز به عنوان یک کالا قلمداد می‌شود که افزایش قیمت آن، طبق قانون تقاضا منجر به کاهش تقاضای آن می‌شود. انرژی یک عامل مهم در تولید است و افزایش قیمت آن می‌تواند هزینه‌های تولید را افزایش و تقاضای صنایع

¹ Stern & Cleveland

² Pindyck

³ Myer & Kent

برای انرژی را کاهش دهد. در صورت افزایش قیمت انرژی و در پی آن افزایش هزینه های تولید، شرکت های تولیدی برای حفظ سطح تولید قبلی و حاشیه سود خود و همچنین برخورداری از یک مزیت رقابتی نسبت به سایر شرکت ها در تولید خود تکنولوژی های جدیدی را به کار می گیرند که انرژی کمتری مصرف می کنند (Ding, 2016).

بهبود بهره وری انرژی منجر به کاهش مصرف انرژی می شود و می توان به همان سطح قبلی تولید دست یافت. اگر قیمت انرژی افزایش پیدا کنید، تولیدکنندگان به سمت استفاده بیشتر از کالاهای سرمایه ای (به طور نسبی ارزان تر) و به احتمال زیاد انرژی اندوز روی خواهند آورد، حتی اگر سطح تولید تغییر نکند. در نتیجه بهره وری مصرف انرژی در سطح تولید بنگاه افزایش می یابد. همچنین تجهیزات پیشرفته تر و انرژی اندوز تر گرچه ممکن است از تجهیزات قدیمی گران تر باشند، اما استفاده از آنها به سبب صرفه جویی در مصرف انرژی ارزشمند، مقرون به صرفه است. بنابراین افزایش بهره وری انرژی اغلب با استفاده بهتر از سرمایه (یا استفاده از تجهیزات با فناوری بالاتر) و افزایش قیمت های نسبی انرژی همراه خواهد بود. تأثیر بهره وری انرژی را به شکلی دیگر نیز می توان نشان داد. با تعریف تابع تولید به شکل زیر:

$$Y = f(E, R)$$

که در آن Y تولید، E انرژی و R نشان دهنده فرض ثابت بودن دیگر عوامل تولید است، افزایش بهره وری انرژی می تواند به سطح بالاتر تولید (نسبت به قبل) با همان اندازه مصرف انرژی منجر شود (Hogan & Manne, 1977).

بهره وری یکی از عوامل تولید بیشتر از دیگری شود، اما قیمت آن ثابت بماند، خرید بیشتر از آن نفع بیشتری خواهد داشت که البته خرید بیشتر باعث کاهش بهره وری نهایی آن تا زمانی خواهد شد که نسبت به قیمت خود دارای منافع یکسانی باشد. بنابراین نسبت تولید نهایی به قیمت های نسبی حساس خواهد بود. به عبارت دیگر، در تعادل اقتصادی، نهاده ها تا زمانی استفاده می شوند که ارزش نهایی تولید آنها برابر با قیمت نسبی آنها شود. قیمت انرژی تأثیر معنی دار منفی بر تقاضای انرژی و عملکرد اقتصاد کلان دارد. افزایش قیمت انرژی، رشد تولید و تقاضای انرژی را کاهش می دهد، اما کاهش قیمت یک اثر برابر و هم اندازه در جهت مخالفت آن را ندارد (تأثیر نامتقارن) و علت آن به بهره وری مصرف انرژی تجهیزات سرمایه ای مرتبط است. هنگامی که قیمت انرژی افزایش می یابد، دارندگان سرمایه های انرژی بر، برای افزایش بهره وری انرژی، انگیزه های بیشتری می یابند و این کار می توانند با ارتقاء سرمایه های موجود یا جایگزینی آنها صورت گیرد، در هر صورت این اقدامات نیازمند سرمایه گذاری است. در کوتاه مدت هنگامی که قیمت انرژی افزایش می یابد، هزینه های استفاده از سرمایه نیز افزایش می یابد، زیرا سرمایه و فناوری ثابت هستند. بنابراین مصرف کننده انرژی، با کاهش مصرف انرژی (تا جای ممکن)، تولید خود را بهینه می کند. به خاطر اینکه سرمایه و تکنولوژی در کوتاه مدت ثابت هستند، کاهش مصرف انرژی با کاهش نرخ استفاده از سرمایه، امکان پذیر شده و در نتیجه کاهش فعالیت اقتصادی را به دنبال خواهد داشت. در بلندمدت با وجود امکان تغییر سرمایه و فناوری، هنوز هم کاهش تقاضای انرژی اتفاق می افتد اما با تغییر فناوری و سرمایه، سرمایه قدیمی با سرمایه جدید و فناوری های انرژی اندوز جایگزین می شود. در بازارهای رقابتی، قیمت های نسبی انرژی، سرمایه و نیروی کار، تعیین کننده فناوری انتخابی هستند. قیمت های بیشتر انرژی، فناوری های انرژی اندوز با سهم بالای سرمایه و نیروی کار را تحمیل می کنند و در مقابل قیمت های پایین انرژی، استفاده از فناوری با سهم بیشتر نهاده انرژی و سهم کمتر سرمایه و نیروی کار را به دنبال خواهد داشت. با این وجود تغییرات واقعی بستگی به جانشینی انرژی با دیگر نهاده های تولیدی و سهم مطلق آن در تولید دارد (Saunders, 2011). همان طور که بیان شد، انرژی علاوه بر تأمین نیازهای مصرفی خانوارها، به عنوان یک نهاده مهم تولید نیز مطرح است و قیمت آن، نه تنها بر میزان تقاضای انرژی بلکه بر تصمیم

گیری کارگزاران اقتصادی نسبت به سرمایه گذاری در فناوری های انرژی اندوز و هزینه تولید محصول نیز تأثیر می گذارد. مطالعات انجام شده نشان می دهد که با افزایش قیمت انرژی، کارگزاران اقتصادی به سمت سرمایه گذاری در فناوری های انرژی اندوز (که منجر به افزایش بهره وری انرژی می شود) سوق پیدا می کنند. بر اساس مطالعات انجام شده از میان تمام عوامل مؤثر بر بهره وری انرژی در سطح بخشهای اقتصادی، می توان به 4 عامل به عنوان مهمترین عوامل اشاره کرد؛

1- سرمایه گذاری مستقیم خارجی، که اغلب نمادی از بهبود تکنولوژی در کشورهای در حال توسعه و به بیانی سرریز تکنولوژی از کشورهای توسعه یافته است، 2 - قیمت انرژی، به عنوان هزینه استفاده از انرژی و دلیل یا انگیزه های متداول در صرفه جویی انرژی است. 3- نسبت موجودی سرمایه به اشتغال، که نشان دهنده ساختار تولید و به بیانی اهمیت نسبی سرمایه (انرژی بر) به کار (با نیاز غیرمستقیم به انرژی) را مشخص می کند. 4- ارزش افزوده بخشی، که هم مقیاس تولید و هم میزان نیاز به مصرف انرژی را نشان می دهد. در ادامه چگونگی تأثیرگذاری این عوامل بررسی می شود. استفاده از نهاده سرمایه در تمام فرایندهای تولیدی، مستلزم استفاده از انرژی است و می توان گفت که به نوعی در کنار نهاده سرمایه و به عنوان مکمل آن استفاده می شود. در نتیجه استفاده کمتر و کارا تر از نهاده انرژی منوط به بهبود ابزارها و تجهیزات تولیدی (سرمایه مورد استفاده) بخشهای تولیدی است. در واقع زمانی از انرژی کارا تر می توان استفاده نمود که سایر عوامل تولید به ویژه انرژی این امکان را فراهم نمایند، به بیان دیگر بهبود بهره وری انرژی نیازمند بهتر شدن نهاده سرمایه و یکی از راه های مهم و سریع آن، دستیابی به تجهیزات کارا تر است که می تواند از طریق واردات (سرمایه گذاری مستقیم خارجی) و یا با تحقیق و توسعه و تولید تجهیزات پیشرفته تر در داخل میسر شود. تلقی سرمایه گذاری خارجی به عنوان یکی از عوامل مؤثر بر بهره وری انرژی را در مطالعات فراوانی می توان یافت. چون انباشت سرمایه (و نه سرمایه گذاری) بر تولید تأثیر می گذارد (انباشت سرمایه یک نهاده با دوام با تأثیرگذاری در طی زمان و سرمایه گذاری تنها بخش کوچکی از آن است) بنابراین به جای سرمایه گذاری مستقیم خارجی، از انباشت سرمایه مستقیم خارجی بخشی به عنوان عامل مؤثر بر بهره وری انرژی استفاده می شود (Elliott et al, 2013).

3- مطالعات تجربی

با توجه به ضرورت تعیین عوامل تأثیرگذار بر مصرف و بهره وری انرژی مطالعات داخلی و خارجی گسترده ای در این زمینه در دهه های اخیر صورت گرفته است. از مطالعات انجام شده می توان به تحقیقات (Otsuka, 2018)، (Wang, Li, Fang, & Zhou, 2016)، (Cohen, Glachant, &)، (Söderberg, 2015)، (Lin & Moubarak, 2014)، (Rezitis & Ahammad, 2015)، (Zhixin & Xin, 2011)، (Hatzigeorgiou, Polatidis, & Haralambopoulos, 2011)، (Ghosh, 2010)، (Belke, Dobnik, & Dreger, 2011)، (Ozturk & Acaravci, 2011)، (Jacques Loesse, 2010)، (Yalta, 2011)، (Apergis & Payne, 2010; Apergis,)، (Payne, Menyah, & Wolde-Rufael, 2010)، (Lee &)، (Jacques Loesse, 2010)، (Lee, 2010)، (Liddle & Lung, 2010)، (Karanfil, 2009)، (Sinha, 2009)، (Ali Asadi & Esmaeili, 2013)، (Mohammad zadeh & Ebrahimi, 2014)، (Hoshmand, Daneshnia, Sotudeh, & Ghezalbash, 2013)، (Abrishami, Nouri, & Doudabinezhad, 2010)، (Alemorad-jabdarghi, 2012)، (Abdoli & Varahrami,)، (Ghaderi Moghadam, Baseri, Falihi, & Abbasi, 2022)، (Ahmadi Shadmehri et al.,)، (Delnajian, Soheili, & Beharipour, 2015)، (2010)، (Rahimy, Faraji Dizaji, & Assari Arani, 2022) و (Savari, Fatrus, Haji, &)، (2014).

(Najafizadeh, 2020) اشاره نمود. از دیگر مطالعات انجام گرفته می‌توان به موارد زیر نیز اشاره کرد.

3-1- مطالعات خارجی

اوزار (2020)، در مطالعه‌ای به بررسی ارتباط بین رشد اقتصادی، انتشار CO₂ و مصرف انرژی طی دوره 1990-2015 پرداخته است. یافته‌های این مطالعه نشان می‌دهد که رشد اقتصادی در بلندمدت بر مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر مثبت دارد. علاوه بر این، انتشار CO₂ یک عامل مثبت و مهم در مصرف انرژی تجدید پذیر است. با این حال، رشد اقتصادی بر انرژی‌های تجدیدپذیر تأثیر منفی می‌گذارد. در این زمینه، کیفیت سازمانی یک انتخاب استراتژیک کلیدی در ترویج استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و حل مشکلات زیست محیطی است (Uzar, 2020).

اولوچ و همکاران (2021)، به بررسی عوامل موثر بر مصرف انرژی در جنوب صحرای آفریقا با استفاده از مدل پلک تأخیری خودرگرسیون برداری و داده‌های سالانه از 1998 تا 2014 پرداخته‌اند. یافته‌های اصلی نشان می‌دهد که تولید ناخالص داخلی بر مصرف انرژی تأثیر مثبت و معنی‌دار دارد. این مطالعه پتانسیل مدیریت موثر و اجرای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر را در ارتقای شاخص‌های اجتماعی مانند شاخص‌های آموزشی، در عین بهبود اقتصاد و کاهش انتشار CO₂ برجسته می‌کند (Oluoch, Lal, & Susaeta, 2021).

اوگونسولا و همکاران (2022)، به بررسی عوامل تعیین کننده مصرف انرژی در کشورهای صادرکننده نفت آفریقای بین سال‌های 1980 و 2018 پرداخته‌اند. در این مطالعه از رویکردهای مدل‌سازی تأخیر توزیع‌شده خودرگرسیون مقطعی (CS-ARDL) و تأخیر توزیع‌شده مقطعی (CS-DL) استفاده شده است. نتایج نشان داد که درآمد سرانه تأثیر معنی‌داری بر مصرف انرژی در کشورهای صادرکننده در دوره مورد مطالعه نداشته است، در حالی که باز بودن تجارت تأثیر مثبت و معناداری بر آن داشته است. و ساختار اقتصادی، تأثیر منفی و معناداری بر مصرف انرژی داشته است (Ogunsola & Tipoy, 2022).

نیویس و همکاران (2022)، به بررسی تأثیر افزایش بهره‌وری انرژی صنعتی پرداخته‌اند. برای این منظور چهار مدل لجستیک برای درک اینکه چگونه هزینه‌ها و تولید بر بهره‌وری انرژی در فناوری‌های مقطعی تأثیر می‌گذارند، طراحی شد. به این ترتیب، ایجاد انگیزه در صنایع برای اجرای اقداماتی در جهت کاهش مصرف برق، ارائه تحلیل هزینه-فایده اقتصادی و بهینه‌سازی فرآیندهای صنعت به‌گونه‌ای که کاهش مصرف برق بر بازده انرژی صنعتی افزوده شود، از اهداف این مطالعه بود. نتایج این مطالعه از طریق شاخص‌های تعدیل شده نشان می‌دهد که مدیریت ارشد عمدتاً مسئول صرفه‌جویی در انرژی است. علاوه بر این، برنامه‌ریزی و کنترل تعمیر و نگهداری برای اطمینان از کاهش مصرف انرژی فناوری‌های مقطعی ضروری است (Neves et al., 2022).

فانگ و همکاران (2022)، در مطالعه‌ای به بررسی بهره‌وری کل انرژی حرارتی چین در صنعت برق پرداخته‌اند. که با مقایسه تفاوت‌های منطقه‌ای 30 استان در سرزمین اصلی از سال 2013 تا 2017، این مطالعه از مدل تابع فاصله جهت دار DDF برای ارزیابی جامع بهره‌وری انرژی تولید برق حرارتی استفاده می‌کند. نتایج نشان می‌دهد که دولت و مدیران صنعت برق باید به طور کامل تفاوت‌های منطقه‌ای در زمینه تولید برق حرارتی را در هنگام تدوین سیاست‌هایی در نظر بگیرند تا بهره‌وری انرژی را بهبود بخشند و توسعه سبز صنعت برق در چین را ترویج دهند. علاوه بر این، سهم بازار و رقابت صنعت برق محلی را می‌توان بر اساس شرایط مختلف منابع هر منطقه افزایش داد (Feng, Lu, Lin, Yang, & Lin, 2022).

لوپوز و همکاران (2021)، به بررسی رتبه‌بندی عوامل موثر بر سرمایه‌گذاری به منظور افزایش بهره‌وری انرژی در صنعت هتل‌داری اسپانیا پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که بهره‌وری انرژی نه تنها تحت تأثیر شرایط آب و هوایی، مباحث زیست محیطی و نوع هتل و همچنین سایر ویژگی‌های سیستم تهویه مطبوع مانند قابلیت اطمینان نام تجاری، قیمت و عملکرد. صنعت هتل‌داری است، بلکه طراحی سیاست بهره‌وری انرژی مناسب مستلزم در نظر گرفتن پاسخ‌های بالقوه توسط عوامل مختلف است (López-Bernabé, Foudi, Linares, & Galarraga, 2021).

سینویسن و همکاران (2017) در مقاله‌ای به بررسی عوامل تعیین‌کننده بهره‌وری انرژی و مصرف انرژی برای 11 کشور اروپای شرقی طی سال‌های 1996-2013 با استفاده از روش پانل پرداخته‌اند. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که رشد تولید ناخالص داخلی و صادرات تکنولوژی اثر مستقیم و ارزش افزوده بخش صنعت و انتشار CO2 سرانه اثر معکوس بر بهره‌وری انرژی و مصرف انرژی دارند. همچنین عامل قیمت نقش مهمی در تغییر مصرف انرژی و افزایش بهره‌وری انرژی بازی نمی‌کند (Sineviciene, Sotnyk, & Kubatko, 2017).

کاکر و همکاران (2011) در مقاله‌ای به بررسی رابطه توسعه مالی و مصرف انرژی در پاکستان طی دوره زمانی 1980-2008 پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد توسعه مالی در بلندمدت مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد اما تأثیرگذاری آن در کوتاه‌مدت ناچیز است (Kakar, Khilji, & Khan, 2011).

سادروسکی (2010) در مطالعه‌ای اثر توسعه بازارهای مالی بر رشد مصرف انرژی در اقتصادهای نوظهور را با استفاده از داده‌های ترکیبی دوره زمانی 1990-2008 و روش گشتاورهای تعمیم یافته بررسی کرده‌اند. نتایج نشان‌دهنده ارتباط مثبت و معنادار اثر توسعه بازار مالی بر رشد مصرف انرژی بود (Sadorsky, 2010).

کروننبرگ (2009) در مطالعه‌ای به بررسی اثر تغییرات دموگرافیک بر مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای در کشور آلمان پرداخته است. نتایج بردارهای تقاضای نهایی در یک مدل داده-ستانده (I-O) زیست محیطی بدست آمده است. نتایج مدل نشان می‌دهد که تا سال 2030 تغییرات دموگرافیک، سهم متان در مجموعه گازهای گلخانه‌ای را افزایش می‌دهد ولی مصرف انرژی در کشور آلمان کاهش می‌یابد (Kronenberg, 2009).

آنگ (2007) در مطالعه‌ای به بررسی رابطه علی پویا بین انتشار گاز دی‌اکسیدکربن، مصرف انرژی و تولید در کشور فرانسه طی سال‌های 1960-2000 پرداخته است. نتایج مطالعه نشان داد که رشد اقتصادی علیت بلندمدت مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست بوده و یک رابطه علی یک طرفه از سوی مصرف انرژی به رشد تولید در کوتاه مدت برقرار است (Ang, 2007).

میتکا و مولدر (2003) در مقاله‌ای بهره‌وری انرژی را در 56 کشور توسعه‌یافته و در حال توسعه در فعالیت‌های صنعتی بررسی کرده‌اند. نتایج مطالعه نشان می‌دهد که قیمت‌های انرژی نقش محدودی در رشد بهره‌وری انرژی داشته و تغییر تکنولوژی به عنوان یک عامل مهم در رشد بهره‌وری انرژی محسوب می‌شود (Miketa & Mulder, 2003).

آدنی کینجو و الومیوا (1999) رابطه بین مصرف انرژی و بهبود بهره‌وری در بخش صنایع کارخانه‌های نیجریه طی سال‌های 1970-1990 را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان می‌دهد که در مورد بسیاری از کشورها حفظ ذخیره انرژی، تغییرات در ساختار صنعت و ترکیب سوخت مصرفی صنایع موجب افزایش بهره‌وری در صنایع کارخانه‌ای شده است (Adenikinju & Alaba, 1999).

3-2- مطالعات داخلی

اکبرنیا و همکاران (1401) با مروری سیستماتیک بر پژوهش‌های گذشته عناصر تأثیرگذار بر مصرف خانگی را در ایران بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد در سطح حاکمیت (نظام آموزشی و رسانه، سیاست‌های انرژی و قانونگذاری، مدیریت اجرایی دولت و نهادهای مرتبط با انرژی)، مدیریت تولید، توزیع و مصرف انرژی، توسعه فناوری، و استاندارد شهرسازی و معماری (در سطح اجتماع) عوامل اجتماعی و فرهنگی، آگاهی عمومی و عوامل میانفردی (و در سطح خانوار) ویژگی‌های جمعیت شناختی خانوار، سبک زندگی و پایگاه اجتماعی اقتصادی (بر مصرف - انرژی خانگی تأثیرگذار هستند (Akbarnia, Salehi, Firozjayan, & Heidari, 2022).

شهریار زورکی و مقدسی سدهی (1400) تأثیر مصرف انرژی بر آلاینده‌ی زیست محیطی در ایران را با تأکید بر مصرف انرژی برق و غیر برق با استفاده از رهیافت خودتوضیحی با وقفه‌های توزیعی طی دوره زمانی 1396-1350 بررسی کرده‌اند. نتایج بیانگر آن است که میزان انتشار دی‌اکسیدکربن و مصرف انرژی در سطح کل اقتصاد و در بخش‌های سه‌گانه مورد بررسی روند افزایشی داشته‌است. امیرنویذ سلیمانی و جمیله‌رضا غفارزاده (1400) ویژگی‌های اقتصادی خانوار بر میزان مصرف انرژی (مطالعه موردی، خانوارهای ساکن در شهر یزد) را بررسی کرده‌اند. نتایج نشان داد که بین تحصیلات، درآمد، شغل و نوع منزل و مصرف انرژی رابطه معنی وجود دارد و در مجموع وضعیت اقتصادی خانواده تأثیر زیادی بر میزان مصرف انرژی خانوار دارد (zaroki & moghadasi sedehi, 2021).

وفایی و همکاران (1400) در مطالعه‌ای به بررسی اثر عمق مالی بر مصرف انرژی از کانال رشد اقتصادی با استفاده از الگوی گشتاورهای تعمیم یافته سری زمانی در بازه زمانی 1357-1399 پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که عمق مالی از کانال رشد اقتصادی، مصرف انرژی را تحت تأثیر قرار می‌دهد. متغیرهای عمق مالی و تولید ناخالص داخلی اثر مثبت بر مصرف انرژی دارند. همچنین قیمت حامل‌های انرژی اثر منفی بر مصرف انرژی دارد. بر اساس نتایج تحقیق، یک درصد افزایش در تولید ناخالص داخلی و قیمت انرژی به ترتیب منجر به تغییر 1/42 و 0/10 درصدی در مصرف انرژی می‌شود (Vafaei, Pendar, & Masumzadeh, 2021).

عربشاهی و همکاران (1400)، به بررسی سنجش بهره‌وری مصرف انرژی در صنایع انرژی بر کشور طی سال‌های 1374 تا 1394 پرداخته‌اند. نتایج آزمون گاما نشان می‌دهد بهترین ترکیب متغیرهای اثرگذار بر بهره‌وری انرژی صنایع شامل متغیرهای محیطی تکنولوژی، حکمرانی خوب، اندازه دولت، آزادسازی تجاری و قیمت واقعی انرژی و همچنین متغیرهای خرد شامل ساختار فنی تولید، قیمت سرمایه و مصرف انرژی می‌باشند. بر اساس روش تحلیل پوششی داده‌ها، میانگین بهره‌وری کل صنایع انرژی بر در دوره مورد بررسی حدود 68 درصد و صنعت مواد غذایی و آشامیدنی نسبت به سایر صنایع از بهره‌وری بالاتری برخوردار بوده‌است (Arabshahi Delouee, Falahi, & Salehnia, 2020).

انوشه پور و همکاران (1400)، رابطه مصرف انرژی و بهره‌وری کل عوامل تولید کشاورزی را با استفاده از روش رگرسیون چندگانه مبتنی بر داده‌های سری زمانی سال‌های 1346 تا 1395 مورد ارزیابی قرار داده‌اند. نتایج بدست آمده از برآورد الگو نشان می‌دهد که مصرف انرژی و نرخ تورم با یک دوره وقفه در چندگانه‌های 0/25 و 0/5 دارای اثر منفی و معناداری بر بهره‌وری کل عوامل تولید می‌باشند، در حالی که اثر متغیرهای نرخ ارز، سرمایه‌گذاری خارجی و بهره‌وری (با یک دوره وقفه) مثبت و معنادار برآورد گردید (Anooshehpour, Moghaddasi, MohammadiNejad, & Yazdani, 2020).

کفایی و همکاران (1396)، با استفاده از داده‌های بخشی سال‌های 1391-1373 عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی بخشی در اقتصاد ایران به روش داده‌های تابلویی مورد شناسایی قرار گرفت. یافته‌ها حاکی از آن است که موجودی سرمایه مستقیم خارجی و قیمت نسبی انرژی، تأثیر مثبت و ارزش افزوده و نسبت موجودی سرمایه به نیروی کار بخشی، تأثیر منفی بر بهره‌وری انرژی بخشی دارند (Kafaei & Nejadaghaeiavash, 2017).

اسدی و همکاران (1397)، به بررسی عوامل مؤثر بر مصرف انرژی در ایران طی دوره زمانی 1970-2016 به کمک مدل‌های خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) پرداخته‌اند. نتایج برآورد مدل، بیانگر تأثیر مثبت شاخص توسعه مالی، رشد اقتصادی و شهرنشینی و تأثیر منفی قیمت نفت در بلندمدت بر مصرف انرژی است. همچنین، در کوتاه‌مدت شاهد رابطه علیت از سمت توسعه مالی به مصرف انرژی است (Ali Asadi, Esmaili, Bakhsour, & Sadeghpour, 2018).

محمدزاده و همکاران (1393) در مطالعه‌ای رابطه میان مصرف انرژی و توسعه مالی در ایران را طی دوره زمانی 1350-1387 با استفاده از الگوی خودبازگشتی با وقفه‌های توزیعی بررسی کرده‌اند. نتایج حاکی از تأثیر مثبت توسعه مالی، تولید ناخالص داخلی سرانه و جمعیت شهرنشین بر مصرف انرژی در دوره مورد بررسی است (Mohammad zadeh & Ebrahimi, 2014).

بنی اسدی و محسنی (1393) در تحقیقی به بررسی اثر شوک‌های دائمی و موقت بهره‌وری بر شدت مصرف انرژی در ایران طی دوره زمانی 1353-1389 پرداخته‌اند. نتایج تخمین مدل نشان می‌دهد که شوک‌های موقتی بهره‌وری، مهمترین منبع تغییرات در شدت مصرف انرژی در کوتاه‌مدت هستند. همچنین شوک‌های دائمی بهره‌وری منجر به کاهش شدت مصرف انرژی در بلندمدت می‌شوند (Baniasadi & Mohseni, 2014).

قنبری و همکاران (1393) در مقاله‌ای عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی در بخش کشاورزی ایران را طی دوره زمانی دوره زمانی 1356-1386 با استفاده از الگوی خودبازگشتی با وقفه‌های توزیعی بررسی کرده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که متوسط سرمایه به ازای هر واحد انرژی مصرفی، دستمزد واقعی نیروی کار، متوسط نیروی کار به ازای هر واحد انرژی، قیمت واقعی فرآورده‌های نفتی و نسبت برق از کل مصرف انرژی تأثیر مثبت بر بهره‌وری انرژی داشته‌اند (Ghanbari et al., 2014).

شادمهری و همکاران (1392) عوامل مؤثر بر بهره‌وری انرژی در بخش کشاورزی ایران را در دوره زمانی 1353-1381 بررسی کرده‌اند. نتایج حاکی از آن است که متغیرهای نیروی کار به ازای هر واحد انرژی، موجودی سرمایه ماشین‌آلات به ازای هر واحد انرژی و روند زمانی تأثیر مثبت بر بهره‌وری انرژی بخش کشاورزی داشته‌اند (Ahmadi Shadmehri et al., 2014).

امینی و یزدی پور (1387) در مقاله‌ای به بررسی عوامل کمی مؤثر بر بهره‌وری انرژی در کارگاه‌های بزرگ صنعتی ایران طی دوره 1373-1381 پرداخته‌اند. نتایج برآورد مدل‌ها نشان می‌دهد که متوسط سرمایه به ازای هر واحد انرژی مصرفی و هزینه واقعی استفاده از سرمایه بیشترین تأثیر را در بهره‌وری انرژی داشته‌اند (Amini & Yazdipoor, 2008).

جلال-آبادی و رخشان (1384) در مطالعه‌ای به تحلیل مصرف حامل‌های انرژی در ایران با استفاده از مدل خودرگرسیون برداری طی دوره زمانی 1346-1380 پرداخته‌اند. نتایج حاصل نشان می‌دهد مصرف حامل‌های انرژی در ایران چندان متأثر از تغییر در قیمت آن‌ها نبوده و یا تأثیرپذیری آن‌ها با گذشت زمان طولانی صورت می‌گیرد (Jalalabadi & Rakhshan, 2005).

4- روش تحقیق و تصریح مدل

بیشتر تحقیقات انجام شده در این زمینه با استفاده از مدل‌های خطی صورت گرفته است. از آنجایی که مدل خطی نمی‌تواند تغییرات تدریجی متغیرها را در وضعیت‌های مختلف اقتصادی بیان نماید (به عبارت دیگر برای بررسی اثر تغییرات ساختار مجبور به وارد کردن متغیر موهومی می‌باشد، که این مشکل در روشهای غیرخطی فازی مرتفع شده است؛ به این صورت که اثر این تغییرات به صورت درونزا در مدل بررسی می‌شود، مدلسازی روابط بین متغیرهای اقتصادی به صورت غیرخطی مورد توجه بسیاری از اقتصاددانان قرار گرفته است؛ در این راستا، مطالعه حاضر نیز از الگوی رگرسیون انتقال ملایم لاجستیک با رویکرد فازی برای تخمین عوامل موثر بر مصرف و بهره‌وری انرژی در ایران کمک گرفته است.

4-1- مدل اتورگرسیو انتقال ملایم (STAR)

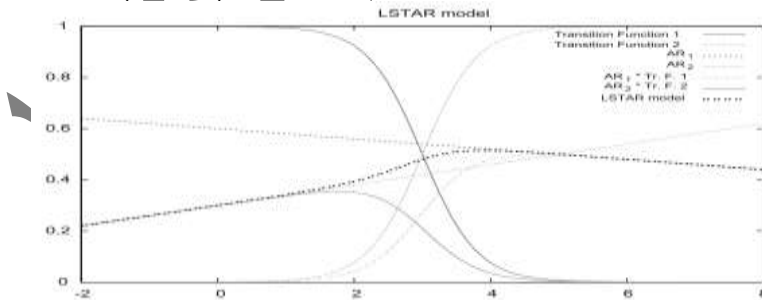
یکی از ویژگی‌های کلیدی مدل‌های اتورگرسیو آستانه‌ای، ماهیت ناپیوسته ارتباط اتورگرسیو است. با توجه به اینکه ماهیت به‌طور کلی پیوسته است، در سال 1994 یک مدل جایگزین به نام اتورگرسیو انتقال ملایم (STAR) توسط تراسورینا پیشنهاد شد، در مدل‌های اتورگرسیو انتقال ملایم تابع انتقال ملایم به صورت یک جهش ناگهانی انتقال نمی‌یابد بلکه به صورت پیوسته از یک اتورگرسیو خطی به دیگری انتقال می‌یابد، مدل اتورگرسیو انتقال ملایم برای $k + 1$ به صورت زیر تعریف شده است.

$$y_t = b'_0 x_t + \sum_{i=1}^k b'_i x_t f_i(s_t; \theta_i) + \varepsilon_t \quad (1)$$

تابع انتقالی $f_i(s_t; \theta_i)$ یک تابع پیوسته است که بین 0 و 1 محدود می‌شود. که در زمان t اتفاق می‌افتد، که توسط متغیر قابل مشاهده s_t و مقدار وابسته $f_i(s_t; \theta_i)$ تعیین می‌شود. انتخاب‌های مختلف برای تابع انتقالی موجب انواع مختلفی از رفتار تبدیلی می‌شود. یک انتخاب مناسب برای $f_i(s_t; \theta_i)$ تابع لجستیک است:

$$f_i(s_t; \theta_i, \gamma) = (1 + \exp(\gamma(s_t - c)))^{-1} \quad (2)$$

و مدل حاصل آن اتورگرسیو انتقال ملایم لجستیک (LSTAR) نامیده می‌شود.



شکل 2. نمونه‌ای از مدل STAR با استفاده از تابع انتقال لجستیک
مأخذ: نتایج پژوهش

Figure 2. An example of the STAR model using the logistic transfer function
Source: Research results

در مدل اتورگرسیو انتقال ملایم لجستیک، تابع انتقال $f_i(s_t; \theta_i)$ به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

(3)

$$f_i(s_t; \gamma_i, c_i) = \begin{cases} 1 - f_i(s_t; \gamma_i, c_i) & \text{if } i = 1 \\ f_i(s_t; \gamma_i, c_i) - f_i(s_t; \gamma_{i+1}, c_{i+1}) & \text{if } 1 < i < k \\ f_i(s_t; \gamma_i, c_i) & \text{if } i = k \end{cases}$$

در اینجا $f_i(s_t; \emptyset_i)$ در رابطه (6) تعریف شده است. مدل اتورگرسیو انتقال ملایم لجستیک می‌تواند (و معمولاً) به صورت زیر بازنویسی شود.

$$y_t = \sum_{i=2}^k b'_i x_t F(s_t; \gamma_i, \emptyset_i) + \varepsilon_t \quad (4)$$

شکل 2 نشانگر گرافیکی یک مدل اتورگرسیو انتقال ملایم و دو تابع انتقالی همراه با مدل‌های خطی و توابع انتقالی مرتبط با آنها را نشان می‌دهد. هر یک از پارامترهای c_i در فرمول (2) می‌تواند به عنوان حد آستانه بین دو طرز کار تفسیر شود، به این معنا که تابع لجستیک به طور یکنواخت از 0 به 1 افزایش می‌یابد و $F(c_i; \gamma_i, c_i) = 0/5$ خواهد بود. پارامتر γ_i انتقال از یک آستانه دیگری را تعیین می‌کند. از آنجایی که γ_i بسیار بزرگ می‌شود، تابع لجستیک به تابع نشانگر $I(0)$ نزدیک می‌شود و از این رو تغییر $F(s_t; \gamma_i, c_i)$ از 0 به 1 در $c_i \rightarrow s_t$ آنی می‌شود. در نتیجه، مدل‌های اتورگرسیو انتقال ملایم لجستیک را به عنوان یک مورد خاص قرار می‌دهد. علاوه بر این، وقتی $\gamma_i \rightarrow 0$ میل می‌کند مدل LSTAR به یک مدل AR خطی کاهش می‌یابد. در مدل اتورگرسیو انتقال ملایم لجستیک، تبادل‌های طرز کار با مقادیر کوچک و بزرگ متغیر انتقالی s_t نسبت به c همراه هستند. در عملکردهای خاص، ممکن است بیشتر مناسب باشد که تابع انتقالی را مشخص کنید به طوری که طرز کارها با مقادیر مطلق کوچک و بزرگ s_t (دوباره نسبت به c) مرتبط هستند. این را می‌توان با استفاده از تابع نمایی بدست آورد که در این صورت مدل ممکن است به صورت اتورگرسیو انتقال ملایم نمایی⁴ ESTAR نامیده شود.

4-2- روابط با مدل‌های مبتنی بر قاعده فازی

ارتباطات موجود بین یک مدل اتورگرسیو و یک قاعده فازی که در چارچوب سری زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد، مورد بررسی قرار گرفته شد. همچنین مدل‌های اتورگرسیو انتقال ملایم را می‌توان به عنوان یک مورد خاص از مدل مبتنی بر قاعده فازی مشاهده کرد. برای وضوح، ابتدا فرض کنیم که این مدل بیانگر مدل مبتنی بر قاعده فازی FRBM در اینجا است. در هنگام برخورد با مسائل سری زمانی (و در کل، هنگام برخورد با هر گونه مسئله دقت مهم‌تر از تفسیرپذیری است)، الگوی تاکاگی-سوگنو-کانگ (TSK) نسبت به سایر انواع‌ها ترجیح داده می‌شود. قانون فازی نوع TSK به صورت زیر است:

$$\text{IF } x_1 \text{ IS } A_1 \text{ AND } x_2 \text{ IS } A_2 \text{ AND } \dots \text{ AND } x_p \text{ IS } A_p \quad (5)$$

$$\text{THEN } y = b'_0 x_t = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_p x_p$$

در اینجا x_i متغیرهای ورودی هستند و A_j مجموعه‌های فازی برای متغیرهای ورودی هستند. با توجه به مکانیزم استدلال فازی برای قواعد TSK، مقادیر متغیرها به صورت زیر به دست می‌آید (اعتصامی و همکاران).

$$\omega(x) = \prod_{j=1}^p \mu_{A_j}(x_j) \quad (6)$$

تابع μ_{A_j} را می‌توان از طیف وسیعی از توابع انتخاب کرد. یکی از متداول‌ترین آن‌ها به صورت زیر بیان شده است:

⁴ Self-regressive smooth transition exponential

$$\mu_A(x) = \exp\left(\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (7)$$

اما همچنین می‌تواند یک تابع لجستیک باشد:

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{c-x}{\sigma^2}\right)} \quad (8)$$

و همچنین توابع غیر مشتق شده به عنوان یک تابع مثلثی می‌باشند. خروجی کلی به صورت میانگین وزنی یا مجموع وزن خروجی قوانین محاسبه می‌شود. در مورد مجموع وزن، خروجی به صورت زیر بیان می‌شود:

$$y_t = G(x_t; \Psi) = \sum_{i=1}^R b'_i x_t \cdot \omega_i(x_t) \quad (9)$$

در اینجا G تابع غیر خطی کلی با پارامترهای w است و R تعداد قوانین فازی است که در سیستم وجود دارد. در حالی که بسیاری از FRBM TSK میانگین محاسبه را برای محاسبه خروجی انجام می‌دهند، FRBM افزایشی نیز یک انتخاب رایج است. آنها در تعداد زیادی از برنامه‌های کاربردی استفاده شده‌اند. هنگامی که برای مدل سازی یا پیش‌بینی یک سری زمانی نامحدود (Mishra) استفاده می‌شود، قوانین به صورت FSB FRBM بیان می‌شود:

$$\begin{aligned} &IF y_{t-1} IS A_1 AND y_{t-2} IS A_2 AND \dots AND y_{t-p} IS A_p \\ &THEN y = b_0 + b_1 y_{t-1} + b_2 y_{t-2} + \dots + b_p y_{t-p} \end{aligned} \quad (10)$$

در این قاعده، تمام متغیرهای y_{t-i} مقادیر سری زمانی (Mishra) هستند (Teräsvirta, 1994b).

4-3- آزمون خطی بودن در برابر غیر خطی بودن:

یکی از مراحل اساسی در تخمین الگوهای رگرسیون انتقال ملایم، آزمون خطی بودن الگو در برابر الگوی غیرخطی است. اگر بنا به استفاده از روش غیرخطی برای تخمین مدل باشد باید قبل از آن بر محققان مسلم شود که فرایند از الگوی غیرخطی تبعیت می‌کند. در واقع هدف اصلی این قسمت از تحقیق بررسی امکان تخمین به صورت غیرخطی است؛ به عبارت دیگر اگر آزمون‌هایی که در ادامه آورده می‌شود بتواند وجود رابطه غیرخطی را تأیید کند، آنگاه می‌توان روابط را به صورت غیرخطی تخمین زده و به تحلیل نتایج پرداخت، در غیر این صورت مدل به همان روش خطی تخمین زده می‌شود. سؤال اساسی آن است که: اولاً آیا مدل خطی است یا از یک الگوی غیر خطی پیروی می‌کند؟ (ثانیاً: اگر مدل غیر خطی است؛ از کدام فرایند تبعیت می‌کند؟ (مدل LSTAR یا مدل ESTAR) بنابراین فرضیه صفر مبنی بر خطی بودن به صورت $H_0: \gamma = 0$ تعریف می‌شود. در واقع با فرض صفر بودن γ معادله (1) به یک رگرسیون خطی تبدیل می‌شود و در این حالت C و θ پارامترهای غیرمشخصی خواهد بود (Lopes & Salazar, 2006). برای حل این مشکل بیان کرده‌اند، جایگزین کردن تابع انتقال $F(S_t, \gamma, C)$ با تقریب تیلور⁵ مناسب است. برای انجام این آزمون، از بسط درجه سوم تیلور بر اساس پیشنهاد لوکونن و همکاران (1988) استفاده می‌شود (Luukkonen, Saikkonen, & Teräsvirta, 1988). بدین ترتیب، رگرسیون کمکی زیر نوشته می‌شود:

$$y = \pi/W_{t-1} + \sum_{k=1}^k \gamma_k' w_{t-1} s_t^k + v_t \quad (11)$$

که در آن w_{t-1} بردار متغیرهای مستقل مدل است S_t متغیر انتقال و π' پارامترهای ضرایب خطی مدل کمکی و γ_k' پارامترهای ضرایب غیرخطی مدل کمکی است. در این وضعیت، فرضیه صفر مبنی

⁵ The Taylor series approximate

بر خطی بودن الگو به صورت زیر خواهد بود. در معادله (5)، ابتدا متغیر انتقال برای انجام آزمون فوق باید تعیین گردد. انتخاب این متغیر، نه تنها در این آزمون از اهمیت فراوانی برخوردار است، بلکه در تعیین نوع الگو و تخمین نهایی آن نیز سهم بسیاری دارد. برای این منظور تسای (Tsay, 1989)، (Teräsvirta, 1994a) آزمونی را ارائه کرده‌اند که در آن متغیر انتقال مناسب، طوری انتخاب می‌شود که آماره آزمون مربوط به آزمون خطی بودن حداقل شود. به عبارت دیگر، به منظور انتخاب متغیر مناسب ابتدا آزمون خطی بودن الگو برای متغیرهای بالقوه مختلف انجام می‌شود و متغیری انتخاب می‌گردد که مقدار آماره F آزمون در بین سایر متغیرها بیشترین باشد. در صورت تأیید غیرخطی بودن الگو، باید فرم تابعی مناسب برای تابع انتقال مورد بررسی قرار گیرد. در این مرحله با استفاده از آماره کای-دو، محدودیت‌های زیر به ترتیب آزمون می‌شود.

$$H_{04}: \beta_3 = 0 \quad (12)$$

$$H_{03}: \beta_2 = 0 \mid \beta_3 = 0 \quad (13)$$

$$H_{02}: \beta_1 = 0 \mid \beta_2 = \beta_3 = 0 \quad (14)$$

نحوه تصمیم‌گیری بدین ترتیب است که اگر فرضیه 12 رد شود شکل مدل به صورت LSTAR انتخاب می‌شود، اگر فرضیه 12 پذیرفته شود و فرضیه صفر 13 رد شود شکل مدل به صورت ESTAR انتخاب می‌شود، نهایتاً اگر فرضیه 12 و 13 پذیرفته شود و فرضیه 14 رد شود LSTAR می‌باشد.

4-4 داده‌ها و اطلاعات:

در این بخش به بررسی آثار نامتقارن عوامل موثر بر مصرف و بهره‌وری انرژی در ایران پرداخته می‌شود. براین اساس تصریح مدل برای بهره‌وری و مصرف انرژی به صورت روابط زیر است:

$$EF = F(Y, P, GP, IVA, CO_2, TE, FC) \quad (15)$$

$$E = F(Y, P, GP, IVA, TE) \quad (16)$$

براساس روابط بالا، متغیرهای مورد بررسی عبارتند از: EF: بهره‌وری انرژی، E: مصرف انرژی، Y: تولید ناخالص داخلی سرانه، P: قیمت نفت، GP: قیمت گاز، IVA: ارزش افزوده بخش صنعت، CO₂: انتشار دی اکسید کربن. FC: سرمایه‌گذاری‌های ثابت و TE تکنولوژی است. اطلاعات در این تحقیق از آمار رسمی منتشر شده توسط بانک جهانی (WDI⁶) و گزارش‌های مربوط به شرکت‌های نفتی بین‌المللی همچون BP⁷ برای کشور ایران طی سال‌های 1369-1398 جمع‌آوری شده است.

5- برآورد مدل و آزمون فرضیه‌ها:

در این بخش ابتدا به بررسی آزمون ریشه واحد پرداخته، برای این منظور از آزمون دیکی-فولر تعمیم‌یافته استفاده شده است. و با توجه به معیار آکائیک دادها انباشته از درجه یک بوده که نتایج آن در جدول 3 ارائه شده است.

جدول 3. آزمون ریشه واحد دیکی فولر تعمیم یافته (ADF) روی سطح متغیرها

⁶ World Development Indicators (WDI)

⁷ British Petroleum

مأخذ: نتایج پژوهش

Table3. Generalized Dickey Fuller unit root (ADF) test on the level of variables

Source: Research results

متغیرها	آزمون ریشه واحد دیکي فولر تعمیم یافته روی سطح متغیرها		آزمون ریشه واحد دیکي فولر تعمیم یافته روی تفاضل مرتبه اول متغیرها	
	کمیت بحرانی	احتمال	کمیت بحرانی	احتمال
e	-0/33	0/907	-6/09	0/000
fe	-2/62	0/1004	-6/23	0/000
Co2	-0/51	0/87	-5/63	0/001
fc	-1/82	0/36	-5/18	0/003
te	-0/92	0/76	-4/63	0/001
iva	-0/99	0/74	-3/81	0/0081
pg	-1/32	0/6003	-5/02	0/004
y	-0/62	0/84	-4/35	0/002
p	1/35	0/99	-5/13	0/004

برای بررسی رابطه بلندمدت بین متغیرها (انباشتگی) ابتدا معادله رگرسیون (17) و (18) که به ترتیب مربوط به بهره‌وری و مصرف انرژی برآورد می‌شود. اگر پسماندهای حاصل از این تخمین $I(0)$ یا ساکن از درجه صفر باشند، در این صورت:

$$EF = \alpha_0 + \beta_1 y + \beta_2 p + \beta_3 pg + \beta_4 te + \beta_5 iva + \beta_6 CO2 + \beta_7 fc + \varepsilon \quad (17)$$

$$E = \alpha_0 + \beta_1 y + \beta_2 p + \beta_3 pg + \beta_4 te + \beta_5 iva + \varepsilon \quad (18)$$

متغیرهای موجود هم‌انباشته هستند (آزمون انگل گرنجر) با توجه به آزمون انجام شده، پسماندهای حاصل از این مدل $I(0)$ بوده، در نتیجه متغیرهای موجود هم‌انباشته بوده و یک رابطه بلندمدت بین آن‌ها وجود دارد، البته ممکن است در کوتاه‌مدت عدم تعادل وجود داشته باشد. بنابراین جمله خطا در رگرسیون (1) خطای تعادل می‌باشد، از این جمله می‌توان برای مرتبط ساختن رفتار کوتاه‌مدت CPI با رفتار بلندمدت آن استفاده کرد. برای این منظور از مکانیزم تصحیح خطا استفاده می‌شود (ECM) که برای اولین توسط سارگان¹ مورد استفاده قرار گرفت.

(19)

$$d(EF)_t = \alpha_0 + \beta_1(ec)_{t-1} + \beta_2(dy)_{t-1} + \beta_3(dp)_{t-1} + \beta_4(dpg)_{t-1} + \beta_5(dte)_{t-1} + \beta_6(diva)_{t-1} + \beta_7(dCO2)_{t-1} + \beta_8(dfrc)_{t-1} + \varepsilon$$

$$d(E)_t = \alpha_0 + \beta_1(ec)_{t-1} + \beta_2(dy)_{t-1} + \beta_3(dp)_{t-1} + \beta_4(dpg)_{t-1} + \beta_5(dte)_{t-1} + \beta_6(diva)_{t-1} + \varepsilon \quad (20)$$

در مرحله بعد با توجه به معادله (3) تست‌های خطی را انجام می‌شود. برای این هدف با استفاده از تک تک متغیرهای تحت بررسی (بهره‌وری انرژی، مصرف انرژی، تولید ناخالص داخلی سرانه، قیمت نفت، قیمت گاز، ارزش افزوده بخش صنعت، انتشار دی‌اکسید کربن) به عنوان متغیر انتقال انتخاب می‌شوند و برای ارزش‌های متفاوت ($K=1,2,3$) رگرسیون جداگانه‌ای تخمین زده می‌شود که این فرآیند به بسط تیلور معروف است. سپس برای هر یک از متغیرها بسط‌های اول تا سوم تیلور آماره F محاسبه می‌شود. سرانجام هر متغیری که بیشترین مقدار آماره F و احتمال را داشته باشد به عنوان متغیر انتقال انتخاب می‌شود. که نتایج حاصل در جدول 4 و جدول 5 که به ترتیب مربوط به بهره‌وری و مصرف انرژی ارائه شده است.

جدول 4. انتخاب متغیر انتقال مربوط به بهره وری
مأخذ: نتایج پژوهش

Table4. Selection of the transfer variable related to productivity
Source: Research results

متغیر انتقال (st)	K=1	K=2	K=3
dco2	96/57 (0/000)	3/74 (0/032)	109/22 (0/000)
dfc	21/96 (0/000)	21/57 (0/000)	12/48 (0/000)
dte	10/39 (0/000)	8/51 (0/000)	10/68 (0/000)
diva	42/47 (0/000)	42/22 (0/000)	40/13 (0/000)
dpg	42/47 (0/000)	42/22 (0/000)	45/7 (0/000)
dy	36/45 (0/000)	36/23 (0/000)	35/99 (0/000)
dp	10/39 (0/000)	8/510 (0/000)	10/66 (0/000)

جدول 5. انتخاب متغیر انتقال مربوط به مصرف انرژی
مأخذ: نتایج پژوهش

Table5. Selection of transmission variable related to energy consumption
Source: Research results

متغیر انتقال	K=1	K=2	K=3
dpg	18/77 (0/000)	38/02 (0/000)	10/96 (0/000)
diva	20/03 (0/000)	3/12 (0/045)	20/04 (0/000)
dte	22/27 (0/000)	26/00 (0/000)	17/15 (0/000)

dy	14/72 (0/000)	14/80 (0/000)	14/89 (0/000)
dp	32/52 (0/000)	9/79 (0/000)	35/27 (0/000)

همانطور که بیان شد، برای بررسی رفتار غیرخطی متغیرها، انتخاب متغیر انتقال و مدل مناسب (انتخاب مدل LSTAR یا ESTAR) به پیشنهاد تراسورتا (1994) بسط تیلور را به ترتیب به کمک آزمون‌های F3, F2, F1 انجام شده است. نتایج بدست آمده در جدول 6 ارائه شده است. نتایج تست‌های خطی پیشنهاد می‌کنند که فرضیه نهی برای خطی بودن رد شده است. بنابراین، متغیرهای مورد بررسی رفتار غیرخطی دارند و به این دلیل آن که متغیر قیمت گاز و انتشار گاز دی اکسید کربن نسبت به سایر متغیرها آماره آزمون بزرگتری دارند به عنوان متغیر انتقال انتخاب می‌شود. و فرض خطی بودن به احتمال قوتی نسبت به سایر متغیرها رد می‌شود. از سوی دیگر با توجه به اینکه F3 بیشترین آماره فرضیه را دارد فرضیه (12) رد می‌شود و با توجه به فرضیه‌های (12 و 13 و 14) مدل مناسب را انتخاب می‌کنیم. و طبق فرضیه‌ها، مدل LSTAR انتخاب می‌شود. در مرحله بعد از طریق فرآیند همگرایی باید مقدار سرعت انتقال () و مقدار آستانه (c) را تعیین کرد که نتایج در جدول (5) و ارائه شده است. بنابراین فرم مدل غیرخطی LSTAR به صورت روابطه (21) و (22) که به ترتیب مربوط به بهره‌وری و مصرف انرژی است.

$$d(EF)_t = \alpha_0 + \beta_1(dy)_{t-1} + \beta_2(dp)_{t-1} + \beta_3(dpg)_{t-1} + \beta_4(dte)_{t-1} + \beta_5(ddiva)_{t-1} + \beta_6(dCO2)_{t-1} + \beta_7(df_c)_{t-1} + F(S_t, \gamma, C) \quad (21)$$

$$\beta_8(dy)_{t-1} + \beta_9(dp)_{t-1} + \beta_{10}(dpg)_{t-1} + \beta_{11}(dte)_{t-1} + \beta_{12}(diva)_{t-1} + \beta_{13}(dCO2)_{t-1} + \beta_{14}(df_c)_{t-1}$$

$$d(E)_t = \alpha_0 + \beta_1(dy)_{t-1} + \beta_2(dp)_{t-1} + \beta_3(dpg)_{t-1} + \beta_4(dte)_{t-1} + \beta_5(ddiva)_{t-1} + F(S_t, \gamma, C) \quad (22)$$

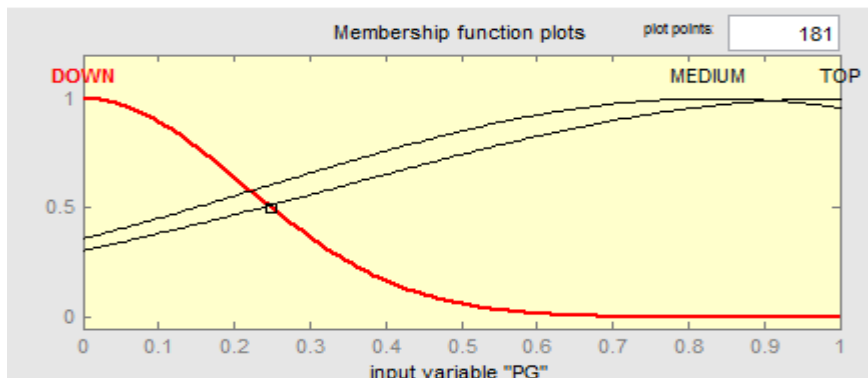
$$\beta_6(dy)_{t-1} + \beta_7(dp)_{t-1} + \beta_8(dpg)_{t-1} + \beta_9(dte)_{t-1} + \beta_{10}(diva)_{t-1}$$

در این مدل $i=1, \dots, N$ و $t=1, \dots, T$ و ε_t مجموع خطا، ec صبیح خطا می‌باشد. هدف اصلی از این مطالعه بررسی رفتار غیرخطی عوامل موثر بر مصرف و بهره‌وری انرژی است. همانطور که بیان شد با توجه به بسط تیلور و آزمون تراسورتا قیمت گاز و انتشار گاز CO_2 تأثیر قوی‌تری نسبت به سایر متغیرها به ترتیب بر مصرف و بهره‌وری انرژی دارند و به عنوان متغیر انتقال انتخاب می‌شوند. حال با استفاده از قوانین فازی تابع عضویت متغیرهای انتقال را در نرم افزار متلب محاسبه کرده، لازم به توضیح است که توابع عضویت از نوع گوسین می‌باشد. زمانی که قیمت گاز و انتشار گاز CO_2 بین صفر و میانگین است. در حد آستانه پایین⁸، زمانی که قیمت گاز و انتشار گاز CO_2 بین مجموع میانگین و انحراف معیار و تفاضل میانگین و انحراف معیار است در حد آستانه متوسط⁹، زمانی که قیمت گاز و انتشار گاز CO_2 بین میانگین و عدد یک است در حد آستانه بالا¹⁰ است. بر این اساس توابع عضویت برای قیمت گاز و انتشار گاز CO_2 محاسبه شده و در شکل 3 و شکل 4 ترسیم شده است.

⁸ . Down Threshold

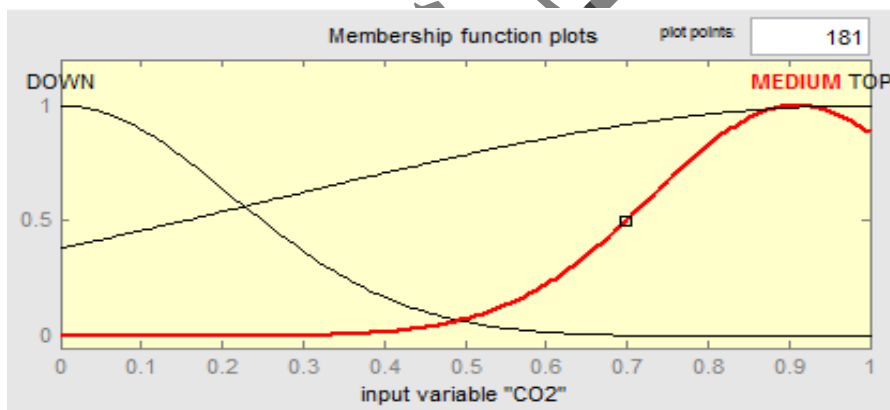
⁹ . Medium Threshold

¹⁰ . Top Threshold



شکل 3. تابع عضویت متغیر انتقال (قیمت گاز)
مأخذ: نتایج پژوهش

Figure3. membership function of the transfer variable (gas price)
Source: Research results



شکل 4. تابع عضویت متغیر انتقال (انتشار گاز CO2)
مأخذ: نتایج پژوهش

Figure4. The membership function of the transfer variable (CO2 emissions)
Source: Research results

جدول 6. انتخاب مدل مناسب
مأخذ: نتایج پژوهش

Table6. Choose the right model
Source: Research results

مدل غیرخطی	انتخاب مدل مناسب	F1	F2	F3
مصرف انرژی	LSTAR	5/25	10/98	17/33

بهره وری انرژی	LSTAR	8/65	15/6	28/65
----------------	-------	------	------	-------

جدول 7. مقدار آستانه و مقدار سرعت انتقال
مأخذ: نتایج پژوهش

Table 7. Threshold value and transmission speed value
Source: Research results

نقطه انتقال	سرعت انتقال	مدل غیر خطی
8/1	2/5	مصرف انرژی
2/2	0/2	بهره وری انرژی

جدول 8. مقایسه نتایج مدل خطی و غیر خطی فازی بهره وری انرژی
مأخذ: نتایج پژوهش

Table 8. Comparing the results of linear and nonlinear fuzzy models of energy efficiency
Source: Research results

نام متغیر	مدل خطی		مدل غیر خطی			
	ضرایب	ضرایب قسمت خطی	ضرایب قسمت غیر خطی	حد بالا	حد وسط	حد پایین
dco2	-0/51	5/66	-16/24	-51/944	-15/07	-11/18
dfc	1/41	4/14	-4/26	16/74	6/63	6/10
dte	0/03	4/66	-49/33	145/25	29/34	21/43
dva	7/07	5/10	-5/24	20/04	7/72	6/88
dpg	-0/01	3/54	-35/97	104/06	24/32	15/70
dy	0/0004	0/34	3/77	-1/62	-2/52	11/09
dp	-0/001	0/70	-7/34	21/66	5/007	3/24
R2	0/35	0/63				

جدول 9. مقایسه نتایج مدل خطی و غیر خطی فازی مصرف انرژی
مأخذ: نتایج پژوهش

Table 9. Comparing the results of linear and nonlinear fuzzy models of energy consumption
Source: Research results

نام متغیر	مدل خطی		مدل غیر خطی			
	ضرایب	ضرایب قسمت خطی	ضرایب قسمت غیر خطی	حد بالا	حد وسط	حد پایین
dte	9/72	7/11	-5/14	-7/85	-7/80	-7/85
dva	3/52	1/06	-1/03	1/04	1/04	1/02
dpg	-28/6	-18/22	93/13	-17/28	-16/45	-15/43
dy	-0/14	1/45	0/057	1/46	1/405	1/40
dp	-0/59	-23/91	23/58	-23/67	-23/45	-23/20
R ²	0/41	0/64				

6- تجزیه و تحلیل

در این بخش از مطالعه به تحلیل نتایج پرداخته می شود.

الف: با توجه به

جدول 8 ضریب تعیین مربوط به بهره وری انرژی برای مدل خطی و غیرخطی فازی به ترتیب 0/35 و 0/63 است. معمولاً در مدل های غیرخطی ضریب تعیین نسبت به مدل های خطی افزایش قابل توجهی ندارد (Enders, 1948). براساس نتایج تخمین مدل غیرخطی فازی سرعت انتقال بهره وری انرژی 0/2 بدست آمده است که بیانگر سرعت تعدیل کند بهره وری انرژی است به علاوه مقدار آستانه ای برای بهره وری انرژی 2/2 می باشد. همانطور که نتایج مدل خطی بهره وری انرژی نشان می دهد انتشار گاز

دی اکسید کربن، قیمت گاز و نفت موجب کاهش بهره وری انرژی می شود. از طرفی ارزش افزوده بخش صنعت، سرمایه گذاری و رشد اقتصادی موجب افزایش بهره وری انرژی می شود.

ب: در جدول 9 مقایسه نتایج مدل خطی و غیرخطی فازی بیانگر آن است که تخمین مدل غیرخطی فازی مربوط به مصرف انرژی قدرت توضیح دهنده مدل را به طور معناداری افزایش داده است، به گونه ای که ضریب تعیین در مدل غیرخطی فازی 0/64 است در حالی که در مدل خطی ضریب تعیین 0/41 می باشد. با توجه به این که مدل های غیرخطی رفتار متغیرهای اقتصادی را به طور دقیق تری نسبت به مدل های خطی مدل سازی می کنند بنابراین، ضریب تعیین مدل غیر خطی نسبت به مدل خطی افزایش یافته است (Enders, 1948). براساس نتایج تخمین مدل غیرخطی سرعت انتقال برای مصرف انرژی 2/5 بدست آمده است که بیانگر سرعت تعدیل بالا در مصرف انرژی است. به علاوه مقدار آستانه ای برای مصرف انرژی برابر 8/1 است. همچنین مدل خطی مصرف انرژی بیانگر آن است که تکنولوژی، قیمت گاز و نفت باعث کاهش مصرف انرژی می شود. از طرفی ارزش افزوده بخش صنعت و رشد اقتصادی موجب افزایش مصرف انرژی می شوند. نتایج مدل غیرخطی فازی کاملاً متفاوت از مدل خطی است، چرا که متغیرهای اقتصادی رفتار غیرخطی دارند از این رو لازم است به کمک مدل های غیر خطی این رفتارهای غیر خطی مدل سازی شوند تا بتوان تجزیه و تحلیل های مناسبی از نحوه اثر متغیرها انجام شود.

پ: بر این اساس می توان سه کمیت را برای چگونگی تاثیرگذاری متغیرهای مورد بررسی بر پویایی های مصرف و بهره وری انرژی بدست آورد. برای این منظور سه حالت آستانه بالا، آستانه پایین، آستانه وسط (زمانی که انتشار گاز دی اکسید کربن و قیمت گاز برابر مقدار آستانه ای است) را مورد بررسی قرار می دهیم.

ت: در مورد نرخ انتشار گاز دی اکسید کربن بر بهره وری انرژی هر چه به حد آستانه پایین نزدیک می شویم تاثیر انتشار گاز دی اکسید کربن افزایش قابل توجهی دارد هر چند که در حد آستانه بالا این تاثیر کاهش می یابد. یکی از دلایل این موضوع آن است که در آستانه بالا میزان مصرف انرژی افزایش می یابد که این امر لزوم استفاده بهینه از انرژی و استفاده بیشتر از تکنولوژی را در جهت کاهش آسیب های زیست محیطی را فراهم می کند. تاثیر سرمایه گذاری های ثابت بر بهره وری انرژی مثبت و با نزدیک شدن به حد آستانه پایین و وسط ثابت می شود اما در حد آستانه بالا این تاثیرگذاری بیشتر می شود. سرمایه گذاری ثابت می تواند تاثیر به سزایی در افزایش بهره وری انرژی در کشور داشته باشد. بخش هایی همچون صنعت، خانگی و ساختمان های عمومی و خصوصی، حمل و نقل، ساخت و ساز و کشاورزی از جمله مهمترین بخش هایی هستند که با افزایش سرمایه گذاری گسترده در آنها می توان بهره وری انرژی را افزایش داد. همچنین ارزش افزوده و تکنولوژی بر بهره وری انرژی در حد آستانه بالا تاثیر بیشتری دارد و در حد آستانه ای (آستانه وسط) و حد آستانه پایین کاهش می یابد. ارزش افزوده و تکنولوژی باعث بهبود بهره وری جزیی و کلی عوامل تولید می شود که امر نقش بسیار قابل توجهی در افزایش بهره وری دارد.

قیمت گاز و نفت موجب افزایش بهره وری انرژی شده است که در آستانه بالا بیشترین تاثیر را دارد و با نزدیک شدن به حد آستانه پایین این تاثیر کاهش می یابد، میزان تاثیر تغییر قیمت انرژی بر شاخص بهرموری وابستگی کثرت جانشینی بین انرژی و سرمایه و عرضه نیروی کار را ذکر می کند. با افزایش هماهنگ قیمت حامل های انرژی اگر امکان جانشینی انرژی با سایر عوامل تولید وجود نداشته باشد سطح تولید پایین می آید و افزایش قیمت تاثیر قابل توجهی بر شاخص بهرموری و مصرف نخواهد داشت. در حالی که اگر جانشینی بین عوامل امکان پذیر باشد با کاهش مصرف سطح تولید تغییر نکرده و شاخص بهره وری بهبود می یابد.

ث: نتایج مدل غیرخطی فازی حاصل برآورد تاثیر متغیرهای مستقل بر مصرف انرژی در هر یک از سه حد آستانه مذکور حاکی از تاثیر تقریبا یکسان آن‌ها می‌باشد که مورد مربوط به ویژگی‌های مصرف انرژی است. در مورد درصد تغییر نرخ انتشار گاز دی اکسید کربن بر مصرف انرژی در حد آستانه پایین و وسط کاهش قابل توجهی ندارد هر چند که در حد آستانه بالا این تاثیر کاهش می‌یابد. تاثیر سرمایه گذاری‌های ثابت بر مصرف انرژی مثبت بوده و در حد آستانه پایین و وسط تقریبا ثابت می‌شود اما در حد آستانه بالا این تاثیرگذاری بیشتر می‌شود. همچنین تاثیر تکنولوژی بر مصرف انرژی در هر سه حد آستانه تاثیر تقریبا یکسان دارد اگر چه در حد آستانه بالا کاهش می‌یابد. قیمت گاز و نفت موجب کاهش مصرف انرژی شده است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که در آستانه بالا بیشترین تاثیر را دارد و با نزدیک شدن به حد آستانه پایین این تاثیر افزایش می‌یابد. در مورد تاثیر رشد اقتصادی بر مصرف انرژی نتایج حاکی از تاثیر ارتباط مستقیم بین این دو متغیر است به گونه‌ای که در حد آستانه بالا بیشترین تاثیر را بر مصرف انرژی دارد.

Acknowledgments: All individuals and institutions that assisted the authors in conducting this research are acknowledged.

Conflict of Interest: The authors declare no conflict of interest.

Funding: The authors have not received any financial support for the research, authorship and publication of this article.

Reference

- Abdoli, G., & Varahrami, V. (2010). A Survey Of The Effects Of Technological Advance On Energy Saving In The Industrial And Agricultural Sectors Of Iran Based On The Cobb - Douglas Production Function. *Quarterly Energy Economics Review* 6(23). Retrieved from <https://www.sid.ir/paper/99557/en>
- Abrishami, H., Nouri, M., & Doudabinezhad, A. (2010). The Relationship Between Energy Productivity and Energy Price in Iran: An Asymmetric Cointegration Approach. *Quarterly Journal of Economic Research and Policies*, 18 (55), 5-22. Retrieved from <http://qjerp.ir/article-1-228-en.html>
- Adenikinju, A. F., & Alaba, O. B. (1999). Energy use and productivity performance in the Nigerian manufacturing sector (1970-90). *Opec review*, 23(3), 251-264 .
- Ahmadi Shadmehri, M. T., Falahi, M. A., & Niazi Mohseni, M. (2014). Analyzing Factors Affecting on the Energy Productivity in Iran's Agricultural Sector. *Agricultural Economics and*

- Development*, 21(4), 1-28. Retrieved from http://aead.agri-peri.ac.ir/article_58716_219fa231b45e7db42419eb5d76ab14d3.pdf
- Akbarnia, E. s., Salehi, S., Firozjayan, A. A., & Heidari, G. (2022). Identification of Effective Sociological Factors on Household Consumption Energy (A Systematic Review on Energy Studies in Iran). *Quarterly of Social Studies and Research in Iran*, 11(2), 305-345. doi:10.22059/jisr.2022.330234.1237
- Amini, A., & Yazdipoor, F. (2008). An Analysis of Factors Effecting Energy Productivity in Large Manufacturing Firms: A Case Study of Iran. *Economics Research*, 8(30), 71-104. Retrieved from https://joer.atu.ac.ir/article_3206_a9a54c9cee9da60e7b86e56573f292af.pdf
- Ang, J. B. (2007). CO2 emissions, energy consumption, and output in France. *Energy Policy*, 35(10), 4772-4778 .
- Anooshehpour, A., Moghaddasi, R., MohammadiNejad, A., & Yazdani, S. (2021). (The Relationship between Energy Consumption and Total Factor Productivity in Agriculture: Application of Quantile Regression Approach. *Iranian Energy Economics*, 9(34), 65-85. doi:10.22054/jiee.2021.56060.1789
- Apergis, N., & Payne, J. E. (2010). Renewable energy consumption and economic growth: evidence from a panel of OECD countries. *Energy Policy*, 38(1), 656-660 .
- Apergis, N., Payne, J. E., Menyah, K., & Wolde-Rufael, Y. (2010). On the causal dynamics between emissions, nuclear energy, renewable energy, and economic growth. *Ecological economics*, 69(11), 2255-2260 .
- Arabshahi Delouee, M., Falahi, M. A., & Salehnia, N. (2020). Energy Efficiency of Energy-Intensive Industries in Iran: Application of Data Envelopment Analysis and Gamma Test. *Quarterly Journal of Energy Policy and Planning Research*, 6(3), 45-84. Retrieved from <http://eppjournal.ir/article-1-827-en.html>
- Asadi, A., & Esmaeili, S. M. (2013). Investigate the Dynamic Relationship between Energy consumption and Financial development in Iran. *Quarterly Journal of The Macro and Strategic Policies*, 1(Vol1-No3), 17-38 .
- Asadi, A., Esmaili, S. M., Bakhshour, F., & Sadeghpour, A. (2018). Investigating Factors Affecting Energy Consumption in Iran(with

- Emphasis on the Financial Development Variable) .*quarterly journal of fiscal and Economic policies*, 6(21), 81-107. Retrieved from <http://qjefp.ir/article-1-852-en.html>
- Baniasadi, M., & Mohseni, R. (2014). The effect of temporary and permanent shocks of productivity on intensity of energy consumption in Iran (Application of Blanchard-Quah method) .
- Behbudi, D., & Asgharpour, H. (2009). Structural Breaks, Energy Consumption and Economic Growth in Iran (1967-2005). *The Economic Research*, 9(3), 53-84. Retrieved from <http://ecor.modares.ac.ir/article-18-6941-en.html>
- Belke, A., Dobnik, F., & Dreger, C. (2011). Energy consumption and economic growth: New insights into the cointegration relationship. *Energy Economics*, 33(5), 782-789 .
- Cohen, F., Glachant, M., & Söderberg, M. (2015). *The impact of energy prices on energy efficiency: Evidence from the UK refrigerator market*. Retrieved from
- Delnajian, S., Soheili, K., & Beharipour, S. (2015). Evaluation Of The Effect Of Changing Population Age Structures On Household Sector Energy Consumption In Iran. *Quarterly Journal of Quantitative Economics*, 12(2), 105-135. doi:10.22055/jqe.2015.11886
- Ebrahimi, M., & Alemodad-jabdarghi, M. (2012). Financial Markets Development and Energy Consumption in D8 Countries. *Quarterly Journal of Economic Research and Policies*, 20 .159-174 ,(61) Retrieved from <http://qjerp.ir/article-1-178-en.html>
- Ehsanfar, M. H. (2016). Explaining The Effect of Economic Growth and Energy Market Integration on Energy Consumption in Iran: Using Generalized Method of Moments. *Economic Growth and Development Research*, 7(25), 85-96. Retrieved from https://egdr.journals.pnu.ac.ir/article_2589_09c7e427b7b72903c3a9f8592a602803.pdf
- Feng, Y., Lu, C.-C., Lin, I.-F., Yang, A.-C., & Lin, P.-C. (2022). Total Factor Energy Efficiency of China's Thermal Power Industry . *Sustainability*, 14(1), 504 .
- Ghaderi Moghadam, R., Baseri, B., Falihi, N., & Abbasi, G. (2022). The Role of Inflation Uncertainty on Gas and Oil Consumption. *Financial Economics*, 16(59), 47-74. doi:10.30495/fed.2022.694713

- Ghanbari, A., Khaksar Astana, S & ,Khaksar Astana, H. (2014). Factors Affecting Energy Productivity in Agricultural Sector of Iran. *Agricultural Economics Research*, 6(21), 1-21. Retrieved from https://jae.marvdasht.iau.ir/article_415_ac05e1702039ac464deaf998486e6562.pdf
- Ghosh, S. (201). (0Examining carbon emissions economic growth nexus for India: a multivariate cointegration approach. *Energy Policy*, 38(6), 3008-3014 .
- Hatzigeorgiou, E., Polatidis, H., & Haralambopoulos, D. (2011). CO2 emissions, GDP and energy intensity: a multivariate cointegration and causality analysis for Greece, 1977–2007. *Applied Energy*, 88(4), 1377-1385 .
- Hoshmand, M., Daneshnia, M., Sotudeh, A., & Ghezlbash, A. (2013). Causality relationship between energy consumption, economic growth and prices: using panel data OPEC member countries .
- Jacques Loesse, E. (2010). The Energy Consumption-Growth Nexus in Seven Sub-Saharan African Countries". *Economics Bulletin*, 30(2), 1191-1209 .
- Jalalabadi, A., & Rakhshan, S. (2005). An Analysis of Consumption Pattern of Energy Carriers in Iran (1966-2000). *Iranian Journal of Economic Research*, 7(22), 115-132. Retrieved from https://ijer.au.ac.ir/article_3778_658bbd005edd9c65d65dda1097bdea72.pdf
- Kafaie, S. M. A., & Nejadaghaeianvash, P. (2017). Identifying the Factors that Effect Sectoral Energy Efficiency in the Iranian Economy. *Quarterly Energy Economics Review*, 13(52), 1-34. Retrieved from <http://ijesj.ir/article-1-706-en.html>
- Kakar, Z. K., Khilji, B. A., & Khan, M. J. (2011). Financial development and energy consumption :empirical evidence from Pakistan. *International Journal of Trade, Economics and Finance*, 2(6), 469 .
- Karanfil, F. (2009). How many times again will we examine the energy-income nexus using a limited range of traditional econometric tools? *Energy Policy*, 37(4), 1191-1194.
- Kronenberg, T. (2009). The impact of demographic change on energy use and greenhouse gas emissions in Germany. *Ecological economics*, 68(10), 2637-2645 .

- Lee, C.-C., & Lee, J.-D. (2010). A panel data analysis of the demand for total energy and electricity in OECD countries. *The Energy Journal*, 31 .(1)
- Liddle, B., & Lung, S. (2010). Age-structure, urbanization, and climate change in developed countries: revisiting STIRPAT for disaggregated population and consumption-related environmental impacts. *Population and Environment*, 31(5), 317-343 .
- Lin, B., & Moubarak, M. (2014). Renewable energy consumption–economic growth nexus for China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 40, 111-117 .
- Lopes, H. F., & Salazar, E. (2006). Time series mean level and stochastic volatility modeling by smooth transition autoregressions: a Bayesian approach. In *Econometric Analysis of Financial and Economic Time Series*: Emerald Group Publishing Limited.
- López-Bernabé, E., Foudi, S., Linares, P., & Galarraga ,I. (2021). Factors affecting energy-efficiency investment in the hotel industry: Survey results from Spain. *Energy Efficiency*, 14(4), 1-22 .
- Luukkonen, R., Saikkonen, P., & Teräsvirta, T. (1988). Testing linearity against smooth transition autoregressive models. *Biometrika*, 75(3), 491-499 .
- Miketa, A., & Mulder, P. (2003). Energy-productivity convergence across developed and developing countries in 10 manufacturing sectors .
- Mishra, V. (2019). Measuring Technical Efficiency in Healthcare Service: A Case Study .
- Mohammad zadeh, p., & Ebrahimi, S. (2014). The Relationship between Energy Consumption and Financial Development in Iran. *Quarterly Energy Economics Review*, 9(39), 77-104. Retrieved from <http://iiesj.ir/article-1-339-en.html>
- Neves, F. d. O., Ewbank, H., Roveda, J. A. F., Trianni, A., Marafão, F. P., & Roveda, S. R. M. M. (2022). Economic and Production-Related Implications for Industrial Energy Efficiency: A Logistic Regression Analysis on Cross-Cutting Technologies. *Energies*, 15(4), 1382 .
- OECD ,I. (2016). Energy and air pollution: world energy outlook special report 2016 .

- Ogunsola, A. J., & Tipoy, C. K. (2022). Determinants of energy consumption: The case of African oil exporting countries. *Cogent Economics & Finance*, 10(1), 2058157 .
- Oluoch, S ., Lal, P., & Susaeta, A. (2021). Investigating factors affecting renewable energy consumption: A panel data analysis in Sub Saharan Africa. *Environmental Challenges*, 4, 100092 .
- Otsuka, A. (2018). Regional determinants of energy efficiency: Residential energy demand in Japan. *Energies*, 11(6), 1557 .
- Ozturk, I., & Acaravci, A. (2011). Electricity consumption and real GDP causality nexus: Evidence from ARDL bounds testing approach for 11 MENA countries. *Applied Energy*, 88(8), 2885-2892 .
- Rahimy, K., Faraji Dizaji, S., & Assari Arani, A. (2022). The Impact of Renewable Energy Consumption on Social Development in OECD Countries. *Quarterly Journal of Quantitative Economics*, -. doi:10.22055/jqe.2022.39230.2439
- Rezitis, A. N., & Ahammad, S. M. (2015). The relationship between energy consumption and economic growth in south and Southeast Asian countries: A panel VAR approach and causality analysis. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 5(3), 704-715 .
- Sadorsky, P. (2010). The impact of financial development on energy consumption in emerging economies. *Energy Policy*, 38(5), 2528-2535 .
- Savari, A., Fatrus, M. H., Haji, G., & Najafizadeh, A. (2020). Asymmetric analysis of the effect of energy consumption and financial development on economic growth in Iran: Application of nonlinear ARDL method. *Quarterly Journal of Quantitative Economics*, 17(3), 69-90. doi:10.22055/jqe.2019.28107.2012
- Sineviciene, L., Sotnyk, I., & Kubatko, O. (2017). Determinants of energy efficiency and energy consumption of Eastern Europe post-communist economies. *Energy & Environment*, 28(8), 870-884 .
- Sinha, D. (2009). The energy consumption-GDP nexus: Panel data evidence from 88 countries .
- Teräsvirta, T. (1994a). Specification, estimation, and evaluation of smooth transition autoregressive models. *Journal of the american statistical association*, 89(425), 208-218 .

- Teräsvirta, T. (1994b). Testing linearity and modelling nonlinear time series. *Kybernetika*, 30(3), 319-330 .
- Tsay, R. S. (1989). Testing and modeling threshold autoregressive processes. *Journal of the american statistical association*, 84(405), 231-240 .
- Uzar, U. (2020). Political economy of renewable energy: does institutional quality make a difference in renewable energy consumption? *Renewable Energy*, 155, 591-603 .
- Vafaei, E., Pendar, M., & Masumzadeh, S. (2021). Investigating the Financial Development on Energy Consumption. *Program and Budget Research*, 2(3), 99-115. doi:10.22034/pbr.2021.145872
- Wang, S., Li, Q., Fang, C., & Zhou, C. (2016). The relationship between economic growth, energy consumption, and CO₂ emissions: Empirical evidence from China. *Science of the Total Environment*, 542, 360-371 .
- Yalta, A. T. (2011). Analyzing energy consumption and GDP nexus using maximum entropy bootstrap: the case of Turkey .*Energy Economics*, 33(3), 453-460 .
- zaroki, s., & moghadasi sedehi, A. (2021). Energy Consumption in Economic Sectors and Environmental Pollution in Iran with Emphasis on Electricity and Non-Electricity. *Quarterly Energy Economics Review*, 17(68), 195-226 .Retrieved from <http://ies.ir/article-1-1225-en.html>
- Zhixin, Z., & Xin, R. (2011). Causal relationships between energy consumption and economic growth. *Energy Procedia*, 5, 2065-2071 .