

## تحلیل مقایسه‌ای سیاست مالیات بر انرژی‌های با پایه نفت و گاز و یارانه R&D انرژی بر بهره‌وری انرژی در ایران

شهرام معینی\*

استادیار اقتصاد دانشگاه اصفهان، [sh.moeeni@ase.ui.ac.ir](mailto:sh.moeeni@ase.ui.ac.ir)

علیمراد شریفی

دانشیار اقتصاد دانشگاه اصفهان، [alimorad@ase.ui.ac.ir](mailto:alimorad@ase.ui.ac.ir)

سمیرا رسولی فرح

کارشناس ارشد اقتصاد دانشگاه اصفهان، [samirarasoulifarah@yahoo.com](mailto:samirarasoulifarah@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۶/۱۱/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۵/۲۳

### چکیده

آمارها نشان می‌دهد که وضعیت شدت مصرف انرژی در ایران بسیار نامطلوب و روند آن نیز نگران‌کننده است. دو راهبرد پایه برای کاهش شدت انرژی وجود دارد، نخستین راهبرد، اصلاح قیمت‌های نسبی انرژی به‌ویژه از طریق وضع مالیات بر انرژی است. راهبرد دوم ارتقای تکنولوژی‌های انرژی‌اندوز از طریق تحقیق و توسعه، به‌عنوان یک راهبرد غیر قیمتی است. در این راستا هدف این مطالعه، شبیه‌سازی مدلی برای اقتصاد کلان ایران است که در آن چگونگی و شدت بهبود بهره‌وری انرژی بر اثر سیاست اخذ مالیات بر انرژی فسیلی از یکسو و سیاست پرداخت یارانه به R&D برای هدایت پیشرفت تکنیکی به بخش انرژی، از سوی دیگر تحلیل و مقایسه شود. برای این منظور از یک مدل تعادل عمومی سه بخشی استفاده شده است. دوره زمانی اجرای مدل پژوهش، بازه زمانی ۱۵ ساله از سال ۱۳۹۰ در نظر گرفته شده است. همزمان اثر هر ابزار سیاستی بر تقاضای نیروی کار به‌عنوان نهاده دیگر تولید نیز ملاحظه می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که یک مالیات بر انرژی ۴۰ درصدی، بهره‌وری انرژی را ۵۲/۷۴ درصد بهبود می‌بخشد در حالی که اجرای سیاست ملایم یارانه R&D در بخش انرژی با نرخ ۲۰ درصد، بهره‌وری انرژی را ۵۴/۶۹ درصد بهبود می‌بخشد. بنابراین اگر چه راهکار مالیاتی نیز قادر است در بهبود بهره‌وری انرژی موثر واقع شود، هدایت پیشرفت تکنیکی به سمت بخش انرژی، راهکاری مؤثرتر است.

**واژه‌های کلیدی:** بهره‌وری انرژی، مالیات انرژی، یارانه R&D، مدل تعادل عمومی، پیشرفت

فنی درون‌زا.

طبقه‌بندی JEL: E24, H25, J24, O32, O38.

\* نویسنده مسئول مکاتبات

## ۱- مقدمه

آمارها نشان می‌دهد که وضعیت شدت مصرف انرژی در ایران بسیار نامطلوب و روند آن نیز نگران‌کننده است. انرژی مصرفی در ایران عمدتاً به نحو مستقیم ناشی از سوخت‌های فسیلی یعنی نفت و گاز یا ناشی از تبدیل سوخت فسیلی به برق است. در عمل سرانه مصرف گاز طبیعی در ایران، ۵/۶ برابر متوسط جهانی و سرانه مصرف نفت و مشتقات آن ۱/۶ برابر متوسط جهانی است. مصرف انرژی کشور در بخش‌های کشاورزی، خانگی، عمومی و تجاری، صنعت و حمل و نقل نیز به ترتیب ۳/۱، ۱/۸، ۱/۵، ۱/۴ برابر متوسط سرانه مصرف جهانی است (ترازنامه انرژی<sup>۱</sup>، ۱۳۹۴). به‌عنوان یک نمونه از مصرف بالای انرژی در کشور، متوسط ۸ ماهه مصرف بنزین در کشور در سال گذشته یعنی ۱۳۹۶، تا پایان آبان ماه، روزانه ۸۱ میلیون لیتر بوده است و با حفظ این روند تا پایان سال به ۳۰ میلیارد لیتر بالغ می‌شود. این در شرایطی است که مصرف بنزین در ترکیه، سالانه کمتر از ۳ میلیارد لیتر گزارش شده است (اداره اطلاعات انرژی آمریکا<sup>۲</sup>، ۲۰۱۵). نگاهی به روند مصرف این حامل انرژی و سایر حامل‌ها نیز نشان می‌دهد که روند مصرف در ایران، طی دو دهه گذشته برعکس ترکیه رو به افزایش بوده است. آمار نشان می‌دهد که در سال ۱۹۹۶ مصرف بنزین در ایران و ترکیه به ترتیب، ۱۵۸ هزار بشکه و ۱۰۶ هزار بشکه در روز بوده است که بر اساس آخرین آمار در ایران به ۳۶۹ هزار بشکه در روز افزایش و در ترکیه به ۴۵ هزار بشکه در روز کاهش یافته است (موسسه گلوبال اکونومی<sup>۳</sup>). طبعاً با توجه به نقش کاملاً غالب انرژی‌های فسیلی در سبد انرژی کشور، شدت بالای انرژی، آلودگی را نیز به فهرست مشکلات عمومی اضافه می‌کند (آماده<sup>۴</sup> و همکاران، ۱۳۹۳).

از سوی دیگر، تولید در هر کشور از ترکیب نهاده سرمایه، نهاده نیروی کار و نهاده انرژی به دست می‌آید. در مدل‌های اولیه سرمایه و نیروی کار به عنوان مهم‌ترین نهاده‌های تولید در مدل‌ها ملحوظ می‌شدند، اما در مدل‌های جدیدتر، نهاده انرژی نیز وارد شده است، تا جایی که در مدل بیوفیزیکی رشد<sup>۵</sup>، انرژی مهم‌ترین عامل رشد تلقی می‌شود. در هر

<sup>۱</sup> Energy balance sheet of Iran (2015)

<sup>۲</sup> The U.S. Energy Information Administration

<sup>۳</sup> www.theglobaleconomy.com

<sup>۴</sup> Amadeh (2014)

<sup>۵</sup> در مدل رشد نئوکلاسیکی و مدل‌های مشابه، عموماً نهاده نیروی کار و سرمایه در تابع تولید وارد شده و بر رشد تاثیر می‌گذارند، اما در مدل بیوفیزیکی، نهاده انرژی نیز از طریق تابع تولید وارد مدل می‌شود (Ayres & Nair, 1984).

صورت، از آنجایی که تمام نهاده‌ها تا حدی با یکدیگر قابلیت جانشینی دارند، کاهش مصرف انرژی در فرایند تولید، نهایتاً می‌تواند به جانشینی نهاده‌های دیگر نظیر نیروی کار، نیز منجر شود. این امر به‌خصوص برای کشورهایی که با عدم تعادل در بازار کار مواجه‌اند، حائز اهمیت است.

با توجه به آنچه در مورد وضع شدت انرژی در کشور از یکسو و اهمیت نهاده انرژی در رشد از سوی دیگر بیان شد، پرسشی که به میان می‌آید، راهکارهای کاهش شدت انرژی است. در ادبیات، دو راهبرد پایه کاهش شدت انرژی فسیلی وجود دارد، نخستین راهبرد، اصلاح قیمت‌های نسبی انرژی است، که عمدتاً تحت عنوان مالیات کربن، شناخته می‌شود. اقتصاددانان همواره بر این نکته، تأکید دارند که در تصمیم‌گیری و انتخاب عامل‌ها اعم از تولیدکننده و مصرف‌کننده، سیگنال قیمت‌های نسبی، از مهم‌ترین موثرها است، هر چند در مواردی تأثیر این سیگنال، منوط به تغییر تدریجی ساختارهای شکل گرفته است. بنابراین شدت انرژی بالا در کشوری با قیمت پایین انرژی در دوره‌ای طولانی، به عنوان واکنش عقلایی عامل‌ها به پارامتر انرژی ارزان، قابل تبیین است. بر این اساس در عمل، یک راهبرد اجرایی اصلی کشورهای پیشرو در کاهش شدت انرژی، راهبرد مالیات بر حامل‌ها بوده است (آنتون<sup>۱</sup> و هرناندز<sup>۲</sup>، ۲۰۱۴؛ ژائو<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۸).

راهبرد دوم ارتقای تکنولوژی‌های انرژی‌اندوز به‌عنوان یک راهبرد غیر قیمتی و از طریق تحقیق و توسعه و مهندسی معکوس است. فناوری‌های انرژی‌اندوز می‌توانند در جهت صرفه‌جویی در مصرف انرژی عمل نمایند و در نتیجه بهبود تکنولوژی در بخش‌ها و زمینه‌های مرتبط با مصرف انرژی، راهبرد دیگری جهت کاهش مصرف و افزایش بهره‌وری انرژی در کشورها تلقی می‌شود. استفاده از راهبرد نخست، نیز عملاً در بسیاری از موارد به‌عنوان ابزاری در جهت فعال نمودن راهبرد دوم یعنی ارتقای فناوری‌های انرژی‌اندوز به کار گرفته می‌شود. در این راستا، هدف این مطالعه، شبیه‌سازی مدلی برای اقتصاد کلان ایران است که در آن چگونگی و شدت پیشرفت تکنیکی هدایت‌شده<sup>۴</sup> در بخش انرژی بر اثر دو سیاست اخذ مالیات بر انرژی و پرداخت یارانه بر R&D، تحلیل و مقایسه شود و اثر هر یک بر مصرف و بهره‌وری انرژی و اشتغال، مدل‌سازی و تحلیل شود.

<sup>1</sup> Anton

<sup>2</sup> Hernandez

<sup>3</sup> Zhao

<sup>4</sup> Directed Technical Change

## ۲- ادبیات موضوع

رابطه بین رشد اقتصادی و پیشرفت فنی<sup>۱</sup>، رابطه‌ای کاملاً شناخته شده در اقتصاد است. مدل‌سازی قوی نقش پیشرفت فنی در رشد، ابتدا در قالب مدل رشد نئوکلاسیکی توسط سولو<sup>۲</sup> و رمزی<sup>۳</sup> و به صورت متغیری برون‌زا صورت گرفت. مطالعات رومر<sup>۴</sup> (۱۹۵۶)، گروسمن<sup>۵</sup> و هلپمن<sup>۶</sup> (۱۹۹۱)، آقیون و هوویت<sup>۷</sup> (۱۹۹۲)، از جمله تحقیقاتی است که در تحلیل پیشرفت تکنیکی و عوامل مؤثر بر آن نقش کلیدی دارند. پس از مدل‌های رشد برون‌زا تلاش شد، چگونگی شکل‌گیری پیشرفت فنی و نرخ آن از طریق تبیین منشا آن در قالب مدل‌های رشد درون‌زا<sup>۸</sup>، فهم شود. اولین مدل‌های رشد درون‌زا توسط لوکاس (۱۹۸۸)<sup>۹</sup> و بعداً رومر مطرح شد. رومر به نحو بنیادی، مقوله تحقیق و توسعه (R&D) را در مدل‌های رشد به‌عنوان تعیین‌کننده نرخ رشد تکنولوژی صورت‌بندی کرد. مراد او از تحقیق و توسعه، کار خلاقانه‌ای است که به نحو سیستماتیک انجام می‌شود تا با افزودن به موجودی دانش، این دانش را برای ابداع کاربردهای تازه مورد استفاده قرار دهد و در نتیجه پیشرفت فنی، نتیجه و حاصل فعالیت‌های R&D است (رومر، ۱۹۹۰).

امروزه و در سایه تبیین بارو<sup>۱۰</sup> و سالای مارتین<sup>۱۱</sup>، این امر به خوبی و به شکل درون‌زا تشریح شده است. بارو و سالای مارتین ابتدا با استفاده از مدل گسترش تنوع محصولات<sup>۱۲</sup>، نقش پیشرفت تکنولوژیکی را از طریق تبیین منشا آن مبتنی بر وجود بنگاه‌های تحقیق و توسعه، درون‌زا و فرمول‌بندی کردند. در قالب این مدل، عوامل اقتصادی به سه بخش تقسیم می‌شوند. تولیدکنندگان کالای نهایی با استفاده از نیروی کار و کالای واسطه‌ای، بنگاه‌های تحقیق و توسعه به‌عنوان مبدع محصولات جدید و بالاخره خانوارها، اجزای این مدل هستند. انتخاب‌های بهینه بنگاه‌های تحقیق و توسعه، که یک تصمیم‌گیری دو

<sup>1</sup> Technological Change

<sup>2</sup> Solow

<sup>3</sup> Ramsey

<sup>4</sup> Romer

<sup>5</sup> Grossman

<sup>6</sup> Helpman

<sup>7</sup> Aghion & Howitt

<sup>8</sup> Endogenous Growth Model

<sup>9</sup> Lucas

<sup>10</sup> Barro

<sup>11</sup> Sala-i-Martin

<sup>12</sup> Model with an Expanding Variety of Products

مرحله‌ای است، به صورت درون‌زا، تکلیف میزان تخصیص منابع به تحقیق و توسعه و نهایتاً ابداع و نوآوری را روشن می‌کند که طبعاً به معنای انتخاب درون‌زای نرخ پیشرفت تکنولوژیکی و تبیین آن است (بارو و سالای‌مارتین، ۲۰۰۴).

مدل شومپیتری نردبان کیفیت<sup>۱</sup> برای پیشرفت تکنولوژیکی هم مکمل تبیین و مدل قبلی برای درون‌زا کردن پیشرفت فنی است، به این مفهوم که در این مدل به جای گسترش محصولات جدید، چگونگی ارتقاء کیفیت محصولات موجود، مورد تحلیل است. در این مدل هم، بنگاه‌های تحقیق و توسعه و تصمیمات آنها تعیین‌کننده است. این بار بنگاه‌های تحقیق و توسعه، در صدد تولید بالاترین سطح کیفی<sup>۲</sup> کالاهای واسطه‌ای هستند. بنگاه تحقیق و توسعه‌ای که بتواند آخرین و بالاترین سطح تکنولوژی در یک محصول واسطه‌ای را ارائه کند، کنترل و جریان منافع در بازار آن را به دست می‌آورد. این جریان منافع با اختراع نوآور بعدی و ارائه پله و سطح بالاتر تکنولوژی، کاملاً قطع می‌شود. بنابراین فرایند تصمیم درون‌زای انتخاب میزان تخصیص منابع به تحقیق و توسعه، درگیر پدیده تخریب خلاق<sup>۳</sup> است. این مدل‌ها به خوبی توانسته‌اند، پیشرفت تکنیکی را در قالب تصمیم درون‌زا برای تخصیص منابع به تحقیق و توسعه، صورت‌بندی کنند.

حال اگر پیشرفت فنی به صورت درون‌زا باشد و مشوق‌های اقتصادی، منجر به سوق یافتن تحقیق و توسعه به یک بخش خاص اقتصاد شود، طبعاً پیشرفت تکنیکی معطوف به آن بخش خواهد بود، و پیشرفت تکنیکی هدایت شده نامیده می‌شود (چمبرز<sup>۴</sup>، ۱۹۸۸). عوامل مؤثر بر تعیین جهت هدایت پیشرفت فنی را می‌توان در قالب سه اثر طبقه‌بندی کرد (عجم‌اوغلو<sup>۵</sup>، ۲۰۰۲):

اثر قیمت<sup>۶</sup>: این اثر، پیشرفت فنی را به سمت نهاده کمیاب و گران سوق می‌دهد. مثلاً اگر قیمت انرژی افزایش یابد یا منابع انرژی رو به اتمام باشند، پیشرفت تکنیکی، معطوف به بخش انرژی می‌شود، به طوری که پیشرفت تکنیکی منجر به کاهش مصرف انرژی یا افزایش بهره‌وری آن شود.

<sup>1</sup> Schumpeterian Models of Quality Ladders

<sup>2</sup> Leading- edge

<sup>3</sup> Creative Destruction

<sup>4</sup> Chambers

<sup>5</sup> Acemoglu

<sup>6</sup> Price Effect

اثر اندازه بازار<sup>۱</sup>: این اثر، پیشرفت فنی را به سمت استفاده بیشتر از نهاده فراوان‌تر هدایت می‌کند. برای مثال، اگر نیروی کار فراوان باشد، پیشرفت تکنیکی به نحوی رخ می‌دهد که به نیروی کار بیشتری نیاز باشد.

اثر بهره‌وری<sup>۲</sup>: این اثر، پیشرفت تکنیکی را به سمت بخش با بهره‌وری بالاتر، هدایت می‌کند.

بنابراین اثر قیمت، پیشرفت فنی را به سمت نهاده کمیاب‌تر و اثر اندازه بازار، پیشرفت فنی را به سمت نهاده فراوان‌تر سوق می‌دهد. آنچه که شدت اثرها را تعیین کند، کشش جانشینی بین نهاده‌های مختلف است. برای مثال، زمانی که کشش جانشینی بین نهاده‌ها اندک است و قابلیت جانشینی ضعیف دارند، نهاده کمیاب به قیمت بالاتری دست خواهد یافت و در نتیجه اثر قیمت، قوی‌تر است. در هر حال اندازه مخارج تحقیق و توسعه در هر بخش، نرخ پیشرفت تکنیکی آن بخش را تعیین می‌کند.

مالیات بر انرژی نیز از چند طریق باعث کاهش شدت انرژی و بهبود بهره‌وری انرژی می‌شود. اثر مستقیم وضع مالیات، کاهش مصرف انرژی در بخش خانوار به‌ویژه از طریق کشش جانشینی بین انرژی و سایر اجزای سبد مصرفی است، همچنین مالیات انرژی، عامل کاهش مصرف نهاده انرژی در بخش بنگاه، به‌خصوص از طریق قابلیت جانشینی بین نهاده‌ها است. بالاخره مالیات بر انرژی، بنگاه‌ها را در جهت افزایش بهره‌وری انرژی از طریق تقویت فناوری‌های انرژی‌اندوز، هدایت می‌کند. به عبارت دیگر قیمت انرژی از طریق مالیات بر انرژی افزایش می‌یابد و تحت تاثیر اثر قیمت، تحقیق و توسعه به سمت بخش انرژی هدایت می‌شود که موجب ارتقای سطح فناوری‌های انرژی شده و در نتیجه بهره‌وری انرژی بهبود می‌یابد (هنریت<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۴).

آخرین نکته‌ای که در این قسمت به آن پرداخته می‌شود، مبانی نظری یارانه‌های تحقیق و توسعه<sup>۴</sup> است. چنانکه توضیح داده شد، مدل‌های رشد مبتنی بر تحقیق و توسعه، پیشرفت تکنولوژی را از طریق تبیین منشا آن یعنی فعالیت‌های نوآورانه و تحقیق و توسعه، درون‌زا و فرمول‌بندی می‌کنند. اما فعالیت‌های تحقیق و توسعه درگیر ناطمینانی‌های شدیدی است که کارایی بازار را در این حوزه با تردید مواجه می‌کند.

<sup>1</sup> Market Size Effect

<sup>2</sup> Productivity Effect

<sup>3</sup> Henriët

<sup>4</sup> Public R&D Subsidy

اقسام این نااطمینانی‌ها را بارو و سالای‌مارتین (۲۰۰۴)، مورد تاکید قرار می‌دهند که چند نمونه از آن مرور می‌گردد. نخست اینکه پروژه‌های تحقیق و توسعه برای تولید محصول نوآورانه یا کیفیت بالاتر یک محصول، نیازمند صرف هزینه‌های زیادی است، این در حالی است که بسیاری از این پروژه‌ها، به تولید یک محصول اقتصادی سودآور منجر نشده و شکست می‌خورند. دومین نااطمینانی بزرگی در این پروژه‌ها، مسئله تخریب خلاق<sup>۱</sup> یا بازارریایی<sup>۲</sup> است، که منظور از آن، این است که حتی یک پروژه تحقیق و توسعه موفق که به تولید محصول اقتصادی سودآور منجر شده است، ممکن است فوراً به یک پروژه شکست خورده تبدیل شود، چرا که در فاصله‌ای کوتاه ممکن است پروژه‌های تحقیق و توسعه رقبا به تولید محصول بهتر، منجر شده و با ربودن بازار، محصول نوآورانه قبلی را از دور خارج کند. سومین ریسک بزرگ این فعالیت‌ها، مساله سواری مجانی است، که اشاره به موقعیت‌هایی دارد که برخی از بنگاه‌ها، بدون صرف هزینه برای تحقیق و توسعه، منتظر نتیجه پروژه‌های تحقیق و توسعه رقبا و استفاده از امکان تقلید از آن می‌نشینند. مبتنی بر همه این موارد و برخی جزئیات دیگر، نشان داده می‌شود که فعالیت‌های تحقیق و توسعه صرفاً مبتنی بر تامین مالی خصوصی و حق الثبت<sup>۳</sup>، به بهینه پارتو منجر نمی‌شود و بعلاوه آثار اشاعه‌ای ناشی از تحقیق و توسعه را نیز محدود می‌کند. هم از این رو یارانه‌های مناسب تحقیق و توسعه و کمک بخش عمومی به تامین مالی نوآوری، به لحاظ اجتماعی بهینه است (بارو و سالای‌مارتین، ۲۰۰۴). بر این اساس امروزه، در اغلب اقتصادهای پیشرو و نوظهور، دولت‌ها برنامه مدونی در این خصوص دارند، مثلاً در آلمان، بزرگترین رقم یارانه به یارانه تحقیق و توسعه در چارچوب استراتژی فناوری فدرال، اختصاص می‌یابد (گانتز<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۱۵).

## ۲-۱- پیشینه پژوهش

عجم‌اوغلو (۲۰۰۲)، پیشرفت فنی هدایت‌شده را در چارچوب یک مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر (CGE)<sup>۵</sup> تحلیل و شبیه‌سازی کرده‌است و نشان می‌دهد که چگونه کشش جانشینی بین نهاده‌ها، می‌تواند دو اثر اندازه بازار و اثر قیمت را تجمیع کند و منتج به هدایت پیشرفت فنی به سمت نهاده خاصی شود. فی‌المثل نشان داده می‌شود با کشش

<sup>1</sup> Creative Destruction

<sup>2</sup> Business Stealing

<sup>3</sup> Patent

<sup>4</sup> Gunther

<sup>5</sup> Computable General Equilibrium

جانشینی پایین‌تر بین عوامل و قابلیت جانشینی ضعیف نهاده‌ها، نهاده کمیاب به قیمت بالاتری دست خواهد یافت. در نتیجه اثر قیمت، قوی‌تر است و پیشرفت فنی به سمت عامل گران‌تر سوق می‌یابد.

روننبرگ<sup>۱</sup> (۲۰۰۹) نیز در چارچوب یک مدل CGE، اثر پیشرفت فنی بر مصرف انرژی و اشتغال را شبیه‌سازی کرده است. روننبرگ از مالیات محیط‌زیستی برای سوق‌دهی بنگاه‌ها در بخش تحقیق و توسعه استفاده کرده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که مالیات‌های محیط‌زیستی به‌عنوان نوعی مالیات بر انرژی، منجر به افزایش هزینه انرژی بنگاه‌ها می‌شود و بنگاه‌ها را به تلاش در جهت افزایش بهره‌وری انرژی، هدایت می‌کند. طبعاً بهترین گزینه، ارتقاء تکنولوژی‌های انرژی‌اندوز است. از سوی دیگر، نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که کاهش مصرف انرژی به‌عنوان نهاده تولید، منجر به افزایش تقاضای نیروی کار به‌عنوان نهاده دیگر تولید نیز می‌شود.

عجم‌اوغلو و همکاران (۲۰۱۲)، نیز رابطه بین پیشرفت فنی هدایت‌شده با محیط زیست را مورد تحلیل قرار داده‌اند. در این پژوهش، برای تولید محصول نهایی از دو نهاده انرژی غیرفسیلی و فسیلی استفاده می‌شود. پژوهش بر سیاست بهینه در قالب ترکیبی از وضع مالیات بر کربن و یارانه به تحقیقات در زمینه تکنولوژی‌های پاک، تمرکز دارد و نشان می‌دهد، تاخیر یا عدم اتخاذ سیاست بهینه توسط دولت، هم تخریب محیط‌زیستی سریع‌تر و هم رشد اقتصادی کندتر را در پی دارد.

هنریت و همکاران (۲۰۱۴) در چارچوب یک مدل CGE مبتنی بر پیشرفت فنی درون‌زا، به بررسی اثر سیاست‌هایی مانند مالیات بر کربن و یارانه به تحقیق و توسعه، در جهت کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای پرداخته‌اند. نتایج شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد که یک سیاست معین مالیات بر کربن، می‌تواند انتشار گازهای گلخانه‌ای را ۴۰ درصد کاهش دهد. یک سیاست پرداخت یارانه به تحقیق و توسعه در جهت انرژی‌اندوزی، نیز توانسته است ۶۰ درصد کاهش در انتشار گازهای گلخانه‌ای را در پی داشته باشد.

اگرچه در بین مطالعات داخلی، مقاله‌ای مبتنی بر مدل این تحقیق وجود ندارد، اما برخی مطالعات از جهت کاربرد مدل CGE، تاحدی مرتبط با پژوهش حاضر هستند. عبدلی و ورهرامی<sup>۲</sup> (۱۳۸۸) با استفاده از تابع کاب-داگلاس و داده‌های سال‌های ۱۳۶۵ تا ۱۳۸۶

<sup>۱</sup> Kronenberg

<sup>۲</sup> Abdoli & Varharami (2009)



اثر پیشرفت تکنولوژی بر صرفه جویی انرژی در بخش صنعت و کشاورزی را برآورد کرده- اند. نتایج نشان‌دهنده این است که پیشرفت تکنولوژی، نرخ شدت مصرف انرژی را در صنعت به‌طور متوسط ۱/۵۳ و نرخ شدت مصرف انرژی در بخش کشاورزی را به‌طور متوسط ۱/۳۲ درصد کاهش خواهد داد. میزان صرفه جویی در مصرف انرژی با پیشرفت تکنولوژی در بخش صنعت بیشتر بوده که دلیل آن وابسته بودن بیشتر صنعت به تکنولوژی می‌باشد و در بخش کشاورزی بخش بزرگی از صرفه جویی انرژی مربوط به جایگزینی انرژی برق به جای مصرف گازوئیل بوده است.

پژویان<sup>۱</sup> (۱۳۸۹) اثرات مالیات کربن را بر محیط زیست، رفاه مصرف‌کننده و اشتغال در چارچوب یک مدل CGE و جدول داده- ستانده ۱۳۷۸ تحلیل می‌کند. نرخ مالیات بر انرژی ۳۰ درصدی بر مصرف انرژی اعم از نهایی و واسطه‌ای اعمال شده است. نتایج شبیه- سازی نشان می‌دهد که جایگزینی سیاست مالیات کربن با کاهش مالیات بر دستمزد، به نحوی که ثبات درآمد مالیاتی دولت حفظ شود، دارای منافع اقتصادی و محیط زیستی است، به نحوی که رفاه مصرف‌کننده افزایش می‌یابد. ضمن اینکه کاهش مالیات بر دستمزد و کاهش مصرف انرژی، به افزایش اشتغال، افزایش سطح تولید و افزایش مصرف کالاها منجر شده است. نهایتاً، با فرض ارتباط خطی بین مصرف انرژی و انتشار آلاینده‌ها، کاهش مصرف انرژی میزان انتشار آلاینده‌ها را نیز کاهش داده است.

منظور و حقیقی<sup>۲</sup> (۱۳۹۰) اثر اصلاح قیمت حامل‌های انرژی بر انتشار آلاینده‌ها در ایران را در چارچوب یک مدل CGE و مبتنی بر ماتریس داده‌های خرد سال ۱۳۸۰ مورد پژوهش قرار داده‌اند. نتایج نشان می‌دهد بسته به شدت اصلاح، در کوتاه‌مدت انتشار CO<sub>2</sub> بین ۸/۹۰ تا ۱۵/۹۵ درصد، SO<sub>3</sub> بین ۱۵/۶۰ تا ۲۱/۲۵ درصد و NO<sub>x</sub> بین ۱۰/۰۵ تا ۱۴/۷۸ درصد کاهش خواهند یافت. و لذا سیاست افزایش قیمت حامل‌های انرژی خواهد توانست انتشار آلاینده‌ها در ایران را کاهش دهد.

### ۳- مدل تعادل عمومی

الگوی طراحی شده این پژوهش، یک مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر و نسبتاً مفصل است که ابتدا عجم‌اغلو، هنریت، دوهان<sup>۳</sup> و اگاکی<sup>۴</sup> (۲۰۰۲) در مطالعات خود تدوین کردند.

<sup>1</sup> Pajuian (2010)

<sup>2</sup> Manzour & Haqiqi (2011)

<sup>3</sup> Dhawan

<sup>4</sup> Ogaki

در اینجا الگویی از این مدل که توسط هنریت، مگیار<sup>۱</sup> و شوبرت<sup>۲</sup>، (۲۰۱۴) گسترش داده شده است، مدنظر است. مدل مبتنی بر سه بخش خانوار، بنگاه و دولت است و نحوه اثرگذاری وضع مالیات بر انرژی و پرداخت یارانه به تحقیق و توسعه در بخش انرژی بر بهره‌وری انرژی و افزایش اشتغال نیروی کار در قالب این الگو و مبتنی بر رفتار بهینه‌سازی خانوار و بنگاه تحلیل می‌شود. شبیه‌سازی عددی مدل برای ایران، در نرم‌افزار GAMS انجام شده است.

صورت‌بندی کلی مدل تعادل عمومی به این صورت است که در بخش مصرف الگو، یک مصرف‌کننده نماینده در نظر گرفته می‌شود که کالای انرژی هم در کنار دو دسته کالاهای بادوام و کالاهای مصرفی در سبد مصرفی‌اش وجود دارد. بین انرژی و دو نوع دیگر کالا، امکان جانشینی و لذا پارامتر کشش جانشینی وجود دارد. از سوی دیگر در بخش بنگاه، تولید کالای نهایی ناشی از ترکیب سه نهاده نیروی کار، سرمایه و انرژی است و در اینجا هم جانشینی بین نهاده‌ها وجود دارد. وضع مالیات بر انرژی در هر دو بخش، باعث افزایش قیمت انرژی می‌شود که از طریق اثرات جانشینی، و به عبارت دیگر تحت مکانیسم بهینه‌سازی سبد مصرفی و حداکثرسازی سود با ترکیب بهینه نهاده‌ها، کاهنده مصرف انرژی به‌عنوان کالای مصرفی و نهاده است. از سوی دیگر در بخش تولید، بنگاه‌های نماینده تحقیق و توسعه وجود دارد و می‌توان با پرداخت یارانه R&D، تحقیق و توسعه را در بخش انرژی، تحریک کرد که منجر به افزایش بهره‌وری انرژی و کاهش مصرف آن خواهد شد.

### ۳-۱- بخش دولت

در این مدل دولت می‌تواند اقسام مالیات را مشتمل بر مالیات انرژی وضع کرده و یا یارانه به تحقیق و توسعه بخش انرژی تخصیص دهد. دولت تمام دریافتی مالیاتی را به خانوار منتقل می‌کند.

### ۳-۲- بخش مصرف

در بخش مصرف مدل تعادل عمومی، یک مصرف‌کننده نماینده در نظر گرفته می‌شود که کالای انرژی، کالاهای بادوام و کالاهای مصرفی در سبد مصرفی‌اش وجود دارد. این تمایز اهمیت دارد چرا که هنریت و همکاران (۲۰۱۴)، معتقدند که برای کاربرد اکثر کالاهای

<sup>۱</sup> Maggiar

<sup>۲</sup> Schubert

بادوام (نظیر اتومبیل و وسایل خانگی) به مصرف انرژی نیاز است، به عبارت دیگر کالای بادوام و انرژی، مکمل یکدیگراند، اما برای کالاهای بی‌دوام (مثل لباس) این‌گونه نیست. لذا آمار مصرف تفکیکی کالاها در ایران در این پژوهش استفاده شده‌است. مطلوبیت خانوار، تابعی از مصرف کالاهای مختلف است:

$$U(C_t) = U(N_t, D_{t-1}, E_t) \quad (1)$$

$$D_t = (1 - \delta)D_{t-1} + X_t \quad (2)$$

که در آن  $N_t$ ، مصرف کالای بی‌دوام در دوره جاری،  $D_{t-1}$  ذخیره کالای بادوام دوره قبل،  $E_t$  انرژی مصرفی در دوره جاری و  $X_t$  سرمایه‌گذاری در کالاهای بادوام در دوره  $t$  است. مطلوبیت، لگاریتم مصرف در نظر گرفته می‌شود و رابطه تابعی مصرف به صورت زیر، مبتنی بر کشش جانشینی بین اجزای مصرف، مدل می‌شود:

$$U(C_t) = \ln C_t \quad (3)$$

$$C_t = [\gamma N_t^{\frac{\omega-1}{\omega}} + (1 - \gamma) Z_{h,t}^{\frac{\omega-1}{\omega}}]^{\frac{\omega}{\omega-1}} \quad (4)$$

$$Z_{h,t} = [v D_{t-1}^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} + (1 - v) (A_t^e E_{h,t})^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}}]^{\frac{\varepsilon}{\varepsilon-1}} \quad (5)$$

که در آن  $C_t$ : مصرف خانوار،  $Z_{h,t}$ : نوعی مجموع کالای بادوام با مصرف انرژی موثر،  $\gamma$ : پارامتر سهم در تابع مصرف خانوار در لایه اول،  $v$ : پارامتر سهم در تابع مصرف خانوار در لایه دوم،  $\omega$ : کشش جانشینی بین کالای بی‌دوام و مجموع کالای بادوام با انرژی،  $\varepsilon$ : کشش جانشینی بین کالای بادوام و انرژی،  $A_t^e$ : بهره‌وری انرژی،  $t$  اندیس زمان و  $h$  اندیس بخش خانوار است.

خانوار برای حداکثر کردن مطلوبیت خود با قید بودجه مواجه است که با معادله (۸) نشان داده می‌شود. سمت چپ قید بودجه، مخارج و سمت راست آن عایدی است. مخارج خانوار وابسته به قیمت کالای بی‌دوام ( $P_t^n$ )، قیمت کالای بادوام ( $P_{t-1}^d$ )، نرخ مالیات بر مصرف کالاها ( $\tau_t^c$ )، قیمت انرژی ( $P_t^e$ ) و نرخ مالیات بر انرژی بخش خانوار ( $\tau_{h,t}$ ) است و عایدی خانوار شامل درآمد نیروی کار ( $P_t^l L_t$ ) و درآمد مالیاتی کل ( $T_t$ ) است، زیرا فرض بر این است که دولت مالیات‌های دریافتی را به‌طور یکجا به خانوار بازمی‌گرداند. رابطه درآمد مالیاتی کل به صورت زیر است:

$$\tau_t^c (P_t^n N_t + P_{t-1}^d X_{t-1}) + \tau_{h,t} E_{h,t} + \tau_{f,t} E_{f,t} = T_t \quad (6)$$

حال تابع مطلوبیت به صورت بین زمانی، و با توجه به قید بودجه زیر، حداکثر می‌شود:

$$\max \sum_{t=1}^{\infty} \frac{1}{(1+\mu)^t} U(C_t) \quad (7)$$

$$\text{s.t.} \sum_{t=1}^{\infty} \frac{(1+\tau_t^c)(P_t^n N_t + P_{t-1}^d X_{t-1}) + (P_t^e + \tau_{h,t}) E_{h,t}}{\prod_{s=1}^t (1+r_s)} = \sum_{t=1}^{\infty} \frac{P_t^l L_t + T_t}{\prod_{s=1}^t (1+r_s)} \quad (8)$$

$\mu$  نرخ تنزیل و  $r$  نرخ بهره است. نرخ تنزیل از مطالعه شاهمرادی<sup>۱</sup> (۱۳۸۹) استخراج شده و نرخ بهره نیز در این پژوهش نرخ سود بانکی در نظر گرفته شده است. برای رسیدن به تعادل بهینه و درک بهتر ارتباط بین انرژی و متغیرهای موجود در مدل باید شرایط مرتبه اول<sup>۲</sup> برقرار شود. برای برقراری شرایط مرتبه اول، با توجه به روابط (۷) و (۸)، ابتدا تابع لاگرانژ تشکیل و سپس نسبت به کالای بی‌دوام ( $N_t$ )، کالای بادوام ( $D_{t-1}$ ) و انرژی ( $E_{h,t}$ ) مشتق گرفته شده است (هنریت، مگیار و شوبرت، ۲۰۱۴).

$$\frac{1}{1+\mu} \left( \frac{N_t}{N_{t+1}} \right)^{\frac{1}{\omega}} \left( \frac{C_t}{C_{t+1}} \right)^{\frac{\omega-1}{\omega}} = \frac{1+\pi_{t+1}^n}{1+r_{t+1}} \quad (9)$$

با توجه به اینکه  $\pi_{t+1}^n = \frac{(1+\tau_{t+1}^c)P_{t+1}^n}{(1+\tau_t^c)P_t^n} - 1$ ، نهایتاً داریم:

$$\frac{1-v}{v} \frac{D_t}{E_{h,t+1}} \left( \frac{A_{t+1}^e E_{h,t+1}}{D_t} \right)^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} = \frac{P_{t+1}^e + \tau_{h,t+1}}{(1+\tau_t^c)P_t^d} \quad (10)$$

$$\frac{(1-\gamma)(1-v)}{\gamma} \frac{N_t}{E_{h,t}} \left( \frac{Z_{h,t}}{N_t} \right)^{\frac{\omega-1}{\omega}} \left( \frac{A_t^e E_{h,t}}{Z_{h,t}} \right)^{\frac{\varepsilon-1}{\varepsilon}} = \frac{P_t^e + \tau_{h,t}}{(1+\tau_t^c)P_t^n} \quad (11)$$

روابط (۹)، (۱۰) و (۱۱)، شروط مرتبه اول بهینه‌سازی سید مصرف است که در کنار رابطه (۲)، مقادیر مصرف و اجزای سه‌گانه آن را برای هر دوره زمانی نشان می‌دهند. تاثیر نرخ مالیات بر انرژی  $\tau_{h,t}$ ، از طریق روابط (۱۰) و (۱۱) بر  $E_{h,t}$ ، انرژی مصرفی بخش خانوار و سایر اجزای مصرف منعکس می‌شود و با داشتن سایر پارامترها، مسیر مصرف و اجزای سه‌گانه آن، در طول زمان استخراج می‌شود.

### ۳-۳- بخش تولید

در بخش تولید الگو، دو نوع بنگاه نماینده وجود دارد، بنگاه نوع اول، تولیدکننده کالای نهایی و بنگاه نوع دوم، بنگاه تحقیق و توسعه است و طبعاً بنگاه‌ها، حداکثرکننده سود هستند. بنگاه تولیدکننده کالای نهایی با استفاده از نهاده‌های تولید شامل نیروی کار، سرمایه و انرژی، کالاهای نهایی تولید می‌کند که می‌تواند مصرف یا به‌عنوان سرمایه،

<sup>1</sup> Shahmoradi (2010)

<sup>2</sup> First order condition

انباشت شوند. نهاده‌ها، تا حدی قابلیت جانشینی دارند که در قالب کشش‌های جانشینی، منعکس می‌شود. در مدل این مطالعه، انرژی و سرمایه تا حدی مکمل یکدیگر هستند. مقدار دریافتی هر عامل تولید در جدول<sup>۱</sup> MCM تعیین شده است. چنانکه می‌دانیم ماتریس داده‌های خرد، ارتباط فیما بین بازیگران اقتصاد را در قالب بازارها و گروه‌های کالایی نشان می‌دهد. ارقام جدول به صورت مقادیر ارزش عرضه و تقاضا قابل تفسیر هستند، و هر سطر ارزش عرضه و تقاضای یک گروه کالایی توسط عامل‌های مختلف را نشان می‌دهد. هر ستون نیز، ناظر به یکی از کارگزاران اقتصاد اعم از مصرف‌کنندگان، بخش‌های تولیدی و دولت است، که تبادلات کالایی کارگزار در ستون منعکس است. تسویه و تعادل ترازنامه‌ای هم در سطر و هم در ستون برقرار است.

در مدل، علاوه بر بنگاه تولیدکننده کالای نهایی، بنگاه ارائه‌دهنده انرژی موثر<sup>۲</sup> و بنگاه ارائه‌دهنده نیروی کار موثر<sup>۳</sup> نیز وجود دارد. منظور از بنگاه ارائه‌دهنده انرژی موثر، بنگاهی است که با سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه‌ی بخش انرژی با هدف کاهش مصرف انرژی، دستگاه‌ها و ماشین‌افزارهایی با بهره‌وری بالا در انرژی‌اندوزی تولید کرده و خدمات خود را در اختیار بنگاه تولیدکننده کالای نهایی قرار می‌دهد و از این طریق به بهبود بهره‌وری انرژی کمک می‌کند. منظور از بنگاه‌های ارائه‌دهنده نیروی کار موثر، نیز بنگاهی است که نیروی کار با بهره‌وری بالا در اختیار بنگاه تولیدکننده کالای نهایی قرار می‌دهد. هر دو نوع بنگاه دارای تابع سود و به دنبال حداکثر کردن سود هستند که در ادامه ارائه شده است.

نهایتاً در هر زمانی کالای نهایی (Y) با استفاده از موجودی سرمایه (K)، نیروی کار موثر یا بهره‌ور (Y<sub>L</sub>) و انرژی بهره‌ور (Y<sub>E</sub>) تولید می‌شود. به دلیل اینکه کشش جانشینی بین نیروی کار بهره‌ور و مجموع سرمایه با انرژی بهره‌ور برابر بود، در نتیجه از نوشتن آنها در دو لایه جداگانه در مدل پرهیز شده است. بنابراین، می‌توان تابع تولید را به شکل زیر نوشت:

$$Y = \left[ \alpha Y_{L,t}^{\frac{\rho-1}{\rho}} + (1-\alpha) \left( \beta K_{t-1}^{\frac{\rho-1}{\rho}} + (1-\beta) Y_{E,t}^{\frac{\rho-1}{\rho}} \right) \right]^{\frac{\rho}{\rho-1}} \quad (12)$$

$$K_t = (1 - \delta_k) K_{t-1} + I_t \quad (13)$$

<sup>1</sup> Micro Consistent Matrix

<sup>2</sup> Effective Energy

<sup>3</sup> Effective Labor

$$Y_{E,t} = A_t^e E_{f,t} \quad (14)$$

$$Y_{L,t} = A_t^l L_t \quad (15)$$

که در آن  $\alpha$  و  $\beta$  پارامتر سهم و  $\rho$  پارامتر کشش جانشینی و  $\delta_k$  نرخ استهلاک است. بهره‌وری انرژی با  $A_t^e$  و بهره‌وری نیروی کار با  $A_t^l$  نشان داده شده است و  $E_{f,t}$ ، انرژی مصرفی به عنوان نهاده تولید را نشان می‌دهد. با نوشتن مساله حداکثرسازی سود برای بنگاه تولیدکننده کالای نهایی، نظیر آنچه در بالا برای مصرف کننده، انجام شد، به شرایط مرتبه اول زیر می‌رسیم که مسیر زمانی تولید و نهاده‌ها را نشان می‌دهد (هنریت و همکاران، ۲۰۱۴).

$$\alpha(A_t^l)^{\rho-1} \left(\frac{Y_t}{L_t}\right) = \frac{P_t^l}{P_t^y} \quad (16)$$

$$\alpha(1-\alpha) \left( \frac{Y_t}{\left( \frac{\beta K_{t-1}^\rho + (1-\beta)(A_t^e E_{f,t})^{\rho-1}}{\rho} \right)^{\frac{1}{\rho}}} \right) (1 - \quad (17)$$

$$\beta)(A_t^e)^{\frac{\sigma-1}{\sigma}} \left( \frac{\left( \frac{\beta K_{t-1}^\rho + (1-\beta)(A_t^e E_{f,t})^{\rho-1}}{\rho} \right)^{\frac{1}{\rho}}}{E_{f,t}} \right)^{\frac{1}{\sigma}} = \frac{P_t^e + \tau_{f,t}}{P_t^y}$$

$$(1-\alpha) \left( \frac{Y_t}{\left( \frac{\beta K_{t-1}^\rho + (1-\beta)(A_t^e E_{f,t})^{\rho-1}}{\rho} \right)^{\frac{1}{\rho}}} \right) \beta \left( \frac{\left( \frac{\beta K_{t-1}^\rho + (1-\beta)(A_t^e E_{f,t})^{\rho-1}}{\rho} \right)^{\frac{1}{\rho}}}{K_{t-1}} \right)^{\frac{1}{\sigma}} = \quad (18)$$

$$\frac{P_t^k}{P_t^y}$$

چنانکه مشخص است با داشتن پارامترها، تولید و اجزای نهاده‌ای آن منجمله مصرف نهاده انرژی در بنگاه نماینده، از معادلات بالا در طول زمان به دست می‌آید. تاثیر مالیات بر انرژی  $\tau_{f,t}$ ، هم از طریق رابطه (۱۷) قابل ملاحظه است. این روابط نظیر روابط (۹) تا (۱۱) بخش مصرف هستند. با این وجود به جز پارامترها، چند مجهول دیگر هم در روابط بالا وجود دارد، که مشتمل بر مسیر زمانی قیمت‌های  $P_t^e$  و  $P_t^l$  و مسیر زمانی ضرایب بهره‌وری نهاده‌ها تعریف شده در روابط (۱۴) و (۱۵)، یعنی  $A_t^e$  و  $A_t^l$  است. مسیر زمانی این متغیرها نیز ابتدا باید استخراج و محاسبه شود که در ادامه نحوه محاسبه روند  $A_t^e$  و  $A_t^l$ ، تشریح می‌شود و نحوه استخراج قیمت‌های  $P_t^e$  و  $P_t^l$ ، مختصراً در ضمیمه توضیح داده شده است.

چنانکه گفته شد، فعالیت بنگاه تحقیق و توسعه انرژی، منجر به پیشرفت تکنیکی می‌شود که پیشرفت تکنیکی از طریق افزایش بهره‌وری انرژی بر کاهش مصرف انرژی اثر می‌گذارد.

پیشرفت تکنیکی منجر به افزایش بهره‌وری مصرف انرژی‌های فسیلی می‌شود که از یک سو مصرف انرژی‌های فسیلی را کاهش می‌دهد و از سوی دیگر می‌تواند منجر به افزایش تقاضای نیروی کار شود، چرا که کاهش تقاضای یک عامل تولید، می‌تواند از طریق کشش جانشینی منجر به افزایش تقاضای سایر عوامل تولید شود.

با توجه به اینکه پیشرفت تکنیکی منجر به افزایش بهره‌وری می‌شود و از طریق افزایش بهره‌وری بر کاهش مصرف انرژی و افزایش تقاضای نیروی کار اثر می‌گذارد، پس بهره‌وری تابعی از نرخ پیشرفت تکنیکی هدایت شده است و نرخ پیشرفت تکنیکی در هر بخش به صورت زیر قابل تبیین است (هنریت و همکاران، ۲۰۱۴).

$$g_t^{ae} = \gamma_E \eta_E sh_{t-1} \quad (19)$$

$$g_t^{al} = \gamma_L \eta_L (1 - sh_{t-1}) \quad (20)$$

که در آن  $g^{ae}$  و  $g^{al}$  به ترتیب نرخ پیشرفت تکنیکی نیروی کار و نرخ پیشرفت تکنیکی بخش انرژی است که مرتبط با پارامترهای،  $\gamma_L$  شاخص نوآوری در بخش نیروی کار،  $\gamma_E$  شاخص نوآوری در بخش انرژی،  $\eta_L$  احتمال موفقیت در بخش تحقیقات نیروی کار،  $\eta_E$  احتمال موفقیت در بخش تحقیقات انرژی و  $sh$  سهم تحقیق و توسعه در بخش انرژی است که از جدول MCM استخراج می‌شود. نهایتاً بر این اساس، ضرایب بهره‌وری بخش انرژی و نیروی کار به صورت زیر به دست می‌آید.

$$A_t^l = (1 + \gamma_L \eta_L (1 - sh_{t-1})) A_{t-1}^l \quad (21)$$

$$A_t^e = (1 + \gamma_E \eta_E sh_{t-1}) A_{t-1}^e \quad (22)$$

و بنابراین نهایتاً ضرایب بهره‌وری هر بخش، با نرخ رشد می‌کند که متناسب با سهم هزینه‌های تحقیق و توسعه در آن بخش است. تمامی روابطی که تاکنون ارائه شد، برای معرفی متغیرها و تأثیر آنها بر یکدیگر بود. در واقع، انجام شبیه‌سازی‌های عددی در بلندمدت ممکن است که اقتصاد در مسیر رشد پایدار قرار گیرد. برای این منظور، مدل باید با متغیرهای پایا نوشته شود، یعنی متغیرهای موجود در مدل باید بر نیروی کار مؤثر  $(L_t A_t^l)$  تقسیم شوند تا معرف حالت پایدار باشند، لذا متغیرهای جدیدی معرفی می‌شوند که تحت عنوان متغیرهای شدتی<sup>۱</sup> مطابق مطالعه هنریت و همکاران (۲۰۱۴)، شناخته می‌شوند و برای اجرای مدل در محیط GAMS هم به کار می‌روند. برای به دست آوردن متغیرهای شدتی، تمامی متغیرهای موجود در مدل با نیروی کار مؤثر، تعدیل و تقسیم

<sup>۱</sup> Intensive Variables

شده‌اند. برای مثال،  $n_t = N_t/L_t A_t^1$  و  $p_t^1 = P_t^1/L_t A_t^1$  و بقیه متغیرها نیز بر  $L_t A_t^1$  تقسیم می‌شوند.

#### ۴- نتایج پژوهش

بازه زمانی اجرای مدل پژوهش، بازه زمانی ۱۵ ساله از سال ۱۳۹۰ تا سال ۱۴۰۵ در نظر گرفته شده است. در واقع نتایج اجرای هر سناریوی سیاستی، در صورتی که سیاست طی بازه ۱۵ ساله مفروض اجرا و تداوم یابد، مورد شبیه‌سازی و مقایسه قرار گرفته است. با تعیین پارامترهای الگوی هنریت و همکاران (۲۰۱۴)، مشتمل بر مقدار پارامترهای سهمی از یکسو و پارامترهای کشش جانشینی<sup>۱</sup> از سوی دیگر، برای هر سناریوی سیاستی شامل وضع مالیات بر انرژی و پرداخت یارانه تحقیق و توسعه، الگو با استفاده از نرم‌افزار GAMS، اجرا و نتایج ناشی از شبیه‌سازی ارائه و مقایسه خواهد شد. مقدار پارامترهای سهمی مستقیماً از ماتریس داده‌های خرد (MCM) مبتنی بر آخرین جدول داده-ستانده مربوط به سال ۱۳۹۰ استخراج شده‌اند. باید توجه داشت، چون هدف صرفاً مقایسه دو سیاست است، سال پایه اهمیتی در این خصوص ندارد. برای پارامترهای کشش جانشینی در این مقاله نیز، از مقادیر تخمینی در مطالعه شاهمرادی و همکاران (۱۳۸۹) استفاده شده است، که در جدول ۱ منعکس شده‌اند.

#### جدول (۱): مقادیر کشش‌های جانشینی در مدل تعادل عمومی محاسبه‌پذیر

مقدار	کشش‌های جانشینی
۱	کشش جانشینی بین کالای بی‌دوام و مجموع کالای بادوام با مصرف انرژی (W)
۰/۸	کشش جانشینی بین کالای بادوام و انرژی (E)
۰/۵	کشش جانشینی بین نیروی کار و مجموع سرمایه با انرژی (P)
۰/۵	کشش جانشینی بین سرمایه و انرژی (O)
۰/۳	کشش نهاده‌ای در تابع کاب-داگلاس (A)

منبع: شاهمرادی و دیگران (۱۳۸۸)

پیشرفت فنی در هر بخش، تابعی از سهم تحقیقات آن بخش و شاخص نوآوری است. شاخص نوآوری کشور از داده‌های گزارش شاخص جهانی نوآوری<sup>۲</sup>، به صورت رشد میانگین سالانه برابر ۱/۸ درصد استخراج شد. با استفاده از ماتریس داده‌های خرد و سهم تحقیق و توسعه بخش انرژی در آن و با فرض ثبات این سهم، نرخ پیشرفت فنی در بخش انرژی

<sup>۱</sup> Elasticity of Substitution

<sup>۲</sup> Global Innovation Index



(g<sup>ae</sup>) برابر ۰/۱۵۷ درصد و نرخ پیشرفت فنی در بخش نیروی کار (g<sup>al</sup>) برابر ۱/۱ درصد محاسبه شد. نهایتاً در این الگو، اصولاً فرض ثبات موجودی سرمایه در نظر گرفته می‌شود که چون هدف صرفاً مقایسه سیاستی است، تأثیری در تحلیل مقایسه‌ای ندارد.

#### ۴-۱- سیاست مالیات بر انرژی

یک گزینه سیاستی مطرح در این مقاله، سیاست مالیات بر انرژی است. در این سناریوی سیاستی، مالیات بر انرژی با نرخ‌های متفاوت ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۴۰٪ و ۵۰٪ اعمال شده و در مدل در نظر گرفته شده است. برای اعتبارسنجی مدل، الگو از لحاظ همگرایی بررسی شد. اجرای الگو با داده‌های حدی و عدم واگرایی نتایج، دلالت بر همگرایی الگو دارد. طبعاً سیاست مالیات بر انرژی بر نرخ پیشرفت تکنیکی انرژی و نیروی کار مورد اشاره در بخش قبل، تأثیری ندارد و با اثر مستقیم بر مصرف انرژی در بخش تولید و مصرف، منجر به کاهش مصرف انرژی در طول زمان خواهد شد. در واقع مالیات بر انرژی، عملاً قیمت انرژی را افزایش می‌دهد. افزایش قیمت انرژی نیز منجر به کاهش مصرف انرژی خواهد شد. بنابراین، نتایج به دست آمده در این بخش با نرخ پیشرفت تکنیکی ۰/۱۵۷ درصد است. نتایج در جدول ۲ گزارش شده است.

طبق نتایج به دست آمده در سیاست مالیات بر انرژی، کاهش متغیر شدتی مصرف انرژی، حداکثر ۴۴/۶۲ درصد است و همزمان متغیر شدتی نیروی کار می‌تواند تا حداکثر ۲۰/۲۶ درصد بهبود یابد. بهره‌وری انرژی نیز حداکثر ۶۹/۳۷ درصد بهبود خواهد یافت. البته برقراری چنین نرخ مالیاتی در عمل دشوار است و پیامدهای منفی نیز به دنبال خواهد داشت، چنانکه متغیر شدتی تولید کاهش یافته است.

## جدول (۲): درصد تغییر در متغیرهای شدتی مدل در سیاست مالیات بر انرژی

نرخ مالیات بر انرژی فسیلی	۰	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۴۰	٪۵۰
مصرف شدتی -	-۲۶/۰۲	-۲۸/۹۶	-۳۱/۹۵	-۳۵/۰۲	-۳۸/۱۵	-۴۴/۶۲
انرژی ( $E_t/L_tA_t$ )	+۱۲/۲۶	+۱۳/۵۶	+۱۴/۸۷	+۱۶/۲۰	+۱۷/۵۴	+۲۰/۲۶
نیروی کار	-۲/۷	-۳/۹	-۴/۴	-۴/۸	-۵/۳	-۶/۲
تولید شدتی ( $Y_t/L_tA_t$ )	+۳۱/۵۲	+۳۵/۲۷	+۴۰/۴۸	+۴۶/۴۶	+۵۲/۷۴	+۶۹/۳۷
بهره‌وری انرژی (غیر شدتی)						

منبع: محاسبات تحقیق با استفاده از نرم‌افزار GAMS

## ۴-۲- سیاست یارانه R&amp;D

در سیاست پرداخت یارانه به تحقیق و توسعه در بخش انرژی، بخشی از هزینه تحقیق و توسعه بنگاه نماینده در مدل تعادل عمومی توسط دولت تقبل می‌شود. سیاست پرداخت یارانه به بنگاه برای تحقیق و توسعه در بخش انرژی با نرخ‌های متفاوت از ۱۰٪، تا ۵۰٪ در نظر گرفته شده و مدل اجرا شده است. نتایج حاصل در جدول ۳ گزارش شده است. مجدداً متغیرها، عمدتاً شدتی هستند. چنانکه ملاحظه می‌شود اثر سیاست یارانه R&D، حتی با نرخ ۱۰ درصد، قوی و قابل توجه است. به نحوی که بهره‌وری انرژی را در افق ۱۵ ساله به اندازه ۴۱/۸۷ درصد بهبود می‌بخشد که حتی قوی‌تر از یک سیاست مالیاتی ۲۰ درصدی است.

## جدول (۳): اثر سیاست تقبل هزینه‌های تحقیق و توسعه با پرداخت یارانه

درصد یارانه به تحقیقات بخش انرژی	۰	٪۱۰	٪۲۰	٪۳۰	٪۴۰	٪۵۰
مصرف شدتی انرژی ( $E_t/L_tA_t$ )	-۲۶/۰۲	-۳۱/۸۹	-۳۸	-۴۱/۱۱	-۴۴/۲۸	-۵۰/۸۷
نیروی کار شاغل	+۱۲/۲۶	+۱۴/۸۴	+۱۷/۴۷	+۱۸/۷۹	+۲۰/۱۱	+۲۲/۸۳
تولید شدتی ( $Y_t/L_tA_t$ )	-۲/۷	-۳/۳۷	-۴/۰۹	-۴/۴۵	-۴/۸۳	-۵/۰۶
نرخ پیشرفت فنی انرژی	+۰/۱۵۷	+۰/۲۰۸	+۰/۲۶۵	+۰/۳۰۷	+۰/۳۵۳	+۰/۴۲۵
بهره‌وری انرژی (غیر شدتی)	+۳۱/۵۲	+۴۱/۸۷	+۵۴/۶۹	+۶۲/۲۵	+۷۰/۸۰	+۹۳/۲۴

منبع: محاسبات تحقیق با استفاده از نرم‌افزار GAMS

چنانکه مشاهده می‌شود، با تخصیص یارانه R&D، نرخ پیشرفت فنی در بخش انرژی در حال افزایش است که با افزایش نرخ پیشرفت فنی انرژی، نهایتاً میزان مصرف انرژی کاهش و بهره‌وری انرژی افزایش خواهد داشت. به‌طور کلی یک سیاست ملایم پرداخت یارانه به

تحقیق و توسعه، اثر قابل توجهی در بهبود بهره‌وری انرژی دارد، به نحوی که اثر سیاست یارانه‌ای ۲۰ درصدی از اثر سیاست مالیاتی ۴۰ درصدی قوی‌تر است و به‌طور کلی اثر سیاست یارانه، قوی‌تر از سیاست مالیاتی است.

### ۵- نتیجه‌گیری

این مطالعه در صدد تحلیل آثار و مقایسه دو راهکار مالیات بر انرژی و یارانه تحقیق و توسعه در بخش انرژی، در جهت هدف بهبود بهره‌وری انرژی بخصوص از طریق پیشرفت تکنیکی هدایت شده است. همچنین مطالعه به تحلیل اثر دو سیاست بر اشتغال نیروی کار نیز می‌پردازد. برای این منظور از مدل هنریت، مگیار و شوبرت (۲۰۱۴) که یک مدل تعادل عمومی است، استفاده شده است. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که اگر چه راهکار مالیاتی نیز قادر است در بهبود بهره‌وری انرژی تا حدی موثر واقع شود، هدایت پیشرفت تکنیکی به سمت بخش انرژی، از طریق یارانه تحقیق و توسعه، راهکاری مؤثرتر در بهبود بهره‌وری انرژی و کاهش مصرف آن است. در صورت اجرای سیاست یارانه به R&D در بخش انرژی با نرخ ملایم ۲۰ درصد، بهبود بهره‌وری انرژی تا ۵۴/۶۹ درصد رخ خواهد داد. بهبودی در این سطح در بهره‌وری انرژی، نیاز به سیاست مالیات بر انرژی با نرخ نسبتاً شدید ۴۰ درصدی دارد. بر این اساس استفاده از هدایت و تحریک پیشرفت فنی در بخش انرژی، راهکاری مناسب برای بهبود بلندمدت بهره‌وری انرژی به نظر می‌رسد. همچنین افزایش بهره‌وری انرژی به افزایش تقاضای سایر عوامل تولید از جمله نیروی کار نیز منجر می‌شود. مالیات بر انرژی در بلندمدت، نه تنها اثر منفی بر اشتغال نشان نمی‌دهد، بلکه می‌تواند بنگاه‌ها را به سمت تمرکز بر کاهش شدت انرژی و استفاده بیشتر از نهاده نیروی کار در چارچوب کشش جانشینی محدود بین نهاده‌ها سوق دهد. بهبود بهره‌وری انرژی در اثر سیاست پرداخت یارانه نیز اثر مشابهی را نشان می‌دهد.

بالاخره نرخ پیشرفت فنی در بخش انرژی ایران، که فعلاً بسیار محدود و حدود ۰/۱۵ درصد است، در اثر مالیات بر انرژی تغییری نمی‌کند، اما می‌تواند با سیاست یارانه تحقیق و توسعه در بخش انرژی، به ۰/۴۲ درصد ارتقاء یابد که افزایشی ۱۷۰ درصدی را نشان می‌دهد. هر چند این نرخ پیشرفت فنی اندک است، اما در بلندمدت تاثیر قابل توجهی بر بهبود بهره‌وری انرژی، خواهد داشت. نهایتاً با توجه به شدت بالای انرژی در ایران و نتایج شبیه‌سازی مدل، استفاده از هر دو سیاست از کارایی نسبی و معینی برخوردار است.

**ضمیمه:**

در این ضمیمه مختصراً با تصریح توابع سود بنگاه‌های تحقیق و توسعه، نحوه استخراج قیمت‌های  $P_t^l$  و  $P_t^e$ ، مدل می‌شود. توابع تولید بنگاه‌های تحقیق و توسعه ارائه‌دهنده انرژی بهره‌ور و ارائه‌دهنده نیروی کار بهره‌ور در مدل در قالب تابع تولید کاب-داگلاس معرفی شده است:

$$Y_L = L^{1-\lambda} \int_0^1 (A_j^l)^{1-\lambda} (x_j^l)^\lambda dj \quad (1)$$

$$Y_E = E_f^{1-\lambda} \int_0^1 (A_j^e)^{1-\lambda} (x_j^e)^\lambda dj \quad (2)$$

که در آن  $L$ : نیروی کار ساده،  $A_j^l$ : بهره‌وری نیروی کار،  $x_j^l$ : نهاده واسطه‌ای که در بهره‌ور شدن نیروی کار مؤثر است،  $E$ : انرژی اولیه،  $A_j^e$ : بهره‌وری انرژی،  $x_j^e$ : نهاده واسطه‌ای که در بهره‌ور شدن انرژی مؤثر است و  $\lambda$ : کشش نهاده‌ای در توابع انرژی بهره‌ور و نیروی کار بهره‌ور است. این روابط در ادامه، ساده‌تر خواهد شد.

قیمت انرژی بهره‌ور،  $P_t^e$  و نیروی کار بهره‌ور،  $P_t^l$  در تصمیم‌گیری بنگاه تولیدکننده کالای نهایی برای انتخاب مقدار تولید و نهاده‌ها، تاثیرگذار است. برای به دست آوردن این قیمت‌ها، تابع سود برای دو بنگاه تصریح و نسبت به قیمت انرژی بهره‌ور و قیمت نیروی کار بهره‌ور از آن‌ها مشتق‌گیری می‌شود. همچنین، می‌توان از تابع سود نسبت به نهاده واسطه، مشتق گرفت تا میزان نهاده واسطه‌ای نیروی کار بهره‌ور و نهاده واسطه‌ای انرژی بهره‌ور به دست آید. تابع سود برای بنگاه ارائه‌دهنده نیروی کار موثر عبارت است از:

$$\max P^{Y_L} L^{1-\lambda} \int_0^1 (A_j^l)^{1-\lambda} (x_j^l)^\lambda dj - P^l L - \int_0^1 P_j^l x_j^l dj \quad (3)$$

سپس، نسبت به  $x_j^l$  و نسبت به  $L$  مشتق‌گیری می‌شود:

$$x_j^l = \left( \frac{\lambda P^{Y_L}}{P_j^l} \right)^{\frac{1}{1-\lambda}} A_j^l L \quad (4)$$

$$P^{Y_L} = \frac{1}{Y_L^{1-\lambda}} P^l L \quad (5)$$

برای بخش انرژی نیز تابع سودی مشابه تابع ۳، تشکیل داده و سپس نسبت به  $x_j^e$  و نسبت به  $E$  مشتق گرفته می‌شود:

$$x_j^e = \left( \frac{\lambda P^{Y_E}}{P_j^e} \right)^{\frac{1}{1-\lambda}} A_j^l E_f \quad (6)$$

$$P^{Y_E} = \frac{1}{Y_E^{1-\lambda}} P^e E_f \quad (7)$$

در مدل، بنگاه‌هایی که نهاده‌های واسطه‌ای را عرضه می‌کنند، در شرایط رقابت انحصاری عمل می‌کنند و تولید یک واحد از نهاده واسطه‌ای، هزینه‌ای برابر با  $C$  واحد از کالای نهایی دارد. قیمت نهاده‌های واسطه‌ای نیز در تصمیمات بنگاه‌های ارائه‌دهنده‌ی انرژی و نیروی کار بهره‌ور، مؤثر است. در زیر ابتدا قیمت نهاده واسطه‌ای برای بخش نیروی کار به دست می‌آید و سپس مراحل برای بخش انرژی نیز تکرار خواهد شد. با در نظر داشتن تابع سود بنگاه عرضه کننده‌ی نهاده‌ی واسطه‌ای که به صورت رابطه ۸ است. با برقراری شرایط مرتبه اول می‌توان قیمت نهاده‌های واسطه‌ای را به دست آورد.

$$\max \Pi_j^L = (P_j^L - c)x_j^L \quad (8)$$

با جایگذاری رابطه ۴ در رابطه ۸ و مشتق‌گیری نسبت به  $P_j^L$ ، قیمت نهاده واسطه‌ای نیروی کار بهره‌ور به دست می‌آید.

$$P_j^L = \frac{c}{\lambda} \quad (9)$$

آنگاه رابطه  $x_j^L$  و  $\Pi_j^L$  را به شکل زیر نیز می‌توان بازنویسی کرد:

$$x_j^L = \left(\frac{\lambda^2 P^Y L}{c}\right)^{\frac{1}{1-\lambda}} A_j^L L \quad (10)$$

$$\Pi_j^L = \frac{1-\lambda}{\lambda} c \left(\frac{\lambda^2 P^Y L}{c}\right)^{\frac{1}{1-\lambda}} A_j^L L \quad (11)$$

حال برای به دست آوردن میزان تولید بنگاه ارائه‌دهنده خدمات نیروی کار بهره‌ور می‌توان رابطه ۱۰ را در ۱ جایگذاری کرد:

$$Y_L = \left(\frac{\lambda^2 P^Y L}{c}\right)^{\frac{\lambda}{1-\lambda}} A^L L \quad (12)$$

توضیح اینکه برای ساده شدن روابط عبارت  $\int_0^1 A_j^L dj$  برابر با  $A^L$  قرار داده شده است. همچنین، با توجه به رابطه ۵ و جایگذاری رابطه ۱۲ در آن، قیمت نیروی کار بهره‌ور را هم می‌توان به شکل زیر بازنویسی کرد:

$$P^Y L = \frac{1}{(1-\lambda)^{1-\lambda} \lambda^{2\lambda}} \left(\frac{P^L}{A^L}\right)^{1-\lambda} c^\lambda \quad (13)$$

تمام روابط بخش انرژی نیز همانند بخش نیروی کار است، با این تفاوت که در این بخش یارانه بر تحقیقات بخش انرژی ( $T^E$ ) هم وجود دارد که این یارانه به تحقیقات نهاده واسطه‌ای بخش انرژی داده می‌شود و مجبر به روابط مشابه زیر می‌شود.

$$P_j^E = \frac{c}{\lambda} \quad (14)$$

$$Y_E = \left(\frac{\lambda^2 P^Y E}{c}\right)^{\frac{\lambda}{1-\lambda}} A^E E_f \quad (15)$$

$$P^{YE} = \frac{1}{(1-\lambda)^{1-\lambda} \lambda^{2\lambda}} \left( \frac{P^e + \tau_f}{A^e} \right)^{1-\lambda} c^\lambda \quad (16)$$

یارانه به تحقیقات بخش انرژی نیز در رابطه سود بنگاه، به صورت زیر ظاهر می‌شود:

$$\pi_j^e = (1 + \tau^r) \frac{1-\lambda}{\lambda} c \left( \frac{\lambda^2 P^{YE}}{c} \right)^{\frac{1}{1-\lambda}} A_j^e E_f \quad (17)$$

نهایتاً قیمت‌های استخراج شده، در روابط (۱۶) تا (۱۸) داخل متن مقاله، به کار می‌رود (هنریت و همکاران، ۲۰۱۴).



## فهرست منابع

۱. آماده، حمید، و غفاری، علیرضا (۱۳۹۳). تحلیل اثرات محیط زیستی و رفاهی اصلاح یارانه حامل‌های انرژی. *فصلنامه پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران*، ۴(۱۳)، ۳۳-۶۲.
۲. پژویان، جمشید، و معین‌نعمتی، حسن (۱۳۸۹). بررسی اثرات اقتصادی مالیات کربن بر اساس مدل تعادل عمومی (CGE). *فصلنامه اقتصاد کاربردی*، ۱(۱)، ۱-۳۱.
۳. ترازنامه انرژی (۱۳۹۴). وزارت نیرو، دفتر برنامه ریزی کلان برق و انرژی، ایران.
۴. شاهمرادی، اصغر، و حقیقی، ایمان، و زاهدی، راضیه، و آقابابائی، محمدابراهیم (۱۳۸۸). تحلیل تاثیر سیاست‌های قیمتی در بخش‌های اقتصادی (با تمرکز بر آب و انرژی): رویکرد تعادل عمومی محاسبه‌پذیر. *گزارش نهایی طرح تحقیقاتی وزارت نیرو*، ایران.
۵. عبدلی، قهرمان، و ورهرامی، ویدا (۱۳۸۸). بررسی اثر پیشرفت تکنولوژی بر صرفه جویی مصرف انرژی در بخش صنعت و کشاورزی با استفاده از تابع کاب داگلاس. *فصلنامه اقتصاد انرژی*، ۶(۲۳)، ۲۳-۴۱.
۶. منظور، داوود، و حقیقی، ایمان (۱۳۹۰). آثار اصلاح قیمت‌های انرژی بر انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی در ایران؛ مدل‌سازی تعادل عمومی محاسبه‌پذیر. *مجله محیط شناسی*، ۳۷(۶۰)، ۱-۱۲.
1. Abdoli, G., & Varharami, V. (2009). The effect of technological advances on energy conservation in the industrial and agricultural sector using the Cobb Douglas function. *Journal of Energy Economics*, 6 (23), 23-41 (In Persian).
2. Acemoglu, D. (1998). Why do new technologies complement skills? Directed technical change and wage inequality. *Quarterly Journal of Economics*, 113(4), 1055-1090.
3. Acemoglu, D. (2003). Labor and capital-augmenting technical change. *NBER Working Paper*, 1(1), 1-37.
4. Antimiani, A., & Costantini, V., & Paglialunga, E. (2015). The sensitivity of climate-economy CGE models to energy-related elasticity parameters: Implications for climate policy design. *Economic Modelling*, 51, 38-52.
5. Amadeh, H., & Ghaffari, A. (2014). Environmental and welfare impact analysis of subsidies for energy carriers. *Energy Economics Journal*, 4 (13), 33-62 (In Persian)
6. Anton, A., & Hernandez, F. (2014). Optimal gasoline tax in developing, oil-producing countries. *Energy Policy*, 67, 564-571.
7. Ayres, R., & Nair, I. (1984). Thermodynamics and economics. *Physics Today*, 37(11), 62-71.
8. Barro, R., & Sala-i-Martin, X. (2004). *Economic Growth*, Cambridge, Massachusetts: The MIT Press
9. Blanchard, O. (1997). The Medium run, *Brookings Papers on Economic Activity*, 37(1) 89-158.
10. Chambers, R. (1988). Technical change and its measurement. *Handbook of Applied Production Analysis*, Chapter 6, 203-249.

11. Dhawan, R., & Jeske, k. (2008). Energy price shocks and the macroeconomy: The role of consumer durables. *Journal of Money, Credit and Banking*, 1357–1377.
12. Grossman, G., & Helpman, E. (1991). *Innovation and growth in the global economy*, Cambridge, MA: MIT Press.
13. Gunther, J., & Brautzsch, H. (2015). Can R&D subsidies counteract the economic crisis? Macroeconomic effects in Germany. *Research Policy*, 44, 623–633.
14. Henriet, F., & Maggiar, N., & Schubert, K. (2014). A Stylized applied energy-economy model for France. *Energy Journal*, 35(4), 35-72.
15. Jones, C. (1995). R&D-based models of economic growth. *Journal of Political Economy*, 103, 759-784.
16. Lucas, R. (1969). *Labor-capital substitution U.S. manufacturing*, Washington: The Brookings Institution.
17. Manzour, D., and Haghighi, F. (2011). Effects of energy price correction on environmental contaminant emission in Iran; Computational general equilibrium modeling. *Journal of Environmental Science*, 37 (60), 1-12 (In Persian).
18. Nordhaus, W. (1973). Some skeptical thoughts on the theory of induced innovation. *Quarterly Journal of Economics*, 87(2), 208-219.
19. Nordhaus, W. (2007). A review of the Stern review on the economics of climate change. *Journal of Economic Literature*, Vol. XLV, 686-702.
20. Ogaki, M., & Reinhart, C. (1998). Measuring inter-temporal substitution: The role of durable goods. *Journal of Political Economy*, 106(45), 1078–1098.
21. Pejouyan, J., & Moeen, H. (2010). Investigating the economic impact of carbon tax based equilibrium model (CGE). *Quarterly journal of Applied Economics*, 1 (1), 1-31 (In Persian).
22. Popp, D. (2004). Endogenous technological change in the DICE model of global warming. *Journal of Environmental Economics and Management*, 48, 742-68.
23. Romer, P. (1990). Endogenous technological change. *Journal of Political Economy*, 98(5), 71- 102.
24. Shahmoradi, A., & Haghighi, I., & Zahedi, R., & Aghababa'i, M. (2009). Analysis of the effect of cost policies in economic sectors (focusing on water and energy): A computable general equilibrium approach. *Final report of the ministry of energy research project*, Iran (In Persian).
25. Solow, R. (1956). A contribution to the theory of economic growth. *The Quarterly Journal of Economics*, 70(1), 65-94.
26. Stern, N. (2007). *The Economics of climate change*, New York: Cambridge University Press.
27. Stokey, N. (1998). Are there limits to growth? *International Economic Review*, 39(1), 1-31.
28. Zhao, L., & Cheng, L. (2018). The effect of gasoline consumption tax on consumption and carbon emissions during a period of low oil prices. *Journal of Cleaner Production*, 171, 1429-1436.