سنجش تأثیر فاوا بر مصرف انرژی در ایران: در قالب یک مدلSTR

صاحبه محمدیان منصور [۱]، ابوالقاسم گل‌خندان [۲]

تاریخ دریافت مقاله: ۹۴/۱۲/۲۵
تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۵/۱۵

چکیده:

اثر فناوری اطلاعات و ارتباطات برمصرف انرژی یکی از موضاعات مهم و چندوجهی است. گسترش فاوا می‌تواند از طریق افزایش کارایی، مصرف انرژی را کاهش دهد. در مقابل،ظهور تولیدات و خدمات جدید در این راستامنجر به تقاضای اضافی برای انرژی می‌شود.بر این اساس، مطالعه حاضر به بررسی اثر غیرخطی فاوا بر مصرف انرژی در ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۱-۱۳۵۳ پرداخته است. به این منظور، از متغیرهای سرانه مصرف انرژی و نسبت موجودی سرمایه فاوا در بخش ارتباطات به تولید ناخالص داخلی (به‌عنوان شاخص فاوا) در قالب یک مدل رگرسیون انتقال ملایم (STR)به‌عنوان یکی از برجسته‌ترین مدل‌های تغییر رژیمی استفاده شده است. نتایج حاصل از برآورد مدل STR، ضمن تأیید تأثیر غیرخطی شاخص فاوا بر سرانه مصرف انرژی، نشان داده است که شاخص فاوا در قالب یک ساختار دو رژیمی با مقدار آستانه‌ای ۹/۶۲ درصد، بر سرانه مصرف انرژی اثر گذاشته است به‌گونه‌ای که شاخص فاوا در رژیم اول، تأثیر مثبت بر سرانه مصرف انرژی گذاشته درحالی‌که در رژیم دوم، این اثر منفی می‌باشد. بنابراین می‌توان انتظار داشت که با افزایش نسبت موجودی سرمایه فاوا در بخش ارتباطات به تولید ناخالص داخلی از سطح آستانه، شاهد کاهش سرانه مصرف انرژی در کشور باشیم.

کلمات کلیدی:

فناوری اطلاعات و ارتباطات، مصرف انرژی، مدل رگرسیون انتقال ملایم، ایران

۱) مربی، گروه اقتصاد، دانشگاه پیام نور mohamadian106@yahoo.com
۲) دانشجوی دکتری اقتصاد، دانشگاه لرستان (نویسنده مسئول) golkhandana@gmail.com

مقدمه

فناوری اطلاعات و ارتباطات[1] (فاوا) (ICT) با سرعت متحیرکننده‌ای در کشورهای جهان و بالاخص کشورهای در حال توسعه در حال رشد است. به‌طور مثال، بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰، تعداد خطوط تلفن همراه به‌ازای هر ۱۰۰ نفر (به‌عنوان یک شاخص اندازه‌گیری ICT) در کل کشورهای جهان، کشورهای توسعه‌یافته و کشورهای در حال توسعه به‌ترتیب ۱۸۷ ، ۱۰۷ و ۲۵۵ درصد افزایش داشته است[۱۱]. همچنین بین این سال‌ها، تعداد کاربران اینترنت به‌ازای هر ۱۰۰ نفر (به‌عنوان یک شاخص اندازه‌گیری ICT) در کل کشورهای جهان، کشورهای توسعه‌یافته و کشورهای در حال‌توسعه به‌ترتیب ۱۵۳، ۱۰۲ و ۲۳۵ درصد افزایش داشته است. بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۰ نیز نسبت خانوارهایی که به اینترنت دسترسی داشته‌اند (به‌عنوان یک شاخص اندازه‌گیری ICT) در کل کشورهای جهان، کشورهای توسعه‌یافته و کشورهای درحال‌توسعه به‌ترتیب ۷۵ ، ۶۲ و ۱۲۳ درصد افزایش داشته است. این آمارها و سایر آمارهای منتشر شده در این زمینه، یک سؤال جالب و مهم را مطرح می‌کند آیا افزایش استفاده از ICTو کاهش شکاف دیجیتالی[2]، بر روی تقاضای انرژی و بالطبع انتشار گازهای گلخانه‌ای اثر می‌گذارد [۱۴]؟ چرا که گسترش فاوا می‌تواند میزان تقاضای انرژی را متأثر کند.

در زمینه نحوه اثرگذاری ICTبر مصرف انرژی، سه دسته نظریه کلی وجود دارد: بر اساس نظریه اول، فاوا می‌تواند از طریق سازماندهی مجدد فرایندهای تولید به روش‌های کاراتر، مصرف انرژی و در نتیجه هزینه‌ها را کاهش دهد (اثر جانشینی)[3]. در مقابل، نظریه دوم معتقد است که فراهم‌آمدن تولیدات و خدمات جدید و افزایش مصرف انرژی موجودی سرمایه فاوا، منجر به تقاضای اضافی برای انرژی می‌شود (اثر درآمدی)[4].بر اساس دو نظریه اول، اثر کلی فاوا بر مصرف انرژی مبهم بوده و به میزان قدرت نسبی این دو اثر بستگی دارد[۴].نظریه سوم بر اساس ترکیب دو نظریه قبلی، بر این باور است که تأثیر فاوا بر مصرف انرژی، ماهیت غیرخطی دارد، به این صورت که افزایش فاوا تا یک سطح مشخص و آستانه، مصرف انرژی را افزایش و بعد از حصول به این سطح، افزایش فاوا به‌دلیل ظهور آثار مثبت آن، میزان مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.

در کشور ایران نیز به‌عنوان یک کشور درحال‌توسعه طی سال‌های گذشته شاخص‌های ICTرشد قابل توجهی داشته‌اند.[5]اما با توجه به اهمیت موضوع، تاکنون مطالعات داخلی بسیار محدودی در زمینه تأثیر ICTبر مصرف انرژی انجام

1) Information and Communication Technology (ICT)
2) Digital Device
3) Substitution Effect
4) Income Effect
۵) به‌منظور اطلاع بسیشتر در این زمینه به مقاله گل‌خندان و همکاران [۴]تحت عنوان «فاوا و نابرابری درآمد در ایران» مراجعه کنید.

شده است که در این مطالعات به‌منظور تبیین این اثرگذاری از مدل‌های خطی استفاده شده است. اما ممکن است از ترکیب منافع و هزینه‌های گسترش ICT، رابطه غیرخطی بین متغیرهای مذکور به‌وجود آید.لذا بررسی دقیق‌تر این موضوع مهم، مستلزم مطالعات تجربی بیشتر و همچنین استفاده از مدل‌های غیرخطی است که در مطالعه حاضر سعی می‌شود این نقیصه برطرف شود.بر این اساس، مطالعه حاضر تلاش می‌کند با استفاده از مدل رگرسیون انتقال ملایم[1](STR)به تبیین اثرگذاری غیرخطی ICTبر مصرف انرژی در ایران به‌عنوان یک کشور درحال‌توسعه طی دوره زمانی۱۳۹۱-۱۳۵۳ بپردازد.

لازم به ذکر است که سه ویژگی اساسی مدل‌های STRنسبت به مدل‌های متعارف باعث می‌شود تا موضوع تحقیق با دقت بیشتری مورد بررسی قرارگیرد. این سه ویژگی عبارتند از:

- ✓ نحوه اثرگذاری ICTبر مصرف انرژی به وضعیت سیستم بستگی دارد و رابطه بین آنها می‌تواند ثابت نباشد و به رژیم و وضعیتی بستگی داشته باشد که اقتصاد در آن قرار دارد.
- ✓ در مدل STRتغییر در رژیم‌ها یا شکست‌های ساختاری به‌صورت درون‌زا از طریق مدل مشخص می‌شود. بنابراین، نیازی به وارد نمودن متغیر موهومی و یا بررسی جداگانه شکست ساختاری نیست.
- ✓ مدل STRعلاوه بر اینکه قابلیت مشخص نمودن تعداد دفعات و زمان تغییر رژیم را دارد، سرعت انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر را نیز نشان می‌دهد.

مطالعه حاضر در ۵ بخش سازماندهی شده است: در بخش دوم، پیشینه پژوهش آمده است، در بخش سوم، مدل و روش تحقیق به‌همراه متغیرها و داده‌ها معرفی شده است؛ در بخش چهارم، برآورد مدل و تجزیه و تحلیل داده‌ها آورده شده و در نهایت، در بخش پنجم، نتیجه‌گیری ارائه می‌شود.

پیشینه پژوهش

مبانی نظری

رشد فناوری اطلاعات و ارتباطات، بسترهای تبادیل سریع اطلاعات، کاهش هزینه‌های مبادله، افزایش بهره‌وری و کارایی و ارتقای سطح زندگی و رفاه را فراهم کرده است. گسترش این فناوری‌ها و تأثیرات قابل توجه آن در افزایش بهره‌وری از یک سو و کاهش شدت مصرف انرژی در کشورهای توسعه‌یافته طی دهه‌های اخیر از سوی دیگر موجب شد تا دیدگاه‌هایی نیز در جهت حمایت از این عقیده که فناوری اطلاعات و ارتباطات ظرفیت کاهش انرژی‌بری را بدون کاهش رشد اقتصادی داراست، مطرح و بیان شود که اطلاعات در چرخه فعالیت‌های اقتصادی می‌تواند به‌عنوان نهاده جانشین انرژی، نقش‌آفرینی نماید. جانشینی اطلاعات به‌جای انرژی در مفهوم اقتصادی‌اش، کاربرد اطلاعات بیشتر در فعالیت اقتصادی به‌همراه کاهش مقدار انرژی مورد نیاز است [۱۲].

1) Smooth Transition Regression

دلایل متعددی برای توضیح این موضوع وجود دارد که چگونه توسعه ICTمی‌تواند منجر به کاهشی معنادار در مصرف انرژی شود [۱۰]. در این راستا، تافل و هرواث[1] [۱۷] به‌عنوان مثال، بر صرفه‌جویی در انرژی بالقوه حاصل از خواندن روزنامه و کاهش نیاز به سفرهای تجاری از طریق استفاده از فناوری‌های اطلاعات بی‌سیم تأکید می‌کنند. در بسیاری دیگر از موارد می‌توان اذعان کرد که ICTمنجر به «غیرمادی‌سازی»[2] در بخش‌های گسترده صنعتی از طریق جانشینی و بهینه‌سازی مصرف انرژی و یا مواد می‌شود [۹]. علاوه بر این، بارات[3] [۵]معتقد است که آموزش و پرورش در مورد مدیریت زیست‌محیطی و مصرف بهینه انرژی می‌تواند از طریق آموزش از راه دور و با اینترنت به‌دست آید.

در عین حال، برخی از محققان نظیر چو و همکاران[4] (۲۰۰۷)، هیلتی و رادی[5] (۲۰۱۰)، چیابای و همکاران[6] (۲۰۱۰) و بامهوف و همکاران[7](۲۰۱۳)به‌دلیل عوارض منفی توسعه ICTبر مصرف انرژی، شک و تردید خود را نسبت به این ایده که توسعه ICTبه‌طور خودکار به کاهش قابل توجه در مصرف انرژی منجر می‌شود، اعلام کرده‌اند [۱۰]. در این راستا، هیلتی[8] [۹]معتقد است که توسعه ICT از دو کانال مصرف انرژی را به‌طور مثبت در اقتصاد تحت تأثیر قرار می‌دهد: کانال اثرات مستقیم و کانال اثرات غیرمستقیم. کانال اثرات مستقیم مربوط به تولید، استفاده و دفع تجهیزات ICT است که باعث افزایش مصرف انرژی می‌شود. کانال اثرات غیرمستقیم نیز که برآورد آن بسیار پیچیده است، از طریق جهانی‌شدن بازارها و توزیع اشکال تولید ناشی از رشد شبکه‌های ارتباطات از راه دور، تقاضا برای انرژی را تحریک و افزایش می‌دهد (که هیلتی[۹] این اثر را «اثرالقایی»[9]نامیده است).

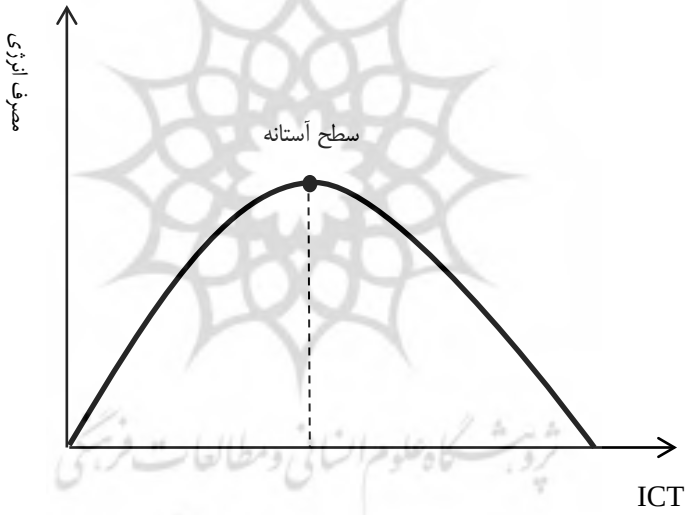
پاسینتی[10](۱۹۸۱)و ادکوایست و همکاران[11](۲۰۰۱)، تأثیر ICTرا بر مصرف انرژی به دو اثر مخالف و غیر هم‌جهت تقسیم‌بندی کرده‌اند. اولین اثر اینکه، توسعه ICT تقاضا برای الکتریسته را از طریق فرایند نوآوری و جانشین‌نمودن یک فناوری جدید تولید به‌جای فناوری قدیمی، کاهش و سطح مصرف انرژی را تقلیل می‌دهد. این اثر را اثر جانشینی نیز می‌نامند. اثر دوم اینکه، تجهیزات ICT برای راه‌اندازی نیاز به الکتریسته دارند و در نتیجه نصب، راه‌اندازی و بهره‌برداری از تجهیزات ICTباعث ایجاد تقاضای جدید برای مصرف الکتریسته و در نهایت افزایش مصرف انرژی می‌شود. این اثر را

---

1) Toffel & Horvath
2) Dematerialization
3) Barratt
4) Cho et al.
5) Hilty & Ruddy
6) Chiabaiet al.
7) Bomhof
8) Hilty
9) Induction Effect
10) Pasinetti
11) Edquist et al.

اثر جبرانی[1] یا درآمدی نیز می‌نامند [۶]. اثر نهایی ICT بر مصرف انرژی وابسته به برآیند این دو اثر است. چنانچه اثر جانشینی بزرگتر از اثر جبرانی باشد، توسعه ICTباعث کاهش مصرف انرژی و چنانچه اثر جبرانی بر اثر جانشینی غلبه کند، توسعه ICT مصرف انرژی را افزایش می‌دهد.

گروه دیگری از نظریات جدیدتر در زمینه تأثیرICTبر مصرف انرژی، معتقد به اثر غیرخطی ICT بر مصرف انرژی هستند، به این‌صورت که گسترشICTتا یک سطح مشخص به‌نام «سطح آستانه»[2]، به‌دلیل ظهور آثار منفی و هزینه‌های آن، مصرف انرژی را افزایش می‌دهد، اما پس از گذشت میزانICTاز این سطح و با توجه به پدیدار شدن آثار مثبت و منافع آن، مصرف انرژی کاهش می‌یابد. به‌عبارت دیگر، بین ICTو مصرف انرژی یک رابطه به‌شکل Uمعکوس (شکل ۱) برقرار است.



شکل ۱) رابطه غیرخطی بین ICT و مصرف انرژی

مأخذ: یافته‌های تحقیق بر اساس مبانی نظری

با توجه به مباحث فوق می‌توان گفت که ارتباط بین ICTو مصرف انرژی، مسأله‌ای پیچیده و چند بعدی است که در خصوص آن پاسخی آشکار و قاطع قابل ارائه نیست و هرگونه نتیجه‌گیری باید نسبی و با احتیاط کامل تلقی شود.

مطالعات تجربی

رابطه بین ICTو مصرف انرژی یک موضوع مهم و به روز است که در این زمینه مطالعات تجربی انجام‌شده بسیار

1) Compensation Effect
2) Threshold Level

اندک بوده و بیشتر آنها نیز تأثیر ICT را بر روی مصرف انرژی در کشورهای صنعتی و توسعه‌یافته (نه کشورهای در حال توسعه) بررسی کرده‌اند [۱۴]. در زمینه مطالعات داخلی نیز تاکنون مطالعات گسترده‌ای در رابطه با تأثیر ICTبر روی بیشتر متغیرهای کلان اقتصادی انجام شده است. اما تاکنون مطالعات داخلی بسیار محدودی در راستای بررسی تأثیر ICTبر مصرف انرژی انجام شده است که به این منظور نیز از مدل‌های خطی استفاده کرده‌اند. با توجه به این نکات، اهم مطالعات انجام‌شده در زمینه موضوع تحقیق در ادامه آمده است:

رم[1] [۱۳]مشاهده کرد که برای اقتصاد آمریکا میانگین نرخ رشد سالانه GDP و مصرف انرژی در عصر ماقبل اینترنت (۱۹۹۶-۱۹۹۲) به‌ترتیب ۳/۲ و ۲/۴ درصد و در عصر مابعد اینترنت (۲۰۰۰-۱۹۹۶) به‌ترتیب ۴ و ۱ درصد بوده است. تجزیه رشدGDP و مصرف انرژی بر مبنای دو اثر مختلف است: نخست، بخش فناوری اطلاعات، شدت انرژی کمتری نسبت به تولیدات سنتی دارد؛ دوم، به‌نظر می‌رسد اقتصاد اینترنتی کارایی انرژی را در هر بخش اقتصاد افزایش می‌دهد. از این‌رو، اینترنت محرک اثربخشی‌های یادشده در شتاب تقاضای انرژی برق است.

تاکاسی و ماروتا[2] [۱۵]تأثیر سرمایه‌گذاری در ICTرا بر روی مصرف انرژی در دو کشور ژاپن و آمریکا مورد تجزیه‌وتحلیل قرار داده‌اند. آنها تأثیر سرمایه‌گذاری در ICTرا برروی مصرف انرژی به دو اثر جانشینی و درآمدی تفکیک کردند وبه این نتیجه دست یافتند که اثر جانشینی در کشور ژاپن و اثر درآمدی در کشور آمریکا برقرار است، به این معنا که افزایش سرمایه‌گذاری در ICTبه ذخیره‌سازی انرژی در کشور ژاپن کمک می‌نماید، اما در کشور آمریکا، مصرف انرژی را افزایش می‌دهد.

کولارد و همکاران[3] [۷] رشد مصرف انرژی الکتریسته و فاوا را در بخش خدمات کشور فرانسه طی دوره زمانی ۱۹۹۸-۱۹۸۶ بررسی کرده‌اند. آنها با استفاده از یک مدل ساده، عامل تقاضا (مبتنی‌بر یک تابع تولید با بازده ثابت نسبت به مقیاس)، اثر کالاهای سرمایه‌ای فاوا را که مشتمل بر دو بخش رایانه‌ها و نرم‌افزار از یک‌سو و ابزار ارتباطی از سوی دیگر بود، بر شدت انرژی الکتریسته مطالعه کرده‌اند. آنها با استفاده از رویکرد داده‌های ترکیبی پویا[4] دریافتند که شدت انرژی با افزایش استفاده از رایانه و نرم‌افزار افزایش می‌یابد، در حالی‌که این مورد با افزایش انتشار ابزار ارتباطی کاهش می‌یابد.

چو و همکاران [۶]رابطه بین سرمایه‌گذاری در ICTو مصرف الکتریسته را در بخش صنعت کشور کره‌جنوبی طی دوره زمانی ۲۰۰۳-۱۹۹۱ و با استفاده از مدل رشد لجستیک پویا[5] بررسی کرده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که

1) Romm
2) Takase & Murota
3) Collard
4) Dynamic Panel Data
5) Dynamic Logestic Growth

سرمایه‌گذاری در ICT، مصرف الکتریسته را در بیشتر بخش‌های صنایع این کشور افزایش می‌دهد این در حالی است که توسعه ICTفقط در برخی از بخش‌های صنعتی خاص (مانند تولید فلزات اولیه) مصرف الکتریسته را کاهش می‌دهد.

کمیسیون برنامه دیده‌بانی کسب‌وکار الکترونیکی اروپا[۸]در یک مطالعه جامع، اثر فناوری اطلاعات و ارتباطات را بر روی مصرف الکتریسته کشورهای عضو اتحادیه اروپا و صنایع مختلف آنها (شیمیایی، فلزات و حمل‌ونقل) طی دوره زمانی ۲۰۰۴-۱۹۸۰ بررسی کرده است. یافته‌های این تحقیق با استفاده از دو روش حداقل مربعات غیرخطی[۱](NLS)و حداقل مربعات غیرخطی دو مرحله‌ای[۲](TNLS)نشان می‌دهد که در سطح کل ممکن است ICT مصرف الکتریسته را کاهش دهد. در سطح بخشی نیز انتشار ابزار ارتباطات منجر به کاهش شدت مصرف الکتریسته می‌شود در حالی‌که رواج فناوری رایانه و نرم‌افزار مصرف الکتریسته را افزایش می‌دهد.

سادرسکی[۱۴]در مطالعه‌ای تأثیر ICTرا بر روی مصرف الکتریسته در کشورهای با اقتصاد نوظهور طی دوره زمانی ۲۰۰۸-۱۹۹۳ بررسی کرده است. وی در این مطالعه به‌منظور اندازه‌گیری ICT، از سه شاخص تعداد کاربران اینترنت، تعداد خطوط تلفن همراه و تعداد رایانه‌های شخصی استفاده کرده است. یافته‌های این تحقیق در قالب مدل‌های پانل‌پویا و با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته سیستمی[۳](SGMM) حاکی از تأثیر مثبت هر سه شاخص بر روی مصرف الکتریسته این کشورها در کوتاه‌مدت و بلندمدت است.

ایشیدا[۱۰]تأثیر توسعه ICTرا بر روی مصرف انرژی در کشور ژاپن طی دوره زمانی ۲۰۱۰-۱۹۸۰ مورد بررسی قرار داده است. نتایج این بررسی با استفاده از رهیافت خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی[۴](ARDL)، حاکی از تأثیر منفی و معنادار سرمایه‌گذاری در ICTبر روی مصرف انرژی در این کشور در کوتاه‌مدت و بلندمدت است.

در معدود مطالعه داخلی انجام‌شده در این زمینه، محمودزاده و شاه‌بیکی[۴]اثر ICTرا بر شدت انرژی در ۲۵ کشور در حال توسعه طی دوره زمانی ۲۰۰۸-۱۹۹۵ بررسی کرده‌اند. یافته‌های این تحقیق با استفاده از تحلیل‌های هم‌انباشتگی پانلی[۵] نشان می‌دهد که برخی انواع سرمایه فاوا نظیر سخت‌افزار و نرم‌افزار بر مصرف انرژی تأثیر مثبت داشته و برخی دیگر نظیر ارتباطات دارای تأثیر منفی هستند. در مجموع، اثر خالص انتشار فاوا بر مصرف انرژی مثبت بوده و بدین ترتیب، تقاضا برای محصولات فاوا شدت انرژی را افزایش می‌دهد.

کرامتی و همکاران [۱]نیز در مقاله‌ای به بررسی تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات(ICT)بر مصرف انرژی در کشور

1) Non-linear Least Square
2) Two Non-linear Least Square
3) System General Method of Moment
4) Auto Regressive Distribute Lags
5) Panel Cointegration

ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۷۳ پرداخته‌اند. به این منظور، از سه شاخص تعداد کاربران اینترنت، تعداد خطوط تلفن همراه و تعداد خطوط تلفن ثابت به‌عنوان متغیرهای اندازه‌گیری ICT استفاده شده است.نتایج این تحقیق با بکارگیری روش خودرگرسیون با وقفه‌های توزیعی (ARDL) نشان می‌دهد که گسترش ICT با هر سه شاخص اندازه‌گیری‌شده، مصرف انرژی سرانه را در کوتاه‌مدت و بلندمدت افزایش می‌دهد.

همان‌طورکه از بررسی مطالعات تجربی مشخص است، تاکنون مطالعات خارجی و بالاخص داخلی بسیار محدودی در زمینه تأثیر ICT بر مصرف انرژی انجام شده که در این مطالعات به‌منظور تبیین این اثرگذاری از مدل‌های خطی استفاده شده است. اما ممکن است از ترکیب منافع و هزینه‌های گسترش ICT در رابطه با مصرف انرژی، رابطه غیرخطی بین متغیرهای مذکور به وجود آید. لذا بررسی دقیق‌تر این موضوع مهم نیازمند مطالعات تجربی بیشتر و همچنین استفاده از مدل‌های غیرخطی است که در مطالعه حاضر سعی می‌شود این نقیصه برطرف شود. بر این اساس، مطالعه حاضر تلاش می‌کند با استفاده از مدل رگرسیون انتقال ملایم (STR)به‌عنوان یکی از برجسته‌ترین مدل‌های تغییر رژیمی، به تبیین اثرگذاری غیرخطی ICTبر مصرف انرژی در ایران بپردازد.

مدل و معرفی متغیرها

مدل و روش تحقیق

در این مطالعه، به‌منظور بررسی تأثیر غیرخطی ICT بر مصرف انرژی در ایران از مدل رگرسیون انتقال ملایم (STR) استفاده شده است. در مدل STR، لزوما همه فرایندها دارای تغییرات شدید حول نقطه آستانه نبوده و تغییرات در پارامترها می‌تواند به‌آرامی نیز صورت گیرد. در این مدل‌ها، انتقالات بین رژیم‌های مختلف توسط تابع لاجستیک[1] یا تابع نمایی[2] تبیین می‌گردد. بر این اساس و به پیروی از تراسورتا [۱۶] الگوی STR زیر برای بررسی اثرگذاری غیرخطی ICTبر مصرف انرژی لحاظ شده است:

$$EC_t = \phi'\omega_t + (\theta'\omega_t).G(\gamma, c, s_t) + u_t \quad (۱)$$

که درآن، EC مصرف انرژی،ω_tبرداری از متغیرهای ICT(فناوری اطلاعات و ارتباطات) و مقادیر وقفه‌دار آن به‌انضمام مقادیر وقفه‌دار ECاست. $\phi' = (\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_p)$بردار ضرایب قسمت‌خطی و $\theta' = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_p)$بردار ضرایب قسمت غیرخطی است. u_t جزء اخلال است که فرض می‌شود شرط $u_t = iid(0, \sigma^2)$

1) Logestic function
2) Exponential function

را تأمین می‌کند. ضمنا تابع G که یک تابع لجستیک، پیوسته و کراندار بین صفر و یک می‌باشد، به شکل زیر است که انتقال ملایم بین رژیم‌ها را نشان می‌دهد:

$$G(\gamma, c, s_t) = \left(1 + \exp\{-\gamma \prod_{k=1}^{K}(s_t - c_k)\}\right)^{-1}, \quad \gamma > 0 \quad (۲)$$

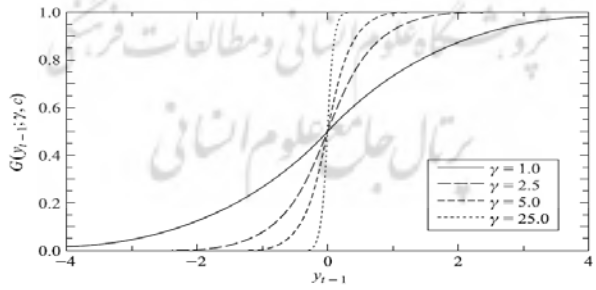
در این تابع، s نشانگر متغیر انتقال، γ پارامتر یکنواختی[1] (سرعت انتقال) و c نشاندهنده حد آستانه یا محل وقوع تغییر رژیم می‌باشد. پارامتر Kنیز تعداد دفعات تغییر رژیم را نشان می‌دهد.

به‌منظور بررسی ویژگی‌های مدل LSTR، مطابق روش ون‌دیک[۱۸]، فرض می‌کنیم متغیر وابسته y تنها تابعی از مقادیر وقفه‌دار خودش باشد. در این‌صورت، با فرض یک تابع انتقال دو رژیمی داریم:

$$y_t = \left(\theta_0 + \theta_1 y_{t-1} + \cdots + \theta_p y_{t-p}\right) + (\varphi_0 + \varphi_1 y_{t-1} + \cdots + \varphi_p y_{t-p}) G(\gamma, c, s_t) + u_t \quad (۳)$$

$$G(\gamma, c, s_t) = \frac{1}{1 + \exp\{-\gamma(s_t - c)\}}$$

این مدل یک مدل LSTR دو رژیمی نامیده می‌شود که پارامتر مکان، c، نقطه‌ای مابین دورژیم حدی $G(\gamma, c, s_t) = 0$ و $G(\gamma, c, s_t) = 1$ را نشان می‌دهد که $G(\gamma, c, s_t) = 0.5$ است. γ نشانگر سرعت انتقال بین رژیم‌ها بوده و مقادیر بیشتر γ بیانگر تغییر سریع‌تر رژیم می‌باشد. شکل (۲) نمونه‌ای از تابع انتقال لاجستیک دو رژیمی با مقادیر مختلف γ را نشان می‌دهد.



شکل ۲) تابع انتقال لاجستیک دو رژیمی با مقادیر متفاوت γ و مقدار آستانه‌ای $c = 0$

مأخذ: ون دیک [۱۸]

1) Smoothness Parameter

همان‌طور که از شکل (۲) مشخص است، با $\gamma = 1$انتقال بین دو رژیم به‌آرامی و با افزایش مقادیر آن به ۲/۵، ۵ و ۲۵ سرعت انتقال از یک رژیم به رژیم دیگر سریع‌تر می‌شود.هنگامی‌که $\gamma \to \infty$ و $s_t > c$ آن‌گاه $G = 1$ بوده و زمانی‌که $s_t < c$ است، $G = 0$خواهد بود. بنابراین، رابطه (۲) به یک مدل آستانه‌ای[1](TR)تبدیل می‌شود هنگامی‌که $\gamma \to 0$ رابطه (۲) به یک مدل رگرسیون خطی تبدیل می‌شود.

به‌طور کلی، برآورد مدل STRدارای سه گام اساسی است. گام اول، تشخیص مدل می‌باشد. شروع این گام با تنظیم یک مدل خطی ARاست که به‌عنوان نقطه شروع برای تحلیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. ادامه این گام شامل آزمون وجود رابطه غیرخطی بین متغیرها، انتخاب s_t و تصمیم‌گیری در مورد تعداد دفعات تغییر رژیم می‌باشد. در این مرحله، به‌منظور بررسی وجود رابطه غیرخطی از نوع LSTR، تشخیص متغیر انتقال و تعیین تعداد رژیم‌ها، رگرسیون تقریبی زیر بر اساس بسط تیلور تابع انتقال رابطه (۲) به‌کار برده می‌شود:

$$EC_t = \beta'_0\omega_t + \sum_{j=1}^{3}\beta'_0\tilde{\omega}_t s^j{}_t \quad (۴)$$

که در آن، $\omega_t = (1, \tilde{\omega}_t)'$ است. اگر s_t قسمتی از ω_t نباشد، خواهیم داشت:

$$LNI_t = \beta'_0\omega_t + \sum_{j=1}^{3}\beta'_0\omega_t s^j{}_t \quad (۵)$$

فرضیه صفر خطی بودن مدل به‌صورت $H_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ است که آماره آزمون مورد استفاده برای آزمون فرضیه نیز آماره آزمون F می‌باشد. بعد از آنکه فرضیه خطی‌بودن رابطه بین متغیرها رد شد، باید برای تشخیص نوع مدل غیرخطی سلسله آزمون‌های زیر بر روی مدل کمکی رابطه (۴) انجام گیرد:

1. $H_{04}: \beta_3 = 0$
2. $H_{03}: \beta_2 = 0 \,|\, \beta_3 = 0$
3. $H_{02}: \beta_1 = 0 \,|\, \beta_2 = \beta_3 = 0$

آماره آزمون‌های مربوط به فرضیه‌های صفر فوق به‌ترتیب با F_4، F_3 و F_2 نشان داده می‌شود. در صورت رد فرضیه H_{03}، مدل LSTR2(مدل LSTRبا دوبار تغییر رژیم) یا ESTR(مدل انتقال رژیم نمایی) تأیید می‌شود که با آزمودن فرضیه صفر $c_1 = c_2$ می‌توان یکی از این دو را انتخاب نمود. در صورت رد فرضیه‌های H_{04} و H_{02} ، مدل LSTR1(مدل LSTRبا یک‌بار تغییر رژیم) انتخاب می‌شود.

1) Threshold Regression

گام دوم در تخمین مدل STRتخمین مدل بوده که این مرحله شامل یافتن مقادیر مناسب اولیه برای تخمین غیرخطی و تخمین مدل با استفاده از الگوریتم نیوتن ـ رافسون[1] و روش حداکثر درست‌نمایی می‌باشد.

مرحله آخر برآورد مدل STR، ارزیابی مدل است. این مرحله معمولا تحلیل‌های گرافیکی همراه با آزمون‌های مختلفی نظیر عدم وجود خطاهای خودهمبستگی، ثابت بودن پارامترها بین رژیم‌های مختلف، عدم وجود رابطه غیرخطی باقیمانده در پسماندها می‌باشد.

معرفی متغیرها و توصیف داده‌ها

در این پژوهش، با توجه به در دسترس بودن داده‌ها از آمار سالانه دوره ۱۳۹۱-۱۳۵۳ استفاده شده است. به‌منظور اندازه‌گیری مصرف انرژی (EC) از شاخص مصرف انرژی سرانه (بر حسب کیلوگرم معادل نفتی) استفاده شده است. منبع داده‌های این متغیر پایگاه آماری شاخص‌های توسعه جهانی[2](WDI) است.

فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) نیز به‌وسیله شاخص نسبت موجودی سرمایه فاوا در بخش ارتباطات به تولید ناخالص داخلی اندازه‌گیری شده است. لازم به ذکر است که بخش فاوا دارای چهار زیربخش سخت‌افزار، نرم‌افزار، خدمات و ارتباطات می‌باشد. در ایران، آمار این زیربخش‌ها به استثنای زیربخش ارتباطات به‌صورت سری زمانی وجود ندارد. بنابراین، موجودی سرمایه در بخش ارتباطات شاخصی برای داده‌های فاوا در ایران در نظر گرفته شده است. بیشتر سرمایه‌گذاری فاوا در ایران نیز در این بخش صورت می‌گیرد.[3] منبع داده‌های این متغیر بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران است. به‌منظور برآورد مدل و تجزیه‌وتحلیل‌های آماری نیز از نرم‌افزارهای JMALTI و EXCEL استفاده شده است.

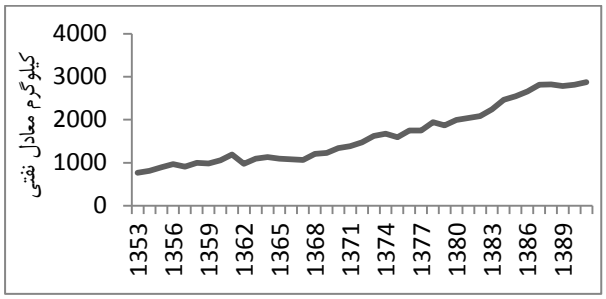
شکل (۳) روند مصرف انرژی سرانه را طی دوره مورد بررسی نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار می‌توان گفت که به‌طور کلی، روند مصرف انرژی در ایران صعودی بوده است. لازم به ذکر است مصرف انرژی در ایران طی دوره مورد مطالعه با نرخ رشد متوسط حدود ۲۷۳ درصد از رقمی معادل ۷۶۹ کیلوگرم معادل نفتی در سال ۱۳۵۳ به رقمی معادل ۲۸۷۳ کیلوگرم معادل نفتی در سال ۱۳۹۱ رسیده است که نشاندهنده رشد چشمگیر مصرف انرژی طی دهه‌های گذشته می‌باشد.

---

1) Newton-Raphson

2) World Development Indicators

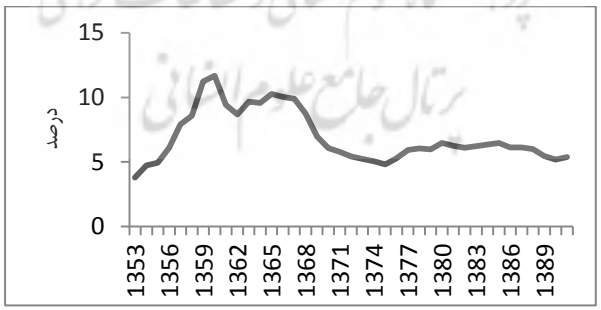
۳) بر اساس گزارش ویتسا (۲۰۰۶)، ارتباطات حدود ۶۰ درصد مخارج فاوا در ایران را در سال ۲۰۰۶ به‌خود اختصاص داده است. همچنین این متغیر در بسیاری از مطالعات تجربی نظیر مطالعه کمیجانی و محمودزاده [۲] به‌عنوان شاخص فاوا استفاده شده است.



شکل ۳) روند مصرف انرژی در ایران (۱۳۹۱-۱۳۵۳)

مأخذ: محاسبات تحقیق با استفاده از داده‌های WDI

شکل (۴) نیز روند سهم موجودی سرمایه فاوا در بخش ارتباطات از تولید ناخالص داخلی را طی دوره مورد بررسی نشان می‌دهد. بر اساس این نمودار، سهم موجودی سرمایه فاوا در بخش ارتباطات از تولید ناخالص داخلی طی سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۵۳ دارای نوسان بوده است. در ابتدا (سال ۱۳۵۳) روند این متغیر، افزایش قابل توجهی داشته است اما با شروع جنگ تحمیلی، این روند افزایشی دچار کاهش شده است. در سال‌های ابتدایی بعد از دوران جنگ نیز کاهش قابل توجه سهم موجودی سرمایه فاوا در بخش ارتباطات از تولید ناخالص داخلی مشهود است. بعد از سال ۱۳۷۵ نیز این سهم تقریبا ثابت و حدود ۶ درصد بوده است.



شکل ٤) روند سهم موجودی سرمایه فاوا در بخش ارتباطات

از تولید ناخالص داخلی در ایران (۱۳۹۱-۱۳۵۳)

مأخذ: محاسبات تحقیق با استفاده از داده‌های بانک مرکزی

برآورد مدل و تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

اولین گام در برآورد یک مدل STR، تعیین وقفه‌های متغیرهای مورد استفاده در مدل می‌باشد. این کار با استفاده از معیارهای آکائیک[1]، شوارتز[2] و حنان‌کوئین[3] انجام می‌گیرد. با توجه به تعداد مشاهدات کم، معیار شوارتز که از اصل «صرفه‌جویی»[4] پیروی می‌کند و برای این تعداد داده مناسب است، به‌عنوان ملاک تعیین وقفه بهینه در نظر گرفته شده است که بر اساس این معیار، وقفه بهینه برای متغیرهای مصرف انرژی و شاخصICT به‌ترتیب ۱ و ۳ تعیین می‌شود.

در گام بعدی، وجود رابطه غیرخطی بین متغیرها مورد آزمون قرار گرفته و در صورت تأیید وجود رابطه غیرخطی، باید از بین متغیرهای مورد استفاده در مدل، متغیر انتقال مناسب و تعداد رژیم‌های مدل غیرخطی بر اساس آماره‌های آزمون F، F_2، F_3 و F_4 تعیین گردد. نتایج برآورد این مرحله از تحقیق در قالب جداول (۱) و (۲) ارائه شده است. با توجه به ارزش احتمال آماره آزمون F گزارش‌شده در جدول (۱)، فرضیه صفر این آزمون مبنی‌بر خطی‌بودن مدل برای تمام متغیرها بجز وقفه اول شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات(ICT)رد می‌شود و فرض وجود رابطه غیرخطی برای این متغیرها پذیرفته می‌شود.

گام بعدی، انتخاب متغیر انتقال مناسب از بین متغیرهای انتقال ممکن برای مدل غیرخطی می‌باشد. برای انتخاب متغیر انتقال می‌توان هر متغیر بالقوه‌ای را لحاظ نمود اما اولویت با متغیر انتقالی است که فرضیه صفر آزمون F آن به‌طور قوی‌تری رد شود. بر این اساس، مناسب‌ترین متغیر انتقال با توجه جدول (۱) وقفه دوم شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT(t-2))تعیین می‌شود.

جدول ۱) نوع مدل و انتخاب متغیر انتقال

مدل پیشنهادی	ارزش احتمال آماره F	متغیر
LSTR	۰/۰۰۸	EC(t-1)
LSTR	۰/۰۰۱	ICT(t)
Linear	۰/۲۶۲	ICT(t-1)
LSTR*	۰/۰۰۰	ICT(t-2)
LSTR	۰/۰۰۴	ICT(t-3)

مأخذ: محاسبات تحقیق

1) Akaike info criterion
2) Schwarz criterion
3) Hannan-Quinn criterion
4) Parsimony

انتقال الگوی مناسب برای متغیر انتقال وقفه دوم شاخص فناوری اطلاعات و ارتباطات با توجه به آماره‌های F_2، F_3 و F_4 گام بعدی در تخمین مدل می‌باشد. با توجه نتایج گزارش‌شده در جدول (۲) و توضیحات ارائه‌شده در روش تحقیق، الگوی پیشنهادی مناسب برای متغیر انتقال ((ICT(t-2)مدل LSTR1یعنی مدل لاجستیک با یک نقطه آستانه‌ای انتخاب می‌گردد. زیرا ارزش احتمال آماره‌های F_2 و F_4 کمتر از ۵ درصد است.

جدول ۲) نوع مدل متغیر انتقال

مدل پیشنهادی	ارزش احتمال آماره F_2	ارزش احتمال آماره F_3	ارزش احتمال آماره F_4	متغیر انتقال
LSTR1	۰/۰۰۶	۰/۱۸۵	۰/۰۰۲	ICT(t-2)

مأخذ: محاسبات تحقیق

مرحله دوم در مدل‌سازی یک مدل STR، مرحله تخمین می‌باشد. با توجه به ماهیت غیرخطی این مدل‌ها، این مرحله با یافتن مقادیر مناسب اولیه برای تخمین مدل شروع می‌شود. با استفاده از این مقادیر اولیه، الگوی نیوتن ـ رافسون و حداکثرسازی تابع ML، پارامترها برآورد می‌شوند که نتایج در قالب جدول (۳) گزارش شده‌اند.

جدول ۳) نتایج تخمین مدل

متغیر	ضریب تخمینی بخش خطی	ضریب تخمینی بخش غیرخطی
CONST	۷۸/۷۶ (۰/۰۰۰)	−۱۴/۱۴ (۰/۰۰۰)
EC(t-1)	۰/۷۶ (۰/۰۰۰)	۰/۱۲ (۰/۰۰۰)
ICT(t)	۱۸/۵۴ (۰/۰۲۲)	۸/۶۶ (۰/۰۳۱)
ICT(t-1)	−۳۶/۱۲ (۰/۰۰۲)	−۲۲/۸۵ (۰/۰۰۲)
ICT(t-2)	۱۲/۰۶ (۰/۰۴۵)	−۴/۰۲ (۰/۰۲۱)
ICT(t-3)	۸/۴۵ (۰/۰۰۰)	۱۴/۱۴ (۰/۰۰۰)
$R^2 = 0.78$	$AIC = -4.88$ $SC = -4.04$	$HQ = -4.52$

مأخذ: محاسبات تحقیق

مقادیر نهایی تخمین زده شده برای پارامتر یکنواختی(γ)، ۱۶/۱۸ و برای مقدار آستانه‌ای شاخص ICT یعنیc، ۹/۶۲ است. بنابراین، تابع انتقال به‌صورت زیر خواهد بود:

$$G(16.18, 9.62, ICT_{t-2}) = (1 + \exp\{-16.18(ICT_{t-2} - 9.62)\})^{-1}$$

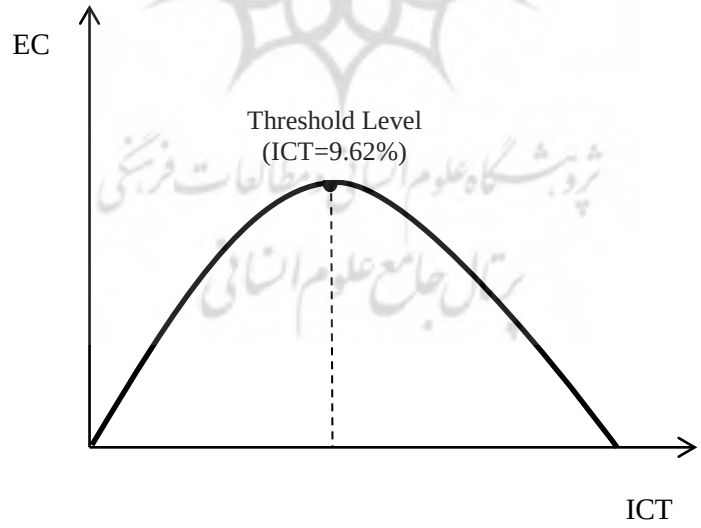
با توجه به نکات اشاره شده در بخش روش‌شناسی تحقیق، در رژیم اول $G=0$ و در رژیم دوم $G=1$ است. بنابراین برای رژیم اول داریم:

$$EC_t = 78.76 + 0.76(EC_{t-1}) + 18.54(ICT_t) - 36.12(ICT_{t-1}) + 12.06(ICT_{t-2}) + 8.45(ICT_{t-3})$$

و برای رژیم دوم (که حاصل جمع ضرایب تخمینی بخش خطی و غیرخطی است) خواهیم داشت:

$$EC_t = 64.62 + 0.86(EC_{t-1}) + 27.2(ICT_t) - 58.97(ICT_{t-1}) + 8.04(ICT_{t-2}) + 22.59(ICT_{t-3})$$

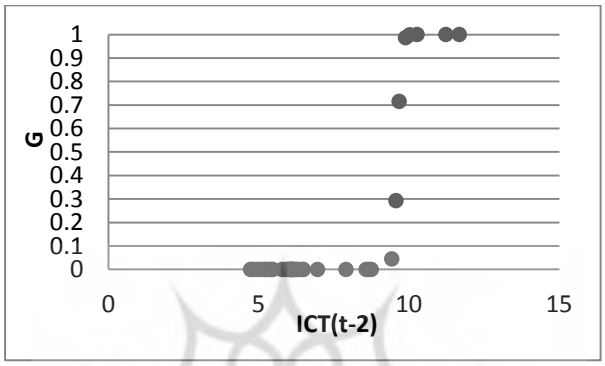
بر اساس معادلات رگرسیون برآورد شده و با توجه به اینکه مجموع ضرایب شاخص ICT در رژیم اول و دوم به‌ترتیب برابر با ۲/۹۳ و ۱/۱۴- می‌باشد، می‌توان چنین استنباط کرد که افزایش سهم موجودی سرمایه فاوا در بخش ارتباطات از تولید ناخالص داخلی تا سطح آستانه یعنی ۹/۶۲ درصد، اثر مثبت و معنادار بر مصرف انرژی سرانه داشته است اما پس از عبور از سطح آستانه و ورود به رژیم دوم (هنگامی که سهم موجودی سرمایه فاوا در بخش ارتباطات از تولید ناخالص داخلی بیش از مقدار آستانه‌ای یعنی ۹/۶۲ درصد بوده است) این اثرگذاری به‌دلیل غلبه آثار مطلوب ICT در کاهش مصرف انرژی بر آثار نامطلوب ICT در افزایش مصرف انرژی منفی است. بر این اساس می‌توان گفت که رابطه بین سهم موجودی سرمایه فاوا در بخش ارتباطات از تولید ناخالص داخلی (به‌عنوان شاخص فاوا) و سرانه مصرف انرژی در ایران به‌شکل U معکوس است، به این‌صورت که با افزایش شاخص فاوا تا سطح ۹/۶۲ درصد، مصرف انرژی در کشور افزایش و بعد از این سطح، افزایش شاخص فاوا باعث کاهش مصرف انرژی می‌شود. شکل (۵) این اثرگذاری را نشان می‌دهد.



شکل ۵) رابطه غیرخطی بین شاخص ICT و سرانه مصرف انرژی در ایران

مأخذ: یافته‌های تحقیق

مرحله سوم و به‌عبارتی، مرحله بعد از تخمین مدل، مرحله ارزیابی مدل می‌باشد. این قسمت را با تحلیل گرافیکی آغـاز می‌کنیم. با توجه به تابع لاجستیک مربوط به تغییر رژیم در شکل (۶)، می‌توان لحظه تغییر رژیم را برای الگوی برآوردشده ملاحظه نمود.



شکل ٦) نمودار تابع لاجستیک مربوط به تغییر رژیم

مأخذ: محاسبات تحقیق

در مرحله ارزیابی علاوه بر تحلیل گرافیکی به بررسی خطاهای احتمالی در مرحله تخمین نیز پرداخته می‌شود. اولین آزمون مورد بررسی، آزمون عدم وجود خطای خودهمبستگی می‌باشد. ارزش احتمال آزمون F برای وقفه‌های یک تا هشت این آزمون به‌ترتیب برابر با ۰/۱۵، ۰/۲۸، ۰/۵۵، ۰/۴۴، ۰/۲۸، ۰/۳۴، ۰/۴۸ و ۰/۷۱ برآورد شده است که بر اساس آن، فرضیه صفر این آزمون مبنی‌بر عدم وجود خودهمبستگی در سطح اطمینان مناسبی برای تمامی وقفه‌ها رد نمی‌شود.

دومین آزمون مورد بررسی، آزمون باقی‌نماندن رابطه غیرخطی در پسماندهای مدل است. با توجه به ارزش احتمال آزمون Fبرآورد شده (۰/۸۱)، فرضیه صفر این آزمون مبنی بر عدم وجود رابطه غیرخطی اضافی در سطح اطمینان مناسبی رد نمی‌شود. لذا مدل به‌طور کلی توانسته رابطه غیرخطی بین متغیرها را تصریح کند.

آزمون مورد بررسی دیگر مربوط به ثابت بودن پارامترها در رژیم‌های مختلف است. ارزش احتمال آماره F این آزمون ۰/۰۱ برآورد شده که بر اساس آن، فرضیه صفر این آزمون مبنی‌بر یکسان بودن ضرایب در قسمت خطی و غیر خطی در سطح احتمال ۹۹ درصد رد می‌شود.

از آزمون‌های دیگر که به بررسی خطاهای احتمالی در مرحله تخمین در مدل STRمی‌پردازند می‌توان به آزمون‌های ARCH-LM و آزمون Jarque-Bera اشاره نمود که به‌ترتیب برای بررسی خطاهای وجود ناهمسانی واریانس‌ها و نرمال نبودن باقیمانده‌ها به‌کار برده می‌شوند. بر اساس آزمون ARCH-LM، ارزش احتمال آماره‌های F و χ^2 به‌ترتیب ۰/۸۱ و ۰/۸۸ برآورد شده است. بر اساس ارزش احتمال هر دو این آماره‌ها، فرضیه صفر این آزمون مبنی‌بر عدم وجود ناهمسانی واریانس مشروط به خودرگرسیونی (ARCH)در سطح اطمینان مناسبی رد نمی‌شود. درضمن، ارزش احتمال

آماره χ^2 آزمون Jarque-Bera، ۰/۷۶ برآورد شده است که بر اساس آن، فرضیه صفر مبنی‌بر نرمال‌بودن پسماندها در سطح اطمینان مناسبی رد نمی‌شود. به‌طور خلاصه، مطابق آزمون‌های ارزیابی مدل، مدل غیرخطی تخمین زده شده از نظر کیفی قابل قبول ارزیابی می‌شود.

نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت بحث اثرگذاری فاوا بر مصرف انرژی در کشورهای درحال‌توسعه و مناقشات نظری و تجربی در این زمینه، مطالعه حاضر تلاش کرده است با استفاده از مدل رگرسیون انتقال ملایم (STR) و داده‌های دوره‌ی زمانی ۱۳۹۱-۱۳۵۳ به بررسی اثرگذاری غیرخطی سهم موجودی سرمایه فاوا از تولید ناخالص داخلی در بخش ارتباطات به‌عنوان شاخص ICT بر مصرف انرژی در ایران بپردازد. نتایج حاصل از برآورد الگوی تحقیق نشان داده که موجودی سرمایه فاوا در بخش ارتباطات به‌صورت غیرخطی و در قالب یک ساختار دو رژیمی با مقدار آستانه‌ای ۹/۶۲ درصد بر مصرف انرژی سرانه در ایران اثرگذاشته است. با توجه به اینکه مجموع ضرایب سهم موجودی سرمایه فاوا از تولید ناخالص داخلی در بخش ارتباطات در رژیم‌های اول و دوم به‌ترتیب ۲/۹۳ و ۱/۱۴- برآورد شده است، می‌توان چنین استنباط کرد که افزایش سهم موجودی سرمایه فاوا از تولید ناخالص داخلی در بخش ارتباطات از سطح آستانه آن با قرار گرفتن در رژیم دوم، باعث کاهش مصرف انرژی خواهد شد. با توجه به اینکه در بیشتر سال‌های مورد بررسی، مقدار سهم موجودی سرمایه فاوا از تولید ناخالص داخلی در بخش ارتباطات کمتر از سطح آستانه یعنی ۹/۶۲ درصد بوده است (بر اساس شکل ۳)، اقدامات لازم برای افزایش این شاخص در جهت رسیدن به سطح آستانه و بهره‌مندی از آثار مثبت آن به‌منظور کاهش مصرف انرژی به سیاست‌گذاران کشوری، پیشنهاد می‌شود.

با توجه به نتیجه اصلی این تحقیق مبنی‌بر رابطه Uمعکوس بین مصرف انرژی و ICT، به‌منظور بهره‌مندی سریع‌تر از آثار مثبتICTدر جهت کاهش مصرف انرژی (قرار گرفتن روی شاخه نزولی) بایستی اقدامات جدی در زمینه توسعه فاوا در کشور صورت گیرد. در این راستا، می‌توان به توجه بیش از پیش به بحث دولت الکترونیک، آماده‌سازی زیرساخت‌های سخت‌افزاری و نرم‌افزاری لازم برای اقتصاد نوین و دیجیتال، فراهم کردن فضای رقابتی در بخش‌های مختلف فاوا، آموزش فرهنگ کاربردی فاوا در جامعه و گسترش پارک‌های فناوری و مراکز رشد اشاره کرد.

منابع

[۱] کرامتی، عباس و گل‌خندان ابوالقاسم و مجتبیخوانساری، ۱۳۹۳. تأثیر فناوری اطلاعات و ارتباطات(ICT) بر مصرف انرژی در ایران (رویکرد آزمون باند.*فصلنامه تحقیقات توسعه اقتصادی*. شماره ۱۶. صص ۲۶-۱۰۳.

[۲] کمیجانی، اکبر و محمود محمودزاده، ۱۳۸۷. نقش فناوری اطلاعات و ارتباطات در رشد اقتصادی ایران.*فصلنامه پژوهشنامه انرژی.*

[۳] گل‌خندان، ابوالقاسم و خوانساری، مجتبی و داود گل‌خندان، ۱۳۹۴. فاوا و نابرابری درآمد در ایران.*فصلنامه سیاست علم و فناوری.* شماره ۱. صص ۲۶-۱۵.

[۴] محمودزاده، محمود و حامد شاه‌بیکی، ۱۳۹۰. آثار فناوری اطلاعات و ارتباطات بر شدت انرژی در کشورهای درحال‌توسعه.*فصلنامه اقتصاد و تجارت نوین.* شماره‌های ۲۳ و۲۴. صص ۸۸-۶۷.

[5] Barratt, R. S. 2006. Meeting lifelong learning needs by distance teaching - clean technology. *J. Cleaner Product*. 14, 906–15.

[6] Cho, Y., Lee, J. & Kim, T. 2007. The impact of ICT investment and energy price on industrial electricity demand: dynamic growth model approach. *Energy Policy*. 35, 4730–38.

[7] Collard, F., Feve, P. & Portier, F. 2005. Electricity consumption and ICT in the French service sector. *Energy Economics*. 27(3), 541-50.

[8] European Commission e-Business Watch. 2008. "The implications of ICT for energy consumption". Impact study no.09/2008.

[9] Hilty, L. M. 2008. *Information Technology and Sustainability*. Books on Demand.

[10] Ishida, H. 2014. The effect of ICT development on economic growth and energy consumption in Japan. *Telematics and Informatics*. 1–10.

[11] ITU Statistics (http://www.itu.int/ict/statistics).

[12] Jorgenson, D. W., Ho, M. S. & Stiroh, K .J. 2003. Lessons from the US growth resurgence. *Journal of Policy Modeling*. 25 (5), 453–70.

[13] Romm, J. 2002.The internet and the new energy economy. Resource, *Conservation and Recycling*. 36, 197-210.

[14] Sadorsky, P. 2012. Information communication technology and electricity consumption in emerging economies.*Energy Policy*.48, 130–6.

[15] Takase, K. & Murota, Y. 2004. The impact of IT investment on energy: Japan and US comparison in 2010. *Energy Policy*. 32(11), 1291–301.

[16] Terasvirta,T.2004.Smoothtransitionregressionmodeling,inH.L¨utkepohl and M.Kratzig (Eds). *AppliedTimeSeriesEconometrics*.*CambridgeUniversity Press*. Cambridge, Vol. 17.

[17] Toffel, M. W. & Horvath, A. 2004. Environmental implications of wireless technologies: News delivery and business meetings.*Environ. Sci. Technol*, 38, 2961–70.

[18] Van Dijk, D.1999.*SmoothTransition Models:Extensionsand OutlierRobust Inference*. PhD Thesis. ErasmusUniversity Rotterdam.