

## ارزیابی مسیر بهینه رشد اقتصادی، آلودگی و انباشت سرمایه:

### رویکرد الگوی سیستم پویا

علی سلمان پور زنوز\*

استادیار اقتصاد دانشگاه آزاد اسلامی مرند، [ali\\_salmanpour@marandiau.ac.ir](mailto:ali_salmanpour@marandiau.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۱/۰۷ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۵/۰۴

### چکیده

وجود تعارض میان افزایش رفاه ناشی از تولید و کاهش رفاه ناشی از پیامدهای منفی زیست‌محیطی عقیده به وجود آمدن حداکثر رفاه در نتیجه افزایش تولید را زیر سوال برده است و زمینه مطالعات بیشتر در این زمینه را فراهم ساخته است. هدف مطالعه حاضر ارزیابی مسیر رشد اقتصادی به کمک الگوی سیستم پویا است زمانی که آلودگی به عنوان یک محصول جانبی تولید می‌باشد. در این الگو فرض بر این است که بخشی از درآمد برای کاهش آلودگی هزینه می‌شود. اثر مثبت مطلوبیت مصرف و اثر منفی آلودگی در تابع رفاه منعکس می‌شود. در مطالعه حاضر روند متغیرها در بازه زمانی ۵۰ ساله مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که با وجود افزایش سرمایه‌گذاری روی بهبود کیفیت محیط‌زیست جهت کاهش آلودگی، آلودگی افزایش یافته و ارزش حال خسارت آلودگی بر محیط‌زیست افزایش و ارزش حال مطلوبیت کاهش و نهایتاً رفاه انباشته کاهش پیدا می‌کند. بنابراین سیاست‌گذاران بایستی توجه خاصی روی آلودگی محیط‌زیست و خسارتهای زیست‌محیطی آنها داشته باشند و نرخ سرمایه‌گذاری بر کنترل آلودگی محیط‌زیست را افزایش دهند. زیرا نرخ افزایش آلودگی بیشتر از نرخ افزایش سرمایه‌گذاری ها روی کنترل آلودگی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، سیستم پویا، رشد اقتصادی، آلودگی.

طبقه‌بندی JEL: C00, D60, Q52.

---

\* نویسنده مسئول مکاتبات

## ۱- مقدمه

اغلب تصور بر این است که گسترش فعالیت اقتصادی و افزایش تولید واقعی موجب رشد اقتصادی و بهبود وضعیت اقتصادی و نهایتاً توسعه اقتصادی شود، ولی ممکن است رشد اقتصادی همراه با پیامدهای منفی زیست‌محیطی بوده و باعث بروز جایگزینی بین منافع حاصل از رشد و تخریب محیط‌زیست گردیده و عقیده به وجود آمدن حداکثر رفاه در نتیجه افزایش تولید زیر سوال رود. وجود این جایگزینی و اهمیت پیامدهای جانبی زیست‌محیطی و انتشار آلودگی و تبدیل آن به مسئله‌ای جهانی، دولت‌ها را در اجرای سیاست‌های کنترل آلودگی و پیگیری فرایند رشد مصمم ساخته است (بکرمن<sup>۱</sup>، ۱۹۹۲). پیامدهای جانبی زیست‌محیطی، به سبب انباشت آلودگی، بر مسیر رشد بهینه و رفاه تأثیر می‌گذارد. بنابراین به جرأت می‌توان گفت اقتصاد با توجه به ویژگی‌های اساسی محیط‌زیست، از قبیل مطبوعیت، سلامت و بهره‌وری، می‌تواند تحت تأثیر قرار - گیرد. مطبوعیت محیط‌زیست و سلامت از کانال رفاه کل و با لحاظ آلودگی و یا کیفیت محیط‌زیست در تابع مطلوبیت مصرف‌کننده در الگوهای رشد وارد می‌شوند. اثر بهره‌وری نیز با در نظر گرفتن کیفیت محیط‌زیست به عنوان یک عامل تولید قابل بررسی می‌باشد (مهتدی<sup>۲</sup>، ۱۳۷۵). از طرفی افزایش تولید باعث ایجاد درآمد برای جامعه می‌گردد که قسمتی از آن به مصرف می‌رسد و باعث افزایش مطلوبیت شده و بخشی پس انداز می‌شود. پس اندازه‌ها در هر دوره در قالب منابع مالی برای تجهیز ماشین‌آلات بکار رفته و در قالب سرمایه‌گذاری ظاهر می‌گردد که بخشی از این سرمایه‌گذاری می‌تواند برای کاهش آلودگی هزینه گردد. این بخش از منابع هر چند منجر به کاهش آلودگی می‌گردد و می‌تواند رفاه را افزایش دهد بلکه از آنجا که بخشی از منابع از مصرف دور شده، رفاهی که از مصرف می‌توانست حاصل شود کاهش می‌یابد. در مطالعه حاضر سرمایه‌گذاری به دو بخش تقسیم می‌شود. یک بخش از سرمایه‌گذاری جهت افزایش تولید و بخش دیگر از سرمایه‌گذاری در جهت کاهش آلودگی در نظر گرفته شده است. همچنانکه مشخص است اثر تولید بر رفاه جامعه بصورت چند بعدی می‌تواند مطرح گردد. میزان بهینه آلودگی، میزان بهینه رفاه اجتماعی و سایر متغیرها در طول زمان به

---

<sup>1</sup> Bekerman

<sup>2</sup> Mohtadi (1996)

دنبال افزایش تولید را می‌توان با شبیه‌سازی مشخص ساخت. از این رو هدف مطالعه حاضر ارزیابی مسیر رشد اقتصادی با در نظر گرفتن آلودگی به عنوان یک محصول جانبی تولید با استفاده از شبیه‌سازی سیستم‌های دینامیکی می‌باشد. سازماندهی مباحث مقاله به صورت زیر می‌باشد. در بخش دوم مقاله، ادبیات موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش سوم، طراحی مدل ارائه شده است. بخش چهارم به طراحی الگوی سیستم پویا پرداخته و در بخش پنجم شبیه‌سازی الگو ارائه شده است. قسمت پایانی نیز به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

## ۲- ادبیات موضوع

بیشتر مطالعات انجام گرفته در داخل و خارج از کشور بدون توجه به الگوهای رشد و در جهت بررسی برقراری منحنی زیست‌محیطی کوزنتس بوده است.<sup>۱</sup> مطالعات زیر نمونه‌هایی از این قبیل می‌باشند. دیاکان و نورمن<sup>۲</sup> (۲۰۰۴) به دنبال نمونه‌هایی از کشورهایی بوده‌اند که فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس در مورد آنها صادق بوده است. آنها به برآورد کشش درآمدی خاص برای هوای پاک که در چارچوب فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس به کار برده می‌شود پرداخته‌اند. استرن<sup>۱</sup> (۲۰۰۴) در مطالعه خود نشان می‌دهد که نسل جدید از تجزیه تحلیل‌ها و مدل‌های کارا می‌توانند رابطه بین توسعه اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست و فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس را نقض کنند. لی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای با عنوان رشد اقتصادی و کیفیت محیط‌زیست نشان دادند که فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس با در نظر گرفتن فعالیت‌های انسانی در ارتباط با گازهای گلخانه‌ای

<sup>۱</sup> بیان ساده فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس، این است که بین برخی از شاخص‌های آلودگی زیست‌محیطی و یکی از شاخص‌های رشد اقتصادی (معمولاً سطح درآمد سرانه) رابطه‌ای به شکل U وارونه وجود دارد. به عبارت دیگر با افزایش توان اقتصادی جامعه، در ابتدا مقدار تخریب زیست‌محیطی افزایش می‌یابد، اما سرانجام پس از رسیدن به سطح حداکثر آلودگی، به دلایل مختلف از جمله آگاهی جامعه نسبت به تخریب محیط‌زیست و یا حرکت به سمت خدماتی‌تر شدن اقتصاد، روند نزولی منحنی آغاز می‌شود. اوج این منحنی را رسیدن به حالت رشد غیرمادی می‌گویند. (مارتین- زارزوسو و بنگوچیا- مورانکو<sup>۳</sup> ۲۰۰۳).

<sup>۲</sup>Deacon and Norman

<sup>۳</sup> Stern

<sup>۴</sup>Li and Hui

مورد تأیید قرار نگرفته است. شهباز و همکاران<sup>۱</sup> (۱۳۸۹) به بررسی ارتباط بین انتشار CO<sub>2</sub> و مصرف انرژی و رشد اقتصادی و تجارت پاکستان پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که یک رابطه بلندمدت بین متغیرها وجود دارد و فرضیه زیست-محیطی کوزنتس برای پاکستان مورد تأیید واقع شده است. از مطالعات انجام شده در داخل، در مورد اثر رشد اقتصادی بر محیط‌زیست می‌توان به مطالعه پژویان و مرادحاصل<sup>۲</sup> (۱۳۸۶) با موضوع بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا در قالب منحنی زیست‌محیطی کوزنتس برای ۶۷ کشور، مطالعه زیبایی و زین‌الدینی<sup>۳</sup> (۱۳۸۸) با موضوع بررسی اثر رشد اقتصادی بر تنوع زیست‌محیطی برطبق فرضیه کوزنتس برای ۱۲۱ کشور در حال توسعه در سال ۲۰۰۲، مطالعه پورکازمی و ابراهیمی<sup>۴</sup> (۱۳۸۷) با هدف بررسی وجود رابطه بین درآمد و انتشار دی‌اکسید گوگرد در کشورهای خاورمیانه طی دوره ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۳ و مطالعه اصغرپور و موسوی<sup>۵</sup> (۱۳۸۸) با موضوع بررسی ارتباط بین آلودگی هوا و رشد اقتصادی (آزمون فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس) در ۱۶ کشور منتخب توسعه یافته و در حال توسعه از جمله ایران، مطالعه بهبودی و سجودی<sup>۶</sup> (۱۳۸۹) با موضوع محیط‌زیست و رشد اقتصادی پایدار: مطالعه موردی ایران به بررسی اثرات متقابل رشد اقتصادی و محیط‌زیست با استفاده از الگوهای رشد و روش معادلات همزمان پرداخته‌اند. موسوی و همکاران<sup>۳</sup> (۱۳۹۶) با موضوع اثر رشد اقتصادی، مصرف انرژی و توسعه مالی بر آلودگی محیط‌زیست در ایران طی دوره ۱۳۹۵-۱۳۶۵ و مطالعه ناهیدی و همکاران<sup>۴</sup> (۱۳۹۷) با موضوع تجزیه و تحلیل تئوریک و تجربی منحنی آلودگی محیط‌زیست کوزنتس در ایران طی دوره ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵ اشاره نمود.

مطالعاتی که ارتباط بین انتشار آلودگی و سیاست‌های زیست‌محیطی را با رشد اقتصادی در چارچوب الگوهای رشد درونزا مورد بررسی قرار داده‌اند را می‌توان در دو دسته غیرتصادفی و تصادفی طبقه‌بندی کرد. در حوزه غیرتصادفی مهددی (۱۳۷۵) با استفاده از یک الگوی رشد درونزا به بررسی سیاست بهینه زیست‌محیطی برای رسیدن به رشد

<sup>1</sup> Shahbaz et al (2010)

<sup>2</sup> Pazhoyan and Moradhassel (2007)

<sup>3</sup> Zibayi and Zeiynaldini (2008)

<sup>4</sup> Pourkazemi and Ebrahimi (2008)

<sup>5</sup> Asgharpour and Mousavi (2009)

<sup>6</sup> Behboodi and Sojoodi (2010)

<sup>7</sup> Mousavi and et al. (2017)

<sup>8</sup> Nahidi and et al. (2018)

بلندمدت با وجود اثرگذاری کیفیت محیط‌زیست بر رفاه اجتماعی می‌پردازد. یافته‌های وی حاکی از آن است که سیاست ترکیبی کنترل‌های مقداری و مالیات و سوبسید موجب دستیابی به یک سطح بالاتری از رفاه اجتماعی در مقایسه با اجرای سیاست سوبسید یا مالیات، به تنهایی می‌گردد. آریگا<sup>۱</sup> (۲۰۰۲) نیز با استفاده از یک الگوی رشد درونزا ارتباط بین رشد اقتصادی و سیاست‌های زیست‌محیطی بهینه و اثرات سیاست بر نرخ رشد و نهایتاً رفاه اجتماعی را مورد بررسی قرار داده است. نتایج مطالعه وی نشان می‌دهد که هر گونه بهبود یا تخریب کیفیت محیط‌زیست بستگی به تغییر کیفیت محیط‌زیست در طول زمان دارد. مطالعات داخلی بسیار اندکی با رویکرد الگوهای رشد در زمینه سیاست‌های بهینه زیست‌محیطی برای کنترل آلودگی انجام شده است. از اولین مطالعات، مطالعه هراتی و همکاران<sup>۲</sup> (۱۳۹۱) با هدف تعیین سیاست زیست-محیطی بهینه مالیات در چارچوب الگوهای رشد درونزا می‌باشد. نتایج تجربی، بیانگر این است که نرخ بهینه مالیات بر آلودگی حدوداً ۱۵ درصد است. همچنین بر اساس نتایج تحلیل حساسیت، شاخص‌های کشش آلودگی نسبت به تولید و ترجیحات زیست‌محیطی مصرف‌کننده بیشترین تأثیر را بر مالیات زیست‌محیطی در ایران دارد. ضمن اینکه شاخص‌های نرخ رشد خارجی و شاخص‌های تجاری کمترین تأثیر را دارد. مجدزاده طباطبایی و استادزاد<sup>۳</sup> (۱۳۹۴) با استفاده از طراحی و کالیبره نمودن یک الگو رشد درونزا به کمک روش تحلیل ایستای مقایسه‌ای اقدام به بررسی سیاست‌های اعمال مالیات بر مصرف انرژی، ارتقای فن‌آوری پیشگیری و کاهش آلودگی و پرداخت یارانه به نهاده‌های سبز در جهت کنترل آلودگی برای اقتصاد ایران نموده است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که دولت قادر است که با اتخاذ سیاست‌های مناسب عملکرد کارگزاران اقتصادی را به سمت انتخاب یک راه حل بهینه در تخصیص منابع، به منظور رسیدن به یک رشد اقتصادی پایدار تعدیل نماید.

مطالعات زیر از جمله مطالعاتی است که ارتباط بین آلودگی و سیاست‌های زیست-محیطی را به صورت تصادفی در چارچوب الگوهای رشد درونزا مورد بررسی قرار داده‌اند. کلمنس و سورتز<sup>۱</sup> (۱۹۹۷) با استفاده از یک الگوی رشد درونزای تصادفی اثر مالیات بر

<sup>۱</sup> Ariga

<sup>۲</sup> Harati and et al. (2012)

<sup>۳</sup> Majdzadeh tabatabaei and Ostadzad (2015)

درآمد را روی رفاه و رشد با در نظر گرفتن انباشت سرمایه انسانی مورد بررسی قرار دادند. آنها نشان دادند که افزایش نرخ مالیات نسبت به درآمد متوسط، روی نرخ رشد انتظاری اثر دو جانبه دارد. از یک سو ممکن است باعث افزایش رفاه و از سوی دیگر به جهت افزایش نرخ مالیات روی درآمد زودگذر باعث کاهش رفاه شود. سورتز (۲۰۰۳) طی مطالعه‌ای اثر آلودگی و سیاست‌های کاهش آن را با استفاده از یک الگوی رشد درونزای تصادفی مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. وی معتقد است که سیاست‌های زیست‌محیطی توسط دولت انجام می‌گیرد که تأمین مالی آن از طریق اوراق قرضه دولتی و مالیات بر درآمد می‌باشد و بدهی دولت تعادل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. همچنین نرخ مالیات بر درآمد بهینه با درک تأثیر و نفوذ فردی روی سرمایه کل کاهش می‌یابد. در مقابل، تأثیر ترجیحات زیست‌محیطی و عدم قطعیت آن روی سیاست‌های بهینه زیست‌محیطی مبهم است. توجیمورا<sup>۱</sup> (۲۰۲۰) با استفاده از الگوی رشد درونزا به بررسی سیاست‌های کاهش آلودگی تحت شرایط نااطمینانی و هزینه‌های کاهش آلودگی پرداخته است. وی با فرض اینکه هر بنگاهی هنگام کاهش آلودگی، متحمل هزینه‌هایی می‌شود، دو نوع سیاست متفاوت را جهت رسیدن به هدف مطالعه در نظر گرفته است. در یک سیاست بنگاه فقط هزینه‌های کاهش آلودگی را در نظر می‌گیرد و در سیاست دیگر بنگاه هزینه‌های کاهش متناسب و ثابت را نیز در نظر می‌گیرد. با استفاده از تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته که به روش حل عددی می‌باشند سیاست بهینه آلودگی نشان داده شده است.

صمدی و همکاران<sup>۱</sup> (۱۳۹۸) به شناسایی سیاست بهینه زیست‌محیطی از بین ابزارهای رایج دخالت دولت (اخذ مالیات بر انتشار آلودگی و سیاست مجوز انتشار آلودگی) در شرایط وجود نااطمینانی زیست‌محیطی و اقتصادی و در درجات مختلف کیفیت نهادی، پرداخته است. یافته‌های تجربی مقاله، نشان می‌دهد که در درجات مختلف کیفیت نهادی، سیاست مجوز انتشار آلودگی بر سیاست مالیات بر انتشار آلودگی، برتری دارد. همچنین نتایج نشان داده است که با بهبود وضعیت کیفیت نهادی و در صورتی که تنها تکانه زیست‌محیطی باشد، سیاست بهینه، سیاست مالیات بر آلودگی است.

<sup>1</sup> Clemencs and Sorets

<sup>2</sup> Tsujimura

<sup>3</sup> Samadi and et al. (2019)

## ۱- طراحی مدل

### ۱-۳- ساختار مدل

تابع مطلوبیتی که در این مطالعه بکار رفته است تابعی از مصرف که باعث افزایش مطلوبیت می‌شود و میزان آلودگی است که منجر به کاهش مطلوبیت می‌شود. شکل تابع تولید نیز بصورت تابع تولید نئوکلاسیکی بیان می‌شود. مسلم است که در این تابع تولید عناصر نیروی کار، سرمایه فیزیکی و پیشرفت تکنولوژی روی تولید تاثیر دارند. ریشه‌های تئوریک این روش به سال ۱۹۷۰ باز می‌گردد. کلر و همکاران (۱۹۷۱)<sup>۱</sup>، استرم (۱۹۷۳)<sup>۲</sup>، بندر (۱۹۷۶)<sup>۳</sup> و بوچ هولز و کان سایر (۱۹۸۰)<sup>۴</sup> از این روش استفاده نموده‌اند.

روش دیگر در اینگونه بررسی‌ها به روش کنترل بهینه اختصاص دارد. می‌توان به اقتصاد دانانی همچون فیشر و همکاران (۱۹۷۲)<sup>۵</sup>، فورستر (۱۹۷۳)<sup>۶</sup>، اساکو (۱۹۸۰)<sup>۷</sup> و کروپر (۱۹۸۰)<sup>۸</sup> اشاره کرد. در این روش شرط مرتبه اول برای یافتن مسیر بهینه رشد و آلودگی به همراه سیاستهای متناسب بررسی می‌شود.

روش سوم به کار مشهور مدوس و همکاران (۱۹۷۲)<sup>۹</sup> باز می‌گردد. که در روش آنان از روش سیستم پویا استفاده شده است. در این روش به مدل اجازه داده می‌شود تاثیر سیاستهای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. این روش توسط رومر (۱۹۹۰)<sup>۱۰</sup>، گروسمن و هلپمن (۱۹۹۱)<sup>۱۱</sup>، اگین و هاویت (۱۹۹۲)<sup>۱۲</sup> و اخیراً توسط بار توسزوک (۲۰۰۵)<sup>۱۳</sup> گسترش یافت. در این روش از مدل رشد نئوکلاسیکها استفاده شده و شبیه‌سازی مدل در مسیر زمانی صورت می‌گیرد.

<sup>1</sup>Keeler, Spence and Zeckhauser (1971)

<sup>2</sup>Strom (1973)

<sup>3</sup>Bender (1976)

<sup>4</sup>Buchholz and Cansier (1980)

<sup>5</sup>Fisher, Krutilla and Cicchetti (1972)

<sup>6</sup>Forster (1973)

<sup>7</sup>Asako (1980)

<sup>8</sup>Cropper (1980)

<sup>9</sup>Meadows et al. (1972)

<sup>10</sup>Romer (1990)

<sup>11</sup>Grossman and Helpman (1991)

<sup>12</sup>Aghion and Howitt (1992)

<sup>13</sup>Bartoszczuk (2005)

در چارچوب مدل ایستا با تعریف تابع مطلوبیت و محدودیت‌های مربوطه و با ماگزیمم نمودن تابع مطلوبیت مصرف‌کننده مقدار بهینه مصرف و سطح بهینه آلودگی بدست می‌آید. مشکل مدل ایستا در این است که قادر نیست ارتباط بهینه پویا بین درآمد، آلودگی و یا دیگر متغیرها را نشان دهد. در صورتیکه در الگوهای پویا ما یک تابع رفاه اجتماعی خواهیم داشت که شامل ارزش حال مطلوبیت در دوره های مختلف زمانی است و با تشکیل تابع همیلتون بهینه یابی آن قابل بررسی است. در این بررسی فروض اولیه بشکل زیر در نظر گرفته شده است.

فرض (۱): افراد زیاد با طول عمر نامحدود و ترجیحات یکسان: در واقع این الگو با فرض نامحدود بودن عمر خانوارها و یکسان بودن ترجیحات در طول عمرشان مدل سازی شده است.<sup>۱</sup> فرض بر این است که رفاه اقتصادی به مقدار کالای مصرفی تولید شده و کیفیت محیطزیست بستگی دارد. کیفیت محیطزیست مطلوبیت ایجاد می کند و خسارات محیطزیستی ناشی از تجمع آلودگی باعث عدم مطلوبیت می‌شود. شکل کلی تابع مطلوبیت بکار رفته بصورت زیر است که در آن مصرف به وسیله C و آلودگی به وسیله (P) و مطلوبیت به وسیله (U) بیان می‌شود.

$$U = U(C, P), \quad U_C > 0, U_{CC} < 0, U_P < 0, U_{PP} < 0 \quad (۱)$$

مطلوبیت نهایی مصرف مثبت و مطلوبیت نهایی آلودگی منفی است. در واقع تابع مطلوبیت رابطه مثبت با سطح مصرف سرانه ( $C_t$ ) و رابطه عکس با آلودگی ( $p_t$ ) دارد. از دیدگاه سیستم پویا مصرف واقعی جریان و آلودگی ذخیره در نظر گرفته می‌شود. اما اگر C و P همچون متغیرهای ذخیره تفسیر شوند آنگاه این متغیرهای ذخیره به ترتیب جریان مطلوبیت و عدم مطلوبیت ایجاد می‌نمایند. برای شبیه‌سازی بایستی تابع مطلوبیت بشکل پارامتریکی بیان شود.

$$U = \frac{1}{1-\eta} C^{1-\eta} - \frac{1}{1-\pi} P^{1-\pi} \quad , \quad 0 < \eta < 1 \quad \pi > 0 \quad (۲)$$

در این تابع مطلوبیت کشش مطلوبیت نسبت به مصرف  $1 - \mu$  و کشش مطلوبیت نسبت به آلودگی  $1 - \pi$  بوده و در این تابع مطلوبیت، ارزش پارامترها به کمک مطالعات تجربی قابل مشاهده است. از آنجا که هدف سیاست های اقتصادی حداکثر

<sup>۱</sup> وجود نوع دوستی بین نسل‌ها می‌تواند یک دلیل قانع کننده برای نامحدود در نظر گرفتن عمر خانوارها باشد.



کردن مطلوبیت در طول دوره های برنامه‌ریزی است بنابراین بهینه‌سازی پویای زیر بایستی حل گردد.

$$J = \int_0^T e^{-\rho t} \left( \frac{1}{1-\eta} C^{1-\eta} - \frac{1}{1-\pi} P^{1-\pi} \right) dt \rightarrow \max \quad (۳)$$

در این رابطه  $\rho$  نرخ رجحان زمانی<sup>۱</sup> است که ثابت و مثبت در نظر گرفته شده است. حداکثر کردن  $J$  با توجه به محدودیت مشخص شده در زیر بررسی می‌شود. در چارچوب کنترل بهینه می‌توان مسیر کنترل متغیرهایی که تابع  $J$  را ماکزیمم می‌کنند را بدست آورد. برای سادگی بایستی از فرم کاهش یافته مدل استفاده شود. با استفاده از رابطه (۳) اثر سیاست‌های اقتصادی گوناگون در طول زمان قابل اندازه‌گیری است. فرض (۲): تابع تولید بشکل کاب داگلاس استاندارد با بازده ثابت نسبت به مقیاس بیان می‌شود.

$$Y = e^{\gamma t} K^\beta L^{1-\beta} \quad (۴)$$

در این تابع  $Y$  میزان تولید،  $K$  نهاده سرمایه و  $L$  نهاده نیروی کار است. از آن جا که هدف بررسی اثر سیاست‌ها کنترلی روی آلودگی است. برای بررسی این تاثیر ما می‌توانیم نیروی کار را ثابت در نظر بگیریم. با نرمال کردن عامل کار به یک، تابع تولیدی می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$Y = e^{\gamma t} K^\beta \quad (۵)$$

در این تابع  $\beta$  کشش تولید نسبت به نهاده سرمایه،  $\gamma$  نرخ رشد تکنولوژی است. فرض (۳): برقراری تعادل در یک اقتصاد بسته: همچنین فرض بر این است تعادل جریان مدور برقرار بوده و سرمایه گذاری ( $I$ ) همواره با پس انداز برابر است. پس انداز آن بخشی از درآمد است که مصرف ( $C$ ) نمی‌شود. مصرف تابعی از درآمد و مخارج جهت کاهش آلودگی ( $A$ ) متغیر کنترل سیاستی نامیده می‌شود. شرط تعادلی می‌تواند به صورت زیر باشد.

$$Y=C+I+A \quad (۶)$$

<sup>۱</sup> The rate of time preference

ذخیره سرمایه ( $\dot{K}$ ) با سرمایه‌گذاری افزایش و با استهلاک  $\delta K$  کاهش می‌یابد.

$$\dot{K} = I - \delta K \quad (7)$$

فرض (۴): آلودگی ناشی از تولید است. فرض می‌شود برای هر واحد از تولید مقدار مشخصی آلودگی ایجاد می‌شود. انباشت آلودگی در طول زمان ذخیره آلودگی ( $\dot{P}$ ) خوانده می‌شود با توجه به سیستم بیوآلودگی یک ظرفیت خود تمیزی<sup>۱</sup> وجود دارد. بنابراین فرض می‌شود در طول زمان مقداری از آلودگی کاهش می‌یابد. با این فرض پویایی‌های ذخیره آلودگی به صورت رابطه زیر بیان می‌شود.

$$\dot{P} = \varepsilon Y - \alpha P \quad (8)$$

در این معادله  $\varepsilon$  مقدار آلودگی ایجاد شده در رابطه با تولید و  $\alpha$  نرخ کاهش طبیعی در آلودگی است.

کاهش طبیعی آلودگی را می‌توان با سیاست‌های زیست‌محیطی مناسب پشتیبانی کرد. فرض بر این است که اقتصاد می‌تواند ذخیره سرمایه کاهش دهنده آلودگی را درست به میزان افزایش ذخیره سرمایه برای تولید ایجاد نماید. در رابطه با ایجاد تمیزی بین سرمایه بکار رفته برای تولید با سرمایه بکار رفته برای کاهش آلودگی تفاوت وجود دارد. فرض می‌شود ۵۰ درصد آلودگی ایجاد شده بصورت خود تمیزی توسط محیط از بین برود. لذا نرخ کاهش طبیعی در آلودگی برابر با ۰/۵ در نظر گرفته می‌شود.

فرض (۵): نرخ رشد مخارج کاهنده آلودگی: نرخ رشد مخارج کاهش دهنده آلودگی ( $\dot{M}$ ) بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\dot{M} = A - \mu M \quad (9)$$

نرخ رشد مخارج کاهش دهنده آلودگی ( $\dot{M}$ ) با میزان مخارج کاهنده آلودگی ( $A$ ) که بخشی از درآمد جامعه است رابطه مثبت دارد. برای محاسبه این نسبت از نسبت اعتبارات عمرانی تخصیصی به سازمان حفاظت محیط‌زیست به کل درآمد در سال ۱۳۹۴ استفاده شده است. در این الگو نرخ استهلاک مخارج کاهش دهنده آلودگی ( $\mu$ ) با نرخ استهلاک سرمایه فیزیکی بکار رفته در تولید برابر در نظر گرفته شده است.

### ۲-۳- چارچوب متدولوژی

تفکر و شیوه سیستم‌های پویا نوعی روش‌شناسی و شبیه‌سازی و مدلسازی رایانه‌ای برای تعیین چارچوب فکری و بحث درباره بعضی موضوعات و مسائل پیچیده مدیریتی،

<sup>1</sup> Self-cleaning capacity

اجتماعی، اقتصادی است. این تفکر در دهه ۱۹۵۰ میلادی توسط جی رایت فورستر<sup>۱</sup> برای کمک به مدیران صنعتی با تمرکز بر موضوعاتی که در شرکتهای صنعتی وجود دارد، مطرح و ابداع گردید. با این شیوه تفکر به موضوعات و مشکلات مدیریتی مانند؛ ناپایداری در تولید، فقدان یا بی‌ثباتی در رشد و توسعه شرکتهای، از دست دادن سهم بازار و نظایر آن پرداخته شد. سیستم‌های پویا یک جنبه از نظریه سیستم‌ها<sup>۲</sup> است و به عنوان روشی برای فهم رفتار پویا و مستمر در سیستم‌های پیچیده بکار می‌رود. از دیدگاه سیستم‌های پویا موضوعات و مسائل پیچیده و پویا در ظاهر حداقل دو جنبه دارند: اول، اینگونه مسائل دارای خاصیت پویائی و ماهیتی مقداری<sup>۳</sup> دارند و مرتباً در حال تغییرند. نوسان اشتغال در یک صنعت، رابطه کاهش عوارض و مالیات شهری از جمله مسائل پویا هستند. مهارت در تعریف مسائل پویا، اولین قدم در یادگیری تفکر و شیوه سیستم‌های پویا می‌باشد. دومین وجه مسائل و موضوعات سیستم‌های پویا، وجود نظریه بازخورد<sup>۴</sup> است. تفکر و شیوه سیستم‌های پویا درباره مسائل پویایی که دارای حلقه بازخورد هستند، کاربرد دارد. سازمانها، اقتصاد، جوامع و در حقیقت کلیه سیستم‌هایی که به نوعی با انسان سروکار دارند و یا حتی سیستم‌های مکانیکی و الکترونیکی و نظایر آن، سیستم‌های با حلقه بازخورد به حساب می‌آیند. بررسی، مطالعه و مدلسازی آنها، ابزاری برای درک صحیح رفتار و نتایج عملکرد آنها است. قدرت واقعی روش سیستم‌های پویا، طراحی مدل شبیه‌ساز مسئله است. در حال حاضر نرم افزارهای مختلفی امکان اجرا و بهینه نمودن مدل طراحی شده را دارند. مراحل ایجاد یک سیستم شبیه‌سازی مسئله به شرح زیر است:

- تعریف حد و مرزها مسئله
- تعیین مهمترین ورودی‌ها و جریانهای<sup>۵</sup> که سطح ورودی را تغییر می‌دهد
- تعریف منابع اطلاعاتی که بر جریان‌ها اثر دارند
- تعریف حلقه‌های<sup>۶</sup> بازخور اصلی

<sup>1</sup> Jay Wright Forrester

<sup>2</sup> Systems Theory

<sup>3</sup> Quantitative

<sup>4</sup> Feedback

<sup>5</sup> Flows

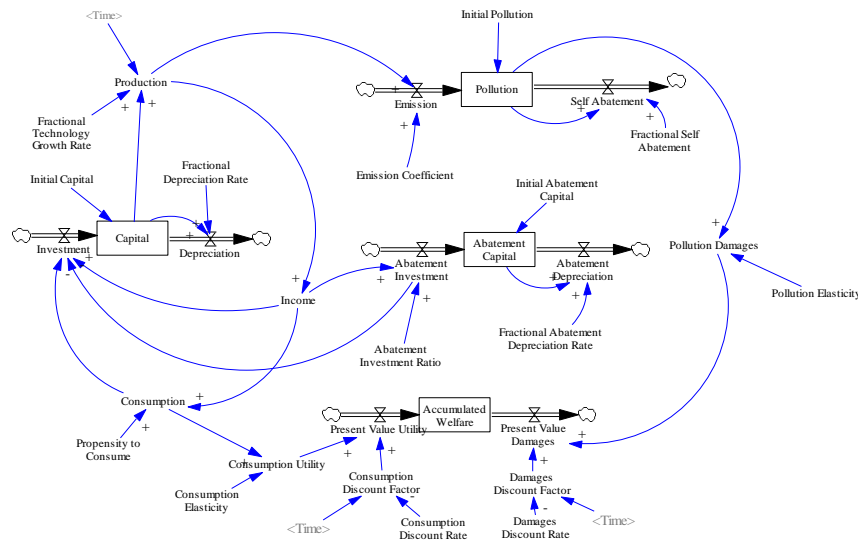
<sup>6</sup> loop

- ترسیم حلقه‌های علی<sup>۱</sup> که ورودی‌ها، جریانها و منابع اطلاعاتی را بهم مرتبط می‌کند
- برآورد عوامل و شرایط اولیه

## ۲- طراحی الگوی سیستم پویا

در این بخش اقدام به ساخت نمودار علی-حلقوی<sup>۲</sup> و نمودار جریان - انباشت<sup>۳</sup> با توجه به روابط پویای بین متغیرهای کلان اقتصادی خواهیم نمود.

نمودار (۱) نشان می‌دهد که چگونه عناصر مورد بررسی در نمودار جریان و ذخیره با هم ارتباط دارند. ما از تفسیر تجمیع سرمایه مورد استفاده در تولید کالاها شروع می‌کنیم و سپس بقیه عناصر در نمودار را مطابق گردش عقربه‌های ساعت به هم ارتباط می‌دهیم.



### نمودار(۱): نمودار جریان و انباشت متغیرها

سرمایه مورد استفاده در تولید کالاها و خدمات با سرمایه‌گذاری افزایش و با استهلاك کاهش می‌یابد. نرخ استهلاك بخشی درصدی از ذخیره سرمایه است که از ذخیره سرمایه در هر دوره کم می‌شود. تابع تولید به شکل کابداگلاس در نظر گرفته می‌شود. این تابع حالت استاندارد تابع رشد نئوکلاسیک است که به عوامل تولید کار و سرمایه بستگی دارد. ما قبلاً فرض کردیم که نهاده نیروی کار به واحد نرمالیزه شده است. با

<sup>1</sup> causal Loop

<sup>2</sup> Causal-Loop Diagram

<sup>3</sup> Stock- Flow Diagram

توجه به این فرض ذخیره سرمایه تنها عامل موثر در تولید است. تولید زمانی رشد می‌کند که سرمایه بکاررفته افزایش یابد البته این رشد با نرخ کاهنده خواهد بود. عامل دوم موثر بر رشد تولید، پیشرفت تکنولوژی است که برونزا می‌باشد. با توجه به مدل رشد اقتصادی استاندارد این رشد تولید، همراه با آلودگی است. این آلودگی در سیستم حسابداری ملی بررسی نمی‌شود و بنابراین GNP را کاهش نمی‌دهد. در حالی که آلودگی روی رفاه اجتماعی اثر منفی می‌گذارد. آلودگی از طریق فرآیند تولید باعث انباشت آلودگی می‌شود. ذخیره آلودگی به وسیله فرآیند خودتمیزی<sup>۱</sup> بیوسیستم کاهش می‌یابد. برای مثال دی‌اکسیدکربن را می‌توان در نظر گرفت. دی‌اکسیدکربن در اتمسفر انباشته می‌شود اما مقدار مشخصی از آن به وسیله فتوسنتز در هر دوره ارگانیزه می‌شود. این روش برای سایر آلاینده‌ها نیز وجود دارد. علاوه بر این که آلودگی حالت خود کاهشی دارد، بلکه ذخیره آلودگی می‌تواند به وسیله بکارگیری منابع اقتصادی کاهش یابد. در الگوی حاضر فرض می‌شود قسمتی از GDP برای کاهش آلودگی هزینه شود، افزایش هزینه روی کنترل آلودگی از یک طرف مقدار درآمدی را که می‌توانست برای مصرف یا سرمایه‌گذاری در تولید باشد را کاهش می‌دهد. از طرف دیگر این مخارج روی کاهش آلودگی موثر است. به عنوان مثال بنگاهها می‌توانند از فیلتر یا دیگر تجهیزات برای کاهش آلودگی در فرآیند تولید استفاده کنند. در مطالعه حاضر اثر مخارج روی کنترل آلودگی به وسیله تابعی که باعث کنترل آلودگی می‌شود مورد بررسی قرار می‌گیرد. نرخ استهلاک سرمایه کنترل‌کننده آلودگی همانند نرخ استهلاک سرمایه تولیدی الگوسازی می‌شود. ذخیره آلودگی اثر منفی روی جامعه دارد. این اثر ممکن است باعث زوال فرآیند تولید، مصرف و بهداشت شود. وقتی از خسارت آلودگی صحبت می‌شود منظور ارزش آلودگی می‌باشد که در این الگو به وسیله تابع خسارت بیان می‌شود. کشش آلودگی نشان می‌دهد چگونه خسارت نسبت به افزایش آلودگی واکنش نشان می‌دهد. اگر کشش آلودگی برابر با یک باشد یک افزایش در آلودگی به اندازه یک درصد منجر به افزایش متناسب در خسارت بدون اثرگذاری به سطح آلودگی می‌شود. اگر کشش آلودگی مقدار مثبت داشته باشد بدین معنی است که یک درصد افزایش آلودگی خسارت آلودگی را بیشتر از آن افزایش داده و سطح آلودگی نیز افزایش می‌یابد.

<sup>1</sup> Self-Abatement

ارزیابی مطلوبیت ناشی از مصرف و عدم مطلوبیت ناشی از خسارات محیط‌زیستی به وسیله تابع رفاه مطرح می‌شود. در شکل (۱) ذخیره انباشت رفاه شامل یک جریان ورودی و یک جریان خروجی است. جریان ورودی شامل ارزش فعلی مطلوبیت مصرف و جریان خروجی ارزش فعلی خسارات محیط‌زیستی است. اگر مدل برای ارزیابی تاثیر سیاست‌های گوناگون طراحی شود در آن صورت لازم است مسیر زمانی انباشت رفاه در پایان افق برنامه‌ریزی بررسی شود.

الگوی حاضر یک ارتباط پویا برای هر اقتصاد واقعی را بررسی می‌کند. نحوه استفاده بهینه از منابع محدود در طول زمان در قالب این الگو می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد. مصرف بیشتر منجر به افزایش مطلوبیت می‌شود. اما تولید کالا در اول باعث ایجاد ذخیره سرمایه می‌شود. افزایش ذخیره سرمایه باعث افزایش تولید و امکان افزایش مصرف را فراهم می‌آورد. اما افزایش در ذخیره سرمایه بخشی از تولید منجر به کاهش امکان مصرف می‌شود. این مسأله کلاسیکی مسیر طلایی<sup>۱</sup> تئوری رشد را بیان می‌کند که توسط رمزی و سمینال مطرح شده است. در ادامه جداول شماره (۲) تا (۵) نوع متغیرهای به کار رفته در الگو همراه با معادله - مربوطه ارائه شده است.

#### جدول (۲): متغیرهای انباشت<sup>۲</sup> بکار رفته در مدل

معادله	واحد	نام متغیر
Emission-Self Abatement	تن	آلودگی <sup>۳</sup>
Investment-Depreciation	ریال	سرمایه فیزیکی <sup>۴</sup>
Abatement Investment-Abatement Depreciation	ریال	مخارج کنترل آلودگی <sup>۵</sup>
Present Value Utility-Present Value Damages	ریال	رفاه انباشته <sup>۶</sup>

منبع: یافته‌های تحقیق

#### جدول (۳): متغیرهای نرخ<sup>۷</sup> بکار رفته در مدل

معادله	نام متغیر
Income-Consumption-Abatement Investment	سرمایه‌گذاری <sup>۸</sup>
Capital*Fractional Depreciation Rate	استهلاک <sup>۹</sup>
Emission Coefficient*Production	انتشار آلودگی <sup>۱</sup>

<sup>۱</sup> Golden rule

<sup>۲</sup> Stock Variables

2 Pollution

3 Capital

4 Abatement capital

5 Accumulated welfare

6 Rate Variables

7 Investment

8 Depreciation

فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد/ سال هفتم/ شماره ۲/ تابستان ۱۳۹۹	
۶۷	
Fractional Self Abatement*Pollution	خود تمیزی <sup>۲</sup>
Abatement Investment Ratio*Income	نرخ سرمایه‌گذاری کاهش آلودگی <sup>۳</sup>
Fractional Abatement Depreciation Ratio*Abatement Capital	نرخ استهلاک سرمایه‌های کاهنده آلودگی <sup>۴</sup>
INTEG(Consumption Discount Factor*Consumption Utility)	ارزش حال مطلوبیت <sup>۵</sup>
INTEG(Damages Discount Factor*Pollution Damages)	ارزش حال خسارت <sup>۶</sup>

منبع: یافته‌های تحقیق

#### جدول (۴): متغیرهای کمکی<sup>۷</sup> بکار رفته در مدل

معادله	نام متغیر
(Capital <sup>0.42</sup> )*EXP(Fractional Technology Growth Rate*Time)	تولید <sup>۸</sup>
EXP(-Consumption Discount Rate*Time)	عامل تنزیل مصرف <sup>۹</sup>
EXP(-Damages Discount Rate*Time)	عامل تنزیل خسارت <sup>۱۰</sup>
(1/Consumption Elasticity)*Consumption <sup>Consumption Elasticity</sup>	مطلوبیت مصرف <sup>۱۱</sup>
Pollution Elasticity*Pollution*Relative Impact of Pollution	خسارات آلودگی <sup>۱۲</sup>
Abatement Capital-0.05*Production	ضریب سرمایه کاهنده آلودگی <sup>۱۳</sup>
Propensity to Consume*Income	مصرف <sup>۱۴</sup>
Production	درآمد <sup>۱۵</sup>
Time	زمان <sup>۱۶</sup>

منبع: یافته‌های تحقیق

- 
- 9 Emission
  - 10 Self-Abatement
  - 11 Abatement Investment
  - 12 Abatement Depreciation
  - 13 Present Value Utility
  - 14 Present Value Damages
  - 1 Axillary Variables
  - 2 Production
  - 3 Consumption Discount Factor
  - 4 Damages Discount Factor
  - 5 Consumption Utility
  - 6 Pollution Damages
  - 7 Abatement Capital Coefficient
  - 8 Consumption
  - 9 Income
  - 10 Time

### ۳- شبیه‌سازی الگو

شبیه‌سازی در فهم موضوع و نتیجه‌گیری بهتر از حالت مختلف یک مسئله کمک بسیاری به محقق می‌کند. اگر فرض شود که نظام‌های انسانی نوعی سیستم بازخوردی هستند آنگاه حل مسئله در اینگونه نظام‌های پیچیده به فهم و درک روابط بین ساختارهای بازخورد و رفتارهای مشاهده شده نظام، نیاز دارد. معمولاً نظام‌های انسانی در مسائل پیچیده از طریق سیستم‌های بازخورد به مسئله واکنش نشان می‌دهند. برای شبیه‌سازی نیاز به برآورد و جمع‌آوری برخی پارامترها داریم. در تعیین برخی از پارامترها از مطالعه سایرین استفاده شده است. این پارامترها همراه با مأخذ جمع‌آوری شده در جدول شماره (۵) آورده شده است.

جدول (۵): پارامترهای برآورد شده و فرض شده الگو

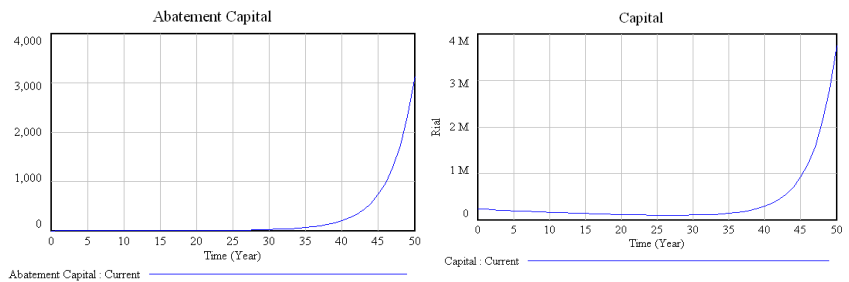
منبع	مقدار	پارامتر یا متغیر
هراتی (۱۳۹۱)	۰/۸	کشش آلودگی <sup>۱</sup>
استادزاد (۱۳۹۱)	۰/۲۱	کشش مصرف <sup>۲</sup>
استادزاد (۱۳۹۱)	۰/۴۲	کشش تولید نسبت به سرمایه <sup>۳</sup>
امینی و نشاط (۱۳۸۴)	۰/۰۳۷	نرخ استهلاک <sup>۴</sup>
کیارسی (۱۳۸۶)	۰/۰۹	نرخ رجحان زمانی <sup>۵</sup>
هوشمند (۱۳۸۷)	۰/۱۹	نرخ پیشرفت تکنولوژی <sup>۶</sup>
بودجه سال ۹۱	۰/۰۰۰۱۶	نسبت سرمایه‌گذاری به تولید برای کاهش آلودگی <sup>۷</sup>
واحد آمار ماهنامه اقتصاد ایران	۲۳۸۱۰۲	حجم سرمایه ثابت به قیمت ثابت ۱۳۷۶ در سال ۱۳۹۲ <sup>۸</sup>
فخرایی (۱۳۸۷)	۰/۸۱	میل نهایی به مصرف <sup>۹</sup>
فرض تحقیق	۰/۵	نرخ جذب <sup>۱۰</sup>
فرض تحقیق	۰/۰۳۷	نرخ استهلاک سرمایه کنترل آلودگی <sup>۱۱</sup>
فرض تحقیق	۰	میزان سرمایه‌گذاری اولیه کاهش آلودگی <sup>۱۲</sup>
فرض تحقیق	۰	میزان اولیه آلودگی <sup>۱۳</sup>

- 1 Pollution Elasticity
- 2 Consumption Elasticity
- 3 Production Elasticity
- 4 Depreciation Rate
- 5 Discount Rate
- 6 Fractional Technology Growth Rate
- 7 Abatement Investment Ratio
- 8 Initial Capital
- 9 Propensity to Consume
- 10 Absorb Rate
- 11 Fractional Abatement Depreciation Rate
- 12 Initial Abatement Capital
- 13 Initial Pollution



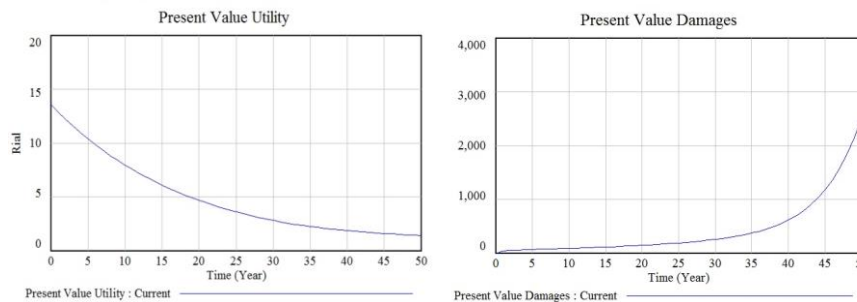
استادزاد(۱۳۹۱)	۰/۰۹	نرخ تنزیل مصرف <sup>۱</sup>
استادزاد(۱۳۹۱)	۰/۰۹	نرخ تنزیل خسارت <sup>۲</sup>
استادزاد(۱۳۹۱)	۰/۴۲	ضریب آلودگی <sup>۳</sup>

منبع: یافته‌های تحقیق



نمودار(۳): سرمایه فیزیکی

نمودار(۲): سرمایه کاهنده آلودگی



نمودار(۵): ارزش حال مطلوبیت

نمودار(۴): ارزش حال خسارت

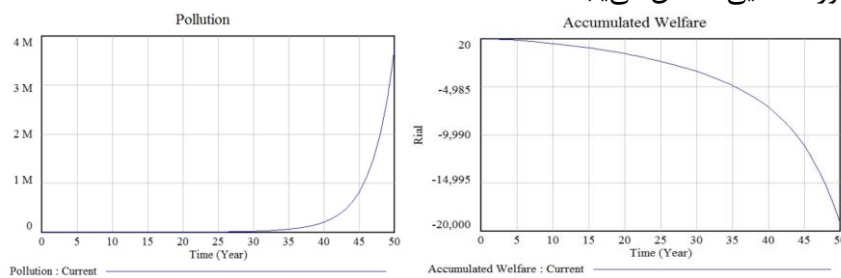
نمودار (۲) تا (۵) نتایج شبیه‌سازی را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار هر چند میزان استهلاک هر دو نوع سرمایه یکسان فرض شده است سرمایه فیزیکی و سرمایه یا مخارج کاهنده آلودگی بشکل نمایی در طول زمان در حال افزایش است. این افزایش حدود ۳۵ دوره زمانی طول می‌کشد تا اتفاق بیافتد. حتی سرمایه فیزیکی تا ۳۵ دوره زمانی نه تنها افزایش پیدا نمی‌کند بلکه کمی هم کاهش خواهد یافت. لذا وضعیت سرمایه فیزیکی و سرمایه کاهنده آلودگی را در ایران روند مطلوبی را نداشته و با توجه به پارامترهای موجود نتیجه مطلوبی حاصل نمی‌شود. با عنایت به روند آلودگی طی دوره آتی که روند نمایی و افزایشی داشته و با توجه به کشش بالای عدم مطلوبیت آلودگی، ارزش حال خسارت همانطور که از نمودار (۴) مشخص است در حال افزایش می‌باشد. دلیل این امر نرخ تقریباً ثابت مخارج کاهنده آلودگی در سالهای اولیه و افزایش آلودگی می‌باشد.

14 Consumption Discount Rate

15 Damages Discount Rate

16 Emission Coefficient

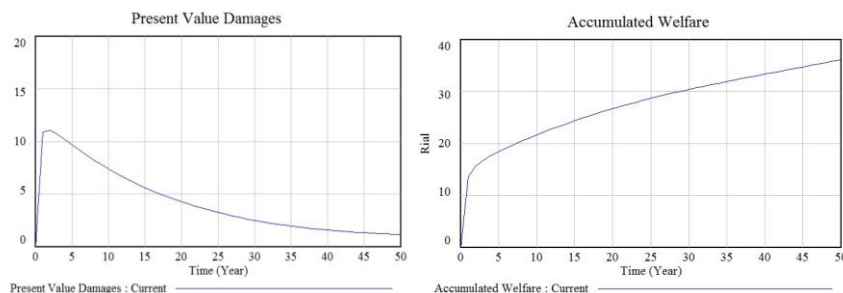
کشش پائین مصرف نیز باعث می‌شود ارزش حال مطلوبیت مصرف روند کاهشی داشته و نهایتاً رفاه انباشته کاهش یابد. با نگاه به هر دو بخش رفاه به صورت جداگانه روشن می‌شود که ارزش فعلی مطلوبیت مصرف در طول زمان کاهش می‌یابد در حالی که ارزش حال خسارات محیط‌زیستی با افزایش شدید در آلودگی افزایش می‌یابد. از آنجا که ارزش حال مصرف بشکل نمایی کاهش و ارزش حال خسارات محیط‌زیست بشکل نمایی افزایش می‌یابد و مصرف تاثیر مثبت و آلودگی تاثیر منفی بر تابع مطلوبیت و نهایتاً تابع رفاه اجتماعی داشته لذا همانطور که نمودار نشان می‌دهد رفاه انباشته به صورت نمایی کاهش می‌یابد.



نمودار (۷): میزان آلودگی

نمودار (۶): رفاه انباشته

می‌توان میزان رفاه انباشته را با اعمال سیاست‌های مناسب تحت تاثیر قرار داده و افزایش داد بعنوان نمونه چنانچه با سیاست‌های مناسب بتوانیم میزان کشش آلودگی را از  $0/8$  به  $0/2$  کاهش دهیم بگونه ای که آلودگی خسارت کمتری بر محیط‌زیست وارد سازد آنگاه می‌توان این روند کاهشی رفاه انباشته را به روند افزایشی بشکل زیر تبدیل کرد. شبیه سازی صورت گرفته روند تغییر آلودگی و رفاه انباشته را با کشش آلودگی پایین بصورت نمودار (۸) و (۹) نشان می‌دهد. در سیستم پویا می‌توان اثر هر نوع سیاست موثر همانند سیاست مالیات یا یارانه بر آلودگی را که روی آلودگی موثر است را با شبیه‌سازی مورد بررسی قرار داده و این سیستم دینامیک می‌تواند مسیر بهینه را بسادگی شناسایی نماید.



نمودار (۹): ارزش حال خسارت

نمودار (۸): رفاه انباشته

#### ۴- نتیجه‌گیری

رشد اقتصادی با آسیب‌های زیست‌محیطی همراه است. آلودگی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی مهم‌ترین پیامد جانبی منفی موثر بر رفاه افراد جامعه می‌باشد. از این رو هدف اصلی این تحقیق ارزیابی مسیر رشد اقتصادی با در نظر گرفتن آلودگی به عنوان یک محصول جانبی تولید می‌باشد. استفاده از تکنیک سیستم پویا یکی از تفاوت‌های اصلی این تحقیق با سایر مطالعات در این زمینه می‌باشد. اقتصاد در این الگو شامل تعداد زیادی خانوار مشابه است. می‌توان رفتار تمام خانوارهای موجود را توسط یک خانوار نماینده یا فرد نشان داد. خانوار با در نظر گرفتن مسیر مصرف و آلودگی به دنبال حداکثرسازی رفاه بین دوره‌ای می‌باشد. در این مطالعه پس از رسم نمودارهای علی-حلقوی و انباشت-جریان و شبیه‌سازی الگوی ساخته شده، مشخص شد که در ایران بدلیل افزایش ارزش حال خسارت و کاهش ارزش حال مطلوبیت، رفاه انباشته کاهش می‌یابد. رفاه انباشته با سیاست‌های کاهش آلودگی مثل سیاست‌های مالیاتی یا تشویقی و یا با انجام هزینه‌هایی جهت کنترل و پاکسازی محیط‌زیست تحت تاثیر قرار می‌گیرد. کنترل آلودگی می‌تواند مطلوبیت مصرف‌کننده را افزایش دهد لذا ارزش حال مطلوبیت افزایش پیدا می‌کند و از طرف دیگر خسارتهای ناشی از آن بدلیل کنترل‌های صورت گرفته پایین می‌آید و ارزش حال خسارت کاهش یافته و نهایتاً رفاه انباشته می‌تواند افزایش یابد. بنابراین اگر هدف نهایی در جامعه افزایش رفاه اجتماعی باشد بایستی سیاست‌گذاران اقتصادی سیاست‌هایی را در پیش بگیرند که روند ارزش حال خسارت و مصرف بشکل معکوس درآید.

طبیعی است که نمی‌توان با اعتبارات عمرانی ناچیز برای سازمان حفاظت محیط‌زیست و قوانین نه چندان سخت برای شرکتهای آلاینده محیط‌زیست و کشش بالای آلودگی که عدم مطلوبیت ناشی از آن را بشدت تحت تاثیر قرار می‌دهد به هدف مطرح شده دست یافت. همانطور که مشخص شد چنانچه سیاست‌گذاران بتوانند کشش آلودگی را کاهش دهند آنگاه روند نزولی رفاه انباشته به روند صعودی تبدیل می‌شود. لذا سیاست‌های بهینه در بهبود رفاه جامعه موثر است.

## فهرست منابع

۱. استادزاد، علی حسین (۱۳۹۱). تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در قالب یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه شیراز.
۲. استادزاد، علی حسین، و بهلولی، پریسا (۱۳۹۴). تاثیر انرژی‌های تجدیدپذیر بر منحنی زیست‌محیطی کوزنتس در ایران. فصلنامه نظریه‌های کاربردی اقتصاد، ۲(۲)، ۱۲۷-۱۵۴.
۳. اصغرپور، حسین، و موسوی، سعید (۱۳۸۸). آزمون فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس: کاربرد تکنیک همجمعی تلفیقی. فصلنامه علوم اقتصاد، ۱(۳)، ۱۹-۱.
۴. امینی، علیرضا، و حاجی محمد، نشاط (۱۳۸۴). برآورد سری زمانی موجودی سرمایه در اقتصاد ایران طی دوره زمانی ۱۳۹۱-۱۳۳۸. مجله برنامه و بودجه، ۱۰(۱)، ۵۳-۸۶.
۵. بهبودی، داوود، و سجودی، سکینه (۱۳۸۹). محیط‌زیست و رشد اقتصادی پایدار: مطالعه موردی ایران. فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، ۴(۲)، ۱۸-۱.
۶. پژویان، جمشید، و مرادحاصل، نیلوفر (۱۳۸۶). بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا. پژوهش‌های اقتصادی، ۷(۴)، ۱۶۰-۱۴۱.
۷. پورکاظمی، محمد حسین، و ابراهیمی، ایلناز (۱۳۸۷). بررسی منحنی کوزنتس زیست‌محیطی در خاورمیانه. پژوهش‌های اقتصادی ایران، ۱۰(۳۴)، ۷۱-۵۷.
۸. زیبایی، منصور، و شیخ زین الدین، آذر (۱۳۸۸). تنوع زیست‌محیطی و رشد اقتصادی: تحلیل مقطعی کشوری (با تاکید بر کشورهای در حال توسعه). مجله محیط‌شناسی، ۳۵(۴۹)، ۷۲-۶۱.
۹. صمدی، علی حسین و همکاران (۱۳۹۸). سیاست بهینه زیست‌محیطی، نااطمینانی و کیفیت نهادی: مطالعه موردی ایران. پژوهش‌های رشد و توسعه پایدار (پژوهش‌های اقتصادی)، ۱۹(۱)، ۸۲-۵۳.
۱۰. فخرایی، عنایت‌اله، و منصوری، سیدامین (۱۳۸۷). تخمین تابع مصرف بلندمدت به روش همجمعی ARDL و محاسبه رابطه مصرف کوتاه‌مدت در ایران. فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسی‌های اقتصادی سابق)، ۵(۲)، ۲۳-۳۸.
۱۱. کیارسی، مهرباب (۱۳۸۶). نرخ بهینه مالیات و مخارج دولتی در چارچوب الگوی سه بخشی رشد درونزا، الگوی ایران (پایان‌نامه کارشناسی ارشد). دانشگاه اصفهان.

۱۲. مجدزاده طباطبایی، شراره، و استادزاد، علی حسین (۱۳۹۴). بررسی سیاست‌های کنترل آلودگی با استفاده از تحلیل ایستای مقایسه‌ای در چارچوب یک مدل رشد درون‌زا: مطالعه موردی اقتصاد ایران. فصلنامه مدل‌سازی اقتصادی، ۹(۲۹)، ۸۵-۱۰۵.

۱۳. موسوی، سیدکاظم، سلمانپور، علی و شکوهی فرد، سیامک (۱۳۹۶). اثر رشد اقتصادی، مصرف انرژی و توسعه مالی بر آلودگی محیط‌زیست در ایران طی دوره ۱۳۶۵-۱۳۹۵. فصلنامه مطالعات علوم محیط‌زیست، ۲(۱)، ۱۱۱-۱۲۰.

۱۴. ناهیدی امیرخیز، محمدرضا، سلمانپور زنون، علی و شکوهی فرد، سیامک (۱۳۹۷). تجزیه و تحلیل تئوریک و تجربی منحنی آلودگی محیط‌زیست کوزنتس در ایران طی دوره ۱۳۶۵ تا ۱۳۹۵. فصلنامه محیط‌زیست، ۳(۵۹)، ۴۶-۲۹.

۱۵. هراتی، جواد، اسلاملوئیان، کریم و قطمیری، محمدعلی (۱۳۹۱). تعیین مالیات زیست‌محیطی بهینه در الگوی رشد تعمیم یافته با وجود انتقال تکنولوژی پاک و کیفیت محیط‌زیست: نمونه اقتصاد ایران. فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، ۲(۷)، ۹۷-۱۲۶.

۱۶. هوشمند، محمود، و همکاران (۱۳۸۷). نقش سرمایه انسانی و فیزیکی در رشد اقتصادی ایران با استفاده از الگوی خود بازگشت با وقفه‌های توزیعی. فصلنامه اقتصاد مقداری (بررسیهای اقتصادی سابق)، ۵(۲)، ۶۳-۸۳.

1. Aghion, P. & Howitt, P. (1992). A Model of Growth through Creative Destruction. *Econometrica*, 60(3), 23-51.
2. Amini, Alireza and Haji Mohammad Neshat. (2005). Estimating the Time Series of Capital Inventory in the Iranian Economy During 1959-2002. *Journal of Planning and Budgeting*, 10(1), 53-86. (In Persian).
3. Annicchiarico, B. & Dio, D. F. (2015). Environmental policy and macroeconomic dynamics in a new Keynesian model. *Journal of Environmental Economics and Management*, 69(4), 1-21.
4. Ariga, J. (2002). Internalizing Environmental Quality in a Simple Endogenous Growth Model. Working Paper, Department of Agricultural and Resource Economics University of Maryland Collge Park, MD 20742.
5. Asako, K. (1980). Economic Growth and Environmental Pollution under the Max-Min Principle. *Journal of Environmental Economics and Management*, 7(3), 157-183.

6. Asgharpour, H., & Mousavi, S. (2009). Kuznets Environmental Hypothesis Test: Application of Integrated Consolidation Technique. *Quarterly Journal of Economics*, 1(3), 1-19. (In Persian).
7. Bartoszczuk, P. (2005). Optimisation of Consumption with Emission. Paper presented at the 23th, International Conference of the System Dynamics Society, July 17-21, in Boston, MA, USA.
8. Beckerman, W. (1992). Economic growth and the environment: Whose growth? Whose environment?. *World Development*, 20(4), 481-496.
9. Behbudi, D. and Sojoodi, S. (2010). Environment and Sustainable Economic Growth: A Case Study of Iran. *Economical Modeling*, 4(12), 1-18. (In Persian).
10. Bender, D. (1976). *Makroekonomik des Umweltschutzes* (Macroeconomics of environmental protection). Vandenhoeck & Ruprecht, Goettingen.
11. Bijgaart, I. and Smulders, S. (2014). Business Cycles and Environmental policy, Give the Dirty Firms a Break. Tilburg University Department of Economics, Center, and TSC.
12. Bretschger, L., Vinogradova, A. (2019). Best policy response to environmental shocks: Applying a stochastic framework. *Journal of Environmental Economics and Management*, 97, 23-41
13. Buchholz, Wand Cansier, D. (1980). Modelle oekologisch begrenzten Wachstums. *Zeitschrift fuer Wirtschafts- und Sozialwissenschaften* 100: 141-161.
14. Cropper, M. L. (1980). Pollution Aspects of Nuclear Energy Use. *Journal of Environmental Economics and Management*, 7, 334-352.
15. Clemens, C. and Soretz, S. (1997). Welfare Effects of Income Taxian in a Model of Stochastic Growth, Presented at the European Annual Meeting of the Econometric Society (ESEM) in Toulouse. August 1997 and at the Jahrestagung des Varies Fur Socialpolitik in Bern September 1997.
16. Deacon, R, T. and Norman, C, S. (2004). Is the environmental Kuznets curve an empirical regularity?. Escholarship Repository, University of California, Santa Barbara 93106.
17. Fakhrei E., Mansouri S. (2008). Estimating Longrun Consumption Function Using ARDL Cointegration Metod and Measurement Shortrun Consumption Function in IRAN. *Quantitative Economics Quarterly* (Former Economic Reviews), 5(2), 23-38. (In Persian).
18. Fisher, A. C., Krutilla, J. V., & Cicchetti, S. (1972). The Economics of Environmental Preservation: A Theoretical and Empirical Analysis. *American Economic Review*, 62, 605-619.
19. Forster, B. A. (1973). Optimal Consumption Planning in a Polluted Environment. *Economic Record*, 49, 534-545.

20. Grossman, G. M. and Helpman, E. (1991). *Innovation and Growth in the Global Economy*. Cambridge, Mass.
21. Harati, Javad, Eslamlouyan, Karim, & Qhetemiri, Mohammad Ali, (2012). The Optimal Environmental Tax in a Generalized Growth Model with Clean Technology Diffusion and Environment Quality: the Case of Iran. *Journal of Economic Modeling Research*, 2(7), 63-83. (In Persian).
22. Hooshmand, Mahmood, et al. (2008). The Role of Human and Physical Capital in Iranian Economic Growth Using the Autoregressive Distributed lag Model. *Quantitative Economics Quarterly (Former Economic Reviews)*, 5(2), 63-83. (In Persian).
23. Keeler, E. , Spence, M., & Zeckhauser, R. (1971). The Optimal Control of Pollution. *Journal of Economic Theory*, 4, 19-34.
24. Kiarasi, Mehrab, (2007). Optimal Tax Rate and Government Expenditure in the Framework of Three-part Endogenous Growth Model, Iran Model. MA Thesis, University of Isfahan. (In Persian).
25. Li, Hui, Therese Grijalva, & Robert P. Berrens, (2007). Economic growth and environmental quality: a meta-analysis of environmental Kuznets curve studies. *Economics Bulletin*, 17(5), 1-11.
26. Lintunen, Jussi., & Lauri, Vilmi. (2013). On Optimal Emission control– Taxes. Substitution and Business Cycles. *Research Discussion Papers 24*. Bank of Finland.
27. Majdzadeh Tabatabaei, S. and Ostadzad, A. (2015). Study of Pollution Abatement Policy by Using Comparative Static Analysis and Endogenous Growth Model: Case Study of Iran Economy. *Economical Modeling*, 9(29), 85-105. (In Persian).
28. Martinez, Z. & Bengochea M. A. (2003). Testing for an Environmental Kuznets Curve in Latin-American Countries. *Revista de Ana'lysis Econo'mico*, 18(1), 3-26.
29. Meadows, H. D. et al. (1972). *The Limits to Growth, A Report for the Club of Rome*. New York.
30. Mohtadi, H. (1996). Environment, Growth and Optimal Policy design. *Journal of Public Economics*, 63, 119-140.
31. Mousavi, S., Salmanpour, A. and Shokouhi Fard, S. (2017). The impact of economic growth, energy consumption and financial development on the environment pollution in Iran during 1986 -2016. *Journal of Environmental Scienses Stadies*, 2(1), 111-120. (In Persian).
32. Nahidi, M., Salmanpour, A. & Shkouhi Fard, S. (2018). Theoretical and Empirical Analysis of the Kuznetz Pollution Curve in Iran during the Period of 1395-1365. *Environment*, 3(59), 29-46. (In Persian).

33. Ostadzad, A. (2012). Determining the Optimal Contribution of Renewable Energy in a Sustainable Growth Model: The Case of Iran. MA Thesis, Shiraz University. (In Persian).
34. Ostadzad, A. & Bahlouli, P. (2015). The Impact of Renewable Energy on the Environmental Kuznets Curve in Iran. *Applied Theories of Economics*, 2(2), 127-154. (In Persian)
35. Pajooyan J, & Moradhasel N. (2007). Assessing the relation between economic growth and air pollution. *The Economic Research*, 7(4), 141-160. (In Persian).
36. Pourkazemi, M. & Ebrahimi, I. (2008). Investigation of Environmental Kuznets Curve in the Middle East. *Iranian Economic Research*, 10(34), 57-71. (In Persian).
37. Romer, P. A. (1990). Endogenous Technological Change. *Journal of Political Economy*, 98, 71-102.
38. Samadi, A. & et al. (2019). Optimal Environmental Policy, Uncertainty and Institutional Quality: The Case of Iran. *The Economic Research*, 19(1), 53-82. (In Persian).
39. Shahbaz, M., Lean, H. H. & Shahbaz Sh, M. (2010). Environmental Kuznets Curve and the Role of Energy Consumption in Pakistan. Development Research Unit, Discussion Paper DEVDP 10/05.
40. Soretz, s. (2003). Stochastic Pollution and Environmental Care in Endogenous Growth Model. *The Manchester School*, 71(4), 448-469.
41. Stern, D. (2004). The Rise and Fall of the Environmental Kuznets Curve. *World Development*, 32(8), 1419-1439.
42. Strom, S. (1973). Economic Growth and Biological Equilibrium. *Swedish Journal of Economics*, 75, 64-75.
43. Tsujimura, M. (2020). Pollution reduction policies and their associated costs under uncertainty. *The Social Sciences*, 50(2), 19-41.
44. Zibaei, M. & Sheykh Zeynaldin, A. (2009). Environmental diversity and economic growth: A cross-sectional analysis of the country (with emphasis on developing countries). *Journal of Environmental Studies*, 34(49), 61-79. (In Persian).