

برآورد کسش جانشینی بین نهاده‌های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر^۱

الهه اسدی مهماندوستی^۲

دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه الزهرا، elahesh_asadi@alzahra.ac.ir

فاطمه بزازان

دانشیار دانشکده اقتصاد دانشگاه الزهرا، fbazzazan@alzahra.ac.ir

میرحسین موسوی

دانشیار دانشکده اقتصاد دانشگاه الزهرا، hmousavi@alzahra.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۲۱ تاریخ پذیرش: ۹۶/۱۲/۰۹

چکیده

هدف این مقاله برآورد مقادیر کمی برای کسش قیمت و جانشینی نهاده‌های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر در بخش صنعت اقتصاد جهان با ملحوظ نمودن ادبیات تئوری جدید و همگام با پیشرفت‌های تکنیکالی به منظور بررسی میزان اثرگذاری اجرای سیاست‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی در راستای ایجاد بینش عوامل اثرگذار بر روی رشد اقتصادی بلندمدت، است. برای این منظور از تابع هزینه انعطاف‌پذیر درجه دوم نرمالایز شده طی دوره ۲۰۱۳-۱۹۹۰ استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که کسش خودی آلن برای نهاده‌های مختلف مطابق تئوری منفی بوده است. همچنین، کسش محاسبه شده جانشینی موریشیما نشانگر این امر است که جانشینی قوی بین نهاده‌های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر در بخش صنعت جهان وجود داشته و لذا می‌توان نتیجه گرفت اجرای سیاست‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی مؤثر واقع شده‌اند.

طبقه‌بندی JEL: Q2; C3

کلیدواژه‌ها: جانشینی بین نهاده‌های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر، تابع هزینه انعطاف‌پذیر

درجه دوم نرمالایز شده

۱. این مقاله از رساله دکتری خانم الهه اسدی مهماندوستی با عنوان نحوه تخصیص بهینه زمانی منابع انرژی در اقتصاد ایران با راهنمایی سرکارخانم دکتر بزازان و مشاوره جناب آقای دکتر موسوی استخراج شده است. با تشکر از پرفسور سرلتیز که راهنمایی‌های همه‌جانبه در تدوین این مقاله در دوره فرصت مطالعاتی اینجانب در دانشگاه کلگری نمودند.

۲. نویسنده مسئول، تلفن تماس: ۰۹۱۲۶۱۶۰۵۷۰

۱- مقدمه

انرژی از جمله نیازهای اصلی فرآیند توسعه و مؤثر بر رشد اقتصادی است. انرژی به عنوان یک عامل تولید بسیار مهم، خصوصاً بعد از انقلاب صنعتی، در فرآیند تولید هر محصولی، نقش به سزا داشته است. این اهمیت بعد از بحران افزایش قیمت نفت در دهه ۱۹۷۰ میلادی، افزایش یافته و توجه اقتصاددانان و مطالعات اقتصادی را بیشتر به خود جلب کرده است. لکن به واسطه تجدید ناپذیر بودن انرژی های فسیلی، تردیدهای فراوانی در خصوص آینده رشد اقتصادی مطلوب در جهان به وجود آمد؛ به عبارت دیگر، اقتصاددانان به دلیل تهی پذیری منابع تجدیدناپذیر انرژی به خصوص نفت خام و اصلی بودن نهاده های مذکور در فرآیند تولید و با توجه به رشد جمعیت، رشد اقتصادی مطلوب در بلندمدت را با تردید دانسته و تأکید بر اجرای سیاست های خاص از جمله تخصیص بهینه زمانی منابع مذکور در راستای تحقق عدالت بین نسلی و توسعه تولید انرژی های تجدیدپذیر و جایگزینی آن با انرژی های تجدید ناپذیر دارند. بر این اساس و در راستای حفظ رشد مطلوب در بلندمدت و از سویی برخی ملاحظات دیپلماتیکی کشورهای واردکننده سوخت های فسیلی، تلاش های فراوان سیاستی و عملیاتی جهت توسعه تولید انرژی های تجدیدپذیر و جایگزینی آن با انرژی های فسیلی در جهان صورت پذیرفت.

از سویی دیگر بررسی و تعیین پارامترهای ساختاری بخش های مولد اقتصادی یکی از موضوعات پایه ای در مطالعات تجربی به دلیل ایجاد بینش به سیاست گذاران اقتصادی در خصوص وضعیت موجود و تأثیر گذاری سیاست های مختلف، می باشد. بدین منظور باید توجه شود که نتایج اغلب مدل سازی های سیاست های مرتبط با اقتصاد کلان و خرد بدون توجه به این امر که در قالب تعادل عمومی یا جزئی تدوین گردیده اند، به طور بالایی حساس به پارامترهای کشش به ویژه کشش های جانشینی می باشند که محاسبه کمی آنان با لحاظ نمودن ادبیات جدید در این زمینه از جمله شرایط نظام مندی می تواند حائز اهمیت باشد. در این راستا با عنایت به اهمیت فراوان انرژی در تابع تولید در جهان، تعیین پارامترهای ساختاری مرتبط با آن در تابع تولید از جمله شدت (کشش) جانشینی بین انواع حامل های انرژی می تواند کمک شایان توجهی به سیاستمداران نماید.

همچنین همگام با پیشرفت‌های نظری و فنی امکان محاسبه و تحلیل موضوع تجربی عنوان شده میسر گردیده است. لکن در مطالعات تجربی، به استثناء برخی مقالات اندک پراکنده، هنوز یک خلأ بزرگ تجربی در خصوص محاسبات کمی کسش‌های جانشینی بین نهاده‌های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر به واسطه کمبود داده‌های آماری وجود دارد. علاوه بر این، اغلب مقالات انجام شده ملحوظ نمودن ادبیات جدید در این زمینه از جمله شرایط نظام‌مندی اقتصاد خرد نئوکلاسیکی را نادیده می‌گیرند. در حالی که همان‌طور که بارتنت^۱ (۲۰۰۲) نیز بیان داشته است، بدون برقراری شرایط نظام‌مندی شرایط مرتبه دوم برای بهینه‌سازی، برقرار نبوده و تئوری دوگانگی یا مزدوج شکست می‌خورد.

از این‌رو، در این مقاله تلاش گردیده با استفاده از رویکرد اقتصادسنجی و به‌صورت تجربی، میزان اثرگذاری سیاست‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی در راستای ایجاد بینش عوامل اثرگذار بر روی رشد اقتصادی بلندمدت و اجرای سیاست‌های بهینه، از طریق محاسبه کمی کسش جانشینی انرژی‌های تجدیدپذیر و ناپذیر برای بخش صنعت جهان در مقطع زمانی ۲۰۱۳-۱۹۹۰، بررسی گردد.

بر این اساس هدف، ارائه مطالعه تجربی با استفاده از بهبودهای روش‌شناسی و تئوریک در ۲۰ سال اخیر و افزایش درک در خصوص اینکه چگونه اجرای سیاست‌های توسعه تولید و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در جهان و استفاده از تکنولوژی‌های جدید بر روی تقاضای نهاده و کسش بین حامل‌های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر مؤثر بوده و چگونه تغییرات قیمت و درآمدها بر روی جانشینی بین نهاده‌های مذکور در اقتصاد جهان مؤثر بوده است. جهت حصول نتایج مذکور، از پیشرفت‌های اخیر در اقتصادسنجی خرد استفاده شده است. به بیان دیگر، از تئوری دوگانگی یا مزدوج و رویکرد سیستم‌های تقاضا بر پایه تئوری‌های مصرف‌کننده و تولیدکننده برای تخمین تقاضای نهاده در چارچوب سیستمی استفاده شده است. علاوه بر این، با توجه به مغفول ماندن شرایط نظام‌مندی اقتصاد خرد نئوکلاسیک (ویژگی‌های همگنی، مثبت بودن،

یکنواختی و انحناء) در اغلب مطالعات، تابع هزینه با استفاده از فرم تابعی انعطاف پذیر که قادر به بررسی شرایط نظام مندی می باشد، استفاده گردیده است.

در همین رابطه پرسش های اصلی مقاله این می باشد که:

- شدت جانشینی بین نهاده های انرژی تجدید پذیر و ناپذیر در بخش صنعت اقتصاد جهان چگونه می باشد؟

پرسش های فرعی مطالعه را نیز می توان به صورت ذیل عنوان نمود:

- آیا پیشرفت تکنولوژی و اجرای سیاست های توسعه تولید و استفاده از انرژی های تجدید پذیر در جهان، جانشینی بین نهاده های انرژی مذکور را در بخش صنعت اقتصاد جهان تسهیل نموده است؟

- آیا با توجه به اجرای سیاست های قیمتی و غیر قیمتی در زمینه تشویق به مصرف حامل های انرژی تجدید پذیر و محدود نمودن استفاده از سوخت های فسیلی در جهان، نقش سوخت های فسیلی در بخش صنعت جهان کمرنگ گردیده است؟

در ادامه ساختار مقاله به شرح زیر ساماندهی شده است. در بخش دوم مروری بر ادبیات نظری، الگوی تحلیلی - تکنیکی و تجربی ارائه شده و در دو بخش بعدی تصریح مدل و نحوه برآورد و ویژگی آماری متغیرها بیان گردیده است. مشاهدات تجربی در بخش پنجم و در انتها در بخش ششم نتیجه گیری و توصیه های سیاستی ارائه شده است.

۲- مروری بر ادبیات تحقیق

ادبیات نظری

از دهه ۱۹۸۰ بحث تهی پذیری منابع تجدید ناپذیر به عنوان مانع اصلی رشد آتی مورد توجه قرار گرفت. در این مفهوم رئیس جمهور سابق ایالات متحده روزولت^۱ (۱۹۰۸) نشان داد به واسطه رقابت و انحصار، منابع به طور قابل توجهی تهی می شوند. مطالعات به وسیله هوتلینگ^۲ (۱۹۳۱) و برنات و مورس^۳ (۱۹۶۳) که دیدگاه خوش بین داشتند عمیق تر گردید. برنات و مورس بیان نمودند که رشد تکنولوژی منجر به جانشینی منابع

1. Roosevelt
2. Hotelling
3. Barnett and Morse

تجدیدپذیر با منابع کمیاب، کاهش قیمت کالاهای مذکور و افزایش مقادیر کل ذخایر اقتصاد می‌گردد. همچنین نشان دادند چگونه تهی‌پذیری منابع تجدید ناپذیر، مانع رشد آتی اقتصاد خواهد گردید و نرخ بهینه تهی‌پذیری را محاسبه نمودند. اگرچه آن‌ها در مطالعات خود احتمالی برای کمیابی منابع طبیعی قایل شدند لکن عقیده داشتند تنها این امر در قالب تئوری قابل اعتبار می‌باشد. در واقعیت اغلب شرکت‌ها نرخ بالاتر تهی‌پذیری را به واسطه صرفاً بیشینه‌سازی سود کوتاه‌مدت به‌طور ساده انتخاب می‌نمایند. در مقابل، شرایط آن‌طور که بارنت و مرس (۱۹۶۳) نشان دادند نبود، از آنجایی که قیمت اغلب مواد معدنی و همچنین محصولات کشاورزی به‌جای افزایش، کاهش یافت. در ادامه بحث، تعدادی محققان دیدگاه‌های بدبینی در این مورد ارائه دادند. مهم‌ترین مطالعه انتقادی توسط محقق موسسه تکنولوژی ماساچوست^۱ میدو^۲ (۱۹۷۲) انتشار یافت. وی بیان نمود که اقتصاد به‌زودی به رکود خواهد رسید و نهایتاً متلاشی خواهد گردید زیرا بیشتر منابع تجدید ناپذیر حیاتی در آینده نزدیک تهی خواهند شد و در نتیجه مواد خام به‌شدت گران شده و تهی‌پذیری منابع تجدید ناپذیر منجر به انهدام ناگهانی توسعه اقتصاد به‌جای انتقال هموار می‌گردد. آلودگی نیز محدودیت دسترسی به منابع طبیعی را بیشتر خواهد نمود. در مقابل اقتصاددانان خوش‌بین تأکید داشتند وقایع تصادفی کوتاه‌مدت غلبه بر مصرف خواهد نمود. سیمون^۳ (۱۹۹۶) بیان نمود در کوتاه‌مدت، امکان کاهش اندک عرضه وجود دارد اما در بلندمدت افزایش سطح قیمت‌ها منجر به افزایش تولید خواهد گشت. یک الگوی آشکار بین نوسانات قیمت نفت و کشف ذخایر جدید در گذشته، نشان‌دهنده ارتباط قوی میان تقاضا و عرضه نفت می‌باشند از آنجایی که افزایش قیمت نفت شرکت‌های نفتی را به سرمایه‌گذاری در اکتشاف نفت در لایه‌های قابل دسترس عمیق‌تر و پایین‌تر تشویق می‌نماید. اگرچه بر اثر شوک تقاضا غیرقابل انتظار در کوتاه‌مدت امکان پوشش کامل تقاضا وجود ندارد لکن مکانیزم بازار قادر به ایجاد توازن عرضه و تقاضا در بلندمدت نهایتاً در قیمت‌های بالاتر خواهد بود (سیمون ۱۹۹۶). علاوه بر این، اقتصاددانان خوش‌بین بیان نمودند که منابع تجدید ناپذیر به‌عنوان نهاده در فعالیت‌های اقتصاد

1. Massachusetts Institute of Technology (MIT)

2. Meadows

3. Simon

اهمیت خود را در بلندمدت با جانشینی با انرژی‌های تجدیدپذیر از دست خواهند داد. این الگوی تطبیقی مشابه کاهش غیرقابل انتظار اهمیت زغال سنگ در کشورهای توسعه یافته قابل ترسیم است. سیمون (۱۹۹۶) تأکید داشت که تهی‌پذیری منابع طبیعی ناسازگار با رشد اقتصاد آتی نمی‌باشد از آنجایی که اولاً افزایش قیمت‌ها انجام تحقیقات پیشرفته‌تر و لذا افزایش ذخایر کل را تحریک می‌کند و ثانیاً منجر به افزایش سودآوری تولید منابع خیلی در حال حاضر گران تجدیدپذیر خواهد گردید.

در ادامه داسگوپتا و هیل^۱ (۱۹۷۴) این امر که آیا امکان پایداری رشد اقتصادی با لحاظ روند کاهشی ملایم منابع تجدیدناپذیر وجود خواهد داشت را بررسی نمودند. به‌طور مشابه سولو^۲ (۱۹۷۴) و استیگلitz^۳ (۱۹۷۴) نشان دادند که اقتصاد بازار ممکن منجر به نتایج پایدار نگردد یعنی نیروهای بازار می‌تواند منجر به مصرف بیشتر منابع تجدیدناپذیر و بنابراین محدود کردن رشد آینده گردد. اندرسن^۴ (۱۹۸۷) عقیده داشت حتی رشد تکنولوژی نمی‌تواند مانع تغییر نتایج مذکور شود. تنها اگر انباشت سرمایه بتواند جانشین منابع تجدیدناپذیر گردد، می‌تواند سطح مصرف در بلندمدت حفظ گردد (هارتویک^۵ ۱۹۷۷). دیدگاه بسیار خوش‌بین‌تر، این عقیده می‌باشد که سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های جدید می‌تواند هزینه‌های تولید انرژی تجدیدپذیر را کاهش دهد و بنابراین ایجاد جانشین ارزان برای منابع تجدیدناپذیر را ممکن سازد (داسگوپتا و استیگلitz^۶ ۱۹۸۱).

در طی دهه گذشته مدل‌های رشد اقتصادی جدید تأکید بر اثرات رشد تکنولوژی و جانشینی بر روی توسعه پایدار داشتند و معتقد بودند با وجود اینکه منابع تجدیدناپذیر بر اساس مقوله عرضه و یا قیمت‌های نسبی، به‌عنوان منابع متناهی تعریف می‌شوند، هیچ دلیلی برای محدود شدن رشد اقتصادی در بلندمدت وجود ندارد. بارو و سالا ای مارتین^۷ (۱۹۹۵) نشان دادند که چگونه رشد پایدار حتی در بلندمدت امکان‌پذیر است.

-
1. Dasgupta and Heal
 2. Solow
 3. Stiglitz
 4. Anderson
 5. Hartwick
 6. Dasgupta and Stiglitz
 7. Barro and Sala-I-Martin

مشابه، اسچمالنس و همکاران^۱ (۱۹۹۸) نشان دادند، به دلیل به اوج رسیدن آلودگی سرانه در برخی کشورهای OECD^۲ و جانشینی نهاده‌های پاک و تجدیدپذیر، رشد اقتصادی بلندمدت تحقق خواهد یافت. همچنین بر اساس برخی سناریوهای پیش‌بینی، تقاضا برای نفت بعد از سال ۲۰۳۰ (آژانس بین‌المللی انرژی ۲۰۰۳) به دلیل جانشینی با منابع انرژی تجدیدپذیر ارزان‌تر کاهش خواهد یافت. سالاً و تاهونن^۳ (۲۰۰۱) نیز تأکید داشتند که یک شوک غیرقابل انتظار در کوتاه‌مدت قابل پوشش نیست اما عرضه با تقاضای آن در بلندمدت تعدیل خواهند شد.

در دهه‌های اخیر نیز برخی محققان وجود دارند که اعتقاد دارند توسعه در بلندمدت در حالت پایدار به‌دست خواهد آمد. دالی^۴ (۱۹۹۱) بیان می‌دارد که به‌زودی یا در آینده صرفاً منابع تجدیدپذیر مصرف خواهند شد لکن با مقایسه با واقعیت امکان رخداد آن در کوتاه‌مدت غیرمحتمل است لکن در بلندمدت محتمل خواهد بود. استفاده خیلی کاراتر از نفت به‌واسطه استفاده از تکنولوژی‌های جدید بعلاوه جانشینی نهاده‌های تجدیدپذیر، افزایش کلی در مصرف را جبران خواهد کرد.

در کل اقتصاددانان خوش‌بین اعتقاد دارند که پیشرفت تکنولوژی، کشف ذخایر جدید و جانشینی نهاده‌های تجدیدپذیر، به‌طور محتمل می‌تواند افزایش تقاضا و نرخ استفاده از منابع تجدیدناپذیر را جبران کند. در مقابل اقتصاددانان بدبین معتقدند اثرات مذکور به حد کافی قابل اتکا نمی‌باشند.

بر اساس ادبیات نظری بیان شده و از سویی برخی ملاحظات دیپلماتیکی کشورهای واردکننده سوخت‌های فسیلی، در دهه‌های اخیر، تلاش‌های فراوان سیاستی و عملیاتی جهت توسعه تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزینی آن با انرژی‌های فسیلی در جهان صورت پذیرفت. از این‌رو، در این مقاله تلاش گردیده میزان اثرگذاری سیاست‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی در راستای ایجاد بینش عوامل اثرگذار بر روی رشد اقتصادی بلندمدت و اجرای سیاست‌های بهینه، از طریق

1. Schmalensee et al.

۲. استرالیا، اطریش، بلژیک، کانادا، شیلی، چک، دانمارک، استونی، فنلاند، فرانسه، آلمان، یونان، مجارستان، ایسلند، ایرلند، اسرائیل، ایتالیا، ژاپن، کره، لتونی، لوکزامبورگ، مکزیک، هلند، نیوزلند، نروژ، لهستان، پرتغال، اسلواکی، اسپانیا، سوئد، سوئیس، ترکیه، انگلستان و ایالات متحده

3. Salo and Tahvonon

4. Daly

محاسبه کمی کشش جانشینی انرژی‌های تجدیدپذیر و ناپذیر برای بخش صنعت جهان به صورت تجربی بررسی گردد.

ادبیات الگوی تحلیلی - تکنیکی

جهت محاسبه کشش‌های قیمتی و جانشینی دو رویکرد اصلی وجود دارد. یک رویکرد از تکنیک همگرایی و مدل‌های تصحیح خطا برای تخمین کشش‌های کوتاه و بلندمدت تقاضا، به ترتیب استفاده می‌کند. اگرچه این رویکرد به رگولاریتی اقتصادسنجی توجه دارد لکن پایه‌های اقتصاد خرد مناسب را نادیده گرفته است. برای مطالعه بیشتر مقالات بنتزن و انگستد^۱ (۱۹۹۳) و هانت و مانینگ^۲ (۱۹۸۹) می‌تواند ملاحظه گردد. رویکرد دیگر، تخمین سیستمی با فرض فرم تابعی انعطاف‌پذیر برای تابع جمعی بر پایه رویکرد دوگان سیستم تقاضا می‌باشد که توسط دایورت^۳ (۱۹۷۴) توسعه یافته است. درواقع، این رویکرد برای تحلیل تجربی تقاضای نهاده اولین بار توسط برنندت و وود^۴ (۱۹۷۵)، فاس^۵ (۱۹۷۷) و پیندیک^۶ (۱۹۷۹) ارائه گردید که شامل تصریح فرم مشتق‌پذیر تابع هزینه و به کار بردن لم شفارد برای استخراج معادلات سهم هزینه (و یا نهاده - ستانده) می‌باشد. با استفاده از این معادلات و آمار مرتبط، پارامترها، قابل تخمین و استنتاجات در مورد تقاضای نهاده‌ها (شامل کشش‌های خودی و متقاطع و کشش‌های جانشینی) صورت می‌پذیرد. علاوه بر این، با امعان نظر به پیشرفت‌های اخیر متدولوژیکی در اقتصادسنجی خرد، این رویکرد را قادر به بررسی شرایط نظام‌مندی در مدل (برحسب تئوری اقتصاد خرد نئوکلاسیک شامل انحنای مثبت بودن و یکنواختی) نموده است. این بدین معنا می‌باشد که اگرچه نظام‌مندی اقتصادی ممکن است به‌طور تصادفی ایجاد گردد لکن فرم‌های تابعی انعطاف‌پذیر همیشه با لحاظ شرایط نظام‌مندی مشابه پیشنهاد بارنت^۷ (۲۰۰۲) و بارنت و پاسوپتی^۸ (۲۰۰۳)، تخمین زده می‌شوند.

1. Bentzen and Engsted
2. Hunt and Manning
3. Diewert
4. Berndt and Wood
5. Fuss
6. Pindyck
7. Barnett
8. Barnett and Pasupathy

با توجه موارد عنوان شده در این مطالعه نیز به واسطه برتری‌های عنوان شده از رویکرد تخمین سیستمی با فرض فرم تابعی انعطاف‌پذیر برای محاسبات کشش، بهره گرفته شده که در ذیل با جزییات به آن پرداخته می‌شود.

مشابه کار فاس (۱۹۷۷) فرض می‌شود فرم تابع تولید به صورت ذیل باشد:

$$Y = f(E_1, E_2, \dots, E_n, L, K, t) \quad (1)$$

که در آن Y تولید، f تابع شبه مقعر و غیرکاهشی دارای مشتقات مرتبه اول و دوم، E_i ، $i=1, \dots, n$ نهاده انرژی، L نهاده نیروی کار، K نهاده سرمایه و t شاخص تکنولوژی می‌باشد. فرض می‌شود تابع تولید (۱) به طور یکنواختی دارای جدایی‌پذیری ضعیف برای نهاده انرژی بوده به طوری که به صورت زیر قابل نوشتن می‌باشد:

$$Y = f[E(E_1, E_2, \dots, E_n), L, M, K, t] \quad (2)$$

جایی که $E(\cdot)$ تابع تجمیعی یکنواخت بر روی n نوع انرژی E_1, E_2, \dots, E_n بیانگر مقادیر انرژی کل می‌باشد.

اگر بنگاه‌ها به طور رقابتی هزینه تولید را نسبت به مقدار معین تولید حداقل سازی نمایند، سپس معادله (۲) کاملاً به وسیله تابع هزینه دوگان به صورت ذیل که دارای خاصیت جدایی‌پذیر به طور ضعیف می‌باشد، قابل بیان است:

$$C = g[P_E(P_{E1}, P_{E2}, \dots, P_{En}), P_L, P_M, P_K, Y, t] \quad (3)$$

جایی که g تابع مقعر و به طور خطی همگن غیرافزایشی از قیمت‌ها و $P_E(\cdot)$ تابع تجمیعی قیمت انرژی، قابل تفسیر به عنوان قیمت هر واحد انرژی، می‌باشد. تابع تجمیعی قیمت انرژی $P_E(\cdot)$ به وسیله تابع هزینه اختیاری قابل ارائه است.^۱

تابع هزینه NQ به عنوان تابع هزینه واحد، توسعه یافته به وسیله دایورت و واس^۲ (۱۹۸۷)، در این مقاله برای بررسی امکانات جانشینی بین نهاده‌های انرژی تجدیدناپذیر و پذیر در تقاضا انرژی در داخل بخش صنعت اقتصاد جهان استفاده خواهد شد. جهت مطالعه بیشتر مقالات دایورت و والس (۱۹۸۷)، دایورت و فاکس^۳ (۲۰۰۹)، بارت و سرلتیز^۴ (۲۰۰۸) و همچنین سرلتیز و همکاران^۱ (۲۰۱۰، ۲۰۱۱ و ۲۰۱۵) بررسی گردد.

۱. برای مطالعه بیشتر تئوری دوآلیتی مقاله دایورت (۱۹۸۲) مطالعه گردد.

2. Diewert and Wales
3. Diewert and Fox
4. Barnett and Serletis

تابع هزینه NQ به صورت ذیل فرض شده است:

$$C(p, y, t) = y \left[\sum_{i=1}^n B_i p_i + \frac{1}{2} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} p_i p_j}{\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i} + \sum_{i=1}^n \beta_{it} p_i t \right], \quad (4)$$

جایی که دو قید بر روی ماتریس $B \equiv [\beta_{ij}]$ ، بعد از گرفتن یک بردار مرجع (دوره پایه) از قیمت‌های نرمالایز شده به صورت $P^* \geq 0_n$ ، اعمال گشته است:

$$\beta_{ij} = \beta_{ji} \text{ for all } i, j; \quad (5)$$

$$BP^* = 0 \text{ for some } P^* > 0. \quad (6)$$

قیود (۵) و (۶) انعطاف‌پذیری فرم NQ را تضمین می‌کند.^۲ علاوه بر این، بردار قیمت پایه P^* در معادله (۶) بدین صورت که $P^* = 1_n$ است، تعیین می‌شود. همچنین، بردار α به صورت $(\alpha > 0)$ ، اغلب از قبل تعیین شده می‌باشد. همان‌طور که توسط دایورت و فاکس (۲۰۰۹) بحث گردیده است، دو انتخاب خیلی معمول پیشین برای بردار پارامتر α بردار واحد ($\alpha = 1_n$) یا متوسط نمونه بردار نهاده مشاهدات ($\alpha = (1/T) \sum_{t=1}^T x_t$) می‌باشد که در اینجا از روش دوم بهره جسته شده است.

برای محاسبه معادلاتی که برای تخمین ساده‌تر باشند، از لم شفارد^۳ (۱۹۵۳) استفاده می‌گردد:

$$x_i = \frac{\delta C(p, y, t)}{\delta p_i}, \quad i = 1, \dots, n \quad (7)$$

با توجه به معادله (۴) و با تقسیم بر y ، معادلات نهاده - ستانده یا توابع تقاضا برای انواع انرژی بر حسب سهم‌ها در هزینه انرژی کل به عنوان معادله اصلی تخمین جهت محاسبه کمی کشش، به صورت ذیل می‌گردد:

$$\frac{x_i}{y} = \beta_i + \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \frac{p_j}{\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i} - \frac{1}{2} \alpha_i \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \frac{p_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i} \frac{p_j}{\sum_{j=1}^n \alpha_j p_j} \right) + \beta_{it} \quad (8)$$

قبل از تخمین معادلات سیستمی (۸)، اجزاء قطر اصلی ماتریس B ، β_{ii} ، بر حسب اجزاء خارج قطر با استفاده از معادله (۶) و فرض $P^* = 1_n$ تعریف می‌گردد. بنابراین، به وسیله تخمین معادلات نهاده-ستانده (۸)، تخمین‌های β_i ، پارامترهای تغییر تکنولوژی و اجزاء خارج قطر ماتریس $(B) (\beta_{ij} (i \neq j))$ اصل می‌گردند. اجزاء قطر اصلی ماتریس B قابل بیان از قیدهای تحمیلی می‌باشند.

1. Serletis and et al.

۲. برای اثبات فرمولی این مورد، مقاله دایورت و والز (۱۹۸۸) ملاحظه شود.

3. Shephard's

همچنین، همان‌طور که تئوری اقتصاد خرد نئوکلاسیک نیز تأکید دارد، تابع هزینه می‌بایست شرایط نظام‌مندی (ویژگی‌های همگنی، مثبت بودن، یکنواختی و انحناء) را تأمین نماید. همگنی نیازمند این می‌باشد که تابع هزینه همگن خطی از قیمت‌های نهاده باشد. مثبت بودن نیازمند این می‌باشد که هزینه تخمین زده شده برای تمامی مشاهدات آماری مثبت باشد. یکنواختی نیازمند این می‌باشد که مشتق مرتبه اول تابع هزینه، $\delta C(p, y, t) / \delta p_i$ ($i = 1, \dots, n$)، که متناظر با تقاضای نهاده می‌باشد، غیرمنفی باشد. انحناء نیازمند این می‌باشد که تابع هزینه، $C(p, y, t)$ تابع مقعر از قیمت‌ها یا معادل آن، ماتریس هشین تابع هزینه، شبه معین منفی باشد. برحسب ترمونولوژی کیوز و کریستنسن^۱ (۱۹۸۰) یک تابع هزینه نظام‌مند می‌باشد در صورتی که تمامی شرایط بالا را تأمین نماید. به‌طور مشابه، منطقه نظام‌مند، مجموعه قیمت‌هایی است که در آن تابع هزینه شرایط نظام‌مندی را تأمین نماید. به‌طور واضح، نظام‌مندی نمی‌بایست صرفاً معادل انحناء در نظر گرفته شود؛ به‌جای آن شامل تمامی سه شرط بالا، مثبت بودن، یکنواختی و انحناء می‌بایست باشد.

ماتریس هشین تابع هزینه (۴) به‌صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$\nabla_{p_i p_j} C(p, y, t) = \frac{\beta_{ij}}{\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i} - \frac{\alpha_i (\sum_{j=1}^n \beta_{ij} p_j)}{(\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i)^2} - \frac{\alpha_i (\sum_{i=1}^n \beta_{ij} p_i)}{(\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i)^2} + \frac{\alpha_i \alpha_j (\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i \beta_{ij} p_j)}{(\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i)^3} \quad (9)$$

با استفاده از اعمال قیود $\sum_{j=1}^n \beta_{ij} p_j^* = 0_n$ در نقطه مرجع، داریم:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n p_i^* \beta_{ij} p_j^* = \sum_{i=1}^n (p_i^* (\sum_{j=1}^n \beta_{ij} p_j^*)) = 0 \quad (10)$$

بنابراین با ارزیابی معادله بالا در (p^*, t^*) ، معادله زیر حاصل می‌گردد:

$$\nabla_{p_i p_j} C(p, y, t) = \frac{\beta_{ij}}{(\sum_{i=1}^n \alpha_i p_i^*)} \quad (11)$$

با ضرب دو طرف معادله (۱۱) در y و مرتب‌سازی مجدد، داریم $\nabla_{p_i p_j} C(p, y, t) = \alpha' p^{-1} B$. بنابراین برای شبه معین منفی بودن $\nabla_{p_i p_j} C(p, y, t)$ در نقطه مرجع، نیازمند می‌باشد که B شبه معین منفی باشد. به‌طور مهم، برای شبه معین منفی بودن B ، شرط لازم این می‌باشد که $\nabla_{p_i p_j} C(p, y, t)$ به‌طور موضعی مقعر در نقطه مرجع ذکر شده

باشد و شرط کافی این می باشد که به طور کلی مقعر در هر نقطه ممکن و قابل تصور باشد - برای مطالعه جزییات بیشتر به مقاله دایورت و والز (۱۹۸۷) مراجعه گردد.

در عمل، در موردی که ماتریس B تخمین زده شده شبه معین منفی نباشد، مقعر بودن $\nabla_{p_i p_j} C(p, y, t)$ ممکن است تأمین نگردد. در این مورد، برای تضمین مقعر بودن کلی (مقعر بودن در تمام قیمت های ممکن) تابع هزینه NQ ، مشابه مطالعه دایورت و والز (۱۹۸۷)، قید زیر تحمیل می گردد:

$$B = -KK' \quad (12)$$

جایی که K ماتریس مثلثی می باشد بدین صورت که:

$$K'p^* = 0_n. \quad (13)$$

توجه شود معادله (۱۳) و ساختار مثلثی پایین K دلالت دارد که:

$$\sum_{i=1}^n K_{ij} = 0, \quad j = 1, \dots, n. \quad (14)$$

$$B_{11} = -k_{11}^2 = -(k_{21} + k_{31})^2;$$

$$B_{12} = -k_{11}k_{21} = (k_{21} + k_{31})k_{21};$$

$$B_{13} = -k_{11}k_{31} = (k_{21} + k_{31})k_{31};$$

$$B_{22} = -(k_{21}^2 + k_{22}^2) = -k_{21}^2 - k_{22}^2;$$

$$B_{23} = -(k_{21}k_{31} + k_{22}k_{32}) = -k_{21}k_{31} + k_{32}^2;$$

$$B_{33} = -(k_{31}^2 + k_{32}^2 + k_{33}^2) = -(k_{31}^2 + k_{32}^2).$$

به عبارت دیگر، اجزاء B در معادلات نهاده - ستانده (۹) با اجزاء K جایگزین می گردند، بدین صورت انحناء کلی تضمین می گردد. مزایا اصلی تصریح مدل NQ در این ویژگی است که شرایط انحناء کلی بدون از بین بردن انعطاف پذیری فرم تابع، تحمیل می گردد.

جانشینی عوامل نیز با استفاده از کشش های جانشینی آلن و موریشیما محاسبه می گردد. کشش آلن - اوزاوا بین نهاده های i و j به صورت ذیل می باشد:

$$\sigma_{ij}^a(p, y, t) = \frac{C(p, y, t)C_{ij}(p, y, t)}{C_i(p, y, t)C_j(p, y, t)} \quad (15)$$

جایی که اندیس‌های i و j ارجاع به مشتق‌های جزئی اول و دوم $C(p, y, t)$ نسبت به قیمت‌های نهاده p_i و p_j دارند^۱. کشش جانشینی میان نهاده‌های i و j نیز به صورت ذیل می‌باشد:

$$\sigma_{ij}^m(p, y, t) = \frac{p_j C_{ij}(p, y, t)}{C_i(p, y, t)} - \frac{p_j C_{jj}(p, y, t)}{C_j(p, y, t)} \quad (۱۶)$$

لازم به ذکر است که کشش جانشینی آلن، یک روش سنتی بوده و برای محاسبه رفتار جانشینی و عدم پایداری ساختاری در انواع متون به کار برده شده است. لکن می‌بایست توجه شود که زمانی بیشتر از دو نهاده وجود دارد کشش آلن، محاسبات دقیقی ارائه نکرده و حتی می‌تواند گمراه‌کننده باشد^۲. با وجود بیشتر از دو نهاده، ارتباط پیچیده شده و کشش جانشینی موریشیما مقادیر صحیح از کشش جانشینی ارائه می‌دهد.

اگر $\sigma_{ij}^a > 0$ در این صورت نهاده‌های i و j جزو جانشین خالص آلن-اوزاوا می‌باشند. اگر $\sigma_{ij}^a < 0$ باشد، نهاده‌های مذکور مکمل خالص آلن-اوزاوا می‌باشند. به طور مشابه، اگر $\sigma_{ij}^m > 0$ باشد، بیان می‌شود که نهاده j جانشین خالص موریشیما برای نهاده i می‌باشد. اگر $\sigma_{ij}^m < 0$ باشد، نهاده j مکمل خالص موریشیما برای نهاده i است. شایان ذکر است کشش‌های آلن سریعاً اطلاعات ایستا مقایسه‌ای کیفی در مورد اثر تغییرات قیمت بر روی سهم مطلق نهاده ارائه می‌دهند، در حالی که کشش‌های موریشیما سریعاً هر دو اطلاعات کیفی و کمی در مورد اثر تغییرات قیمت بر روی سهم نهاده‌ها ارائه می‌دهند.

کشش‌های قیمتی خودی و متقاطع معمول به شرح ذیل می‌باشند:

$$\eta_{ij} = \frac{\delta x_i(p, y, t)}{\delta p_j} \frac{p_j}{x_i(p, y, t)} \quad (۱۷)$$

می‌تواند همچنین به صورت ذیل محاسبه شود:

$$\eta_{ij} = s_j \sigma_{ij}^a \quad (۱۸)$$

جایی که s_j سهم هزینه نهاده j در هزینه‌های تولید کل می‌باشد. توجه شود که کشش‌های قیمت می‌بایست شرط زیر را تأمین نمایند:

$$\sum_{j=1}^n \eta_{ij} = 0, \quad i = 1, \dots, n.$$

۱. برای مطالعه جزئیات بیشتر به مقالات اوزاوا (۱۹۶۴) و دایورت (۱۹۷۴) مراجعه گردد.

۲. برای مطالعه جزئیات بیشتر به مقاله بلکوربی و راسل (۱۹۸۹) مراجعه گردد.

در نهایت، اگرچه مدل NQ نتایج بهتری از فرم‌های توابع معمول به صورت کلی مانند فرم‌های کاب-داگلاس و کشش جانشینی ثابت (CES) و سایر فرم‌های توابع انعطاف‌پذیر موضعی مانند ترانسلوگ و لئونتیف عمومی شده، ایجاد می‌کند (برای جزئیات بیشتر مقاله دایورت^۱ (۱۹۷۳) ملاحظه شود)، هنوز محدودیت‌های خود را دارد. اول آنکه، مشابه فرم‌های انعطاف‌پذیر موضعی، NQ در تأمین شرایط مقعر و یکنواختی اغلب شکست می‌خورد که می‌بایست به طور مجزا تحت قیود اعمال گردد- برای جزئیات بیشتر مقاله بارنت و سرلتیز (۲۰۰۸) ملاحظه شود؛ و دوم آنکه، دارای کمبود چارچوب تئوریک برای توسعه مدل به صورت تلفیق می‌باشد برای مثال امکان ایجاد پاسخ‌های وقفه‌ای (پویایی NQ) نمی‌دهد. بر اساس دانش ما، اغلب مطالعات تئوریک بر روی فرم NQ محدود به مطالعه دایورت و والز^۲ (۱۹۸۷، ۱۹۸۸) و اخیراً دایورت و فاکس (۲۰۰۹) بوده است.

ادبیات تجربی

آرستاد^۳ (۱۹۹۰) به طور همزمان منابع تجدیدپذیر و ناپذیر و امکان جانشینی آنان را تحت عدم نااطمینانی بررسی و مدل‌سازی بهینه‌ای در این زمینه ارائه نمود. جیوسیپی (۲۰۰۶)^۴ نیز در مطالعه‌ای نرخ جانشینی تکنیکی را برای منابع تجدیدپذیر و ناپذیر در مدل رشد درون‌زا تحت فرضیات و با استفاده از الگوهای مدل‌سازی پویا، محاسبه نمود. جووت و اسشوماخر^۵ (۲۰۱۲) نیز در مطالعه‌ای اثر جانشینی انرژی‌های تجدیدپذیر با تجدید ناپذیر را در قالب رشد پایدار بررسی نموده و ملاحظه نمودند مسیر بهینه انتقال از انرژی‌های تجدیدناپذیر به تجدیدپذیر به هزینه جایگزینی به‌شدت وابسته است و اثبات نمودند توسعه تکنولوژی بر اساس تئوری یادگیری با انجام کار باعث زودتر صورت‌پذیری این جایگزینی می‌شود لکن شرط تضمین‌کننده نمی‌باشد. ایستوان^۶ (۲۰۰۵) نیز جایگزینی منابع تجدیدپذیر با ناپذیر را قبل از تهی سازی منابع تجدید ناپذیر بررسی و یکسان بودن نتایج بیشینه‌سازی تابع مطلوبیت اجتماعی و سود را در این زمینه اثبات نمودند.

1. Diewert
2. Diewert and Wales
3. Arestad
4. Giuseppe
5. Jouvet & Schumacher
6. István

شرفی و همکاران (۱۳۹۲) نیز در مطالعه‌ای با استفاده از رهیافت کنترل بهینه مسیره‌های بهینه جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی در ایران را ارزیابی نموده‌اند.

وجه تمایز مطالعه حاضر بررسی تجربی میزان اثرگذاری سیاست‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی در راستای ایجاد بینش عوامل اثرگذار بر روی رشد اقتصادی بلندمدت و اجرای سیاست‌های بهینه، از طریق محاسبه کمی دقیق کشش جانشینی انرژی‌های تجدیدپذیر و ناپذیر برای بخش صنعت جهان و با استفاده از تابع هزینه انعطاف‌پذیر NQ و اعمال شرایط نظام‌مندی می‌باشد و به لحاظ روش‌شناسی متمایز از مطالعات صورت گرفته می‌باشد.

۳- تصریح مدل و نحوه برآورد

با توجه به مطالب بیان شده در ادبیات نظری و تجربی مدل رگرسیونی تحقیق درنهایت به شکل زیر تصریح می‌شود:

$$w_t = \psi(p_t, y, t, \theta) + \varepsilon_t \quad (19)$$

جایی که $w = (w_1, \dots, w_n)'$ بردار نسبت‌های نهاده - ستانده می‌باشد. ε_t بردار خطاهای تصادفی بوده و فرض می‌گردد $\varepsilon \sim N(0, \Omega)$ باشد به طوری که 0 ماتریس صفر و Ω ماتریس وارپانس - کوواریانس جمله خطا و شبه مثبت متقارن $n \times n$ می‌باشد. $\psi(p_t, y, t, \theta) = (\psi_1(p_t, y, t, \theta), \dots, \psi_n(p_t, y, t, \theta))'$ سمت راست معادله (۸) معین می‌باشد.

یک مسئله‌ای که در تصریح‌ها مهم می‌باشد، مسئله درون‌زایی می‌باشد. در ادبیات، امکان درون‌زایی با استفاده از حداقل مربعات سه مرحله‌ای تکراری (3SLS) مورد بررسی قرار می‌گیرد لکن نتایج به‌طور کلی مشابه با تخمین‌های ارائه شده با روش زلتر تکراری می‌باشد^۱. دایورت و فاکس^۲ (۲۰۰۴) همچنین نشان دادند که تخمین متغیرهای ابزاری ممکن است بسیار منحرف‌کننده باشند زیرا ابزارها به‌طور کامل ممکن است برون‌زا نباشند و برنساید^۳ (۱۹۹۶) نشان داد که نتایج می‌تواند بسیار وابسته به مجموعه ابزاری استفاده شده، متفاوت باشند. در این مقاله، از روش تخمین زلتر تکراری به‌عنوان

۱. برای مثال مطالعه بارنت و همکاران (۱۹۹۱) ملاحظه گردد.

2. Diewert and Fox
3. Burnside

روش بسیار معمول در این رابطه استفاده شده است. تخمین توسط نرم افزار TSP/GiveWin (۶) و فرآیند LSQ با بررسی شرایط نظام مندی به صورت ذیل صورت پذیرفته است.

- مثبت بودن به وسیله بررسی این امر که آیا هزینه تخمین زده شده مثبت است بررسی می شود، $C(p, y, t) > 0$

- یکنواختی به وسیله محاسبه مستقیم ارزش های اولین بردار گرادیان تابع هزینه تخمینی نسبت به p بررسی می شود که در صورتی که $\nabla_p C(p, y, t) > 0$ باشد برقرار است.

- انحناء نیازمند این می باشد که ماتریس هشین تابع هزینه شبه معین منفی باشد و به وسیله اجرای فاکتورگیری چولسکی ماتریس مذکور و بررسی این امر که آیا ارزش های چولسکی غیر مثبت می باشند (زیرا ماتریس شبه معین اگر فاکتورهای چولسکی آن غیر مثبت باشد منفی می باشد^۱)، صورت می پذیرد. انحناء همچنین می تواند به وسیله بررسی مقادیر ویژه ماتریس هشین که شرایط یکنواختی را دارا می باشد، بررسی شود. این نیازمند این امر می باشد که مقادیر ویژه منفی یا صفر باشند.

۴- ویژگی آماری متغیرها

محاسبه کمی کشش جانشینی بین نهاده های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر در اقتصاد جهان با استفاده از آمار مقطع زمانی ۲۰۱۳-۱۹۹۰ مجموعاً ۲۴ مشاهده ($T=24$) صورت پذیرفته است. آمار شامل شاخص های مقداری و قیمت برای ستانده و نهاده های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر در بخش صنعت می باشد.^۲

برای بررسی جانشینی بین نهاده های انرژی زغال سنگ، فرآورده های نفتی، گاز طبیعی و سوخت های بایو برای بخش صنعت اقتصاد جهان، چهار مدل نهاده ($n=4$) تخمین زده می شود. فرآورده های نفتی شامل نفت گاز، بنزین، نفت کوره، گاز مایع و نفت سفید بوده است.

۱. تنوری ۳.۲ مطالعه لو (۱۹۷۸) ملاحظه شود.

۲. این مطالعه به صورت آمار جمعی و برای صنعت جهان بر اساس تعریف ارائه شده در گزارشات EIA، صورت پذیرفته و دلیل این امر نبود آمار مکفی جهت تحلیل موردی و امکان انتقال تکنولوژی با وقفه اندک در سطح جهان در سال های اخیر می باشد و لذا تجمیع هر دو کشورهای غنی از منابع انرژی و یا کشورهای واردکننده انرژی لحاظ شده است.

آمار مقادیر نهاده‌های انرژی و قیمت نهاده فرآورده‌های نفتی از گزارشات EIA اخذ گردیده و کلیه مقادیر به Btu با استفاده از واحدهای تبدیل EIA، تبدیل شده‌اند. قیمت نهاده زغال‌سنگ و گاز طبیعی از گزارشات BP و نهاده سوخت بایو از تحلیل‌های شرکت Gasum و ارزش حرارتی اکتباس شده است. علاوه بر این، از آمار ارزش‌افزوده بخش صنعت و شاخص قیمت کلی فروشی (WPI) موجود در گزارشات WDI در مجموعه آماری مورد بررسی استفاده شده است.

کلیه سری‌های قیمت به یک در سال ۲۰۰۵ نرمالایز شده‌اند و شاخص‌های مقداری برای نهاده‌ها از تقسیم ارزش تولیدات یا هزینه‌های عوامل به شاخص قیمت نرمالایز شده متناظر به‌دست آمده‌اند. همچنین شایان ذکر است به‌واسطه محدودیت صفحات مقاله، آزمون‌های مختلف ویژگی‌های آماری متغیرها بررسی شده و مورد تأیید بوده لکن گزارش نشده است.

۵- مشاهدات تجربی

برای تحلیل حاضر، پارامترهای تخمینی، کَشش‌های قیمت خودی و متقاطع و کَشش‌های جانشینی قیمت متقاطع موریشیما و آلن ارائه شده است. در تمام جداول "c" نشانگر زغال‌سنگ، "o" نشانگر فرآورده نفتی، "g" نشانگر گاز طبیعی و "b" نشانگر سوخت‌های بایو بوده و اعداد در پرانتز ارزش p می‌باشند.

جدول (۱) شامل خلاصه نتایج مدل NQ برحسب پارامترهای تخمینی و نظام‌مندی (انحرافات مثبت بودن، یکنواختی و انحناء) برای مدل بدون و با اعمال شرایط انحناء براساس معادله پایه (۸)، می‌باشد. به‌طور واضح، مدل مثبت بودن و یکنواختی را در تمامی مشاهدات نمونه، زمانی قید انحناء اعمال نگردیده، تأمین نموده است. لکن، انحراف انحناء مدل انعطاف‌پذیر NQ در ۲۴ مشاهده می‌باشد، زمانی که قید انحناء اعمال نگردیده است. از این‌رو به دلیل عدم حصول نظام‌مندی، مدل هزینه NQ با تحمیل قید انحناء مشابه روش پیشنهادی دایورت و والز (۱۹۸۷) بیان شده در بخش ادبیات نظری، تخمین زده شده است. نتایج تخمین با اعمال قید انحناء در ستون دوم جدول (۱) ارائه شده است. نتایج حاصله در مورد انحرافات نظام‌مندی با اعمال قید انحناء نشان می‌دهد که تخمین انحناء عمومی (در تمام قیمت‌های ممکن) در مدل NQ تعداد انحرافات انحناء را به صفر کاهش می‌دهد. بر این اساس، در ادامه کَشش‌های قیمت و کَشش‌های جانشینی آلن و موریشیما براساس مدل با اعمال قید انحناء برای آمار بخش صنعت ارائه می‌شود.

جدول ۱. پارامترهای تخمین زده شده مدل NQ

پارامتر	مدل	
	غیر مقید	مقید
β_1	۰.۰۰۶۱ (۰.۰۰۰)	۰.۰۰۶۱ (۰.۰۰۰)
β_2	۰.۰۲۵۳ (۰.۰۰۰)	۰.۰۲۵۴ (۰.۰۰۰)
β_3	۰.۰۱۹۱ (۰.۰۰۰)	۰.۰۱۸۶ (۰.۰۰۰)
β_4	۰.۰۰۴۰ (۰.۰۰۰)	۰.۰۰۴۳ (۰.۰۰۵)
β_{12}	۰.۰۰۰۵ (۰.۰۰۶)	۰.۰۰۰۷ (۰.۰۰۲)
β_{13}	-۰.۰۰۰۷ (۰.۰۰۰)	۰.۰۰۱۸ (۰.۰۲۹)
β_{14}	-۰.۰۰۰۰۹ (۰.۵۳۴)	-۰.۰۰۲۳ (۰.۰۰۴)
β_{23}	۰.۰۰۰۳ (۰.۰۹۶)	-۰.۰۰۴۰ (۰.۰۰۰)
β_{24}	-۰.۰۰۰۳ (۰.۰۰۲)	۰.۰۰۷۱ (۰.۰۰۰)
β_{34}	-۰.۰۰۴۷ (۱.۰۰۰)	۰.۱۰۵۶ (۰.۹۶۳)
β_{1t}	-۰.۰۰۰۱ (۰.۰۰۰)	-۰.۰۰۰۱ (۰.۰۰۰)
β_{2t}	-۰.۰۰۰۷ (۰.۰۰۰)	-۰.۰۰۰۷ (۰.۰۰۰)
β_{3t}	-۰.۰۰۰۴ (۰.۰۰۰)	-۰.۰۰۰۳ (۰.۰۰۰)
β_{4t}	-۰.۰۰۰۷ (۰.۰۰۰)	-۰.۰۰۰۲ (۰.۱۰۰)
انحرافات مثبت بودن	۰	۰
انحراف یکنواختی	۰	۰
انحرافات انحناء	۲۴	۰

نکته: دوره مورد بررسی سال‌های ۲۰۱۳-۱۹۹۰ (T=۲۴) می‌باشد. "۱" نشانگر زغال‌سنگ، "۲" فرآورده نفتی، "۳" گاز طبیعی و "۴" سوخت بایو می‌باشد. ارقام داخل پرانتز ارزش p می‌باشند. منبع: یافته‌های تحقیق

در ادامه، کشش‌های خودی و متقاطع بیان شده در میانگین نتایج، در بخش A جدول (۲) ارائه شده است. علامت کشش‌های خودی قیمت η_{ij} منطقی بوده زیرا همگی منفی می‌باشند. برای کشش‌های قیمت متقاطع، η_{ij} ، تئوری‌های اقتصادی علامت خاصی را پیش‌بینی نموده‌اند.

جدول ۲. کسش محاسباتی برای بخش صنعت جهان

فاکتور i	A. کسش‌های قیمت خودی و متقاطع			
	η_{ic}	η_{io}	η_{ig}	η_{ib}
c	-۰.۰۵۸	۰.۱۸۸	۰.۲۶۸	-۰.۳۹۷
o	۰.۰۶۵	-۰.۲۲۳	-۰.۱۶۱	۰.۳۱۹
g	۰.۱۶۵	-۰.۲۸۷	-۵.۷۲۳	۵.۸۴۶
b	-۰.۸۰۰	۱.۹۷۸	۲۳.۳۰۳	-۲۴.۴۸۲
	B. کسش جانشینی آلن			
	σ_{ic}^a	σ_{io}^a	σ_{ig}^a	σ_{ib}^a
c	-۰.۳۵۸	۰.۴۰۱	۱.۰۳۶	-۵.۳۰۰
o		-۰.۴۸۴	-۰.۶۱۶	۴.۳۱۹
g			-۲۳.۴۳۵	۷۷.۲۶۰
b				-۴۱۵.۲۱۹
	C. کسش جانشینی موریشیما			
	σ_{ic}^m	σ_{io}^m	σ_{ig}^m	σ_{ib}^m
c		۰.۴۱۱	۵.۹۹۱	۲۴.۰۸۵
o	۰.۱۲۴		۵.۵۶۲	۲۴.۸۰۰
g	۰.۲۲۳	-۰.۰۶۴		۳۰.۳۲۷
b	-۰.۷۴۲	۲.۲۰۱	۲۹.۰۲۶	

نکته: دوره مورد بررسی سال‌های ۲۰۱۳-۱۹۹۰ (T=۲۴) می‌باشد. "c" نشانگر زغال‌سنگ، "o" نشانگر فرآورده نفتی، "g" گاز طبیعی و "b" سوخت بایو می‌باشد.
منبع: یافته‌های تحقیق

کسش جانشینی آلن در بخش B جدول (۲) ارائه شده است بدین صورت مقایسه نتایج با تخمین‌های پیشین و همچنین بررسی اعتبار مدل حاضر امکان‌پذیر می‌گردد. به‌طور ویژه، انتظار می‌رود عبارت‌های قطری نشانگر کسش جانشینی خودی آلن برای انواع نهاده‌ها منفی باشند. این انتظار به‌طور آشکار حاصل شده است. اگرچه عبارات قطری در جدول همگی منفی می‌باشند، برخی از تخمین‌ها بسیار بزرگ (در مقادیر

مطلق) می‌باشند. برای مثال مورد سوخت بایو که این می‌تواند به‌وسیله بیان σ_{ij}^a به صورت $\sigma_{ij}^a = \eta_{ij}/s_j$ توضیح داده شود که می‌توان نشان داد σ_{ij}^a زمانی سهم هزینه s_j اندک است، بزرگ می‌شود. در مقابل، از آنجایی که کشش جانشینی آلن نتایج مبهمی برای اجزاء خارج از قطر ایجاد می‌کند، کشش جانشینی موریشیما برای بررسی رابطه جانشینی / مکملی بین عوامل تولید استفاده می‌شود. کشش جانشینی نامتقارن موریشیما در قسمت C جدول (۲) گزارش شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد کشش جانشینی برای دو نهاده زغال‌سنگ و فرآورده نفتی مثبت و کمتر از واحد بوده که نشانگر جانشینی ضعیف و پایدار بین آن‌ها می‌باشد. به‌طور جزئی‌تر، همان‌طور که در جدول ملاحظه می‌شود، σ_{co}^m و σ_{oc}^m هر دو مثبت و کمتر از یک در طی نمونه مورد بررسی بوده که بیانگر جانشینی موریشیمای پایدار زغال‌سنگ و فرآورده نفتی بدون توجه به اینکه آیا قیمت زغال‌سنگ یا قیمت فرآورده نفتی تغییر می‌کند، می‌باشد. از سویی دیگر ارقام حاکی از جانشینی متوسط ناپایدار گاز طبیعی با دو فرآورده مذکور می‌باشند. در کل می‌توان بیان نمود در بین سوخت‌های تجدیدپذیر جانشینی ضعیف ملاحظه می‌گردد.

لکن در خصوص کشش جانشینی نهاده تجدیدپذیر سوخت بایو با نهاده‌های انرژی تجدیدپذیر، ارقام مؤید جانشینی قوی سوخت‌های بایو با انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشند.

در کل، یافته‌ها بیانگر آن می‌باشند که جانشینی قوی بین نهاده‌های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر در بخش صنعت جهان وجود داشته و لذا می‌توان نتیجه گرفت اجرای سیاست‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی مؤثر واقع شده‌اند.

۶- نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی

مقادیر کمی برای کشش قیمت و جانشینی نهاده‌های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر برای بخش صنعت اقتصاد جهان با استفاده از آمار سالانه در مقطع زمانی ۲۰۱۳-۱۹۹۰ (مجموعاً ۲۴ مشاهده) برآورد گردیده است. برای این امر از رویکرد فرم

تابعی انعطاف‌پذیر معروف درجه دوم نرمالایز شده انعطاف‌پذیر موضعی و بررسی شرایط نظام‌مندی استفاده شده است.

نتایج نشان می‌دهند که کشتش جانشینی خودی آلن برای انواع حامل‌های انرژی منفی می‌باشد. همچنین شواهد حاکی از کشتش جانشینی موریشیما ضعیف در بین سوخت‌های تجدیدپذیر بوده است. لکن در خصوص کشتش جانشینی نهاده تجدیدپذیر سوخت بایو با نهاده‌های انرژی تجدیدپذیر، ارقام مؤید جانشینی قوی سوخت‌های بایو با انرژی‌های تجدیدپذیر بوده است.

در کل، یافته‌ها بیانگر آن می‌باشند که جانشینی قوی بین نهاده‌های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر در بخش صنعت جهان وجود داشته و لذا می‌توان نتیجه گرفت اجرای سیاست‌های توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر و جایگزینی آن با سوخت‌های فسیلی از جمله سیاست‌های کاهش انتشار کربن و ممانعت از تغییرات آب و هوایی و سیاست‌های تغییر قیمت نسبی برای ایجاد انگیزه برای انتقال به اقتصاد با کربن کمتر، مؤثر واقع شده‌اند. بر این اساس مطالعه تجربی حاضر از ایده اقتصاددانان خوش‌بین مبنی بر امکان‌پذیر بودن رشد اقتصادی بلندمدت حمایت می‌نماید.

از سویی دیگر نتایج بیانگر این واقعیت است که شدت جانشینی میان انواع حامل‌های انرژی تجدیدپذیر و ناپذیر زیاد بوده و از این‌رو سوخت‌های فسیلی نقش اصلی خود را به‌عنوان منابع انرژی و نهاده تولید و همچنین در بازار انرژی در سال‌های آتی نزدیک، از دست خواهند داد؛ بنابراین، توصیه سیاستی قوی بالاخص برای کشورهای صادرکننده انرژی‌های فسیلی، تسریع در فروش منابع فسیلی و انجام سرمایه‌گذاری‌های لازم جهت توسعه تولید انرژی‌های تجدیدپذیر جهت همگونی با بازار عرضه و تقاضای انرژی جهانی می‌باشد که همان‌گونه، شاهد انجام چنین سرمایه‌گذاری‌هایی در کشور عربستان سعودی به‌عنوان یک از بزرگ‌ترین کشورهای صادرکننده نفت می‌باشیم.

منابع

شرفی و همکاران (۱۳۹۲)، ارزیابی جایگزینی انرژی‌های تجدیدپذیر به جای سوخت‌های فسیلی در ایران: رهیافت کنترل بهینه، فصل‌نامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، شماره ۱۱.

Anderson, C. (1987); The production process: Inputs and wastes., *Journal of Environmental Economics and Management*, 14, 1–12.

Arestad, Jostein. (1990); simultaneous use of renewable and non-renewable natural resources., *Journal of Resources and Energy*, 12, 253-262.

Barnett, W.A. (2002); Tastes and Technology: Curvature is not Sufficient for Regularity., *Journal of Econometrics*, 108, 199-202.

Barnett, W.A., J.Geweke, and M.Wolfe. (1991). Semi-Nonparametric Bayesian Estimation of the Asymptotically Ideal Production Model, *Journal of Econometrics*, 49, 5-50.

Barnett, W.A., Pasupathy, M. (2003); Regularity of the generalized quadratic production model: a counterexample. *Econometric Reviews*, 22, 135–154.

Barnett, W.A. and A. Serletis. (2008). Consumer Preferences and Demand Systems. *Journal of Econometrics*, 147, 210-224.

Barnett, H., Morse, C. (1963); Scarcity and Growth., Resource for the Future, Washington, D.C.

Barro, R., Sala-I-Martin, X. (1978); Economic Growth, *McGraw Hill*, New York.

Berndt, E.R. and D. Wood. (1975). Technology, Prices, and the Derived Demand for Energy. *Review of Economics and Statistics*, 57, 259-268.

Bentzen, J. and T. Engsted. (1993). Short-and Long-Run Elasticities in Energy Demand: A Cointegration Approach. *Energy Economics*, 15, 9-16.

Blackorby, C. and R.R. Russell. (1989). Will the Real Elasticity of Substitution Please Stand Up? *American Economic Review*, 79, 882-888.

Burnside, C. (1996). Production function regressions, returns to scale, and externalities. *Journal of Monetary Economics*, 37, 177–201.

Caves, D., Christensen, L.R. (1980). Global properties of flexible functional forms. *American Economic Review*, 70, 422–432.

- Daly, H. (1991); *Steady State Economics.*, *Island press*, Washington, D.C.
- Dasgupta, P. & Heal, G (1974); The optimal depletion of natural resources. *Review of Economic Studies*, Symposium, 3–28.
- Dasgupta, P., Stiglitz, J. (1981); Resource depletion under technological uncertainty. *Econometrica*, 49, 85–104.
- Diewert, W.E. (1973). Functional Forms for Profit and Transformation Functions. *Journal of Economic Theory*, 6, 284-316.
- Diewert, W.E. (1974). Applications of Duality Theory. In *Frontiers of Quantitative Economics (Vol. II)*, eds. M.D. Intriligator and D.A. Kendrick. *Amsterdam: North-Holland*, pp. 106-171.
- Diewert, W.E., (1982). The duality approach to microeconomic theory. In: Arrow, K.J., Intriligator, M.D. (Eds.), *Handbook of Mathematical Economics*, vol. 2. North-Holland, Amsterdam, pp. 535–599.
- Diewert, W.E., Fox, K.J. (2004). On the estimation of returns to scale, technical progress and monopolistic markups., *Journal of Econometrics*, 145, 174-193.
- Diewert, W.E. and Fox, K.J. (2009). The Normalized Quadratic Expenditure Function. In *Quantifying Consumer Preferences*, Ed.: D.J. Slottje. *Emerald*, pp. 149-178.
- Diewert, W.E. and T.J. Wales. (1987). Flexible Functional Forms and Global Curvature Conditions. *Econometrica*, 55, 43-68.
- Diewert, W.E. and T.J. Wales. (1988). Normalized Quadratic Systems of Consumer Demand Functions. *Journal of Business and Economic Statistics*, 6, 303-312.
- Fuss, M.A. (1977). The Demand for Energy in Canadian Manufacturing: An Example of the Estimation of Production Structures with Many Inputs. *Journal of Econometrics*, 5, 89-116.
- Giuseppe, Di Vita. (2006). Natural resources dynamics: Exhaustible and renewable resources, and the rate of technical substitution. *Journal of Resources Policy*, 31 172–182.
- Hartwick, J. (1977); International equity and the investing of rents from exhaustible resources. *American Economic Review*, 67, 972–974.
- Hotelling, H. (1931); The economics of exhaustible resources., *Journal of Political Economy*, 39, 137–175.

Hunt, L. and N. Manning. (1989). Energy Price- and Income- Elasticities of Demand: Some Estimates for the UK Using the Cointegration Procedure. *Scottish Journal of Political Economy*, 36, 183-193.

Istva'n, Bessenyei; (2005). Does market value maximization affect the order of resource exploitation?; *Journal of Economic Modelling*, 22 1090– 1104.

Jouvet, Pierre-André and Schumacher, Ingmar; (2012). Learning-by-doing and the costs of a backstop for energy transition and sustainability; *Journal of Ecological Economics*, 73 122–132.

Lau, L.J., (1978). Testing and imposing monotonicity, convexity, and quasi-convexity constraints. In: Fuss, M., McFadden, D. (Eds.), *Production Economics: A Dual Approach to Theory and Applications*, vol. 1. *North-Holland, Amsterdam*, pp. 409–453.

Malthus, T. (1798); *An Essay on the Principle of Population as it Affects the Future Improvement of Society.*; *Ward Lock, London*.

Meadows, D.L. (1972). *The Limits to Growth.*, *Pan Books Ltd., London*.

Mill, J.S. (2002). *Principles of Political Economy.*, *Appleton, New York*.

Pindyck, R.S. (1979). Interfuel Substitution and the Industrial Demand for Energy: An Inter- national Comparison. *Review of Economics and Statistics*, 61, 169-179.

Roosevelt, T. (1908). Conservation as a National Duty. Opening address at the Conference of overnors: *Washington, DC*.

Salo, S., Tahvonen, O. (2001); Oligopoly equilibria in nonrenewable resource markets., *Journal of Economic Dynamics and Control*, 25 (5), 671–702.

Schmalensee, R., Stoker, T., Judson, R. (1998); World carbon dioxide emissions: 1950- 2050., *The Review of Economics and Statistics*, 80, 15–27.

Serletis, A., Jadidzadeh, A. (2015). Sectoral Interfuel substitution in Canada: an application of NQ flexible functional forms, *The Energy Journal*, forthcoming.

Serletis, A., G. Timilsina, and O. Vasetsky. (2010). International Evidence on Sectoral Interfuel Substitution. *The Energy Journal*, 31, 1-29.

Serletis, A., G. Timilsina, and O. Vasetsky. (2011). International Evidence on Aggregate Short- Run and Long-Run Interfuel Substitution. *Energy Economics*, 33, 209-216.

Shephard, R.W. (1953). *Cost and Production Functions*. Princeton: *Princeton University Press*.

Simon, J. (1996); *The Ultimate Resource2*, *Princeton University Press*, Princeton.

Solow, R.M (1974); Intergenerational equity and exhaustible resources., *Review of Economic Studies, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources*, 29–46.

Stiglitz, J.E (1974); Growth with exhaustible natural resources: efficient and optimal growth paths., *Review of Economic Studies, Symposium on the Economics of Exhaustible Resources*, 123–137.

Uzawa, H. (1964) Duality Principles in the Theory of Cost and Production. *International Economic Review*, 5, 216-220.

The Estimation of Substitution Elasticity Between Non-renewable & Renewable Energy Sources

Elaheh Asadi Mehmandosti¹

Ph.D. Student, Department of Economics, Alzahra University, Tehran, Iran,
elahehasadi@alzahra.ac.ir

Fatemeh Bazzazan

Associate Professor Department of Economics, Alzahra University, Tehran, Iran,
fbazzazan@alzahra.ac.ir

Mir hossein Mousavi

Associate Professor Department of Economics, Alzahra University, Tehran, Iran,
hmousavi@alzahra.ac.ir

Received: 2017/06/25 Accepted: 2018/02/03

Abstract

In this paper, we estimate update and accurate price and substitution elasticities between non-renewable and renewable energy sources for the world industrial sector over the period 1990 to 2013. We use the locally flexible normalized quadratic (NQ) functional form to estimate elasticities. We find that as expected the Allen own-elasticities of substitution for the different inputs are negative. Moreover, the Morishima elasticities of substitution highlight the fact that the substitution between non-renewable and renewable energy factor has been high. We can thus conclude that policies adopted to expand use of renewable energy, have been successful.

JEL Classification: Q2; C3

Keywords: Elasticities of substitution between renewable and non-renewable energy sources, Flexible normalized quadratic (NQ) functional form

1. Corresponding Author, Tel: 0912-6160570