

## استخراج منحنی پویای محیط زیست کوزنتس

مجید احمدیان،\* قهرمان عبدلی،\*\* فرخنده جبل عاملی،\*\*\* محمود  
شعبان خواه\*\*\*\* و سید عادل خراسانی\*\*\*\*\*

تاریخ وصول: ۱۳۹۷/۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱/۲۴

### چکیده

با توجه به اهمیت مبحث محیط زیست در سال‌های اخیر، هدف اصلی در این مقاله استخراج منحنی پویای محیط زیست است. در این پژوهش با در نظر گرفتن یک اقتصاد بسته، یک بخش از سرمایه برای تولید کالا استفاده می‌شود که موجب تولید آلودگی و تخریب محیط زیست می‌شود. سرمایه باقی مانده به منظور کاهش آلودگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که منحنی محیطی زیست کوزنتس در خارج از شرایط پایدار و بهینه قرار دارد. لازم به ذکر است این مدل پیشنهاد می‌کند که اقتصاد باید یک بخشی از سرمایه خود را برای جلوگیری و کاهش فعالیت‌های مخرب محیط زیست تخصیص دهد. به علاوه تخریب محیط زیست در هر مرحله‌ای رخ می‌دهد و به این دلیل است که سرمایه کافی برای ممانعت و کاهش فعالیت‌های مخرب محیط زیست در مراحل گذشته، تخصیص داده نشده است (تخصیص بهینه در این شرایط نشان شده است): بنابراین، برای بازیابی کیفیت محیط زیست و بهبود آن، به سرمایه گذاری مناسبی نیاز است تا ذخیره سرمایه کافی در اقتصاد نیز ایجاد گردد که با حرکت از سرمایه گذاری نامطلوب به سرمایه گذاری مطلوب در جهت بهبود کیفیت محیط زیست، بر روی منحنی، سطح آلودگی کاهش یابد.

طبقه بندی JEL: H41, O40, Q20, C10

واژه‌های کلیدی: منحنی محیط زیست پویای کوزنتس، فعالیت‌های کاهش آلودگی، سرمایه، تابع همیلتون، وضعیت پایدار.

\* استاد و عضو هیات علمی دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران. تهران، ایران.

\*\* استاد و عضو هیات علمی دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران. تهران، ایران.

\*\*\* دانشیار و عضو هیات علمی دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران. تهران، ایران.

\*\*\*\* استادیار و عضو هیات علمی دانشکده فنی دانشگاه تهران. تهران، ایران.

\*\*\*\*\* دکترای اقتصاد، دانشگاه تهران، دانشکده اقتصاد. تهران، ایران. (نویسنده مسئول)

([adelkhorasani@gmail.com](mailto:adelkhorasani@gmail.com))

## ۱- مقدمه

عموماً بحث در خصوص منحنی محیط زیست کوزنتس<sup>۱</sup> با در نظر گرفتن موضوع رشد و سیاست‌های مرتبط با آن است. فرضیات موجود در تحقیقات اظهار دارند، افزایش شدید درآمدها منجر به تخریب محیط زیست می‌شود. از جهتی، سطوح بالای درآمدی ممکن است تخریب محیط زیست را کاهش دهد (بکرمن<sup>۲</sup>، ۱۹۹۲)؛ بنابراین، رشد اقتصادی احتمالاً پیش شرط بهبود محیط زیست است (باگاواتی<sup>۳</sup>، ۱۹۹۳). با این تفاسیر، رشد می‌تواند یک راه قدرتمند برای بهبود کیفیت محیط زیست در کشورهای توسعه یافته است (پانایوتا<sup>۴</sup>، ۱۹۹۳). بر طبق بحث‌های انجام شده در این خصوص، رشد اقتصادی در نهایت برای محیط زیست سودمند است؛ اما مشکل و معضل مسیر توسعه است که چگونگی ارتباط کیفیت محیط زیست و رشد اقتصادی را نمایش می‌دهد.

با آغاز دهه ۱۹۹۰، داده‌های تجربی برای آلودگی‌های مختلف، در سیستم نمایش جهانی محیط زیست<sup>۵</sup>، خلاصه اطلاعات محیط زیست از سازمان همکاری اقتصادی و توسعه<sup>۶</sup>، تخمین انتشار و تولید دی اکسید کربن در آزمایشگاه بین المللی اوک ریج<sup>۷</sup> در دسترس قرار گرفت.

این اطلاعات، منجر به بررسی‌های بی‌شماری در خصوص آزمون نمودن (بررسی اعتبار) فرضیه منحنی یو شکل در خصوص شاخص‌های درآمد و کیفیت محیط زیست گردید. اولین بررسی و مطالعه تجربی در هیات بین‌المللی تحقیقات اقتصادی<sup>۸</sup> توسط گراسمن و کروگر<sup>۹</sup> در سال ۱۹۹۱ نگاشته و ارائه گردید.

با توجه به هدف این مقاله که استخراج منحنی پویای محیط زیست کوزنتس است، باید بیان نمود که مشاهدات، مدل‌های نظری و تجزیه و تحلیل‌ها باید دارای یک سری شرایطی باشند تا منحنی محیط زیست کوزنتس ایجاد شود؛ بنابراین ارزیابی مدل‌ها براساس تجزیه و تحلیل‌های آنها و همچنین مقایسه عملکردهای آنها

<sup>1</sup> Kuznets

<sup>2</sup> Beckerman

<sup>3</sup> Bhagavathi

<sup>4</sup> Panayotou

<sup>5</sup> Global Environmental Monitoring System (GEMS)

<sup>6</sup> Organization for Economic Co-operation & Development (OECD)

<sup>7</sup> Oak Ridge National Laboratory (ORNL)

<sup>8</sup> The National Bureau of Economic Research (NBER)

<sup>9</sup> Grossman & Krueger

می‌تواند بسیار مفید واقع شود. منتهی به مراتب شواهد تجربی تنها بر پایه ساختارها و فرم‌هایی استوار هستند که منجر به کاهش آلودگی شوند.

باتوجه به مطالب بیان شده و بنا به دلایل زیر، انجام این تحقیق ضرورت دارد:

۱- برای بازیابی کیفیت محیط زیست و بهبود آن، یک سرمایه‌گذاری مناسب نیاز است تا ذخیره سرمایه به میزان کافی در اقتصاد ایجاد گردد. ضمناً با حرکت از سرمایه‌گذاری نامناسب به سرمایه‌گذاری مناسب در جهت بهبود کیفیت محیط زیست، سطح آلودگی کاهش می‌یابد؛ بنابراین به تناسب آن منحنی یو برعکس شکل رابطه آلودگی و رشد اقتصادی را نشان می‌دهد. به علاوه تخصیص بهینه سرمایه برای جلوگیری از فعالیت‌های مخرب آلودگی سبب کاهش سطح آلودگی می‌شود که این مورد نیز وارد مدل سازی‌ها می‌گردد.

۲- این نکته را نیز می‌توان بیان نمود که بیشتر مطالعات موجود بر روی وضعیت بهینه محیط زیست بدون توجه به سرمایه و دارایی تولیدات به عنوان یکی از اجزای محیط زیست متمرکز می‌باشند؛ منتهی در این تحقیق به سرمایه و دارایی تولیدات به عنوان یکی از اجزای محیط زیست توجه شده است.

به طور کل باید اظهار نمود که در این بررسی به توضیح و تفسیر منحنی محیط زیست کوزنتس در شکل پویا پرداخته شده است. ضمناً با در نظر گرفتن محیط زیست به عنوان یک کالای اقتصادی خوب (یک متغیر ذخیره) در تابع تولید و تابع مطلوبیت به عنوان یک عامل نوعی، اثرگذار است. به علاوه اقتصادی در نظر گرفته می‌شود که دربرگیرنده یک عامل اقتصادی است که خود هم به عنوان تولید کننده و همچنین به عنوان مصرف کننده عمل می‌کند.

در این مقاله، بودجه خانوار به صورت مرکب و محیط زیست به شکل متغیر ذخیره (منابع طبیعی ذخیره نوعی عبارتند از: زمین، هوا، آب، گیاه، جانوران و ... است) است؛ بنابراین در هر شرایطی از زمان، عامل نوعی میزان بهینه‌ای از ذخیره سرمایه برای دو نهاد تولید و فعالیت‌های جلوگیری کننده تخصیص می‌دهد که شرط تعادل میان سرمایه محیط زیست و سرمایه تولید (برابری تولید نهایی) در دنیای بدون آلودگی است.

با توجه به توضیحات بیان شد، سؤال اصلی این تحقیق عبارت است از: آیا منحنی محیط زیست پویای کوزنتس<sup>۱۰</sup> با در نظر گرفتن یک اقتصاد بسته و تقسیم سرمایه در دو بخش تولید و بهبود آلودگی قابل استخراج است؟

## ۲- مبانی نظری

مبانی نظری در حوزه منحنی محیط زیست کوزنتس را می‌توان به چهار دسته تقسیم نمود (پانایوتا، ۲۰۰۰): مدل‌های رشد بهینه‌یابی بر پایه مدل رشد رمزی (توسط کوپ و تول<sup>۱۱</sup> در سال ۱۹۹۹ نیز ارائه شده است).

دسته اول را تشکیل داده‌اند (براک، ۱۹۷۷؛ تهونن و کولووینن<sup>۱۲</sup>، ۱۹۹۳). اینها مدل‌های بهینه‌یابی پویا می‌باشند که مسئله آن حداکثر نمود مطلوبیت در حضور بی‌نهایت مصرف‌کننده است و از طریق نظریه کنترل بهینه حل می‌شوند؛ ضمناً برخی از این مدل‌ها به اثرات آلودگی بر روی مسیر رشد توجه می‌نمایند (وان در پلونگ و ویتهاگن<sup>۱۳</sup>، ۱۹۹۱). در حالی که مابقی بررسی بر روی نفرین منابع طبیعی متمرکز است (سولو<sup>۱۴</sup>، ۱۹۸۶).

در دسته بندی دوم، نه تنها از آلودگی به عنوان یک جزء از تولید و تابع تولید توجه می‌شود، بلکه محیط زیست را نیز به عنوان عاملی از تولید در نظر می‌گیرند (لوپز، ۱۹۹۴؛ چیکیلینسکی<sup>۱۵</sup>، ۱۹۹۴؛ جلدراپ و ویتهاگن<sup>۱۶</sup>، ۲۰۰۰). در این گروه، کیفیت محیط زیست را می‌توان با حجمی از خسارتی که به تولید وارد و یا آلودگی که ایجاد می‌شود، اندازه‌گیری نمود.

گروه سوم متشکل از مدل‌های رشد درونزا می‌باشند که از تابع تولید نئوکلاسیک‌ها برای بدست آوردن مدل‌های رشد بهینه استفاده نموده‌اند (هوفکس<sup>۱۷</sup>، ۱۹۹۶). براساس کار و مطالعه‌ای از رومر این مدل‌ها براساس بازدهی ثابت یا فزاینده نسبت به مقیاس برای عوامل تولید مشخص شده‌اند. در این دسته بندی محیط

<sup>10</sup> Dynamic Environmental Kuznets Curve

<sup>11</sup> Koop & Tole

<sup>12</sup> Tahvonon & Kuuluvainen

<sup>13</sup> Van der Ploeg & Withagen

<sup>14</sup> Solow

<sup>15</sup> Chichilinsky

<sup>16</sup> Geldrop & Withagen

<sup>17</sup> Hofkes

زیست یا آلودگی به عنوان یک عامل تولید و کیفیت محیط زیست به عنوان یک جزء از تابع مطلوبیت است. در این دسته دو مدل تعادل عمومی رشد و محیط زیست به همراه تجارت موجود است (کوپلند و تیلور<sup>۱۸</sup>، ۱۹۹۴).

گروه چهارم در سال ۱۹۹۹ نیز به برآورد هزینه محدودیت‌های زیست محیطی در کشور نروژ و از طریق یک مدل پویا برای محیط زیست پرداختند و نام این بررسی خود را شکاف (کنترل) محیط زیست نامیدند. شبیه‌سازی آنها نشان می‌دهد که کاهش شکاف سبب می‌شود که رشد اقتصادی در حدود ۰٫۱ درصد در سال و رشد سالانه ثروت (از جمله ثروت‌های زیست محیطی) در حدود ۰٫۲۳ درصد تا سال ۲۰۳۰ کاهش می‌یابد (سلدن و سانگ، ۱۹۹۵). رزوسودارمو و توربک<sup>۱۹</sup> (۱۹۹۶) نیز با استفاده از ماتریس حسابداری اجتماعی و شبیه‌سازی‌هایی نشان دادند که بهبود کیفیت محیط زیست، مشکلات سلامتی را کاهش و همچنین رشد اقتصادی را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

در ادامه واژگان تخصصی تعریف و سپس مدل تحقیق بیان می‌گردد؛

منحنی محیط زیست کوزنتس: منحنی محیط زیست کوزنتس بیان می‌کند که تخریب محیط زیست همیشه با افزایش رشد اقتصادی، بیشتر نمی‌شود. در حقیقت تئوری منحنی محیط زیست کوزنتس ادعا می‌کند سطحی از درآمد وجود دارد که اگر جامعه به آن برسد، کیفیت محیط زیست، همزمان با افزایش درآمد، بهبود خواهد یافت. این بهبود یا ناشی از تغییر در روش تولید یا ناشی از تغییر در سبک مصرف است؛ با فرض درستی این تئوری، دستیابی به سطح استاندارد زندگی و محیط زیست تمیز و پاکیزه امکان پذیر می‌شود (خوش اخلاق و همکاران، ۱۳۹۹).

وضعیت پویا: تئوری‌های اقتصادی را می‌توان به دو صورت پویا و ایستا مورد مطالعه و تجزیه و تحلیل قرار داد. هرگاه مطالعه و بررسی در طول زمان است، به آن پویا (دینامیک) گفته می‌شود؛ یعنی متغیرهای اقتصادی و علت پدیده‌های اقتصادی طی زمان در نظر گرفته می‌شوند (شریف، ۱۳۸۷).

وضعیت پایدار<sup>۲۰</sup>: حالت استوار یا مداوم را گویند. به طور کلی، در اقتصاد با حالتی روبرو شده که قیمت‌های نسبی در طول زمان ثابت هستند. در این صورت

<sup>18</sup> Copeland & Taylor

<sup>19</sup> Resosudarmo & Thorbecke

<sup>20</sup> Steady State

تعادل در وضع یکنواخت به حالتی اطلاق می‌شود که در آن نسبت به دو قیمت کالاهای  $i$  و  $z$  در هر لحظه از زمان ثابت بماند (آنتونس<sup>۲۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۵). محیط زیست: محیط زیست عبارت ترکیبی از دانش‌های متفاوت که شامل مجموعه‌ای از عوامل زیستی است که بر زندگی یک فرد یا گونه تأثیر گذاشته و از آن تأثیر می‌پذیرد. امروزه این تعریف غالباً به انسان و فعالیت‌هایش مرتبط بوده و می‌توان محیط زیست را مجموعه‌ای از عوامل طبیعی کره زمین، همچون هوا، آب، اتمسفر، صخره، گیاهان و غیره خلاصه نمود (روانشادنی، ۱۳۹۲).

متغیر ذخیره<sup>۲۲</sup>: متغیر ذخیره، متغیری است که مرتبط با یک زمان مشخص است (جون رابینسون<sup>۲۳</sup>، ۱۹۸۲).

تابع همیلتون<sup>۲۴</sup>: در روش کنترل بهینه باید یک تابع تحت عنوان رابطه همیلتون معرفی و با استفاده از آن شرط لازم مرتبه اول را استخراج نمود. در روش کنترل بهینه با استفاده از رابطه همیلتونین، ابتدا مسیر بهینه متغیر کنترل مشخص شده و سپس براساس رابطه‌ای که بین متغیر حالت و متغیر کنترل وجود دارد، مسیر بهینه متغیر حالت را نیز می‌توان استخراج کرد (مهرآرا و همکاران، ۱۳۹۱).

تابع تولید<sup>۲۵</sup>: تابع تولید ارتباط میان منابع، خدمات و محصول تولید شده در واحد زمان است (فرهنگ، ۱۳۷۹). تابع تولید نشان می‌دهد چگونه با ترکیب حداقل عوامل تولید می‌توان حداکثر محصول را بدست آورد (قدیری اصل، ۱۳۹۱).

تابع مطلوبیت: مطلوبیت کیفیتی است که کالایی را برای افراد خواستنی می‌کند (روزبهان، ۱۳۸۸). به بیان دیگر، مطلوبیت عبارت است از رضایت مصرف کننده که از مصرف کالا و خدمات حاصل می‌شود (فرجی، ۱۳۸۹). ضمناً کلمه کلیدی مطلوبیت رضایت است نه سودمندی (جیمز فتال<sup>۲۶</sup>، ۱۹۹۰).

تابع سرمایه‌گذاری<sup>۲۷</sup>: سرمایه‌گذاری نوسان بارتترین جزء مخارج کل است که در اقتصاد کلان مورد بحث قرار می‌گیرد (اخوی، ۱۳۷۶). سرمایه‌گذاری، فرآیندی است

<sup>21</sup> Antunes

<sup>22</sup> Stock Variable

<sup>23</sup> Joan Robinson

<sup>24</sup> Hamilton

<sup>25</sup> Production Function

<sup>26</sup> James Fetal

<sup>27</sup> Investment Function

که در آن، کالاهای سرمایه‌ای برای تولید کالاها و یا خدمات دیگر بکار می‌رود (تفضلی، ۱۳۷۳).

تابع رفاه اجتماعی<sup>۲۸</sup>: تابع رفاه اجتماعی ضابطه‌ای است که به وسیله آن می‌توان ترجیحات تمام افراد را در قالب یک ترجیح اجتماعی جمع و یا به عبارت بهتر ترکیب نمود (واریان<sup>۲۹</sup>، ۲۰۰۹).

حال قبل از بیان مدل و انجام سایر بررسی‌ها، به مبانی نظری موجود در خصوص منحنی محیط زیست کوزنتس پرداخته می‌شود؛ از طرف گروهی از محققان از جمله میدوز<sup>۳۰</sup> (۱۹۷۲) بر این باور هستند که سطح بالا از فعالیت‌های اقتصادی (مصرف و تولید) همواره نیازمند مقادیر بیشتری از انرژی و مواد اولیه بوده و فرآورده‌های زائد بیشتری بجا می‌گذارد. استخراج بی‌رویه منابع طبیعی، انباشت ضایعات و تمرکز بر روی آلاینده‌ها، می‌تواند ظرفیت زیست کره زمین را درهم بشکند و در نهایت با وجود افزایش درآمد به تخریب کیفیت محیط زیست و کاهش رفاه بشر منجر شود؛ بنابراین جهت حفظ محیط زیست و حمایت از فعالیت‌های اقتصادی، رشد اقتصادی باید متوقف شده و به سمت یک حالت پایدار اقتصادی حرکت نمود. از طرف دیگر، افرادی نیز معتقدند که سریعترین راه بهبود محیط زیست از مسیر رشد اقتصادی صورت می‌گیرد؛ بدین گونه که با افزایش سطوح درآمدی، تقاضا برای کالا و خدماتی که کمتر نیازمند ورودی می‌باشند، افزایش می‌یابد و این خود منجر به ترویج و پذیرش معیارهای حفاظت محیط زیستی در فرآیند تولید می‌شود. در این راستا بکرمن (۱۹۹۲) اشاره می‌کند: بیشترین همبستگی بین درآمد و گسترش پذیرش معیارهای حفاظت زیست محیطی، نشان می‌دهد که در بلندمدت، قویترین راه برای بهبود محیط زیست، ثروتمند شدن است. عده ای نیز همانند گروسمن و کروگر (۱۹۹۳) ادعا می‌کنند که وضع قوانین زیست محیطی با تاثیر بر کاهش رشد اقتصادی، در عمل باعث کاهش کیفیت محیط زیست می‌شوند. با این حال، پژوهشگرانی همچون شافیک و بندوپادیا<sup>۳۱</sup> (۱۹۹۲)، پانایوتا (۱۹۹۳)، و سلدن و سونگ<sup>۳۲</sup> (۱۹۹۴)

<sup>28</sup> Social Welfare Function

<sup>29</sup> Varian

<sup>30</sup> Meadows

<sup>31</sup> Shafik & Bandyopadhyay

<sup>32</sup> Selden & Song

معتقدند که ارتباط بین رشد اقتصادی و کیفیت محیط زیست، خواه مثبت، خواه منفی، در میان کشورهای جهان مقطوع و ثابت نیست.

در این خصوص باید این نکته را در نظر داشت که از یک طرف افزایش تخریب محیط زیست آثار مخربی از جمله آلودگی‌های صوتی و ترافیکی بر روی سلامت افراد داشته و مردم را از انجام کارهایشان در کوتاه‌مدت و بلندمدت ناتوان کرده و منجر به کاهش بهره‌وری نیروی کار می‌شود؛ از طرف دیگر مسیرهای دیگری در ادبیات اقتصادی وجود دارد که جلوگیری از تخریب محیط زیست سبب کاهش رشد اقتصادی می‌شود؛ بنابراین بررسی رابطه رشد اقتصادی و شاخص تخریب محیط زیست بسیار حائز اهمیت و مهم و لازم است.

در ادامه باید به بیان نمود که مشاهدات، مدل‌های نظری و تجزیه و تحلیل‌ها باید دارای یک سری شرایطی باشند تا منحنی محیط زیست کوزنتس ایجاد شود؛ بنابراین سوال آن است که چرا درآمد و آلودگی دارای رابطه یو شکل برعکس با یکدیگر می‌باشند که به برخی از این مطالعات پرداخته می‌شود.

لوپز<sup>۳۳</sup> (۱۹۹۴) و سلدن و سانگ (۱۹۹۵) اظهار دارند با توجه به میزان تولید و تکنولوژی‌های موجود، آلودگی ناشی از محصول تغییر می‌کنند. در این میان رابطه میان آلودگی و سطح درآمد به کشش جانشینی کالاها و ریسک‌گریزی خانوار بستگی دارد (لوپز، ۱۹۹۴). استوکی<sup>۳۴</sup> (۱۹۹۸) با جایز دانستن تغییر تکنولوژی‌های برونزا و لیب<sup>۳۵</sup> (۲۰۰۲) با تعمیم دادن مدل استوکی و بحث در خصوص اشباع مصرف، بیان دارند، این موارد باعث ایجاد منحنی محیط زیست کوزنتس می‌شوند.

آندرتونی و لوینسون<sup>۳۶</sup> (۲۰۰۱) نشان دادند که بازدهی کاهشی نسبت به مقیاس باعث ایجاد منحنی محیط زیست کوزنتس می‌شود (مصرف کالای خوب و آلودگی کالای بد در نظر گرفته شده بود).

به علاوه لوپز (۱۹۹۴) و بالت و سوئست<sup>۳۷</sup> (۲۰۰۱) مدل‌ها را برای تخریب و تخلیه منابع محیط زیست<sup>۳۸</sup> از جمله جنگل‌ها یا حاصلخیزی و یا زمین‌ها توسعه دادند. بنابراین این مدل‌ها منحنی محیط زیست کوزنتس را تحت فرضیات مناسب

<sup>33</sup> Lopez

<sup>34</sup> Stokey

<sup>35</sup> Lieb

<sup>36</sup> Andreoni & Levinson

<sup>37</sup> Bulte & Soest

<sup>38</sup> به مقاله تهولن و کولونین (۱۹۹۳) مراجعه شود.



ارائه نمودند. استرن<sup>۳۹</sup> (۲۰۰۴) آخرین تئوری‌ها و مطالعات براک و تیلور<sup>۴۰</sup> (۲۰۰۴) را بازبینی نموده است و اظهار دارد که آلودگی در کشورهای با درآمد بالا به علت تغییرات تکنولوژیکی کاهش می‌یابد.

در دهه‌های اخیر افزایش نشانه‌هایی از تغییرات آب و هوایی و گرمایش جهانی به افزایش آگاهی از تخریب محیط زیست کمک کرده است (مجمع بین‌المللی تغییرات آب و هوایی<sup>۴۱</sup>، ۲۰۱۴).

به طور کل می‌توان بیان نمود در تحقیق به مسئله زیر پرداخته می‌شود: نظریه پردازی با در نظر گرفتن فرضیات جدید انجام گرفته و منحنی محیط زیست کوزنتس پویا (با تشکیل تابع همیلتون) ارائه می‌شود.<sup>۴۲</sup>

در ادامه مروری منتخبی از پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص منحنی محیط زیست کوزنتس بیان می‌شود.

### ۳- پیشینه پژوهش

همانگونه که بیان گردید، منحنی محیط زیست کوزنتس اشاره به این فرضیه دارد که رابطه میان تخریب محیط زیست و درآمد سرانه به شکل یو بر عکس نمایش داده می‌شود. در این شرایط در مراحل اولیه صنعتی شدن، آلودگی با سرعت رشد یابد؛ زیرا افزایش تولید اولویت پیدا می‌کند (مردم درآمد برایشان نسبت به محیط زیست جذابیت بیشتری دارد). در این مرحله درآمد افزایش، به تبع آن رضایت خاطر برای افزایش محیط زیست پاک نیز (بوسیله اختصاص سهم بیشتری از درآمد به آن) افزوده می‌شود؛ لذا سازمان‌های قانون‌گذار اثر بیشتری بر روی محیط زیست می‌گذارند و در نهایت سطح آلودگی کاهش می‌نماید.

رابطه یو بر عکس همچنین این مورد را نشان می‌دهد که رشد اقتصادی قادر خواهد بود که با بهبود محیط زیست سازگار است. انگیزه اصلی برای مطالعات تجربی در خصوص منحنی محیط زیست کوزنتس در مورد یافتن شواهدی به منظور وجود رابطه میان درآمد و کیفیت محیط زیست است؛ بنابراین بدنبال پاسخ این سوال است

<sup>39</sup> Stern

<sup>40</sup> Brock & Taylor

<sup>41</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

<sup>42</sup> مسیرهای زمانی تخریب محیط زیست و سرمایه استخراج و رسم می‌گردند و در نتیجه آنها مسیر زینی که منحنی محیط زیست کوزنتس را شامل می‌شود، بدست آورده می‌شود.

که آیا رشد اقتصادی می‌تواند بخشی از راه حل برای مشکلات محیط زیست است یا خیر.

در اوایل دهه ۱۹۹۰، بحث در خصوص فرضیه منحنی محیط زیست کوزنتس محل مناقشه بود و مطالعات تجربی زیادی برای پشتیبانی از رابطه یو برعکس به انجام رسید. در این خصوص می‌توان به مقاله دیندا<sup>۴۳</sup> (۲۰۰۵) که به بررسی دیدگاه‌ها و توضیحات در مورد منحنی محیط زیست کوزنتس پراخته بود، اشاره نمود.

کوزنتس (۱۹۵۵)، پیش بینی کرده بوده که رابطه میان تغییرات هر واحد درآمد سرانه و نابرابری درآمدی منحنی یو برعکس است. در حقیقت با افزایش درآمد سرانه در ابتدا نابرابری درآمدی نیز افزایش می‌یابد و سپس بعد از نقطه بازگشتی شروع به کاهش می‌کند. به عبارت دیگر در مرحله اول نابرابری توزیع درآمد افزایش می‌یابد و سپس توزیع درآمد به سمت برابری بیشتر حرکت می‌کند و منجر به رشد اقتصادی نیز می‌گردد (کوزنتس، ۱۹۵۵). رابطه میان نابرابری درآمدی و درآمد سرانه را می‌توان با استفاده از منحنی زنگوله شکل نمایش داد. لازم به ذکر است که مطالعات تجربی به شکل قابل توجهی منحنی کوزنتس را نشان داده‌اند که در ادامه به برخی از آنها اشاره می‌شود.

اولین مطالعات در خصوص منحنی محیط زیست کوزنتس در سه کار تحقیقاتی مجزا انجام شده است: یک کار تحقیقاتی توسط هیات بین‌المللی تحقیقات اقتصادی انجام گرفته که بخشی از یک مطالعه در خصوص اثرات زیست محیطی پیمان تجارت آزاد میان دولت‌های آمریکای شمالی بوده است (گراسمن و کروگر، ۱۹۹۱)، دومین کار تحقیقاتی در گزارش توسعه جهانی در سال ۱۹۹۲ (شافیک و باندیوپادهایای، ۱۹۹۲) نمود پیدا می‌کند؛ گزارش سوم به بررسی سازمان بین‌المللی کار<sup>۴۴</sup> (۱۹۹۱) در حوزه توسعه در یک مطالعه بین‌المللی اقتصادی، که بعداً در سال ۱۹۹۳ به چاپ رسید (گراسمن و کروگر، ۱۹۹۳) مرتبط است؛ نکته مهم در این گزارش‌ها رابطه یو برعکس میان آلودگی (دی اکسید گوگرد و دود) و درآمد سرانه است. در طی این بررسی‌ها، نام کوزنتس به منحنی یو برعکس که بیان‌کننده رابطه آلودگی و توسعه اقتصادی بود، اضافه گردید؛ این مورد به علت شباهت منحنی یو برعکس کوزنتس

<sup>43</sup> Dinda

<sup>44</sup> International Labour Organization (ILO)

(رابطه میان درآمد سرانه و آلودگی) رخ داد. با این وجود پانایوتا (۱۹۹۳)، اولین مبدع منحنی محیط زیست کوزنتس بوده است.

در این راستا باید بیان نمود که افزایش تخریب محیط زیست با افزایش درآمد تا یک آستانه‌ای ادامه می‌یابد، که بعد از آن با درآمدهای سرانه بالاتر کیفیت محیط زیست بهبود می‌یابد. این رابطه را می‌توان بوسیله منحنی یو برعکس نمایش داد. این مورد توسط فرضیه منحنی محیط زیست کوزنتس نشان داده می‌شود که رابطه بلندمدت میان اثرات زیست محیطی و رشد اقتصادی است. این نکته را می‌بایست اضافه نمود که به منظور شتاب و افزایش توسعه اقتصادی بوسیله افزایش استخراج از منابع و گسترش کشاورزی، در مرحله اول به علت بالا بودن نرخ برداشت و تخلیه منابع و بالاتر رفتن نرخ برداشت از نرخ تجدید منابع، ضایعات و پسماندها از نظر مقدار و آلودگی در طی دوره افزایش می‌یابد. در سطوح بالاتر توسعه، ساختار به سمت صنایع و خدمات با پاک تر تغییر می‌نماید. در این نتیجه این رخداد افزایش آگاهی‌ها و فشارهای قوانین زیست محیطی، بهبود تکنولوژی و هزینه‌های بالای زیست محیطی منجر به کاهش پیوسته آلودگی و بهبود کیفیت محیط زیست می‌شود؛ بنابراین در راستای حرکت درآمد به نقطه بازگشتی، به منحنی محیط زیست کوزنتس دست یافته و در این شرایط فرض می‌شود که از آن نقطه به بعد کیفیت محیط زیست شروع به بهبود می‌نماید. لذا، می‌توان به توصیف فرآیند طبیعی توسعه اقتصادی از یک اقتصاد زمینی پاک به اقتصاد صنعتی آلوده و در نهایت اقتصاد خدماتی پاک دست یافت (ارو و همکاران ۱۹۹۵).

فرضیه منحنی محیط زیست کوزنتس در حقیقت خلاصه‌ای از فرآیند پویای تغییرات درآمد به عنوان رشد اقتصاد در طی زمان است؛ زیرا آلودگی در سطح اول افزایش، سپس به اوج خود می‌رسد و پس از نقطه بازگشتی مرتبط با درآمد، شروع به کاهش می‌نماید. ضمناً، منحنی محیط زیست کوزنتس یک ویژگی بلندمدت است. به عبارت دیگر، خط سیر توسعه برای یک اقتصاد با توجه به رشد و کشورهای متفاوت (کمتر توسعه یافته، در حال توسعه، توسعه یافته) در طی زمان متفاوت خواهد بود. حال با فرض تبعیت همه کشورها از منحنی محیط زیست کوزنتس، در هر مقطعی از زمان، باید برخی از کشورها در مراحل اولیه منحنی محیط زیست کوزنتس (کشورهای فقیر)، برخی به نقطه بازگشتی و برخی در حال کاهش آلودگی که کشورهای ثروتمندی هستند رسیده باشند.

آپرگیس و ازترک<sup>۴۵</sup> (۲۰۱۵) در مطالعه‌ی ای به بررسی وجود منحنی محیط زیست کوزنتس (رابطه یو شکل میان آلودگی و درآمد سرانه) در ۱۴ کشور آسیایی در طی سال‌های ۱۹۹۰ الی ۲۰۱۱ پرداختند. آنها بر روی درآمد و سیاست‌های کشورهای مورد بررسی و اثری که بر روی رابطه انتشار آلودگی (محیط زیست) می‌گذارند، تمرکز نمودند. آنها در بررسی‌های خود از روش گشتاورهای تعمیم یافته در داده‌های ترکیبی (پانل دیتا) بهره گرفتند. در نتیجه بررسی‌ها فرضیه وجود منحنی محیط زیست کوزنتس مورد تایید قرار گرفت.

وانگ<sup>۴۶</sup> و همکاران در سال ۲۰۱۵ در خصوص وجود منحنی کوزنتس به این نتیجه دست یافتند که منحنی محیط زیست کوزنتس یک ابزار پیچیده و قدرتمند به منظور بررسی وجود رابطه میان توسعه اقتصادی و تخریب محیط زیست است. در طی بررسی‌های انجام شده وجود منحنی محیط زیست کوزنتس در ایالت گانسو (در چین) مورد تایید قرار گرفت. لازم به ذکر است که بررسی مذکور در طی سال‌های ۱۹۸۰ الی ۲۰۱۲ صورت گرفته و از روش بیزین ور بهره گرفته شده است. ضمناً نتایج نشان داد که اثرات فنی و قوانین و مقررات ممکن است باعث انتقال منحنی محیط زیست کوزنتس به پایین شوند.

لازم به ذکر است که مدل‌های مختلفی در خصوص وجود منحنی محیط زیست کوزنتس بکار گرفته شده است که می‌توان به روش‌های پانل دیتا (استرن، ۲۰۱۰)، رهیافت سنجی فضایی (وانگ و همکاران، ۲۰۱۳) اشاره نمود.

مضاف بر این مدل‌های تجربی معمولاً بر روی یک تک معاله خاص تمرکز دارند. متغیرهای وابسته معمولاً اشاره به شاخص‌های خاصی از سطح آلودگی در محیط زیست (از جمله فسفر، کربن دی اکسید، نیترات و ...) متمرکزند و یا به یک شاخص از تخریب و تهی شدن محیط زیست (از جمله جنگل زدایی، زمین‌های بیابانی) توجه دارند (بابو و داتا<sup>۴۷</sup>، ۲۰۱۳؛ فرهانی<sup>۴۸</sup> و همکاران، ۲۰۱۴).

کرسلی و ریدل<sup>۴۹</sup> در سال ۲۰۱۰ به این نتیجه دست یافتند که در خصوص منحنی محیط زیست کوزنتس، درآمد سرانه متغیر اصلی در میان متغیرهای

<sup>45</sup> Apergis & Ozturk

<sup>46</sup> Wang

<sup>47</sup> Babu & Datta

<sup>48</sup> Farhani

<sup>49</sup> Kearsley & Riddel

توضیحی است؛ اما این مورد دشوار خواهد بود که بتوان به منحنی مطلوب محیط زیست کوزنتس دست یافته شود؛ زیرا نتایج تجربی متفاوتی در مورد این فرضیه بدست آمده و برای برخی از آلودگی‌ها تایید شده است.

اخیراً، برخی از مدل‌های رشد اقتصادی به منظور یافتن پایه‌های تئوریک منحنی محیط زیست کوزنتس گسترش یافته‌اند، به عنوان مثال، مدل‌های رشد برونزا که مرتبط با سرمایه طبیعی به عنوان دارایی تولید است (دیندا، ۲۰۰۵). ضمناً مدل‌های سبز سولو نیز منابع طبیعی را در نظر گرفته و بر آنها تمرکز نموده‌اند (براک و تیلور، ۲۰۱۰؛ استنفانسکی<sup>۵۰</sup>، ۲۰۱۰؛ ریس<sup>۵۱</sup>، ۲۰۱۱).

آپرگیس در مطالعه‌ای با استفاده از انتشار دی اکسید کربن و تولید ناخالص داخلی سرانه در بازه زمانی ۱۹۶۰ الی ۲۰۱۳ در بین ۱۵ کشور به بررسی وجود منحنی محیط زیست کوزنتس پرداخته است. در این بررسی از روش همجمعی بهره گرفته شده است. در این مطالعه همجمعی میان انتشار دی اکسید کربن و تولید ناخالص داخلی و مربع تولید ناخالص داخلی سرانه مورد آزمون قرار گرفت. شواهد و نتایج روش همجمعی دارای ابهام بوده است؛ زیرا در برخی از فواصل زمانی مورد مطالعه وجود منحنی محیط زیست کوزنتس تایید و در برخی رد شده است. این نتیجه را می‌توان علت تاثیر زمان در همجمعی دانست (آپرگیس، ۲۰۱۶).

لازم به ذکر است برخی از مطالعات اخیر تردیدهای زیادی را در خصوص روش شناسی و مفهوم نتایج تجربی در خصوص منحنی محیط زیست کوزنتس ایجاد نموده است. در این حوزه می‌توان به مطالعه کیجیما<sup>۵۲</sup> و همکاران، در سال ۲۰۱۰ اشاره نمود.

انگیزه اصلی برای مطالعات تجربی در خصوص منحنی محیط زیست کوزنتس در مورد یافتن شواهدی به منظور وجود رابطه میان درآمد و کیفیت محیط زیست است، بنابراین بدنبال پاسخ این سوال که آیا رشد اقتصادی می‌تواند بخشی از راه حل برای مشکلات محیط زیست است.

در این مورد وجود یک رابطه ذاتی و خودجوش بین فعالیت‌های اقتصادی و کیفیت محیط زیست بسیار مشهود است. در سطح مبانی نظری، نویسندگان مختلف

<sup>50</sup> Stefanski

<sup>51</sup> Reyes

<sup>52</sup> Kijima

سعی کرده‌اند، به بیان راه‌ها و روش‌هایی بپردازند که تاثیر تخریب محیط زیست بر فعالیت‌های اقتصادی را نشان دهند (بروول<sup>۵۳</sup> و همکاران، ۲۰۰۳).

دستک و ساکودی<sup>۵۴</sup> در سال ۲۰۱۹ به بررسی وجود منحنی محیط زیست کوزنتس در ۱۱ کشور صنعتی در دوره زمانی ۱۹۷۷ الی ۲۰۱۳ با روش پانل ناهمگن پرداختند. نتایج برآوردگر نشان می‌دهد که بین رشد اقتصادی و اثرات زیست محیطی رابطه U شکل معکوس وجود دارد. با توجه به نتایج آزمون علیت، نتیجه‌گیری می‌شود که بین رشد اقتصادی و اثرات زیست محیطی علیت بین دو طرف وجود دارد (دستک و ساکودی، ۲۰۱۹).

گرمبی و همکاران<sup>۵۵</sup> (۲۰۱۸)، در بررسی‌های خود به این نتیجه دست یافتند که بین رشد اقتصادی و اثرات زیست محیطی رابطه U شکل معکوس وجود دارد. ضمناً بررسی‌های خود را در نمونه‌ای گسترده از کشورها (۲۰۰ مورد) به انجام رساندند (گرمبی و همکاران، ۲۰۱۸).

در حال حاضر روشن و واضح است که کیفیت محیط زیست بر روی عملکردهای اقتصادی اثر می‌گذارد (منصور<sup>۵۶</sup>، ۲۰۰۴). فعالیت‌های اقتصادی تقریباً در اکثر بخش‌های اقتصادی سبب تخریب محیط می‌شوند (شافیک، ۱۹۹۴؛ ریپتو و بالیگا<sup>۵۷</sup>، ۱۹۹۶؛ هتیج<sup>۵۸</sup> و همکاران، ۱۹۹۸). اثرات فعالیت‌های اقتصادی بر روی کیفیت محیط نیز زیست پیچیده است و به برخی از عوامل دیگر مانند، ترجیحات، تکنولوژی تولید، و ساختار اقتصادی بستگی دارد که همه این‌ها به نوعی به سطح توسعه وابسته می‌باشند. در این میان سطح آلودگی نیز به تولید ناخالص داخلی و میزان توسعه بستگی دارد.

دلایل اصلی تمرکز بر ارتباط آلودگی و درآمد سرانه عبارت است از:

الف) نیروی انسانی سالم، بهره‌وری بالاتر دارد؛ چرا که می‌تواند سخت‌تر و طولانی‌تر کار کند و از فکر خود بهره‌گیرند (به عنوان مثال دانش آموزان سالم، توانایی یادگیری و عملکرد بهتری را دارا خواهند بود).

<sup>53</sup> Bruvoll

<sup>54</sup> Destek & Sarkodie

<sup>55</sup> Ngarambe & etal

<sup>56</sup> Mansour

<sup>57</sup> Repetto & Baliga

<sup>58</sup> Hettige

ب) سلامت می‌تواند از طریق اصلاح شیوه زندگی و بهبود وضعیت سلامتی، تولیدات اقتصادی را بهبود بخشد. ضمناً بهبود در سلامت، باعث بالا رفتن انگیزه افراد شده و بازدهی سرمایه‌گذاری نیز افزایش می‌یابد؛

ج) سلامت سبب کاهش میزان مرگ و میر و افزایش امید به زندگی، تشویق به پس انداز بیشتر برای دوران بازنشستگی و در نتیجه افزایش سطح سرمایه‌گذاری و افزایش نسبت سرمایه به تولید می‌شود.

بیشتر تحقیقات انجام شده در خصوص استخراج منحنی محیط زیست کوزنتس و تحلیل شرایط زیست محیطی بدون توجه به سرمایه و دارایی تولیدات به عنوان یکی از اجزای اصلی محیط زیست می‌باشند؛ منتهی در این تحقیق به سرمایه و دارایی تولیدات به عنوان یکی از اجزای محیط زیست توجه شده است (ضمناً سرمایه به دو جزء سرمایه مورد استفاده در تولید و سرمایه بکار گرفته شده در بهبود کیفیت محیط زیست تقسیم شده است). نکته دیگر آن است که اکثر مطالعات انجام شده بر روی موضوع تخریب محیط زیست متمرکز شده است؛ منتهی در این تحقیق محیط زیست به عنوان یک متغیر ذخیره مطلوب (کالای اقتصادی خوب) وارد مدل‌سازی شده است.

#### ۴- مدل تحقیق و روش برآورد

با توجه به مطالب بیان شده در پیشینه تحقیق، در این بخش به تجزیه و تحلیل الگوها و کلیه مدل‌های مورد استفاده پرداخته می‌شود. ضمناً قبل از بیان مدل‌سازی، توضیح مختصری در ارتباط با روش شناسی مدل ارائه خواهد شد.

##### ۴-۱- نظریه کنترل

نظریه کنترل شاخه‌ای میان رشته‌ای از علوم مهندسی و ریاضیات است که به رفتار سیستم‌های دینامیکی دارای ورودی می‌پردازد. معمولاً هدف تئوری کنترل یافتن جواب‌های مناسبی برای اجرای جبران‌سازی بهینه رفتار سامانه توسط کنترل‌کننده است، به گونه‌ای که موجب پایداری سامانه و آرامش خروجی یا خروجی‌های آن حول یک نقطه کار و عدم نوسان خروجی‌ها حول این نقطه است. یکی از روش‌های بیان و درک یک سامانه کنترلی، نمایش آن با استفاده از نمودار بلوکی است که در آن رابطه بین ورودی‌ها و خروجی‌ها و همچنین توابع تبدیل به صورت دیداری بیان می‌شود (فقیه، ۱۳۹۳). منظور از کنترل یک پدیده، دخالت در رفتار

آن است، به طوریکه، نتایج مطلوب حاصل گردد. این عمل بدین صورت انجام می‌گردد: مقدار مورد نظر برای یک سیستم یا همان مقدار مطلوب به عنوان مرجع در نظر گرفته می‌شود. هنگامیکه یک یا چند تا از خروجی‌های سیستم باید برای رسیدن به مقدار مطلوب عمل نمایند، کنترلر با دستکاری ورودی‌ها سیستم را ناچار به رسیدن به مقدار مطلوب می‌نماید (فقیه، ۱۳۸۶).

#### ۴-۲- تابع همیلتون

همیلتونی در تئوری کنترل بهینه به وسیله پنتریاگین<sup>۵۹</sup> ابداع شد. این قانون جزئی از اصل کمینه است. این تئوری از قضیه مکانیک همیلتونی کلاسیک الهام گرفته اما در عین حل از آن متفاوت است.

پنتریاگین اثبات کرد که یک شرط اساسی برای حل مسئله کنترل بهینه این است که کنترل باید طوری انتخاب شود که همیلتونین را کمینه کند.

تعریف همیلتونین:

$$H(x, \lambda, u, t) = \lambda^t(t)f(x, u, t) + L(x, u, t) \quad (1)$$

که در آن  $\lambda(t)$  یک بردار از متغیرها با بعدی برابر با بعد متغیر  $x(t)$  است. متغیر کنترل  $u(t)$  باید طوری انتخاب شود که تابع روبرو را کمینه کند:

$$J(u) = \Psi(x(T)) + \int_0^T L(x, u, t) dt \quad (2)$$

متغیر حالت سیستم  $x(t)$  به صورت مقابل تغییر می‌کند:

$$\dot{x} = f(x, u, t) \quad x(0) = x_0 \quad t \in [0, T] \quad (3)$$

متغیر کنترل باید شرایط مقابل را داشته است:  $a \leq u(t) \leq b \quad t \in [0, T]$

#### ۵- تشریح مدل با فرضیات جدید و استخراج EKC

محیط زیست به عنوان یک کالای اقتصادی خوب (متغیر ذخیره) در نظر گرفته می‌شود. ضمناً در تابع تولید و مطلوبیت یک عامل نوعی، اثرگذار است. در این میان اقتصادی در نظر گرفته می‌شود که در بر گیرنده یک عامل است که به عنوان یک

<sup>59</sup> Panteriagin



تولید کننده و همچنین مصرف کننده عمل می کند. عامل نوعی، ارزش مطلوبیت حال حاضر خود را حداکثر می نماید (یا تابع رفاه اجتماعی):

$$W = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} U(C(t), E(t)) dt; U_C \cdot U_E > 0; U_{CC} \cdot U_{EE} < 0; U_{CE} > 0;$$

$$C, E, \rho > 0 \quad (4)$$

بودجه خانوار شکل مرکب به خود دارد؛ محیط زیست به شکل متغیر ذخیره (منابع طبیعی ذخیره نوعی عبارتند از: زمین، هوا، آب، گیاه و جانوران و ...) است. تابع تولید اقتصاد به شکل زیر است:

$$Y = f(K_Y, E); f_{K_Y} \cdot f_E > 0; f_{K_Y K_Y} \cdot f_{E E} < 0; f(K_Y, 0) = f(0, E) = 0 \quad (5)$$

در جایی که سرمایه به شکل متغیر مرکب ذخیره (سرمایه فیزیکی و انسانی) و متغیر محیط زیست، بیانگر ذخیره محیط زیست است. در تابع تولید، ذخیره محیط زیست در برگیرنده اثرات بهره وری ناشی از کیفیت محیط زیست نیز است (به عنوان مثال اثرات کیفیت آب و هوا بر سلامتی و...). ذخیره محیط زیست متغیری انتخابی برای عامل فردی نیست. دو عامل ورودی ذخیره محیط زیست و سرمایه برای تولید ضروری است. لازم به ذکر است که  $K_Y$  قسمتی از سرمایه کل است که برای تولید تخصیص می یابد و  $E$  نیز ذخیره محیط زیست است.

$\gamma$  نرخ آلودگی است (که انتشار آلودگی یا تخریب محیط زیست به ازای هر واحد

خروجی تولید است) که از تقسیم آلودگی (تشعشعات) بر تولید بدست می آید<sup>۶۰</sup>:

$$P = \gamma Y; \gamma > 0 \quad (6)$$

به طور عامیانه کیفیت محیط زیست متغیری برونزا است و به طور مداوم بوسیله

جریان آلودگی (تشعشعات) تهی و خالی می گردد؛ بنابراین:

$$\dot{E} = -P$$

این موضوع دلالت بر آن دارد که ذخیره محیط زیست در طی زمان کاهش

می یابد؛ بنابراین در دوره بسیار طولانی، ذخیره محیط زیست به سمت صفر می رود و در نتیجه آن تولید صفر شده و اقتصاد متلاشی می گردد. این رخداد زمانی که خسارت های آلودگی ناشی از تولید به قدر کافی بزرگ است، می تواند صحیح است و رخ دهد.

<sup>۶۰</sup> اگر چه با توجه به بهره وری یا تحقیق و توسعه نرخ آلودگی می تواند کاهش یابد، منتهی به علت ساده سازی ثابت فرض شده است.

به عنوان مثال باران‌های اسیدی، سرمایه‌های طبیعی از جمله جنگل‌ها، خاک، آب رودخانه‌ها و به طور غیرمستقیم به سرمایه‌های انسانی آسیب می‌رساند؛ بنابراین آلودگی بر تولیدات بوسیله آسیب رساندن بر ورودی‌هایی که در تولید خروجی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند، اثر می‌گذارد. در اینجا باید به فعالیت‌های جلوگیری کننده از آلودگی که به بهبود (پاک نمودن) محیط زیست می‌انجامند، اشاره نمود. برای این اقدام اقتصاد نیازمند بخشی از سرمایه خود است که آن  $K_E$  نامیده می‌شود که به بهبود کیفیت محیط زیست کمک می‌نماید. ضمناً فرض می‌شود که فعالیت‌های جلوگیری کننده تنها به سرمایه ساخته دست بشر (فیزیکی و انسانی) بستگی دارد:

$$A = h(K_E)$$

لذا تغییرات خالص ذخیره محیط زیست در طی زمان عبارت است از:

$$\dot{E} = A - P$$

در هر شرایطی از زمان، عامل سرمایه، نوعی میزان بهینه‌ای از ذخیره سرمایه برای دو نهاده تولید و فعالیت‌های جلوگیری کننده تخصیص می‌دهد. میزان کل سرمایه عبارت است از:

$$K = K_E + K_Y$$

لازم به ذکر است که شرط تعادل میان سرمایه محیط زیست و سرمایه تولید

$$\frac{\partial A}{\partial K_E} = q \frac{\partial A}{\partial K_Y} \text{ در دنیای بدون آلودگی عبارت است از:}$$

عامل  $q$  نیز نشان دهنده قیمت نسبی سرمایه کیفیت محیط زیست در مقابل

سرمایه فیزیکی است. ضمناً شرط تعادل میان سرمایه محیط زیست و سرمایه تولید

$$\text{در دنیای دارای آلودگی عبارت است از: } (1 - q\gamma) \frac{\partial A}{\partial K_Y} = q \frac{\partial A}{\partial K_E} \text{ که } q\gamma \frac{\partial A}{\partial K_Y} \text{ هزینه}$$

آلودگی (یا اثرات خارجی) است. در شرایط بهینه و پایدار باید تولید نهایی خالص

سرمایه در دو بخش (محیط زیست و تولید) برابر باشند. با توجه به توضیحات بیان

شده می‌توان نتایج زیر را نیز بیان نمود:

$$K = K_E + K_Y; K_Y = \theta K; \theta = \frac{K_Y}{K}; K_E = (1 - \theta)K; (1 - \theta) = \frac{K_E}{K} \text{ or } \frac{K - K_Y}{K} =$$

$$1 - \frac{K_Y}{K}; 0 < \theta(t) < 1 \quad (7)$$

که  $\theta(t)$  سهمی از کل سرمایه است که برای تولید در زمان  $t$  تخصیص داده می‌شود

و با کسر یک از آن سهم محیط زیست از کل سرمایه در زمان مورد نظر بدست

می‌آید که برای بهبود محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این شرایط

می‌توان تابع تولید و تابع بهبود محیط زیست را به شکل زیر بیان نمود:

$$A = h((1 - \theta)K); Y = f(\theta K, E) \quad (۸)$$

برای سادگی فرض می‌گردد هر دو سرمایه دارای استهلاک نمی‌باشند (نرخ استهلاک صفر  $(\delta = 0)$  است)؛ بنابراین:

$$\dot{K}(t) = f(\theta(t)K(t), E(t)) - C(t); \delta_i = 0; i = K \quad (۹)$$

معادله بالا نشان دهنده تغییرات سرمایه در طی زمان است.

$$\dot{E}(t) = (h(1 - \theta(t))K(t) - \gamma f(\theta(t)K(t), E(t))); \delta_i = 0; i = E \quad (۱۰)$$

معادله بالا نیز نشان دهنده تغییرات ذخیره محیط زیست در طی زمان است.

$$\text{Max } W = \int_0^{\infty} e^{-\rho t} U(C(t), E(t)) dt \quad (۱۱)$$

با در نظر تابع هدف فوق و دو قید مربوط به آن (تغییرات سرمایه و ذخیره محیط

زیست) تابع همیلتون تشکیل و مساله در ادامه حل می‌گردد.

$$H = U(C, E) + \lambda [f(\theta K, E) - C] + \mu [h((1 - \theta)K) - \lambda f(\theta K, E)] \quad (۱۲)$$

تابع ارائه شده، مدل اصلی در بررسی‌های این تحقیق است. ضمناً در تابع

همیلتون  $\mu$  و  $\lambda$  متغیرهای وضعیت می‌باشند که به ترتیب بیان کننده قیمت سایه‌ای سرمایه و ذخیره محیط زیست می‌باشند.

#### ۵-۱- استخراج مسیر زمانی مصرف

با توجه به تابع همیلتون بیان شده در قسمت انتهایی مبانی نظری تحقیق به ادامه بررسی‌ها پرداخته می‌شود.

$$H = U(C, E) + \lambda [f(\theta K, E) - C] + \mu [h((1 - \theta)K) - \lambda f(\theta K, E)] \quad (۱۳)$$

در تابع همیلتون  $\mu$  و  $\lambda$  متغیرهای وضعیت می‌باشند که به ترتیب بیان کننده

قیمت سایه‌ای سرمایه و ذخیره محیط زیست می‌باشند. شرایط بهینه به طور خلاصه در مقابل اشاره شده است:  $U_C = \lambda \rightarrow \frac{\partial H}{\partial C} = U_C - \lambda = 0$  معادله بیان کننده عدم تفاوت انباشت مصرف نهایی است.

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} = \lambda f_{\theta} - \mu (h_{\theta} + \gamma f_{\theta}) = 0 \rightarrow \mu = \frac{\lambda f_{\theta}}{h_{\theta} + \gamma f_{\theta}} \quad (۱۴)$$

معادله بالا بیان کننده برابری ارزش تولید نهایی سرمایه بکار رفته در تولید کالا

و ارزش نهایی کاهش کیفیت محیط زیست با صرف نظر کردن از سرمایه بکار رفته در بهبود محیط زیست است.

که  $U_C$ ،  $f_K$  و  $h_K$  به ترتیب عبارتند از مصرف نهایی، تولید نهایی سرمایه‌ای بکار رفته در تولید و تولید نهایی سرمایه‌ای بکار رفته در بهبود کیفیت محیط زیست است. با

مرتب سازی معادلات در شرایط بهینه، مسیر بهینه زمانی مصرف بدست می‌آید که در زیر به آن اشاره شده است.

شرایط ضروری و لازم برای حل مسئله بهینگی به شرح زیر است:

$$\frac{\partial H}{\partial C} = U_C - \lambda = 0 \rightarrow U_C = \lambda \quad (۱۵)$$

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} = \lambda f_k - \mu(h_k + \gamma f_k) = 0 \rightarrow \mu = \frac{\lambda f_k}{h_k + \gamma f_k} \quad (۱۶)$$

$$\dot{K} = \frac{\partial H}{\partial \lambda} \rightarrow \dot{K} = f(\theta K, E) - C; \quad 1 > \theta > 0 \quad (۱۷)$$

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial K} + \rho \lambda = (\mu \gamma - \lambda) \theta f_k - \mu(1 - \theta) h_k + \rho \lambda \quad (۱۸)$$

$$\dot{E} = \frac{\partial H}{\partial \mu} \rightarrow \dot{E} = h((1 - \theta)K) - \gamma f(\theta K, E) \quad (۱۹)$$

$$\dot{\mu} = -\frac{\partial H}{\partial E} + \rho \mu = -U_E + (\mu \gamma - \lambda) f_E + \rho \mu \quad (۲۰)$$

جایی که در آن  $U_C, f_k, h_k$ ، تولید نهایی سرمایه در جهت بهبود محیط زیست، تولید نهایی سرمایه بکار رفته در تولید و مطلوبیت نهایی ناشی از مصرف کالا می‌باشند. با توجه به شرایط بهینگی (معادله اول و دوم) اشاره به این مورد دارد که برابری ارزش تولید نهایی سرمایه بکار رفته در تولید کالا و ارزش نهایی کاهش کیفیت محیط زیست است. لازم به ذکر است که معادلات حرکت ذخیره محیط زیست و سرمایه (معادلات ۳ و ۵) بیان شده است (E و K). معادلات (۴ و ۶) شرایط معامله را به منظور بهبود سرمایه اطلاعات و محیط زیست بیان می‌نمایند، با مرتب سازی و جایگذاری شرایط بهینه یابی، مسیر زمانی مصرف به شکل زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{-U_C}{CU_{CC}} \left[ \frac{f_k h_k}{h_k + \gamma f_k} - \rho + \frac{EU_{CE}}{U_C E} \dot{E} \right] \quad (۲۱)$$

همانطور که مشاهده می‌شود مسیر بهینه زمانی مصرف به مسیر بهینه زمانی ذخیره محیط زیست وابسته است؛ منتهی اگر عبارت  $U_{CE}$  برابر صفر است، این دو مسیر مستقل از یکدیگر خواهند بود.

## ۵-۲- تصریح مدل

حال به منظور بررسی بهتر و دقیق تر به تصریح مدل پرداخته می‌شود (از تابع مصرف با کشش جانشینی ثابت بهره گرفته شده است):

$$W = U(C, E) = \frac{(C^{1-\nu} E^\nu)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma}; \quad 0 < \nu < 1; U_{CC}, U_{EE} < 0; U_{CE} > 0; 0 < \sigma < 1; \nu(1 - \sigma) < 1 \quad (۲۲)$$

توان های ذخیره محیط زیست و مصرف در این تابع ترجیحات را نمایان می‌سازد. ضمناً کشش مطلوبیت نهایی یا به نوعی کشش جانشینی عوامل  $\sigma$  است. ضمناً اگر  $U_{CE} > 0$  در نتیجه  $\sigma < 1$  و اگر  $U_{CC} \cdot U_{EE} < 0$  در نتیجه آن  $\sigma < 1$  می‌گردد.

تکنولوژی بهبود کیفیت محیط زیست یا تابع جلوگیری کننده از تخریب محیط زیست خطی فرض می‌گردد؛ به عبارت دیگر فرض می‌شود که سرمایه بازدهی ثابت دارد؛ بنابراین تابع جلوگیری کننده به شکل زیر است.

$$A = h(K_E) = A_1 K_E = A_1 (1 - \theta) K \quad (23)$$

فرضیات مدل برای حل عبارتند از:

- کل سرمایه، سرمایه تخصیص داده شده به تولید و ذخیره محیط زیست:

$$K = K_E + K_Y; K_Y = \theta K; \theta = \frac{K_Y}{K}; K_E = (1 - \theta) K; (1 - \theta) = \frac{K_E}{K} \text{ or } \frac{K - K_Y}{K} = 1 - \frac{K_Y}{K} \quad (24)$$

- تابع آلودگی:  $P = \gamma Y \rightarrow P = \gamma f(\theta K, E); \gamma > 0$

- تابع سرمایه‌گذاری:  $\dot{K} = Y - c \rightarrow \dot{K} = f(\theta K, E) - C; 1 > \theta > 0$

- تابع ذخیره محیط زیست:

$$\dot{E} = A - P \rightarrow \dot{E} = h((1 - \theta) K) - \gamma f(\theta K, E); 1 > 1 - \theta > 0 \quad (25)$$

- تابع تولید:  $Y = f(\theta K, E) = \beta (\theta K)^\alpha E^{1-\alpha}$

بنابراین تابع همیلتون:  $H = W + \lambda [\dot{K}] + \mu [\dot{E}]$

$$H = U(C, E) + \lambda [f(\theta K, E) - C] + \mu [h((1 - \theta) K) - \gamma f(\theta K, E)] \quad (26)$$

$$H = \frac{(C^{1-\nu} E^\nu)^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} + \lambda [\beta (\theta K)^\alpha E^{1-\alpha} - C] + \mu [A_1 (1 - \theta) K - \gamma \beta (\theta K)^\alpha E^{1-\alpha}] \quad (27)$$

شرط اول بهینه یابی عبارت است از:

$$\frac{\partial H}{\partial C} = 0 \rightarrow (C^{1-\nu} E^\nu)^{-\sigma} (1 - \nu) C^{-\nu} E^\nu = \lambda \rightarrow C^{(1-\nu)-\sigma} E^{-\sigma\nu} C^{-\nu} E^\nu (1 - \nu) = \lambda \quad (28)$$

با مرتب سازی نتیجه زیر حاصل می‌گردد:

$$C^{-\sigma+\nu\sigma-\nu} E^{\nu(1-\sigma)} (1 - \nu) = \lambda \rightarrow C^{\nu(\sigma-1)-\sigma} E^{\nu(1-\sigma)} (1 - \nu) = \lambda \quad (29)$$

$$\begin{aligned} C^{v(\sigma-1)-\sigma} E^{v(1-\sigma)} &= \frac{\lambda}{(1-v)} \\ &\rightarrow \log \rightarrow [v(\sigma-1) - \sigma] \log C + [v(1-\sigma)] \log E \\ &= \log \frac{\lambda}{(1-v)} \end{aligned}$$

با فرض آنکه:  $[v(\sigma-1) - \sigma] = A$ ;  $[v(1-\sigma)] = B$ ;  $\log \frac{\lambda}{(1-v)} = -U$

نتیجه نهایی در خصوص شرط اول بهینه یابی حاصل می‌گردد:

$$A \log C + B \log E + U = 0 \quad (30)$$

حل شرط دوم بهینه یابی عبارت است از:

$$\frac{\partial H}{\partial \theta} = 0 \rightarrow \mu = \frac{\lambda f_k}{h_k + \gamma f_k} \rightarrow \mu = \frac{\lambda \theta \beta \alpha (\theta K)^{\alpha-1} E^{1-\alpha}}{A_1(1-\theta) + \gamma \theta \beta \alpha (\theta K)^{\alpha-1} E^{1-\alpha}} \quad (31)$$

با مرتب سازی نتیجه زیر حاصل می‌گردد:

$$\begin{aligned} \mu A_1(1-\theta) + \mu \gamma \theta \beta \alpha (\theta)^{\alpha-1} (K)^{\alpha-1} E^{1-\alpha} &= \lambda \theta \beta \alpha (\theta)^{\alpha-1} (K)^{\alpha-1} E^{1-\alpha} \\ \frac{\mu A_1(1-\theta)}{\theta \beta \alpha \theta^{1-\alpha}} + \mu \gamma K^{\alpha-1} E^{1-\alpha} &= \lambda K^{\alpha-1} E^{1-\alpha} \rightarrow \frac{\mu A_1(1-\theta)}{\theta \beta \alpha \theta^{1-\alpha}} K^{1-\alpha} E^{\alpha-1} + \mu \gamma - \\ \lambda &= 0 \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} K^{1-\alpha} E^{\alpha-1} + \frac{\theta \beta \alpha \theta^{1-\alpha}}{\mu A_1(1-\theta)} (\lambda - \mu \gamma) &\rightarrow \log \rightarrow (1-\alpha) \log K + (\alpha-1) \log E \\ &= \log \left[ \frac{\theta \beta \alpha \theta^{1-\alpha}}{\mu A_1(1-\theta)} (\lambda - \mu \gamma) \right] \end{aligned}$$

با فرض آنکه:

$$(1-\alpha) = D, (\alpha-1) = F; \log \left[ \frac{\theta \beta \alpha \theta^{1-\alpha}}{\mu A_1(1-\theta)} (\lambda - \mu \gamma) \right] = -H \quad (33)$$

نتیجه نهایی در خصوص شرط دوم بهینه یابی حاصل می‌گردد:

$$D \log K + F \log E + H = 0 \quad (34)$$

توجه ۱: بهبود کیفیت محیط زیست، مطلوبیت نهایی مصرف را افزایش می‌دهد

که سبب بالا رفتن انگیزه مصرف در تمامی دوره‌ها و در نتیجه آن ذخیره می‌شود.

با حل ۲ معادله نهایی بیان شده و با مرتب سازی و جایگذاری شرایط بهینه یابی،

مسیر زمانی مصرف و سهم سرمایه تولید از کل سرمایه به شکل زیر حاصل می‌گردد:

$$\frac{\dot{C}}{C} = \frac{1}{\sigma} \left[ \frac{f_k A_1}{A_1 + \gamma f_k} - \rho + v(1-\sigma) \frac{\dot{E}}{E} \right] \quad (35)$$

$$\frac{\dot{\theta}}{\theta} = \frac{-1}{(\theta K) f_{kk}} \left[ \frac{U_E (A_1 + \gamma f_k)^2}{U_C A_1} + (A_1 + \gamma f_k) f_E + f_{kk} \dot{E} + f_{kk} (\theta \dot{K}) - f_{kk}^2 \right]$$

## ۵-۳- وضعیت پایایی

مدل ارائه شده دارای دو متغیر کنترل مصرف و سهم سرمایه تولید در کل سرمایه ( $C$  و  $\theta$ ) و دو متغیر وضعیت، ذخیره محیط زیست و سرمایه ( $E$  و  $K$ ) است. بنابراین در رسم نمودار وضعیت مشکل رسم در فضای چهار بعدی وجود دارد. به طور عمومی مشکل چهار بعدی تجزیه و تحلیل را با مشکل روبرو می‌سازد. اگر فضای چهار بعدی را به فضای سه یا دو بعدی کاهش دهیم تجزیه و تحلیل امکان پذیر و آسان می‌شود. چهار متغیر را می‌توان با نرمال سازی یا تقسیم یکی از آنها (به عنوان مثال ذخیره محیط زیست) بر بقیه، به سه متغیر کاهش داد. با تقسیم مصرف و سرمایه بر متغیر ذخیره محیط زیست تجزیه و تحلیل در فضای دو بعدی امکان پذیر می‌شود ( $C = \frac{C}{E}; k = \frac{K}{E}$ ). برای تجزیه و تحلیل چند محدودیت تحمیل می‌شود که ممکن است به خارج کردن اثرات ذخیره محیط زیست و سرمایه منجر شود و خط تفاضل ذخیره محیط زیست و سرمایه در ادامه رسم می‌گردد. تغییر در متغیر کنترل  $C$  و یا  $\theta$  بر روی مکان هندسی  $\dot{E} = \dot{K} = 0$  درون خط  $E - K$  اثر می‌گذارد (شکل ۱ مشاهده شود). چندین شرایط و وضعیت وجود دارد که  $\dot{E} = \dot{K} = 0$  وجود دارد که بر روی مسیریابی تمرکز می‌شود که متغیرهای  $E$  و  $K$  بر روی خط  $E - K$  به سمت وضعیتی حرکت می‌کنند که وجود منحنی محیط زیست کوزنتس را ممکن می‌سازد (موارد دیگر در شکل های ۳ و ۴ نمایش داده شده است). در این مطالعه یک مقدار ارزش اولیه مشخصی را برای  $E$  و  $K$  در نظر گرفته شده است که به سمت وضعیت بهینه گرایش دارند. مقدار اولیه سرمایه ( $K_0$ ) بسیار پایین و مقدار اولیه ذخیره محیط زیست ( $E_0$ ) بسیار زیاد در نظر گرفته می‌شود. در یک اقتصاد نوپا با رشد و فرآیند توسعه، در طی زمان انباشت سرمایه شکل گرفته و ذخیره محیط زیست از بین می‌رود (خط ۲ در شکل ۵). به عبارت دیگر میان ذخیره محیط زیست و سرمایه جابجایی و انتقال صورت می‌گیرد، بنابراین رشد اقتصادی هزینه‌ای همچون تخریب محیط زیست را با خود به همراه دارد. این مورد یک پدیده طبیعی در کشورهای کمتر توسعه یافته است که حاضرند از ذخیره محیط زیست به منظور دستیابی به رشد اقتصادی صرف نظر نمایند. ضمناً فرآیند توسعه تا جایی ادامه می‌یابد تا وضعیت پایدار حاصل گردد. می‌توان با شکل دیگر به موضوع توجه نمود. در کشورهای توسعه یافته منابع زیست محیطی فراوان و سرمایه کمیاب می‌باشند. قیمت سایه‌ای ذخیره محیط زیست ( $\mu$ ) تغییر نمی‌کند و قیمت سایه‌ای سرمایه ( $\lambda$ ) افزایش می‌یابد.

بنابراین قیمت نسبی محیط زیست کاهش می‌یابد. با توجه به فرآیند توسعه اقتصادی در کشورهای توسعه یافته، سرمایه افزایش و ذخیره محیط زیست تقریباً ثابت یا به آرامی کاهش می‌یابد. بنابراین  $k = \frac{K}{E}$  افزایش می‌یابد تا به  $k^*$  برسد (ذخیره بهینه سرمایه) در حالی که ذخیره محیط زیست کاهش می‌یابد. در وضعیت عکس آن،  $k = \frac{K}{E}$  کاهش و قیمت نسبی ذخیره محیط زیست افزایش می‌یابد. اقتصاد در نقطه  $S$  دارای یک تعادل پایدار با ثبات است (مربوط به  $k^*$ ) که در مسیر (خطوط) ۲ یا ۷ و یا ۴ در تصویر یک نشان داده شده است.

به علاوه اگر  $K(0) < K^*$  است،  $k$  به سمت  $k^*$  حرکت می‌کند و سرمایه افزایش و قیمت محیط زیست کاهش می‌یابد؛ اگر  $K(0) > K^*$  است،  $k$  به سمت  $k^*$  حرکت می‌کند و سرمایه کاهش و قیمت محیط زیست افزایش می‌یابد.

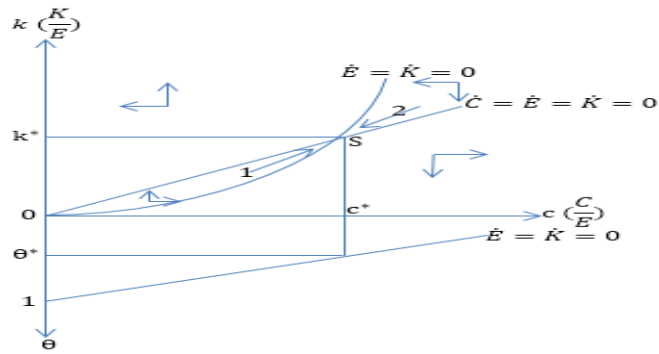
در وضعیت و حالت پایا خواهیم داشت:  $\frac{\dot{C}}{C} = \frac{\dot{K}}{K} = \frac{\dot{Y}}{Y} = \frac{\dot{E}}{E} = \frac{\dot{A}}{A} = \frac{\dot{\theta}}{\theta} = 0$  که مقادیر  $\theta$ ،  $\frac{C}{E}$ ،  $\frac{C}{K}$  و  $\frac{K}{E}$  ثابت می‌باشند. در انتقالات پویا محیط زیست پیوسته کاهش می‌یابد (به خط ۲ و ۷ مشخص شده در شکل ۵ توجه شود) و در وضعیت پایدار متوقف می‌شود؛ در جایی که هیچ تخریب محیط زیستی رخ نمی‌دهد. بنابراین منحنی یو برعکس شکل (یا منحنی محیط زیست کوزنتس) از وضعیت پایدار یا حرکت‌های ناشی از انتقال‌های پویا (در امتداد مسیر بهینه) به سمت وضعیت بهینه ایجاد

نمی‌شود. شکل‌ها به ترتیب: ۱- ارزش‌های بهینه و وضعیت پایدار. ۲- مکان یا مکان هندسی ممکن برای  $\dot{E} = 0$  و  $\dot{K} = 0$  به علت تغییر و حرکت سایر متغیرها. ۳ و ۴- دو شکل، انتقال‌های پویا و تعادل‌های چندگانه.



شکل ۱: ارزش های بهینه و وضعیت پایدار

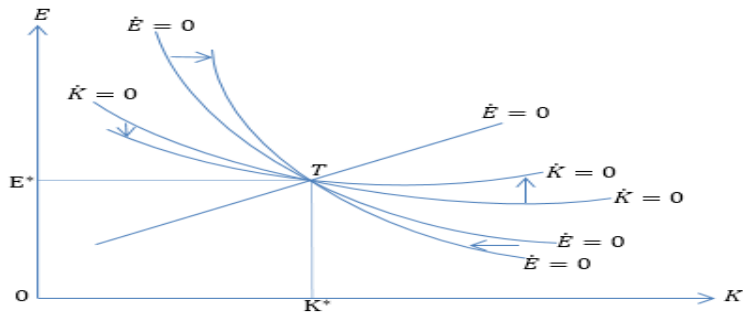
Fig.1. Steady state and optimal values



مأخذ: محاسبات تحقیق

Source: Research calculations

شکل ۲: مکان یا مکان هندسی ممکن برای  $\dot{E} = 0$  و  $\dot{K} = 0$  به علت تغییر و حرکت سایر  
Fig.2. Possible locus of  $\dot{E} = 0$  and  $\dot{K} = 0$  and due to motion of other variables

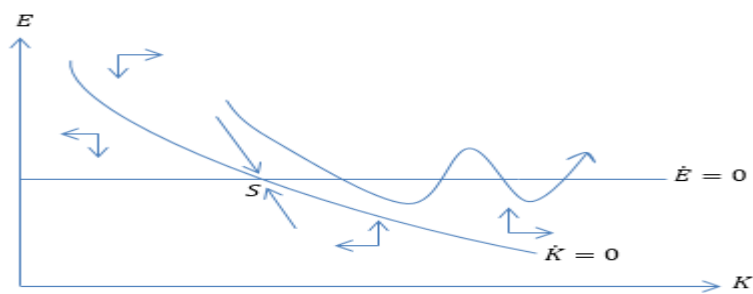


مأخذ: محاسبات تحقیق

Source: Research calculations

شکل ۳: انتقال های پویا و تعادل های چندگانه

Fig.3. Transitional dynamics and multiple equilibrium

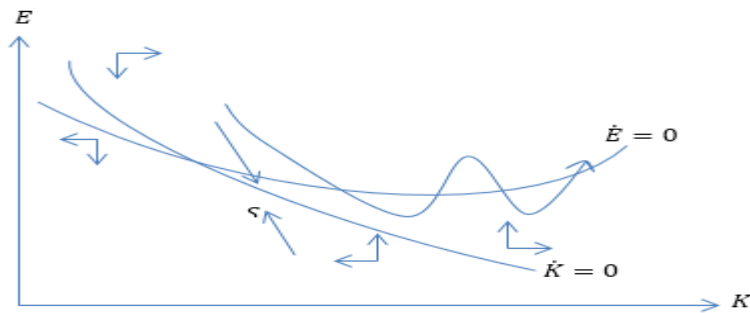


مأخذ: محاسبات تحقیق

Source: Research calculations

شکل ۴: انتقال‌های پویا و تعادل‌های چندگانه

Fig.4. Transitional dynamics and multiple equilibrium



مأخذ: محاسبات تحقیق

Source: Research calculations

توجه شود که در انتقال‌های پویا، تبادل میان رشد اقتصادی و تخریب محیط زیست باید بهینه است و این مورد یک شرط ضروری برای همگرا شدن به سمت وضعیت پایدار است.

#### ۵-۳-۱- ارزش بهینه در وضعیت پایدار

اگر مصرف و سرمایه متوسط نسبت به ذخیره محیط زیست به ترتیب به صورت  $c = \frac{C}{E}$ ;  $k = \frac{K}{E}$  تعریف گردند. زمانی که با در نظر گرفتن  $\dot{C} = \dot{K} = \dot{E} = 0$  و  $\dot{K} = \dot{E} = 0$  به حل معادلات پرداخته شود، ارزش سرمایه متوسط نسبت به ذخیره محیط زیست به شکل مقابل خواهد بود:

$$k = \frac{1}{\beta\alpha} C\alpha + \frac{\gamma}{A_1} c; k = \alpha \left( \frac{1}{\alpha} - \frac{\gamma}{A_1} \right) c \quad (36)$$

از طرفی ارزش بهینه مصرف متوسط نسبت به ذخیره محیط زیست عبارت است:

$$c^* = \beta\alpha \left( \frac{\alpha}{\rho} - (1 + \alpha) \frac{\gamma}{A_1} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \quad (37)$$

و ارزش بهینه سرمایه متوسط نسبت به ذخیره محیط زیست عبارت است از:

$$k^* = \alpha \left( \frac{1}{\alpha} - \frac{\gamma}{A_1} \right) c^* = \alpha \beta^{\frac{1}{1-\alpha}} \left( \frac{1}{\rho} - \frac{\gamma}{A_1} \right) \left[ \frac{\alpha}{\rho} - (1 + \alpha) \frac{\gamma}{A_1} \right]^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \quad (38)$$

و در نتیجه آن ارزش بهینه سهم سرمایه بکار رفته در تولید کالا از کل سرمایه

$$\theta^* = 1 - \frac{\gamma}{A_1} c^* = 1 - \frac{\gamma}{A_1} \left[ \beta\alpha \left( \frac{\alpha}{\rho} - (1 + \alpha) \frac{\gamma}{A_1} \right)^{\frac{\alpha}{1-\alpha}} \right]$$

این ارزش‌های بهینه ( $c^*$ ,  $k^*$  و  $\theta^*$ ) را می‌توان از طریق رسم شکل نیز مشاهده نمود (شکل ۵). باید این نکته را در نظر گرفت که تخصیص بهینه سرمایه بکار رفته در

تولید از کل سرمایه بستگی به نرخ آلودگی ( $\gamma$ )، دسترسی به تکنولوژی‌های تولید ( $\beta$ )، فعالیت‌های جلوگیری کننده از انتشار آلودگی ( $A_1$ )، سهم سرمایه در تولید ( $\alpha$ ) و نرخ تنزیل ( $\rho$ ) دارد.

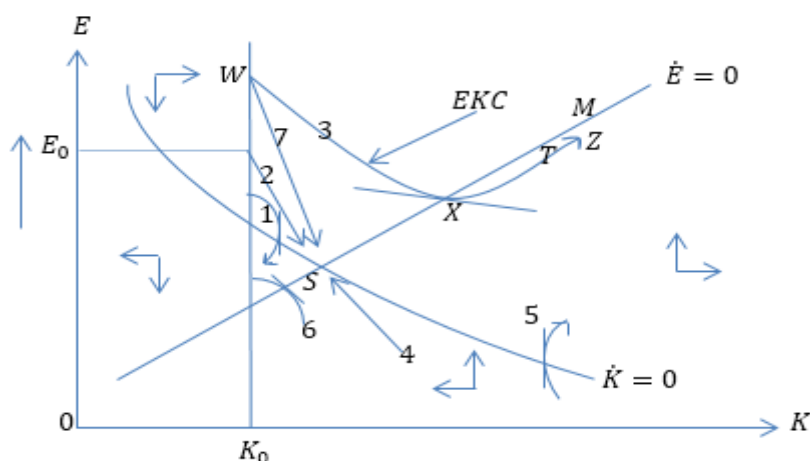
#### ۴-۵- استخراج منحنی محیط زیست کوزنتس

در فرآیند توسعه اقتصادی ممکن است تخریب محیط زیست را به همراه داشته است که برای مدت طولانی و یا مدت زمان مشخصی ادامه یابد؛ ضمناً ممکن است ذخیره محیط زیست و سرمایه در این مدت کاهش (منحنی ۱) و یا افزایش (منحنی ۳) یابد،  $(\dot{K} > 0, \dot{E} < 0)$ . در خط ۲ یا ۷ سرمایه رشد و ذخیره محیط زیست کاهش می‌یابد، با رشد اقتصاد، ذخیره تغییرات محیط زیست و سرمایه به سمت صفر  $(\dot{E} = \dot{K} = 0)$  و نقطه S پیش می‌روند. در حالی که در منحنی ۳ هیچ‌گونه گرایشی به سمت نقطه S یا  $\dot{E} = \dot{K} = 0$  ندارد.

انتقال‌های پویا:

شکل ۵: انتقال‌های پویا و تعادل‌های چندگانه

Fig.5. Transitional dynamics and Multiple Balances



مأخذ: محاسبات تحقیق

Source: Research calculations

در نقطه W، اقتصاد تخصیص بهینه سرمایه را در امتداد خط WS (خط ۷ در شکل ۵-۵ مشاهده شود) به همراه دارد که حرکت به سمت نقطه تعادلی S است. بنابراین

نرخ تخریب محیط زیست در امتداد این خط ثابت است. لذا در مسیر بهینه به طور یکنواخت ذخیره محیط زیست کاهش و سرمایه افزایش می‌یابد تا در نقطه بهینه  $S$  ثابت است. باید این مورد را در نظر داشت که برخی از مشاهدات تجربی این مورد را تایید می‌نمایند، به خصوص در زمانی که آلودگی‌ها و پساب‌های شهری و انتشار دی اکسیدکربن به طور مداوم افزایش و دسترسی به آب آشامیدنی پاکیزه و بهداشتی به طور پیوسته با افزایش سطح درآمدی کشورها، نیز افزایش می‌یابد (بانک جهانی، ۱۹۹۲ و شافیک، ۱۹۹۴). باید به این نکته توجه شود که تنها یک مسیر زینی منجر به وضعیت پایدار می‌شود و سایر مسیرها ما از وضعیت پایدار دور می‌شوند. در این تحقیق بر روی منحنی ۳ (شکل ۵) تمرکز شده است. اگر نرخ تخریب محیط زیست بیش از نرخ بهینه نمایش داده شده در منحنی محیط زیست کوزنتس گردد، اقتصاد متلاشی (منحنی ۱ شکل ۵) می‌شود (امتداد خط  $WXTZ$ ). منحنی ۳ در شکل ۵ نشان می‌دهد که مسیر منحنی محیط زیست کوزنتس خارج از وضعیت پایدار و در مجموع بی ثبات است؛ زیرا هر دو ذخیره سرمایه و محیط زیست در هر لحظه از زمان افزایش می‌یابند (همانند نقطه  $Z$ ). در نقطه  $X$  خالص تغییرات در ذخیره محیط زیست صفر است ( $\dot{E} = 0$ )، اما ذخیره سرمایه همچنان افزایش می‌یابد ( $\dot{K} > 0$ )، که این مورد برای تداوم رشد اقتصادی لازم است. بنابراین محیط زیست باثبات و سرمایه انباشته می‌شود.

توجه شود که توسعه مداوم در یک اقتصاد ممکن است تنها زمانی که  $\dot{K} > 0$  رخ دهد و بر خالص محیط زیست اثر نگذارد و ثابت است ( $\dot{E} = 0$ ). رشد اقتصادی ممکن است که سازگار با حفاظت از محیط زیست است، اما این رخداد خودکار نیست. با یک مقدار ناکافی از تخصیص منابع برای بهبود محیط زیست، رشد اقتصادی ممکن است گرایش به تمام شدن منابع محیط زیست در بلندمدت داشته است. اگر اجتماع مقدار و حجم مناسبی از منابع را برای بهبود محیط زیست بکار نبرد و یا از آن حفاظت نکند، نرخ رشد بالاتر تنها موقتی خواهد بود و در بلندمدت در نهایت به مقدار صفر می‌رسد.

فرض شود که مسیر  $WX$  موردی است که رشد ذخیره محیط زیست صفر است، سپس با حرکت بر روی این خط در امتداد مسیر  $XTZ$  حرکت می‌نماید. در نقطه  $T$  یا  $Z$ ، هر دو رشد ذخیره محیط زیست و سرمایه مثبت است. بنابراین در این مسیر کیفیت محیط زیست بهبود می‌یابد. بنابراین در تصویر ۱ مسیر  $WXTZ$  نمایش

دهنده منحنی محیط زیست کوزنتس (یو برعکس) در خصوص رابطه سرمایه و ذخیره محیط زیست در امتداد خط E-K است. اگر کل سرمایه برای فرآیند تولید بکار برده شود، از ابتدا ذخیره محیط زیست تخریب می‌شود، هیچ چیزی از محیط زیست حفاظت نخواهد نمود. ضمناً هیچ اقتصادی نمی‌تواند در برنامه ریزی مراحل اولیه توسعه خود بتواند تخریب محیط زیست به همراه نداشته است و بعد از گذشت زمان (حداقل تا صنعتی شدن) اقتصاد باید به این نتیجه دست یابد که نیاز به تخصیص هر چه بیشتر سرمایه در جهت بهبود محیط زیست است که کیفیت بالاتر محیط زیست منجر به افزایش و سطح بالاتر سرمایه می‌شود. زمانی که هزینه کنترل و جلوگیری کننده از آلودگی مثبت است بر طبق نظر لیب (۲۰۰۲)، این مورد برای وجود منحنی محیط زیست کوزنتس کافی است. علاوه بر این مشخص است که سرمایه ناکافی تخصیص داده شده به فعالیتهای جلوگیری کننده از آلودگی در امتداد خط WX است؛ اما این تخصیص در امتداد خط XTZ کافی و یا حتی بیشتر نیز است. لذا این نکته را باید توجه نمود که تنها یک زیر مجموعه از زیر مجموعه‌های شرایط بهینه منحنی محیط زیست کوزنتس را ایجاد می‌نماید.

#### ۵-۴-۱- وجود منحنی محیط زیست کوزنتس (مسیر زینی)

بررسی وجود مسیر زینی در صفحه  $k - c$  ساده است. با حل  $\dot{C} = \dot{K} = \dot{E} = 0$  در صفحه  $k - c$  (خط ۱ و ۲ در شکل ۵)، به معادله مسیر زینی رسیده خواهد شد، بگونه‌ای که  $A_1 k = m + \gamma c$  و  $m = \left( \frac{A_1^\alpha}{(1-\alpha)\alpha\beta} \right)^{\frac{1}{\alpha}}$  است. ضمناً نسبت‌های  $k$  و  $c$  رابطه خطی دارند؛ به علاوه باید به این نکته توجه داشت که اگر اقتصاد در وضعیت پایدار ( $\frac{\dot{C}}{C} = \frac{\dot{K}}{K} = \frac{\dot{E}}{E} = \frac{\dot{\theta}}{\theta} = 0$ ) است؛ اقتصاد باثبات است.

#### ۶- نتیجه گیری و پیشنهادات

در این مطالعه متغیر سیاستی تخصیص سرمایه به تولید ( $\theta$ ) نقش حیاتی برای کنترل کیفیت محیط زیست ایفاء می‌کند. در فرآیند توسعه اقتصادی، تخصیص سرمایه برای فعالیتهای جلوگیری از انتشار آلودگی در طی زمان افزایش می‌یابد و در نقطه بهینه یا وضعیت پایدار متوقف می‌شود. بنابراین، به طور عامیانه، فعالیتهای جلوگیری از انتشار آلودگی قدرت کافی برای بازیابی کیفیت محیط زیست دارا می‌باشند. این مورد زمانی نتیجه بخش خواهد بود که در بخش جلوگیری کننده از انتشار آلودگی سرمایه گذاری مناسب صورت گرفته است؛ در نتیجه آن

کیفیت محیط زیست بهبود می‌یابد و بر این اساس برای رابطه میان کیفیت محیط زیست و رشد اقتصادی یو برعکس است.

ضمناً باید به این نکته توجه نمود که فعالیت‌های جلوگیری کننده از انتشار آلودگی نیروی اصلی برای متوقف کردن تخریب محیط زیست را دارا می‌باشند؛ بنابراین، تخصیص بهینه سرمایه در فعالیت‌های جلوگیری کننده از انتشار آلودگی سبب انتقال منحنی انتشار آلودگی به پایین و کاهش آلودگی می‌گردد.

مضاف بر این منابع کافی باید به فعالیت‌های جلوگیری از انتشار آلودگی تخصیص یابد و در برخی از زمان‌ها که به شرایط بهینه دست یافته می‌شود و با انباشت سرمایه، تخریب محیط زیست متوقف می‌شود و رشد اقتصادی ممکن است با ادامه روند خود به محافظت از کیفیت محیط زیست بیانجامد که در این خصوص باید توجه داشت که تخصیص سرمایه به منظور حفاظت از محیط زیست، برای رشد اقتصادی در بلندمدت لازم و حیاتی است.

لازم به ذکر است این مقاله امکان بررسی و تحلیل نظری منحنی کوزنتس را در حالت مدل رشد برونزا، ایجاد نمود و منحنی محیطی زیست کوزنتس به طور پویا در شرایط خارج از شرایط پایدار و بهینه برآورد و استخراج گردید. مدل مورد استفاده در این پژوهش پیشنهاد می‌کند که اقتصاد باید یک بخشی از سرمایه خود را برای جلوگیری و کاهش فعالیت‌های مخرب محیط زیست تخصیص دهد. زیرا تخریب محیط زیست در هر مرحله‌ای از اقتصاد رخ می‌دهد و به این دلیل است که سرمایه کافی برای ممانعت و کاهش فعالیت‌های مخرب محیط زیست در مراحل گذشته، تخصیص داده نشده است (ضمناً در طی بررسی‌های صورت گرفته تخصیص بهینه نشان داده شده است). بنابراین، برای بازیابی کیفیت محیط زیست و بهبود آن، یک سرمایه‌گذاری مناسب و کافی نیاز است تا ذخیره سرمایه مطلوب در اقتصاد نیز ایجاد گردد. به علاوه با حرکت از سرمایه‌گذاری ناکافی و نامناسب به سرمایه‌گذاری کافی و مناسب در جهت بهبود کیفیت محیط زیست، سطح آلودگی کاهش می‌یابد؛ بنابراین به تناسب آن منحنی یو برعکس شکل رابطه آلودگی و رشد اقتصادی استخراج می‌گردد. ضمناً تخصیص بهینه سرمایه برای جلوگیری از فعالیت‌های مخرب آلودگی بوسیله سرمایه‌گذاری مناسب و کافی سبب کاهش سطح آلودگی می‌گردد.

پیشنهادات ارائه شده در این تحقیق به شرح زیر است: با توجه به یافته های تحقیق می توان پیشنهاد داد که کشورهای جهان می توانند از طریق یک سرمایه گذاری مطلوب در بخشی از سرمایه خود برای جلوگیری و کاهش فعالیت های مخرب محیط زیست سبب بهبود کیفیت محیط زیست و همچنین ایجاد بستری مناسب برای تحقق این هدف و بهره گیری از تکنولوژی های پاک، قدمی بزرگ و سازنده در بهبود رشد اقتصادی و کاهش آلودگی جامعه بردارند؛ چرا که از اهداف اصلی جوامع و دولت ها، بهبود رفاه جامعه است که این هدف والا با استفاده از بهبود کیفیت محیط زیست و رشد اقتصادی، با سرعت بیشتری قابل دستیابی است.

به علاوه با توجه به روش مطرح شده (روش پویا و بهره گیری از همیلتونین) در این تحقیق، محققان می توانند: با توسعه روش مطرح شده و بکارگیری روش های دیگر از جمله روش تصادفی (معادله بلمن) به بررسی رابطه دو متغیر رشد اقتصادی و شاخص تخریب محیط زیست و وجود منحنی محیط زیست کوزنتس بپردازند.

## فهرست منابع

- اخوی، احمد. (۱۳۸۳). «اقتصاد کلان (پایه‌ای و کاربردی)». تهران، موسسه مطالعات و پژوهش‌های بازرگانی، (۵): ۱۷۰-۱۹۳.
  - تفضلی، فریدون. (۱۳۹۱). «اقتصاد کلان نظریه‌ها و سیاست‌های اقتصادی». تهران، نی، (۱۹): ۴۵۰-۴۶۷.
  - خوش اخلاق، رحمان و دلالی اصفهانی، رحیم و ناصر یارمحمدیان. (۱۳۹۰). «تحلیل منحنی محیط زیست کوزنتس با استفاده از فرآیند کیفیت زیست محیطی مشمول انتخاب سبد مصرفی خانوار». فصلنامه تحقیقات مدل سازی اقتصادی، ۲، (۶): ۸۵-۱۰۴.
  - روانشادنیایا، مهدی. (۱۳۹۲). «مدیریت ایمنی در پروژه‌های عمرانی». سیمای دانش، (۲): ۱۳۰-۱۴۳.
  - روزبهان، محمود. (۱۳۸۸). «نظریه اقتصاد خرد». چارلز فرگوسن، مرکز نشر دانشگاهی، (۵): ۷۰-۹۳.
  - شریف، مصطفی. (۱۳۸۷). «اقتصاد کلان». اطلاعات، (۱): ۱۷۲-۱۸۴.
  - فرجی دیزجی، یوسف. (۱۳۸۹). تئوری اقتصاد خرد. دانشکده علوم اقتصادی، (۱): ۵۴۳-۵۶۲.
  - فرهنگ، منوچهر. (۱۳۷۹). «فرهنگ علوم اقتصادی». ذهن آویز، (۱): ۲۸۵.
  - فقیه، نظام الدین. (۱۳۹۳). «سیستم‌های پویا: اصول و تعیین هویت». سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها، سمت، (۱): ۲۲۳-۲۳۰.
  - فقیه، نظام الدین. (۱۳۸۶). «سیستم‌های کنترل». شیراز: نوید شیراز، (۱): ۸۷-۹۲.
  - قدیری اصلی، باقر. (۱۳۹۱). «کلیات علم اقتصاد، تهران». سپهر، (۹): ۳۳۱-۳۴۰.
  - مهرآرا، محسن و صارم، مهدی و حسین توکلیان. (۱۳۹۱). «اقتصاد ریاضی (یک رویکرد پویا)». نور علم، (۹): ۲۵۲-۲۶۳.
- Andreoni, J. & A. Levinson. (2001). The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve. *Journal of Public Economics* 80(2): 269-286.



- Apergis, N. (2016). Environmental Kuznets Curves: New Evidence on Both Panel And Country-Level CO2 Emissions, *Energy Economics* 54(2): 263-271.
- Apergis, N. & I. Ozturk. (2015). Testing Environmental Kuznets Curve Hypothesis in Asian Countries, *Ecological Indicators* 52(3): 16-22.
- Babu, S.S. & S.K. Datta. (2013). The Relevance of Environmental Kuznets Curve (EKC) in a Framework of Broad-Based Environmental Degradation and Modified Measure of Growth A Pooled Data Analysis. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* 17(1): 309-316.
- Beckerman, W. (1992). Economic Growth and The Environment: Whose Growth? Whose Environment? *World Development* 20(1): 48-496.
- Brock, W.A. & M.S. Taylor. (2010). The Green Solow model. *J. Econ. Growth* (15): 127-153.
- Brock, W.A. & M.S. Taylor. (2004). The Green Solow Model, Department of Economics, University of Wisconsin, Working paper (3): 1-16.
- Bruvoll, A., T. Fahn & Strom. (2003). Quantifying Central Hypotheses on Environmental Kuznets Curves for A Rich Economy: A Computable General Equilibrium Study. *Scottish Journal of Political Economy*, 50 (2): 149-173.
- Bulte, E.H. & D.P. Van Soest. (2001). Environmental Degradation in Developing Countries: Households and the (Reverse) Environmental Kuznets curve. *Journal of Development Economics* 65: 225-235.
- Chichilinsky, G. (1994). North-South Trade and the Global Environment. *The American Economic Review*, 84(4): 851-74.
- Copeland, B.R. & M.S. Taylor. (1994). North-South Trade and the Environment. *Quarterly Journal of Economics*, 109(3): 755-85.
- Destek, M.A. & A.S. Samuel. (2019). Investigation of Environmental Kuznets Curve for Ecological Footprint: The Role of Energy And financial Development, *Science of the Total Environment* 65(5): 2483-2489.
- Dinda, S. (2005). A Theoretical Basis for the Environmental Kuznets Curve. *Ecol. Econ.* 53(3): 403-413.
- Farhani, S., S. Mrizak, A. Chaibi & C. Rault. (2014). The Environmental Kuznets Curve and Sustainability: A Panel Data Analysis. *Energy Policy* 71(3): 189-198.
- Geldrop, V. & C. Withagen. (2000). Natural Capital and Sustainability. *Ecological Economics*, 32(3): 45-55.

- Grossman, G.M. & A.B. Krueger. (1991). Environmental Impacts of the North American Free Trade Agreement. NBER. (7): 65-73.
- Grossman, G.M. & A.B. Krueger. (1993). Environmental Impacts of the North American Free Trade Agreement. In: Garber, P. the U.S. Mexico Free Trade Agreement. MIT Press, Cambridge (4): 13-56.
- Hettige, H.M. Mani & D. Wheeler. (1998). Industrial Pollution and Economic Development, Policy Research Working Paper 1876. Washington, DC: World Bank. (8): 123-157.
- Hofkes, M.W. (1996). Modelling Sustainable Development: An Economy-Ecology Integrated Model. Economic Modelling, 13: 33-53.
- Ipc. (2014). Climate Change, Impacts, Adaptation and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. In: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea & L.L. White. (Eds.), Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Inter-governmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. 80-115.
- James fetal, W. (1990). Explorations in Microeconomics, CAT Publishing co. 23: 50-68.
- Joan Robinson, J. (1982). it is the Science of Confusing Stocks with flows. It is this Confusion that has Kept the Quantity Theory of Money Alive Until Today, Shedding Darkness, Cambridge Journal of Economics, 52(5): 295-296.
- Kearsley, A. & M. Riddel. (2010). A Further Inquiry into the Pollution Haven Hypothesis and the Environmental Kuznets Curve. Ecol. Econ. 69(4): 905-919.
- Kijima, M., K. Nishide & A. Ohyama. (2010). Economic Models for the Environmental Kuznets Curve: A Survey, Journal of Economic Dynamics & Control 34: 1187-1201.
- Koop, G. & L. Tole. (1999). Is there an Environmental Kuznets Curve for Deforestation? Journal of Development Economics, 58: 231-244.
- Kuznets, P. & P. Simon. (1955). Economic Growth and Income Inequality. American Economic Review 45(1): 1- 28.
- Lieb, C.M. (2002). The Environmental Kuznets Curve and Satiation: a Simple Static Model. Environment and Development Economics 7(2): 429-448.

- Lopez, R. (1994). The Environment as a Factor of Production: The Effects of Economic Growth and Trade Liberalization. *Journal of Environmental Economics and Management* 27: 163-184.
- Mansour, S.A. (2004). Pesticide Exposure- Egyptian Scene. *Toxicology*, 198: 91-115.
- Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers & W. Behrens. (1972). *The Limits to Growth*. Universe Books, New York. 80-97.
- Ngarambe, J. & H.S. lim & K. Gon. (2018). Light Pollution: Is there an Environmental Kuznets Curve? *Sustainable Cities and Society*. 21: 1-35.
- Panayotou, T. (1993). Empirical Tests and Policy Analysis of Environmental Degradation at Different Stages of Economic Development, ILO, *Technology and Employment Programmed*, Genevas. 14(1): 54-68.
- Repetto, R. & S.S. Baliga. (1996). *Pesticide and Immune System: The Public Health Risk*. Washington, DC: World Resources Institute. 13: 75-92.
- Resosudarmo, B.P. & E. Thorbecke. (1996). The Impact of Environment Policies on Household Income for Different Socio-Economic Classes: The Case of Air Pollutants in Indonesia. *Ecological Economics*, 17(2): 83-94.
- Reyes, R.C. (2011). The Green Solow Model With Natural Resources Constraint: A Theoretical Note. *DLSU Bus. Econ. Rev.* 21(1): 111-116.
- Selden, T. & D. Song. (1994). Environmental Quality and Development: is there a Kuznets Curve for air pollution emissions? *Journal of Environmental Economics and management* 27: 147-162.
- Seldon, T.M. & D. Song. (1995). Neoclassical growth, the J Curve for Abatement and The Inverted U Curve for Pollution. *Journal of Environmental Economics and Management* 29(2): 162-168.
- Shafik, N. (1994). Economic Development and Environmental Quality: an Econometric Analysis. *Oxford Economic Papers* 46: 757-773.
- Shafik, N. & S. Bandyopadhyay. (1992). *Economic Growth and Environmental Quality: Time Series and Cross- Country Evidence*. Background Paper for the World Development Report. The World Bank, Washington, Dc 23(3): 125-141.
- Solow, R.M. (1986). On the International Allocation of Natural Resources, *Scandinavian Journal of Economics*, 88(1): 141-149.

- 
- Stefanski, R. (2010). on the Mechanics of the Green Solow Model. OxCarre Working Papers 047. Oxford Centre for the Analysis of Resource Rich Economies, University of Oxford, 42(2): 35-73.
  - Stern, D.I. (2010). Between estimates of the emissions-income elasticity. *Ecol. Econ.* 69: 2173-2182.
  - Stern, D.I., M.S. Common & E.B. Barbier. (1996). Economic Growth and Environmental Degradation: A Critique of the Environmental Kuznets Curve. *World Development* 24: 1151-1160.
  - Stokey, N.L. (1998). Are there limits to growth? *International Economic Review* 39: 1-31.
  - Tahvonen, O. & J. Kuuluvainen. (1993). Economic Growth, Pollution, and Renewable Resources. *Journal of Environmental Economics and Management* 24(6): 101-118.
  - Van der Ploeg, F. & C. Withagen. (1991). Pollution Control and the Ramsey Problem. *Environmental and Resource Economics*, 62(1): 215-236.
  - Varian, Hal R. (2009). *Intermediate Microeconomics: A Modern Approach*, W. W. Norton & Company, New York, 32(3): 50-75.
  - Wang, Lijun., Zhou, Dequn, Wang, Yongyu and Zha, Donglan (2015). An empirical study of the Ecological Indicators 56(2): 96-105.
  - Wang, Y., L.Y. Kang, X.Q. Wu & Y. Xiao. (2013). Estimating the Environmental Kuznets Curve for Ecological Footprint at the Global Level: A Spatial Econometric Approach. *Ecol. Indic.* 34(1): 15-21.