فصلنامه مدلسازی اقتصادی (سال دوم، شماره ۲ «پیاپی ٦»، زمستان ۱۳۸۷، صفحات ۱۴۹-۱۳۱)

تجزیه و تحلیل تئوریکی منحنی زیست محیطی کوزنتز

دکتر مریم لشکری زاده [*] ***سیده نونا تاجداران*** [**]

تاریخ دریافت : ۸۸/۰٦/۱۵ تاریخ پذیرش : ۸۹/۰٦/۱۵

چکیده

در این مقاله سعی شده است چگونگی بوجود آمدن رابطه u معکوس شکل بین رشد اقتصادی وکیفیت زیست محیطی بر مبنای تئوریهای اقتصاد خرد و شرایط بهینه یابی بررسی شود؛ لذا حالت‌های گوناگون بوجود آمدن رابطه u معکوس منحنی زیست محیطی کوزنتز در چارچوب مدل‌های استاتیک و حالت‌های گوناگون مدل‌های دینامیک با ذکر فروض و شرایط آن توضیح داده شده است. نتیجه نهایی نشان می‌دهد تغییر ترجیحات مردم در طی فرآیند رشد اقتصادی عامل اصلی به وجود آمدن منحنی زیست محیطی کوزنتز است.

طبقه‌بندی JEL: C33;Q56 .

واژه‌های کلیدی: رشد اقتصادی؛ محیط زیست؛ مدلهای استاتیک و دینامیک.

[*] هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد فیروزکوه (نویسنده مسئول)
email:lashkaryzadeh77@yahoo.com

[**] کارشناس ارشد اقتصاد

۱ــ مقدمه

بررسی رشد اقتصادی با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی مدت‌های مدیدی است که مورد توجه اقتصاددانان قرار گرفته است.اکثر دانشمندان اقتصاد محیط زیست،معتقدند در مراحل اولیه توسعه ودر مرحله سریع صنعتی شدن، تقریبا تمام اقتصادها رشد چشمگیری در میزان آلاینده را تجربه می‌کنند که اقتصاد را به سمت مشکلات زیست محیطی وخیمی سوق می‌دهد؛ اما به تدریج که اقتصاد به مراحل بالاتر توسعه یافتگی می‌رسد کیفیت محیط زیست نیز بهبود می‌یابد. علت آن می‌تواند الگوی در حال تغییر ترجیحات مردم برای داشتن محیط زیست پاکتر و وضع سیاست‌ها و کنترل‌هایی خاص روی انتشار آلودگی توسط دولت‌ها باشد. بنابراین می‌توان بیان داشت که در فرایند رشد و توسعه اقتصادی، ابتدا شاهد تخریب و سپس بهبود محیط زیست می‌باشیم.این روند تغییرات باعث بوجود آمدن رابطه u، معکوس شکل بین رشداقتصادی وکیفیت زیست محیطی می‌شود که در ادبیات اقتصاد محیط زیست به منحنی زیست محیطی کوزنتز(EKC) معروف است. در خصوص تایید و یا رد منحنی کوزنتز مطالعات تجربی زیادی صورت گرفته است.از مهم ترین مشکلات و کمبودهای اساسی در تحقیقات انجام شده، کمبود مطالعه در زمینه ادبیات تئوریکی و چگونگی بوجود آمدن شکل u معکوس منحنی کوزنتز است.

هدف اصلی این مقاله بیان حالت‌های مختلف بوجود آمدن منحنی کوزنتز با استفاده از تئوریهای اقتصاد خرد می‌باشد. دلایل اصلی بوجود آمدن منحنی EKC را می‌توان در دو گروه قرار داده وبررسی نمود.گروه اول مدل‌های مبتنی بر تقاضا که در آنها از تابع مطلوبیت جهت بیان حالت‌های بوجود آمدن منحنی کوزنتز استفاده شده است. دوم مدل‌های مبتنی بر عرضه که در آنها از تابع تولید برای نشان دادن شرایط رسیدن به رابطه u معکوس منحنی کوزنتز استفاده گردیده است.در این مقاله تنها به مدل‌های طرف تقاضا پرداخته شده است.

پس از مقدمه، بخش دوم به بررسی مدل‌های استاتیک و دینامیک اختصاص یافته است و دربخش سوم و پایانی نیز جمع بندی صورت گرفته است.

۲- مدل‌های مبتنی بر تابع مطلوبیت(طرف تقاضا)

مدل‌های مبتنی بر تابع تقاضا را می‌توان به دو دسته مدل‌های استاتیک و دینامیک تقسیم

نمود. که در مدل‌های دینامیک نیز حالات متفاوتی از رشد اقتصادی و سیاست‌های کاهش آلودگی قابل بررسی است.

الف- مدلهای استاتیک[1]

اکثر مطالعات تجربی به دنبال تایید و یا رد رابطه U معکوس شکل بین درآمد سرانه و محیط زیست که به منحنی زیست محیطی کوزنتز معروف است، بوده‌اند. در زیر با استفاده از یک مدل ساده استاتیک ثابت شده که شکلu معکوس منحنی زیست محیطی کوزنتز یا همان رابطه بین رشد اقتصادی وکیفیت زیست محیطی بر اساس تغییر ترجیحات مصرف کنندگان بین مصرف و آلودگی اتفاق می‌افتد. در این مدل، مصرف کننده نوعی وجود دارد که تابع مطلوبیت وی به صورت رابطه است:

$$U = U(C,P)$$

c بیانگر مصرف و P نماد آلودگی است. تابع آلودگی به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$P = P(C,E)$$

E بیانگر تلاش‌های صورت گرفته برای کاهش آلودگی می‌باشد.

فرض می‌شود شکل تابع مطلوبیت و آلودگی به صورت روابط تعریف شده باشد:

$$U = C - zP$$

$$P = C - C^{\alpha}E^{\beta}$$

در معادلات بالا αوβ پارامترهای مثبتی هستند.هر اندازهβ بزرگتر باشد کاهش آلودگی به میزان بیشتری اتفاق می‌افتد. همچنین فرض می‌شود قیمت کالاهای مصرفی و هزینه کاهش آلودگی برابر واحد است؛ بنابراین با نشان دادن درآمد مصرف کننده با نماد M، می‌توان محدودیت بودجه ای وی را به صورت زیر تعریف کرد:

$$C+E=M.$$

با ماکزیمم کردن رفتار مصرف کننده در این چارچوب استاتیک مقدار بهینه مصرف ($c^{\star}$) و تلاش برای کاهش آلودگی ($E^{\star}$) بر اساس روابط زیر بدست می‌آید:

---

[1]- Yabuta, Andreoni, Levinson (2001) and Levinson (2002)

$$C^* = \frac{\alpha}{\alpha+\beta}M \quad \text{and} \quad E^* = \frac{\beta}{\alpha+\beta}M \quad .$$

با جانشین کردن روابط در تابع آلودگی به سطح بهینه آلودگی می‌رسیم کـه بـه صـورت زیر تعریف می‌شود:

$$P^*(M) = \frac{\alpha}{\alpha+\beta}M - \left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta}\right)^{\alpha}\left(\frac{\beta}{\alpha+\beta}\right)^{\beta}M^{\alpha+\beta} \quad .$$

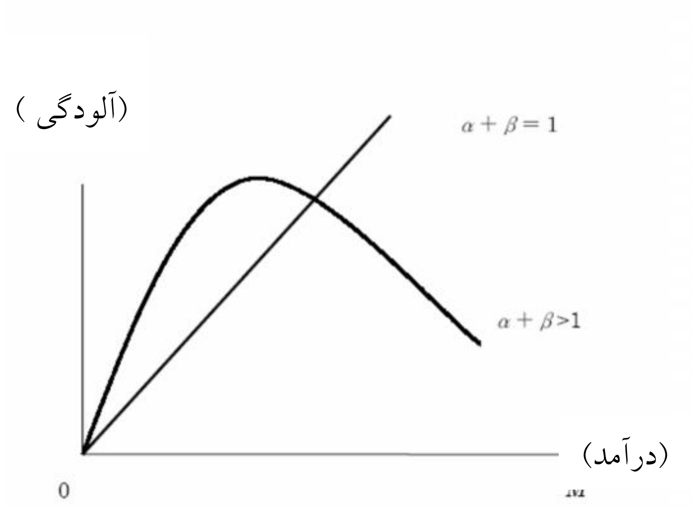
با مشتق گیری از رابطه نسبت به درآمد(M) معادله زیر حاصل می‌گردد که بیانگر شـیب منحنی زیست محیطی کوزنتز است :

$$\frac{\partial P^*}{\partial M} = \alpha - (\alpha+\beta)\left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta}\right)^{\alpha}\left(\frac{\beta}{\alpha+\beta}\right)^{\beta}M^{\alpha+\beta-1} \quad ,$$

$$\frac{\partial^2 P^*}{\partial M^2} = -(\alpha+\beta-1)(\alpha+\beta)\left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta}\right)^{\alpha}\left(\frac{\beta}{\alpha+\beta}\right)^{\beta}M^{\alpha+\beta-2}$$

با توجه به معادلات بالا مشخص می‌شود زمانی می‌توان شـاهد رابطـه U معکـوس بـین درآمد و محیط زیست(آلودگی) بود که (~+β) بزرگتر از یک باشد و مشتق دوم نیز منفـی شود، زیرا تنها در این حالت است که بازدهی نسبت به مقیاس فزاینده است و منحنی نیز به شکل مقعر می‌باشد. زمانی که ~+β=1 باشد بازدهی نسبت به مقیاس ثابت است و نسـبت $\frac{\partial p^*}{\partial M}$ نیز ثابت است. زمانیکه $1 \leq \quad , \sim \leq 0$ باشد با افزایش M مقدار P^* افزایش می‌یابد که در این شرایط شیب منحنی مثبت است. بدین معنی که رابطه آلـودگی و درآمـد نیـز مثبـت می‌باشد. زمانی که ۱> ~+ است بازدهی نسبت به مقیاس کاهنـده و منحنـی بـه شـکل محدب است. که این مفاهیم در نمودار (۲-۱) نمایش داده شده است.

نمودار ۲-۱- شکل معکوس منحنی زیست محیطی کوزنتز



لازم به ذکر است که شکل u معکوس بدست آمده تحت تـأثیر پارامترهـای اثرگـذار بـر نرخ نهایی جانشینی بین مصرف و کاهش آلودگی می‌باشد که نرخ جانشینی نیز وابسـته بـه شکل تابع آلودگی است.

مشکل مدل استاتیک مطرح شده در این است که قادر نیست ارتباط بهینه دینامیـک بـین درآمد و آلودگی را نشان دهد. علاوه بر این نمی تـوان گفـت کـه دلیـل اصـلی کـاهش در آلودگی تنها ناشی از رفتار مصرف کنندگان است.

ب-رویکرد دینامیک[۲]

در این بخش سعی می‌شود به دلایل بیان شده در بالا، چارچوب دینامیکی برای منحنـی زیست محیطی کورنتز با استفاده از مدل استاتیک ذکر شده ارائه شود. بـدین منظـور فـرض شده که مصرف کنندگان دارای تابع مطلوبیت یکسانی هستند و تابع آلـودگی آنهـا هماننـد تابع آلودگی در مدل استاتیک اسـت. در روش دینامیـک تـابع تولیـد بـه وسـیله موجـودی سرمایه (K) و با جایگزینی در محدودیت بودجه معادله بدست مـی‌آیـد. هـم‌چنـین تجمـع دینامیکی سرمایه به وسیله تابع تعریف شده است:

$$M=M(K,P), M_K>0, M_{KK}<0, M_P<0. \qquad (۱۰-۲)$$

[2]-Anderson, Yabuta.

$$\dot{K} = M - E - C$$

در مدل، فرض شده که سرمایه دچـار اسـتهلاک نمـی شـود و قیمـت واقعـی کالاهـای مصرفی و هزینه کاهش آلودگی برابر واحد است. با چنین فروضـی مـی‌تـوان پـذیرفت کـه مدل استاتیک ارائه شده در بخش قبلـی بـه سـمت ورژن بهینـه یـابی دینامیـک بسـط داده می‌شود که این ورژن بهینه دینامیک به وسیله رابطه نشان داده شده است.

$$\max \rightarrow \int_0^{\infty} U e^{-\rho t} dt = \int_0^{\infty} (C^{\alpha} E^{\beta}) e^{-\rho t} dt$$
$$subject\ to \quad \dot{K} = M(K, C - C^{\alpha} E^{\beta}) - E - C, \quad K(0) = K_0$$

در معادله دینامیک ذخیره سـرمایه بـه طـور صـریح در تـابع آلـودگی وارد نمـی شـود. همچنین آلودگی نیز به طور صریح در تابع تولید آورده نشده است.

ارزش جاری تابع همیلتون به وسیله معادله محاسبه می‌گردد:

$$H = C^{\alpha} E^{\beta} + \lambda[M(K, C - C^{\alpha} E^{\beta}) - E - C].$$

شرایط لازم برای بهینه شدن مدل دینامیک که از تابع همیلتون اسـتخراج شـده، در زیـر بیان شده است.

$$\frac{\partial H}{\partial C} = \alpha C^{\alpha-1} E^{\beta} + \lambda[\frac{\partial M}{\partial P}(1 - \alpha C^{\alpha-1} E^{\beta}) - 1] = 0,$$

$$\frac{\partial H}{\partial E} = \beta C^{\alpha} E^{\beta-1} + \lambda[\frac{\partial M}{\partial P}(-\beta C^{\alpha} E^{\beta-1}) - 1] = 0,$$

$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial K} + \rho\lambda = -[\lambda \frac{\partial M}{\partial K}] + \rho\lambda = \lambda[\rho - \frac{\partial M}{\partial K}],$$

معادله شرط دینامیک بودن را بیان می‌کند.

به منظور روشن تر شدن شرایط رسیدن به رابطه U معکـوس منحنـی زیسـت محیطـی

کوزنتز در مدل‌های دینامیک، در زیر حالات مختلف این مدل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

الف - ساده ترین حالت

در ساده ترین حالت مدل‌های دینامیک تابع تولید بـا فـروض و خـواص ویـژه در نظـر گرفته می‌شود. فرض اول این است که ($MP=\frac{\partial M}{\partial P}=0$) باشد. بـدین معنـی کـه آلـودگی اثری روی تولید نگذارد.فرض دوم اینکه تابع درآمد به صورت فـرم جـدایی پـذیر و قابـل تفکیک در نظر گرفته شده باشد. بنابراین در این حالت ساده شرایط زیر حاکم است:

$$\frac{\partial M}{\partial P}=0\text{, then }\; E=\frac{\beta}{\alpha}C \;\text{ and }\; P=C-\left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\beta}C^{\alpha+\beta}.$$

که معادلات دینامیک در این حالت به وسیله سیستم معادلات زیر بیان می‌شود:

$$\begin{cases}\dot{C}=\dfrac{C}{\alpha+\beta-1}\left[\rho-M'(K)\right]\\ \dot{K}=M(K)-\left(\dfrac{\alpha+\beta}{\alpha}\right)C\end{cases}$$

حالت پایدار سیستم (۲-۱٦) به وسیله مقادیر $C^{\star}$, $K^{\star}$ که در زیر داده شده است بدسـت می‌آید:

$$K^{*}=M'^{-1}(\rho),\;\; C^{*}=\left(\frac{\alpha}{\alpha+\beta}\right)M(M'^{-1}(\rho))$$

بنابراین در حالت پایدار معادله (۲-۱۷)،ماتریس ژاکوبین به صورت زیر می‌باشـد و "M برابر M_{kk} است که مقداری منفی دارد:

$$J=\begin{bmatrix}0 & -\dfrac{C}{\alpha+\beta-1}M''\\ -\dfrac{\alpha+\beta}{\alpha} & M'\end{bmatrix}.$$

با محاسبه Trace و دترمینال ماتریس ژاکوبین بالا به صورت زیر:

$$\begin{cases} Trace\, J = M' > 0 \\ Determinant\, J = -\dfrac{\alpha+\beta}{\alpha(\alpha+\beta-1)} CM'' \; >0 \quad for\ \alpha+\beta>1\ . \\ \qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\quad <0 \quad for\ \alpha+\beta<1 \end{cases}$$

مشخص می‌شود که در حالت ~+ 1< نقطه تعادل سیستم (۲-۱۹) بی ثبات است. به منظور کنترل دینامیکی بهینه و رسیدن به نقطه تعادل باثبات باید، نقطه تعادل نقطه‌ای زینی باشد، بنابراین بر اساس معادله بالا برای رسیدن به شکل u معکوس منحنی زیست محیطی کوزنتز و داشتن نقطه بهینه باید شرط ~+ 1> برقرار شود.

ب- حالت دوم: داشتن شرط تابع تولید جدایی پذیر

این حالت دارای فروض زیر است:

$$M = K^{\gamma} - bP,\ 0<\gamma<1,\ 0<b$$

با فرض تابع تولید جدایی پذیر و بر اساس رابطه می‌توان نتیجه گرفت هنگامی که میزان سرمایه با نرخ کاهشی افزایش می‌یابد آلودگی با نرخ ثابت کاهش می‌یابد، هم چنین در این حالت فرض می‌شود که آلودگی بر تولید اثر دارد؛ اما اثر آن بسیار کوچک است به این مفهوم که مقدار b بسیار کوچک خواهد بود.

بنابراین با مشتق گیری از رابطه نسبت به سرمایه و آلودگی ($0, \succ$ ¥$K^{¥-1}$ = $\dfrac{\partial M}{\partial K}$) و جانشین کردن آنها در معادلات بالا، معادله بدست می‌آید:

$$E = (1+b)\frac{\beta}{\alpha}\, C$$

در این حالت، معادلات دینامیک حالت (الف) به صورت معادلات تغییر می‌یابند:

$$
\begin{cases}
\dot{C} = \dfrac{\{1+b(1-\Lambda C^{\alpha+\beta-1})\}C}{(\alpha+\beta-1)(1+b)}[\rho - \gamma K^{\gamma-1}] \\
\dot{K} = K^{\gamma} - \left(b(1-\dfrac{\Lambda}{\alpha}C^{\alpha+\beta-1}) + \dfrac{\alpha+\beta}{\alpha}\right)C
\end{cases}
$$

$$
\Lambda \equiv \alpha\left((1+b)\frac{\beta}{\alpha}\right)^{\beta}
$$

در این حالت نشان دادن خصوصیات دینامیکی سیستم آسان است و کمی با حالت قبل که $\frac{\partial M}{\partial P} = 0$ است تفاوت دارد. برای ماتریس ژاکوبین در حالت با ثباتی سیستم، Trace و دترمینان به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$
\begin{cases}
Trace\, J = \dfrac{\partial M}{\partial K} > 0 \\
Determinant\, J = -\dfrac{\{1+b(1-\Lambda C^{\alpha+\beta-1})\}\{b(1-(\alpha+\beta)\dfrac{\Lambda}{\alpha}C^{\alpha+\beta-1}) + \dfrac{\alpha+\beta}{\alpha}\}}{(\alpha+\beta-1)(1+b)} C \dfrac{\partial^2 M}{\partial K^2}
\end{cases}
$$

چون Trace ماتریس مثبت است، باید دترمینال ژاکوبین منفی باشد تا حالت با ثبات برقرار گردد. علامت ترمینال J وابسته به صورت و مخرج کسر است. در حالتی که b کوچک است، برای منفی بودن دترمینال، باید جمع پارامترهای ~ و کمتر از یک باشد؛ اما برای حالتی که b بزرگ باشد، شرایط برای ثبات دینامیکی سیستم کمی متفاوت است.

مقدار مثبت آلودگی در مرحله بهینه سازی،معادله را ما را به شرایط زیر می‌رساند:

$$
P = C\left(1 - \frac{\Lambda}{\alpha}C^{\alpha+\beta-1}\right) = P(C) \geq 0
$$

در این حالت سئوال مهم این است زمانی که ~ + 1> و 1, = ~ و $0 \succ$ باشد، آیا سیستم دارای ثبات است؟

بله تا زمانی‌که این شرایط ذکر شده برقرار است، صورت دترمینالJ در معادله (۲–۲۳) می‌تواند منفی باشد، تا زمانی که b به‌اندازه کافی بزرگ است، سیستم می‌تواند سیاست کنترل بهینه ای در ارتباط با مصرف و هم‌چنین سرمایه گذاری برای کاهش آلودگی داشته باشد.

از دیفرانسیل گیری معادله (۲-۲٤) نسبت به c داریم:

$$\frac{dP}{dC}=1-(\alpha+\beta)\frac{\Lambda}{\alpha}C^{\alpha+\beta-1},\ \frac{d^2P}{dC^2}=-(\alpha+\beta)(\alpha+\beta-1)\frac{\Lambda}{\alpha}C^{\alpha+\beta-2}$$

بنابراین بر اساس شرایط زیر:

$$1-(\alpha+\beta)\frac{\Lambda}{\alpha}C^{\alpha+\beta-1}<0 \ \text{ and } \ \alpha+\beta-1>0$$

یک رابطه مستقیم بین مصرف و آلودگی را می‌توان نتیجه گرفت. به عبارت دیگرمعادله دلالت بر این مطلب دارد که آلودگی همراه با یک نرخ کاهشی در مصرف در حال کاهش است. زیرا $\frac{dP}{dC}\succ 0$ و $\frac{d^2P}{d^2C}\prec 0$ است.

در مراحل اولیه توسعه یافتگی به علت پایین بودن درآمدها میزان مصرف نیز کم است بدین معنی که مشتق اول معادله مثبت است. مثبت شدن مشتق اول این مطلب را بیان می‌کند که هر افزایشی در مصرف می‌تواند موجب زوال زیست محیطی گردد. با این وجود در مراحل اولیه توسعه اقتصادی در فرایند تجمع سرمایه افزایش در K یا C می‌تواند کاهش آلودگی را به همراه داشته باشد، در صورتی که مردم کاهش آلودگی را نسبت به مصرف همچنان که مصرف افزایش می‌یابد ترجیح دهند؛ بنابراین در این کشورها برنامه ریزان اجتماعی باید هزینه‌های کاهش آلودگی را به سمت مسیر رشد بهینه اداره و هماهنگ کنند.

ج- آلودگی مرتبط با موجودی سرمایه

در این حالت تابع آلودگی به صورت زیر نوشته می‌شود.

$$P=C-C^{\alpha}E^{\beta}+aK^{\gamma},\ a>0\ .$$

معادله نشان می‌دهد که ذخیره سرمایه تجمع یافته نیز در طی پروسه تولید باعث نشرآلودگی می‌شود. همچنین در این حالت فرض می‌شود که شکل تابع تولید به صورت معادله است:

$$M=M(K)=K^{\gamma}\quad ,\quad \gamma<1$$

شرط ¥ بیانگر بهره وری نهایی نزولی است. با توجه به فروض در نظر گرفته شده شرایط بهینه سازی در این حالت به صورت زیر است :

$$\max \rightarrow \int_0^{\infty} U e^{-\rho t} dt = \int_0^{\infty} (C^{\alpha} E^{\beta} - aK^{\gamma}) e^{-\rho t} dt$$
$$subject\ to \quad \dot{K} = K^{\gamma} - E - C$$

و تابع همیلتون به وسیله معادله تعریف می‌شود:

$$H = C^{\alpha} E^{\beta} - aK^{\gamma} + \lambda [K^{\gamma} - E - C],$$

با استفاده از تابع همیلتون شرایط لازم برای بهینه یابی بر اساس رابطه بدست می‌آید:

$$\frac{\partial H}{\partial C} = \alpha C^{\alpha-1} E^{\beta} - \lambda = 0, \ \frac{\partial H}{\partial E} = \beta C^{\alpha} E^{\beta-1} - \lambda = 0$$

شرط دینامیک بودن در این حالت به وسیله معادله تعیین می‌گردد:

$$\dot{\lambda} = \lambda [\rho - \gamma K^{\gamma-1}] + a\gamma K^{\gamma-1}$$

با دیفرانسیل گیری از معادله بالا نسبت به زمان و قراردادن آن در معادله شرط بهینه زیر حاصل می‌شود:

$$\begin{cases} \dot{C} = \dfrac{C}{\alpha + \beta - 1} \left((\rho - \gamma K^{\gamma-1}) + \dfrac{a\gamma K^{\gamma-1}}{\alpha \left(\dfrac{\beta}{\alpha} \right)^{\beta} C^{\alpha+\beta-1}} \right). \\ \dot{K} = K^{\gamma} - \left(\dfrac{\alpha + \beta}{\alpha} \right) C \end{cases}$$

در نقطه تعادل این سیستم، ماتریس ژاکوبین به صورت زیرتعریف می‌شود:

$$J=\begin{bmatrix} -\dfrac{a\gamma K^{\gamma-1}}{\alpha\left(\dfrac{\beta}{\alpha}\right)^{\beta}C^{\alpha+\beta-1}} & \dfrac{C}{\alpha+\beta-1}\left(-\gamma(\gamma-1)K^{\gamma-2}+\dfrac{a\gamma(\gamma-1)K^{\gamma-2}}{\alpha\left(\dfrac{\beta}{\alpha}\right)^{\beta}C^{\alpha+\beta-1}}\right) \\ -\dfrac{\alpha+\beta}{\alpha} & \gamma K^{\gamma-1} \end{bmatrix}.$$

معادله (۲–۳٤) trace و دترمینال مرتبط با ماتریس (۲–۳۳) را می‌دهد:

$$\begin{cases} Trace\ J=(1-\dfrac{a}{\Phi})\gamma K^{\gamma-1} \\ Determinant\ J=\dfrac{\gamma K^{2(\gamma-1)}}{(\alpha+\beta-1)\Phi}[-a\gamma(\alpha+\beta-1)+(1-\gamma)\Phi(1-\dfrac{a}{\Phi})] \\ \quad where\ \ \Phi\equiv\alpha\left(\dfrac{\beta}{\alpha}\right)^{\beta}C^{\alpha+\beta-1}>0 \end{cases}$$

از معادله اول سیستم روشن است که برای مثبت بودن تولید تعادلی، نیاز بـه شـرط زیـر است:

$$1-\frac{a}{\Phi}>0$$

از اینرو Traceو ماتریس ژاکوبین در رابطه (۲–۳٤) باید مثبت باشد و برای منفـی شـدن دترمینال باید یک سری محدودیت‌ها روی C و E وجود داشته باشد. در جدول ۲–۲ حالت مختلف ارتباط آلودگی با ذخیره سرمایه به طور خلاصه آورده شده است.

جدول ۲–۱– نقش ضرایب در ارتباط آلودگی با ذخیره سرمایه

دترمینان J	$\sim$	$\sim + \quad -1$	حالت
$-$	بزرگ ($\Phi \cong \sim$)	$+$	۱
$+\ -$	کوچک	$+$	۲
$-$	$0 \prec \sim \prec \Phi$	$-$	۳

در حالت(ج) تجمع سرمایه یکی از منابع مهم آلودگی در فرایند تولید می‌باشـد.در ایـن

حالت بر خلاف رابطه(الف) اگر   + ~ بزرگتر از یک باشد باز هم می‌توان یک نقطه زینی داشت، در صورتی که ~ به‌اندازه کافی بزرگ و مقدار آن نزدیک به Φ باشد (حالت اول در جدول۲-۱).

به منظور پی بردن به چگونگی تغییرات کیفیت زیست محیطی(آلودگی)در طی فرایند رشد اقتصادی و شرایط بوجود آمدن رابطه u معکوس شکل منحنی زیست محیطی کورنتز، فروض($\dot{C} = 0$و $\dot{K} = 0$) را برای حصول به معادله(۲-۳۵) و در ادامه نحوه رسیدن به رابطه u معکوس شکل منحنی زیست محیطی کورنتز در نظر می‌گیریم:

$$\frac{dC}{dK}\Big|_{\dot{C}=0} = \frac{(1-\gamma)\Phi(1-\frac{a}{\Phi})C}{(\alpha+\beta-1)aK}, \qquad \frac{dC}{dK}\Big|_{\dot{K}=0} = \frac{\alpha\gamma K^{\gamma-1}}{\alpha+\beta} > 0$$

علاوه بر شرط با ثبات بودن، منفی بودن دترمینال J لازم می‌باشد که برای منفی شدن دترمینان باید شرط زیر برقرار باشد:

$$\frac{dC}{dK}\Big|_{\dot{C}=0} < \frac{dC}{dK}\Big|_{\dot{K}=0}$$

با مشتق گیری نسبت به زمان از معادله به رابطه رشد آلودگی، در ارتباط با رشد مصرف و سرمایه در طی فرایند توسعه اقتصادی می‌رسیم:

$$\dot{P} = [1-(\alpha+\beta)\frac{\Phi}{\alpha}]\dot{C} + a\gamma K^{\gamma-1}\dot{K}.$$

زمانی که رشد درآمد مثبت است برای رسیدن به حالت با ثبات در مرحله بهینه سازی دینامیکی باید هم مصرف و هم تجمع سرمایه افزایش یابند، در این حالت شرط کافی برای کاهش آلودگی این است که عبارت اول در معادله منفی و به‌اندازه کافی کوچک باشد. تا زمانی که ~ به‌اندازه کافی بزرگ است تعیین مقادیر Φ و بهره‌وری نهایی سرمایه در نزدیکی مقادیر$(C, K) = (0,0)$ مدل را به سمت افزایش آلودگی سوق می‌دهد.

در مراحل اولیه توسعه اقتصادی، آلودگی افزایش می‌یابد و در مراحل بعدی توسعه هر چند که افزایش در c افزایش در Φ را بوجود می‌آورد؛ اما بهره وری نهایی سرمایه که به علت بازدهی نزولی، کاهش می‌یابد باعث میشود که آلودگی نیز کاهش یابد. زیرا در این حالت، عبارت اول در معادله منفی شده و بر عبارت دوم که مثبت است غالب می‌گردد.

این شرایط نهایتاً یک رابطه u معکوس بین درآمد و محیط زیست در طی فرآیند توسعه را ایجاد می‌کند.

د- مدل ساده دینامیکی با شرط تابع هزینه متغیر در بردارنده کاهش آلودگی

در این بخش یک حالت خاص از مدل ساده دینامیکی بررسی می‌شود که هزینه کاهش آلودگی نیز در آن در نظر گرفته شده است. برای این منظور با یک سری تغییرات در معادله (۲-۱۰) تابع هزینه ای به صورت زیر وارد مدل می‌شود.

$$\dot{K} = M - \overline{e}E - C, \overline{e} = \overline{e}(C) = eC^{\delta},\ e > 0,\ \delta > 0; const.$$

همراه با تجمع سرمایه، مصرف (C) نیز به رشد خود ادامه می‌دهد و هزینه اجتماعی کاهش آلودگی نیز به سرعت افزایش می‌یابد که این خود باعث بوجود آمدن محدودیت برای انباشت سرمایه می‌شود. البته لازم به ذکر است که هزینه نهایی اجتماعی کاهش آلودگی اگر ₵ 1< باشد افزایش می‌یابد و اگر 0 < ₵ < 1 باشد کاهش می‌یابد (که در مراحل اولیه توسعه ₵ 1< است).

فرمول بهینه سازی برای این حالت به وسیله معادله تعریف شده است.

$$\max \rightarrow \int_0^{\infty} Ue^{-\rho t}dt = \int_0^{\infty} (C^{\alpha}E^{\beta})e^{-\rho t}dt$$
$$subject\ to \quad \dot{K} = M(K) - eC^{\delta}E - C$$

و مسیر بهینه به صورت زیر تعیین می‌شود.

$$\alpha C^{\alpha-1}E^{\beta} - \lambda(e\delta C^{\delta-1}E + 1) = 0,$$
$$\beta C^{\alpha}E^{\beta-1} - \lambda eC^{\delta} = 0,$$
$$\dot{\lambda} = -\frac{\partial H}{\partial K} + \rho\lambda = -[\lambda M'(K)] + \rho\lambda = \lambda[\rho - M'(K)],$$

a قیمت سایه ای سرمایه است. از ترکیب معادلات رابطه زیر بدست می‌آید که بیانگر میزان تلاش بهینه برای کاهش آلودگی است.

$$E = \left(\frac{\beta}{e(\alpha - \beta\delta)}\right)C^{1-\delta}$$

از جانشین کردن رابطه در تابع آلودگی معادله را داریم که دلالت بر سطح آلودگی دارد.

$$P = C\left(1-\left(\frac{\beta}{e(\alpha-\beta\delta)}\right)^{\beta} C^{\alpha+\beta(1-\delta)-1}\right).$$

معادلات دینامیکی مدل به صورت زیر می‌باشند که کمی نسبت بـه حالـت سـاده مـدل یعنی مدل بدون در نظر گرفتن تابع هزینه کاهش آلودگی فرق دارند.

$$\begin{cases} \dot{C} = \dfrac{C}{\alpha+\beta(1-\delta)-1}\left[\rho - M'(K)\right] \\ \dot{K} = M(K) - \left(\dfrac{\alpha+\beta(1-\delta)}{\alpha-\beta\delta}\right)C \end{cases},$$

با قراردادن $\delta=0$ در معادله به همان سیستم ساده می‌رسیم. با قـرار دادن $\delta=0$ بـه آسـانی می‌توان ثابت کرد که شرط لازم برای رسیدن به تعادل با ثبات به صورت زیر است.

$$\frac{\alpha+\beta(1-\delta)}{(\alpha-\beta\delta)\{\alpha+\beta(1-\delta)-1\}} < 0$$

بـا برقـراری محـدودیت روی معادلـه مشـاهده مـی‌شـود کـه معادلـه بـا شـرط $1 < (1-¢)\quad + \sim$ سازگار است. تا زمانی که افزایش مطلوبیت تابعی از مصرف و کاهش آلودگی باشد. حتی با وارد کردن تابع هزینه اجتماعی که می‌تواند تجمع سـرمایه را محـدود کند، باز نمی توان یک رابطه u معکوس بین درآمد و محیط زیسـت را نشـان داد و در ایـن حالت یک ارتباط مثبت بین درآمد و آلودگی در طی مسیر بر قرار است. البتـه شـایان ذکـر است که وارد کردن تابع هزینه اجتماعی کاهش آلودگی به سیستم، در مقایسه با زمـانی کـه هزینه اجتماعی در مدل وارد نشده باعث مصرف کمتر هم‌چنین آلودگی پایین تـر در طـول مسیر رشد بهینه و مخصوصا در مراحل بالای توسعه یافتگی می‌شود.

جدول ۲-۲ خلاصه ای از تجزیـه و تحلیـل‌هـای صـورت گرفتـه در مـورد مـدل‌هـای دینامیکی و همچنین تعیین شرایطی که تحت آن امکان به وجود آمدن رابطه u معکوس بین در آمد و محیط زیست می‌شود، را نشان می‌دهد.

جدول ۲-۲: حالت‌های ممکن بوجود آمدن رابطه u معکوس

حالت	امکان بوجود آمدن EKC	تابع تولید $\left(\frac{\partial M}{\partial P}\right)$	تابع آلودگی $\left(\frac{\partial P}{\partial K}\right)$	هزینه نهایی اجتماعی کاهش آلودگی $\left(\bar{e}\right)$
۱–۳	غیر ممکن	0	0	۱
۲–۳	ممکن	–	0	۱
۱–٤	ممکن	0	+	۱
۲–٤	غیرممکن	0	0	متغیر

۳-جمع بندی

با در نظر گرفتن مدل‌های استاتیک و دینامیک شرایط بوجـود آمـدن رابطـه u معکـوس منحنی زیست محیطی کوزنتز مورد بررسی قرار گرفت. در مدل‌هـای اسـتاتیک کـه شـامل: تابع مطلوبیت و تابع کاهش آلودگی بود؛ نشان داده شد که در مراحل اولیه رشـد و توسـعه اقتصادی، در صورتی که تقاضای مردم برای کاهش آلـودگی افـزایش یابـد کیفیـت محـیط زیست بهبود پیدا میکند. همچنین از مدل‌های استاتیک می‌تـوان ایـن نتیجـه را گرفـت کـه شرایط بوجود آمدن رابطه u معکوس EKC زمانی است کـه تجمـع سـرمایه باعـث کـاهش تمام آلودگی ایجاد شده گردد.در مدل‌های دینامیک بـا در نظـر گـرفتن پیامـدهای خـارجی منفی (آلودگی)، زمانی شاهد بوجود آمدن رابطه u منحنی زیست محیطی کوزنتز مـی‌باشـیم که تابع هزینه کنترل آلودگی محدب بوده و کالاهای زیست محیطی نرمال باشـند. چـرا کـه کنترل آلودگی علاوه بر منفعتی که دارد (بهبود محیط زیست)، مخـارج و هزینـه اضـافی را نیز به جامعه تحمیل می‌کند. در نتیجه زمانی که هزینه نهایی کنترل آلودگی کمتر از منفعـت نهایی کنترل آلودگی افزایش یابد شرایط برای بوجود آمدن رابطـه u معکـوس EKC فـراهم می‌گردد.

با مطالعه مدل‌های مبتنی بر مطلوبیـت مصـرف کننـده مـی‌تـوان گفـت کـه تنهـا عامـل تاثیرگذار بر بهبود محیط زیست در این مدل‌ها، تقاضا و تغییر ترجیحات مردم برای داشـتن محیط زیست پاکتر است؛ اما به یقین می‌توان گفـت کـه تنهـا ایـن عامـل در بهبـود محـیط

زیست تنها فاکتور موثر نیست. بلکه عوامل طرف عرضه اقتصاد که شامل تغییر تکنولوژی تولید و وضع قوانین و مقررات زیست محیطی توسط دولت‌ها، می‌شود نیز در کاهش آلودگی در طی فرایند رشد و توسعه اقتصادی حائز اهمیت است. بنابراین در نظر گرفتن مدل‌هایی که به عوامل هر دو طرف اقتصاد یعنی عرضه و تقاضا با هم توجه دارند از اهمیت بسزایی بر خوردارند. مدل‌های تعادل عمومی بیانگر چنین وضعیتی می‌باشند؛ اما نکته مهم و قابل توجه که در این مدل‌ها به آن پرداخته نشده این است که در بعضی موارد تقاضای مردم برای داشتن محیط زیست پاکتر به علت عدم پاسخگویی دولت‌ها به نیاز مردم و یا نبود سازمان‌های سیاسی و اجتماعی مناسب همچنین اهمیت ندادن به حقوق شهروندان مورد توجه قرار نمی‌گیرد. از آنجا که عوامل سیاسی هم‌چون عوامل دیگر می‌توانند کیفیت محیط زیست را تحت تاثیر قرار دهند، بنابراین ارائه مدل‌هایی که در کنار سایر عوامل تاثیر گذار در بوجود آمدن منحنی زیست محیطی کوزنتز، به نقش دولت و عوامل سیاسی نیز اهمیت داده باشند، می‌تواند در توضیح و چگونگی بوجود آمدن رابطه u معکوس EKC حائز اهمیت باشند.

منابع و ماخذ

– پژویان،جمشید و مرادحاصل، نیلوفر(١٣٨٦): بررسی اثر رشد اقتصادی بر آلودگی هوا، فصلنامه پژوهشهای اقتصادی، سال ششم، شماره٤، صص ١٤١ـ ١٦٠

– دبلیو پیرس، ترجمه عوض کوچکی، سیاوش دهقانیان و علی کلاهی اهری (١٣٧٧) دنیای بیکران: "اقتصاد محیط زیست و توسعه پایدار" انتشارات فردوسی مشهد

– لشکری زاده، مریم(١٣٨٧): بررسی عوامل تعیین کننده رشد اقتصادی و کیفیت زیست محیطی،پایان نامه دکتری اقتصاد.دانشکده مدیریت و اقتصاد دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.

- Andreoni J. and A.Levinson (2001), “The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve,”Journal of Public Economics,80(2), 269-286.

- Freeman,A.M. (2002) “Environmental Policy Since Earth Day I: What Have We Gained?,”Journal of Economic Perspectives,16,1,125-146.

- Kelly, D.L. (2003) “On environmental Kuznets curves arising from stock externalities,” Journal of Economic Dynamics & Control,27, 1367-1390.

- Levinson,A.(2002) “The Ups and downs of the environmental Kuznets curve,” in, List,J.A and Zeeuw,A.de ed. Recent Advances in Environmental Economics, Edward Elgar, 119-41

- Lieb,C.M.(2002) “The environmental Kuznets curve and satiation: a simple static model,”

Environment and Development Economics,7,429-448.
- Pashe,M. (2002) “Technical progress, structural change, and the environmental Kuznets curve,”Ecological Economics,42,381-389.
- Selden,T and Song D. (1994) “Environmental Quality and Development: Is there a Kuznets Curve for Air Pollution Emissions?,” Journal of Environmental Economics and Management, 27,142 -162.
- Shafik,N. (1994) “Economic Development and Environmental Quality: An Econometric Analysis,”Oxford Economic Papers,46,757-773.
- Stokey,N.L. (1998) “Are there limits to growth?,” International Economic Review,39,No.1,1-31.
- Tisdell,C.(2001) “Globalization and sustainability: environmental Kuznets curve and the WTO,”Ecological Economics,39,185-196.
- Yabuta M.(2003), *Simple Theoretical Analysis of the Environmental Kuznets Curve,* Discussion Paper Series,No.45,Chuo University.