فصلنامه اقتصاد انرژی ایران
سال دوم، شماره ۷، تابستان ۱۳۹۲، صفحات ۱۹۷-۱۷۱

بررسی ارتباط پویای محصول و آلودگی در چارچوب یک الگوی رشد: آزمون فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس برای اقتصاد ایران

کریم اسلاملوئیان*، جواد هراتی** و علی‌حسین استادزاد***

تاریخ دریافت: ۲۷ خرداد ۱۳۹۲ تاریخ پذیرش: ۹ مهر ۱۳۹۲

مقاله حاضر با استفاده از الگوی تعمیم‌یافته استوکی (۱۹۹۸) و دنگ و هوانگ (۲۰۰۹) به بررسی ارتباط پویا بین رشد اقتصادی و پیامد جنبی آلودگی زیست‌محیطی با تأکید بر رشد پایدار برای کشور ایران می‌پردازد. این چارچوب به ما اجازه می‌دهد که ارتباط میان رشد و کیفیت محیط زیست را در قالب فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس (EKC) برای اقتصاد ایران مورد بررسی قرار دهیم. به عبارت دیگر، در این تحقیق ارتباط رشد اقتصادی و آلودگی از دو منظر تئوریک و تجربی مطالعه می‌گردد. در این راستا با توجه به ارتباط بلندمدت بین آلودگی زیست‌محیطی، سرمایه انسانی و رشد اقتصادی مجموعه شرایط لازم برای دستیابی به توسعه پایدار و قرار گرفتن اقتصاد بر روی مسیر رشد پایدار (SS)[1] به طور نظری استخراج گردیده است. به منظور تجزیه و تحلیل تجربی الگو با بکارگیری نرم‌افزار متلب (MATLAB) مسیرهای بهینه متغیرهای کلیدی الگو با استفاده از داده‌های اقتصاد ایران برای دوره زمانی (۱۳۳۸ تا ۱۳۸۷) شبیه‌سازی شده است. نتایج بیانگر آن است که میزان آلودگی (CO_2) سرانه در ایران همراه با افزایش تولید ناخالص داخلی سرانه طی زمان افزایش پیدا نموده است. نتایج نشان می‌دهد که اقتصاد ایران بر مسیر رشد بلندمدت پایدار قرار ندارد. علاوه بر این به نظر می‌رسد که اقتصاد ایران در مراحل اولیه رشد قرار دارد، به طوری که همراه با افزایش درآمد سرانه، کیفیت محیط زیست کاهش می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بعد از رسیدن اقتصاد ایران به سطح آستانه این نتیجه معکوس می‌گردد. بنابراین شاید

* دانشیار اقتصاد دانشگاه شیراز keslamlo@rose.shirazu.ac.ir
** استادیار اقتصاد دانشگاه بجنورد j.herati@ub.ac.ir
*** دانشجوی دکتری علوم اقتصادی دانشگاه شیراز aostadzad@yahoo.com

1. Steady State

Archive of SID

www.SID.ir

بتوان ادعا کرد که فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس ممکن است در آینده برای اقتصاد ایران صادق باشد.

واژه‌های کلیدی: الگو رشد، پیامد جنبی آلودگی، سرمایه انسانی، منحنی زیست‌محیطی کوزنتس، ایران.
طبقه‌بندی JEL: C61، Q53، O40.

۱. مقدمه

تقریباً تمامی فعالیت‌های اقتصادی بشر به طور مستقیم و غیرمستقیم بر محیط زیست و سیستم اکولوژیک اثر می‌گذارد، به نحوی که فعالیت‌های اقتصادی می‌تواند در مراحل مختلف استخراج، تولید، حمل و نقل و مصرف به محیط زیست آسیب برساند. اثرگذاری فعالیت‌های بشر بر سیستم اکولوژیک با افزایش حجم فعالیت‌های اقتصادی در پروسه رشد افزایش پیدا می‌کند. رشد اقتصادی بیشتر نیازمند استفاده بیشتر از انرژی و مواد اولیه است که خود موجب سطح بالاتری از تخریب محیطی و افت کیفیت محیط زیست می‌گردد (مادیسون، ۲۰۰۱)[1]. این درحالی است که بدون حمایت سیستم‌های اکولوژیک، بشر قادر به فعالیت نمی باشد (پرمن و دیگران، ۱۳۷۸).

ایجاد آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از تولید باعث بروز یک جایگزینی بین منافع حاصل از رشد و حفاظت از محیط زیست گردیده و این عقیده که افزایش تولید موجب حداکثر رفاه می‌گردد را، مورد تردید قرار داده است. وجود این جایگزینی موجب توجه بیشتر به ملاحظات زیست‌محیطی و پیامدهای جنبی ناشی از آن در طراحی سیاست‌ها و فرایند رشد و توسعه پایدار گردیده است. بر این اساس در طول سالهای اخیر شاهد توسعه موازی دو بحث می‌باشیم. از یک سو مشکلات زیست‌محیطی باعث ایجاد چالش‌های جهانی گردیده است. عکس‌العمل جهانی به این چالش‌ها شامل پیمان مونترال (۱۹۸۷) که همراه با ممنوعیت استفاده از تولیدات شیمیایی و آسیب‌رسان به لایه ازن، کنفرانس سران زمین (۱۹۹۲)[2] در برزیل و نیز در سال (۲۰۰۲) در ژوهانسبورگ و پروتوکل کیوتو (۱۹۹۷) همراه با قوانینی در خصوص ممنوعیت انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHGs)[3] می‌باشد. از سوی دیگر زمینه تحقیقاتی جدیدی در رابطه با تعیین عوامل

1. Maddison
2. Earth Summit
3. Green house Gases

Archive of SID

www.SID.ir

موثر بر رشد اقتصادی بر پایه مطالعات اولیه افرادی مانند رومر (۱۹۹۰)[1]، لوکاس (۱۹۸۸)[2]، بارو و سالی مارتین (۱۹۹۵)[3]، هلپمن و گروسمن (۱۹۹۱)[4] و آگیون و هوویت (۱۹۹۲)[5] شکل گرفته است. این ادبیات جدید، تحت عنوان تئوری رشد درونزا، با تکیه بر عامل پیشرفت فنی به طور مستقیم به تجزیه و تحلیل اثرات نقص بازار، نهادها، سیاستها، عوامل جمعیتی، تجارت و ترجیحات بر نرخ رشد بهره‌وری کل و در نهایت بر ارزش افزوده سرانه می‌پردازد (ریچی (۲۰۰۷)[6]، وانگ و همکاران(۲۰۰۹)[7]). در این چارچوب متغیرها و عوامل زیست‌محیطی مانند آلودگی، کیفیت محیط محیط زیست، سرمایه زیست‌محیطی و موجودی منابع طبیعی در کنار سایر عوامل رایج در الگوهای رشد وارد گردیده و مجموعه شرایط لازم برای قرار گرفتن بر روی مسیر رشد پایدار استخراج گردیده است.

بر این اساس و با توجه به اهمیت پیامد جنبی آلودگی زیست‌محیطی و تأثیر منفی آن بر رفاه جامعه، در این تحقیق ضمن تجزیه و تحلیل تئوریک ارتباط بین رشد اقتصادی و آلودگی زیست‌محیطی به شبیه‌سازی مسیر رشد متغیرهای کلیدی مدل برای اقتصاد ایران پرداخته می‌شود. چارچوب مورد استفاده یک الگوی رشد درونزا با وجود سرمایه انسانی در کنار سرمایه فیزیکی و شدت آلودگی می‌باشد، که بعد از استخراج شرایط لازم برای قرار گرفتن اقتصاد بر روی مسیر رشد پایدار (SS)، مسیر متغیرهای حجم سرمایه فیزیکی، مقدار سرانه آلودگی (CO_2) و مصرف بخش خصوصی با شبیه‌سازی و با مسیر داده‌های محقق شده و عینی مقایسه می‌گردد. در این چارچوب بررسی تئوریک ارتباط رشد و محیط زیست (آزمون تجربی منحنی کوزنتس زیست‌محیطی EKC) امکان‌پذیر می‌گردد. در عین حال شناسایی ارتباط مذکور از نقطه نظر طراحی سیاست‌های مناسب جهت کاهش اثرات جنبی منفی ناشی از آلودگی همراه با فرایند رشد اقتصادی و دستیابی به توسعه پایدار حائز اهمیت می‌باشد.

قسمت‌های مختلف مقاله حاضر به صورت زیر است. در قسمت دوم برخی از مطالعات خارجی و داخلی انجام شده ارائه می‌گردد. در قسمت سوم مبانی نظری و ساختار الگوی رشد

1. Romer
2. Lucas
3. Baro and Sala-i-Martin
4. Helpman
5. Aghion and Howitt
6. Ricci
7. Wang, *et al*

Archive of SID

www.SID.ir

مورد استفاده توضیح داده می‌شود. قسمت چهارم نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌شود. در نهایت در قسمت پنجم نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادات آورده شده است.

۲. پیشینه تحقیق

از دهه هفتاد همراه با توسعه الگوسازی رشد با وجود ملاحظات زیست‌محیطی، مطالعات تئوریک و تجربی زیادی به بررسی ارتباط رشد و محیط زیست (آلودگی) در چارچوب الگوهای پویا پرداخته‌اند. در این چارچوب بسیاری از مطالعات با وارد کردن متغیرهای زیست‌محیطی مانند آلودگی یا کیفیت محیط زیست در مدل‌های رشد اقدام به توسعه این مدل‌ها نموده‌اند.[۱] قسمت عمده‌ای از این مطالعات به شرایطی که تحت آن رشد پایدار ممکن و مطلوب است، اختصاص یافته است. مطالعات این گروه از چارچوب الگوهای رشد برونزا، درونزا و سایر الگوهای رشد مانند نسل‌های همپوشان و تعادل عمومی بین کشوری استفاده نموده‌اند. در این راستا برخی مطالعات با وارد کردن متغیرهای زیست محیطی آلودگی یا کیفیت محیط زیست در الگوهای رشد برونزا سولو و رمزی-گاس-کوپمانز اقدام به توسعه تئوریک و آزمون تجربی این الگوها نموده‌اند. بروک (۱۹۹۴)[۲]، بروک و تیلور (۱۹۹۴)[۳]، هافکس (۱۹۹۴)[۴]، ایزمونت (۱۹۹۴)[۵]، اشمولدرز (۱۹۹۵)[۶]، مهتدی (۱۹۹۶)[۷]، اریگا (۲۰۰۲)[۸]، ژانگ (۲۰۰۲)[۹]، گریمود و ریچی (۲۰۰۳)[۱۰]، بریتو و بریتو و بیلوتی (۲۰۰۵)[۱۱]، ریچی (۲۰۰۷)[۱۲]، فولرتن وکیم (۲۰۰۸)[۱۳]، دنگ و هوانگ (۲۰۰۹)[۱۴]،

۱. بخش عمده‌ای از ادبیات محیط زیست و رشد بر پایه برآورد فرم تقلیل یافته منحنی کوزنتس زیست‌محیطی (EKC) بنا گردیده است. آزمون تجربی این منحنی که بیانگر ارتباطی به شکل U معکوس بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست است، برای اولین بار توسط گروسمن و کروگر (۱۹۹۱)۱ در رابطه با موافقت‌نامه تجارت آزاد شمال آمریکا (NAFTA) انجام گرفت.

2. Brock
3. Brock and Taylor
4. Hofkes
5. Eismont
6. Smulders
7. Mohtadi
8. Ariga
9. Zhang
10. Grimaud and Ricci
11. Briro and Belubte
12. Ricci
13. Fullerton and Kim
14. Deng and Huang

Archive of SID

www.SID.ir

گروس و ریچی (۲۰۰۹)[1] از جمله مطالعات این گروه می‌باشند. نتیجه مشترک این گروه از مطالعات وجود جایگزینی[2] بین اهداف رشد اقتصادی بالاتر و حفاظت از محیط زیست می‌باشد.

در عین حال مطالعاتی مانند جان و پچینو (۱۹۹۵)[3]، آی هوری (۱۹۹۶)[4]، پائوترل (۲۰۰۷)[5] با در نظر گرفتن متغیر آلودگی در الگوی نسل‌های هم‌پوشان به بررسی وجود تضاد بین نسلی و سیاست زیست‌محیطی بهینه در این چارچوب پرداخته‌اند. همچنین افرادی مانند چچلینسکی (۱۹۹۴)[6]، الباشا و روی (۱۹۹۵)، المدار و اوزلدریم (۲۰۰۲)، سامپائولسی (۲۰۰۳)[7]، سیراکایا و همکاران (۲۰۰۹) در چارچوب اقتصاد باز با وارد کردن متغیر آلودگی به بررسی ارتباط تجارت، رشد و محیط زیست می‌پردازند.

به طور کلی مطالعات فوق از نظر تعداد بخش‌های مورد استفاده (یک بخشی، دو بخشی و چند بخشی)، منشاء آلودگی زیست‌محیطی (تولید یا مصرف)، متغیر زیست‌محیطی (آلودگی یا کیفیت محیط زیست) و نوع آن از نظر (جریان یا موجودی)، میزان و شدت استانداردها و قوانین زیست‌محیطی و نحوی اجرای حقوق مالکیت و انواع سرمایه(فیزیکی، انسانی، اجتماعی و زیست‌محیطی) متفاوت می‌باشند. تقریباً در تمامی این مطالعات، مسئله مورد بررسی شامل استخراج شرایط و سیاست‌های زیست‌محیطی است که رشد اقتصاد و حفاظت از محیط زیست در تعادل بوده و تحت آن شرایط، رشد بهینه متوازن پایدار بوجود آید. در این چارچوب رشد متوازن پایدار بهینه[8] بیانگر مسیری است که در آن متغیرهای اقتصادی (تولید، مصرف سرمایه فیزیکی ساخت بشر و دانش) با یک نرخ مثبت رشد نموده، در حالی که متغیرهای زیست‌محیطی(جریان آلودگی، موجودی سرمایه طبیعی یا کیفیت محیط زیست) طی زمان ثابت باقی بماند. به نحوی که اقتصاد هم در طول مسیر رشد متوازن در بلندمدت رشد کند و هم از ویژگی توسعه پایدار برخوردار باشد.

نتیجه مشترک بسیاری از مطالعات این گروه آن است که دستیابی به مسیر رشد پایدار (SS) با وجود آلودگی در شرایطی امکان‌پذیر است که یک بخش کنترل آلودگی در کنار بخش تولیدی

1. Groth and Ricci
2. Trade off
3. John and Pecchenino
4. Ihori
5. Pautrel
6. Chichilinsky
7. Sampaolesi
8. Optimal Sustainable Balanced Growth

Archive of SID

www.SID.ir

در نظر گرفته شود و دولت از طریق سیاست‌های بهینه زیست‌محیطی (مالیات و مجوزهای انتشار آلودگی) در جهت درونی نمودن اثرات منفی آلودگی اقدام نماید.

علاوه براین در راستای آزمون تجربی ارتباط رشد و محیط زیست در اقتصاد ایران مطالعات مختلفی به آزمون فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس پرداخته‌اند. از جمله این مطالعات می‌توان به پژویان و مراد حاصل (۱۳۸۶)، برقی و اسکویی (۱۳۸۷)، بهبودی و برقی (۱۳۸۷)، صالح و همکاران (۱۳۸۸)، نصراللهی و غفاری (۱۳۸۸)، فطرس و همکارن (۱۳۸۹)، صادقی و فشاری (۱۳۸۹) و پژویان و لشکری‌زاده (۱۳۸۹) اشاره نمود. نتیجه مشترک تمامی این مطالعات بیانگر این است که رشد اقتصادی بالاتر همراه با افزایش آسیب‌های زیست‌محیطی و از جمله افزایش آلودگی در اقتصاد ایران بوده است. اما هیچ مطالعه‌ای با استفاده از چارچوب الگوی رشد به بررسی ارتباط پویای رشد و محیط زیست در اقتصاد ایران نپرداخته است. براین اساس مهمترین اهداف عبارت است از:

۱. شبیه‌سازی مسیر متغیرهای کلیدی مصرف، سرمایه، تولید و آلودگی در طول مسیر رشد پایدار
۲. بررسی ارتباط درآمد و آلودگی و آزمون فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس

۳. مبانی نظری و ساختار الگو

به منظور بررسی ارتباط بین رشد اقتصادی و محیط زیست ابتدا ویژگی‌های بخش‌های مختلف اقتصاد را در قالب الگوی رشد- اکولوژیک بیان می‌کنیم. از آنجا که هدف اصلی مقاله بررسی پویایی‌های متغیرهای کلیدی مدل مانند حجم سرمایه فیزیکی، مصرف، آلودگی (CO_2) می‌باشد، ابتدا لازم است تا مجموعه شرایط لازم برای قرار گرفتن اقتصاد بر روی مسیر رشد پایدار (SS) را از حل مسئله حداکثرسازی برنامه‌ریز اجتماعی استخراج کنیم. سپس مدل را به صورت عددی حل نموده و مسیر متغیرهای مورد نظر را شبیه‌سازی کنیم. براین اساس در این قسمت ابتدا ارتباط تئوریک بین رشد و آلودگی را در چارچوب یک مدل رشد درونزا بیان می‌کنیم. بعد از آن به توصیف پویایی‌های مسیرمتغیرهای کلیدی مدل می‌پردازیم. الگوی مورد استفاده شکل تعمیم‌یافته‌ای از الگوی استوکی (۱۹۹۸)[1] ارائه شده توسط دنگ وهوانگ (۲۰۰۹)[2] می‌باشد که

1. Stokey
2. Deng and Huang

Archive of SID

www.SID.ir

سرمایه انسانی در کنار سرمایه فیزیکی در چارچوب یک اقتصاد بسته به مدل افزوده شده است. مهم‌ترین فرضیات در رابطه با ترجیحات، تولید و محیط زیست به صورت زیر است.

ترجیحات مصرف‌کننده: فرض می‌گردد تعداد زیادی مصرف کننده با طول عمر نامحدود وجود دارند[۱]. رفاه مصرف‌کننده تحت تأثیر مطلوبیت ناشی از مصرف کالای نهایی (C) و عدم مطلوبیت ناشی از آلودگی (P) می‌باشد و از یک تابع مطلوبیت جدایی‌پذیر به صورت زیر پیروی می‌کند.

$$\max W = \int_{۰}^{\infty} e^{-\rho t} U(C,P)dt = \int_{۰}^{\infty} e^{-\rho t}\left(\frac{C^{۱-\sigma}-۱}{۱-\sigma} - \phi\frac{P^{۱+\theta}-۱}{۱+\theta}\right)dt \quad , \quad \phi,\sigma,\theta > ۰ \qquad (۱)$$

براین اساس مصرف‌کننده نمونه ارزش فعلی مطلوبیت طول عمر خود را حداکثر می‌سازد. در رابطه فوق $\rho(\rho>۰)$ بیانگر نرخ ترجیحات زمانی مصرف‌کننده می‌باشد. پارامتر θ بیانگر وزن آلودگی در تابع مطلوبیت و معرف میزان آگاهی (شعور) زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان می‌باشد. بدین معنی که هرچه قدر مقدار آن بیشتر باشد، مصرف‌کنندگان در تابع تقاضای خود اهمیت بیشتری نسبت به محیط زیست قائل می‌باشند. انتظار بر آن است که هرچه درجه توسعه‌یافتگی و سطح درآمد جامعه بالاتر باشد، پارامتر مزبور از مقداری بیشتری برخوردار باشد.[۲] همچنین معکوس پارامتر σ بیانگر کشش جانشینی بین دوره‌ای مصرف می‌باشد، بدین صورت که هر چه قدر مقدار σ بزرگتر باشد، کشش جانشینی بین دوره‌ای مصرف کوچکتر بوده و مصرف‌کننده تمایل کمتری به جانشینی مصرف بین دوره‌ای مختلف دارد.

تولید و تکنولوژی: فرض می‌گردد تعداد زیادی تولیدکننده که تولید آنها تابعی از سرمایه فیزیکی (K)، سرمایه انسانی (H) و شدت انتشار آلودگی (Z) می‌باشند، وجود دارد. تولید هر یک از آنها براساس فرم تابعی زیر انجام می‌گیرد.

$$Y = AK^{\alpha}H^{۱-\alpha}Z \quad , \quad ۰<\alpha<۱ \qquad (۲)$$

در رابطه فوق $A>۰$ بیانگر بهره‌وری کل عوامل می‌باشد. در عین حال $Z\in[۰,۱]$ به نوعی نشان‌دهنده شاخصی از میزان آلایندگی تکنولوژی تولید می‌باشد، به طوری که مقادیر بالاتر Z

۱. برای سادگی جمعیت به یک نرمال شده و هیچ نرخ رشد جمعیتی وجود ندارد.

2. Dinda (2009)

Archive of SID

www.SID.ir

بیانگر تولید بیشتر و آلودگی بیشتر می‌باشد. همچنین رابطه انباشت سرمایه فیزیکی (سرمایه‌گذاری) به صورت زیر می باشد.[۱]

$$\dot{K} = Y - C \qquad (۳)$$

رابطه فوق که بیانگر شرط تسویه بازار کل اقتصاد است معرف این است که کالای تولید شده در اقتصاد، به سرمایه‌گذاری و مصرف اختصاص داده می‌شود. در رابطه موجودی سرمایه انسانی فرض می‌گردد، براساس معادله حرکت زیر تکامل پیدا می‌کند. در این رابطه نرخ رشد سرمایه انسانی ($\mu > ۰$) برای سادگی برونزا در نظر گرفته شده است.

$$\dot{H} = \mu H \qquad (۴)$$

آلودگی و کیفیت محیط‌زیست: در رابطه با آلودگی فرض می‌گردد که انتشار آلودگی تابع مستقیمی از سطح تولید و به صورت یک محصول فرعی همراه با تولید[۲] باشد. در عین حال بخشی از آلودگی به طور طبیعی توسط محیط زیست جذب می‌گردد. براین اساس معادله انباشت آلودگی به صورت زیر می‌باشد.[۳]

$$\dot{P} = AK^{\alpha}H^{۱-\alpha}z^{\gamma} - \eta P = Yz^{\gamma-۱} - \eta P \quad , \quad \gamma > ۱, \eta > ۰ \qquad (۵)$$

در رابطه فوق که بیانگر تغییرات موجودی آلودگی طی زمان می‌باشد، عبارت $AK^{\alpha}H^{۱-\alpha}z^{\gamma}$ بیانگر کل انتشار آلودگی (E) می‌باشد. پارامترهای η, γ به ترتیب بیانگر شدت آلودگی و نرخ طبیعی جذب آلودگی توسط محیط زیست می‌باشد. پارامتر γ همچنین مبین آگاهی زیست‌محیطی بنگاههای تولیدی می‌باشد. مقادیر بزرگتر آن به معنی میزان بالاتر آگاهی زیست‌محیطی بنگاهها و در نتیجه پذیرش آسانتر استانداردها و سیاست‌های زیست‌محیطی شدیدتر توسط آنها می‌باشد. مقدار این پارامتر از نقطه نظر دستیابی به توسعه پایدار حائز اهمیت می‌باشد به طوری که هر چه قدر مقدار آن بیشتر باشد امکان دستیابی به توسعه پایدار بیشتر خواهد بود.

۱. با توجه به اینکه استهلاک سرمایه تأثیر بر مقادیر نرخ رشد بر روی مسیر رشد پایدار ندارد، برای سادگی از آن صرفنظر شده است.

2. By Product

۳. در این چارچوب آلودگی به صورت یک متغیر موجودی (Stock) که در طول زمان در محیط زیست انباشت پیدا می‌کند در نظر گرفته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

٤. بررسی پویایی‌های الگو

در قسمت قبل چارچوب کلی الگو و فرضیات در رابطه با اجزاء آن بیان گردید. به منظور شبیه‌سازی مسیر متغیرهای کلیدی مدل بایستی مجموعه شرایط لازم برای قرار گرفتن اقتصاد بر روی مسیر رشد پایدار استخراج گردد. برای این منظور لازم است تا مسئله بهینه‌سازی برنامه‌ریز اجتماعی را حل نموده و شرایط لازم برای تحقق توسعه پایدار را بدست آوریم. شرایط مرتبه اول حاصل از حل مسئله برنامه‌ریز اجتماعی امکان شبیه‌سازی مسیر متغیرهای کلیدی مدل را ایجاد می‌کند. مسئله بهینه‌سازی برنامه‌ریز اجتماعی شامل حداکثرسازی ارزش فعلی مطلوبیت طول عمر مصرف‌کننده نمونه (رابطه ۱) نسبت به قیدهای (۲) و (۳) و (۴) و (۵) می‌باشد. مسئله فوق و تابع همیلتونین جاری[1] آن به صورت زیر است[2].

$$\max \int_{\cdot}^{\infty} e^{-\rho t}\left(\frac{C^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-\phi\frac{P^{1+\theta}-1}{1+\theta}\right)dt$$

$$s.t.$$

$$Y = AK^{\alpha}H^{1-\alpha}z \qquad (5)$$

$$\dot{H} = \mu H$$

$$\dot{K} = Y - C$$

$$\dot{P} = Yz^{\gamma-1} - \eta P$$

$$HC = \frac{C^{1-\sigma}-1}{1-\sigma}-\phi\frac{P^{1+\theta}-1}{1+\theta}+q(Y-C)+\lambda(Yz^{\gamma-1}-\eta P) \qquad (6)$$

در روابط بالا، مصرف (C) و شدت آلودگی (z) متغیرهای کنترلی[3]، موجودی سرمایه فیزیکی (K) و سرمایه انسانی (H) متغیرهای وضعیت[4] و قیمت‌های سایه[5] موجودی سرمایه (q) و آلودگی (λ) بیانگر متغیرهای هم‌وضعیت[6] می‌باشند. قیمت‌های سایه موجودی سرمایه و آلودگی به ترتیب بیانگر تأثیر یک واحد تغییر در موجودی سرمایه و موجودی آلودگی بر ارزش

1. Current Hamiltonian

۲. از آنجا در چارچوب الگوی بررسی نرخ رشد سرمایه انسانی به صورت برونزا در نظر گرفته شده است، بنابراین در تابع همیلتونین مسئله تحت بررسی قیدی برای انباشت سرمایه انسانی در نظر گرفته نشده است.

3. Control Variables
4. State Variables
5. Shadow Prices
6. Co-State Variable

Archive of SID

www.SID.ir

فعلی مطلوبیت طول عمر مصرف‌کننده می‌باشد. با حل مسئله حداکثرسازی فوق و براساس شرایط مرتبه اول خواهیم داشت.

$$
\begin{aligned}
&F.O.C:\\
&\frac{\partial HC}{\partial C}=C^{-\alpha}-q=0\Rightarrow C^{-\alpha}=q\\
&\frac{\partial HC}{\partial z}=q.\frac{Y}{z}+\lambda.\gamma Yz^{\gamma-2}=0\\
&\frac{\partial HC}{\partial K}=-\dot{q}+qp\Rightarrow q.\alpha\frac{Y}{K}+\lambda.\alpha\frac{Yz^{\gamma-1}}{K}=-\dot{q}+qp\\
&\qquad\Rightarrow\dot{q}=qp-q.\alpha\frac{Y}{K}-\lambda.\alpha\frac{Yz^{\gamma-1}}{K}\\
&\frac{\partial HC}{\partial P}=-\dot{\lambda}+\rho\Rightarrow-\phi P^{\theta}-\eta\lambda=-\dot{\lambda}+\lambda\rho\Rightarrow\dot{\lambda}=\lambda\rho+\phi P^{\theta}+\eta\lambda
\end{aligned}
\qquad (۷)
$$

بعد از انجام عملیات مناسب و ساده‌سازی مجموعه روابط زیر به عنوان سیستم معادلات پویا که بیانگر پویایی‌های سیستم اقتصادی-اکولوژیک است استخراج می‌گردد.[۱]

$$
\begin{aligned}
g_C&=\frac{\dot{C}}{C}=\frac{1}{\sigma}\left[\alpha\frac{Y}{K}\left(\frac{\gamma-1}{\gamma}\right)-\rho\right]\\
g_Z&=\frac{\dot{Z}}{Z}=\frac{1}{\gamma-1}\left[\eta-\gamma\phi C^{\sigma}Z^{\gamma-1}\rho^{\theta}\right]-\sigma\frac{\dot{C}}{C}\\
g_K&=\frac{\dot{K}}{K}=\frac{Y}{K}-\frac{C}{K}\\
g_P&=\frac{\dot{P}}{P}=\frac{YZ^{\gamma-1}}{P}-\eta\\
g_H&=\frac{\dot{H}}{H}=\mu
\end{aligned}
\qquad (۸)
$$

علاوه براین به منظور استخراج شرایط لازم جهت قرار گرفتن اقتصاد در وضعیت توسعه پایدار لازم است تا مقادیر نرخ رشد متغیرهای کلیدی مدل بر روی مسیر رشد پایدار (SS) را بدست آوریم. ویژگی مسیر رشد پایدار این است که تغییرات همه متغیرهای کلیدی مدل بر روی آن صفر

۱. جزئیات حل این قسمت در پیوست ۱ آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir

است. برای بدست آوردن نرخ‌های رشد مورد نظر از مجموعه شرایط مرتبه اول (روابط ۸) لگاریتم و بعد دیفرانسیل می‌گیریم، بعد از ساده‌سازی و مرتب کردن روابط مورد نظر، نرخ رشد متغیرهای C, Y, K را به صورت زیر بدست می‌آید[۱].

$$g_Y = g_C = g_K = \frac{(1+\theta)(\gamma-1)(1-\alpha)\mu}{(1+\theta)(\gamma-1)(1-\alpha)+\theta+\sigma} < \mu \qquad (9)$$

همچنین نرخ‌های رشد متغیرهای شدت آلودگی (z) و موجودی آلودگی (P) به صورت زیر بدست می‌آید.

$$g_C = (1-\alpha)(g_K - \mu) = -\frac{\theta+\sigma}{(1+\theta)(\gamma-1)} g_Y < 0 \qquad (10)$$

$$g_P = \frac{1-\sigma}{1+\theta} g_Y \qquad (11)$$

مجموعه روابط (۹) تا (۱۱) بیانگر نرخ رشد متغیرهای مدل بر روی مسیر رشد پایدار می‌باشد. براین اساس رابطه (۱۱) بیانگر این است که در صورتی مسیر رشد متوازن پایدار خواهد بود که $\sigma \geq 1$ یا g_K خیلی بزرگ نباشد. تنها در این صورت $(1-\sigma)g_K < \rho$ خواهد بود که به معنی برقراری شرایط انتقال‌پذیری[۲] خواهد بود. رابطه (۹) بیانگر این است که با وجود تأثیر منفی آلودگی بر رفاه جامعه نرخ رشد متغیرهای تولید، مصرف و موجودی سرمایه کمتر از μ خواهد بود. این در حالی است که نرخ رشد این متغیرها بدون وجود اثرات منفی زیست‌محیطی ناشی از انتشار آلودگی برابر نرخ رشد سرمایه انسانی خواهد بود.

رابطه (۱۰) بیانگر این است که که در طول مسیر رشد متوازن، شدت آلودگی (z) با نرخ ثابت $(g_z < 0)$ کاهش می‌یابد، که بدین معنی است که استفاده از تکنولوژی پاک‌تر در فرایند تولید، موجب بهبود کیفیت محیط زیست می‌گردد. تغییر در شدت آلودگی (γ) اختلاف بین نرخ رشد سرمایه فیزیکی و سرمایه انسانی (g_Y, μ) را کاهش داده و موجب متعادل شدن نرخ رشد تولید و سرمایه می‌گردد. در نهایت رابطه (۱۱) بیانگر آن است که نرخ رشد آلودگی زیست‌محیطی بر روی مسیر رشد متوازن کوچکتر از نرخ رشد اقتصاد می‌باشد. از آنجا که شرط

۱. جزئیات حل مسئله فوق در پیوست ۲ آمده است.

2. Transversality Condition

Archive of SID

www.SID.ir

لازم برای پایداری توسعه، نزولی بودن آلودگی می‌باشد، این مهم تنها در صورتی تحقق پیدا خواهد نمود که $\sigma > ۱$ باشد. تنها در این صورت می‌توان گفت همراه با رشد اقتصادی و دستیابی به توسعه، آلودگی به طوری پیوسته در طول مسیر رشد کاهش پیدا خواهد نمود.

به طور خلاصه بحث فوق بیانگر این نکته می‌باشد که برای دستیابی به توسعه پایدار از یکسو لازم است تا نرخ رشد اقتصاد در یک سطح قابل قبول مثبت باشد $(g_Y > ۰)$، از سوی دیگر لازم است تا حداقل کیفیت محیط زیست ثابت باشد $(g_Z < ۰)$. شبیه‌سازی مسیر متغیرهای کلیدی مدل با توجه به داده‌های واقعی امکان اظهارنظر در رابطه با وضعیت توسعه پایدار در اقتصاد ایران را فراهم می‌آورد. در این رابطه آنچه به عنوان مبانی شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد، سیستم معادلات دیفرانسیلی (۸) می‌باشد. از آنجا که به دلیل پیچیدگی معادلات دیفرانسیل فوق امکان حل عددی[1] آن به سادگی وجود ندارد، بنابراین به منظور تحلیل پویایی‌های الگو اقدام به شبیه‌سازی رفتار پویای متغیرهای کلیدی الگو می‌گردد. در این راستا و به منظور آشنایی با روش‌های حل عددی، در قسمت بعد، به اختصار به توضیح آن پرداخته و سپس نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگو ارائه می‌گردد.

۱-٤. حل عددی و روش اویلر تصحیح شده

با توجه به اینکه روش عمده مورد استفاده به منظور حل عددی در حل معادلات دیفرانسیل روش اویلر تصحیح شده می‌باشد، در این قسمت ابتدا به اختصار به بیان این روش می‌پردازیم. این روش معمولاً برای حل معادلات دیفرانسیل پیچیده و غیر خطی بکار می‌رود و نسبت به روش اویلر از دقت بالاتری در محاسبه برخوردار است.

فرض کنید که $[a,b]$ بازه زمانی باشد که بخواهیم برای $y(t)$ با مقدار اولیه (IVP)[2] جوابی به صورت $y(a) = y_.$ بدست آوریم. در روش‌های حل عددی یک تابع مشتق‌پذیر که در شرایط IVP صدق کند بدست نمی‌آید، بلکه در عوض مجموعه‌ای از نقاط به‌صورت (t, y_t) بدست می‌آید. این مجموعه نقاط به عنوان تقریبی از تابع مورد نظر استفاده می‌گردد. به عنوان مثال فرض کنید می‌خواهیم معادله دیفرانسیل کلی زیر را به روش اویلر تعمیم یافته حل کنیم.

$$\frac{dy}{dt} = f(t, y) \qquad (۱۲)$$

1. Numerical Solution
2. Initial Value Point

www.SID.ir

در مرحله اول لازم است تا برای تعیین فاصله نقاط، طول فاصله (h) را تعیین کنیم. به سادگی می‌توان بازه زمانی مورد نظر را به m قسمت مساوی تقسیم کنیم.

$$h = \frac{b-a}{m} \qquad (۱۳)$$

با فرض اینکه تابع و مشتقات آن پیوسته باشد. با استفاده از قضیه تیلور و بسط تابع $y(t)$ حول نقطه $t = t_0$ مقدار y_1 به صورت زیر بدست می‌آید.

$$y_1 = y_0 + hf(t_0, y_0) \qquad (۱۴)$$

با تکرار این فرایند در یک حلقه، دنباله‌ای از نقاط به عنوان یک جواب تقریبی از $y(t)$ (براساس رابطه ۱۵) بدست می‌آید.

$$y(t+h) = y(t) + \frac{h}{2}\left[\left.\frac{dy}{dt}\right|_t + \left.\frac{dy}{dt}\right|_{t+h}\right] \qquad (۱۵)$$

برای مطالعه بیشتر به رویس[1] (۱۹۷۳) و فاست[2] (۲۰۰۷) مراجعه گردد.

۵. نتایج شبیه‌سازی الگو و تحلیل نتایج

با توجه به هدف اصلی مقاله که بررسی پویایی‌های سیستم اقتصادی-اکولوژیک می‌باشد، لازم است تا با توجه به داده‌ها و پارامترهای اقتصاد ایران مسیر متغیرهای کلیدی مدل شبیه‌سازی گردد. به منظور تجزیه و تحلیل نتایج با در نظر گرفتن مقادیر متوسط داده‌های آماری[3] دوره ۱۳۳۸تا ۱۳۸۷مسیر بهینه متغیرهای حجم سرمایه فیزیکی (K)مصرف (C)، آلودگی (CO_2) همراه با تولید ناخالص ملی سرانه شبیه‌سازی شده است[4]. مقادیر پارامترهای مورد استفاده برای شبیه‌سازی مدل به صورت زیر می‌باشد. مقادیر متوسط متغیرها و نیز پارامترهای مورد استفاده جهت شبیه‌سازی به ترتیب در جداول زیر ارائه شده است.

1. Royce
2. Fausett
۳. با توجه به ویژگی قرار داشتن اقتصاد بر روی مسیر رشد پایدار (SS) از مقادیر متوسط متغیرها در دوره مورد مطالعه استفاده شده است.
۴. دوره مطالعه با توجه به محدودیت آماری موجود در نظر گرفته شده است.

Archive

www.SID.ir

جدول ۱. مقادیر میانگین متغیرهای الگو در فاصله سالهای ۱۳۳۸ تا۱۳۸۷(ثابت ۱۳۷٦)

نماد	متغیر	متوسط مقدار	واحد
C	مصرف	۰/۱۰۶۲۶۶	میلیون میلیارد ریال
K	موجود سرمایه فیزیکی	۰/۶۰۹۸۶۸۵	میلیون میلیارد ریال
Z	شدت آلودگی	۰/۸۴۴	بدون واحد
P	موجودی آلودگی	۰/۱۹۶۷۷۳۵	میلیون تن
H	موجودی سرمایه انسانی	۴/۶۰۴	ده هزار نفر

منبع: محاسبات تحقیق براساس داده‌های ترازنامه بانک مرکزی و ترازنامه انرژی و گزارش بانک جهانی (۲۰۰۶)

جدول ۲. توصیف و مقادیر پارامترهای الگو[۱]

پارامتر	توصیف	مقدار	منبع
σ	معکوس کشش بین دوره‌ای مصرف	۱/۵	متوسلی و همکاران (۱۳۸۹)
α	کشش تولیدی عامل سرمایه فیزیکی	۰/۴	شاهمرادی (۱۳۸۷)
γ	شدت آلودگی ناشی از تولید	۱/۱۷	محاسبات تحقیق[۲]
ρ	نرخ ترجیح زمانی	۰/۰۹	کیارسی (۱۳۸۶)
ϕ	پارامتر اثر آلودگی بر مطلوبیت	۱	هافکس (۱۹۹۵)
η	نرخ پاکسازی طبیعی محیط زیست	۰/۰۷	سیراکایا و همکاران (۲۰۰۹)
μ	نرخ رشد سرمایه انسانی	۰/۰۴۵۶	محاسبات تحقیق[۳]
θ	وزن آلودگی در تابع مطلوبیت	۰/۲	سامپائولسی (۲۰۰۳)
A	بهره‌وری کل عوامل تولید	۰/۳۷	محاسبات تحقیق[۴]

منبع: منابع مختلف

۱. در انتخاب مقادیر پارامترها سعی گردیده است تا ضمن رعایت حداکثر انطباق با ساختار اقتصاد ایران، از واگرا شدن مدل جلوگیری به عمل آید. در این راستا مقیاس مقادیر متغیرهای مدل تعدیل گردیده است.

۲. پارامتر مورد نظر از تخمین جزء اول رابطه (۵) یعنی $E = AK^{\alpha}H^{1-\alpha}z^{\gamma}$ بدست آمده است. در این رابطه به پیروی از روش استوکی (۱۹۹۸) پارامتر γ به عنوان شدت آلودگی ناشی از تولید در نظر گرفته شده است.

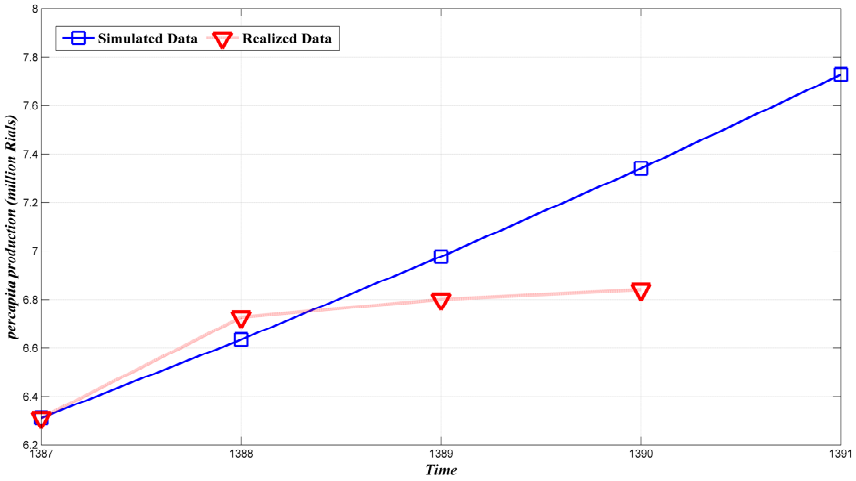
۳. متوسط نرخ رشد سرمایه انسانی براساس متوسط سال‌های تحصیل نیروی کار محاسبه شده است از نتایج تخمین خورسندی و همکاران (۱۳۸۸) استخراج شده است.

۴. متوسط بهره‌وری کل عوامل تولید (سرمایه) براساس داده‌های گزارش بهره‌وری اقتصاد ایران (۱۳۸۹) محاسبه شده است.

Archive of SID

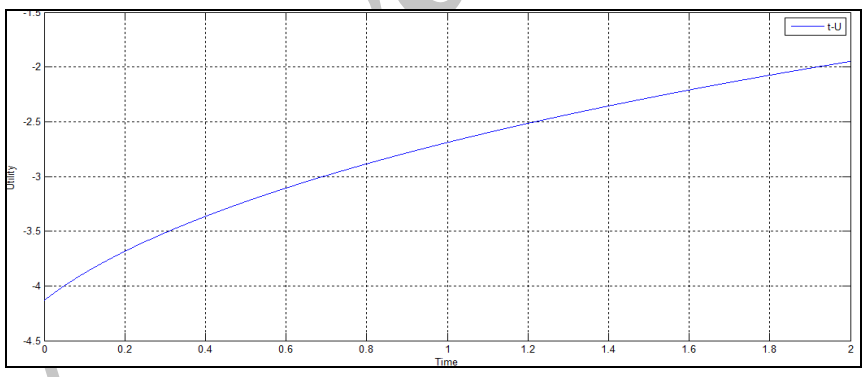
www.SID.ir

با در نظر گرفتن مقادیر فوق نتایج حاصل از شبیه‌سازی مسیر متغیرهای مدل براساس نرم‌افزار MATLAB به صورت زیر می‌باشد.



نمودار ۱. مسیر شبیه‌سازی شده و تحقق یافته تولید سرانه

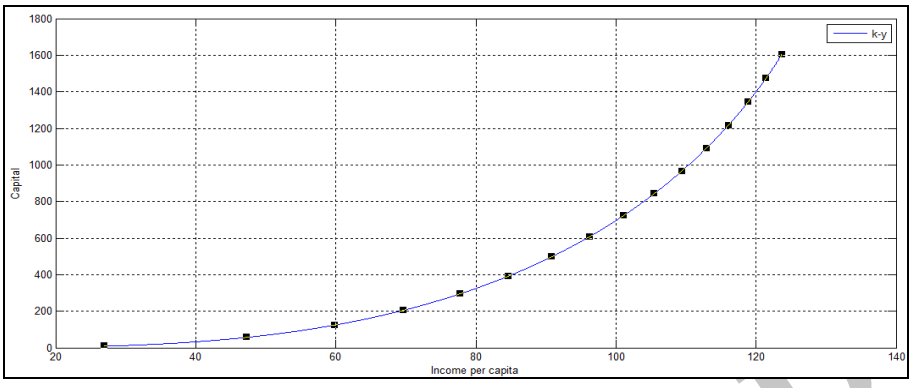
منبع: محاسبات تحقیق



نمودار ۲. مسیر شبیه‌سازی شده مطلوبیت طول عمر

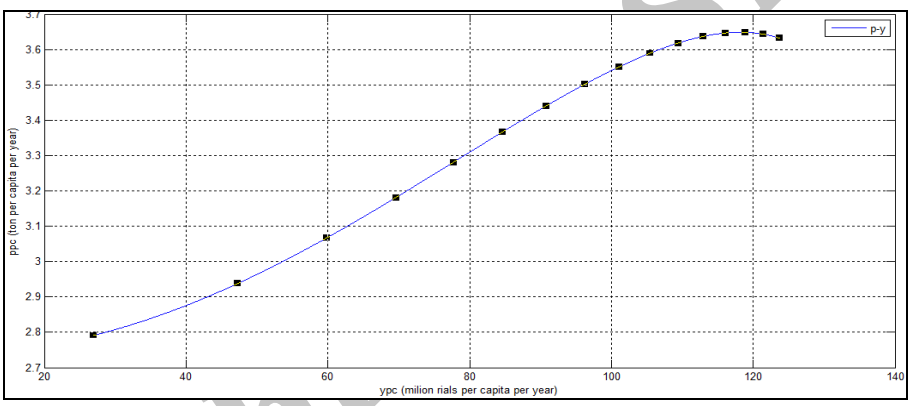
منبع: محاسبات تحقیق

www.SID.ir



نمودار ۳. مسیر شبیه‌سازی شده متغیر سرمایه فیزیکی سرانه

منبع: محاسبات تحقیق



نمودار ٤. مسیر شبیه‌سازی شده متغیر آلودگی (CO_2) سرانه

منبع: محاسبات تحقیق

مهم‌ترین نتایج حاصل از شبیه‌سازی الگو در نمودارهای ۱ تا ۴ ارائه گردیده است. نمودار (۱) نشان‌دهنده مسیرهای درآمد سرانه شبیه‌سازی شده و تحقق یافته می‌باشد. همان طور که ملاحظه می‌گردد در صورتی که سال پایه محاسبات را سال ۱۳۸۷ قرار دهیم، درآمد سرانه محقق شده در اقتصاد ایران به تدریج از مسیر بهینه فاصله گرفته است. این نتیجه بیانگر این است که اقتصاد ایران بر مسیر رشد بلندمدت پایدار قرار ندارد.

مسیر بدست آمده برای مطلوبیت (نمودار ۲) بیانگر این است که در صورتی که اقتصاد بر مسیر بهینه رشد پایدار قرار داشته باشد، مطلوبیت طول عمر خانوار همواره با نرخی کاهنده افزایش پیدا

Archive of SID

www.SID.ir

می‌کند. به طوری که با افزایش تولید اگرچه مصرف و همراه با آن مطلوبیت زیاد می‌گردد اما این افزایش با نرخی کاهنده انجام می‌گیرد. این نتیجه با توجه به این ویژگی کشورهای در حال توسعه که از سطح آگاهی زیست‌محیطی (θ) پائین‌تری در مقایسه با کشورهای توسعه‌یافته برخوردار می‌باشند، دور از انتظار نمی‌باشد. انباره سرمایه فیزیکی (نمودار ۳) در طول مسیر شبیه سازی شده همراه با افزایش درآمد سرانه افزایش پیدا می‌کند. در نهایت شبیه‌سازی مسیر انتشار آلودگی (CO_2) سرانه بیانگر افزایش آن همراه با افزایش درآمد سرانه می‌باشد. نمودار(۴) بیانگر این است که اقتصاد ایران در مراحل اولیه رشد قرار دارد، به طوری که همراه با افزایش تولید و درآمد، میزان انتشار آلودگی افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه کیفیت محیط زیست کاهش می‌یابد. البته چنانکه ملاحظه می‌گردد به نظر می‌رسد که در صورتی که اقتصاد ایران به حد آستانه درآمد سرانه خود بر روی مسیر بهینه رشد پایدار دست یابد، جهت منحنی تغییر خواهد کرد. بنابراین با احتیاط می‌توان ادعا کرد که احتمالاً فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس به صورت ناقص برای اقتصاد ایران صادق است.

٦. خلاصه و نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مقاله بررسی ارتباط پویای بین رشد اقتصادی و پیامد جنبی آلودگی زیست‌محیطی در قالب یک الگوی رشد می‌باشد. در این راستا با در نظر گرفتن ارتباط بین آلودگی زیست‌محیطی، سرمایه انسانی و رشد اقتصادی در بلندمدت مجموعه شرایط لازم برای دستیابی به توسعه پایدار استخراج گردیده است. به منظور تجزیه و تحلیل تجربی نتایج با استفاده از داده‌های اقتصاد ایران و مقادیر پارامترهای الگو اقدام به شبیه‌سازی مسیر متغیرهای کلیدی مدل شده است. برای این منظور و با استفاده از مقادیر متوسط داده‌های در فاصله زمانی ۱۳۳۸ تا ۱۳۸۷ مسیر مربوط به مصرف بخش خصوصی، حجم سرمایه فیزیکی و آلودگی (CO_2) شبیه‌سازی شده است. مهم‌ترین نتایج بیانگر آن است که در طول مسیر رشد شبیه‌سازی شده همراه با افزایش تولید (درآمد سرانه) حجم سرمایه فیزیکی و آلودگی طی زمان افزایش پیدا می‌کند. این نتیجه بیانگر این است که با افزایش درآمد سرانه میزان آلودگی سرانه نیز افزایش می‌یابد. این بدان معنا است که اگر براساس نتایج شبیه‌سازی الگو یک حد آستانه برای الگو وجود داشته باشد، فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس ممکن است برای اقتصاد ایران صادق باشد. این نتیجه نشان می‌دهد که

Archive of SID

www.SID.ir

کیفیت محیط زیست، به دلیل پائین بودن سطح درآمد، هنوز یک کالای ضروری می‌باشد. به بیان دیگر اقتصاد ایران بیش از آنکه نگران آلودگی زیست‌محیطی و اثرات منفی آن باشند، بیشتر نگران افزایش درآمد و رشد می‌باشند.

منابع

الف- فارسی

بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران- معاونت اقتصادی اداره حسابهای اقتصادی ۱۳۸۶-۱۳۷۶. گزارش بهره‌وری اقتصادی ایران، ۱۳۸۹.

بهبودی، داود و اسماعیل برقی گلعذابی (۱۳۸۷)، «اثرات زیست‌محیطی مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران»، فصلنامه *اقتصاد مقداری*، دوره ۵، شماره ۴، صص ۵۳-۳۵.

پرمن، راجر، یوما و جیمز مک گیل ری (۱۳۸۷)، *اقتصاد محیط زیست و منابع طبیعی*، ترجمه حمیدرضا ارباب. چاپ دوم. تهران: انتشارات نشر نی.

پژویان و مرادحاصل (۱۳۸۶)، «بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا»، فصلنامه *پژوهشهای اقتصادی*، سال هفتم، شماره چهارم، صص ۱۶۰-۱۴۱.

پژویان، جمشید و مریم لشکری‌زاده (۱۳۸۹)، «بررسی عوامل اثرگذار بر رابطه میان رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست»، فصلنامه *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، سال چهارم، شماره ۴۲، صص ۱۸۸-۱۶۹.

ترازنامه انرژی، وزارت نیرو، معاونت امور برق و انرژی، سالهای مختلف.

خورسندی، مرتضی، اسلاملوئیان، کریم و سیدحسین ذوالنور (۱۳۸۸)، «تخمین شکاف محصول با تأکید بر سرمایه انسانی: مورد ایران»، نشریه علمی- پژوهشی *سیاستگذاری اقتصادی*، سال اول، شماره دوم، پاییز و زمستان، صص ۹۸-۵۹.

صادقی حسین و رامین فشاری (۱۳۸۹)، «براورد رابطه بلندمدت بین صادرات و شاخصهای کیفیت زیست‌محیطی؛ مطالعه موردی ایران(۱۳۵۰-۱۳۸۶)»، فصلنامه *پژوهشهای اقتصادی ایران*، سال پانزدهم، شماره ۴۴، صص ۸۳-۶۷.

صادقی، حسین و رحمان سعادت (۱۳۸۳)، «رشد جمعیت، رشد اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی در ایران (یک تحلیل علی)»، مجله *تحقیقات اقتصادی*، شماره ۶۳، صص ۱۸۰-۱۶۳.

Archive of SID

www.SID.ir

عسگری، احسان (۱۳۸۲)، کاربرد و سازگاری الگوی رشد درونزا در اقتصاد ایران: مدل کینگ: ریبلو، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان.

فطرس، محمدحسن، هادی؛ غفاری و آزاده شهبازی (۱۳۸۹)، «مطالعه رابطه آلودگی هوا و رشد اقتصادی کشورهای صادرکننده نفت»، فصلنامه *پژوهشهای رشد و توسعه اقتصادی*، سال اول، شماره اول، صص ۷۷-۵۹.

کمیجانی، اکبر، حمید پاداش، علی صادقین و بهزاد احدی حدید (۱۳۸۹)، بهره‌وری و رشد اقتصادی در برنامه چهارم و سند چشم‌انداز، تهران: پژوهشکده پولی و بانکی، بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران.

کیارسی، مهراب (۱۳۸۶)، نرخ بهینه مالیات و مخارج دولتی در چارچوب الگوی سه بخشی رشد درونزا- مدل ایران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اداری و اقتصاد، دانشگاه اصفهان.

نصرالهی، زهرا و مرضیه غفاری گولک (۱۳۸۸)، «توسعه اقتصادی و آلودگی محیط زیست در کشورهای عضو پیمان کیوتو و کشورهای آسیای جنوب غربی (با تأکید بر منحنی زیست‌محیطی کوزنتس)»، پژوهشنامه *علوم اقتصادی*، سال نهم، شماره ۲ (پیاپی ۳۵)، صص ۱۲۶-۱۰۵.

ب- انگلیسی

Aghion, P. & P. Howitt (1992), "A Model of Growth through Creative Destruction", *Econometrica*, Vol. 60, No. 2, pp. 323–351.

Ariga, J. (2002), "Internalizing Environmental Quality in a Simple Endogenous Growth Model", Department of Agricultural and Resource Economics University of Maryland College Park, MD 20742.

Barro, R. J. & X. Sala-i-Martin (1995), *Economic Growth*, MIT Press, Cambridge, MA.

Bovenberg, A. L. and R. A. de Mooij (1997), "Environmental Tax Reform and Endogenous Growth", *Journal of Public Economics*, Vol. 63, pp. 207-237.

Brito, P. and J. Belbute (2005), "A Note on Endogenous Growth and Renewable Resources", Working Paper., Department of Economics, University of Evora.

Archive of SID

www.SID.ir

Brock, W. and M. S. Taylor (2004), "Economic Growth and the Environment: A Review of Theory and Empirics", (Online). <http: www.ssc.wisc.edu>.

Chichilinisky, G. (1994), "North-South Trade and the Globe Environment", *American Economic Review*, Vol. 84, pp. 851-875.

Costantini, V. and F. Crespi (2008), "Environment Regulation and the Export Dynamics of Energy Technologies", *Ecological Economics*, Vol. 66, pp. 447-460.

Deng, H. and J. Huang (2009), "Environmental Pollution and Endogenous Growth Models and Evidence from China", International Conference on Environmental Science and Information Application Technology.

Dinda, S. (2009), "Environmental Externality, Knowledge Accumulation Based Technology Lead Economic Growth", Working Paper, April 15.

Eismont, O. (1994), "Economic Growth with Environmental Damage and Technical Progress", *Environment and Resource Economics*, Vol. 4, pp. 241-249.

Fausett, L. V. (2007), *Applied Numerical Analysis Using MATLAB*, 2nd Edition, pearson Education.

Fullerton, D. and S. R. Kim (2008), "Environmental Investment and Policy with Distortionary Taxes and Endogenous Growth", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 56, pp. 141-154.

Gradus, R. and S. Smulders (1993), "The Trade-Off Between Environmental Care and Long-term Growth-Pollution in Three Prototype Growth Models", *Journal of Economics*, Vol. 58, No. 1, pp. 25–51.

Grimaud, A. & F. Ricci (1999), "The Growth-environment Trade-off: Horizontal vs Vertical Innovations", Fondazione ENI E. Mattei Working Paper, Vol. 99.34. Milan.

Grossman, G. M. and A. B. Krueger (1991), "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement", NBER Working Paper Series, NO.3914.

Growth, C. and F. Ricci (2009), "Environmental Quality as a Research Asset in an Optimal Growth Model with Polluting Non-Renewable Resources", Work in Progress, Gunnery 20.

Hofkes, M. W. (1994), "Sustainable Development in an Economy-Ecology Integrated Model", Vrije Universiteit/Tinbergen Institute, November.

John, A. and R. Pecchenino (1994), "An Overlapping Generations Model of Growth and the Environment", *The Economic Journal*, Vol. 104, No. 427, pp. 1393-1410.

Lucas, R. (1988), "On the Mechanics of Economic Development", *Journal of Monetary Economics*, Vol. 22, No. 1, pp. 3-42.

Maddison, A. (2001), "The World Economy, a Millennial Perspective", Development Centre Studies, OECD, Paris.

Archive of SID

www.SID.ir

Michel, P. and G. Rotillon (1995), "Disutility of Pollution and Endogenous Growth", *Environmental and Resource Economics*, Vol. 6, No. 3, pp. 279–300.

Michida, E. and K. Nishikimi (2007), "North-South Trade Industry-Specific Pollutants", *Journal of Environmental Economics and Management*, Vol. 54, pp. 229-243.

Mohtadi, H. (1996), "Environment, Growth and Optimal Policy design", *Journal of Public Economics*, Vol. 63, Issue. 1, pp. 119-140.

Musu, I. (1994), "On Sustainable Endogenous Growth", Fondazione ENI E. Mattei, working paper, No. 11.94, Milan.

Ricci, F. (2007), "Channels of Transmission of Environmental Policy to Economic Growth: A Survey of the Theory", *Ecological Economics*, Vol. 60, pp. 688-699.

Romer, P. (1990), "Endogenous Technological Change", *Journal of Political Economy*, Vol. 98, pp. 71-101.

Royce, B. and J. Hurt (1983), *Numerical Calculations and Algorithms*, McGraw Hill.

Sampaolesi, A. G. (2003), Environment: International Trade and Growth, Optimal Pollution Tax under Imperfect Competition and International Trade: The Small Country Case. PhD Thesis, University of Washington.

Smulder, S. (2000), "Economic Growth and Environment Quality", Published as chapter20 in: Principles of Environmental and Resource Economics, Henk Flomer and Landis Gabel (eds), Edward Elgar.

Smulders, S. and R. Gradus (1996), "Pollution Abatement and Long-term Growth", *European Journal of Political Economy*, Vol. 12, No. 3, pp. 505–532.

Smulders, S. (1995), "Environmental Policy and Sustainable Economic Growth", *Economist*, Vol. 143, No. 2, pp: 163-195.

Stokey, N. (1998), "Are There Limits to Growth?", *International Economic Review*, Vol. 39, No. 1, pp. 1-31.

Wang, S., Decrrot, H. L. F., Nijkamp, P. and E. T. Verhoef (2009), "Global and Regional Impact of the Clean Development Mechanism", Tinbergen Institute Discussion Paper, No. 043513.

World Bank Report (2006), Where Is the Wealth of Nations?

Xepapadeas, A. (2005), "Economic Growth and the Environment", In: Mäler, K.-G., Vincent, J. (Eds.), Handbook of Environmental Economics, Vol. 3, Elsevier, Amsterdam, pp. 1219-1271

Zhang, W. B. (2002), "Growth, Technology and Environmental Change-Nonlinearity and Non-Constant Returns", Discrete Dynamics in Nature and Society., Vol. 7, No. 4, pp. 261-268.

Archive of SID

www.SID.ir

پیوست ۱. استخراج سیستم معادلات پویای اقتصادی-اکولوژیک.

مسئله حداکثرسازی برنامه‌ریز اجتماعی را در نظر می گیریم.

$$HC = \frac{C^{1-\sigma}-1}{1-\sigma} - \phi\frac{P^{1+\theta}-1}{1+\theta} + q(Y-C) + \lambda(Yz^{\gamma-1} - \eta P)$$

$$F.O.C:$$

$$1)\ \frac{\partial HC}{\partial C} = C^{-\sigma} - q = 0 \Rightarrow C^{-\sigma} = q$$

$$2)\ \frac{\partial HC}{\partial z} = q.\frac{Y}{z} + \lambda.\gamma.Yz^{\gamma-2} = 0$$

$$3)\ \frac{\partial HC}{\partial K} = -\dot{q} + q\rho \Rightarrow q.\alpha\frac{Y}{K} + \lambda.\alpha\frac{Yz^{\gamma-1}}{K} = -\dot{q} + q\rho \Rightarrow \dot{q} = q\rho - q.\alpha\frac{Y}{K} - \lambda.\alpha\frac{Yz^{\gamma-1}}{K}$$

$$4)\ \frac{\partial HC}{\partial P} = -\dot{\lambda} + \rho\lambda \Rightarrow -\phi P^{\theta} - \eta\lambda = -\dot{\lambda} + \lambda\rho \Rightarrow \dot{\lambda} = \lambda\rho + \phi P^{\theta} + \eta\lambda$$

برای بدست آوردن نرخ رشد مصرف از رابطه (۱) بالا دیفرانسیل گرفته و از رابطه (۳) مقدار $\dot{q}$ جایگزین می سازیم.

$$-\sigma C^{-\sigma-1}\dot{C} = \dot{q} \Rightarrow -\sigma C^{-\sigma-1}\dot{C} = q(\rho - \alpha\frac{Y}{K}) - \lambda\alpha\frac{Yz^{\gamma-1}}{K} \qquad (۵)$$

حال طرفین رابطه فوق را بر رابطه (۱) یعنی $C^{-\sigma} = q$ تقسیم می کنیم.

$$\frac{-\sigma C^{-\sigma-1}\dot{C}}{C^{-\sigma}} = \frac{\dot{q}}{q} \Rightarrow -\sigma\frac{\dot{C}}{C} = (\rho - \alpha\frac{Y}{K}) - \frac{\lambda\alpha}{q}\frac{Yz^{\gamma-1}}{K} \qquad (۶)$$

حال از رابطه (۲) مقدار $\frac{\lambda}{q}$ را در رابطه (۶) جایگزین می‌سازیم . بعد از ساده‌سازی نرخ رشد مصرف به صورت زیر بدست می‌آید.

$$g_C = \frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\sigma}\left[\alpha\frac{Y}{K}(\frac{\gamma-1}{\gamma}) - \rho\right] \qquad (۷)$$

Archive of SID

www.SID.ir

حال به منظور محاسبه نرخ رشد شدت آلودگی $\left(\frac{\dot{z}}{z}\right)$ ابتدا از رابطه (۴) مقدار $\left(\frac{\dot{\lambda}}{\lambda}\right)$ را بدست می‌آوریم. آنچه حاصل می‌گردد به صورت زیر است.

$$\dot{\lambda} = \lambda\rho + \phi P^{\theta} + \eta\lambda \Rightarrow \frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = (\rho + \eta) + \frac{1}{\lambda}\phi P^{\theta} \qquad (۸)$$

حال به جای مقدار $\frac{1}{\lambda}$ از رابطه (۲) مقدار قرار می‌دهیم. بعد از ساده‌سازی نرخ رشد قیمت سایه آلودگی ($\frac{\dot{\lambda}}{\lambda}$) به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = (\rho + \eta) - \gamma q^{-1} z^{\gamma-1}\phi P^{\theta} \qquad (۹)$$

حال از رابطه (۲) لگاریتم دیفرانسیلی می گیریم تا مقدار $\frac{\dot{\lambda}}{\lambda}$ بدست آید

$$q = -\lambda\gamma z^{\gamma-1} \Rightarrow \frac{\dot{q}}{q} = -\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} + (\gamma-1)\frac{\dot{z}}{z} \Rightarrow \frac{\dot{\lambda}}{\lambda} = (\gamma-1)\frac{\dot{z}}{z} - \frac{\dot{q}}{q} \qquad (۱۰)$$

حال به جای نرخ رشد قیمت سایه سرمایه فیزیکی $\left(\frac{\dot{q}}{q}\right)$ از رابطه(۱)جایگزین ساخته و نتیجه را با رابطه (۹)مساوی قرار می‌دهیم.

$$(\rho + \eta) - \gamma q^{-1} z^{\gamma-1}\phi P^{\theta} = (\gamma-1)\frac{\dot{z}}{z} - \sigma\frac{\dot{C}}{C} \qquad (۱۱)$$

بعد از ساده‌سازی نرخ رشد شدت آلودگی $\left(\frac{\dot{z}}{z}\right)$ به صورت زیر بدست می‌آید.

Archive of SID

www.SID.ir

$$g_Z = \frac{\dot{Z}}{Z} = \frac{۱}{\gamma - ۱}\left[\rho + \eta - \gamma\phi C^{\sigma} Z^{\gamma - ۱} \rho^{\theta}\right] - \sigma \frac{\dot{C}}{C} \qquad (۱۲)$$

محاسبه نرخ رشد موجودی سرمایه فیزیکی $\left(\frac{\dot{K}}{K}\right)$ به سادگی با تقسیم طرفین شرط تسویه بازار بر موجودی سرمایه امکانپذیر است.

$$\dot{K} = Y - C \Rightarrow g_K = \frac{\dot{K}}{K} = \frac{\dot{Y}}{K} - \frac{\dot{C}}{K} \qquad (۱۳)$$

نرخ رشد آلودگی $\left(\frac{\dot{P}}{P}\right)$ و موجودی سرمایه فیزیکی $\left(\frac{\dot{H}}{H}\right)$ نیز با تقسیم معادلات حرکت متناظر بر موجودی آلودگی (P) و سرمایه انسانی (H) به صورت زیر بدست می‌آید.

$$\dot{P} = Yz^{\gamma - ۱} - \eta P \Rightarrow g_p = \frac{\dot{P}}{P} = \frac{Yz^{\gamma - ۱}}{P} - \eta \qquad (۱۴)$$

$$\dot{H} = \mu H \Rightarrow g_H = \frac{\dot{H}}{H} = \mu \qquad (۱۵)$$

تا اینجا مجموعه روابط (۱۵)، (۱۴)، (۱۳)، (۱۲) و (۷) بیانگر پویای‌های سیستم اقتصادی-اکولوژیک می‌باشد که در متن تحت عنوان روابط (۱۲) آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir

پیوست ۲. استخراج نرخ رشد متغیرها بر روی مسیر رشد پایدار (SS)

حال به منظور محاسبه نرخ رشد متغیرهای فوق بر روی مسیر رشد پایدار (SS) از این ویژگی که در طول مسیر مورد نظر نرخ رشد متغیرهای کلیدی الگو ثابت است استفاده می‌کنیم. برای این کار مجموعه معادلات بدست آمده در قسمت قبل (پیوست (۱)) را در نظر می‌گیریم.

$$(۱): g_C = \frac{\dot{C}}{C} = \frac{۱}{\sigma}\left[\alpha \frac{Y}{K}(\frac{\gamma - ۱}{\gamma}) - \rho\right]$$

$$(۲): g_Z = \frac{\dot{Z}}{Z} = \frac{۱}{\gamma - ۱}\left[\eta - \gamma\phi C^{\sigma} Z^{\gamma - ۱}\rho^{\theta}\right] - \frac{\alpha}{\gamma}\frac{Y}{K}$$

$$(۳): g_K = \frac{\dot{K}}{K} = \frac{Y}{K} - \frac{C}{K}$$

$$(۴): g_P = \frac{\dot{P}}{P} = \frac{YZ^{\gamma - ۱}}{P} - \eta$$

$$(۵): g_H = \frac{\dot{H}}{H} = \mu$$

ابتدا رابطه (۱) را از بین مجموعه روابطه فوق در نظر می‌گیریم. با در نظر گرفتن این نکته که نرخ رشد مصرف بر روی مسیر رشد پایدار ثابت است (یعنی $g_C = \bar{g}_C$) از طرفین رابطه مزبور لگاریتم دیفرانسیلی می‌گیریم.

$$\bar{g}_C = \frac{\dot{C}}{C} = \frac{۱}{\sigma}\left[\alpha \frac{Y}{K}(\frac{\gamma - ۱}{\gamma}) - \rho\right] \Rightarrow g_C.\bar{\sigma} = \alpha \frac{Y}{K}(\frac{\gamma - ۱}{\gamma}) - \rho \qquad (۶)$$

$$\Rightarrow \frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{K}}{K} \Rightarrow g_Y = g_K$$

با استدلال مشابه برای نرخ رشد سایر متغیرها داریم.

Archive of SID

www.SID.ir

$$g_Z = \frac{\dot{Z}}{Z} = \frac{1}{\gamma - 1}\left[\eta - \gamma\phi C^{\sigma} Z^{\gamma-1}\rho^{\theta}\right] - \frac{\alpha}{\gamma}\frac{Y}{K} \Rightarrow g_Z.(\gamma - 1)$$
$$= \eta - \gamma\phi C^{\sigma} Z^{\gamma-1}\rho^{\theta} \quad (7)$$

$$\Rightarrow \sigma.g_C + (\gamma - 1).g_Z + \theta g_P = 0$$

$$g_K = \frac{\dot{K}}{K} = \frac{Y}{K} - \frac{C}{K} \Rightarrow g_Y = g_C \quad (8)$$

از روابط (۶) و (۸) می توان نتیجه گرفت.

$$g_Y = g_C = g_K \quad (9)$$

$$g_P = \frac{\dot{P}}{P} = \frac{Yz^{\gamma-1}}{P} - \eta \Rightarrow \frac{\dot{Y}}{Y} + (\gamma - 1)\frac{\dot{z}}{z} - \frac{\dot{P}}{P} = 0 \Rightarrow g_Y + (\gamma - 1)g_z = g_P \quad (10)$$

با در نظر گرفتن همزمان روابط (۷) و (۱۰) خواهیم داشت.

$$\sigma.g_C + (\gamma - 1).g_Z + \theta g_Y + \theta(\gamma - 1)g_Z = 0 \xrightarrow{g_Y = g_C}$$
$$\sigma.g_Y + (\gamma - 1).g_Z + \theta g_Y + \theta(\gamma - 1)g_Z = 0 \quad (11)$$
$$\Rightarrow g_Z = -\frac{\sigma + \theta}{(1 + \theta)(\gamma - 1)} g_Y$$

حال مقدار بدست آمده از رابطه (۱۱) را در رابطه (۱۰) جایگزین می کنیم.

$$g_Y + (\gamma - 1)g_z = g_P \Rightarrow g_P = g_Y - \frac{\sigma + \theta}{(1 + \theta)} g_Y = \frac{1 - \sigma}{1 + \theta} g_Y \quad (12)$$

در نهایت برای بدست آوردن g_Y از تابع تولید لگاریتم دیفرانسیلی می گیریم.

$$Y = AK^{\alpha} H^{1-\alpha} z \Rightarrow \frac{\dot{Y}}{Y} = \alpha\frac{\dot{K}}{K} + (1 - \alpha)\frac{\dot{H}}{H} + \frac{\dot{z}}{z} \quad (13)$$
$$\Rightarrow g_Y = \alpha g_K + (1 - \alpha)g_H + g_Z$$

با جایگذاری مقادیر g_H, g_Z در رابطه فوق و ساده‌سازی نتیجه زیر حاصل می گردد.

Archive of SID

www.SID.ir

$$g_Y = \alpha g_K + (1-\alpha) g_H + g_Z \Rightarrow g_Y = \alpha g_Y + (1-\alpha)\mu - (\frac{\sigma+\theta}{(1+\theta)(\gamma-1)} g_Y$$
$$g_Y = \frac{(1+\theta)(\gamma-1)(1-\alpha)}{(1+\theta)(\gamma-1)(1-\alpha)+\sigma+\theta}\mu < \mu \qquad (۱۴)$$

Archive of SID

www.SID.ir