-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران-------
سال دهم، شماره ۳۴، بهار ۱۳۹۹، ۳۶-۱

Jiee.atu.ac.ir
Dol: 10.22054/Jiee.2021.55245.1782

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۰۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۲۶
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

تأثیر همزمان نوآوری، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و منابع اولیه انرژی بر انتشار آلودگی (مطالعه موردی: اقتصاد ایران)

علی‌حسین استادزاد * | دکتری اقتصاد، استادیار مجتمع آموزش عالی لارستان

چکیده

با توجه به اهمیت روزافزون روابط اقتصادی و مسائل بالقوه زیست محیطی، رابطه رشد اقتصادی با تخریب زیست محیطی مسئله بسیار مهمی است. در این تحقیق چگونگی تأثیر پذیری انتشار CO_2 (به عنوان اصلی ترین عامل ایجاد آلودگی) از رشد درآمد سرانه، نوآوری، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر و استخراج از منابع انرژی در یک الگوی سیستم معادلات همزمان غیرخطی برای ایران در دوره زمانی (۱۳۹۸-۱۳۵۸) بررسی شده است. با بررسی طیف وسیعی از مطالعات، در کمتر مطالعه داخلی یا خارجی رابطه درآمد سرانه، استخراج منابع اولیه انرژی (نفت و گاز)، تولید انرژی‌های تجدید پذیر و نوآوری به صورت هم زمان و در قالب ۴ معادله غیر خطی و خطی مورد بررسی و برآورد قرار گرفته است. همچنین روش بهینه‌سازی چند هدفه و کاربرد آن برای برآورد معادلات هم زمان در الگوهای اقتصاد سنجی به منظور برآورد الگوی تحقیق بسط داده شده است. برای اقتصاد ایران نتایج نشان می‌دهد که نوآوری نتوانسته است تاثیر معناداری بر کاهش انتشار آلودگی داشته باشد. همچنین، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تاثیر معناداری بر کاهش انتشار CO_2 نداشته است. از طرفی، وجود فرضیه زیست محیطی کوزنتس با وجود منابع انرژی اولیه، انرژی‌های تجدید پذیر و نوآوری برای اقتصاد ایران تأیید شد و ایران بر اساس برآوردها در قسمت صعودی این منحنی قرار دارد.

کلیدواژه‌ها: انرژی تجدیدپذیر، منحنی زیست محیطی کوزنتس، نوآوری، منابع اولیه انرژی، بهینه‌سازی چند هدفه، سیستم معادلات همزمان

طبقه‌بندی JEL: Q20 , O35 , O13 , C61 , C30

* نویسنده مسئول: a.ostadzad@lar.ac.ir

۱. مقدمه

از دوره انقلاب صنعتی که تقریبا از سه قرن پیش شروع شده است، جمعیت جهان همواره با رشد بالایی افزایش یافته و از طرفی پیشرفت تکنولوژی نیز چند برابر شده است و با پیشرفت تکنولوژی رفاه نسل بشر افزایش یافته است. با این حال، پژوهشگران محیط زیست و منابع طبیعی بر این باورند که سرعت بالای رشد اقتصادی جهان نه تنها منابع طبیعی، شامل منابع اولیه انرژی و منابع معدنی را از بین می‌برد بلکه انتشار گازهای آلوده کننده به عنوان مثال CO_2، NO_x، SO_2 ناشی از فعالیت‌های اقتصادی، باعث فروپاشی کره زمین در بلند مدت خواهد شد (آبید[1]، ۲۰۱۷). با توجه به اهمیت موضوع در دهه اخیر تمرکز چشمگیر و معناداری روی عوامل ایجاد کننده تغییرات آب و هوا در مطالعات مختلف صورت گرفته است. در این تحقیقات فعالیت‌های کشاورزی، انسانی و صنعتی به عنوان مهمترین عامل ایجاد تغییرات آب و هوایی در نظر گرفته می‌شوند (احمد و خاتک[2]، ۲۰۲۰). در بین گازهای گلخانه‌ای CO_2 تقریباً ۷۵ درصد از انتشار جهانی گازهای گلخانه‌ای را تشکیل می‌دهد. بنابراین در بیشتر مطالعات برای هر کشور توسعه یافته و یا در حال توسعه جهان، CO_2 به عنوان منبع اصلی آلودگی در نظر گرفته شده است (هوآمان و جان[3]، ۲۰۱۴). در این مطالعه نیز، انتشار CO_2 به عنوان متغیر آلودگی فرض شده است.

از نظر اقتصاد محیط زیست به منظور ارزیابی توسعه پایدار یک کشور سازگاری کیفیت محیط زیست با رشد اقتصادی در نظر گرفته می‌شود(اررو و همکاران[4]، ۱۹۹۶). تحقیقات تجربی متعددی به منظور بررسی رابطه بین رشد اقتصادی، درآمد و کیفیت محیط زیست انجام شده است، اما نتایج بیشتر این تحقیقات بی‌نتیجه مانده است. در حالی که اکثریت قابل توجه از مطالعات بررسی شده تأثیر منفی رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست را تایید می‌کنند مانند آبید (۲۰۱۷) و اپرجیس و آزترک[5] (۲۰۱۵). از طرفی تعدادی از مطالعات، نظیر سادورسکی[6] (۲۰۰۹) رابطه کیفیت محیط زیست و رشد درآمد سرانه را

1. Abid
2. Ahmad and Khattak
3. Huaman and Jun
4. Arrow
5. Apergis & Ozturk
6. Sadorsky

ناچیز دانسته‌اند. علاوه بر موارد فوق، مجموعه‌ای از تحقیقات موجود در مورد تأثیر نوآوری و مصرف انرژی تجدیدپذیر بر کیفیت محیط زیست نیز دارای نتایج مختلف و متناقضی می‌باشد. در بسیاری از مطالعات از جمله یو و دو[1] (۲۰۱۹) و بالوچ و همکاران[2] (۲۰۱۹)، به طور تجربی نشان داده شده است که نوآوری و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر پیامدهای زیست محیطی مثبت دارند. این در حالی است که در مطالعات دیگری از جمله آزیودو[3] (۲۰۱۸) یافته‌های بی معنی در مورد رابطه بین شرایط زیست محیطی و نوآوری گزارش شده است.

با توجه به پراکندگی الگوها، دوره‌های زمانی، روش‌های برآورد، شاخص‌های اقتصادی، مناطق و کشورهای در نظر گرفته شده، بیشتر یافته‌های تحقیقات مختلف تا حدود زیادی بحث برانگیز و متناقض است.

رابطه رشد اقتصادی با تخریب زیست محیطی در ایران با توجه به اهمیت روزافزون روابط اقتصادی و مسائل بالقوه زیست محیطی که انتظار می‌رود کشور در آینده با آن روبرو شود، بسیار مهم است. بنابراین، درک رابطه بین رشد تولید ناخالص داخلی، انتشار CO_2، مصرف و استخراج انرژی‌های فسیلی، استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و عوامل تعیین کننده اصلی دیگر در اقتصاد ایران برای توسعه پایدار بسیار مهم است (بررسی این که آیا رابطه‌ای بین این متغیرهای کلیدی اقتصاد انرژی و اقتصاد کلان وجود دارد یا خیر).

با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق سعی در بررسی چگونگی تأثیر پذیری انتشار CO_2 به عنوان اصلی ترین عامل ایجاد آلودگی از رشد درآمد سرانه، نوآوری، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، استخراج از منابع انرژی در یک الگوی پنج معادله‌ای برای کشور ایران در دوره زمانی (۱۳۹۸-۱۳۵۸) داریم.

با بررسی طیف وسیعی از مطالعات که در پیشینه پژوهش آورده شده است، در کمتر مطالعه داخلی یا خارجی رابطه درآمد سرانه، استخراج منابع اولیه انرژی، تولید انرژی‌های تجدید پذیر و نوآوری به صورت هم زمان و در قالب ۴ معادله غیر خطی و خطی مورد بررسی قرار گرفته است. از طرفی برای برآورد معادلات غیر خطی هم زمان در این تحقیق

1. Yu & Du
2. Baloch
3. Azevedo

روش بهینه‌سازی چند هدفه و کاربرد آن برای برآورد معادلات هم زمان در اقتصاد سنجی بسط داده شده است (که استفاده از این روش می‌تواند راه گشایی برای برآورد معادلات همزمان غیر خطی به صورت هوشمند باشد). این مطالعه در شش بخش ارائه شده است. مبانی نظری و پیشینه پژوهش در بخش‌های دوم و سوم، روش تحقیق و نتایج بدست آمده از مدل در بخش چهارم و پنجم مطرح شده و در بخش ششم نتیجه گیری ارائه گردیده است.

۲. مبانی نظری

در این بخش به جهت رسیدن به اهداف تحقیق در ابتدا پنج معادله بسط داده شده و به بررسی مبانی نظری این پنج معادله اصلی یعنی معادله منابع انرژی قابل استخراج اثبات شده، آلودگی، انرژی‌های فسیلی، تابع تولید و تقاضای انرژی پرداخته شده است.

۲-۱. استخراج منابع

در صورتی که S_t موجودی محدود و ثابت یک منبع پایان پذیر در زمان t فرض شود. همچنین S_0 سطح منابع پایان پذیر در دوره صفر باشد. با توجه به مقدار ثابت موجودی اولیه، منابع طبیعی در طول زمان محدود می‌شود. زیرا رشد طبیعی منابع پایان‌پذیر در طول زمان به استثنای دوره‌های مختلف زمین شناسی صفر است. بنابراین معادله دینامیکی استخراج منابع به صورت رابطه (۱) می‌باشد (واندر پلوگ[1]، ۲۰۱۸).

$$S_t = S_0 - \int_{T=0}^{T=t} R_T dT \xrightarrow{diff} \dot{S}_t = -R_t \qquad (۱)$$

که در این رابطه R_t میزان استخراج در دوره t در نظر گرفته شده است. در صورتی که رابطه فوق به صورت گسسته در نظر گرفته شود خواهیم داشت:

$$S_{t+1} = S_t - R_t \qquad (۲)$$

که در رابطه (۲) S_{t+1} سطح منابع در دوره $(t+1)$ است. در صورتی که نرخ برداشت از منابع در هر دوره ثابت و برابر با m در نظر گرفته شود، یعنی $R_t = mS_t$ می‌باشد. ولی با توجه به بررسی روند سطح منابع اولیه انرژی قابل استخراج برای ایران و همچنین جهان در

1. van der Ploeg

طول زمان، سطح منابع علاوه بر اینکه روندی کاهشی نداشته است، بلکه دارای روندی افزایشی نیز بوده است.[۱] این افزایش سطح منابع اولیه انرژی نشان دهنده اکتشافات جدید در دوره‌های مختلف می‌باشد. به منظور بررسی انواع اکتشاف به کدفا[۲] (۲۰۱۲) و فیگوریوآ[۳](۲۰۱۹) مراجعه شود.

در این تحقیق میزان اکتشاف جدید تابعی از سطح سرمایه موجود در بخش منابع نفت و گاز در نظر گرفته شده است. همچنین تابع اکتشاف به صورت خطی فرض شده است یعنی اکتشاف برابر است با φK_t. که در این رابطه φ درصد تغییرات سطح منابع انرژی اولیه نسبت به سرمایه می‌باشد (کشش سطح منابع قابل استخراج انرژی نسبت به سرمایه). با لگاریتم گیری و بسط رابطه (۲) داریم:

$$Log(S_t) = (1-m)Log(S_{t-1}) + \varphi log(K_{t-1}) \qquad (۳)$$

در صورت تقسیم طرفین رابطه فوق بر جمعیت و در نظر گرفتن این رابطه به صورت سرانه رابطه (۴) را خواهیم داشت. که در این رابطه ε_{1t} همه عواملی است که در این رابطه در نظر گرفته نشده است ولی می‌تواند بر سطح منابع انرژی قابل استخراج تاثیر گذار باشد.

$$LS_t = (1-m)LS_{t-1} + \varphi LK_{t-1} \qquad (۴)$$

در رابطه (۴) تمام متغیرها سرانه می‌باشد و ε_{1t} هر عاملی غیر از سرمایه و میزان استخراج است، که بر سطح منابع تاثیر دارد. پس رابطه (۴) را رابطه منابع نامیده و در این رابطه به دنبال برآورد m (درصدی از منابع که در دوره‌های مختلف استخراج می‌شود) و φ (کشش سطح منابع قابل استخراج نسبت به سطح سرمایه) می‌باشیم.

۲-۲. تولید منابع انرژی فسیلی

در این تحقیق در ابتدا فرض شده است که انرژی نهایی یا با استفاده از انرژی فسیلی (تجدید ناپذیر) و یا با استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر تولید می‌گردد. در این قسمت به تولید انرژی نهایی تجدیدناپذیر (فسیلی) پرداخته شده است.

---

۱. برای مشاهده داده‌های منابع اولیه انرژی قابل استخراج به گزارش آماری سالانه اوپک (OPEC Annual Statistical Bulletin) (Different years) و یا به استادزاد (۲۰۱۷) مراجعه کنید.

2. Kadafa
3. Figueira, et al.

فرض شده است که میزان تولید (عرضه) انرژی نهایی تجدید ناپذیر در دوره t (NRE_t) تنها تابعی از میزان استخراج منابع انرژی اولیه فسیلی (بررسی شده در قسمت قبل) می‌باشد. یعنی فرض کرده ایم که تنها نهاده تولید انرژی نهایی، میزان استخراج منابع اولیه انرژی است(هالیسیوگلو و کیتینکی[1] (۲۰۱۸)، بنابراین داریم:

$$NRE_t = f(mS_t) \quad (۵)$$

رابطه تابعی آورده شده در (رابطه ۵) به صورت رابطه (۶) فرض خواهد شد.

$$NRE_t = \lambda_1 (mS_t)^{\lambda_2} \quad (۶)$$

که در این رابطه λ_2 کشش تولید انرژی نهایی فسیلی نسبت به به استخراج انرژی اولیه (mS_t) است. همچنین λ_1 ضریب ثابتی است که برای هم واحد شدن طرف چپ و راست رابطه (۶) در نظر گرفته شده است. در این تحقیق تمام روابط و متغیرها به صورت سرانه در نظر گرفته شده است. طرفین رابطه (۶) را برجمعیت دوره t (N_t) تقسیم کرده و با کمی ساده سازی و همچنین لگاریتم گیری در حین ساده سازی روابط، رابطه (۷) را برای تولید انرژی‌های فسیلی سرانه خواهیم داشت[2].

$$log(nre_t) = \log(\lambda_1) + \lambda_2 log(ms_t) + (\lambda_2 - 1) log(N_t) \quad (۷)$$

که در این رابطه nre_t میزان انرژی نهایی تجدیدناپذیر سرانه تولید شده می‌باشد. در نهایت هر عاملی غیر از عوامل در نظر گرفته شده در رابطه (۷) با ε_{2t} نشان داده خواهد شد.

$$log(nre_t) = \log(\lambda_1) + \lambda_2 log(ms_t) + (\lambda_2 - 1) log(N_t) + \varepsilon_{2t} \quad (۸)$$

در قسمت‌های بعد به بررسی بیشتر و برآورد پارامترهای رابطه (۸) یعنی λ_1 و λ_2 خواهیم پرداخت.

۳-۲. انتشار آلودگی و نوآوری

برخی محققان زیست محیطی، با وارد کردن شاخص‌های مختلف محیط زیست به جای نابرابری درآمدی، به رابطه U معکوس بین این شاخص‌ها و درآمد سرانه پی بردند. بدین ترتیب منحنی زیست محیطی کوزنتس اولیه، شکل گرفت و در مطالعات مربوط به محیط

1. Halicioglu & Ketenci

2. $\frac{NRE_t}{N_t} = \frac{\lambda_1 (mS_t)^{\lambda_2}}{N_t} \Rightarrow nre_t = \frac{\lambda_1 \left(m\frac{S_t}{N_t}\right)^{\lambda_2} (N_t)^{\lambda_2}}{N_t}$

زیست وارد شد. این رابطه U شکل معکوس با روند مثبت آغاز شده، در اوج مسطح می‌شود و سپس کاهش خواهد یافت (دی گروت و همکاران[1]، ۲۰۰۴).

اثر رشد اقتصادی بر کیفیت محیط زیست از طریق سه اثر مقیاس، ساختار و فنآوری قابل بیان است. اثر مقیاس نشان می‌دهد که افزایش تولید در اقتصاد مستلزم استفاده بیشتر از نهاده‌ها در قالب منابع اولیه طبیعی است. تولید کالا و خدمات بیشتر باعث تولید آلودگی بیشتر می‌شود که به تخریب محیط زیست کمک می‌کند. رشد اقتصادی که لزوما باید با گسترش مقیاس تولید صورت بگیرد، پتانسیل منفی موثر بر کیفیت محیط زیست است (گروسمن و کراگر[2]، ۱۹۹۵) (موتینهو و واروم[3]،۲۰۱۷). بنابراین اثر مقیاس نشان می‌دهد که با افزایش تولید سرانه تخریب محیط زیست افزایش خواهد یافت.

اثر ساختار بیانگر نسبت نوع فعالیت تولیدی در اندازه اقتصاد است (آروبو و اموتو[4]، ۲۰۱۱). زمانی که تولید یک کشور از کشاورزی به صنعتی انتقال می‌یابد آلودگی زیاد می‌شود، زیرا منابع بیشتری برای صنعت مورد بهره برداری قرار می‌گیرد و میزان اتلاف منابع نسبت به سرعت احیاء منابع، بیشتر خواهد شد. در واقع همراه با رشد اقتصادی، ساختار تولید به سمت صنایع آلوده کننده محیط زیست حرکت می‌کند که شدت آلودگی در این مرحله از رشد اقتصادی بسیار بالا است. اما در نهایت با پیشرفت تکنولوژی به یک اقتصاد سازگار با محیط زیست خواهیم رسید. در این مرحله، شدت آلودگی همراه با رشد اقتصادی کاهش می‌یابد (این همان اثر ساختار است). احتمالا اثر ساختاری که تولید سرانه بر شدت آلودگی دارد، یک تابع غیر یکنواخت از درآمد، مانند منحنی U شکل معکوس می‌باشد (سوآرت و برینک من[5]، ۲۰۲۰).

به طور کلی پیشرفت تکنولوژی به طور مستقیم آلودگی را از طریق کاهش مصرف مواد اولیه، کاهش می‌دهد. همچنین پیشرفت در تکنولوژی باعث می‌شود که سیاست گذاری بهتری برای کنترل آلودگی اتخاذ شود. از طرفی پیشرفت تکنولوژی باعث می‌شود که صنعتی که ذاتا آلوده است با آلودگی کمتری به تولید کالای مورد نظر بپردازد (سان و لین[6]، ۲۰۱۸).

1. De Groot et al.
2.Grossman and Krueger
3. Moutinho, et al.
4. Orubuand and Omotor
5. Swart and Brinkmann
6. SUN and LIN

بنابراین با توجه به بررسی صورت گرفته می‌توان علت احتمال معکوس بودن منحنی زیست محیطی کوزنتس[1] را از طریق سه کانال مختلف: اثر مقیاس، اثر ساختار و اثر فنآوری توضیح داد.

با توجه به مطالعه چنگ (۲۰۱۹) انتشار آلودگی سرانه تابعی از سطح تولید سرانه (y_t)، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر سرانه (re_t)، مصرف انرژی‌های فسیلی (nre_t) و نوآوری (In_t) در نظر گرفته شده است.

$$\mathrm{CO}_{2_t} = \mathrm{f}(re_t, nre_t, y_t, In_t) \qquad (۹)$$

که با توجه به چنگ (۲۰۱۹)، با در نظر گرفتن شکل لگاریتمی و خطی در رابطه (۹) خواهیم داشت:

$$L\mathrm{CO}_{2_t} = \xi_0 + \xi_1 \mathrm{L}y_t + \xi_2 (Ly_t)^2 + \xi_3 \mathrm{L}In_t + \xi_4 Lre_t + \xi_5 \mathrm{L}nre_t \qquad (۱۰)$$

که در این رابطه $L\mathrm{CO}_{2_t}, \mathrm{L}y_t, \mathrm{L}In_t, Lre_t, \mathrm{L}nre_t$ به ترتیب لگاریتم انرژی نهایی فسیلی، انرژی تجدیدپذیر تولیدی، نوآوری، تولید سرانه و انتشار CO_2 در هر دوره می‌باشد.

همان گونه که مشاهده می‌شود، علاوه بر تولید سرانه، نوآوری، تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و فسیلی نیز در معادله زیست محیطی کوزنتس اولیه در نظر گرفته شده است. در این تحقیق به دنبال پاسخ به این سوال می‌باشیم که آیا نوآوری و تولید انرژی‌های تجدیدپذیر بر روند انتشار آلودگی تاثیر معناداری دارد یا خیر؟

برای به دست آوردن رابطه نهایی منحنی زیست محیطی کوزنتس رابطه (۸) یعنی رابطه تولید انرژی‌های تجدیدناپذیر را در رابطه (۱۰) جایگزاری کرده و به ساده سازی این رابطه خواهیم پرداخت[2]. در نهایت رابطه (۱۱) را به منظور برآورد معادله آلودگی خواهیم داشت که پارامترهای این رابطه در قسمت‌های بعد برآورد و تفسیر خواهد شد.

$$L\mathrm{CO}_{2_t} = \xi_0 + log\left(m^{\xi_5 \lambda_2} {\lambda_1}^{\xi_5}\right) + \xi_1 \mathrm{L}y_t + \xi_2 (Ly_t)^2 + \xi_3 \mathrm{L}In_t + \xi_4 Lre_t + \xi_5 \lambda_2 Ls_t + \xi_5 (\lambda_2 - 1) LN_t + \varepsilon_{3t} \qquad (۱۱)$$

---

1. Environmental Kuznets Curve (EKC)

2. $\xrightarrow{(8) in\ (10)} L\mathrm{CO}_{2_t} = \xi_0 + \xi_1 \mathrm{L}y_t + \xi_2 (Ly_t)^2 + \xi_3 \mathrm{L}In_t + \xi_4 Lre_t + \xi_5 \left(\log(\lambda_1) + \lambda_2 log(ms_t) + (\lambda_2 - 1) log(N_t)\right) \Rightarrow$
$L\mathrm{CO}_{2_t} = \xi_0 + \xi_1 \mathrm{L}y_t + \xi_2 (Ly_t)^2 + \xi_3 \mathrm{L}In_t + \xi_4 Lre_t + \left(\log({\lambda_1}^{\xi_5}) + \xi_5 \lambda_2 \left(log(m) + log(\mathrm{s}_t)\right) + \xi_5 (\lambda_2 - 1) log(N_t)\right) \Rightarrow$
$L\mathrm{CO}_{2_t} = \xi_0 + \xi_1 \mathrm{L}y_t + \xi_2 (Ly_t)^2 + \xi_3 \mathrm{L}In_t + \xi_4 Lre_t + \left(\log({\lambda_1}^{\xi_5}) + log\left(m^{\xi_5 \lambda_2}\right) + \xi_5 \lambda_2 log(\mathrm{s}_t) + \xi_5 (\lambda_2 - 1) log(N_t)\right)$

معادله درجه ۲ آورده شده در رابطه (۱۱)، اولا در صورتی که ξ_2 منفی و معنادار باشد یعنی فرضیه کوزنتس برای اقتصاد و محیط زیست برقرار است و در صورت مثبت بودن نمی توان ادعا نمود که منحنی معکوس U کوزنتس برای اقتصاد و محیط زیست برقرار است. همچنین نقطه بازگشت منحنی زیست محیطی کوزنتس در صورت منفی بودن ξ_2 برابر با $(-\frac{\xi_1}{2\xi_2})$ می‌باشد. یعنی نقطه بازگشت منحنی زیست محیطی کوزنتس $\left(\frac{Y_t}{N_t}\right)^* = -\frac{\xi_1}{2\xi_2}$ می‌باشد. که در این مطالعه $\left(\frac{Y_t}{N_t}\right)^*$ نشان دهنده نقطه بازگشت منحنی U معکوس زیست محیطی کوزنتس است.

یکی دیگر از روابطی که در این تحقیق همزمان با معادلات آلودگی، انرژی و منابع در نظر گرفته شده است، تابع تولید می‌باشد. در ادامه به بررسی رابطه تولید خواهیم پرداخت.

٤-۲. تولید و نوآوری

تابع تولید، یک روش سیستماتیک برای نشان دادن رابطه بین مقادیر مختلف یک نهاده، یا عامل تولید (که برای استفاده یک محصول می‌تواند به‌کار رود) با محصول یا ستاده است.

در بعضی موارد به تابع تولید، تابع تبدیل نیز گفته می‌شود. ولی به هر حال این تابع بیانگر نرخ تکنیکی است، که در آن یک یا چند نهاده، به محصول مشخصی تبدیل می‌شود. پس اگر مقدار نهاده‌های تولید را نوآوری (In_t)، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (RE_t)، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر (NRE_t)، نیروی کار (L_t) و سرمایه در بخش تولید نهایی کالا و خدمات $(\theta_1 K_t)$ و مقدار محصول نهایی را با Y_t نشان دهیم، فرم کلی تابع تولید به صورت زیر خواهد بود:

$$Y_t = \mathrm{f}(In_t, RE_t, NRE_t, \mathrm{L}_t, \theta_1 K_t) \qquad (۱۲)$$

همچنین هر یک از این توابع به فرم‌های مختلفی ممکن است ظاهر شود. از جمله در ساده‌ترین فرم خود به‌صورت خطی و در شکل‌های پیچیده‌تر و در عین حال واقعی‌تر، به‌صورت درجات دو و بالاتر، لگاریتمی و نیمه‌لگاریتمی، نمایی و... قابل بیان است. تعیین فرم دقیق این تابع تا حدود زیادی بستگی به شرایط تولید دارد. با این وجود غالباً اقتصاددانان علاوه بر استفاده از تجربیات مشابه، ملاک انتخاب فرم تابع را بر مبنای توجیه آماری آن قرار می‌دهند. به منظور بررسی انواع تابع تولید و همچنین ادبیات موضوع در این زمینه به

استادزاد (۲۰۲۰)، اسلاملوئیان (۲۰۱۴)، کریمی(۲۰۱۸)، اسلاملوئیان (۲۰۱۶) و کریمی راهجردی (۲۰۱۶) مراجعه شود.

در این تحقیق فرم تابع تولید به صورت کاب داگلاس در رابطه (۱۳) فرض شده است.

$$Y_t = (In_t)^{\alpha_1}(RE_t)^{\alpha_2}(NRE_t)^{\alpha_3}(\mathrm{L}_t)^{\alpha_4}(\theta_1 K_t)^{\alpha_5} \qquad (۱۳)$$

که در این رابطه $\alpha_5, \alpha_4, \alpha_3, \alpha_2, \alpha_1$ به ترتیب کشش تولید نسبت به نوآوری، مصرف انرژی‌های تجدید پذیر، مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر، نیروی کار و سرمایه به کار گرفته شده در تولید کالای نهایی می‌باشد.

ذکر این نکته ضروری است که در اکثر مطالعات ضریب ثابتی به عنوان تکنولوژی تولید در تابع تولید در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه به دنبال بررسی تاثیر نوآوری بر تولید می‌باشیم. به این منظور نوآوری به عنوان یک متغیر در تابع تولید وارد شده است. نوآوری تا به تکنولوژی تبدیل نگردد، نمی تواند تولید ایجاد کند و یا تاثیر کمی بر تولید خواهد داشت. این موضوع که برای اقتصاد ایران ایا نوآوری بر تولید تاثیر داشته است یا خیر مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

به منظور سرانه در نظر گرفتن رابطه (۱۳) طرفین این رابطه را بر جمعیت تقسیم کرده و پس از ساده سازی رابطه (۱۴) را برای تولید سرانه خواهیم داشت[1].

$$\mathrm{y}_t = (In_t)^{\alpha_1}(re_t)^{\alpha_2}(nre_t)^{\alpha_3}(\mathrm{l}_t)^{\alpha_4}(\theta_1 k_t)^{\alpha_5}(N_t)^{\alpha_2+\alpha_3+\alpha_4+\alpha_5-1} \qquad (۱۴)$$

حال از طرفین رابطه (۱۴) لگاریتم گرفته و آن را به صورت لگاریتمی می‌نویسیم[2]. رابطه لگاریتمی ساده شده در رابطه (۱۵) آورده شده است.

$$log(\mathrm{y}_t) = \alpha_5 log(\theta_1) + \alpha_1 log(In_t) + \alpha_2 log(re_t) + \alpha_3 log(nre_t) + \alpha_4 log(\mathrm{l}_t) + \alpha_5 log(k_t) + (\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - 1) log(N_t) \qquad (۱۵)$$

---

1. $\frac{Y_t}{N_t} = \frac{(In_t)^{\alpha_1}(RE_t)^{\alpha_2}(NRE_t)^{\alpha_3}(\mathrm{L}_t)^{\alpha_4}(\theta_1 K_t)^{\alpha_5}}{N_t} \rightarrow \frac{Y_t}{N_t} = \frac{(In_t)^{\alpha_1}\left(\frac{RE_t}{N_t}\right)^{\alpha_2}\left(\frac{NRE_t}{N_t}\right)^{\alpha_3}\left(\frac{\mathrm{L}_t}{N_t}\right)^{\alpha_4}\left(\theta_1\frac{K_t}{N_t}\right)^{\alpha_5}}{N_t}$
$(N_t)^{\alpha_2+\alpha_3+\alpha_4+\alpha_5}$

2. $log(\mathrm{y}_t) = log(In_t)^{\alpha_1} + log(re_t)^{\alpha_2} + log(nre_t)^{\alpha_3} + log(\mathrm{l}_t)^{\alpha_4} + log(\theta_1 k_t)^{\alpha_5} + (\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - 1) log(N_t) \Rightarrow log(\mathrm{y}_t) = \alpha_1 log(In_t) + \alpha_2 log(re_t) + \alpha_3 log(nre_t) + \alpha_4 log(\mathrm{l}_t) + \alpha_5 log(\theta_1 k_t) + (\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - 1) log(N_t)$
$\Rightarrow log(\mathrm{y}_t) = \alpha_1 log(In_t) + \alpha_2 log(re_t) + \alpha_3 log(nre_t) + \alpha_4 log(\mathrm{l}_t) + \alpha_5 log(\theta_1) + \alpha_5 log(k_t) + (\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - 1)\, log(N_t)$

۵-۲. تقاضای انرژی

بر اساس مجدزاده (۱۳۹۴) تابع تقاضای استاندارد انرژی به تقاضای بنگاه‌ها و همچنبن تقاضای خانوار بستگی دارد. تابع تقاضای انرژی برای خانوار به عوامل اجتماعی نظیر سطح درآمد (Y) و جمعیت (N) بستگی خواهد داشت، همچنین تابع تقاضای انرژی بنگاه، یک تابع تقاضای نهاده است که به درآمد یا سطح فعالیت‌های اقتصادی (Y)، سایر نهاده‌های مکمل مانند سرمایه فیزیکی (K)، نیروی کار (L) و کارایی سیستم تولید که به وسیله عواملی چون کیفیت محیط زیست یعنی سطح انتشار آلودگی تحت تاثیر قرار می‌گیرد، وابسته است.

بنابراین معادله تقاضای انرژی با عوامل تقاضای خانوار و بنگاه به صورت $NRE_t = f(Y_t, N_t, K_t, L_t, Co_{2t})$ می‌باشد.

تقاضا برای یک منبع انرژی فسیلی تابعی از سطح درآمد یا رشد اقتصادی است. رشد بالای جمعیت منجر به نیاز بیشتر به انرژی می‌شود. از طرفی استخدام نیروی کار و سرمایه توسط بنگاه سبب افزایش نیاز به انرژی می‌شود. هر چه میزان انتشار کربن توسط یک منبع انرژی بیشتر باشد در صورتی که جایگزین‌های مقرون به صرفه‌ای برای آن وجود داشته باشد،تقاضا برای چنین منبعی کمتر است.

در نهایت فرض شده است که کل انرژی فسیلی تقاضا شده در داخل و با نهاده استخراج شده منابع انرژی اولیه تولید خواهد شد. بنابراین عرضه و تقاضای انرژی نهایی برابر در نظر گرفته شده است (مولایی و انتظار، ۲۰۱۹). رابطه (۱۶) برای تقاضای انرژی‌های فسیلی در نظر گرفته شده است.

$$Lnre_t = \gamma_0 + \gamma_1 Ly_t + \gamma_2 LN_t + \gamma_3 Lk_t + \gamma_4 Ll_t + \gamma_5 LCo_{2t} \qquad (۱۶)$$

در این رابطه پارامترهای γ_1 تا γ_5 به ترتیب کشش تقاضای انرژی فسیلی نسبت به درآمد، جمعیت، سرمایه، نیروی کار و انتشار آلودگی می‌باشد.

در ادامه به بررسی ۵ رابطه بسط داده شده برای استخراج منابع اولیه انرژی، تولید انرژی فسیلی، آلودگی، تولید کل و تقاضای انرژی فسیلی به صورت همزمان پرداخته شده است. در قسمت بعد روش تحقیق به منظور برآورد معادلات همزمان و همچنین بهینه‌سازی چند هدفه به منظور برآورد معادلات همزمان پرداخته شده است.

۳. پیشینه پژوهش

در این قسمت به بررسی مطالعات موجود در زمینه تاثیر عوامل مختلف از جمله درآمد سرانه، نوآوری و مصرف انرژی‌های تجدید پذیر بر آلودگی پرداخته شده است.

۳-۱. نوآوری و انتشار CO_2

تعدادی از مطالعات پیشین تأثیر بالقوه نوآوری بر انتشار CO_2 را نشان می‌دهند. در مورد رابطه نوآوری و انتشار CO_2، نتایج متفاوتی با توجه به استفاده از نمونه و تکنیک‌های مختلف بدست آمده است. بیشتر محققان تمایل دارند که تعداد حق اختراع ثبت شده را به عنوان نماینده‌ای برای نوآوری در نظر بگیرند، زیرا ثبت حق اختراع از مالکیت معنوی و حقوق بنگاه‌هایی که هدف آن‌ها رفع مشکلات زیست محیطی از طریق نوآوری است، محافظت می‌کند (آلبینو و آردیتو[1] (۲۰۱۴) و رایزر و همکاران[2] (۲۰۱۷). از دیگر مطالعات در این زمینه می‌توان به یو و دو (۲۰۱۹)، یی و گتا[3] (۲۰۱۷)، آلدری و همکاران[4] (۲۰۱۹)، برنداو و همکاران[5] (۲۰۱۵) و چنگ (۲۰۱۹) اشاره کرد.

با توجه به بررسی صورت گرفته توسط نویسنده مطالعه‌ای برای اقتصاد ایران که تاثیر نوآوری بر انتشار آلودگی مورد بررسی قرار گرفته باشد مشاهده نشد. بنابراین یکی از نوآوری‌های این پژوهش این می‌باشد که تاثیر نوآروی بر انتشار آلودگی برای اقتصاد ایران مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

۳-۲. مصرف انرژی‌های تجدید پذیر، آلودگی و رشد اقتصادی

استفاده از منابع انرژی تجدید پذیر به عنوان یک جایگزین سازگار با محیط زیست برای سوخت‌های غیر قابل تجدیدپذیر (فسیلی) از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در حقیقت، این منابع انرژی پتانسیل تولید انرژی سبز (انرژی بدون ایجاد آلودگی کربن) را داشته و همزمان سطح گازهای گلخانه‌ای در محیط را افزایش نمی دهند. مطالعات متعددی در طی چند دهه گذشته با استفاده از داده‌های اقتصادی کشورهای مختلف، با روش‌ها و متغیرها و

1. Albino
2. Raiser
3.Yii
4 .Aldieri
5. Brandão Santana, et al.

در دوره‌های زمانی مختلف انجام شده است تا تاثیر استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر بر میزان کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مشخص گردد. از جمله مطالعات در زمینه ارتباط بین مصرف انرژی‌های تجدید پذیر و انتشار می‌توان به CO_2 ایتو (۲۰۱۷)، چارفیدین و کاهیا[1] (۲۰۱۹) لین و رازا[2] (۲۰۱۹) و آچیامپونگ و همکاران (۲۰۱۹)[3] اشاره کرد.

برای ایران نیز در تعدادی از مطالعات به بررسی تاثیر انرژی‌های تجدید پذیر بر انتشار آلودگی پرداخته شده است. به عنوان نمونه در مطالعه استادزاد و بهلولی (۲۰۱۵) به بررسی منحنی زیست محیطی کوزنتس با فرض وجود انرژی‌های تجدیدپذیر و فسیلی در دو الگوی ایستا و پویا برای اقتصاد ایران پرداخته شده است. در این مطالعه با استفاده از روش بهینه‌سازی تکاملی الگوریتم ژنتیک، این منحنی برای اقتصاد ایران برآورد شده است. نتایج برآورد در این تحقیق نشان می‌دهد که اقتصاد ایران در قسمت صعودی منحنی زیست محیطی کوزنتس قرار دارد. از طرفی به منظور رسیدن به نقطه بحرانی (نقطه بازگشت) منحنی زیست محیطی کوزنتس، ۱۲ درصد از کل انرژی باید توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود.

در مطالعه دانشوری و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی مقایسه‌ای میزان تاثیرگذاری انرژی‌های تجدیدپذیر بر اقتصاد سبز در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط و درآمد بالا پرد اخته شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در گروه کشورهای منتخب در دوره زمانی ۲۰۱۶– ۲۰۰۵ مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر تاثیر منفی و معنی داری بر انتشار گاز دی اکسید کربن به عنوان شاخص نشان دهنده اقتصاد سبز در گروه کشورهای منتخب دارد. همچنین میزان تاثیرگذاری انرژی‌های تجدیدپذیر بر اقتصاد سبز در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط بیشتر از گروه کشورهای منتخب درآمد بالا است.

از دیگر مطالعات در این زمینه می‌توان به جلیلی و همکاران (۲۰۱۷) و صادقی و همکاران (۱۳۹۷) اشاره کرد.

با هدف تکمیل تحقیقات گذشته در این تحقیق علاوه بر بررسی تاثیر مصرف انرژی‌های تجدید پذیر بر انتشار CO_2 تاثیر همزمانی نوآوری و مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر بر انتشار CO_2 در نظر گرفته شده است.

---

1. Charfeddine and Kahia
2. Lin and Raza

۳. برای بررسی مطالعات بیشتر به پیشینه پژوهش این مطالعات مراجعه شود.

۳-۳. درآمد سرانه و انتشار CO_2

در ادبیات موضوع در زمینه بررسی رابطه بین درآمد و انتشار CO_2 دو دسته مطالعه پیشنهاد شده است. اولین دسته، بر رابطه بین درآمد و آلودگی زیست محیطی بر اساس آزمون فرضیه منحنی زیست محیطی کوزنتس [1] تمرکز دارند. دومین نوع از مطالعات مسیر مطالعه کرافت [2] (۱۹۷۸) را دنبال می‌کنند که در این مطالعات وابستگی بین رشد اقتصادی و مصرف انرژی بر انتشار CO_2 مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در این تحقیق از مطالعه کرافت پیروی شده است و همزمان ارتباط بین مصرف انرژی و آلودگی و همچنین بر عکس تاثیر آلودگی بر مصرف انرژی مورد بررسی قرار گرفته است.

از مطالعات اساسی موجود در مورد ویژگی‌های منحنی زیست محیطی کوزنتس تحقیق تحلیلی دیندا [3] (۲۰۰۴) می‌باشد، که در این مطالعه نیز تفاوت نظر در مورد ویژگی‌های منحنی زیست محیطی کوزنتس در نتایج مطالعات تجربی مختلف در کشورها یا مناطق مختلف نشان داده شده است.

با توجه به اینکه ایران یک کشور صادر کننده نفت و عضو اپک می‌باشد، یکی از نوآوری‌های تحقیق حاضر این است که مصرف انرژی اولیه [4] و استخراج نفت و گازطبیعی در منحنی زیست محیطی کوزنتس وارد شده است و تاثیر استخراج منابع اولیه انرژی بر آلودگی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

با این وجود اثر متقابل بین درآمد و انتشار آلودگی به طور بسیار وسیع در طی سال‌ها و داده‌های مختلف، همچنین رویکردهای روش‌شناسی با متغیرهای متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است (زوندی [5]، ۲۰۱۷ و بایک [6]، ۲۰۱۵). و برای بررسی مطالعات بیشتر در زمینه تاثیر درآمد بر آلودگی و اثبات برقراری منحنی زیست محیطی کوزنتس به رحمان و احمد (۲۰۱۹) مراجعه شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

٤. روش تحقیق

در این قسمت با توجه به ادبیات نظری مطرح شده در قسمت قبل، به معرفی مدل و داده‌های مربوطه و روش تحقیق جهت برآورد معادلات ساختاری همزمان پرداخته می‌شود.

1. EKC
2. Kraft and Kraft
3. Dinda
4. Primary energy
5. Zoundi
6. Baek

با توجه به روابط (۴)، (۸)، (۱۱)، (۱۵) و (۱۶) می‌توان پنج معادله ساختاری را در رابطه (۱۷) نشان داده شده است.

در ابتدا به دنبال اثبات این می‌باشیم که این معدلات یک سیستم معادلات همزمان است. پس از آن با توجه به غیر خطی بودن یکی از معادلات نمی توان با روش‌های معمول پارامترها را برآورد نمود. بنابراین برای برآورد همزمان پارامترها از روش بهینه‌سازی توابع چند هدفه برای حداقل سازی همزمان کمترین مربعات خطای ۵ معادله پرداخته شده است.

همان گونه که در روابط (۱۷) مشاهده می‌شود تمام این معادلات دارای پارامترهای مشترکی می‌باشند. به عنوان مثال m یعنی میزان استخراج در هر دوره در هر ۵ معادله دیده می‌شود. بنابراین به منظور برآورد این پارامتر باید هر پنج معادله به صورت هم زمان برآورد گردد.

$$Ls_t = (1-m)Ls_{t-1} + \varphi Lk_{t-1} + \varepsilon_{1t} \qquad (۱۷\text{–}۱)$$

$$Lnre_t = log\left(\lambda_1 m^{\lambda_2}\right) + \lambda_2 Ls_t + (\lambda_2 - 1)LN_t + \varepsilon_{2t} \qquad (۱۷\text{–}۲)$$

$$LCO_{2_t} = \xi_0 + log\left(m^{\xi_5\lambda_2}\lambda_1^{\xi_5}\right) + \xi_1 Ly_t + \xi_2 (Ly_t)^2 + \xi_3 LIn_t + \xi_4 Lre_t + \xi_5\lambda_2 Ls_t + \xi_5(\lambda_2 - 1)LN_t + \varepsilon_{3t} \qquad (۱۷\text{–}۳)$$

$$L(\mathrm{y}_t) = \alpha_5 log(\theta_1) + \alpha_1 L(In_t) + \alpha_2 L(re_t) + \alpha_3 L(nre_t) + \alpha_4 L(\mathrm{l}_t) + \alpha_5 L(k_t) + (\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - 1)L(N_t) + \varepsilon_{4t} \qquad (۱۷\text{–}۴)$$

$$Lnre_t = \gamma_0 + \gamma_1 Ly_t + \gamma_2 LN_t + \gamma_3 Lk_t + \gamma_4 Ll_t + \gamma_5 LCo_{2t} + \varepsilon_{5t} \qquad (۱۷\text{–}۵)$$

در روش‌های معمول برآورد معادلات همزمان ابتدا باید معادلات فوق را خطی کرد. پس از آن معادلات را به صورت ماتریسی نوشته و از روش‌های معمول حل معادلات هم زمان به برآورد پارامترهای الگوی بسط داده شده با روش معادلات همزمان پرداخت[۱].

در این مطالعه با توجه به غیرخطی بودن یکی از معادلات از روش‌های معمول برآورد معادلات همزمان استفاده نشده است. در این تحقیق از روش بهینه‌سازی پارتو بسط داده شده به منظور برآورد معادلات غیر خطی فوق به صورت همزمان پرداخته شده است. در ادامه در ابتدا به بررسی روش بهینه‌سازی چندهدفه و تعیین سطح بهینه پارتو[۲] خواهیم پرداخت و پس از آن به برآورد الگوی رابطه (۱۷) با این روش پرداخته شده است.

---

۱. به منظور مشخص شدن همزمانی معادلات فوق تمام این مراحل در پیوست ۱ انجام شده است.

2. Pareto Optimization (Multi objective optimization (MOO))

بهینه‌سازی چند هدفه[۱] یا بهینه‌سازی پارتو[۲]، حوزه‌ای از تصمیم‌گیری چند معیاره[۳] محسوب می‌شود. در بهینه‌سازی چند هدفه بیش از یک تابع هدف[۴] (چند تابع هدف)، به طور همزمان، بهینه‌سازی می‌شوند. روش‌های بهینه‌سازی چند هدفه زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرند که برای رسیدن به تصمیمات بهینه در سیستم، نیاز است میان دو یا چند هدف متناقض موازنه[۵] برقرار شود. حتی برای یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه ساده، احتمال اینکه جواب بهینه‌ای[۶] یافت شود که به طور همزمان، تمامی توابع هدف تعریف شده در مسأله را بهینه‌سازی کند، بسیار کم است. در صورتی که توابع هدف تعریف شده در مسأله بهینه‌سازی چند هدفه با یکدیگر در تناقض باشند، جواب‌های بهینه پارتو[۷] وجود خواهد داشت[۸](ژنگ و همکاران[۹]، ۲۰۱۷). معمولا مسائل بهینه‌سازی پارتو یک جواب واحد ندارند و یک مجموعه جواب را در اختیار ما قرار می‌دهد. بدون در اختیار داشتن اطلاعات اضافی، تمامی جواب‌های بهینه پارتو به یک اندازه خوب هستند و با یکدیگر برابر[۱۰] در نظر گرفته می‌شوند[۱۱].

بر اساس مطالعه کوناک و همکاران[۱۲] (۲۰۰۶) از نظر ریاضی، یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه را می‌توان به صورت رابطه (۱۸) فرمول‌بندی کرد. در صورتی که در این رابطه، $f(x)$ یک بردار متشکل از توابع هدف است. که q تعداد توابع هدف در مسأله بهینه‌سازی چند هدفه را نشان می‌دهد. همچنین تعداد n متغیر داریم که با توجه به این n متغیر به بهینه‌سازی q تابع هدف پرداخته خواهد شد. از طرفی در مسئله بسط داده شده تعداد m نامساوی و p معادله مساوی به عنوان محدودیت در نظر گرفته شده است.

---

1. Multi-Objective Optimization
2. Pareto Optimization
3. Multi-Criteria Decision Making
4. Objective Function
5. Trade-off
6. Optimal Solution
7. Pareto Optimal Solutions

۸. از لحاظ تئوری، ممکن است بی‌نهایت جواب بهینه پارتو برای یک مسأله بهینه سازی چند هدفه وجود داشته باشد

9. Zheng et al.
10. Equivalency

۱۱. در این تحقیق با یک فرض اضافی بهترین جواب بهینه سازی پارتو از مجموعه جواب‌های ممکن انتخاب خواهد شد.

12. Konak et al.

$$\begin{cases} Min\ f(x) = \{f_1(x), f_2(x), \dots\dots, f_q(x)\} \\ S.t \\ g_i(x) \le 0 \quad i = 1, \dots, m \\ h_j(x) = 0 \quad j = 1, \dots, p \\ x_k^l \le x_k \le x_k^u, \quad k = 1, \dots, n \end{cases} \qquad (۱۸)$$

نقاط ایده‌آل، از طریق کمینه‌سازی هر یک از توابع موجود در مسأله بهینه‌سازی چند هدفه، بدون در نظر گرفتن دیگر توابع حاصل می‌شوند. هر بار که یکی از توابع هدف موجود در مسأله بهینه‌سازی چند هدفه کمینه می‌شود، یک نقطه در فضای طراحی و یک مقدار متناظر با آن تابع هدف به دست می‌آید. پیدا کردن نقاط ایده‌آل، کار بسیار سختی است. به همین خاطر است که می‌گویند نقاط ایده‌آل معمولا دست نیافتنی هستند. در چنین حالتی، بهترین گزینه پیدا کردن جواب‌هایی (جواب‌های بهینه پارتو) است که بیشترین نزدیکی ممکن را به جواب ایده‌آل در فضای استاندارد داشته باشند. به چنین جوابی، جواب متوازن گفته می‌شود.

میزان نزدیکی میان نقطه ایده‌آل و نقاط دیگر در فضای معیار را می‌توان توسط روش‌های متفاوتی تعریف کرد. معمولا نقطه‌ای در فضای معیار یک مسأله بهینه‌سازی چند هدفه به عنوان جواب متوازن شناخته می‌شود که فاصله اقلیدسی آن از نقطه ایده آل کمینه باشد. فاصله اقلیدسی یک نقطه در فضای معیار، از نقطه ایده‌آل از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$D(X) = \| f(x) - f^o \| = \sqrt{\sum_{i=1}^{q} \left[f_i(x) - f_i^o\right]^2} \qquad (۱۹)$$

در این رابطه، f_i^o یک مؤلفه از نقطه ایده‌ال در فضای معیار را نمایش می‌دهد. جواب‌های متوازن نیز به عنوان جواب‌های بهینه پارتو شناخته می‌شوند. در اقتصادسنجی برای یافتن مقدار بهینه پارامترهای مدل، تلاش می‌شود تا مجموع مربعات خطا، حداقل شود. منظور از خطا، تفاوت مقدار برآوردی متغیر وابسته و مقدار واقعی آن است. اکنون برای برآورد روابط (۱۷) در چارچوب بهینه‌سازی چند هدفه، فضای اقلیدسی برای هر معادله به صورت روابط (۲۰) نوشته شده است. هر یک از این روابط، در حقیقت، مجموع مربعات خطا هستند.

$$\begin{cases} RSS_1 = \left[Ls_t - (1-m)Ls_{t-1} - \varphi Lk_{t-1}\right]^2 \\ RSS_2 = \left[Lnre_t - (log(\lambda_1 m^{\lambda_2}) + \lambda_2 Ls_t + (\lambda_2 - 1)LN_t)\right]^2 \\ RSS_3 = \left\{LCO_{2_t} - \begin{bmatrix} \xi_0 + log\left(m^{\xi_5\lambda_2}\lambda_1^{\xi_5}\right) + \xi_1 Ly_t + \xi_2\left(Ly_t\right)^2 + \xi_3 LIn_t + \\ \xi_4 Lre_t + \xi_5\lambda_2 Ls_t + \xi_5(\lambda_2 - 1)LN_t \end{bmatrix}\right\}^2 \\ RSS_4 = \left\{Ly_t - \begin{bmatrix} \alpha_5 log(\theta_1) + \alpha_1 L(In_t) + \alpha_2 L(re_t) + \alpha_3 L(nre_t) \\ + \alpha_4 L(l_t) + \alpha_5 L(k_t) + (\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - 1)L(N_t) \end{bmatrix}\right\}^2 \\ RSS_5 = \left\{Lnre_t - \left(\gamma_0 + \gamma_1 Ly_t + \gamma_2 LN_t + \gamma_3 Lk_t + \gamma_4 Ll_t + \gamma_5 LCo_{2t}\right)\right\}^2 \end{cases} \quad (۲۰)$$

با توجه به الگوی بهینه‌سازی چند هدفی آورده شده در رابطه ۱۸ و همچنین روابطی که قرار است به صورت همزمان با استفاده از روابط ۲۰ برآورد گردند. رابطه (۲۱)، الگوی پنج هدفی کمینه سازی را در قالب یک رابطه نشان می‌دهد. این رابطه به روش بهینه‌سازی چند هدفی، با توجه به پارامترهای $Chro = \{m, \theta_1, \varphi, \xi_0, \xi_1, \xi_2, \xi_3, \xi_4, \xi_5, \lambda_1, \lambda_2, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5, \gamma_0, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4, \gamma_5\}$ با برنامه نویسی در نرم افزار متلب تخمین زده می‌شوند.

$$Min \begin{Bmatrix} RSS_1 = \sum_{t=1}^{T}(\varepsilon_{1t})^2, RSS_2 = \sum_{t=1}^{T}(\varepsilon_{2t})^2, \\ RSS_3 = \sum_{t=1}^{T}(\varepsilon_{3t})^2, RSS_4 = \sum_{t=1}^{T}(\varepsilon_{4t})^2, \\ RSS_5 = \sum_{t=1}^{T}(\varepsilon_{5t})^2 \end{Bmatrix} \quad (۲۱)$$

$$S.t \quad 0 < m < 1 \quad , \quad 0 < \theta < 1$$

در الگوی (۲۱) محدودیت هایی برای درصد منابع قابل استخراج، درصد سرمایه به کار رفته در بخش استخراج منابع اولیه در نظر گرفته شده است. از طرفی به منظور آزمون معناداری پارامترهای تخمین زده شده شده نیز از آماره $t = \frac{\hat{\alpha}}{SE(\alpha)}$ استفاده خواهد شد. برای محاسبه ضریب همبستگی برای هر معادله از رابطه $R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS}$ یا $R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{T}(Y_i - \hat{Y}_i)}{\sum_{i=1}^{T}(Y_i - \bar{Y})}$ استفاده شده است.

در ادامه در نرم افزار MATLLAB کدهای حل مسئله چند هدفی با توجه به رابطه‌های (۲۰) و (۲۱) نوشته شده است[۱] و پارامترهای مورد نظر مسئله با روش بهینه‌سازی چند معیاری پارتو برآورد گردیده است. در قسمت بعد پارامترهای برآورد شده و همچنین تحلیل نتایج آورده شده است.

۵. نتایج و بحث

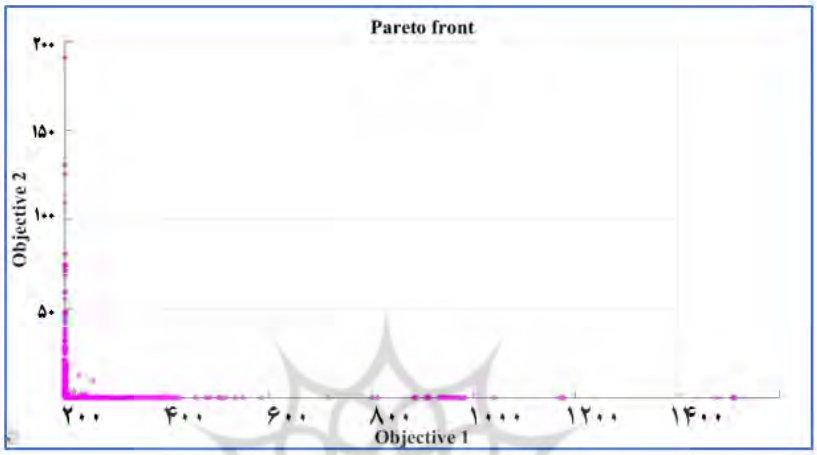
در این قسمت پارامترهای مربوط به الگوی بسط داده شده در قسمت مبانی نظری (روابط ۱۷) با استفاده از روش بهینه یابی چند هدفه (الگوی ۲۱) و با استفاده از نرم افزار متلب، برای داده‌های ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۸-۱۳۵۸ برآورد شده است. منابع داده‌های جمع آوری شده درادامه آمده است.

متغیر	نماد	واحد	مرجع جمع آوری داده	کمترین مقدار	بیشترین مقدار	میانگین	انحراف معیار
حجم سرمایه	k_t	میلیارد میلیون ریال	بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران سال‌های مختلف	۱۲/۶۷	۵۸/۲۹	۳۲/۵۸	۱۴/۵۸
منابع انرژی قابل استخراج	s_t	میلیارد بشکه معادل نفت خام	گزارش سالانه آماری اپک (سال‌های مختلف)	۱۲۷	۳۶۵	۲۴۲	۸۰
سطح CO_2 منتشر شده	CO_{2_t}	میلیون تن	داده‌های سری زمانی بانک جهانی	۸۸/۵	۵۷۹/۸	۳۲۱/۶	۱۶۴/۷
GDP به قیمت‌های ثابت	y_t	میلیارد میلیون ریال	بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، پایگاه سری‌های زمانی[۲]	۲/۸۴	۱۵/۸۶	۸/۵۱	۴/۵۶
جمعیت	N_t	میلیون نفر	مرکز آمار ایران	۳۸/۶۵	۱۸/۸۰	۶۳/۲۳	۱۲/۰۶
نوآوری	In_t	تعداد ثبت اختراع	داده‌های سری زمانی بانک جهانی[۳]	۳۱۱	۱۶۲۵۹	۴۸۳۱۳	۵۸۸۶/۲
نیروی کار	l_t	میلیون نفر	مرکز آمار ایران	۱۴/۲	۲۸/۲	۲۱/۴	۴/۵
تولید انرژی‌های تجدیدپذیر	re_t	میلیارد کیلوگرم معادل نفت خام[۴]	داده‌های سری زمانی بانک جهانی	۳۶/۶	۲۳۴/۸	۱۱۶/۶	۶۲/۹
تولید انرژی‌های فسیلی	nre_t	میلیون کیلوگرم معادل نفت خام	داده‌های سری زمانی بانک جهانی	۴۱۱/۹	۲۳۱۷/۲	۱۰۳۰/۱	۵۰۴/۷

۱. تمام مراحل حل بهینه سازی و برآورد پارامترها در نرم افزار متلب توسط نویسنده کد نویسی شده است. در صورت نیاز به کدهای نوشته شده می‌توانید با نویسنده تماس بگیرید.

2. https://tsd.cbi.ir/
3. https://databank.worldbank.org/
4. kg of oil equivalent

با توجه به سری‌های زمانی جمع‌آوری شده و همچنین مسئله بهینه‌سازی چند هدفی رابطه (۲۱) سطح بهینه پارتو برآورد شده است. سطح بهینه پارتو در شکل (۱) رسم شده است. همان طور که در قسمت‌های قبل نیز توضیح داده شد، در بهینه‌سازی پارتو یک نقطه بهینه وجود ندارد، بلکه یک مجموعه نقاط بهینه داریم.



شکل (۱): سطح بهینه پارتو

مأخذ: یافته‌های پژوهش

ذکر این نکته ضروری است که همه نقاط بدست آمده از بهینه‌سازی چند هدفه دارای یک ارزش می‌باشند و می‌توان همه نقاط را به عنوان نقطه بهینه دانست. یعنی مقادیری که در فضای پارامترها (متغیرهای تصمیم) این ۲۵۰۰ مقدار را ارائه می‌کنند قابل قبول و نقطه بهینه می‌باشند. با توجه به شکل همه نقاط بدست آمده نقاط کارا هستند و نقطه مغلوبی در نمودار فوق مشاهده نمی شود. یعنی نمی توان در این نمودار نقطه‌ای را مشاهده کرد که تابع هدف اول را بتوان کاهش داد در حالی که تابع هدف دوم تغییری نکند. پس می‌توان هر کدام از این ۲۵۰۰ نقطه را بهینه نامید ولی برای رسیدن به یک نقطه باید شرط دیگری را اجرا نمود که در زیر شرط پیدا کردن نقطه کارا آورده شده است.

به منظور پیدا کردن یک نقطه از بین سطح بهینه برآورد شده شرط رابطه (۲۲) را در نظر می‌گیریم.

$$Min\{RSS_1 + RSS_2 + RSS_3 + RSS_4 + RSS_5\} \qquad (۲۲)$$

یعنی از بین مجموعه پارامترهای برآورد شده (حدود ۲۵۰۰ نقطه بهینه) با بهینه‌سازی چند هدفی تنها پارامتری را انتخاب خواهیم کرد که جمع، مجموع مربعات خطا برای پنج معادله برآورد شده حداقل شود. نتایج برآورد انجام شده، مربوط به هر معادله به طور جداگانه گزارش و تحلیل نتایج در ادامه آورده شده است. ابتدا پارامترهای برآوردی معادله سطح منابع قابل استخراج اثبات شده، در جدول (۱) گزارش شده است.

جدول (۱): پارامترهای برآورد شده معادله سطح منابع قابل استخراج اثبات شده

$Ls_t = (1-m)Ls_{t-1} + \varphi Lk_{t-1}$				
متغیر	مقدار برآورد شده	انحراف معیار	آماره t	p-value[1]
m	۰/۰۲۷	۰/۰۱۸	۹/۵	۰/۰۰۴
φ	۰/۱۲	۰/۰۱۱	-۸/۳	۰/۰۰۲۱
R^2 =۹۲٪				

مأخذ: یافته‌های پژوهش

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول (۱)، درصد استخراج منابع اولیه انرژی به طور میانگین ۲/۷ درصد در سال برای دوره ۱۳۵۸ تا ۱۳۹۸ محاسبه شده است. از طرفی کشش منابع قابل اسنخراج نفت وگاز نسبت به سرمایه برابر با ۰/۱۲ بدست آمده است. این به این معنی است که با افزارش سرمایه کل، سرمایه در بخش نفت و گاز نیز افزایش خواهد یافت، افزایش سرمایه در بخش انرژی، اکتشافات جدیدی به همراه خواهد داشت و یا می‌توان منابعی را که در دسترس نبوده اند با خرید تکنولوژی جدید قابل استخراج نمود. بنابراین با توجه به نتایج برآورد، افزایش یک درصدی سرمایه باعث افزایش ۰/۱۲ درصدی در منابع قابل استخراج خواهد شد. در جدول (۱) همچنین آماره t برای تمام پارامترها بدست آمده است. با توجه به آماره‌های t بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت که در سطح اطمینان ۹۹ درصد تمام پارامترها معنادار بوده و بنابراین تحلیل‌های صورت گرفته روی این پارامترها قابل قبول است.

با توجه به مقدار R^2 برآورد شده در جدول (۱) برابر با ۹۲ درصد می‌باشد که بیانگر خوبی برآورد برای رابطه سطح منابع قابل استخراج در هر دوره می‌باشد.

---

۱ . در نرم افزار متلب با استفاده از دستور "ttest" محاسبه شده است

در ادامه به برآورد و تحلیل پارامترهای رابطه انرژی‌های فسیلی پرداخته شده است. نتایج برآورد معادله تولید انرژی‌های فسیل در جدول (۲) آورده شده است.

جدول (۲): پارامترهای برآورد شده رابطه انرژی‌های فسیلی

$NRE_t = \lambda_1 (mS_t)^{\lambda_2}$				
متغیر	مقدار برآورد شده	انحراف معیار	آماره t	p-value
λ_1	۱۱/۲	۵/۸۳	-۴۹/۵۶	۰/۰۱۲
λ_2	۳/۲۱	۰/۱۸	-۲۲/۹۳	۰/۰۰۲۲
R^2 =۹۰٪				

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

با توجه به پارامترهای برآورد شده در جدول شماره (۲) تمام پارامترهای برآورد شده در سطح اطمینان بالای ۹۵ درصد، معنادار هستند. بنابراین تحلیل‌های صورت گرفته بر پارامترهای این معادله با احتمال ۹۵ درصد صحیح است. مقدار برآورد شده برای کشش تولید انرژی‌های فسیلی نسبت به استخراج منابع انرژی ۳/۲۱ برآورد شده است. یعنی برای افزایش ۳/۲۱ درصدی تولید انرژی نهایی فسیلی باید میزان استخراج از منابع اولیه انرژی ۱ درصد افزایش یابد. از طرفی با توجه به رابطه (۸) می‌توان محاسبه نمود که کشش تولید انرژی‌های فسیلی سرانه نسبت به جمعیت برابر با ۲/۲۱ می‌باشد ($\eta_{nre_t,N_t} = \lambda_2 - 1$). یعنی با افزایش یک درصدی جمعیت میزان تولید انرژی‌های فسیلی ۲/۲۱ درصد افزایش خواهد یافت. دلیل این شاید مربوط به این موضوع باشد که ایران در قسمت صعودی منحنی زیست محیطی کوزنتس قرار دارد. یعنی با افزایش جمعیت تولید افزایش یافته است. برای تولید بیشتر نیاز به مصرف انرژی بیشتری می‌باشد. حال تولید انرژی‌های تجدید پذیر در ایران رشد زیادی نداشته است. بنابراین مصرف انرژی نهایی تجدید ناپذیر افزایش یافته است. ذکر این نکته ضروری است که رشد مصرف انرژی فسیلی به اندازه رشد جمعیت نمی باشد، بلکه بیشتر است.

در ادامه به بررسی مقادیر برائرد شده برای رابطه آلودگی پرداخته شده است. در جدول (۳) پارامترهای معادله آلودگی آورده شده است.

جدول (۳): پارامترهای معادله برآورد شده آلودگی

$LCO_{2_t} = \xi_0 + \xi_1 \mathrm{L}y_t + \xi_2 (Ly_t)^2 + \xi_3 \mathrm{L}In_t + \xi_4 Lre_t + \xi_5 \mathrm{L}nre_t$				
نام متغیر	مقدار برآورد شده	انحراف معیار	آماره t	p-value
ξ_0	۰/۷۶	۰/۲۱	۲۴/۱	۰/۰۰۱
ξ_1	۰/۷۵	۰/۵۳	−۱۳/۳	۰/۰۰۷
ξ_2	−۰/۴۳	۰/۱۲	−۱۷/۳	۰/۰۰
ξ_3	۰/۲۳	۰/۳۲	۰/۱	۰/۳۴
ξ_4	−۰/۰۶	۰/۰۸۷	۲۵/۱	۰/۰۰۲
ξ_5	۰/۲۱	۰/۱۱	−۱۲/۳	۰/۰۰۱
R^2 =۹۴٪				

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

با توجه به آماره t محاسبه شده برای هر پارامتر، در سطح اطمینان حداقل ۹۹ درصد تمام پارامترهای برآورد شده این معادله معنادار می‌باشند.

با توجه به بررسی صورت گرفته در قسمت مبانی نظری، نقطه بازگشت منحنی U معکوس زیست محیطی کوزنتس برای اقتصاد ایران برابر است با ۰/۸۷ میلیارد ریال به ازای هر شخص می‌باشد. این در حالی است که مقدار کنونی تولید ناخالص داخلی سرانه برای اقتصاد ایران برابر با ۰/۴۹۲ میلیارد ریال می‌باشد (مقادیر بر حسب میلیارد ریال به قیمت‌های ثابت سال ۱۳۹۰ بر اساس سری زمانی ارائه شده توسط بانک مرکزی برای سال ۱۳۹۸ می‌باشد. که مقدار کل درآمد ملی به قیمت ثابت سال ۱۳۹۰ بر جمعیت تقسیم شده است. پس با توجه به کمتر بودن مقدار تحقق یافته تولید ناخالص داخلی سرانه کمتر از مقدار نقطه بازگشت منحنی کوزنتس می‌توان نتیجه گرفت اقتصاد ایران در قسمت صعودی این منحنی قرار دارد.

از طرفی با توجه به مقادیر برآورد شده در جدول شماره (۳)، مقدار برآورد شده برای کشش آلودگی نسبت به تولید انرژی‌های تجدیدپذیر برابر با ۰,۰۶− می‌باشد. یعنی با افزایش تولید یک درصدی انرژی‌های تجدیدپذیر آلودگی تنها ۰/۰۶ درصد کاهش خواهد یافت. این در حالی است که کشش آلودگی نسبت به تولید انرژی‌های فسیلی ۰/۲۱ محاسبه شده است. این یعنی به ازای هر ۱۰ درصد افزایش در تولید انرژی‌های فسیلی

آلودگی به اندازه ۲/۱ درصد افزایش خواهد یافت. یعنی در صورتی که بتوان ۱۰ درصد از انرژی‌های فسیلی را با انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین نمود ۲/۱ درصد کاهش در آلودگی را شاهد خواهیم بود. ذکر این نکته ضروری است که تمام ضرایب برآورد شده در سطح اطمینان ۹۹ درصد قابل اطمینان می‌باشند. یعنی افزایش انرژی‌های فسیلی و تجدید پذیر به ترتیب باعث افزایش و کاهش آلودگی خواهد شد.

با توجه به رابطه (۳-۱۷) کشش انتشار آلودگی نسبت به سطح منابع قابل استخراج برابر با $\xi_5\lambda_2$ می‌باشد. با توجه به نتایج بدست آمده در جدول (۲) و (۴) مقدار این کشش ۰/۶۸ بدست آمده است. این به این معنی است که افزایش ۱ درصدی در سطح منابع قابل استخراج باعث افزایش ۰/۶۸ درصدی در الودگی می‌شود.

از طرفی مقدار پارامتر برآورد شده وآماره t برای نوآوری نشان می‌دهد که در سطح اطمینان ۹۰ درصد نمی توان گفت که نوآوری بر انتشار آلودگی تاثیر معناداری دارد.

در ادامه پارامترهای برآورد شده تابع تولید در جدول ۴ آورده شده است.

جدول (٤): پارامترهای معادله برآورد شده رابطه تابع تولید

$Y_t = (In_t)^{\alpha_1}(RE_t)^{\alpha_2}(NRE_t)^{\alpha_3}(\mathrm{L}_t)^{\alpha_4}(\theta_1 K_t)^{\alpha_5}$				
متغیر	مقدار برآورد شده	انحراف معیار	آماره t	[1]p-value
α_1	۰/۰۱	۰/۰۱۲	۲۱/۹	۰/۰۰۱
α_2	۰/۰۵	۰/۰۵۴	۱۲/۲	۰/۰۰۳
α_3	۰/۱۲	۰/۰۳۴	۳/۴	۰/۱۸
α_4	۰/۳۲	۰/۰۸۷	۵۵/۴	۰/۰۰
α_5	۰/۴۷	۰/۰۳۲	۲۱/۷	۰/۰۰۵
R^2 =۷۸٪				

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

با توجه به جدول (۴) تمام پارامترهای برآورد شده در تابع تولید به جز تولید انرژی‌های فسیلی در سطح اطمینان ۹۹ درصد قابل اطمینان می‌باشد. با توجه به پارامترهای برآورد شده در این جدول با افزایش ۱۰۰ درصدی نوآوری تولید ناخالص داخلی تنها ۱ درصد افزایش خواهد یافت.

۱ . در نرم افزار متلب با استفاده از دستور "ttest" محاسبه شده است

از طرفی کشش تولید برای سرمایه و نیروی کار به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۳۲ بدست آمده است. یعنی افزایش ۱ درصدی سرمایه باعث افزایش ۰/۴۷ درصدی در تولید ناخالص داخلی خواهد داشت. از طرفی افزایش ۱ درصدی نیروی کار افزایش ۰/۳۲ درصدی در تولید ناخالص داخلی را به همراه خواهد داشت.

پارامترکشش تولید نسبت به مصرف انرژی‌های تجدید پذیر ۰/۰۵ بدست آمده است، این حاکی از آن است که در صورت افزایش ۱۰۰ درصدی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، تولید ناخالص داخلی ۵ درصد افزایش خواهد یافت.

با جمع کشش‌های محاسبه شده در جدول (۴) مقدار بازده نسبت به مقیاس در این تحقیق ۰/۹۵ (جمع کشش‌های تولید) بدست آمده است. با توجه به کوچکتر از یک بودن این مقدار یعنی بازده کاهشی نسبت به مقیاس برای اقتصاد ایران برقرار است.

جدول (۵): پارامترهای برآورد شده رابطه تقاضای انرژی فسیلی

$Lnre_t = \gamma_0 + \gamma_1 Ly_t + \gamma_2 LN_t + \gamma_3 Lk_t + \gamma_4 Ll_t + \gamma_5 LCo_{2t}$				
متغیر	مقدار برآورد شده	انحراف معیار	آماره t	p-value
γ_0	۰/۱۵	۰/۰۱۲	۲۳/۴	۰/۰۰۸
γ_1	۰/۸۵	۰/۰۴۳	۱۲/۶۵	۰/۰۱۰
γ_2	۱/۲۳	۰/۰۲۱	۶۷/۳۲	۰/۰۰۹
γ_3	۰/۰۲	۰/۹۸	۸۷/۹۸	۰/۲۱
γ_4	۰/۰۵	۰/۵۶	۸۷/۲۱	۰/۴۳
γ_5	۰/۲۵	۰/۰۴۳	۱۰/۳۲	۰/۰۲۳
R^2 =۸۵٪				

مأخذ: یافته‌های پژوهش.

در ادامه با توجه به نتایج جدول (۵) به بررسی تاثیر عوامل موثر بر مصرف انرژی پرداخته شده است. با توجه به برآوردهای صورت گرفته در این جدول رشد درآمد ملی (درصد تغییرات تولید ناخالص داخلی) سبب افزایش مصرف انرژی (تقاضا برای انرژی) می‌شود. نتایج برآورد نشان می‌دهد که یک درصد افزایش رشد اقتصادی به طور متوسط سبب افزایش ۰/۸۵ درصدی مصرف انرژی‌های فسیلی خواهد شد. همچنین انتشار آلودگی سبب افزایش مصرف انرژی شده است، که این موضوع نشان می‌دهد، در فرایند مصرف

انرژی توجهی به آلاینده بودن آن برای اقتصاد ایران نشده است. به همین ترتیب، بر اساس آماره‌های محاسبه شده، سرمایه فیزیکی و نیروی کار تاثیر معناداری بر مصرف انرژی نداشته است.

از دیگر نتایج حاصل شده می‌توان به کشش تقاضا برای انرژی نسبت به جمعیت اشاره نمود. افزایش یک درصدی جمعیت تقاضا برای انرژی‌های فسیلی را ۱/۲۳ درصد افزایش خواهد داد. این موضوع را می‌توان به صعودی بودن منحنی زیست محیطی کوزنتس برای اقتصاد ایران مربوط دانست (عدم توجه به ملاحضات زیست محیطی برای تولید کالای نهایی و انرژی).

٦. نتیجه‌گیری

رابطه رشد اقتصادی با تخریب زیست محیطی در ایران با توجه به اهمیت روزافزون روابط اقتصادی و مسائل بالقوه زیست محیطی که انتظار می‌رود کشور در آینده با آن روبرو شود، بسیار مهم است. بنابراین درک رابطه بین رشد تولید ناخالص داخلی، انتشار CO_2، مصرف و استخراج انرژی‌های فسیلی، استفاده از انرژی‌های تجدید پذیر و عوامل تعیین کننده اصلی دیگر در اقتصاد ایران برای توسعه پایدار بسیار مهم است. با توجه به اهمیت موضوع، در این تحقیق سعی در بررسی چگونگی تأثیر پذیری انتشار CO_2 (به عنوان اصلی ترین عامل ایجاد آلودگی) از رشد درآمد سرانه، نوآوری، مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر، استخراج از منابع انرژی در یک الگوی پنج معادله‌ای برای کشور ایران در دوره زمانی (۱۳۹۸-۱۳۵۸) داریم. نتایج براورد با توجه به داده‌های اقتصاد ایران طی دوره (۱۳۹۸-۱۳۵۸) نشان می‌دهد که:

۱- درصد استخراج منابع اولیه انرژی به طور متوسط ۲/۷ درصد در سال برای دوره ۱۳۵۸ تا ۱۳۹۸ برآورد شده است.

۲- کشش منابع قابل استخراج اولیه (نفت وگاز) نسبت به سرمایه ۰/۱۲ برآورد شده است. افزایش سرمایه در بخش انرژی، اکتشافات جدید به همراه خواهد داشت. یا با خرید تکنولوژی جدید می‌توان منابعی را که در دسترس نبوده است را قابل استخراج نمود. بنابراین با توجه به نتایج برآورد، افزایش یک درصدی سرمایه باعث افزایش ۰/۱۲ درصدی در منابع قابل استخراج خواهد شد. بنابراین اکتشافات جدید در حوزه‌های نفت و گاز را می‌توان ناشی از سرمایه‌گزاری جدید در بخش انرژی دانست.

۳- کشش تولید انرژی‌های فسیلی نسبت به استخراج منابع انرژی ۳/۲۱ برآورد شده است. یعنی برای افزایش ۳/۲۱ درصدی تولید انرژی نهایی فسیلی باید میزان استخراج از منابع اولیه انرژی ۱ درصد افزایش یابد.

۴- کشش تولید انرژی‌های فسیلی نسبت به جمعیت برابر با ۲/۲۱ می‌باشد. یعنی با افزایش یک درصدی جمعیت، تولید انرژی‌های فسیلی ۲/۲۱ درصد افزایش خواهد یافت (ایران در قسمت صعودی منحنی زیست محیطی کوزنتس قرار دارد). یعنی با افزایش جمعیت تولید افزایش یافته است. برای تولید بیشتر نیاز به مصرف انرژی بیشتری می‌باشد. حال تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران رشد زیادی نداشته است. بنابراین مصرف انرژی نهایی تجدید ناپذیر افزایش یافته است.

۵- نتایج تحقیق نشان می‌دهد که منحنی زیست محیطی کوزنتس برای اقتصاد ایران برقرار است. از طرفی اقتصاد ایران در قسمت صعودی این منحنی قرار دارد. این نتیجه با نتیجه حاصل شده در قسمت ۴ نیز تطابق دارد.

۶- مقدار برآورد شده برای کشش آلودگی نسبت به تولید انرژی‌های تجدیدپذیر برابر با ۰,۰۶- می‌باشد. یعنی با افزایش تولید ۱۰۰ درصدی انرژی‌های تجدیدپذیر آلودگی تنها ۶ درصد کاهش خواهد یافت. که مقدار بسیار ناچیزی است و به نظر می‌رسد سیاست افزایش تولید انرژی‌های تجدیدپذیر کمک زیادی به کاهش آلودگی نخواهد کرد.

۷- مقدار کشش آلودگی نسبت به تولید انرژی‌های فسیلی ۰/۲۱ برآورد شده است. یعنی با هر ۱۰ درصد افزایش در تولید انرژی‌های فسیلی آلودگی به اندازه ۲/۱ درصد افزایش خواهد یافت. یعنی در صورتی که بتوان ۱۰ درصد از انرژی‌های فسیلی را با انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین نمود ۲/۱ درصد کاهش در آلودگی را شاهد خواهیم بود.

۸- در سطح اطمینان ۹۰ درصد نمی توان گفت که نوآوری بر انتشار آلودگی تاثیر معناداری دارد. بنابراین نوآوری بر کاهش انتشار آلودگی برای اقتصاد ایران تاثیری ندارد. این شاید به این دلیل باشد که نوآوری برای کاهش آلودگی باید به تکنولوژی تبدیل شود. بنابراین تنها با افزایش نوآوری نمی توان انتظار کاهش آلودگی را داشت. به سیاست گزار پیشنهاد می‌شود که علاوه بر حمایت از طرح‌های نوآورانه، برنامه‌ریزی برای تبدیل نوآوری به تکنولوژی تولید برای کاهش آلودگی انجام شود.

۹- بر اساس برآوردهای صورت گرفته، با افزایش ۱۰۰ درصدی نوآوری تولید ناخالص داخلی تنها ۱ درصد افزایش خواهد یافت. این موضوع تاکیدی بر نتیجه ۸ است.

زیرا تا نوآوری تبدیل به تکنولوژی تولید نگردد بر رشد اقتصادی تاثیر معنا داری نخواهد داشت. بنابراین برای اقتصاد ایران به منظور رشد اقتصادی سیاست باید به سمت حمایت از طرح هایی برود که قابلیت تبدیل به تکنولوژی تولید و بهبود کارایی را داشته باشند.

۱۰- کشش تولید برای سرمایه و نیروی کار به ترتیب ۰/۴۷ و ۰/۳۲ بدست آمده است. یعنی افزایش ۱ درصدی سرمایه باعث افزایش ۰/۴۷ درصدی در تولید ناخالص داخلی خواهد داشت. از طرفی افزایش ۱ درصدی نیروی کار افزایش ۰/۳۲ درصدی در تولید ناخالص داخلی را به همراه خواهد داشت.

۱۱- پارامترکشش تولید نسبت به مصرف انرژی‌های تجدید پذیر ۰/۰۵ بدست آمده است، این حاکی از آن است که در صورت افزایش ۱۰۰ درصدی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر تولید ناخالص داخلی ۵ درصد افزایش خواهد یافت. در حالی که افزایش ۱۰۰ درصدی انرژی‌های فسیلی تولید ناخالص داخلی را ۱۲ درصد افزایش خواهد داد. دلیل این موضوع به هزینه بر بودن تولید انرژی‌های تجدیدپذیر بر می‌گردد و همچنین ایران یک کشور دارای منابع انرژی اولیه نفت و گاز است. بنابراین تولید انرژی نهایی فسیلی می‌تواند مزیت نسبی داشته باشد که در نهایت باعث تولید ناخالص داخلی بیشتر برای اقتصاد ایران می‌گردد (این نتیجه به دلیل سیستمی و همزمان در نظر گرفتن معادلات بدست آمده است).

۱۲- مقدار بازده نسبت به مقیاس برای اقتصاد ایران ۰/۹۵ (جمع کشش‌های تولید) بدست آمده است. با توجه به کوچکتر از یک بودن این مقدار یعنی بازده کاهشی نسبت به مقیاس برای اقتصاد ایران برقرار است. بنابراین با افزایش تولید (با متغیرهای فرض شده در الگو) هزینه‌های تولید افزایشی است. بنابراین باید به سمت تولید با نهاده‌های دیگری غیر از نوآوری، سرمایه،نیروی کار و انرژی برای اقتصاد ایران بود. مثلا تولید تکنولوژی خود می‌تواند یک پیشنهاد برای رشد اقتصادی بیشتر برای اقتصاد ایران باشد، که با تولید و عرضه تکنولوژی می‌توان آلودگی را کاهش و از طرفی نوآوری را کاراتر نمود.

۱۳- رشد درآمد ملی (درصد تغییرات تولید ناخالص داخلی) سبب افزایش مصرف انرژی (تقاضا برای انرژی) می‌شود. نتایج برآورد نشان می‌دهد که یک درصد افزایش رشد اقتصادی به طور متوسط سبب افزایش ۰/۸۵ درصدی مصرف انرژی‌های فسیلی خواهد شد.

۱۴- انتشار آلودگی سبب افزایش مصرف انرژی شده است، که این موضوع نشان می‌دهد، در فرآیند مصرف انرژی توجهی به آلاینده بودن آن برای اقتصاد ایران نشده است.

۱۵- افزایش یک درصدی جمعیت تقاضا برای انرژی‌های فسیلی را ۱/۲۳ درصد افزایش خواهد داد. این موضوع را می‌توان به صعودی بودن منحنی زیست محیطی کوزنتس برای اقتصاد ایران مربوط دانست (عدم توجه به ملاحضات زیست محیطی برای تولید کالای نهایی و انرژی).

۱۶- کشش انتشار آلودگی نسبت به سطح منابع قابل استخراج ۰/۶۸ بدست آمده است. این به این معنی است که افزایش ۱ درصدی در سطح منابع قابل استخراج باعث افزایش ۰/۶۸ درصدی در آلودگی می‌شود. از طرفی افزایش سطح منابع قابل استخراج تاثیر مثبت بر آلودگی دارد. این به این معنی است که با افزایش سطح منابع اولیه انرژی‌های فسیلی عملا انتشار آلودگی در اقتصاد اهمیت خود را از دست می‌دهد. البته این خود می‌تواند موضوع یک تحقیق جدید باشد و با توجه به داده‌های پنلی این موضوع مورد آزمایش قرار گیرد.

۷. تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

۸. منابع

استادزاد، علی حسین و ابراهیم هادیان (۲۰۱۷). تحلیل تصادفی روند منابع قابل استخراج نفت و گاز در ایران ۱۴۱۰-۱۳۵۹. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال ۱۲، شماره ۵۱، صفحات ۳۲-۱.

استادزاد، علی حسین و پریسا بهلولی (۱۳۹۴). تاثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر منحنی زیست محیطی کوزنتسی در ایران. *فصلنامه علمی نظریه‌های کاربردی اقتصاد*، سال ۲، شماره ۲، صفحات ۱۲۷-۱۵۴.

اسلاملوئیان کریم و علی حسین استادزاد (۱۳۹۵). برآورد تابع تولید مناسب برای ایران با وجود نهاده انرژی و تحقیق و توسعه: روش الگوریتم ژنتیک. *فصلنامه پژوهش‌های رشد و توسعه پایدار*، سال ۱۶، شماره ۱، صفحات ۴۸-۲۱.

دانشوری، سمیه و سلاطین، پروانه و خلیل زاده، محمد (۲۰۲۰).تاثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر اقتصاد سبز. *فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست*، سال ۲۱، شماره ۱۲، صفحات ۱۷۹-۱۶۵.

صادقی، سید کمال و سجودی، سکینه و احمدزاده دلجوان، فهیمه (۱۳۹۶). تأثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست در ایران. *فصلنامه پژوهش‌های سیاست گذاری وبرنامه ریزی انرژی*، سال ۳، شماره ۱، صفحات ۲۰۲-۱۷۱.

مجدزاده، مطهره السادات (۱۳۹۴).بررسی عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی در ایران و رتبه‌بندی سهم هریک از آنها مبتنی بر رویکرد میانگین گیری بیزینی. *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال ۱۱، شماره ۴۴، صفحات ۱۵۲-۱۲۵.

مولایی، محمد و ابوریحان، انتظار (۲۰۱۹). عوامل مؤثر بر تقاضای انرژی فسیلی در بخش صنعت ایران. *فصلنامه مطالعات اقتصادی کاربردی ایران*، سال ۸، شماره ۳۰، صفحات ۱۷۷-۱۹۳.

References

Abid, M. (2017). Does economic, financial and institutional developments matter for environmental quality? A comparative analysis of EU and MEA countries. *Journal of environmental management*, No. 188, pp. 183-194.

Ahmad, M. and S. I. Khattak (2020). Is Aggregate Domestic Consumption Spending (ADCS) Per Capita Determining CO2 Emissions in South Africa? A New Perspective. *Environmental and Resource Economics*, No. 34, pp. 1-24.

Ahmad, M., Khan, Z., Rahman, Z. U., Khattak, S. I., and Khan, Z. U. (2019). Can innovation shocks determine CO2 emissions (CO2e) in the OECD economies? A new perspective. *Economics of Innovation and New Technology*, No. 32, pp. 1-21.

Albino, V., Ardito, L., Dangelico, R. M., and Petruzzelli, A. M. (2014). Understanding the development trends of low-carbon energy technologies: A patent analysis. *Applied Energy*, No. 135, pp. 836-854.

Aldieri, L., Bruno, B., and Vinci, C. P. (2019). Does environmental innovation make us happy? An empirical investigation. *Socio-Economic Planning Sciences*, No. 67, pp. 166-172.

Apergis, N. and I. Ozturk (2015). Testing environmental Kuznets curve hypothesis in Asian countries. *Ecological Indicators*, No. 52, pp. 16-22.

Arrow, K., Bolin, B., Costanza, R., Dasgupta, P., Folke, C., Holling, C. S., ... and Pimentel, D. (1996). Economic growth, carrying capacity, and the environment. *Environment and Development Economics*, No. 1(1), pp. 104-110.

Azevedo, V. G., Sartori, S., and Campos, L. M. (2018). CO2 emissions: A quantitative analysis among the BRICS nations. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 81, pp. 107-115.

Baek, J. (2015). Environmental Kuznets curve for CO2 emissions: the case of Arctic countries. *Energy Economics*, No. 50, pp. 13-17.

Baloch, M. A., Mahmood, N., and Zhang, J. W. (2019). Effect of natural resources, renewable energy and economic development on CO2 emissions in BRICS countries. *Science of the Total Environment*, No. 678, pp. 632-638.

Brandão Santana, N., et al. (2015). Technological innovation for sustainable development: an analysis of different types of impacts for countries in the BRICS and G7 groups. *International Journal of Sustainable Development and World Ecology*, No. 22(5), pp. 425-436

Charfeddine, L. and M. Kahia (2019). Impact of renewable energy consumption and financial development on CO2 emissions and economic growth in the MENA region: A panel vector autoregressive (PVAR) analysis. *Renewable energy*, No. 139, pp. 198-213

Cheng, C., Ren, X., and Wang, Z. (2019). The impact of renewable energy and innovation on carbon emission: an empirical analysis for OECD countries. *Energy Procedia*, No. 158, pp. 3506-3512.

De Groot, H. L., Withagen, C. A., and Minliang, Z. (2004). Dynamics of China's regional development and pollution: an investigation into the Environmental Kuznets Curve. *Environment and development economics*, No. 9(4), pp. 507-537.

Dinda, S. (2004). Environmental Kuznets curve hypothesis: a survey. *Ecological economics*, No. 49(4), pp. 431-455.

Figueirôa, S. F., Good, G. A., and Peyerl, D. (Eds.). (2019). *History, Exploration and Exploitation of Oil and Gas*. Springer International Publishing.

Grossman, G. M. and A. B. Krueger (1995). Economic growth and the environment. *The quarterly journal of economics*, No. 110(2), pp. 353-377.

Halicioglu, F., and Ketenci, N. (2018). Output, renewable and non-renewable energy production, and international trade: Evidence from EU-15 countries. *Energy*, No. 159, pp. 995-1002.

Huaman, R. N. E. and T. X. Jun (2014). Energy related CO2 emissions and the progress on CCS projects: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 31, pp. 368-385.

Ito, K. (2017). CO2 emissions, renewable and non-renewable energy consumption, and economic growth: Evidence from panel data for developing countries. *International Economics*, No. 151, pp. 1-6.

Kadafa, A. (2012) Oil exploration and spillage in the Niger Delta of Nigeria. *Civil and Environmental Research*, No. 2 (3), pp. 38-51.

Kaika, D. and E. Zervas (2013). The Environmental Kuznets Curve (EKC) theory – Part A: Concept, causes and the CO2 emissions case. *Energy policy*, No. 62, pp. 1392-1402.

Konak, A., Coit, D. W., and Smith, A. E. (2006). Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. *Reliability Engineering and System Safety*, No. 91(9), pp. 992-1007.

Kraft, J. and A. Kraft (1978). On the relationship between energy and GNP. *The Journal of Energy and Development*, No. 12, pp. 401-403.

Kuznets, S. (1955). Economic growth and income inequality. *The American economic review*, No. 45(1), pp. 1-28.

Lin, B. and M. Y. Raza (2019). Analysis of energy related CO2 emissions in Pakistan. *Journal of Cleaner Production*, No. 219, pp. 981-993.

Moutinho, V., Varum, C., and Madaleno, M. (2017). How economic growth affects emissions? An investigation of the environmental Kuznets curve in Portuguese and Spanish economic activity sectors. *Energy Policy*, No. 106, pp. 326-344.

Orubu, C. O. and D. G. Omotor (2011). Environmental quality and economic growth: Searching for environmental Kuznets curves for air and water pollutants in Africa. *Energy policy*, No. 39(7), pp. 4178-4188.

Rahman, Z. U. and M. Ahmad (2019). Modeling the relationship between gross capital formation and CO 2 (a) symmetrically in the case of Pakistan: an empirical analysis through NARDL approach. *Environmental Science and Pollution Research*, No. 26(8), pp. 8111-8124.

Raiser, K., Naims, H., and Bruhn, T. (2017). Corporatization of the climate? Innovation, intellectual property rights, and patents for climate change mitigation. *Energy research and social science*, No. 27, pp. 1-8.

Sadorsky, P. (2009). Renewable energy consumption and income in emerging economies. *Energy policy*, No. 37(10), pp. 4021-4028.

SUN, Y.-j. and C. LIN (2018). Study on the Relationship between Environmental Regulation and the Quality of China's Economic Growth -A Perspective Based on Environmental Kuznets Curve. *Shanghai Journal of Economics*, No. 3, pp. 9-32.

Swart, J. and L. Brinkmann (2020). *Economic Complexity and the Environment: Evidence from Brazil. Universities and Sustainable Communities: Meeting the Goals of the Agenda 2030,* Springer.

van der Ploeg, F. (2018). Political economy of dynamic resource wars. *Journal of Environmental Economics and Management*, No. 92, pp. 765-782.

Xu, R., Chou, L. C., and Zhang, W. H. (2019). The effect of CO2 emissions and economic performance on hydrogen-based renewable production in 35 European Countries. *International Journal of Hydrogen Energy*, No. 44(56), pp. 29418-29425.

Yii, K.-J. and C. Geetha (2017). The nexus between technology innovation and CO2 emissions in Malaysia: evidence from granger causality test. *Energy Procedia*, No. 105, pp. 3118-3124.

Yu, Y. and Y. Du (2019). Impact of technological innovation on CO2 emissions and emissions trend prediction on 'New Normal'economy in China. *Atmospheric Pollution Research*, No. 10(1), pp. 152-161.

Zheng, K., Yang, R. J., Xu, H., and Hu, J. (2017). A new distribution metric for comparing Pareto optimal solutions. *Structural and multidisciplinary Optimization*, No. 55(1), pp. 53-62.

Zoundi, Z. (2017). CO2 emissions, renewable energy and the Environmental Kuznets Curve, a panel cointegration *approach. Renewable and Sustainable Energy Reviews*, No. 72, pp. 1067-1075.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

پیوست ۱

در این پیوست به بررسی همزمانی معادلات بررسی شده در بخش مبانی نظری خواهیم پرداخت. در زیر با توجه به بررسی صورت گرفته در بخش مبانی نظری معادلات همزمان آورده شده است.

$$Ls_t = (1-m)Ls_{t-1} + (1-\theta_1)Lk_{t-1} + \varepsilon_{1t}$$
$$Lnre_t = \log(\lambda_1 m^{\lambda_2}) + \lambda_2 Ls_t + (\lambda_2 - 1)LN_t + \varepsilon_{2t}$$
$$LCO_{2_t} = \xi_0 + log(m^{\xi_5\lambda_2}\lambda_1{}^{\xi_5}) + \xi_1 Ly_t + \xi_2(Ly_t)^2 + \xi_3 LIn_t + \xi_4 Lre_t + \xi_5\lambda_2 Ls_t + \xi_5(\lambda_2 - 1)LN_t + \varepsilon_{3t}$$
$$L(y_t) = \alpha_5 log(\theta_1) + \alpha_1 L(In_t) + \alpha_2 L(re_t) + \alpha_3 L(nre_t) + \alpha_4 L(l_t) + \alpha_5 L(k_t) + (\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - 1)L(N_t) + \varepsilon_{4t}$$
$$Lnre_t = \gamma_0 + \gamma_1 Ly_t + \gamma_2 LN_t + \gamma_3 Lk_t + \gamma_4 Ll_t + \gamma_5 LCo_{2t} + \varepsilon_{5t}$$

متغیرهای درونزا در این معادلات به ترتیب لگاریتم سطح منابع اولیه نفت و گاز قابل استخراج (Ls_t)، لگاریتم تولید و عرضه انرژی‌های فسیلی $(Lnre_t)$، لگاریتم انتشار آلودگی (LCO_{2_t})، لگاریتم تولید یا درآمد ملی $(L(y_t))$ و لگاریتم تقاضای انرژی $(Lnre_t)$ می‌باشد. این متغیرهای درونزا را برای سادگی با y نشان خواهیم داد. بنابراین برای متغیرهای درونزا تعریف‌های زیر را خواهیم داشت.

$$y_{1t} = Ls_t \qquad y_{2t} = Lnre_t \qquad y_{3t} = LCO_{2_t} \qquad y_{4t} = L(y_t)$$

از طرفی متغیرهای برونزا و از قبل تعیین شده (متغیرهای وقفه ای) را با x نشان خواهیم داد. پس برای متغیرهای برونزا تغییر متغیرهای زیر را داریم.

$$LN_t = x_{1t} \qquad Ls_{t-1} = x_{2t} \qquad Lk_{t-1} = x_{3t} \qquad L(In_t) = x_{4t}$$
$$Lk_t = x_{5t} \qquad Lre_t = x_{6t} \qquad Ll_t = x_{7t}$$

بنابراین با جایگذاری تغییر متغیرهای فوق در روابط و کمی جابجایی متغیرها داریم:

$$y_{1t} = (1-m)x_{2t} + (1-\theta_1)x_{3t} + \varepsilon_{1t}$$
$$y_{2t} - \lambda_2 y_{1t} = \log(\lambda_1 m^{\lambda_2}) + (\lambda_2 - 1)x_{1t} + \varepsilon_{2t}$$
$$y_{3t} - \xi_1 y_{4t} - \xi_2(y_{4t})^2 - \xi_5\lambda_2 y_{1t} = \xi_0 + log(m^{\xi_5\lambda_2}\lambda_1{}^{\xi_5}) + \xi_5(\lambda_2 - 1)x_{1t} + \xi_3 x_{4t} + \xi_4 x_{6t} + \varepsilon_{3t}$$
$$y_{4t} - \alpha_3 y_{2t} = \alpha_5 log(\theta_1) + (\alpha_2 + \alpha_3 + \alpha_4 + \alpha_5 - 1)x_{1t} + \alpha_1 x_{4t} + \alpha_5 x_{5t} + \alpha_2 x_{6t} + \alpha_4 x_{7t} + \varepsilon_{4t}$$
$$y_{2t} - \gamma_1 y_{4t} - \gamma_5 y_{3t} = \gamma_0 + \gamma_2 x_{1t} + \gamma_3 x_{5t} + \gamma_4 x_{7t} + \varepsilon_{5t}$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این روابط متغیرهای درونزا در یک طرف تساوی و متغیرهای برونزا در طرف دیگر تساوی آورده شده است. در ادامه فرم ماتریسی این روابط ساختاری را خواهیم نوشت.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -\lambda_2 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ -\xi_5\lambda_2 & 0 & 1 & -\xi_1 & -\xi_2 \\ 0 & -\alpha_3 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -\gamma_5 & -\gamma_1 & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \\ y_{3t} \\ y_{4t} \\ (y_{4t})^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ \log(\lambda_1 m^{\lambda_2}) \\ \xi_0 + log\left(m^{\xi_5\lambda_2}{\lambda_1}^{\xi_5}\right) \\ \alpha_5 log(\theta_1) \\ \gamma_0 \end{bmatrix} +$$

$$+\begin{bmatrix} 0 & (1-m) & \varphi & 0 & 0 & 0 & 0 \\ (\lambda_2-1) & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \xi_5(\lambda_2-1) & 0 & 0 & \xi_3 & 0 & \xi_4 & 0 \\ (\alpha_2+\alpha_3+\alpha_4+\alpha_5-1) & 0 & 0 & \alpha_1 & \alpha_5 & \alpha_2 & \alpha_4 \\ \gamma_2 & 0 & 0 & 0 & \gamma_3 & 0 & \gamma_4 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_{1t} \\ x_{2t} \\ x_{3t} \\ x_{4t} \\ x_{5t} \\ x_{6t} \\ x_{7t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \\ \varepsilon_{4t} \\ \varepsilon_{5t} \end{bmatrix}$$

با تغییر متغیر در پارامترهای ماتریس‌های ضرایب الگو را به یک الگوی اقتصاد سنجی تبدیل خواهیم کرد.

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ a_{21} & 1 & 0 & 0 & 0 \\ a_{31} & 0 & 1 & a_{34} & a_{35} \\ 0 & a_{42} & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & a_{53} & a_{54} & 0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} y_{1t} \\ y_{2t} \\ y_{3t} \\ y_{4t} \\ (y_{4t})^2 \end{bmatrix} =$$

$$= \begin{bmatrix} 0 \\ C_{21} \\ C_{31} \\ C_{41} \\ C_{51} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & b_{12} & b_{13} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_{21} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_{31} & 0 & 0 & b_{34} & 0 & b_{36} & 0 \\ b_{41} & 0 & 0 & b_{44} & b_{45} & b_{46} & b_{47} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & b_{55} & 0 & b_{57} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x_{1t} \\ x_{2t} \\ x_{3t} \\ x_{4t} \\ x_{5t} \\ x_{6t} \\ x_{7t} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \varepsilon_{1t} \\ \varepsilon_{2t} \\ \varepsilon_{3t} \\ \varepsilon_{4t} \\ \varepsilon_{5t} \end{bmatrix}$$

در روابط بالا ماتریس ضرایب متغیرهای درونزا را با A و ماتریس متغیرهای برونزا را با B نشان می‌دهیم. پس داریم:

$$AY_t = C + BX_t + E_t$$

در این رابطه A و B پارامترهای ساختاری الگو و E جملات خطای ساختاری می‌باشد. همانگونه که مشاهده می‌شود ۵ معادله همزمان داریم که باید برآورد گردد. با توجه به ترکیب ماتریس A و B یک ماتریس با رتبه ۵ می‌باشد بنابراین معدلات همزمان قابل تشخیص بوده و می‌توان آن را برآورد کرد.

-- Iranian Energy Economics------
10(34), 1
Jiee.atu.ac.ir
Dol: 10.22054/Jiee.2021.55245.1782

ATU PRESS

Original Reserch Accepted: 17/July/2021 Received: 27/Sep/2020 ISSN: 2423-5954 eISSN: 2476-6437

Simultaneous Effect of Innovation, Renewable Energy Consumption, and Primary Energy Resources on Pollution (Case Study: Iranian Economy)

Ali Hossein Ostadzad* Ph.D. in Economics, Assistant Professor, Larestan University, Larestan, Iran

Abstract

Due to the importance of economic relations and environmental potential issues, the relationship between economic growth and environmental degradation is a very important issue. Therefore, understanding the relationship between GDP growth, consumption and extraction of fossil fuels, use of renewable energy, and CO_2 emissions in the Iranian economy are very important for sustainable development. In this study, we try to investigate how CO_2 emissions (as the main cause of pollution) are affected by per capita income growth, innovation, renewable energy consumption, and extraction from non-renewable energy resources in a model with four equations (for Iran in period 1979 to 2019). By reviewing the wide range of studies, the framework developed in this paper has not been investigated in domestic or international studies. On the other hand, in this research, for estimating nonlinear simultaneous equations, the multi-objective optimization method and its application for estimating simultaneous equations in econometrics have been developed. (This method can be a way to estimate nonlinear simultaneous equations in future studies). The results showed innovation activities have not been able to have a significant effect on reducing pollution emissions for the Iranian economy. Also, we found out the consumption of renewable energy has not had a significant effect on reducing pollution emissions. Also, the existence of the Kuznets environmental hypothesis was confirmed and Iran is in the upward part of this curve.

Keywords: Renewable Energy, Kuznets Environmental Curve, Innovation, Primary Energy Resources, Multi-objective optimization method, simultaneous equations system

JEL Classification: C30, C61, O13, O35, Q20

* a.ostadzad@lar.ac.ir