فصلنامه پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار) ـ سال چهاردهم ـ شماره چهارم ـ زمستان ۱۳۹۳ ـ صفحات ۱۴۷-۱۱۳

تجزیه و تحلیل خسارت‌های رفاهی ناشی از آلودگی‌های زیست محیطی در ایران (با رویکرد دینامیک سیستم)

جواد هراتی[۱]
کریم اسلاملوئیان[۲]
محمد علی قطمیری[۳]
ابراهیم هادیان[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۶/۱ **تاریخ پذیرش:** ۱۳۹۱/۱۲/۱۳

چکیده

هدف اصلی مقاله تجزیه و تحلیل خسارات رفاهی آلودگی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی در ایران می‌باشد. که با استفاده از چهارچوب الگوی رشد تعمیم‌یافته، یک الگوی سیستم دینامیک (SD)[۵] اقتصادی-زیست‌محیطی برای اقتصاد ایران طراحی گردیده است. عناصر الگو شامل توابع رفاه اجتماعی، خسارت رفاهی، تولید، انباشت سرمایه فیزیکی و انسانی، انباشت آلودگی، توزیع درآمد و شرایط اولیه می‌باشد.

در این جهت، با در نظر گرفتن سال پایه ۱۳۸۴ و به‌کارگیری مقادیر پارامترهای متناظر با اقتصاد ایران، مسیر متغیرهای آلودگی سرانه و خسارت رفاهی ناشی از آن در یک افق ۲۰ ساله شبیه‌سازی شده است.

نتایج شبیه سازی بیانگر این است که با ادامه وضع موجود، آلودگی سرانه و خسارت رفاهی ناشی از آن با نرخ مثبتی افزایش پیدا می‌کند. براین اساس با ادامه وضعیت فعلی اهداف توسعه پایدار در افق مورد نظر قابل دستیابی نخواهد بود. بنابراین بهبود وضعیت آتی محیط زیست نیازمند مداخله دولت از طریق ابزارهای سیاستگذاری مناسب است.

نتایج تحلیل حساسیت پارامترهای سیاستی بیانگر تأثیر منفی پارامترهای انتشار تکنولوژی پاک و ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان بر آلودگی سرانه و خسارت رفاهی وارده بر جامعه می‌باشد. علاوه بر این با افزایش ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان، میزان خسارت وارده بر رفاه جامعه افزایش پیدا می‌کند. متغیرهای آلودگی سرانه و خسارت رفاهی ناشی از آن به ترتیب از بیشترین حساسیت نسبت به پارامترهای ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان، ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان و انتشار تکنولوژی پاک برخوردار می‌باشد. این نتایج می‌تواند برای برنامه‌ریزی جهت دستیابی به توسعه پایدار مورد توجه قرار گیرد.

واژگان کلیدی: رشد اقتصادی، آلودگی، خسارت‌های رفاهی ناشی از آلودگی، پویایی‌های سیستم، اقتصاد ایران
طبقه بندی JEL: C36, C61, O44, R11

---

۱. استادیار اقتصاد دانشگاه بجنورد j.herati@ub.ac.ir
۲. دانشیار بخش اقتصاد دانشگاه شیراز keslamlo@rose.shirazu.ac.ir
۳. دانشیار بخش اقتصاد دانشگاه شیراز meghetmiri@gmail.com
۴. دانشیار بخش اقتصاد دانشگاه شیراز ehadian@rose.shirazu.ac.ir

5. Dynamic Systems.

۱- مقدمه

اگرچه افزایش سطح تولید و رشد اقتصادی، یکی از مهم‌ترین اهداف هر اقتصاد می‌باشد، اما عموماً رشد اقتصادی بالاتر همراه با پیامدهای جنبی زیست محیطی می‌باشد. به طوری که اثرات منفی آلودگی زیست محیطی همراه با رشد اقتصادی، به یکی از نگرانی‌های عمده و اصلی تئوری ها و سیاست‌های رشد تبدیل شده است. انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های اقتصادی از جمله عمده‌ترین آلاینده‌های همراه با فرایند تولید است که دارای آثار مخربی بر محیط زیست و از این رو، رفاه جوامع می باشد. آلودگی همراه با فرایند تولید به دو صورت مستقیم و غیر مستقیم می‌تواند بر رفاه افراد جامعه اثر بگذارد. از یک‌سو، به طور مستقیم و از طریق اثرگذاری بر سلامت و مطبوعیت ناشی از محیط زیست موجب کاهش مطلوبیت و رفاه جامعه و نیز کاهش بهره‌وری عوامل تولید می‌گردد. از سوی دیگر، چنانچه در جهت کنترل آثار زیست محیطی ناشی از آلودگی اقدام مناسبی صورت نگیرد، در بلندمدت انباشت آلودگی در محیط زیست موجب کاهش رفاه جامعه می‌گردد.

در شرایطی که آلودگی زیست محیطی به عنوان یک عامل غیر قابل اجتناب ناشی از تولید در نظر گرفته می‌شود، راه حل تعادل بازار زیر بهینه[1]خواهد بود و مکانسیم بازار قادر به ارائه تخصیص بهینه نخواهد بود. در این شرایط پیامد جنبی آلودگی زیست محیطی می‌تواند موجب اعمال هزینه‌های اجتماعی سنگینی بر جامعه گردد. آمارها نشان می‌دهد که در سال‌های اخیر آلودگی‌های زیست محیطی همراه با فعالیت‌های اقتصادی و به‌دنبال آن، هزینه اجتماعی ناشی از آن در اقتصاد ایران افزایش پیدا نموده است. به طوری که در فاصله سالهای ۱۳۴۶ تا ۱۳۸۶ سرانه انتشار دی اکسید کربن (CO_2) در ایران ۱۱ برابر شده است.[2]

همچنین هزینه‌های زیست محیطی مربوط به افت کیفیت شاخص‌های آب، هوا، منابع زمین و جنگل‌زدایی و افت کیفیت جنگل‌ها در اقتصاد ایران بین ۴/۸ تا ۱۰درصد از GDP برآورد شده است.[3] براین اساس متوسط مقدار این هزینه ها ۷/۴ درصد معادل۸/۴ میلیون دلار و یا ۶۷۳۰۰ میلیون ریال بوده است. جدول زیر نشان دهنده هزینه‌های مربوط به شاخص‌های مختلف زیست محیطی در اقتصاد ایران می‌باشد.

---

1. Sub-Optimal

۲. براساس آمار ترازنامه انرژی مقدار سرانه انتشار CO_2 از ۶۰۷ کیلوگرم در سال ۱۳۴۶ به ۶۸۸۱/۷ کیلوگرم در سال ۱۳۸۶ افزایش پیدا نموده است.

3. World Bank

جدول ۱. هزینه‌های ناشی از خسارت‌های زیست محیطی در ایران (۲۰۰۲)

نوع خسارت	دلار آمریکا	ریال	درصد از GDP
آب	۳۲۰۰	۲۵۵۰۰	۲,۸۲
زمین و جنگل	۲۸۴۰	۲۲۶۰۰	۲,۵
هوا	۱۸۱۰	۱۴۵۰۰	۱,۶
ضایعات	۴۱۰	۳۲۰۰	۰,۳۶
نواحی ساحلی (دریای خزر)	۱۷۰	۱۳۰۰	۰,۱۵
جمع مقادیر بالا	۸۴۳۰	۶۷۱۰۰	۷,۴۳
انتشار دی اکسید کربن $CO2$	۱۵۴۰	۱۲۳۰۰	۱,۳۶
کل	۱۰۰۰۰	۷۹۴۰۰	۸,۸

مأخذ: بانک جهانی (آخرین گزارش برآورد هزینه‌های افت کیفیت محیط زیست ایران، ۲۰۰۵).

همچنین بنا به گزارش بانک جهانی، افزایش هزینه‌های اجتماعی ناشی از آلودگی زیست محیطی در اقتصاد ایران به گونه‌ای است که علی‌رغم تلاش‌هایی اولیه انجام شده توسط سازمان حفاظت از محیط زیست (DOE)[1] کیفیت منابع طبیعی و زیست محیطی با نرخ فزاینده‌ای در حال کاهش می‌باشد.[2]

با افزایش خسارت‌های زیست محیطی و آلودگی همراه با فرایند رشد اقتصادی و طرح ایده پایداری فضائی[3]، از سوی جامعه جهانی در سطح بین‌الملل و منطقه‌ای تلاش‌هایی به منظور کاهش اثرات مخرب آلودگی آغاز گردیده است. این تلاش‌ها موجب انعقاد توافق‌نامه‌های بین‌المللی و منطقه‌ای بین کشورها مختلف گردیده است. از جمله نتایج این تلاش‌ها، که در نتیجه پروتکل کیوتو حاصل گردیده است، مکانسیم توسعه پاک (CDM)[4] می‌باشد. در این چهارچوب یکی از اهداف سیاستی، ارائه راهکارهایی برای دستیابی کشورهای مختلف (بویژه در حال توسعه) به توسعه پایدار و نیز همکاری آنها برای مشارکت در کاهش آلودگی می‌باشد. بدین منظور، اساس کار مکانیسم توسعه پاک بر تسهیل انتقال تکنولوژی‌های پاک با آلایندگی کمتر از کشورهای توسعه یافته به

1. Depatment of Environment

۲. از جمله این تلاش‌ها می‌توان به ایجاد نظام مدیریت سبز و دولت سبز در سال ۱۳۸۲ اشاره نمود. در این سال هیات وزیران در قالب بند"پ" تبصره ۲۰ قانون بودجه کشور، سازمان حفاظت از محیط زیست را به عنوان دیبرخانه دولت سبز تعیین و این سازمان فعالیت خود را آغاز نمود.

3. Spatial Sustainability

4. Clean Development Mechanism

کشورهای در حال توسعه از کانال تجارت بنا نهاده شده است. این مساله موجب شده است تا در سالهای اخیر تکنولوژی و انتقال آن در کانون و مرکز تجزیه و تحلیل‌های جاری در خصوص ارتباط بین توسعه اقتصادی و محیط زیست قرار گرفته و به عنوان یک عامل مهم برای رفع محدودیت‌های داخلی و دستیابی به پایداری زیست محیطی در سطح ملی/ منطقه‌ای مطرح گردد.(Van den Bergh 2010). انتشار تکنولوژی پاک از طریق کاهش شدت انتشار آلودگی همراه با تولید می‌تواند با کاهش خسارت‌های زیست محیطی تأثیر مثبتی بر رفاه بر جای گذارد (Sirakaya et al 2009).

با در نظر گرفتن ارتباط متقابل بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست و اثرات رفاهی ناشی از آن و نیز امکان انتشار تکنولوژی پاک، تعاملات موجود بین اقتصاد و محیط زیست حلقه‌های بازخوردی ایجاد می‌کند که باعث پیچیدگی رفتار سیستم اقتصادی- زیست محیطی شده و تصمیم‌گیری در این رابطه را دشوار می‌سازد. بنابراین ارائه الگوهای پویا که با استفاده از آن بتوان رفتار سیستم اقتصادی- زیست محیطی کشور را درک کرده و تصمیمات مناسبی را در رابطه با دستیابی به اهداف توسعه پایدار اتخاذ نمود، ضروری می‌باشد.

در این راستا، مطالعه حاضر می‌کوشد تا در چهارچوب یک الگوی رشد تعمیم یافته، یک الگوی سیستم دینامیکی برای سیستم اقتصادی- زیست محیطی اقتصاد ایران ارائه نماید. با در نظر گرفتن امکان تاثیرگذاری تجارت بر شدت انتشار آلودگی، مسیر حرکت متغیرهای آلودگی و خسارات رفاهی ناشی از آن در افق چشم انداز برنامه ۲۰ ساله (سال ۱۴۰۴) ایران شبیه‌سازی شده و به سؤالات زیر پاسخ داده می‌شود.

۱- با ادامه روند کنونی، وضعیت محیط زیست (انباشت آلودگی و خسارات رفاهی ناشی از آن) در افق ۱۴۰۴ چگونه خواهد بود؟

۲- در طول دوره مورد نظر، متوسط نرخ رشد متغیرهای آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن به چه میزان خواهد بود؟

۳- در صورت تغییر در پارامترهای سیاستی (انتشار تکنولوژی پاک، ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان و ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان)، شاهد بروز چه روندی در کیفیت محیط زیست (آلودگی) و خسارات رفاهی ناشی از آن خواهیم بود؟

۴- با توجه به نحوه اثرگذاری پارامترهای سیاستی بر آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن، چه توصیه‌های سیاستگذاری برای دسترسی هر چه سریعتر به اهداف توسعه پایدار و سند چشم انداز ۱۴۰۴ می‌توان ارائه نمود؟

برای این منظور، ساختار مقاله به صورت زیر تدوین شده است. در بخش دوم مقاله، ابتدا مروری بر مطالعات پیشین انجام شده در حوزه رشد و محیط زیست خواهیم داشت. در بخش سوم، مبانی

نظری و ساختار الگوی رشد- زیست محیطی که مبتنی بر الگوی پویاشناسی دینامیکی است، ارائه می‌گردد. بخش چهارم به ارائه نتایج شبیه‌سازی الگو، تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهای سیاستی و تجزیه و تحلیل نتایج اختصاص دارد. در نهایت در بخش پنجم، خلاصه و نتیجه‌گیری مقاله بیان می‌گردد.

۲- الگو سازی رشد- زیست محیطی: مروری بر مطالعات

اهمیت آلودگی به عنوان مهم‌ترین پیامد جنبی همراه با رشد اقتصادی و تأثیر منفی آن بر رفاه موجب شده است تا در سالهای اخیر در الگوسازی رشد وارد گردد. در این چهارچوب تأثیر محیط زیست و آلودگی بر اقتصاد از دو کانال تأثیر بر سلامت و مطبوعیت محیط و تأثیر بر بهره‌وری نیروی کار در مدل‌سازی الگوهای رشد در نظر گرفته شده است. در حالت اول، تأثیر مورد نظر با وارد کردن متغیر آلودگی (به عنوان یک کالای بد) یا متغیر کیفیت محیط زیست (به عنوان یک کالای خوب) در کنار کالای مصرفی در تابع مطلوبیت بررسی می‌گردد. در حالت دوم، فرض می‌شود که بهره‌وری نیروی کار به طور مستقیم تحت تأثیر کیفیت محیط زیست یا آلودگی قرار می‌گیرد.

الگوسازی رشد با وجود ملاحظات زیست محیطی، که در ادبیات اقتصادی با عنوان الگوهای رشد- زیست محیطی شناخته می‌شود، در دهه۱۹۷۰ با مطالعات افرادی مانند کیلر و همکاران (Keeler et al 1971) ، استروم (Strom, S. 1973)، فورستر (Forster, B. A. 1973)، گرور (Gruver, G. 1976) رونق گرفت. اوج رونق ادبیات الگوسازی رشد- زیست محیطی در دهه ۱۹۹۰ با طرح فرضیه کوزنتس زیست محیطی (EKC)[1] ظهور پیدا نمود.[2] بعد از آن مطالعات مختلف با استفاده از چهارچوب‌های نظری متفاوت اقدام به توسعه ادبیات رشد- محیط زیست نمودند. جدول شماره (۲) تقسیم‌بندی کلی مطالعات انجام شده در حوزه رشد- محیط زیست را از نقطه نظر چهارچوب تئوریک مورد استفاده نشان می‌دهد.

---

1. Environmental Kuznets Curve

۲. نتیجه مطالعه گروسمن و کروگر (۱۹۹۱) که به بررسی تأثیر تجارت بر محیط زیست کشورهای عضو موافقت نامه تجارت آزاد شمال آمریکا (NAFTA) می‌پردازد، توسط پانایوتو (۱۹۹۳) به عنوان منحنی زیست محیطی کوزنتس نامگذاری شده است. باتوجه به اینکه اغلب مطالعات در حوزه فرضیه کوزنتس زیست محیطی در چهارچوب الگوهای اقتصادسنجی و به صورت ایستا به مطالعه رشد و محیط زیست می پردازند و در این مطالعه ارتباط پویای رشد و محیط زیست از منظر یک الگوی سیستم دینامیکی مورد توجه است، از ذکر این مطالعات خودداری شده است.

از جمله مطالعاتی که از الگوهای رشد نئوکلاسیک به منظور بررسی ارتباط رشد- محیط زیست استفاده نموده‌اند، می‌توان به مطالعات افرادی مانند فورستر (Forster, B. A. 1973 and 1975)، بروک و تیلور (Brock, W., Taylor, S., 2005)، تزوولوکاس و همکاران (Tzouvelekas, E., D. et al 2006)، لیه میجیکو و پالوکانگاس (lehmijoki, U. and T. Palokangas 2008)، دنگ و هوانگ (Deng, H. and J. Huang 2009)، رائو (Rao, 2010) اشاره نمود. همچنین افرادی مانند الباشا و روی (Elbasha, E. and T. L. Roe 1996)، استوکی (Stokey, N. 1998)، آریگا (Ariga, J. 2002)، بریتو و بیلبوتی (Brito, P. and J. Belbute., 2005)، ریچی (Ricci, F. 2007)، سیراکایا و همکاران (Sirakaya, S., et al 2009)، فولرتون و کیم (Fullerton, D. and S. R .Kim 2008)، گروس و ریچی (Groth, C. and F. Ricci 2009) و پالما و همکاران (Palma, C. R., et al 2010) از الگوهای رشد درونزا استفاده نموده‌اند. علاوه بر این، مطالعاتی مانند جان و پیچینو (John, A. and R. Pecchenino 1994)، آی هوری (Ihori, T. 1996)، وندنر (Wendner, R. 2003)، پائوترل (Pautrel, X. 2007) و باسیتی و همکاران (Basseti, J., et al 2010) از الگوهای نسل‌های همپوشان و تعادل عمومی چند کشوری به منظور بررسی ارتباط رشد اقتصادی و محیط زیست استفاده نموده‌اند.

جدول ۲. تقسیم بندی الگوسازی رشد – محیط زیست

ردیف	الگو	مثال
۱	الگوهای رشد نئوکلاسیک (تغییرات فنی برونزا)	الگوی رشد سولو، رمزی-گاس-کوپمانز
۲	الگوهای رشد درونزا	الگوهای رشد $(R\&D)$ و AK
۳	الگوهای رشد با فرض متغیر زیست محیطی به عنوان یک نهاده تولید	در این الگوها متغیر زیست محیطی به یکی از دو صورت آلودگی و یا کیفیت محیط زیست به عنوان یک نهاده تولید در نظر گرفته می‌شود
۴	سایر الگوهای رشد	الگوهای رشد نسل‌های همپوشان و الگوهای تعادل عمومی چند کشوری با وجود تجارت

مأخذ: پانایوتو (Panayoutou 2000)

در عین حال این حوزه از مطالعات از نقطه نظر فرضیات مورد استفاده یعنی متغیر زیست محیطی مورد استفاده، نوع متغیر زیست محیطی، نحوه دخالت دولت (از منظر سیاست زیست محیطی و استانداردهای زیست محیطی)، نوع ترجیحات مصرف کننده (تابع مطلوبیت) و تکنولوژی

تولید از یکدیگر متمایز می‌باشد. در این رابطه انتخاب فرضیات مختلف بسته به چهارچوب و هدف الگوی مورد بررسی می‌باشد. در رابطه با نوع متغیر زیست محیطی برخی مطالعات مانند بوونبرگ و دی موج (Bovenberg, A. L. and R. A. de Mooij 1994)، استوکی (Stokey, N. 1998)،گریمود و راگ (Grimaud, A. and L. Rouge 2008) از آلودگی به عنوان یک کالای عمومی بد و برخی مانند هافکس (Hofkes, M. W. 1994)، سلدون و سونگ (Seldon, T, M. and D. Song 1994)، مهتدی (۱۹۹۷)، سامپائولسی (Sampaolesi, A. G. 2003)، گاریوپ (Gariup, L. 2004) از کیفیت محیط زیست به عنوان یک کالای عمومی خوب استفاده نموده‌اند. گروهی دیگر از مطالعات مانند مهتدی (۱۹۹۶)، اشمولدرز و گرادوس (Smulders, S. and R. Gradus 1996)، گاسو و همیلتون (Cassou, S.P.and S.F. Hamilton 2004) متغیر زیست محیطی را به عنوان یک نهاده تولید در الگوسازی خود وارد نموده‌اند. اما از نقطه نظر متغیر زیست محیطی ، برخی مطالعات مانند سامپائولسی (۲۰۰۳)، سلدون و سونگ (۲۰۰۳)، هارتمن و کاون (Hartman, R. and O-Sung. Kwon 2005)آلودگی یا کیفیت محیط زیست را به عنوان متغیر جریانی (flow) و برخی آن را به صورت یک متغیر وضعیت یا انباشت (state) در نظر می‌گیرند. لایب (Lieb, C.M. 2004)، المدار و اوزلدریم (Alemdar, N. M. and S. Ozyildirim 2002)، بارتز و کلی (Bartz, S. and D. L. Kelly 2008) ، دنگ و هوانگ (۲۰۰۹)، کلنبرگ (Kellenberg, 2009)، سیراکایا و همکاران (۲۰۰۹) از جمله این مطالعات هستند. در رابطه با ترجیحات مصرف کننده نیز مطالعات از یکی از دو فرض ترجیحات جدایی‌پذیر و جدایی‌ناپذیر استفاده می‌نماید. در این رابطه افرادی مانند دنگ و هوانگ (۲۰۰۹)، هارتمن و کاون (۲۰۰۵)، گریمود و روگ (۲۰۰۸)، رایس و همکاران (Reis et al, 2008)، روبیو و همکاران (Rubio, S.J., et al 2009) از تابع جدایی‌پذیر و افرادی مانند مهتدی (۱۹۹۷)، سامپائولسی (۲۰۰۳)، گراینر (Greiner, 2009) از توابع مطلوبیت جدایی‌ناپذیر استفاده نموده‌اند.

علی‌رغم تنوع فرضیات و نتایج الگوهای مختلف رشد- زیست محیطی نتیجه مشترک مطالعات این حوزه بیانگر آن است که وجود اثرات منفی ناشی از آلودگی و خسارت‌های زیست محیطی موجب تخصیص غیر بهینه بازار و لزوم دخالت دولت جهت اصلاح عدم کارآیی به‌وجود آمده می-باشد. افزایش آلودگی و خسارات رفاهی ناشی از آن موجب گردیده تا دولت‌ها در کنار اهداف اقتصادی، به اهداف زیست محیطی نیز توجه نموده و از طریق ابزارهای مختلف جهت کاهش آثار منفی برنامه‌ریزی نمایند. اما طراحی صحیح ابزارها و سیاست‌های کنترل آلودگی نیازمند شناسایی ارتباط بین رشد اقتصادی و محیط زیست و اثرات بازخوردی احتمالی بین بخش‌های مختلف اقتصاد و محیط زیست می‌باشد. در این رابطه، شناخت اثرات رفاهی ناشی از تغییر پارامترهایی مانند

ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان، ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان و انتشار تکنولوژی پاک به عنوان پارامترهای سیاستی می‌تواند برنامه‌ریزان اقتصادی را در امر دستیابی به اهداف توسعه پایدار کمک نماید؛ به طوری که با اجرای سیاست‌ها و ابزارهای مناسب زمینه و تغییر مناسب در پارامترهای یاد شده جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار را فراهم آورد.

علاوه بر این در بعد تجربی، الگوسازی پویای رشد- محیط زیست را می‌توان به دو دسته تقسیم نمود. گروه اول، که غالب مطالعات این حوزه را شامل می‌شود، با استفاده از روش‌های بهینه‌یابی پویا مانند نظریه کنترل بهینه اقدام به حل تحلیلی الگوهای رشد- زیست محیطی می‌نماید. در این چهارچوب هدف کلی این مطالعات حل تحلیلی مدل و استخراج شرایط مرتبه اول برای دستیابی به مسیر رشد بهینه با وجود آثار منفی آلودگی و تعیین سیاست‌های مناسب جهت متعادل‌سازی رشد می‌باشد. همچنین تعیین نرخ‌های رشد بر روی مسیر رشد پایدار (SS) و بررسی نحوه اثرگذاری متغیرها بر مقادیر سطح و نرخ‌های رشد متغیرهای کلیدی الگو مانند موجودی سرمایه، تولید، مصرف و آلودگی از ویژگی‌های مشترک مطالعات این گروه می‌باشد. اما استفاده از نظریه کنترل بهینه به منظور بررسی رفتار پویای متغیرها با این محدودیت اساسی همراه می‌باشد که در برخی موارد به دلیل پیچیدگی الگو امکان حل تحلیلی آن به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد.

در چهارچوب نظریه کنترل، حداکثرسازی رابطه فرم تابعی[1] نسبت به قیدهای مشخص موجب استخراج مسیر بهینه متغیرهای کنترل می‌گردد. دراین چهارچوب نتیجه حل مساله بهینه‌سازی تا حدود زیادی بستگی به مقادیر مرزی[2] داشته و در حالت کلی تنها برای شکل ساده‌ای از الگوهای فرم تقلیل‌یافته[3] قابل حل می‌باشد. علاوه براین همواره این سؤال مطرح است که آیا سیاست‌های اقتصادی و زیست محیطی در دنیای واقعی مسیر به‌دست آمده برای متغیرها را دنبال می‌کنند. بر این اساس، گروه دیگری از مطالعات (گروه دوم) از روش‌شناسی پویایی‌های سیستم (SD) که امکان الگوسازی و تجزیه و تحلیل صریح سیاست‌های مختلف را ایجاد می‌کند، استفاده می‌کنند. اگرچه پویایی‌های سیستم به عنوان یک رهیافت پویا در علوم مختلف به صورت گسترده مورد استفاده قرار گرفته است، اما سابقه چندانی در حوزه الگوهای‌های اقتصادی رشد و محیط زیست ندارد.

این روش برای اولین بار توسط میادوس و همکاران (Meadows, H. D. et al 1972) در حوزه مطالعات رشد- محیط زیست مورد استفاده قرار گرفت. مطالعه این افراد بزرگترین تأثیر سیاستی را بر ادبیات این حوزه بر جای گذاشته است. همچنین در سال ۱۹۹۸ یک مدل سیستم

1. Functional Form
2. Boundary Value
3. Reduced Form

دینامیک برای تحلیل تعاملات اقتصاد و محیط زیست با عنوان «FREE»[1] ارائه گردید. این مدل نخستین مدلی است که با اتکا به رهیافت سیستم دینامیک به بررسی تأثیر آب و هوا بر سیستم اقتصاد و انرژی می‌پردازد.

علاوه بر این مطالعه جان (John, K.D. 2009) از معدود مطالعات مشخصی است که با استفاده از رهیافت پویایی‌های سیستم یک الگوی رشد با وجود ملاحظات زیست محیطی را برای اقتصاد آلمان ارائه و شبیه‌سازی نموده است.

سیستم دینامیک می‌تواند به عنوان یک روش الگوسازی نسبتا ساده تمامی زیر سیستم‌های مهم سیستم اقتصادی- زیست محیطی را به صورت یکپارچه نمایش دهد. این روش به خوبی تعاملات میان تمامی زیر سیستم‌ها را به طور همزمان به نمایش می‌گذارد و مسیر متغیرها در طول زمان را به تصویر می‌کشد. توصیف ساده و گرافیکی مزبور این امکان را می‌دهد تا علی‌رغم وجود پیچیدگی‌های زیاد موجود در الگو، کاربران به راحتی ساختار و رفتار سیستم را درک نموده و به تصویر و درک صحیحی از واقعیت دست پیدا کنند.[2]علاوه بر این، پویایی‌های سیستم و نمودار فازی انباشت- جریان[3] به عنوان یک ابزار توانمند برای شبیه‌سازی رفتار پویای متغیرهای کلیدی الگوی اقتصادی- زیست محیطی قابل استفاده می‌باشد. این روش در مقایسه با نظریه کنترل بهینه و روش‌های حل تحلیلی دارای این قابلیت است که امکان شبیه‌سازی و بررسی پویایی‌های الگوهای رشد را صرف‌نظر از تعداد متغیرهای کنترل و وضعیت و فرضیات در نظر گرفته در خصوص توابع تصریح شده الگو ایجاد می‌نماید.

براساس اطلاعات نویسندگان این مقاله، در ارتباط با موضوع الگوسازی رشد- محیط زیست، بویژه با استفاده از پویایی‌های سیستم، هیچ مطالعه داخلی انجام نشده است. تقریبا تمامی مطالعات داخلی که به بررسی ارتباط رشد - محیط زیست پرداخته‌اند، به آزمون تجربی فرضیه کوزنتس زیست محیطی(EKC) و بررسی رابطه علیت بین رشد اقتصادی و آلودگی توجه کرده‌اند.[4] بر این اساس در مطالعه حاضر با در نظر گرفتن چهارچوب الگوی رشد تعمیم‌یافته لوکاس و بهره‌گیری از مطالعه جان (۲۰۰۸) یک سیستم دینامیکی برای اقتصاد ایران طراحی و با در نظر گرفتن

---

1. Feedback-rich Energy Economy Model

۲. پور معصومی و همکاران، ۱۳۸۹.

3. Stock-Flow Diagram

۴. از جمله این پژوهش‌ها، می توان به مطالعات صادقی و سعادت (۱۳۸۲)، پژویان و مراد حاصل (۱۳۸۶)، بهبودی و برقی (۱۳۸۷)، پورکاظمی و ابراهیمی (۱۳۸۷)، صالح و همکاران (۱۳۸۸)، شرزه‌ای و حقانی (۱۳۸۸)، نصرالهی و غفاری (۱۳۸۸)، فطرس و همکاران (۱۳۸۹)، پژویان و لشکری‌زاده (۱۳۸۹)، صادقی و فشاری (۱۳۸۹) و لطفعلی پور و همکاران (۱۳۸۹) اشاره نمود.

سال۱۳۸۴ به عنوان سال شروع شبیه‌سازی و پارامترهای متناظر با اقتصاد ایران مسیر حرکت متغیرهای آلودگی و خسارت راهی ناشی از آن شبیه‌سازی می‌گردد.

شبیه‌سازی پویایی‌های سیستم اقتصادی- زیست محیطی، امکان اظهار نظر در رابطه با وضعیت آتی محیط زیست و پایداری توسعه در اقتصاد ایران را ایجاد می‌کند. بدین وسیله می‌توان وضعیت محیط زیست و اثرات رفاهی ناشی از تغییر آن در ایران را برای افق ۲۰ ساله ۱۴۰۴ با توجه به استراتژی‌ها و سناریوهای متفاوت پیش‌بینی کرد. براین اساس، مهم‌ترین نوآوری و تفاوت‌های مطالعه حاضر به صورت زیر می‌باشد. در این مطالعه برخلاف الگوی جان (۲۰۰۸) که در آن فرض گردیده دولت بخشی از GDP را به منظور کنترل آلودگی هزینه می‌نماید، هیچ فرض مشخصی در این رابطه در نظر گرفته نشده است؛ چرا که بر مبنای بررسی‌های انجام شده، علی‌رغم تلاش‌های انجام شده در سالهای اخیر برای حفاظت از محیط زیست در ایران، هیچ برنامه و سیاست مشخصی جهت کنترل آلودگی و سرمایه‌گذاری در این زمینه تدوین نگردیده است.[۱]

از سوی دیگر با توجه به اهمیت انتقال تکنولوژی پاک و تأثیر مثبت آن بر کیفیت محیط زیست، پارامتر انتقال تکنولوژی پاک برای اقتصاد ایران تخمین و در چهارچوب الگوی سیستم دینامیک طراحی شده وارد گردیده است. در نظر گرفتن فرض انتقال تکنولوژی پاک از کانال تجارت، امکان بررسی اثرات زیست محیطی و رفاهی این پارامتر را در کنار دیگر پارامترهای سیاستی فراهم می‌آورد. علاوه براین در چهارچوب الگوی مورد استفاده، در مطالعه حاضر، با بهره-گیری از شکل تعمیم‌یافته تابع تولید کاب- داگلاس، متغیر شدت انتشار آلودگی به عنوان یک نهاده تولید در کنار نهاده‌های سرمایه فیزیکی و انسانی مورد استفاده قرار گرفته است. با در نظر گرفتن این فرض، امکان بررسی اثرات زیست محیطی بر تولید و رشد اقتصادی ایجاد گردیده و از این رو، اثرات بازخوردی بین زیر سیستم‌های اقتصادی و زیست محیطی کامل می‌گردد.

وجود این اثرات بازخوردی، یکی از دلایل اصلی انتخاب چهارچوب سیستم دینامیکی برای تجزیه و تحلیل اثرات رفاهی ناشی از آلودگی و بررسی تأثیر پارامترهای سیاستی در این چهارچوب می‌باشد. در نهایت، با شبیه‌سازی رفتار متغیرهای آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن با استفاده از مقادیر داده‌ها و پارامترهای متناظر با اقتصاد در حال توسعه ایران، ضمن پیش‌بینی رفتار آتی

---

۱. هرچند در بودجه عمومی دولت، بخشی با عنوان مخارج حفاظت از محیط زیست وجود دارد اما این مخارج در مقایسه با هزینه های اجتماعی ناشی از آلودگی ناچیز بوده و تنها درصد بسیار کمی از بودجه عمومی دولت را تشکیل می دهد. به عنوان مثال براساس آمار میزان متوسط هزینه های کنترل آلودگی در بودجه عمومی دولت در فاصله سالهای سالهای ۱۳۷۹تا ۱۳۸۳ برابر ۳۳۶۱ میلیارد ریال، تنها معادل ۱/۴۵ درصد از بودجه عمومی دولت در این سال ها را تشکیل داده است.

وضعیت آلودگی و خسارات رفاهی ناشی از آن، امکان ارائه پیشنهادات سیاستی برای برنامه‌ریزان اقتصادی ایجاد می‌کند.

۳- مبانی نظری و ساختار الگو

در راستای طراحی الگوی سیستم دینامیکی، ابتدا چهارچوب نظری و عناصر الگوی رشد- زیست محیطی مورد نظر (که تشکیل دهنده زیر سیستم‌های الگو می‌باشند) معرفی و سپس در چهارچوب نمودار انباشت- جریان، الگوی سیستم دینامیکی تشریح می‌گردد. چهارچوب نظری الگوی رشد- زیست محیطی مطالعه حاضر، مشابه الگوی رشد لوکاس (Lucas, 1998) می باشد، که با در نظر گرفتن فرض اقتصاد باز و امکان انتشار تکنولوژی پاک توسعه داده شده است. لوکاس الگوی رشد AK را با تفکیک متغیر موجودی سرمایه به سرمایه انسانی (H) و فیزیکی (K) توسعه داد. در عین حال افرادی مانند لوپز (Lopez, R. 1994) و استوکی (۱۹۹۸) الگوی رشد اولیه AK را با وارد کردن متغیر شدت انتشار آلودگی (z) به عنوان یک نهاده تولید، توسعه دادند.

همچنین مطالعاتی مانند هارتمن و کاون (۲۰۰۵) و دنگ و هوانگ (۲۰۰۹) متغیر شدت انتشار آلودگی را به عنوان یک نهاده تولید در الگوی رشد لوکاس وارد نمودند. در مطالعه پیش‌رو، شکل توسعه داده شده الگوی اخیر با در نظر گرفتن امکان انتقال تکنولوژی پاک مورد استفاده قرار گرفته است. مهم‌ترین عناصر الگوی رشد- زیست محیطی مورد استفاده شامل تابع هدف اجتماعی، تابع تولید، انباشت سرمایه، انباشت متغیر زیست محیطی (آلودگی)، معادله توزیع درآمد و شرایط اولیه می‌باشند. ویژگی‌های عناصر الگوی رشد - زیست محیطی به صورت زیر می‌باشد.

۳-۱- الگوی رشد- زیست محیطی

به منظور توصیف تابع رفاه اجتماعی، فرض می‌گردد تعداد زیادی خانوار همگن وجود دارند که مطلوبیت (رفاه) هر خانوار تابعی از مصرف کالای مرکب (C) (شامل کالای داخلی C_1 و کالای وارداتی C_2) و آلودگی (X) می‌باشد.[۱] مطلوبیت نسبت به متغیر مصرف (C) افزایشی و مقعر و نسبت به آلودگی (X) کاهنده و محدب می‌باشد (Ricci, 2007). بنابراین مطلوبیت مصرف کننده در هر لحظه از زمان به صورت زیر می‌باشد.

---

۱. با توجه به اینکه تجزیه و تحلیل الگوی مورد استفاده در چهارچوب اقتصاد باز انجام گرفته است، سبد کالای مصرفی (C) به صورت یک سبد کالای مرکب شامل مصرف کالای تولید داخل (C_1) و مصرف کالای وارداتی (C_2) در نظر گرفته شده است.

$$U = U(C, X), U_C > 0, U_{CC} < 0, U_X < 0, U_{XX} < 0 \quad (۱)$$

به منظور شبیه‌سازی الگو لازم است تا فرم مشخصی از تابع مطلوبیت را در نظر بگیریم. برای این منظور به پیروی از دنگ و هوانگ (۲۰۰۹) از یک تابع مطلوبیت جدایی‌پذیر استفاده می‌کنیم. فرض می‌گردد مطلوبیت آنی مصرف‌کننده نمونه براساس رابطه زیر حاصل می‌گردد.

$$U = \frac{C(t)^{1-\theta}}{1-\theta} - \omega \frac{X(t)^{1+v}}{1+v}, 0 < \theta < 1, v > 0 \quad (۲)$$

در رابطه فوق، پارامترهای v, θ, ω به ترتیب تأثیر نسبی آلودگی بر رفاه مصرف کننده، کشش جزئی مطلوبیت نهایی نسبت به مصرف و کشش جزئی عدم مطلوبیت نهایی آلودگی و بیانگر ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان می‌باشد. مقدار بالاتر پارامتر $v > 0$ بیانگر آن است که مصرف‌کنندگان اهمیت بیشتری برای محیط زیست قائل بوده و در نتیجه، یک واحد افزایش در آلودگی، خسارت رفاهی بالاتری برای آنها به همراه دارد. مقدار این پارامتر تحت تأثیر سطح درآمد و درجه توسعه‌یافتگی کشورها متفاوت می‌باشد؛ به طوری که هرچه درجه توسعه‌یافتگی و درآمد کشور بالاتر باشد، انتظار بر آن است که مقدار این پارامتر بزرگتر باشد (Dinda, 2009). کشش مطلوبیت نسبت به مصرف برابر $1-\theta$ و کشش (عدم) مطلوبیت آلودگی برابر $1+v$ می‌باشد. هدف سیاست اقتصادی (برنامه‌ریز اجتماعی) حداکثرسازی ارزش فعلی جریان مطلوبیت کل (یا رفاه انباشت شده) مصرف‌کننده نمونه طی دوره برنامه‌ریزی می‌باشد.

$$\max W = \int_0^{\infty} \left(\frac{C(t)^{1-\theta}}{1-\theta} - \omega \frac{X(t)^{1+v}}{1+v} \right) e^{-\rho t} dt \quad (۳)$$

در رابطه فوق، $\rho > 0$ نرخ ترجیح زمانی مصرف‌کننده می‌باشد.

در رابطه با تابع تولید، مشابه با روش آگیون و هوویت (Aghion, P. and Howitt, P. 1992) فرض می‌گردد، بنگاه‌ها از تکنولوژی تولید کاب - داگلاس تعمیم‌یافته زیر برخوردار می‌باشند.

$$Y(t) = AK(t)^{\alpha} H(t)^{\beta} z(t) \quad (۴)$$

در رابطه فوق، متغیرهای Y, K, H, z به ترتیب معرف شدت آلودگی، سرمایه انسانی، سرمایه فیزیکی و تولید و پارامترهای $0 < \alpha, \beta < 1$ به ترتیب بیانگر کشش تولیدی عامل سرمایه انسانی و سرمایه فیزیکی می‌باشد. همچنین $A > 0$ بیانگر بهره‌وری کل عوامل تولید می باشد. در عین حال $Z \in [0,1]$ نشان دهنده شاخصی از میزان آلایندگی تکنولوژی تولید می‌باشد، به طوری که مقادیر بالاتر z بیانگر تولید بیشتر و آلودگی بیشتر می‌باشد.[۱] پس‌انداز به عنوان بخشی از درآمد که

۱. در این رابطه، شدت انتشار آلودگی (z) به مثابه یک نهاده تولید تلقی می‌گردد.

صرف مصرف یا استهلاک نمی‌گردد، برابر مقدار سرمایه‌گذاری (I) می‌باشد. همچنین شرط تعادل بازار به صورت زیر می‌باشد:

$$Y(t) = P_C(t)C(t) + I(t) \quad (۵)$$

در رابطه فوق، C سبد مصرفی کالای مرکب (مشتمل بر کالای تولید داخل و کالای وارداتی است) و P_C شاخص قیمت کالای مرکب و از این رو، $P_C C$ بخشی از درآمد است که صرف مخارج مصرفی کل می‌گردد. با توجه به باز بودن اقتصاد، شاخص قیمت کالای مرکب تحت تأثیر رابطه مبادله (نسبت قیمت خارجی به داخلی) می‌باشد. متغیرهای انباشت (موجودی) الگو شامل موجودی سرمایه فیزیکی (K)، سرمایه انسانی (H) و آلودگی (X) می‌باشند. موجودی سرمایه فیزیکی همراه با سرمایه‌گذاری افزایش و متناسب با استهلاک کاهش پیدا می‌کند. بنابراین پویایی-های موجودی سرمایه فیزیکی بر اساس رابطه زیر شکل می‌گیرد:

$$\dot{K}(t) = I(t) - \delta K(t) = Y(t) - P_C(t)C(t) - \delta K(t) \quad (۶)$$

همچنین موجودی سرمایه انسانی بر اساس معادله حرکت زیر تکامل پیدا می‌کند. در این رابطه نرخ رشد سرمایه انسانی $(\mu > 0)$ برای سادگی برونزا در نظر گرفته شده است.

$$\dot{H}(t) = \mu H(t) \quad (۷)$$

در خصوص آلودگی فرض می گردد، انباشت آلودگی براساس معادله حرکت زیر انجام می‌گیرد:

$$\dot{X}(t) = AK(t)^{\alpha} H(t)^{\beta} z(t)^{\gamma} z(t)^{\varepsilon} - \eta X(t) = Y_{(t)Z(t)}{}^{\gamma+\varepsilon-1} - \eta X(t) \quad (۸)$$

رابطه فوق بیانگر آن است که انباشت آلودگی طی زمان تحت تأثیر دو عامل متضاد است. از یک سو، آلودگی متناسب با سطح تولید انتشار پیدا می‌کند. جزء اول رابطه فوق بیانگر انتشار آلودگی متناسب با تولید می‌باشد. در این رابطه پارامترهای $\varepsilon < 0, \gamma > 0$ به ترتیب شدت آلایندگی تولید و انتقال تکنولوژی پاک می‌باشد. در عین حال پارامتر γ مبین آگاهی زیست محیطی بنگاه تولیدی می‌باشد. مقادیر بزرگتر آن به معنی آلایندگی کمتر تولید و از این رو آگاهی زیست محیطی بالاتر بنگاه‌های تولید می‌باشد. انتظار می‌رود هرچه مقدار آگاهی زیست محیطی تولیدکنندگان بیشتر باشد، پذیرش استانداردها و سیاست‌های زیست محیطی شدیدتر از سوی آنها راحت‌تر انجام گیرد. دولت می‌تواند از طریق تغییر استانداردها و قوانین زیست محیطی و همچنین از طریق اطلاع رسانی و افزایش آگاهی تولیدکنندگان در رابطه با اهمیت محیط زیست، زمینه مشارکت و همکاری بیشتر این افراد را برای حفاظت از محیط زیست فراهم آورد (دنگ و هوانگ، ۲۰۰۹).

علاوه براین، مقدار بالاتر پارامتر ε بیانگر آن است که با افزایش انتقال تکنولوژی پاک، میزان انتشار آلودگی همراه با تولید کاهش پیدا و امکان بهبود کیفیت محیط زیست افزایش پیدا می‌کند.

اما جزء دوم رابطه (۸) بیانگر آن بخش از آلودگی است که به طور طبیعی توسط محیط زیست جذب می‌گردد. در این رابطه پارامتر $\eta > 0$ بیانگر نرخ طبیعی جذب آلودگی توسط محیط زیست می‌باشد(Xepapadeas, 2002).

در رابطه با تجارت برای سادگی فرض می‌گردد تراز تجاری در موزانه می‌باشد و هیچگونه امکان استقراض از خارج و دادن وام به خارج وجود ندارد. همچنین در رابطه با تابع $C(t)$ مشابه سرون (Serven, L. 1999) از یک تابع همگن از درجه اول به صورت $C(t) = C_1(t)^{(1-\phi)} C_2(t)^{\phi}$ استفاده شده است. در این رابطه $0 < \phi < 1$ سهم واردات در کل مخارج مصرفی خانوار نمونه و نشان دهنده ترجیحات خانوار نسبت به کالای وارداتی می‌باشد. با توجه به اینکه تابع فوق همگن از درجه یک می‌باشد، و با فرض اینکه قیمت‌های داخلی به یک نرمال گردد $(P_1 = 1)$، می‌توان محدودیت بودجه خانوار نمونه را به صورت $P_C(t)C(t) = C_1(t) + \pi(t)C_2(t)$ در نظر گرفت. در این رابطه تمامی قیمت‌ها نسبی و بر حسب قیمت‌های داخلی خواهند بود.

قبل از طراحی ساختار الگوی سیستم دینامیکی در قالب نمودار جریان- انباشت، لازم است تا توابع تقاضای داخلی (C_1) و خارجی (یا وارداتی (C_2)) و معادله شاخص قیمت (که خود تابعی از رابطه مبادله (π)است) را استخراج نمائیم. از حل مساله بهینه‌سازی دوره‌ای (ایستا) مصرف‌کننده نمونه، که شامل حداکثرسازی تابع $C(t)$ نسبت به محدودیت بودجه خانوار می‌باشد، توابع تقاضای مورد نظر به صورت زیر استخراج می‌گردد:[۱]

$$C_1(t) = (1-\phi)P_C(t)C(t)$$
$$C_2(t) = \frac{\phi P_C(t)C(t)}{\pi(t)} \qquad (۹)$$

همچنین با جایگذاری روابط فوق در تابع $C(t)$، شاخص قیمت کالای مرکب به عنوان تابعی از رابطه مبادله به صورت زیر به‌دست می‌آید:

$$P_C(t) = \left(\frac{1}{\phi}\right)^{\phi}\left(\frac{1}{1-\phi}\right)^{(1-\phi)}(\pi(t))^{\phi} \qquad (۱۰)$$

رابطه فوق بیانگر این واقعیت است که شاخص قیمت کالای مرکب $P_C(t)$ تابع مستقیم رابطه مبادله $\pi(t)$ می‌باشد؛ به طوری که با افزایش رابطه مبادله و گران‌شدن کالای وارداتی، شاخص قیمت کالای مرکب افزایش و به دنبال آن، مصرف تحت تأثیر برآیند دو اثر جانشینی و درآمدی تغییر می‌کند. در عین حال میزان اثرگذاری رابطه مبادله بر شاخص قیمت بستگی به سهم کالای

---

۱. به منظور جلوگیری از طولانی شدن مقاله، از ذکرجزئیات این قسمت خودداری شده است. این جزئیات نزد نویسندگان مقاله موجود می‌باشد.

وارداتی در کل مخارج مصرفی (ϕ) خانوار نمونه در اقتصاد مورد مطالعه دارد.[۱] مجموعه روابط (۲) تا (۱۰) بالا بیانگر اجزاء اقتصاد در چهارچوب الگوی رشد لوکاس تعمیم یافته می‌باشد. در قسمت بعد مجموعه روابط بالا را در قالب نمودار انباشت- جریان در کنار یکدیگر قرار داده و به تجزیه و تحلیل پویایی‌های سیستم اقتصادی- زیست محیطی می‌پردازیم.

۲-۳- بررسی پویایی‌های سیستم اقتصادی- زیست محیطی (نمودار انباشت- جریان)

پویایی‌های سیستم، تکنیکی است که امکان الگوسازی سیستم‌های پیچیده و ارائه درک مشخصی از ارتباط بین متغیرها را ایجاد می‌کند. پویایی‌شناسی سیستم‌ها به عنوان یک روش مناسب برای فهم سیستم‌های پویای پیچیده برای اولین بار توسط جی. دابلیو فارستر (Jay W. Forrester, 1950) در ام.آی.تی (MIT) معرفی گردید. پویایی‌های سیستم نحوی تکامل و تغییرات اجزاء سیستم را نشان داده، از این رو، می‌توان از آن به عنوان یک ابزار توانمند برای شبیه‌سازی و بررسی پویایی‌های الگوهای رشد- زیست محیطی استفاده نمود (سوشیل، ۱۳۸۷).

در پویایی‌شناسی سیستم، ساختار یک سیستم عموماً با استفاده از دو ابزار نمودار علّی- حلقوی (CLD)[۲] و نمودار فازی انباشت- جریان[۳] نمایش داده می‌شود. نمودار علّی- حلقوی خود ممکن است به دو صورت حلقه مثبت (یا تقویت کننده) و یا حلقه منفی (یا متعادل‌کننده) باشد. همه سیستم‌های پویا، صرف‌نظر از میزان پیچیدگی در عمل از تعدادی حلقه‌های مثبت و منفی تشکیل شده‌اند که رفتار سیستم حاصل برآیند رفتار حلقه‌هاست. هرچند نمودارهای علّی- حلقوی، ساختار بازخوردی سیستم را نشان می‌دهد اما برای هدف شبیه‌سازی الگو مناسب نمی‌باشد.[۴] در عوض نمودار انباشت - جریان ابزاری مناسب برای مدل‌سازی فرضیات ساخته شده در نمودارهای علّی می‌باشد. براین اساس در این مطالعه به منظور تحلیل پویایی‌های الگوی مورد بررسی از چهارچوب الگوی انباشت- جریان استفاده گردیده است.

استفاده از نمودار انباشت- جریان، امکان شبیه‌سازی مسیر پویای متغیرهای کلیدی مدل را ایجاد می‌کند. ارتباط پویای میان رشد اقتصادی و پیامد جنبی آلودگی زیست‌محیطی را می‌توان در

---

۱. چنانچه از طرفین رابطه (۱۰) لگاریتم و سپس دیفرانسیل بگیریم، پارامتر ϕ به عنوان کشش شاخص قیمت نسبت به رابطه مبادله قابل استخراج می باشد.

2. Casual Loop Diagram

3. Stock and Flow Phase Diagram

۴. در مطالعه حاضر به دلیل جلوگیری از افزایش حجم مقاله از ارائه نمودارهای علی – حلقوی مربوط به زیر سیستم های الگو خود داری شده است، در عین حال در صورت نیاز امکان ارائه آنها وجود دارد.

قالب نمودار سیستمی انباشت- جریان بیان کنیم. نمودار موردنظر، به عنوان یکی از اجزای مهم پویایی‌های سیستم، امکان درک بهتر و تجزیه و تحلیل دقیق‌تر رفتار و حرکات اجزای یک سیستم پویا را فراهم می‌آورد. با بهره‌گیری از آن می‌توان مسائل مختلف پیچیده را مدل‌سازی نموده و تغییر ناشی از تعامل متغیرها و شناسایی رفتارهای آتی آنها را در دوره‌های زمانی مختلف مورد بررسی قرار داد (Sterman, J. 2000).

هر سیستم پویا شامل دو متغیر اصلی انباشت[1] و متغیر نرخ[2] می‌باشد. هر متغیر انباشت که به آن سطح[3] یا متغیر حالت[4] نیز گفته می‌شود، یکی از متغیرهای سیستم را به صورت تجمعی در طول زمان نشان می‌دهد[5]. موجودی سرمایه فیزیکی (K)، موجودی سرمایه انسانی (H)، موجودی آلودگی (X) و رفاه انباشت شده (W) متغیرهای انباشت در چهارچوب الگوی رشد- زیست محیطی مطالعه حاضر می‌باشد. متغیرهای نرخ، نشان دهنده چگونگی انباشت متغیرهای سطح در طول زمان می‌باشد. نرخ انباشت سرمایه (سرمایه گذاری (I))، نرخ استهلاک (δ) و نرخ انباشت آلودگی از جمله متغیرهای نرخ رشد در چهارچوب الگوی رشد- زیست محیطی مطالعه حاضر می‌باشند.[6]

نمودار سیستمی انباشت - جریان که بیانگر رفتار پویای الگوی رشد مورد استفاده در این مطالعه می‌باشد، در نمودار شماره (۱) نمایش داده شده است. این نمودار بیانگر تعامل پویا میان بخش‌ها (زیر سیستم‌های) مختلف تولید، مصرف، آلودگی و نیز متغیرهای جریانی و موجودی می-باشد. بر اساس نمودار، در نتیجه موجودی سرمایه فیزیکی مورد استفاده در تولید، سرمایه‌گذاری (ناخالص) افزایش و استهلاک کاهش پیدا می‌کند. نرخ استهلاک (δ) بیانگر درصدی از موجودی سرمایه است که از بین می‌رود. تولید کالا (Y) براساس تابع تولید کاب- داگلاس تعمیم یافته، که در آن شدت آلودگی به عنوان یک نهاده تولید در کنار نهاده‌های رایج تولید وارد گردیده است، انجام می‌گیرد. براین اساس افزایش تولید ناشی از عامل سرمایه فیزیکی (K) و انسانی (H)، شدت

---

1. Stock
2. Rate
3. Level
4. State Variable

۵. در اقتصاد موجودی‌ها با عنوان سطحها (Levels) و جریان‌ها با عنوان نرخ‌ها شناخته می شوند. برای مثال موجودی سرمایه یک اقتصاد برابر سطح ثروت آن و تولید ناخالص داخلی، نرخ تجمیعی تولیدات (خروجی) ملی است.

۶. در یک تقسیم‌بندی کلی، متغیرهای موجود در نمودار انباشت- موجودی شامل متغیرهای کمکی (Auxiliary)، سطح (Level)، نرخ (Rate)، ثابت‌ها (Constants)، داده‌ها (Data)، مقادیر اولیه (Initial Value)، مراجعه (lookup)، رشته‌ای(String)، گروه (Group)، زمان مبنا (Time Base)، واحدها (Units) و ثابت های تغییر ناپذیر (Unchangeable Variables) می باشند (رجائیان، ۱۳۸۸).

انتشار آلودگی (Z) و عامل برونزای بهره‌وری کل عوامل تولید (A) می‌باشد. برای سادگی، قیمت-های داخلی $(P_1 = 1)$ به یک نرمال شده است، بنابراین درآمد (Y) برابر با تولید داخلی می‌باشد. این درآمد صرف مصرف (کالای داخلی و خارجی) و یا سرمایه‌گذاری می‌گردد. مخارج مصرفی کل خانوار تحت تأثیر شاخص قیمت کالای مرکب (P_C) و شاخص قیمت کالای مرکب تابع رابطه مبادله (π) و سهم کالای وارداتی در کل مخارج مصرفی خانوار نمونه (ϕ) می‌باشد.

درعین حال فرایند تولید موجب انتشار آلودگی (X) می‌گردد. موجودی آلودگی با توجه به نرخ جذب طبیعی (η) توسط محیط‌زیست کاهش پیدا می‌کند. به عنوان مثال می‌توان به انتشار دی اکسید کربن $(CO2)$ اشاره نمود که با وجود انباشت آن در اتمسفر، بخشی از آن به طور طبیعی توسط محیط‌زیست جذب می‌گردد. علاوه براین، موجودی آلودگی از طریق انتشار تکنولوژی پاک، که با پارامتر برونزای (ε) نشان داده شده است، کاهش پیدا می‌کند. انتشار آلودگی دارای تأثیر منفی بر رفاه جامعه است. این اثر ممکن است از طریق تخریب و خسارت به فرایند تولید، خسارت به فرایند مصرف یا از طریق خسارت به سلامت افراد ظاهر گردد. در این مدل برای سادگی فرض می‌گردد که آلودگی موجب کاهش مطلوبیت و رفاه افراد جامعه می‌گردد. بنابراین موجودی آلودگی به عنوان یک عامل اثرگذار بر رفاه جامعه در کنار مصرف در تابع مطلوبیت (رفاه) وارد گردیده است. اگرچه از نقطه نظر پویایی‌های سیستم این مساله که مصرف یک متغیر جریانی[1] و آلودگی یک متغیر موجودی[2] است، می‌تواند موجب بروز مشکل گردد، اما می‌توان مشابه استرمن (۲۰۰۰) هر دوی این متغیرها را به عنوان متغیر موجودی در نظر بگیریم.

بدین صورت که متغیرهای موجودی مصرف و آلودگی، به ترتیب جریانی از مطلوبیت و عدم مطلوبیت را ایجاد می‌کنند.[3] به اعتقاد جان (۲۰۰۸) این فرض که مصرف را به عنوان یک متغیر انباشت در نظر بگیریم، با توجه به اینکه مطلوبیت یک متغیر جریانی است که می‌تواند طی زمان انباشت گردد، جهت طراحی صحیح ساختار دینامیکی الگو و شبیه‌سازی مسیر حرکت متغیرهای الگو ضروری می‌باشد.

در نهایت با توجه به اثرگذاری آلودگی بر رفاه لازم است تا این خسارت‌ها به روش منطقی ارزشگذاری گردد. به منظور ارزشگذاری اثر آلودگی بر رفاه به پیروی از مطالعه جان (۲۰۰۸) از یک

---

1. Flow Variable
2. Stock Variable

۳. براین اساس می توان رفاه را به عنوان یک متغیر انباشت همانند موجودی سرمایه در الگوهای رشد، در نظر بگیریم که در نتیجه مصرف کالای مرکب افزایش و در نتیجه آلودگی دچار کاهش (استهلاک) می گردد. در قسمت الگوی جریان- موجودی بیشتر به این مساله پرداخته می شود.

تابع خسارت[1] استفاده می‌گردد. این تابع از دو پارامتر برخوردار می‌باشد. اولین پارامتر که به آن عامل مقیاس‌گذاری (پیمایش)[2]می‌گویند و برابر $\frac{1}{1+v}$ است، اثر نسبی آلودگی در نمودار انباشت-جریان را نشان می‌دهد. پارامتر دوم کشش آلودگی (v) می‌باشد. عامل مقیاس بدین صورت محاسبه می‌گردد که عدم مطلوبیت ناشی از آلودگی و مطلوبیت ناشی از مصرف را با یک مقیاس قابل مقایسه (یکسان) بیان می‌کند. ارزش عددی کشش آلودگی (v) تعیین‌کننده میزان حساسیت خسارت وارده بر رفاه نسبت به افزایش آلودگی می‌باشد. اگر کشش آلودگی برابر صفر باشد، افزایش در آلودگی به اندازه یک واحد موجب افزایش متناسب در خسارت، صرف نظر از سطح آلودگی، می-گردد. اگر کشش آلودگی مثبت باشد با یک واحد افزایش اضافی در آلودگی، خسارت به سطحی بالاتر از آلودگی موجود افزایش می‌یابد. بنابراین در این چهارچوب رفاه جامعه تحت تأثیر مطلوبیت ناشی از مصرف و عدم مطلوبیت ناشی از آلودگی و بر اساس تابع رفاه (مطلوبیت) تعیین می گردد. مطابق نمودار شماره (۱)، موجودی که رفاه انباشت شده[3] نامیده شده است، بیانگر یک جریان ورودی[4] و یک جریان خروجی[5] می‌باشد. جریان ورودی ارزش تنزیل شده مطلوبیت مصرف $\left(\frac{C^{1-\theta}}{1-\theta}e^{-\rho t}\right)$ و جریان خروجی ارزش فعلی خسارت‌های رفاهی زیست محیطی $\left(\frac{X^{1+v}}{1+v}e^{-\rho t}\right)$ را نشان می‌دهد.[6]

نمودار فازی جریان- انباشت شماره (۱) بیانگر ارتباط متقابل بین زیر سیستم‌های اقتصادی و زیست محیطی می‌باشد؛ که، از یک سو رشد اقتصادی بالاتر، از طریق افزایش درآمد و مصرف موجب افزایش رفاه، ولی انتشار سطوح بالاتری از آلودگی، همراه با فرایند تولید، موجب افت کیفیت محیط زیست و کاهش رفاه، و از سویی، متغیر زیست محیطی (شدت آلودگی)، به عنوان یک نهاده تولید ضروری تلقی می‌گردد. این ارتباط متقابل بین رشد اقتصادی و محیط زیست در حالی اتفاق می‌افتد که هدف برنامه‌ریز اجتماعی افزایش سطح مصرف و رفاه می‌باشد. در عین حال در شرایطی که انتشار تکنولوژی پاک، از طریق کاهش شدت آلایندگی تولید، اثر مثبت بر رفاه دارد، ارتباط متقابل

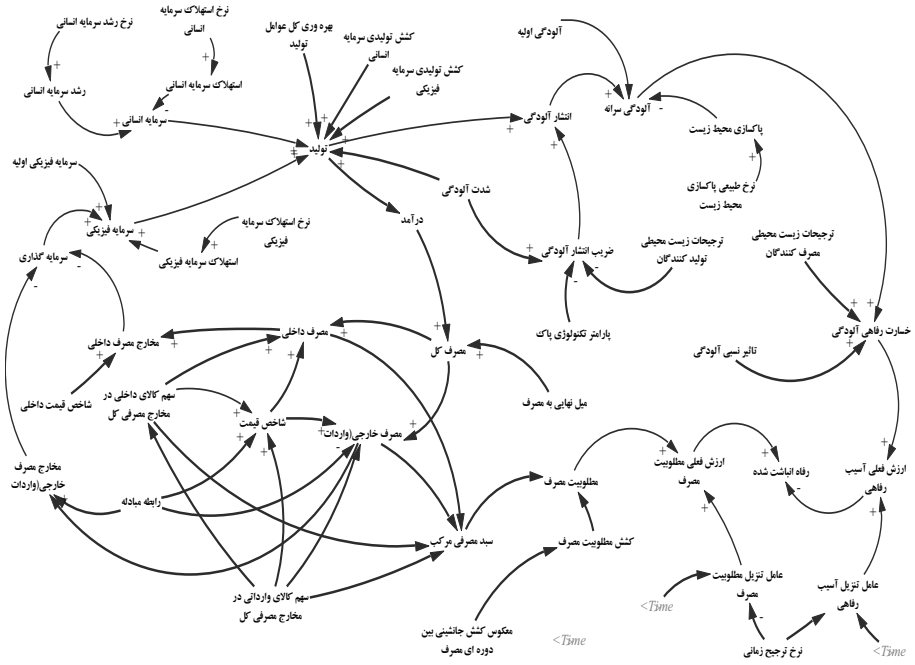
---

1. Damage Function
2. Scaling Factor
3. Accumulated Welfare
4. Inflow
5. Outflow

۶. نکته قابل توجه این است که اگر مدل برای ارزیابی استراتژی‌های سیاستی مختلف مورد استفاده قرار گیرد، این مسیر زمانی رفاه انباشته شده نیست که محاسبه می‌گردد، بلکه ارزش این موجودی در پایان افق برنامه‌ریزی می‌باشد. بنابراین در فرایند شبیه سازی مسیر رفاه انباشت شده، به صورت یک خط با شیب ثابت ظاهر می‌گردد.

رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست از پیچیدگی بیشتری برخوردار می‌باشد. شناخت این ارتباط و نوع و میزان حساسیت متغیرهای مختلف نسبت به تغییر پارامترهای اقتصادی، زیست محیطی و تجاری با توجه به پیگیری هدف توسعه پایدار و افزایش رفاه می‌تواند برای برنامه‌ریزان اقتصادی حائز اهمیت باشد. در این راستا به شبیه‌سازی مسیر متغیرهای آلودگی و خسارت‌های رفاهی ناشی از آن در یک افق ۲۰ ساله (متناظر با چشم‌انداز ۱۴۰۴) در اقتصاد ایران خواهیم پرداخت. بعد از آن تأثیر پارامترهای سیاستی ترجیحات زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان (v)، ترجیحات زیست‌محیطی تولیدکنندگان (γ) و پارامترهای انتشار تکنولوژی پاک را مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهیم.

نمودار ۱. نمودار فازی انباشت- جریان الگوی رشد- زیست محیطی



مأخذ: نتایج تحقیق

۴- تجزیه و تحلیل نتایج شبیه‌سازی

شبیه‌سازی با هدف تحلیل اثر تصمیمات بر یک سیستم یا پیش‌بینی رفتار سیستم در آینده به کار می‌رود. به عنوان مثال چنانچه بخواهیم تأثیر دو برابر شدن انتشار تکنولوژی پاک و یا تغییر تولید بر موجودی آلودگی در یک افق زمانی مشخص را تعیین کنیم، می‌توان از شبیه‌سازی استفاده نمود. در عین حال شبیه‌سازی به عنوان یک ابزار انجام تجربه در یک دنیای مجازی، امکان آزمون تجربی استراتژی‌های مختلف را با هزینه اندک فراهم می‌آورد. آنچه در شبیه‌سازی مهم است ساختار دینامیکی سیستم می‌باشد، به طوری که رفتار شبیه‌سازی شده متغیرهای سیستم نزدیک به داده‌های واقعی باشد. به منظور انجام شبیه‌سازی لازم است تا از مقادیر اولیه متغیرهای انباشت، نرخ‌های رشد و مقادیر پارامترهای الگو اطلاع داشته باشیم. مقادیر اولیه متغیرها و پارامترهای مورد استفاده برای شبیه‌سازی با توجه به داده‌ها و ویژگی‌های ایران، به عنوان یک کشور در حال توسعه، انتخاب گردیده است. بر این اساس مقادیر موجودی سرمایه فیزیکی سرانه (K)، سرمایه انسانی (H)، تولید ناخالص ملی سرانه (Y)، موجودی آلودگی سرانه (X)، شدت انتشار آلودگی (Z) و رابطه مبادله (π) با توجه به داده‌های اقتصاد ایران انتخاب و همچنین میزان انتشار دی اکسید کربن $(CO2)$ به عنوان میزان انتشار آلودگی در نظر گرفته شده است. در این رابطه سال ۱۳۸۴ به منظور سال شروع شبیه‌سازی انتخاب شده و شبیه‌سازی در افق سند چشم انداز بیست‌ساله ۱۴۰۴ انجام گردیده است. جدول شماره (۳) مقادیر متغیرهای الگو را در سال ۱۳۸۴ نشان می‌دهد.

جدول ۳. توصیف آماری داده‌های مورد استفاده (سال۱۳۸۴)

ردیف	متغیر	مقدار	واحد اندازه گیری	منبع
۱	موجودی سرمایه فیزیکی سرانه(K)	۲۳۷۷/۲	ریال/ نفر	ترازنامه بانک مرکزی
۲	تولید ناخالص ملی سرانه(Y)	۶۲۴۶/۷	ریال / نفر	ترازنامه بانک مرکزی
۳	موجودی سرمایه انسانی(H)	۸/۹۴	متوسط تعداد سالهای تحصیل نیروی کار	خورسندی و همکاران (۱۳۸۸)
۴	شدت آلودگی(Z)	۰/۶۸۴	کیلو گرم بر GDP	WDI (2011)
۵	موجودی آلودگی سرانه(X)	۶/۱۷	میلیون کیلو تن	ترازنامه انرژی (۱۳۸۸)
۶	رابطه مبادله (π)	۰/۷	قیمت وارداتی به صاداراتی	بانک مرکزی ج. ا. ا. (گزارش حساب های ملی ایران ۱۳۸۸)

مأخذ: گردآوری تحقیق[1]

همچنین مقادیر پارامترهای مورد استفاده در فرایند شبیه‌سازی الگو به شرح جدول زیر می‌باشد. این مقادیر بر اساس تخمین الگوهای اقتصاد سنجی و یا مطالعات قبلی گردآوری شده است.

۱. ارقام واقعی و به قیمت ثابت سال ۱۳۷۶ می باشند.

جدول ۴. مقادیر پارامترهای مورد استفاده در فرایند شبیه‌سازی

پارامتر	توصیف	مقدار	منبع
θ	کشش مطلوبیت مصرف	۰/۵	جان (۲۰۰۹)
ν	کشش مطلوبیت آلودگی (آگاهی زیست محیطی مصرف کننده)	۰/۲	پالما و همکاران (۲۰۱۰)
ρ	نرخ ترجیح زمانی	۰/۰۵	اسمعیل زاده (۱۳۸۸)
α	کشش تولیدی عامل سرمایه فیزیکی	۰/۳	محاسبات تحقیق[1]
β	کشش تولیدی عامل سرمایه انسانی	۰/۲۹	محاسبات تحقیق
ε	انتقال تکنولوژی پاک	۰/۱۵	محاسبات تحقیق
A	بهره‌وری کل عوامل تولید	۰/۳۸	محاسبات تحقیق (براساس متوسط مقادیر میانگین بهره-وری کل عوامل تولید)
ω	وزن آلودگی در تابع مطلوبیت	۱	دنگ و هوانگ (۲۰۰۹)
μ	نرخ رشد سرمایه انسانی	۰/۰۳۸	محاسبات تحقیق (براساس متوسط نرخ رشد سرمایه انسانی)
η	نرخ جذب آلودگی توسط محیط زیست	۰/۰۷	سیراکایا و همکاران (۲۰۰۹)
γ	آگاهی زیست محیطی تولید کننده	۱/۴۸	محاسبات تحقیق[2]
δ	نرخ استهلاک سرمایه	۰/۰۳۷	امینی و نشاط (۱۳۸۴)
σ	عکس کشش جانشینی بین دوره‌ای مصرف	۰/۹۵	دشتبان فاروجی و همکاران (۱۳۹۰)
ϕ	سهم کالای وارداتی در کل مخارج مصرفی خانوار	۰/۰۹	آمارنامه گمرک ج. ا. ا. (۱۳۸۵)

مأخذ: گردآوری و محاسبات تحقیق

۱-۴- تحلیل حساسیت

به منظور تحلیل حساسیت سناریوهای تغییر در پارامترهای ترجیحات زیست محیطی تولید-کنندگان، ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان، انتشار تکنولوژی پاک در نظر گرفته شده است. این پارامترها به عنوان پارامترهای سیاستی از جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار و همگام

---

۱. محاسبه پارامترهای کشش تولیدی سرمایه فیزیکی (α)، کشش تولیدی سرمایه انسانی (β) و پارامتر انتقال تکنولوژی پاک (ε) براساس برآورد حداقل مربعات سه مرحله‌ای سیستم معادلات همزمان زیر انجام گردیده است:

$$\begin{cases} \ln Y_t = \alpha_0 + \alpha_1 \ln K_t + \alpha_2 \ln H_t + \alpha_3 \ln Z_t + e_1 \\ \ln Z_t = \beta_0 + \beta_1 \ln Y_t + \beta_2 \ln Y^2{}_t + \beta_3 \ln OP_t + e_2 \end{cases}$$

در سیستم معادلات فوق، تعریف متغیرها همانند قبل می‌باشد. متغیر باز بودن اقتصاد (OP) به منظور نشان دادن تأثیر تجارت بر کیفیت محیط زیست (شدت انتشار آلودگی) در نظر گرفته شده است. در این رابطه به پیروی از گروب (Grubb, M. 2000) ضریب β_3 به عنوان پارامتر انتقال تکنولوژی پاک در نظر گرفته شده است.همچنین α_2 و α_1 به ترتیب کشش تولیدی عامل سرمایه انسانی و فیزیکی می‌باشند.

۲. محاسبه پارامتر آگاهی زیست محیطی تولیدکنندگان (γ) که نشان دهنده میزان آلایندگی تکنولوژی تولید نیز می‌باشد براساس برآورد فرم لگاریتمی معادله انتشار آلودگی $E(t) = AK(t)^{\alpha} H(t)^{\beta} Z(t)^{\gamma}$ حاصل شده است.

با اهداف برنامه‌های بلند مدت چشم انداز ۱۴۰۴ حائز اهمیت می‌باشد. به طوری که با شناخت چگونگی و میزان اثرگذاری آنها بر آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن می‌توان توصیه‌های سیاستگذاری مناسبی را در جهت دستیابی به اهداف توسعه پایدار ارائه نمود. در این رابطه هرچه قدر پارامتر ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان (γ) که بیانگر آگاهی زیست محیطی تولیدکنندگان نیز می‌باشد، بیشتر باشد احتمالاً دولت راحت‌تر می‌تواند استانداردها و قوانین زیست محیطی را شدت بخشد.

ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان بیانگر آگاهی زیست محیطی مصرف‌کنندگان و نشان دهنده میزان اهمیتی است که مصرف‌کنندگان برای محیط زیست قائل می‌باشند. مقدار این پارامتر تحت تأثیر سطح توسعه یافتگی و سطح درآمد سرانه جوامع متفاوت می‌باشد. هرچه میزان آگاهی زیست محیطی مصرف‌کنندگان بالاتر باشد، افراد اهمیت بیشتری برای کیفیت محیط زیست قائل می‌باشند و در نتیجه یک واحد آلودگی بیشتر، خسارت رفاهی بیشتری را برای مصرف‌کنندگان به همراه خواهد داشت. به بیان دیگر مقدار بالاتر این پارامتر بیانگر آن است که مردم خسارت‌های زیست محیطی را جدی‌تر تلقی می‌کنند. بنابراین انتظار می‌رود که مسیر زمانی که برای خسارت-های زیست محیطی ترسیم می‌گردد، در مقایسه با شرایطی که افراد به خسارت‌های رفاهی ناشی از آلودگی اهمیت نمی‌دهند، بالاتر باشد. دولت می‌تواند از طریق افزایش سطح آگاهی و اطلاع‌رسانی در رابطه با اهمیت محیط زیست، آگاهی زیست محیطی مصرف‌کنندگان و تولیدکنندگان را افزایش دهد (Dinda, 2009).

پارامتر سرریز دانش و انتقال تکنولوژی پاک (ε) نشان‌دهنده توانایی تکنولوژی برای کاهش آلودگی است، که در نتیجه انتقال تکنولوژی اتفاق می‌افتد. اهمیت این پارامتر با افزایش نگرانی زیست محیطی در عرصه بین‌المللی و طرح مکانیسم توسعه پاک (CDM) به همراه شکل‌گیری ایده پایداری فضائی[1]، بویژه برای کشورهای درحال توسعه، افزایش پیدا نموده است. به منظور تجزیه و تحلیل حساسیت الگو، سه سناریوی ادامه وضع موجود متناسب با ساختار اقتصاد ایران (مقادیر پایه) و افزایش و کاهش مقادیر پارامترهای یاد شده را در نظر گرفته و بر این اساس، میزان حساسیت متغیرهای کلیدی الگو محاسبه می‌گردد.

۱-۱-۴- تحلیل حساسیت نسبت به پارامتر ا نتشار تکنولوژی پاک

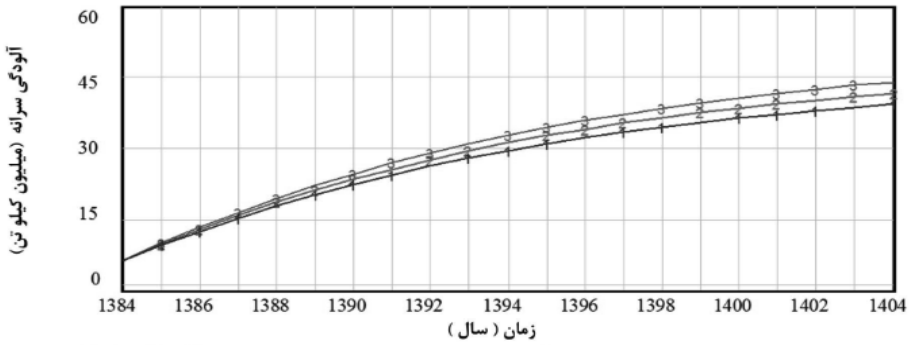
در سال‌های اخیر و بالاخص همراه با طرح مکانیسم انتقال تکنولوژی پاک (CDM)، بحث انتقال تکنولوژی و تأثیر آن بر کیفیت محیط زیست اهمیت فزاینده‌ای پیدا نموده است. براین اساس و به

1. Spatial Sustainability

منظور بررسی تأثیر این پارامتر بر متغیرهای زیست محیطی در اقتصاد ایران، سه سناریو مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. در اولین سناریو عدم وجود انتشار تکنولوژی پاک $(\varepsilon = 0)$ مورد بررسی قرار می‌گیرد. در دومین سناریو مقدار پارامتر انتشار تکنولوژی پاک $(\varepsilon = 0.15)$ متناسب با ساختار اقتصاد ایران در نظر گرفته شده است. در آخرین سناریو افزایش دو برابری پارامتر انتشار تکنولوژی پاک $(\varepsilon = 0.3)$ را مورد بررسی قرار می‌دهیم. نتیجه اعمال این سناریو ها در قالب نمودارهای (۲) و (۳) نشان داده شده است.

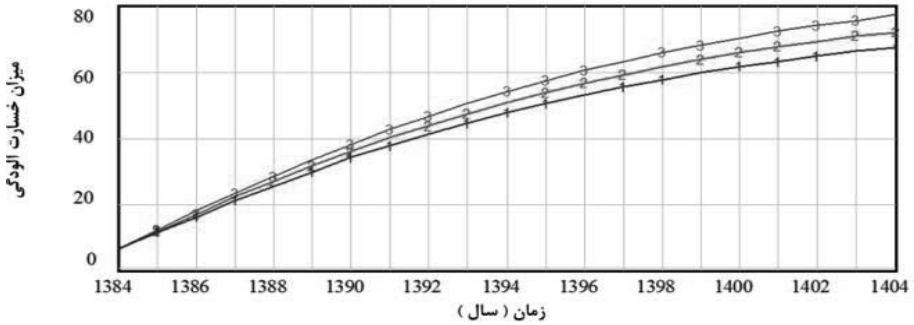
مطابق نمودارهای ۲ و ۳ با تغییر در انتشار تکنولوژی پاک موجودی آلودگی سرانه و خسارت-های رفاهی ناشی از آن تغییر می‌کنند. منحنی‌های ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب متناظر با مقادیر ۰/۳ و ۰/۱۵ و صفر برای پارامتر انتقال تکنولوژی پاک می‌باشد. براین اساس در صورت ادامه روند فعلی و متناظر با مقادیر سال پایه، مقادیر آلودگی سرانه و خسارت‌های رفاهی ناشی از آن به ترتیب از ۶/۱۷ میلیون کیلو تن و ۶/۵۶ واحد در سال ۱۳۸۴ به ۴۱/۵۲ میلیون کیلو تن و ۷۲/۰۸ واحد در سال ۱۴۰۴ افزایش پیدا می‌کند. در صورت صفر بودن انتشار تکنولوژی پاک، مقادیر آلودگی سرانه و خسارت رفاهی ناشی از آن در سال ۱۴۰۴ به ترتیب به ۴۳/۹۱ میلیون کیلو تن و ۷۷/۱۴ واحد افزایش پیدا می‌کند. در نهایت با افزایش انتقال تکنولوژی پاک به ۰/۳ مقادیر آلودگی سرانه و خسارت رفاهی ناشی از آن در سال ۱۴۰۴ به ترتیب تنها به ۳۹/۲۷ میلیون کیلو تن و ۶۷ /۳۶ واحد افزایش پیدا خواهد نمود.

نمودار ۲. روند تغییر در انتشار آلودگی سرانه براساس سناریوی تغییر انتشار تکنولوژی پاک



مأخذ: نتایج تحقیق بر مبنای نرم افزار Vensim

نمودار ۳. روند تغییر در خسارت رفاهی ناشی از انتشار آلودگی براساس سناریوی تغییر انتشار تکنولوژی پاک



مأخذ: نتایج تحقیق بر مبنای نرم افزار Vensim

همچنین نتیجه محاسبات بیانگر این نکته می‌باشد که کشش انتشار آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن نسبت به پارامتر تکنولوژی پاک به ترتیب برابر ۰/۰۵۵- و ۰/۰۶۷- می‌باشد.[۱] بدین معنی که با یک درصد افزایش در پارامتر انتقال تکنولوژی پاک، آلودگی سرانه و خسارت رفاهی ناشی از آن، به ترتیب معادل ۰/۰۵۵ و ۰/۰۶۷ درصد کاهش پیدا می‌کند. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد مقادیر کشش‌های به‌دست آمده برای آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن نسبت به پارامتر انتقال تکنولوژی پاک نسبتاً ناچیز می‌باشد. در این رابطه می‌توان به قدرت و توانایی جذب تکنولوژی توسط بنگاه‌های تولید اشاره نمود. اگرچه انتقال تکنولوژی پاک به عنوان یک پیش شرط برای بهبود کیفیت محیط زیست در کشورهای در حال توسعه مطرح می‌باشد اما شرط کافی نمی‌باشد (Goldemberg, 1998). چراکه لازمه تحقق کاهش انتشارآلودگی و افزایش رفاه جامعه آن است که بنگاه‌ها و صنایع آلاینده از توانایی جذب تکنولوژی وارداتی برخوردار باشد. بنابراین امکان جذب تکنولوژی‌های جدید و با آلایندگی کمتر، شرط لازم برای بهبود کیفیت محیط زیست از این کانال می‌باشد. از آنجا که حداقل در کوتاه مدت امکان تغییر در ساختار تولید به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد، ناچیز بودن مقادیر کشش‌های به‌دست آمده قابل توجیه می‌باشد. در عین حال این نتیجه مؤید تأثیر مثبت انتشار تکنولوژی پاک بر کیفیت محیط زیست می‌باشد؛ به طوری که با افزایش انتشار تکنولوژی پاک، با فرض ثبات سایر شرایط، انتشار آلودگی و موجودی انباشت آن کاهش پیدا می‌کند. این پارامتر به عنوان یک ابزار سیاستگذاری می‌تواند مورد توجه برنامه‌ریزان اقتصادی قرار گیرد. به نحوی که ورود تکنولوژی-های کمتر آلاینده مورد توجه قرار گیرد.

---

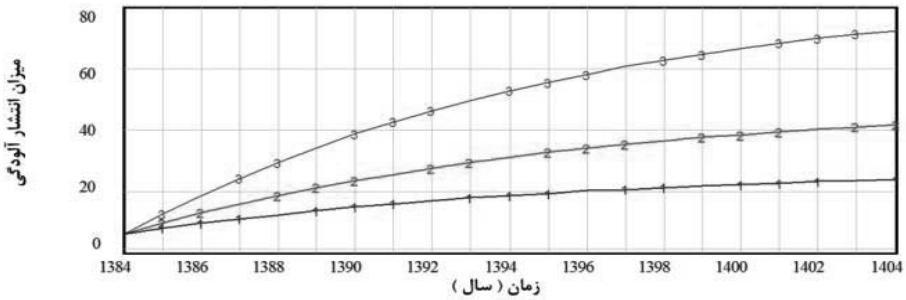
۱. مقادیر کشش به صورت نقطه‌ای و در افق ۱۴۰۴ محاسبه گردیده است.

۲-۱-۴- تحلیل حساسیت نسبت به پارامتر آگاهی زیست محیطی تولیدکنندگان

پارامتر آگاهی زیست محیطی تولید کنندگان (γ) که بیانگر درجه پذیرش استانداردها و سیاست‌های زیست محیطی توسط تولیدکنندگان می‌باشد، در کنار پارامترهای انتشار تکنولوژی پاک و آگاهی زیست محیطی مصرف‌کنندگان از نقطه نظر دستیابی به توسعه پایدار و سرعت انتقال اقتصاد به مسیر رشد پایدار بلند مدت حائز اهمیت می‌باشد. براین اساس انتظار می‌رود، هر چه قدر مقدار پارامتر γ افزایش پیدا کند، میزان آگاهی (شعور) زیست محیطی تولیدکنندگان افزایش و در نتیجه انتشار آلودگی و به دنبال آن خسارت‌های زیست محیطی وارده بر رفاه کاهش پیدا کند.

به منظور بررسی تأثیر این پارامتر بر آلودگی و خسارت‌های وارده بر رفاه، سه سناریو مختلف را مورد بررسی قرار می‌دهیم. در سناریو اول، فرض صفر بودن ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان $(\gamma = 0)$ را در نظر می‌گیریم. در سناریو دوم، مقدار پارامتر ترجیحات زیست محیطی تولید-کنندگان را متناسب با ساختار اقتصاد ایران و برابر ۱/۴۸ در نظر گرفته و در سومین سناریو، مقداری معادل ۳ را برای این پارامتر در نظر می‌گیریم. نتیجه اعمال این سناریو ها در قالب نمودارهای ۴ و ۵ نشان داده شده است.

نمودار ۴. روند تغییر در انتشار آلودگی براساس سناریوی تغییر آگاهی زیست محیطی تولیدکنندگان

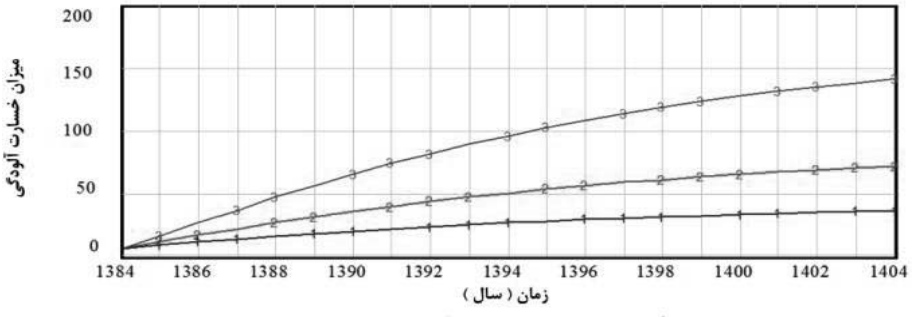


مأخذ: نتایج تحقیق بر مبنای نرم افزار Vensim

همان‌طورکه نمودارهای شماره (۴) و (۵) نشان می‌دهد، با کاهش ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان، میزان انتشار آلودگی و به دنبال آن خسارت‌های رفاهی ناشی از آن افزایش پیدا می‌کند. منحنی‌های شماره ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب متناظر با مقادیر ترجیحات زیست محیطی ۳، ۱/۴۸ و صفر می‌باشد. براین اساس با افزایش اهمیت محیط زیست نزد تولیدکنندگان، میزان انتشار آلودگی همراه با تولید و خسارت‌های رفاهی ناشی از آن کاهش پیدا می‌کند. این در حالی است که

در صورت ادامه روند موجود و براساس سناریو مقادیر پایه، میزان آلودگی سرانه از ۶/۱۷ میلیون کیلو تن در سال ۱۳۸۴ به ۴۱/۵۲ میلیون کیلو تن در افق ۱۴۰۴ افزایش و به‌دنبال آن در همین دوره خسارت‌های رفاهی ناشی از آلودگی از مقدار ۶/۵۶ در سال ۱۳۸۴ به ۷۲/۰۸ واحد افزایش پیدا می‌کند.

نمودار ۵. روند تغییر در خسارت رفاهی ناشی از انتشار آلودگی براساس سناریوی تغییر آگاهی زیست محیطی تولیدکنندگان



مأخذ: نتایج تحقیق بر مبنای نرم افزار Vensim

در صورت افزایش آگاهی زیست محیطی تولیدکنندگان به $(\gamma = 3)$ مقدار آلودگی سرانه و خسارت‌های رفاهی ناشی از آن در افق ۱۴۰۴ به ترتیب به ۲۳/۷۴ میلیون کیلو تن و ۳۶/۴۵ واحد خواهد رسید. این مقادیر کمتر از نیمی از آلودگی سرانه و خسارت رفاهی در صورت ادامه وضعیت موجود، براساس مقادیر سال پایه، می‌باشد. اما چنانچه پارامتر شعور زیست محیطی برابر صفر گردد و تولیدکنندگان هیچ اهیمتی به آلودگی ناشی از تولید ندهند، میزان آلودگی سرانه و خسارت رفاهی ناشی از آن در سال ۱۴۰۴ به ترتیب به ۷۲/۳۷ میلیون کیلو تن و ۱۴۱/۱۸ واحد افزایش پیدا می‌کند. علاوه بر این، محاسبات انجام شده گویای این واقعیت می‌باشد که کشش آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن نسبت به آگاهی زیست محیطی تولیدکنندگان در افق ۱۴۰۴ نسبتاً بالا می‌باشد. بدین گونه که با یک درصد افزایش در آگهی زیست محیطی تولیدکنندگان، آلودگی سرانه و خسارت‌های رفاهی ناشی از آلودگی به ترتیب ۰/۵ و ۰/۵۹ درصد کاهش می‌یابد.

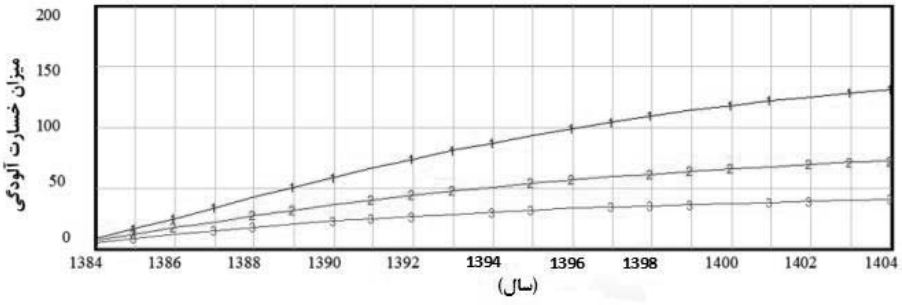
۳-۱-۴- تحلیل حساسیت نسبت به آگاهی زیست محیطی مصرف‌کنندگان

آگاهی زیست محیطی مصرف‌کنندگان (v) که بیانگر کشش (عدم) مطلوبیت نهایی آلودگی است، از دیگر پارامترهای مهم از نقطه نظر دستیابی به هدف توسعه پایدار می‌باشد. به طوری که با افزایش اهمیت محیط زیست نزد مصرف‌کنندگان و افزایش کشش نهایی (عدم) مطلوبیت نسبت به

آلودگی، احتمالاً تمایل آنها برای پرداخت بابت کنترل خسارت‌های زیست محیطی ناشی از فعالیت-های اقتصادی افزایش خواهد یافت. به منظور بررسی تأثیر این پارامتر بر آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن، سه سناریو متفاوت به اجرا گذاشته شده است. در سناریوی اول، این فرض در نظر گرفته شده است که مصرف‌کنندگان هیچ اهمیت برای محیط زیست قائل نمی‌باشند $(v=0)$. به بیان دیگر در تصمیم‌گیری برای انتخاب مسیر بهینه مصرف خود به خسارت‌های زیست محیطی هیچگونه اهمیتی نمی‌دهند. در سناریوی دوم، پارامتر ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان متناسب با اقتصاد ایران برابر ۰/۲ در نظر گرفته شده است. در سناریوی سوم، مقدار پارامتر مورد نظر به ۰/۴ افزایش داده شده است. نتایج ناشی از اعمال این سناریو در نمودار (۶) نشان داده شده است. در این نمودار، منحنی‌های شماره ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب متناظر با مقادیر ۰/۴، ۰/۲ و صفر برای پارامتر ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان می‌باشد. براین اساس با افزایش اهمیت محیط زیست نزد مصرف‌کنندگان، میزان خسارت زیست محیطی وارده بر رفاه جامعه افزایش پیدا می‌کند.

براساس منحنی شماره (۲) در صورت ادامه روند فعلی براساس مقادیر پایه، میزان خسارت رفاهی ناشی از آلودگی از ۶/۵۶ در سال ۱۳۸۴ به ۷۲/۰۸۲ در سال ۱۴۰۴ واحد افزایش پیدا می-کند. با فرض اینکه مصرف‌کنندگان هیچگونه اهمیتی برای محیط زیست قائل نشوند (یعنی مقدار پارامتر ترجیحات زیست محیطی مصرف کنندگان برابر صفر باشد) آنگاه خسارت ناشی از آلودگی در سال ۱۴۰۴ تنها به ۴۰/۵۲ افزایش پیدا می‌کند، درحالی که با افزایش پارامتر به ۰/۴ میزان خسارت ناشی از آلودگی بر رفاه برابر ۱۳۰/۹۷ خواهد بود.

نمودار ۶. روند تغییر در خسارت رفاهی ناشی از انتشار آلودگی براساس سناریوی تغییر آگاهی زیست محیطی مصرف کنندگان



مأخذ: نتایج تحقیق بر مبنای نرم افزار Vensim

براین اساس، مقدار کشش خسارت آلودگی بر رفاه نسبت به آگاهی زیست محیطی مصرف‌کنندگان در دوره ۲۰ ساله افق ۱۴۰۴ برابر ۰/۵۲ می‌باشد. بدین معنی که در افق چشم انداز ۱۴۰۴ یک درصد افزایش در اهمیت محیط زیست نزد مصرف‌کنندگان، میزان خسارت وارده بر رفاه به اندازه ۰/۵۲ درصد افزایش و به‌دنبال آن، رفاه جامعه کاهش پیدا می‌کند. در عین حال با توجه به این فرض که آلودگی یک محصول فرعی همراه با تولید می‌باشد که متناسب با آن تغییر می‌کند، میزان انتشار آلودگی بدو ن تغییر باقی می‌ماند.[۱]

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات سیاستگذاری

اهمیت خسارت‌های زیست محیطی همراه با فعالیت‌های اقتصادی موجب شده است تا آلودگی به عنوان مهم‌ترین پیامد جنبی زیست محیطی در حوزه تصمیم‌گیری‌های اقتصادی- زیست محیطی مورد توجه قرار گیرد. در عین حال تأثیر منفی آلودگی بر رفاه جامعه و اهمیت آن از منظر دستیابی به توسعه پایدار موجب گردیده تا با روش‌های مختلف به بررسی تأثیر آن بر اقتصاد پرداخته شود. اگرچه الگوسازی رشد- محیط زیست با به‌کارگیری چهارچوب الگوهای رشد استاندارد (مانند الگوهای رشد درونزا، برونزا و دیگر الگوهای رشد) و با بهره‌گیری از نظریه کنترل بهینه به تجزیه و تحلیل رفتار متغیرهای اقتصادی - زیست محیطی می‌پردازد، اما استفاده از رویکرد سیستم دینامیکی به دلیل در نظر گرفتن اثرات بازخوردی و متقابل بین زیر سیستم‌های اقتصادی و زیست محیطی و نیز به دلیل جلوگیری از پیچیدگی موجود در حل تحلیل این‌گونه الگوها در مقایسه با رویکرد الگوهای رشد- زیست محیطی دارای برتری می‌باشد.

الگوسازی با استفاده از رویکرد سیستم دینامیک این امکان را ایجاد می‌کند تا با در نظر گرفتن تعاملات بین عناصر و اجزاء مختلف سیستم، رفتار متغیرهای الگو را به شکل پویا مورد بررسی قرار دهیم. در عین حال رهیافت سیستم دینامیک قادر است مسیر متغیرهای الگو را تحت سناریوها و مقادیر مختلف پارامترهای سیاستی شبیه‌سازی نموده و به تصویر بکشد.

با توجه به نبود مطالعه داخلی که ارتباط پویای رشد- محیط زیست را با استفاده از رهیافت سیستم دینامیک مورد بررسی قرار دهد، در این مطالعه با در نظر گرفتن ساختار الگوی رشد تعمیم‌یافته لوکاس، به بررسی و شبیه‌سازی رفتار پویای متغیرهای اقتصادی- زیست محیطی پرداخته شده است. در این چهارچوب فرض برآن است که آلودگی، یک محصول فرعی ناشی از فرایند تولید می‌باشد، که متناسب با تولید تغییر می‌کند. آلودگی ایجاد شده دارای تأثیر منفی بر

---

۱. با توجه به عدم تغییر آلودگی، از گزارش مسیر شبیه‌سازی شده آلودگی سرانه تحت این سناریو، خودداری شده است.

رفاه جامعه می‌باشد، به طوری که موجب افزایش خسارت رفاهی جامعه می‌گردد. همچنین با توجه به افزایش اهمیت انتقال تکنولوژی پاک، امکان اثرگذاری آن بر شدت انتشار آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آلودگی به الگوی رشد تعمیم‌یافته افزوده شده و از این رو، الگو به اقتصاد باز توسعه داده شده است. در عین حال به منظور تجزیه و تحلیل دقیق‌تر تأثیر پارامتر انتشار تکنولوژی پاک به عنوان یک پارامتر سیاستی، فرض گردیده هیچگونه سیاست کنترل آلودگی وجود ندارد.

در چهارچوب الگوی ارائه شده و با در نظر گرفتن مقادیر سال ۱۳۸۴ به عنوان سال شروع شبیه-سازی، ضمن شبیه‌سازی مسیر متغیرهای کلیدی الگو در افق چشم‌انداز ۱۴۰۴، حساسیت متغیرهای آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن، نسبت به تغییر پارامترهای ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان، ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان و انتشار تکنولوژی پاک مورد بررسی قرار گرفته است. پارامترهای سیاستی یاد شده از منظر دستیابی به اهداف توسعه پایدار حائز اهیمت می‌باشد. شبیه‌سازی مسیر متغیرهای الگو و تحلیل حساسیت نسبت به تغییر پارامترهای سیاستی، امکان پیش‌بینی مسیر آتی وضعیت محیط زیست و آثار رفاهی همراه با آن را در افق چشم انداز ۱۴۰۴ فراهم می‌آورد.

نتایج شبیه‌سازی بیانگر آن است که با ادامه روند موجود، در طول افق چشم‌انداز بیست ساله ۱۴۰۴، متغیرهای آلودگی و به‌دنبال آن خسارت رفاهی ناشی از آن از رشد مثبتی برخوردار می-باشد. به طوری که به ترتیب با نرخ متوسطی برابر ۶/۲ و ۷/۲ درصد افزیش پیدا می‌کند. اما تغییر در پارامترهای ترجیحات زیست‌محیطی تولیدکنندگان، ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان و انتشار تکنولوژی پاک، دارای اثرات قابل توجهی بر آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن می‌باشد.

در این رابطه، پارامتر انتشار تکنولوژی پاک دارای تأثیر مستقیم و مثبتی بر کیفیت محیط زیست و از این رو رفاه جامعه می‌باشد. مقدار کشش آلودگی سرانه و خسارت رفاهی ناشی از آن به ترتیب برابر ۰/۰۵۵- و ۰/۰۶۷- می باشد. همچنین پارامتر ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان که بیانگر آگاهی زیست محیطی آنان و درجه پذیرش استانداردها و قوانین زیست محیطی شدیدتر توسط آنها نیز می‌باشد، دارای تأثیر مستقیمی بر کیفیت محیط زیست می‌باشد. مقدار کشش آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن نسبت به پارامتر ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان به ترتیب برابر ۰/۵- و ۰/۵۹- می‌باشد. علاوه براین، پارامتر ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان که بیانگر آگاهی زیست محیطی آنها و اهمیت نسبی مصرف‌کنندگان به محیط زیست می‌باشد، دارای تأثیر مثبتی بر خسارت رفاهی ناشی از آلودگی می‌باشد. به طوری که مقدار کشش خسارت رفاهی ناشی از آلودگی نسبت به این پارامتر برابر ۰/۵۲می‌باشد. بنابراین انتشار آلودگی سرانه به ترتیب بیشترین عکس‌العمل را نسبت به پارامترهای ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان و

انتشار تکنولوژی پاک از خود نشان می‌دهد. همچنین خسارت رفاهی ناشی از آلودگی بیشترین تأثیر را به ترتیب از ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان، ترجیحات زیست محیطی مصرف-کنندگان و انتشار تکنولوژی پاک می‌پذیرد.

با توجه به اثرگذاری پارامترهای مورد نظر بر آلودگی و خسارت رفاهی ناشی از آن، شناسایی عوامل مؤثر بر این پارامترها و ایجاد تغییر مناسب در آنها می‌تواند در دستیابی به اهداف توسعه پایدار مد نظر برنامه‌ریزان اقتصادی قرار گیرد. با توجه به تأثیر مثبت پارامتر انتشار تکنولوژی پاک و ترجیحات زیست محیطی تولیدکنندگان بر کیفیت محیط زیست، پیشنهاد می‌گردد دولت از طریق اعمال سیاست‌های کنترل آلودگی و استانداردهای زیست محیطی بالاتر و همچنین تسهیل فرایند انتقال تکنولوژی پاک به داخل کشور، زمینه بهبود کیفیت محیط زیست و انتقال اقتصاد به مسیر رشد پایدار بلندمدت را فراهم آورد. همچنین با سرمایه‌گذاری در زمینه افزایش آگاهی عمومی و افزایش حمایت از محیط زیست و اختصاص منابع مالی در بودجه عمومی دولت می‌توان از طریق افزایش آگاهی و شعور زیست محیطی مصرف‌کنندگان زمینه مشارکت افراد جامعه را از طریق افزایش تمایل به پرداخت مالیات افراد جامعه، زمینه بهبود کیفیت محیط زیست را فراهم آورد.

در عین حال باید بدین نکته توجه نمود که اعمال استانداردهای زیست محیطی شدیدتر، مانند وضع قوانین نصب تجهیزات ضد آلودگی، موجب افزایش هزینه‌های تولید می‌گردد، از این‌رو لازم است تا تحلیل هزینه - فایده ناشی از اعمال این سیاست‌ها قبل از اعمال هرگونه سیاستی مورد توجه قرار گیرد. براین اساس دولت می‌تواند ترکیبی از سیاست‌های کنترل مستقیم و غیرمستقیم (مانند مالیات و سوبسید) را در کنار اعمال قوانین و استانداردهای زیست محیطی شدیدتر را مورد توجه قرار دهد. علاوه بر این با توجه به اینکه پارامتر ترجیحات زیست محیطی مصرف‌کنندگان بر تمایل به پرداخت افراد جامعه جهت بهبود کیفیت محیط زیست اثرگذار می‌باشد، دولت می‌تواند از طریق سیاست‌ها و ابزارهای آموزشی مناسب جهت افزایش آگاهی زیست محیطی مصرف‌کنندگان، اقدامات لازم برای بهبود کیفیت محیط زیست و دستیابی به هدف توسعه پایدار را اعمال نماید.

منابع و مآخذ

اسمعیل‌زاده، سیاه پیرانی (۱۳۸۵) رشد بهینه اقتصادی پایا و هزینه‌های عمومی در ایران؛ یک تحلیل پویا، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم اداری و اقتصادی، دانشگاه اصفهان.

امینی، علیرضا و حاجی محمد نشاط (۱۳۸۴) برآورد سری زمانی موجودی سرمایه در اقتصاد ایران طی دوره زمانی ۱۳۸۱-۱۳۳۸؛ مجله برنامه و بودجه، شماره ۹۰: ۸۶-۵۳.

آمارنامه گمرک، گزارش‌های آماری، سالهای مختلف.

بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، گزارش اقتصادی و ترازنامه‌ی بانک مرکزی سالهای مختلف.

بهبودی، داود و اسماعیل برقی گلعذابی (۱۳۸۷) اثرات زیست محیطی مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران؛ فصلنامه اقتصاد مقداری، دوره ۵، شماره ۴: ۵۳-۳۵.

پژویان، جمشید و نیلوفر مرادحاصل (۱۳۸۶) بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا؛ فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی، سال هفتم، شماره ۴: 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: ۱۸۸-۱۶۹.

پورکاظمی، محمد حسین و الیناز ابراهیمی (۱۳۸۷) بررسی منحنی کوزنتس زیست محیطی در خاورمیانه؛ پژوهش‌های اقتصادی ایران، شماره۳۴: ۷۱- ۵۷.

پور معصومی، سعید؛ سید نادر شتاب بوشهری؛ بهروز ارباب شیرانی و علینقی مشایخی (۱۳۸۹) یک مدل دینامیک سیستم برای تجزیه و تحلیل سیستم اقتصاد- انرژی ایران؛ مجله مهندسی صنایع و مدیریت شریف، دوره۱- ۲۶، شماره۲: ۸۷-۷۱.

ترازنامه انرژی ایران، وزارت نیرو، معاونت امور انرژی، سال‌های مختلف.

خورسندی، مرتضی؛ اسلاملوئیان، کریم و سید حسین ذوالنور (۱۳۸۸) تخمین شکاف محصول با تاکید بر سرمایه انسانی: مورد ایران؛ نشریه علمی - پژوهشی سیاستگذاری اقتصادی، سال اول، شماره دوم، پاییز و زمستان: ۹۸-۵۹.

سوشیل (۱۳۸۷) پویایی‌های سیستم (رویکردی کاربردی برای مسائل مدیریتی)؛ ترجمه دکتر ابراهیم تیموری و همکاران؛ دانشگاه علم و صنعت ایران.

شرزه‌ای، غلامعلی و مجید حقانی (۱۳۸۸) بررسی رابطه علی میان انتشار کربن و درآمد ملی، با تاکید بر نقش مصرف انرژی؛ تحقیقات اقتصادی، شماره۴۴ (۸۷): ۹۰-۷۵ .

صادقی، کمال و رحمان سعادت (۱۳۸۳) رشد جمعیت، رشد اقتصادی و اثرات زیست محیطی در ایران (یک تحلیل علی)؛ مجله تحقیقات اقتصادی، شماره۶۴: ۱۸۰-۱۶۳.

صادقی، حسین و مجید فشاری (۱۳۸۹) برآورد رابطه بلندمدت بین صادرات و شاخص‌های کیفیت زیست محیطی: مطالعه موردی ایران (۱۳۵۰-۱۳۸۶)؛ فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران، سال پانزدهم، شماره۴۴: ۸۳-۶۷.

صالح، ایرج و همکاران (۱۳۸۸) بررسی رابطه علیت بین تولید ناخالص داخلی و حجم گازهای گلخانه‌ای در ایران: مطالعه موردی گاز دی اکسید کربن؛ اقتصاد کشاورزی و توسعه، سال هفدهم، شماره ۶۶: ۴۱-۱۹.

فطرس، محمد حسن؛ هادی غفاری و آزاده شهبازی (۱۳۸۹) مطالعه رابطه آلودگی هوا و رشد اقتصادی کشورهای صادر کننده نفت؛ فصلنامه پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی، سال اول، شماره اول: ۷۷-۵۹.

لطفعلی پور، محمد رضا؛ محد علی فلاح و ملیحه آشنا (۱۳۸۹) بررسی رابطه‌ی انتشار دی اکسید کربن با رشد اقتصادی، انرژی و تجارت در ایران؛ تحقیقات اقتصادی، سال ۱۵، شماره۲۴: ۱۷۳-۱۵۱.

نصر اللهی، زهرا و مرضیه غفاری گولک (۱۳۸۸) توسعه‌ی اقتصادی و آلودگی محیط زیست در کشورهای عضو پیمان کیوتو و کشورهای آسیای جنوب غربی (با تاکید بر منحنی زیست محیطی کوزنتس)؛ پژوهشنامه علوم اقتصادی، سال نهم، شماره۲ (پیاپی۳۵): ۱۲۶-۱۰۵.

Aghion, P. and Howitt, P. (1992) A Model of Growth through Creative Destruction; Econometrica. Vol. 60: 323-51.

Alemdar, N. M. and S. Ozyildirim (2002) Knowledge Spillover, Transboundary Pollution and Growth; Oxford Economic Papers, Vol. 54: 597-616.

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

Barlas, Y. (1996) Formal Aspects of Model Validity and Validation in System Dynamics; System Dynamics Review, Vol. 12, No. 3.

Bartz, S. and D. L. Kelly (2008) Economic Growth and Environment: Theory and Facts; Resource and Energy Economics, Vol. 30: 115-149.

Basseti, J., N. Benos, And S. Karagiannis (2010) How policy Can Influence Human Capital Accumulation and Environment Quality; MPRA Paper, No. 30, March 2010.

Bovenberg, A. L. and R. A. de Mooij (1994) Environmental Tax Reform and Endogenous Growth; Journal of Public Economics, Vol. 63: 207-237.

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

Brock, W. & Taylor, S. (2005) Economic growth and the environment: a review of theory and empirics; In: Aghion, P., Durlauf, S.(Eds.), Handbook of Economic Growth, Vol. 1 (2). Elsevier, Amsterdam: 1749-1821.

Cassou, S. P. and S. F. Hamilton (2004) The Transition from Dirty to Clean Industries: Optimal Fiscal Policy and Environmental Kuznets Curve; Journal of Environmental Economics and Manegement, Vol. 48: 1955-1077.

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.

Elbasha, E. and T. L. Roe (1996) On Endogenous Growth: The Implications of Environmental Externalities; Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 31: 240-268.

Forster, B. A. (1973) Optimal Capital Accumulation in a Polluted Environment; Southern Economic Journal. Vol. 39. pp: 544- 47.

Forster, B. A. (1973a) Optimal Consumption Planning in a Polluted Environment; Economic Record. Vol. 49: 534-45.

Forster, B. A. (1975) Optimal Pollution Control with a Nonconstant Exponential Rate of Decay; Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 2: 1-6.

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: 141-154.

Gariup, L. (2004) Endogenous Growth, Sustainability and Cumulative Pollutants; Working Paper, University of Munich.

Grimaud, A. and L. Rouge (2008) Environment, Directed Technical Change and Economic Policy; Environmental and Resource Economics, Vol. 4: 439-463.

Groth, C. and F. Ricci (2009) Environmental Quality as a Research Asset in an Optimal Growth Model with Polluting Non-renewable Resources; Work in Progress.

Grubb, M. (2000) Economic Dimensions of Technological and Global Responses to the Kyoto Protocol; Journal of Economic Studies, Vol. 27, Nos. 1/2: 111-125.

Gruver, G. (1976) Optimal Investment in Pollution Control Capital in a Neoclassical Growth Context; Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 3: 165-177.

Hartman, R. and O-Sung. Kwon (2005) Sustainable Growth and the Environmental Kuznets Curve." Journal of Economic Dynamics & Control, Vol. 29: 1701-36.

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

Ihori, T. (1996) Environment Externalities, Growth and Consumption Taxes; Faculty of Economics University of Tokyo.

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

John, K. D. (2009) Economic Growth, Pollution, and Accumulation of Abatement Capital in a System Dynamics Framework; Working Paper, Chemnitz University of Technology.

Keeler, E.; Spence, M. & Zeckhauser, R. (1971) The Optimal Control of Pollution; Journal of Economic Theor, Vol. 4: 19-34.

lehmijoki, U. and T. Palokangas (2008) Trade, Population Growth, And the Environment in the Developing Countries; Journal of Population Economics, vol. 23, issue 4, pages 1351-1370

Lieb, C. M. (2004) The Environmental Kuznets Curve Arising From Stock Externalities; Journal of Economic Dynamics & Control, Vol. 27: 1367-90.

Lopez, R. (1994) The Environment as a Factor of Production: The Effects of Economic Growth and Trade Liberalization; Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 27, No. 2: 163-184.

Lucas, R. (1988) On the Mechanics of Economic Development;Journal of Monetary Economics, Vol. 22, No. 1: 3–42.

Meadows, H. D. et al. (1972) The Limits to Growth - A Report for the Club of Rome; New York.

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

Palma, C. R.; A. F. Lopes and T. N. Sequeira (2010) Analysis Externality in an Endogenous Growth Model with Social and Natural Capital; Ecological Economics, Vol. 69: 603-612.

Panayotou, T. (2000) Economic Growth and the Environment; CID Working Paper No. 56, July 2000, Environment and Development Paper No. 4.

Pautrel, X. (2007) Pollution, Health and Life Expectancy: How Environmental Policy Can Promote Growth; CCMP - Climate Change Modeling and Policy, Social Science Research Network Electronic Paper Collection: (Onlinle). <http://ssrn.com/abstract=1024742>

Rao, B. B. (2008) Estimates of the Steady State Growth Rates for Selected Asian Countries with an Extended Solow Model;Economic Modeling, Vol. 27: 46-53.

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

Rubio, S. J., J. R. Garcia and J. L. Hueso (2009) Neoclassical Growth, Environment and Technological Change: The Environmental Kuznets Curve; NOTA DI LAUORO.

Sampaolesi, A. G. (2003) Environment, Trade and Economic Growth: What Do We Really Know?; Priverdena Izgradnja., Vol. XLVI: 3-4: 143-152.

Seldon, T. M. and D. Song (1994) Environmental Quality and Development: Is There a Kuznets Curve for Air Pollution Emission?; Journal of Environmental Economics and Management, Vol. 27, No. 2: 147-162.

Serven, L. (1999) Terms-of-Trade Shocks and Optimal Investment: Another Look at the Laursen-Metzler Effect; Journal of International Money and Finance, No. 18: 337-365.

Sirakaya, S.; S. Turnovsky and N. M. Alemdar (2009) Economic Growth, Trade, and Environmental Quality; Review of International Economics, Vol. 17, No. 5: 906-926.

Smulders, S. and R. Gradus (1996) Pollution abatement and long-term growth; European Journal of Political Economy, Vol. 12, No. 3: 505-532.

Solow, R. M. (1956) A Contribution to the Theory of Economic Growth; Quarterly Journal of Economics. Vol. 70: 65-94.

Sterman, J. (2000) Business Dynamics - Systems Thinking and Modeling for a Complex World; McGraw Hill.

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

Strom, S. (1973) Economic Growth and Biological Equilibrium; Swedish Journal of Economics, Vol. 75: 64-75.

Tzouvelekas, E.; D. Vouvaki, and A. Xepapadeas (2006) Total Factor Productivity Growth and the Environment: A Case for Green Growth Accounting; University of Crete, Department of Economics, December 16.

Wendner, R. (2003) Status, Environmental Externality and Optimal Tax Program; Economic Bulletin, Vol. 8, No. 5: 1-10.

World Bank (2005) Islamic Republic of Iran Cost Assessment of Environment Degradation.Report No. 32043-IR.

Xepapadeas, A. (2005) Economic growth and the environment; In: Mäler, K.-G., Vincent, J. (Eds.), Handbook of Environmental Economics, Vol. 3, Elsevier, Amsterdam: 1219-71