

## برآورد سطح بهینه مالیات بر آلودگی در اقتصاد ایران

### Estimating the Optimal Pollution Tax for Iranian Economy

Ebrahim Hadian (Ph.D.)\*,  
Ali Hussein Ostadzad\*\*

دکتر ابراهیم هادیان\*،  
علی حسین استادزاد\*\*

Received: 22/June/2013 Accepted: 17/Sep/2013

دریافت: ۱۳۹۲/۴/۱ پذیرش: ۱۳۹۲/۶/۲۶

#### Abstract:

#### چکیده:

Environmental damage caused by economic activities is known as one of the most important side that affecting social welfare adversely. Pollution emissions related with more economic activities reduce positive impact of economic growth on social welfare. Hence concern of policy makers is to formulate and implement the economic planning in order to control environmental damage caused by expanding of economic activities. One of these control instruments is to levy a pollution tax. Therefore in this paper we are tried to calculate the optimal level of pollution tax for Iranian economy using an augmented growth model. To this end, we intended a tripartite model consists of households, firms and government. After solving the model, we estimated optimal pollution tax using data of Iranian economy. Calibrating the solved model, the optimal pollution tax is estimated about 7.8 thousand Rials per ton of CO<sub>2</sub> emissions.

آسیب‌های زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی مهم‌ترین پیامد جنبی منفی مؤثر بر رفاه جامعه شناخته می‌شود. انتشار آلودگی همراه با افزایش فعالیت‌های اقتصادی، تأثیر مثبت تولید و رشد اقتصادی بر رفاه اجتماعی را کاهش می‌دهد. از این رو دغدغه سیاست‌گزاران اقتصادی در تدوین برنامه‌های اقتصادی، کنترل آسیب‌های زیست محیطی ناشی از گسترش فعالیت اقتصادی می‌باشد. یکی از این ابزارهای کنترل وضع مالیات بر آلودگی است. از این رو هدف اصلی این مقاله برآورد سطح بهینه مالیات بر آلودگی در اقتصاد ایران با استفاده از یک الگوی رشد تعمیم یافته می‌باشد. به این منظور، یک الگوی سه بخشی شامل خانوار، بنگاه و دولت در نظر گرفته شده که پس از حل الگو با استفاده از آمار مربوط به اقتصاد ایران مقدار بهینه مالیات بر آلودگی محاسبه شده است. پس از کالیبره کردن الگوی حل شده، نرخ بهینه مالیات بر آلودگی ۷/۸ هزار ریال به ازای هر تن انتشار CO<sub>2</sub> بدست آمده است.

**Keywords:** Pollution Tax, Augmented Growth Model, Iranian Economy.

**JEL:** O41, Q38, Q58.

**کلمات کلیدی:** مالیات بر آلودگی، الگوی رشد تعمیم یافته، اقتصاد ایران.

**طبقه‌بندی JEL:** Q58, Q38, O41

\* Associate Professor of Economics, Shiraz University, Shiraz, Iran. Email: ehadian@rose.shirazu.ac.ir

\*\* Ph.D. Student of Economics, Shiraz University, Shiraz, Iran (Corresponding Author).

Email: s.aostadzad@rose.shirazu.ac.ir

\* دانشیار بخش اقتصاد دانشگاه شیراز

Email: ehadian@rose.shirazu.ac.ir

\*\* دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه شیراز (نویسنده مسئول)

Email: s.aostadzad@rose.shirazu.ac.ir

## ۱- مقدمه

آسیب‌های زیست محیطی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی مهم ترین پیامد جنبی منفی مؤثر بر رفاه جامعه شناخته می‌شود. انتشار آلودگی همراه با افزایش فعالیت‌های اقتصادی، تأثیر مثبت افزایش تولید و رشد اقتصادی بر رفاه اجتماعی را کاهش می‌دهد. از این رو دغدغه سیاست‌گزاران اقتصادی در تدوین و اجرایی برنامه‌های اقتصادی، کنترل آسیب‌های زیست محیطی ناشی از گسترش فعالیت اقتصادی می‌باشد (فطرس و همکاران، ۱۳۸۹: ص ۶۰). درونی‌سازی این اثرات جانبی منفی یکی از برنامه‌های تکمیلی سیاست‌گزاران رشد اقتصادی به شمار می‌رود. ابزار عمومی و نسبتاً مؤثر برای تأمین هدف مذکور، دریافت مالیات بر آلودگی انتشار یافته از جانب واحدهای تولیدی می‌باشد.

دریافت مالیات بر آلودگی، مطابق انتظار، موجب کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی می‌شود که در پی آن افزایش مطلوبیت فردی و رفاه اجتماعی تجربه خواهد گردید. اما از سوی دیگر افزایش مالیات از جمله مالیات بر آلودگی و دریافت آن از واحدهای تولیدی، کاهش تولید و در نتیجه کاهش مصرف و رفاه اجتماعی را در پی خواهد داشت. بنابراین، برآیند تأثیرات وضع مالیات بر آلودگی می‌تواند کاهش و یا افزایش رفاه اجتماعی را به همراه داشته باشد. به همین دلیل ضرورت دارد تا سطح این نوع مالیات به گونه‌ای تعیین گردد که برآیند تأثیرات آن منجر به حداکثر رفاه اجتماعی شود. در سال‌های اخیر، الگوهایی با نرخ رشد درونزا بسط داده شده است، که به منظور درک ارتباط بین رشد اقتصادی و آلودگی، ملاحظات زیست محیطی در این الگوها در نظر گرفته شده است. در واقع، دو روش مختلف مدل‌سازی می‌تواند در این زمینه قابل بررسی باشد.

۱. گروه اول این مطالعات شامل الگوهایی است که فعالیت‌های اقتصادی، آلودگی را افزایش می‌دهد. این روش بررسی به مطالعات فورستر<sup>۱</sup> (۱۹۷۳) برمی‌گردد، که توسط گروور<sup>۲</sup> (۱۹۷۶) بسط داده شده است.

با توجه به مطالعه مهتدی<sup>۳</sup> (۱۹۹۶: ص ۱۲۱) در نتیجه فعالیت‌های اقتصادی (تولید و مصرف) ایجاد یک جریان از آلودگی موجب افت کیفیت محیط زیست می‌شود. در عین حال آلودگی ایجاد شده می‌تواند به شیوه‌های مختلف بر اقتصاد تأثیر بگذارد. این اثر می‌تواند به صورت کاهش رفاه و مطلوبیت و یا کاهش بهره‌وری نیروی کار باشد. در عین حال کیفیت محیط زیست دارای ارزش مثبتی از نظر افراد جامعه می‌باشد.

۲. گروه دیگر، الگوهایی است که در آن انباشت منابع طبیعی می‌تواند برای تولید استفاده شود. در این الگوها روش مشابهی، از نقطه نظر فنی با الگوی اول وجود دارد. فعالیت‌های اقتصادی منجر به کاهش منابع می‌شوند. این کاهش منابع طبیعی به نوبه خود، تأثیر منفی بر کیفیت محیط زیست می‌گذارد. که این کیفیت منفی بر محیط زیست به عنوان آلودگی در نظر گرفته می‌شود. مقالات باونبرگ و اسمولدرز<sup>۴</sup> (۱۹۹۵) و یا گرادوس و اسمولدرز<sup>۵</sup> (۱۹۹۳) نمونه‌هایی از این نوع پژوهش در الگوهای رشد درونزا می‌باشد.<sup>۶</sup>

در این مطالعه در ابتدا الگوی رشد سه بخشی تعمیم یافته (خانوار- بنگاه- دولت) با در نظر گرفتن ابزارهای مالی و آلودگی به صورت همزمان گسترش داده شده است.

پس از تعمیم الگو، به حل الگو به گونه‌ای پرداخته شده است که خانوار به دنبال حداکثرسازی مطلوبیت بین دوره‌ای، بنگاه‌ها به دنبال حداکثرسازی سود، و دولت با توجه به مسیرهای رشد و توسعه پایدار حاصل از رفتار بهینه خانوارها و بنگاه به دنبال اجرای سیاست‌های مالی بهینه (مالیات بر درآمد، مالیات بر آلودگی، مخارج و ...) می‌باشد.

این مقاله در شش قسمت تنظیم شده است. در قسمت دوم پیشینه پژوهش ارائه شده است. در قسمت سوم بسط الگو آورده شده است. حل نظری الگوی بسط داده شده در قسمت چهارم ارائه شده است. قسمت پنجم به حل عددی و کالیبره

3. Mohtadi

4. Bovenberg and Smulders

5. Gradus and Smulders

۶. برای مرور کامل چگونگی در نظر گرفتن آلودگی در الگوهای رشد درونزا به اسمولدرز (۱۹۹۵) مراجعه شود.

1. Forster

2. Gruver

## ۲- پیشینه پژوهش

امکان تحلیل تأثیر سیاست‌های مختلف بر رشد اقتصادی با پیشرفت‌های اخیر در الگوهای رشد درونزا فراهم شده است.<sup>۷</sup> اگر چه ادبیات الگوسازی رشد با وجود ملاحظات زیست‌محیطی در اقتصاد بسته توسعه قابل توجهی داشته است، اما بحث محاسبه مالیات بهینه کمتر مورد توجه قرار گرفته است.

در این مطالعه فرض شده است که آلودگی از منحنی زیست‌محیطی کوزنتس تبعیت می‌کند. با توجه به فرضیه زیست‌محیطی کوزنتس در مراحل اولیه توسعه، فشارهای زیست‌محیطی با سرعت بیشتری نسبت به درآمد افزایش پیدا خواهد کرد و در سطوح درآمدی بالاتر در مقایسه با رشد GDP، فشارهای زیست‌محیطی از سرعت کمتری برخوردار است. این رابطه نامتقارن بین تغییر درآمد و کیفیت محیط زیست را منحنی زیست‌محیطی کوزنتس (EKC) می‌نامند. در این زمینه مطالعات بسیاری انجام شده است که مطالعات انجام شده توسط علم و همکاران (۲۰۰۸)<sup>۸</sup>، لهمیجوسی و پالوکانگاز (۲۰۱۰)<sup>۹</sup>، سن (۲۰۰۸)<sup>۱۰</sup>، کوکلا گریز (۲۰۰۹)<sup>۱۱</sup>، ماناگی و همکاران (۲۰۰۹)<sup>۱۲</sup> از جمله این مطالعات می‌باشند.

الگوسازی رشد با وجود ملاحظات زیست‌محیطی، که در ادبیات اقتصادی با عنوان الگوهای رشد- زیست‌محیطی شناخته می‌شود، در دهه ۱۹۷۰ با مطالعات افرادی مانند کیلر و همکاران (۱۹۷۱)<sup>۱۳</sup>، فورستر (۱۹۷۳)<sup>۱۴</sup> و بروک (۱۹۷۷)<sup>۱۵</sup> رونق گرفت.

به طور کلی مطالعات انجام شده در حوزه رشد- محیط زیست از نقطه نظر چارچوب الگوی رشد مورد استفاده (نئوکلاسیک، درونزا و سایر الگوهای رشد)، متغیر زیست

۷. سیاست‌های زیست‌محیطی ممکن است به رشد اقتصادی کوتاه مدت لطمه زند ولی رشد بلند مدت را بهبود می‌بخشد. در این مطالعه تنها آثار بلند مدت در نظر گرفته شده است.

8. Alam et al. (2008)

9. Lehmijoki & Palokanagas (2010)

10. Sen (2008)

11. Kukla-Gryz (2009)

12. Managi et al. (2009)

13. Keeler et al. (1971)

14. Forster (1973)

15. Brock (1977)

کردن الگو با استفاده از داده‌های اقتصاد ایران اختصاص داده شده است. در قسمت نهایی نیز یک جمع‌بندی اجمالی از مطالب آورده شده و پیشنهادهایی برای مطالعات آتی ارائه شده است.

### جدول (۱): مطالعات انجام شده در زمینه محاسبه مالیات بر آلودگی

مطالعه	سال	کشور مورد بررسی	نتایج
دسسا و باسولو <sup>۱</sup>	۱۹۹۸	کاستاریکا	دریافت مالیات از هر آلاینده تنها موجب کاهش همان آلاینده می‌شود. که این نشان می‌دهد اجرای سیاست مالیات بر آلودگی باعث کاهش آلودگی در کل نخواهد شد.
ویسما و دلینک <sup>۲</sup>	۲۰۰۷	ایرلند	با نرخ مالیات ۱۰-۱۵ یورو بر تن دی‌اکسیدکربن آلودگی به اندازه ۲۵ درصد کاهش می‌یابد. کاهش رفاه حاصل از این مالیات ۱ درصد برآورد گردیده است.
لیانگ و همکاران <sup>۳</sup>	۲۰۰۷	چین	به منظور کاهش ۵-۱۰ درصدی دی‌اکسیدکربن، بدون پرداخت یارانه به تولید یا معافیت‌های مالیاتی، تولید ناخالص داخلی کاهش خواهد یافت. اما در این مطالعه مشخص شد که با معاف کردن بخش‌های مصرف‌کننده انرژی‌بر و تجاری‌تر، حتی امکان افزایش تولید ناخالص داخلی وجود خواهد داشت.
بیرتنس و فائن <sup>۴</sup>	۲۰۰۸	نروژ	دریافت مالیات بر آلودگی ناشی از مصرف انرژی موجب کاهش تولید، اشتغال و مصرف می‌شود. در حالی که جبران معادل آن با درآمدهای مالیاتی به صورت یارانه به واحدهای تولیدی می‌تواند باعث افزایش رفاه در جامعه شود.
برانو <sup>۵</sup>	۲۰۱۱	فرانسه	در این مطالعه به منظور کاهش ۱۴ درصدی انتشار دی‌اکسیدکربن، سناریو مالیات بر کربن ۳۱ یورو به ازای هر تن انتشار دی‌اکسیدکربن بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که با اجرای این سیاست رفاه هر خانوار کاهش می‌یابد و سهم خانوارهای ثروتمندتر از این کاهش مطلوبیت بیشتر است. در این مطالعه نشان داده شده است توزیع یکنواخت درآمدهای مالیاتی میان خانوارها موجب افزایش درآمد خانوارهای فقیر خواهد شد.
دیسو و ایلند <sup>۶</sup>	۲۰۱۱	کانادا	با سناریوی دریافت مالیات ۴۰ دلار به ازای هر تن انتشار دی‌اکسیدکربن، در صورت بازگشت مالیات ضمن تعدیل کاهش پتانسیل رقابت، موجب کاهش بیشتری در تولید ناخالص داخلی خواهد شد. بدون عودت مالیات بر آلودگی تولید ناخالص ۰/۱۳ درصد کاهش می‌یابد و با عودت آن تولید ناخالص ۰/۱۷ درصد کاهش می‌یابد. این شرایط برای رفاه نیز برقرار است.

1. Dessus and Bussolo (1998)

2. Wissema and Dellink (2007)

3. Liang (2007)

4. Bjertnæs and Faehn (2008)

5. Bureau (2011)

6. Dissou and Eyland (2011)

(1) آمده است.

$$J(.) = \text{Max} \int_0^{\infty} \frac{[u(c, p)]^{1-\sigma}}{1-\sigma} e^{-\rho t} dt \quad (1)$$

در این رابطه،  $u(c, p)$  تابع مطلوبیت لحظه‌ای<sup>5</sup> می‌باشد. که این تابع مطلوبیت رابطه مثبت با سطح مصرف  $(c_t)$  و رابطه منفی با آلودگی  $(p_t)$  دارد  $(u_c > 0, u_p < 0)$ .

علاوه بر این یکی از نکات بسیار مهم در الگوسازی رشد و محیط زیست نوع تابع مطلوبیت لحظه‌ای است که در نظر گرفته می‌شود. در این رابطه تابع مطلوبیت لحظه‌ای به یکی از دو صورت تابع مطلوبیت جدایی‌پذیر و جمع‌پذیر و تابع مطلوبیت جدایی‌ناپذیر در نظر گرفته می‌شود.

ویژگی بارز تابع مطلوبیت جدایی‌پذیر که ممکن است به صورت  $U(C, X) = \frac{C^{1-\sigma}}{1-\sigma} - \frac{1}{\gamma} X^\gamma, \sigma > 0, \gamma > 1$  باشد، این است که اثرات متقاطع عامل زیست‌محیطی (آلودگی یا کیفیت محیط زیست) با سبد مصرفی  $(U_{CX}, U_{CQ})$  برابر صفر خواهد بود. به بیان دیگر تأثیر متغیر زیست‌محیطی بر مطلوبیت نهایی مصرف صفر می‌باشد. اما در تابع مطلوبیت جدایی‌ناپذیر که به عنوان مثال می‌تواند به شکل  $U(C, X) = \frac{C^{1-\sigma}}{1-\sigma} X^{-\gamma}$  باشد، این اثرات متقاطع صفر نمی‌باشند. در عین حال یکی از رایج‌ترین توابع مطلوبیت جدایی‌ناپذیر تابع مطلوبیت با کشش جانشینی ثابت  $(CES)$ <sup>6</sup> می‌باشد. با فرض اینکه رفاه خانوار تحت تأثیر دو عامل مصرف  $(C)$  و آلودگی  $(X)$  باشد، تابع مورد نظر به صورت زیر است.

$$U(C(t), X(t)) = \frac{[(C(t)X(t)^{-\gamma})^{1-\sigma} - 1]}{1-\sigma}$$

$$0 < \sigma < \infty$$

تابع مطلوبیت فوق از ویژگی ریسک‌گریزی نسبی ثابت  $(CRR)$ <sup>7</sup> برخوردار می‌باشد. از آنجا که به منظور استخراج وضعیت پایدار بهینه با یک نرخ مثبت لازم است تا کشش مطلوبیت نهایی طی زمان ثابت باشد، اغلب از این نوع تابع مطلوبیت استفاده می‌گردد (بارو و سالای مارتین، ۱۹۹۵: ص ۱۱۴).<sup>8</sup>

محیطی مورد استفاده (آلودگی به عنوان یک کالای عمومی بد و یا کیفیت محیط زیست به عنوان یک کالای عمومی خوب)، نوع متغیر زیست محیطی (جریانی یا انباشت)، نحوه دخالت دولت از منظر سیاست زیست محیطی و استانداردهای زیست‌محیطی، نوع ترجیحات مصرف‌کننده (تابع مطلوبیت) و تکنولوژی تولید مورد استفاده متنوع می‌باشند.

جدول (۱)، تعدادی از پژوهش‌هایی که در آن مطالعات سیاست‌های مالیات بر آلودگی در نظر گرفته شده است را به طور خلاصه نشان می‌دهد.

### ۳- ادبیات نظری و الگوی تحقیق

در این مطالعه، اقتصادی با سه بخش شامل خانوار، بخش تولیدکننده و دولت در نظر گرفته می‌شود.

مطالعات بر پایه الگوهای رشد غالباً بر پایه الگوهای رشد سولو و رمزی-گاس و کوپمانز به تجزیه و تحلیل رشد با وجود ملاحظات زیست محیطی می‌پردازند. از جمله این مطالعات می‌توان به لهمیجکی و پالوکانگاز (۲۰۱۰)<sup>۱</sup>، دیندا (۲۰۰۹)<sup>۲</sup>، دنگ و هوانگ (۲۰۰۹)<sup>۳</sup> و راتو (۲۰۰۸)<sup>۴</sup> اشاره نمود. نتایج مشترک این گروه از مطالعات بیانگر آن است که دسترسی به رشد پایدار بستگی به تصریح الگو و فرضیه‌ها در رابطه با بازدهی نسبت به مقیاس، کشش‌های جانشینی تولید و ساختار ترجیحات دارد. در این مطالعه دولت نقش اجرای سیاست‌های زیست محیطی بهینه را به عهده دارد.

### ۳-۱ خانوار

اقتصاد الگوی ما در این تحقیق شامل تعداد زیادی خانوار مشابه است، که می‌توان رفتار تمام خانوارهای موجود را توسط یک خانوار نماینده یا فرد نشان داد. هدف این خانوار نماینده حداکثرسازی مطلوبیت بین‌دوره‌ای با توجه به قید بودجه مشخص می‌باشد.

مسئله حداکثرسازی مطلوبیت بین دوره‌ای خانوار در رابطه

5. Instantaneous utility function  
6. Constant Elasticity of Substitution  
7. Constant Relative Risk Aversion  
8. Barro and Sala-i-Martin (1995)

1. Lehmijoki & Palokanagas (2010)  
2. Dinda (2009)  
3. Deng and Huang (2009)  
4. Rao (2008)

در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی شروط حداکثرسازی تابع همیلتون تنزیل شده به حال را تشکیل داده و شروط اولیه حداکثرسازی را می‌نویسیم. نتایج این حداکثرسازی به صورت زیر می‌باشد.<sup>۷</sup> در این حداکثرسازی با توجه به نوع توابع در نظر گرفته شده شرط ترانسورسالیتهی برقرار خواهد بود.

$$\sigma \frac{\dot{c}}{c} + \varepsilon(1-\sigma) \frac{\dot{p}}{p} = r(1-\tau) - \delta - n - \rho \quad (4)$$

با توجه به رابطه (۴) نرخ رشد مصرف  $(\frac{\dot{c}}{c} = \frac{r(1-\tau) - \delta - n - \rho - \varepsilon(1-\sigma)g_p}{\sigma})$  شبیه به نرخ رشد مصرف در الگوی رمزی می‌باشد. با این تفاوت که به اندازه نرخ رشد آلودگی از نرخ رشد مصرف کم شده است. این کاهش نرخ رشد مصرف نسبت به الگوی رمزی به دلیل مطلوبیت منفی است که آلودگی ایجاد می‌کند. در قسمت‌های بعدی از رابطه (۴) استفاده خواهد شد. در ادامه به بررسی بخش تولیدکننده که همان مصرف‌کنندگان (خانوار) می‌باشند پرداخته خواهد شد.

### ۳-۲ تولید کننده

نوع تابع تولید و متغیر زیست‌محیطی مناسب (آلودگی یا کیفیت محیط زیست) بیانگر اجزای بخش تولید و کیفیت محیط زیست می‌باشد. در این چارچوب فرض شده است تعداد زیادی بنگاه‌های شبیه به هم وجود دارند که در جریان تولید کالا آلودگی ایجاد می‌کنند، به طوری که انتشار آلودگی، یک محصول تبعی ناشی از تولید می‌باشد. منظور از آلودگی جریانی از پسماندها و مواد زائد است که (به طور مستقیم و یا غیرمستقیم) از آثار زیانبار برخوردار بوده و از سیستم اقتصادی و فعالیت‌های اقتصادی به سوی محیط زیست جریان دارد. به عبارت دیگر واژه آلودگی بیانگر جریان خالصی از مواد زائد است که، بیش از ظرفیت جذب محیط بوده، به رفاه انسانی و سیستم‌های اکولوژیک آسیب می‌رساند. در عین حال آلودگی از نوع پیامدهای جنبی پایان‌ناپذیر است، یعنی مصرف آن توسط یک فرد مانع مصرف فرد دیگری نمی‌شود.

در این رابطه افرادی مانند دنگ و هوانگ (۲۰۰۹)، هارتمن و کاون (۲۰۰۵) و گریمود و روگ (۲۰۰۸)<sup>۱</sup> از تابع جدایی‌پذیر و افرادی مانند مهتدی (۱۹۹۷) و گراینر (۲۰۱۱)<sup>۲</sup> از توابع مطلوبیت جدایی‌ناپذیر استفاده نموده‌اند.

در این مطالعه از تابع مطلوبیت جدایی‌ناپذیر استفاده شده است. با فرض  $u(c,p)$  به شکل تابع کاب داگلاس رابطه (۲) را خواهیم داشت.

$$u(c,p) = c(p)^{-\varepsilon} \quad (2)$$

که در این رابطه  $\varepsilon > 0$  می‌باشد و نشان‌دهنده مقدار عدم مطلوبیت<sup>۳</sup> ناشی از آلودگی مؤثر می‌باشد.<sup>۴</sup> با توجه به رابطه (۱)،  $1/\sigma > 0$  مقدار کشش جانشینی بین دوره‌ای مصرف خصوصی بین دو نقطه از زمان برای مقدار مشخصی از آلودگی مؤثر را نشان می‌دهد. و در این رابطه  $\rho > 0$  نرخ تنزیل می‌باشد.

قید بودجه خانوار با استفاده از رابطه (۳) معین شده است.<sup>۵</sup>

$$\dot{k} = w(1-\tau) + [r(1-\tau) - \delta - n]k + tr_G - c \quad (3)$$

که متغیرها و پارامترهای قید بودجه در زیر بررسی شده است.

$k$  و  $\dot{k}$ : به ترتیب تغییرات سرمایه و حجم سرمایه دستمزد (درآمد ناشی از ثروت انسانی)

$r$ : نرخ سود پرداختی به سرمایه

$\tau$ : مالیات بر درآمد حاصل از ثروت انسانی و سرمایه

$\delta$ : نرخ استهلاک

$n$ : نرخ رشد جمعیت

$tr_G$ : پرداخت‌های انتقالی دولت

$c$ : مصرف بخش خصوصی

بنابراین خانوار به حداکثرسازی رابطه (۱) با توجه به قید بودجه رابطه (۳) می‌پردازد. به منظور حل این مسئله حداکثرسازی دینامیکی متغیر کنترل مصرف خانوار ( $c$ ) و متغیر وضعیت سرمایه ( $k$ ) می‌باشد. متغیر هم وضعیت<sup>۶</sup> ( $\lambda$ )

1. Grimaud and Rouge (2008)

2. Greiner (2011)

3. Disutility

۴. به منظور بررسی چگونگی وارد کردن آلودگی در تابع مطلوبیت به اسمولدز (۱۹۹۵) صفحات ۳۲۸-۳۲۹ مراجعه شود.

۵. به منظور بررسی این رابطه به پیوست ۱ رابطه (۳a) مراجعه شود.

6. Co-state

۷. به منظور بررسی چگونگی محاسبه این رابطه به پیوست ۱، روابط (۱۳a-6a) مراجعه شود.

انباشت<sup>۵</sup> در نظر می‌گیرند. لایب (۲۰۰۴)<sup>۶</sup>، بارتز و کلی (۲۰۰۸)<sup>۷</sup>، دنگ و هوانگ (۲۰۰۹) و کلنبرگ (۲۰۰۹)<sup>۸</sup> از جمله این مطالعات هستند.

به منظور بسط الگوی این مطالعه، به تبعیت از استاذزاد (۱۳۹۱: ص ۶۹) و با اعمال تغییرات اندک در الگوی اواتا فرض شده است که آلودگی زیست محیطی در نتیجه فرایند تولید اتفاق می‌افتد و به عنوان یک محصول فرعی همراه با تولید شناخته می‌شود. همچنین مصرف انرژی نیز آلودگی ایجاد می‌کند. براین اساس خواهیم داشت:

$$p = \left(\frac{e}{f}\right)^{\delta_1} a^{-\delta_2} f^{\delta_2} = e^{\delta_1} f^{\delta_2 - \delta_1} a^{-\delta_2} \quad \delta_1, \delta_2, \delta_3 > 0 \quad (V)$$

متغیرهای این تابع آلودگی در زیر بررسی شده است.

$p_t$ : آلودگی سرانه در طی زمان

$\frac{e_t}{f_t}$ : شدت مصرف انرژی‌های فسیلی در طول زمان

$f_t$ : تولید سرانه می‌باشد که در رابطه (۶) بررسی شده است.

$\delta_1$ : درصد تغییرات آلودگی نسبت به شدت مصرف انرژی

$\delta_2 - \delta_1$ : درصد تغییرات آلودگی نسبت به تولید

$\delta_3$ : درصد تغییرات آلودگی نسبت به سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه

با توجه به این رابطه اگر  $\delta_1 > \delta_2$  باشد با رشد اقتصادی و افزایش تولید، کیفیت محیط زیست کاهش می‌یابد (آلودگی افزایش می‌یابد). این اتفاق تا یک سطح از آستانه ( $\delta_1 = \delta_2$ ) رخ می‌دهد که از این سطح به بعد کیفیت محیط زیست با افزایش تولید بهبود خواهد یافت ( $\delta_1 < \delta_2$ ) (آلودگی کاهش می‌یابد)<sup>۹</sup>.

فرض می‌کنیم که سود بنگاه مورد بررسی از تفاضل درآمدها و هزینه‌های بنگاه محاسبه می‌شود. جعبه کنترل ورودی‌ها (درآمدهای بنگاه) و خروجی‌ها (هزینه‌های بنگاه) برای بنگاه به صورت شکل شماره ۱ خواهد بود.

با فرض همگن بودن واحدهای تولیدکننده، می‌توان به نمایندگی همه بنگاه‌های تولیدی یک واحد تولیدی را در نظر گرفت. این بنگاه منتخب به منظور حداکثرسازی سود و با فرض رفتار رقابتی (قیمت پذیر بودن) به انتخاب ورودی می‌پردازد. ورودی‌های این بنگاه سرمایه، انرژی، سرمایه تحقیق و توسعه و نیروی کار می‌باشد. تکنولوژی تولید، تابع تولید کاب داگلاس با درجه همگنی یک (دارای بازده ثابت نسبت به مقیاس) در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۵). که در این رابطه با توجه به بازده ثابت نسبت به مقیاس،  $\alpha + \beta + \gamma + \theta = 1$  می‌باشد.

$$F(K, L, A, E) = K^\alpha L^\beta E^\gamma A^\theta \quad (5)$$

می‌توان تابع تولید سرانه را به صورت رابطه ۶ نوشت.

$$f(k, e, a) = k^\alpha e^\gamma a^\theta \quad (6)$$

که پارامترها و متغیرهای روابط ۵ و ۶ به صورت زیر تعریف می‌شود.

$K$  و  $k$ : به ترتیب حجم سرمایه و حجم سرمایه سرانه

$E$  و  $e$ : به ترتیب انرژی مصرفی و انرژی سرانه مصرفی

$A$  و  $a$ : به ترتیب حجم سرمایه تحقیق و توسعه و سرمایه تحقیق و توسعه سرانه

$\alpha$ : کشش تولید نسبت به حجم سرمایه

$\gamma$ : کشش تولید نسبت به مصرف انرژی

$\theta$ : کشش تولید نسبت به سرمایه تحقیق و توسعه

$\beta$ : کشش تولید نسبت به نیروی کار

از طرفی یکی از فروض الگوی مورد بررسی در این مطالعه این می‌باشد که رفتار آلودگی از منحنی زیست محیطی کوزنتس تبعیت می‌کند.

از نقطه نظر متغیر زیست محیطی، برخی مطالعات مانند سامپائولسی (۲۰۰۳)، سلدون و سونگ<sup>۲</sup> (۱۹۹۴) و هارتمن و کاون (۲۰۰۵)<sup>۳</sup> آلودگی یا کیفیت محیط زیست را به عنوان متغیر جریان<sup>۴</sup> و برخی آنرا به صورت یک متغیر وضعیت یا

5. State

6. Lieb (2004)

7. Bartz and Kelly (2008)

8. Kellenberg (2009)

۹. به منظور بررسی بیشتر و کامل‌تر رابطه (۷) به استاذزاد (۱۳۹۱) مراجعه شود.

۱. با توجه به پیوست (۲) روابط ۱۴a و ۱۵a

2. Selden and Song (1994)

3. Hartman and Kown (2005)

4. Flow

تحقیق و توسعه‌ای را گسترش می‌دهد. جعبه کنترل مخارج و درآمد دولت در شکل شماره (۲) مشخص شده است. با توجه به شکل (۲) درآمدها و مخارج دولت به ترتیب با رابطه‌های (۱۳) و (۱۴) مشخص می‌شود.

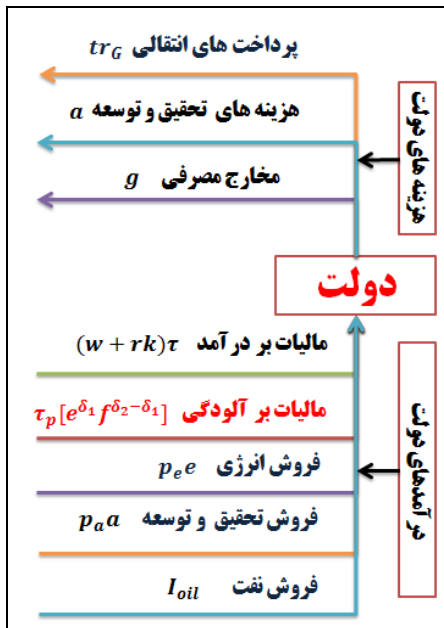
(۱۳)

$$I_G = (w + rk)\tau + \tau_p [e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1}] + p_e e + p_a a + I_{oil} \quad (14)$$

$$E_G = g + P_a a + tr_G$$

که در این روابط متغیرها و پارامترهای الگو به صورت زیر تعریف می‌شود.

$\tau$ : نرخ مالیات بر درآمد  
 $\tau_p$ : نرخ مالیات بر آلودگی  
 $I_{oil}$ : درآمدهای نفتی دولت  
 $g$ : مخارج مصرفی دولت  
 $E_G$ : مخارج دولت  
 $I_G$ : درآمدهای دولت



شکل (۲): جعبه کنترل هزینه‌ها و درآمدهای دولت

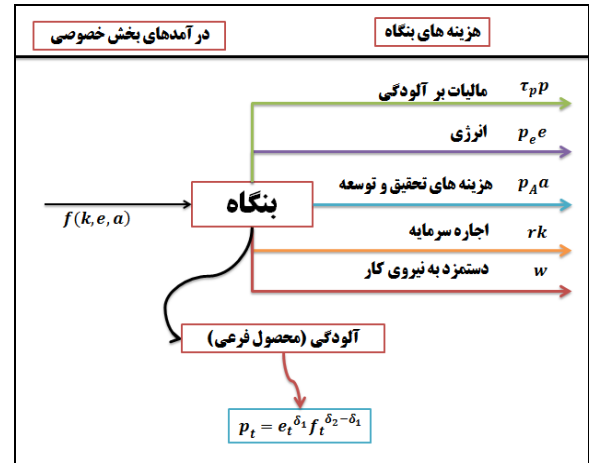
منبع: یافته‌های تحقیق

متغیرها و پارامترهای دیگر این روابط در قسمت‌های قبل تعریف شده است. با فرض اینکه دولت به اندازه  $\phi$  درصد از درآمد را به بخش تحقیق و توسعه و به اندازه  $\zeta$  درصد از درآمد را به مخارج مصرفی اختصاص می‌دهد، رابطه (۱۵) را خواهیم داشت.

$$p_a a = \phi I_G \quad (15)$$

$$g = \zeta I_G$$

از طرفی با فرض کسری بودجه‌ای به اندازه  $BD$  رابطه شماره



شکل (۱): جعبه کنترل هزینه‌ها و درآمدهای بنگاه

منبع: یافته‌های تحقیق

با توجه به شکل (۱) سود سرانه بنگاه به صورت زیر خواهد بود.

$$\pi(k, e, a) = f - \tau_p p - p_e e - p_a a - rk - w \quad (8)$$

با فرض رقابتی بودن بنگاه‌های تولیدی و در نتیجه آن سود صفر بنگاه‌های تولیدی، با توجه به شرایط اولیه بهینه‌سازی روابط (۹) تا (۱۲) را خواهیم داشت<sup>۱</sup>.

(۹)

$$\alpha f - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \alpha e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} = rk \quad (10)$$

$$\theta f - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \theta e^{\delta_1} f^{\delta_2 - \delta_1} + \delta_3 \tau_p e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} = p_a a \quad (11)$$

$$\gamma f - \tau_p [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1) \gamma] e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} = p_e e \quad (12)$$

$$w = \beta f - \tau_p e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3]$$

روابط ۹ تا ۱۲ بیانگر این موضوع است که هزینه نهایی هر نهاد با درآمد نهایی بدست آمده از آن نهاد برابر است.

که از روابط محاسبه شده در این بخش در قسمت‌های بعد استفاده خواهد شد.

### ۳-۳ دولت

در این مطالعه فرض شده است که دولت به منظور کاهش آلودگی از منابع تأمین مالی مختلف استفاده کرده و فعالیت‌های

۱. به منظور بررسی روابط به پیوست شماره (۲) روابط (۱۹۸) تا (۲۵۸) مراجعه شود.

با توجه به محاسبات صورت گرفته در پیوست و همچنین با توجه به اینکه در حالت پایا<sup>۱</sup> نرخ‌های رشد مصرف و آلودگی برابر با صفر فرض شده است، رابطه (۱۹) را برای سطح بهینه مالیات بر آلودگی خواهیم داشت<sup>۲</sup>.

$$\tau_p^* = \hbar e^{-\delta_1} \lambda^{-\delta_2 + \delta_1} \alpha^{\delta_3} \quad (19)$$

که در این رابطه فروض (۲۱) تا (۲۶) را داریم.

$$e = \frac{\gamma \lambda - [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1) \gamma] \hbar}{p_e} \quad (20)$$

$$\lambda = \frac{w + \hbar [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3]}{\beta} \quad (21)$$

$$\alpha = \frac{\theta \lambda - \hbar [(\delta_2 - \delta_1) \theta - \delta_3]}{p_a} \quad (22)$$

$$\hbar = \frac{\wp}{\{S - \aleph\}} \quad (23)$$

$$\aleph = \beta [(\tau - 1)(\delta_3 - \delta_1 + 1) - (\delta_2 - \delta_1)(\tau \alpha + \theta + \gamma + \tau - \tau \beta)] \quad (24)$$

$$S = [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3] (\beta \tau + \tau \alpha + \gamma + \theta) \quad (25)$$

$$\wp = \beta \left[ \frac{tr_G}{(1 + \xi - \zeta - \phi)} - I_{oil} \right] - (\beta \tau + \tau \alpha + \gamma + \theta) w \quad (26)$$

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در این روابط مقادیر  $e$ ،  $\alpha$ ،  $\lambda$ ،  $\aleph$ ،  $S$  و  $\wp$  تنها به پارامترهای الگو بستگی دارد. در رابطه (۱۹) می‌توان تأثیر پارامترها و متغیرهای مختلف الگو را بر مالیات سبز بررسی کرد. تحلیل حساسیت مالیات سبز از اهداف این مطالعه نمی‌باشد. بررسی این موضوع با عنوان عوامل مؤثر بر مالیات سبز می‌تواند موضوع مطالعات آتی باشد. به عنوان مثال با توجه به این رابطه می‌توان به سادگی مشاهده کرد، در اقتصادهایی که درآمدهای نفتی بالا دارند نرخ مالیات بر آلودگی پایین است. هدف از این مطالعه محاسبه نرخ بهینه مالیات بر آلودگی برای اقتصاد ایران می‌باشد.

## ۵- یافته‌های تجربی برای اقتصاد ایران

در این بخش در ابتدا پارامترهای مربوط به اقتصاد ایران بررسی شده است و پس از آن با توجه به این پارامترها به محاسبه مقادیر بهینه مالیات بر آلودگی برای اقتصاد ایران خواهیم

(۱۶) را خواهیم داشت. همچنین با توجه به رابطه (۱۷) کسری به اندازه  $\xi$  درصد از درآمدهای دولت در نظر گرفته می‌شود. در صورتی که  $\xi > 0$  باشد کسری بودجه و در صورت  $\xi < 0$  مازاد بودجه خواهیم داشت.

$$E_G - I_G = BD \quad (16)$$

$$BD = \xi I_G \quad (17)$$

با توجه به روابط (۱۳)، (۱۷) خواهیم داشت:

$$E_G = BD + I_G = (1 + \xi) I_G \Rightarrow g + p_a a + tr_G = (1 + \xi) I_G$$

$$\xrightarrow{15} \zeta I_G + \phi I_G + tr_G = (1 + \xi) I_G \Rightarrow$$

$$tr_G = (1 + \xi - \zeta - \phi) I_G \Rightarrow$$

$$tr_G = (1 + \xi - \zeta - \phi) [w + rk] \tau + \tau_p p + p_e e + p_a a + I_{oil} \quad (18)$$

رابطه (۱۸) نشان‌دهنده پرداخت‌های انتقالی دولت به خانوار می‌باشد. با توجه به این رابطه با افزایش درآمدهای نفتی دولت، پرداخت‌های انتقالی به خانوار افزایش خواهد یافت. از طرفی با اعمال سیاست مالیات بر آلودگی، با توجه به اینکه مخارج بنگاه‌های تولیدی افزایش می‌یابد، تولید و به تبع آن درآمد خانوار و مصرف کاهش خواهد یافت. از طرفی با توجه به رابطه (۱۸) درصدی از درآمدهایی که دولت از دریافت مالیات بر آلودگی  $(1 + \xi - \zeta - \phi)$  دریافت نموده است به صورت پرداخت‌های انتقالی به خانوار داده خواهد شد. با افزایش پرداخت انتقالی دولت، مقداری از کاهش درآمد خانوار جبران شده و مقداری از کاهش مطلوبیت حاصل از کاهش مصرف و درآمد جبران خواهد شد.

در ادامه با توجه به الگوی بسط داده شده به حل الگو خواهیم پرداخت.

## ۴- محاسبه نرخ مالیات بر آلودگی بهینه

خانوار مطلوبیت بین دوره‌ای را حداکثر می‌کند. همزمان بنگاه به حداکثرسازی سود می‌پردازد و دولت با دریافت مالیات‌های مختلف (مالیات بر آلودگی و درآمد) و همچنین درآمدهای نفتی که دارد مقداری از درآمد را در بخش تحقیق و توسعه در جهت بهبود آلودگی سرمایه‌گذاری می‌کند. از طرفی قسمتی از درآمد را به صورت پرداخت‌های انتقالی به صورت مستقیم به خانوار پرداخت می‌کند. در این قسمت به دنبال محاسبه نرخ‌های بهینه مالیات بر آلودگی می‌باشیم.

### 1. Steady state

۲. به منظور بررسی چگونگی محاسبه مقدار بهینه مالیات بر آلودگی به پیوست (۳) مراجعه شود.



پرداخت.

خلاصه پارامترها و متغیرهای برونزا برای اقتصاد ایران و همچنین منبع برای هر داده در جدول شماره (۲) ارائه شده است.

با توجه به این جدول برای پارامتر  $\rho$  تنوع وسیعی از مقادیر مورد استفاده در مطالعات داخلی و خارجی وجود دارد. به طوری که مطالعات خارجی مانند سیراکایا و همکاران (۲۰۰۹) مقدار ۰/۰۴ و پالما (۲۰۱۰) مقدار ۰/۰۱ را برای این

پارامتر در نظر گرفته‌اند. اما در بین مطالعات داخلی می‌توان به دلالی و همکاران (۱۳۸۷) با مقدار ۰/۰۵، عبدلی (۱۳۸۸) مقدار ۰/۰۷۲ و کیارسی (۱۳۸۶) با مقدار ۰/۰۹ اشاره کرد. با توجه به ساختار اقتصاد ایران به عنوان یک کشور در حال توسعه این پارامتر از مقدار نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشد. بنابراین در مطالعه حاضر مقدار پارامتر مورد نظر مطابق با مطالعه کیارسی (۱۳۸۶) برابر ۰/۰۹ در نظر گرفته شده است.

جدول (۲): پارامترها و متغیرهای مربوط به اقتصاد ایران

پارامتر یا متغیر	نماد	مقدار	واحد	منبع
درآمدهای نفتی	$I_{oil}$	۱۵۷۸۱۷/۵	میلیارد ریال	نماگرهای اقتصادی سه ماهه سوم سال ۱۳۹۰
هزینه‌های مصرفی دولت	$g$	۵۱۲۱۹	میلیارد ریال	نماگرهای اقتصادی سه ماهه سوم سال ۱۳۹۰
نرخ سود سرمایه	$r$	۱۷	درصد	بسته سیاستی - نظارتی شبکه بانکی کشور در سال ۱۳۸۹
نرخ رشد جمعیت	$n$	۱/۵	درصد	مرکز آمار ایران
پرداخت‌های انتقالی دولت	$tr_G$	۶۹۱۵۲/۹	میلیارد ریال	شاخص‌های عمده اقتصادی (سه ماهه چهارم ۸۹)
عکس کشش جانشینی بین دوره‌ای مصرف	$\sigma$	۰/۷۹	-	محاسبات تحقیق
کشش تولید نسبت به حجم سرمایه	$\alpha$	۰/۴۲	-	
کشش تولید نسبت به مصرف انرژی	$\gamma$	۰/۱۰۷	-	
کشش تولید نسبت به نیروی کار	$\beta$	۰/۲۲	-	
کشش تولید نسبت به سرمایه تحقیق و توسعه	$\theta$	۰/۲۵۳	-	
درصد تغییرات آلودگی نسبت به شدت مصرف انرژی	$\delta_1$	۰/۴۷	-	
درصد تغییرات آلودگی نسبت به تولید	$\delta_2 - \delta_1$	۰/۶	-	
درصد تغییرات آلودگی نسبت به سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه	$\delta_3$	۰/۱	-	
نرخ رجحان زمانی	$\rho$	۰/۰۹	-	کیارسی (۱۳۸۶)
درآمدهای مالیاتی دولت	tax	۳۰۰۰۳۵/۵	میلیارد ریال	گزارش اقتصادی و ترازنامه بانک مرکزی سال ۱۳۸۸
درآمدهای دولت	$I_G$	۴۶۶۵۴۶/۱	میلیارد ریال	گزارش اقتصادی و ترازنامه بانک مرکزی سال ۱۳۸۸
کسری بودجه	$BD$	۱۲۷۲۳۷/۸	میلیارد ریال	بانک داده بانک مرکزی
نرخ استهلاک	$\delta$	۰/۰۳۷	درصد	امینی و نشاط (۱۳۸۴)
درآمد از مزد و حقوق بخش خصوصی یک خانوار	u EMBED	۸۸۹۶۱/۴	هزار ریال	شاخص‌های عمده اقتصادی (سه ماهه چهارم ۸۹)
جمعیت	$N$	۷۳/۶	میلیون نفر	مرکز آمار ایران
سهم مخارج در تحقیق و توسعه از درآمدهای دولت	$\varphi$	۰/۰۶	-	یافته‌های تحقیق
سهم مخارج مصرفی دولت از درآمدهای غیرنفتی	$\zeta$	۱/۰۲	-	یافته‌های تحقیق

بنابراین در کل با برآیندگیری کاهش رفاه در اثر کاهش مصرف و افزایش رفاه اجتماعی با کاهش آلودگی، رفاه اجتماعی می‌تواند افزایش یابد.

## ۶- نتیجه‌گیری

رشد اقتصادی همراه با آسیب‌های زیست محیطی همراه است. آلودگی ناشی از فعالیت‌های اقتصادی مهم‌ترین پیامد جنبی منفی مؤثر بر رفاه افراد جامعه می‌باشد. دریافت مالیات از آلودگی مطابق انتظار موجب کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی می‌شود که این موجب افزایش مطلوبیت و رفاه اجتماعی خواهد شد، اما از سوی دیگر افزایش مالیات و سیاست‌های مالیاتی با کاهش تولید نیز همراه خواهد بود. کاهش تولید نیز باعث کاهش مصرف خواهد شد، که کاهش مصرف به معنی کاهش رفاه اجتماعی می‌باشد. بنابراین مالیات بر آلودگی از طرفی باعث افزایش رفاه اجتماعی و از طرف دیگر باعث کاهش رفاه اجتماعی خواهد شد. که برآیند این دو اثر می‌تواند در کل باعث افزایش و یا کاهش رفاه اجتماعی شود. تفاوت‌های این مطالعه نسبت به مطالعات موجود در زیر بررسی شده است.

۱. در نظر گرفتن همزمان ابزارهای مالی دولت (مالیات بر آلودگی و مالیات بر درآمد) و منحنی زیست محیطی کوزنتس در الگوی رشد بسط داده شده.
۲. اجرای سیاست‌های مالی بهینه با وجود آلودگی و محاسبه سیاست‌های مالی بهینه در سناریوهای مختلف.
۳. محاسبه نرخ مالیات بر آلودگی با استفاده از روش‌های کالیبراسیون.

همان‌گونه که مطرح شد در این مطالعه فرض شده است که آلودگی از منحنی زیست محیطی کوزنتس تبعیت می‌کند. از طرفی به منظور محاسبه نرخ بهینه مالیات بر آلودگی، اقتصادی با سه بخش شامل خانوار، بخش تولیدکننده و دولت در نظر گرفته می‌شود.

اقتصاد الگوی ما شامل تعداد زیادی خانوار مشابه است، که می‌توان رفتار تمام خانوارهای موجود را توسط یک خانوار نماینده یا فرد نشان داد. خانوار با در نظر گرفتن مسیر مصرف

در جدول (۲) نرخ استهلاک سرمایه براساس مطالعه امینی و نشاط (۱۳۸۴) برابر  $0.037$  در نظر گرفته شده است. این مطالعه یکی از کامل‌ترین مطالعات انجام شده در این زمینه است. به منظور برآورد نرخ استهلاک در بخش‌های مختلف برای اقتصاد ایران مطالعات متعددی انجام شده است، که تقریباً تمامی آنها به نرخ‌های مشابه‌ای دست یافته‌اند. از جمله این مطالعات می‌توان به بغزبان (۱۳۷۶) با نرخ معادل  $3/6$  درصد، امینی، صفاری پور و نهبوندی (۱۳۷۷) با نرخ برابر  $3/75$  درصد برای استهلاک کل اقتصاد ایران اشاره نمود.

به منظور کالیبره کردن الگو با توجه به متغیرها و پارامترهای موجود (جدول ۲) برای اقتصاد ایران و استفاده از رابطه (۱۹) مقدار بهینه نرخ مالیات بر آلودگی برای اقتصاد ایران محاسبه شده است. نتایج نشان دهنده این موضوع است که نرخ بهینه مالیات بر درآمد برای اقتصاد ایران باید  $16/5$  درصد و مالیات بر آلودگی  $7/8$  هزار ریال به ازای هر تن انتشار  $CO_2$  باشد.

نتایج کالیبره کردن الگو نشان‌دهنده این موضوع است که به منظور حداکثر رفاه بین‌دوره‌ای و همچنین حداکثر سود بنگاه و با در نظر گرفتن کسری بودجه مشخص (ثابت) برای دولت نرخ بهینه مالیات بر آلودگی باید  $7/8$  هزار ریال به ازای هر تن انتشار  $CO_2$  باشد. این در حالی است که در شرایط کنونی مالیات بر آلودگی از بنگاه‌های تولیدی دریافت نمی‌شود. بنابراین سیاست زیست محیطی دولت باید به صورتی باشد که به منظور بهبود وضعیت زیست محیطی و همچنین افزایش رفاه بین‌دوره‌ای مالیات بر آلودگی باید دریافت شود و این مالیات بر آلودگی توسط دولت در بخش تحقیق و توسعه به منظور کاهش آلودگی، سرمایه‌گذاری شده تا آلودگی کاهش و یا حداقل در طول زمان ثابت بماند. افزایش مالیات بر آلودگی باعث کاهش درآمدهای بنگاه‌های تولیدی خواهد شد و این کاهش درآمد ممکن است باعث کاهش تولید و مصرف گردد. کاهش مصرف، رفاه اجتماعی را کاهش می‌دهد. ولی از طرفی با کاهش آلودگی، رفاه اجتماعی افزایش خواهد یافت. همچنین همان‌گونه که در مبانی نظری مطرح شد دولت با پرداخت‌های انتقالی مستقیم به خانوار کاهش درآمد را جبران خواهد کرد.



آلودگی از منابع تأمین مالی مختلف استفاده کرده و فعالیت‌های تحقیق و توسعه‌ای را گسترش می‌دهد. با حل الگو و پس از آن کالیبره کردن الگو نرخ بهینه مالیات بر آلودگی  $7/8$  هزار ریال به ازای هر تن انتشار  $CO_2$  بدست آمده است. این در حالی است که با توجه به داده‌های سال ۱۳۹۰ نرخ مالیات بر آلودگی در کشورهای هند، کره جنوبی، تایوان، استرالیا و کانادا به ترتیب  $1/07$ ،  $2/5$ ،  $8/61$ ،  $3/2$  و  $3/5$  دلار به ازای هر تن انتشار  $CO_2$  می‌باشد.

و آلودگی به دنبال حداکثرسازی رفاه بین دوره‌ای می‌باشد. در بخش تولید کننده به نمایندگی همه بنگاه‌های اقتصادی یک واحد تولیدی در نظر گرفته شده است. این بنگاه با حداکثرسازی سود و با فرض رفتار رقابتی (قیمت پذیر بودن) به انتخاب ورودی می‌پردازد. ورودی‌های این بنگاه سرمایه، انرژی، سرمایه تحقیق و توسعه و نیروی کار در نظر گرفته شده است. تکنولوژی تولید، تابع تولید کاب داگلاس با درجه همگنی یک (دارای بازده ثابت نسبت به مقیاس) می‌باشد. در اقتصاد فرضی این مطالعه دولت به منظور کاهش

### منابع:

Abbasinejad, H., Shahmorady, A. and Kavand, H. (2009), "Estimation a Real Business Cycle Model for Iranian Economy Using Maximum Likelihood and Kalman Filter Approach", Iranian Economic Research, 12, pp. 21-40.

Abdoli, G. (2009), "Estimation the Social Discount Rate for Iran", Economic Research, 3, pp. 135-186.

Alam, S., Fatima, A. and Butt, M.S. (2008), "Sustainable Development on Pakistan in the Context of Energy Consumption Demand and Environmental Degradation", Journal of Asian Economics, 18, pp. 825-837.

Amini, A. and Neshat, H.M. (2005), "The Estimation of the Time Series of Capital Stock in Iranian Economy during the Period 1959-2002", Journal of Planning and Budget, 90, pp. 53-86.

Amini, A., Safarypur, M. and Nahavandi, M. (1998), "Estimation of the Time Series of Employment and Capital Stock in the Economy of Iran", Plan and Budget Organization, Macroeconomics Office.

Arabmazar, A. (2009), "Estimation of the Capacity of Iran Taxation", Tax Organization.

Barro, R.J. and Sala-i-Martin, X., (1995), "Economic Growth", New York: McGraw Hill.

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

Beckerman, W. (1992), "Economic Growth and the Environment: whose Growth? Whose Environment?", World Development, 20, pp. 481-496.

Baghzyan, A. (1997), "Estimation of Capital Stocks in the Major Economic Sectors (1959-1977)", MSc Thesis, School of Economic and Political Sciences, Beheshti University.

Bjertnæs, G.H. and Fæhn, T. (2008), "Energy Taxation in a Small, Open Economy: Social Efficiency Gains Versus Industrial Concerns", Energy Economics, 30, pp. 2050-2071.

Bovenberg, A.L. and Smulders, S. (1995), "Environmental Quality and Pollution-Augmenting Technological Change in a two-sector Endogenous Growth Model", Journal of Public Economics, 57(3), pp. 369-391.

Brock, W.A. (1977), "A Polluted Golden Age", in (Smith, V. ed.) Economics of Natural and Environmental Resources", New York: Gordon and Breach.

Bureau, B. (2011), "Distributional Effects of a Carbon Tax on Car Fuels in France", Energy Economics, 33, pp. 121-130.

Dallali Esfahani, R., Bakhshi Dastjerdi, R. and Hosseini, J. (2008), "Theoretical and Experimental

Calculation of Time Preference Rates for Iranian Economy (1972-2004)", *Journal of Knowledge and Development*, 14, pp. 167-137.

Dallali Esfahani, R., Samadi, S., Mujahed Movakher M., Jabari, A. and Samadi Borujeni, R. (2012), "Specification a Model of Inflation for Iranian Economy Using Microeconomic Foundations", *Journal of Economic Modeling Research*, 12, pp. 127-151.

Deng, H. and Huang, J. (2009), "Environmental Pollution and Endogenous Growth: Models and Evidence from China", *International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, ESAT 2009, Wuhan, China*, pp. 72-79.

Dessus, S. and Bussolo, M. (1998), "Is There a Trade-off between Trade Liberalization and Pollution Abatement? *Journal of Policy Modeling*, 20(1), pp. 11-31.

Din Mohammadi, M. (2008), "Provide a Model for Optimal Allocation of Natural Gas Resources for Iran", PhD Thesis, Isfahan University.

Dissou, Y. and Eyland, T. (2011), "Carbon Control Policies, Competitiveness, and Border Tax Adjustments", *Energy Economics*, 33, pp. 556-564.

Forster, B.A. (1973), "Optimal Capital Accumulation in a Polluted Environment", *Southern Economic Journal*, 39, pp. 544-557.

Fotros, M.H. and Maabodi R. (2010), "Causal Relationship between Energy Consumption and Urban Environmental Pollution in Iran, 1971-2006", *Journal of energy economics Studies*, 27, pp. 1-17.

Fotros, M.H. and Nasryndust, F. (2009), "Examination the Causal Relationship between Air Pollution, Water Pollution, Energy Consumption and Economic Growth in 1980-2002", *Journal of Energy economics Studies*, 21, pp. 113-135.

Fotros, M.H., Ghaffari, H. and Shahbazi, A. (2011), "Relationships between Co2 Emissions and Economic Growth: the Case of OPEC", *Quarterly Journal of Economic Growth and Development Research*, 1(1), pp. 59-78.

Frankel, J.A. and Rose, A. (2005), "Is Trade Good or Bad for the Environment? Sorting Out the Causality", *The Review of Economics and Statistics*, 87, pp. 85-91.

Gradus, R. and Smulders, S. (1993), "The Trade-off between Environmental Care and Long-Term Growth—Pollution in Three Prototype Growth Models", *Journal of Economics*, 58(1), pp. 25-51.

Greiner, A. (2011), "Environmental Pollution, the Public Sector and Economic Growth: A Comparison of Different Senarios", *Optimal Control Applications and Methods*, 32(5), pp. 527-544.

Grimaud, A. (1999), "Pollution Permits and Sustainable Growth in a Schumpeterian Model", *Journal of Environmental Economics and Management*, 38(3), pp. 249-266.

Grimaud, A. and Rouge, L. (2008), "Sequestration Du Carbone et Politique Climatique Optimale", IDEI Working Papers 540, Institut d'Economie Industrielle (IDEI), Toulouse.

Gruver, G.W. (1976), "Optimal Investment in Pollution Control Capital in a Neoclassical Growth Context", *Journal of Environmental Economics and Management*, 3, pp. 165-177.

Harati, J. (2012), "The Side Effects of Pollution and Transfer of Clean Technology on the Growth Path in the Steady State (SS): the Case of Iran", Ph.D. Thesis, Department of Economics, University of Shiraz.

Hartman, R. and Kwon, O.S. (2005), "Sustainable Growth and the Environmental Kuznets Curve", *Journal of Economic Dynamics & Control*, 29, pp. 1701-1736.

Keeler, E. Spence, M. and Zeckhauser, R. (1971), "The Optimal Control of Pollution", *Journal of Economic Theory*, 4, pp. 19-34.

Kellenberg, D.K. (2009), "An Empirical Investigation of the Pollution Haven Effect with Strategic Environment and Trade Policy", *Journal of International Economics*, 78, pp. 242-255.

Kukla-Gryz, A. (2009), "Economic Growth, International Trade and Air Pollution: A

Decomposition Analysis", *Ecological Economics*, 68, pp. 1329-1339.

Kyarasy, M. (2008), "Optimum Rate of Taxation and Government Spending within the Tripartite Endogenous Growth Model - Iranian Model", MA. Thesis, College of Administrative Sciences and Economics, Isfahan University.

Lehmijoki, V. and Palokanagas, T. (2010), "Trade, Population Growth and the Environment in Developing Countries", *Journal of Population Economics*, 23, pp. 1351-1370.

Liang, Q.M., Fan, Y. and Wei, Y.M. (2007), "Carbon Taxation Policy in China: How to Protect Energy- and Trade-Intensive Sectors? " *Journal of Policy Modeling*, 29, pp. 311-333.

Lieb, C.M. (2004), "The Environmental Kuznets Curve and Flow versus Stock Pollution: The Neglect of Future Damages", *Environmental & Resource Economics*, 29, pp. 483-506.

Managi, S. and Kumar, S. (2009), "Trade-Induced Technological Change: Analyzing Economics and Environmental Outcomes", *Economic Modeling*, 26, pp. 721-732.

Managi, S., Hibiki, A. and Tsurumi, T. (2009), "Does Trade Openness Improve Environmental Quality?", *Journal of Environmental Economics and Management*, 58, pp. 346-363.

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

Ostadzad, A.H. (2012), "Determine the Optimal Share of Renewable Energy in the Augmented Growth Model: The Case of Iran", MA. Thesis, University of Shiraz.

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

Selden, T.M. and Song, D. (1994), "Environmental Quality and Development: is there a Kuznets Curve for Air Pollution", *Journal of Environmental Economics and Management*, 27, pp. 147-162.

Sen, P. (2008), "Developing Economics and the Environment: The Role of Trade and Capital Flows", *Trade and Development Review*, 1(2), pp. 75-94.

Shahmoradi, A., Kavand, H. and Nadari, K. (2010), "Estimate the Equilibrium Interest Rate in Iranian Economy in a General Equilibrium Model (1989:4-2007:4)", *Journal of Economic Studies*, 11 pp. 19-41.

Wissema, W. (2007), "Carbon Energy Taxation and Revenue Recycling; an Applied General Equilibrium Analysis for the Irish Economy: Age Analysis of the Impact of a Carbon Energy Tax on the Irish Economy". Ph.D. Thesis, Dublin University, Trinity College Dublin.

Wissema, W. and Dellink, R. (2007), "AGE Analysis of the Impact of a Carbon Energy Tax on the Irish Economy", *Ecological Economics*, 61, pp. 671-683.

### پیوست ۱: مسئله بهینه‌سازی مطلوبیت بین دوره‌ای خانوار

مسئله حداکثرسازی مطلوبیت بین دوره‌ای که توسط خانوار صورت می‌گیرد به صورت زیر می‌باشد.

$$\text{Max} \int_0^{\infty} \frac{[u(c, p)]^{1-\sigma}}{1-\sigma} e^{-\rho t} dt \quad (1a)$$

که خانوار با قید بودجه دینامیکی زیر روبرو خواهد بود.

$$\dot{K} = (wN + rK)(1-\tau) + TR_G - C - \delta K \quad (2a)$$

طرفین قید بودجه را بر جمعیت تقسیم می‌کنیم. بنابراین خواهیم داشت:

$$\Rightarrow \dot{k} = (w + rk)(1-\tau) + tr_G - c - \delta k - nk \Rightarrow \dot{k} = w(1-\tau) + r(1-\tau)k + tr_G - c - \delta k - nk$$

$$\dot{k} = w(1-\tau) + [r(1-\tau) - \delta - n]k + tr_G - c \quad (3a)$$

تابع مطلوبیت لحظه‌ای به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود که یک تابع مطلوبیت جدایی ناپذیر است.

$$u(c, p) = c(p)^{-\varepsilon} \quad (4a)$$

تغییرات مطلوبیت نسبت به مصرف به صورت رابطه (5a) می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، برخلاف الگوهای که مطلوبیت جدایی‌پذیر در نظر گرفته می‌شود، تغییرات مطلوبیت نسبت به مصرف تابعی از میزان آلودگی است.

$$u_c = \frac{\partial u}{\partial c} = (p)^{-\varepsilon} \quad (5a)$$

بنابراین مسئله حداکثرسازی مطلوبیت بین دوره‌ای که توسط خانوار انجام می‌شود به صورت زیر می‌باشد.

$$\text{Max} \int_0^{\infty} \frac{[u(c, p)]^{1-\sigma}}{1-\sigma} e^{-\rho t} dt$$

$$ST \quad (6a)$$

$$\dot{k} = w(1-\tau) + [r(1-\tau) - \delta - n]k + tr_G - c$$

به منظور حل این مسئله حداکثرسازی دینامیکی متغیر کنترل مصرف خانوار ( $c$ ) و متغیر وضعیت سرمایه ( $k$ ) می‌باشد. متغیر هم وضعیت ( $\lambda$ ) در نظر گرفته می‌شود. تابع همیلتون تنظیم شده به حال را به صورت رابطه (7a) تشکیل می‌دهیم.

$$H(.) = \left\{ \frac{[u(c, p)]^{1-\sigma}}{1-\sigma} + \lambda(w(1-\tau) + [r(1-\tau) - \delta - n]k + tr_G - c) \right\} e^{-\rho t} \quad (7a)$$

شرایط اولیه به منظور بهینه‌سازی تابع همیلتون نسبت به متغیر کنترل مصرف در رابطه (8a) آمده است.

$$\frac{\partial H}{\partial c} = 0 \Rightarrow u^{-\sigma} u_c - \lambda = 0 \Rightarrow u^{-\sigma} u_c = \lambda \quad (8a)$$

با جای‌گذاری روابط (4a) و (5a) در رابطه (8a) خواهیم داشت:

$$\Rightarrow c^{-\sigma} (p)^{+\sigma\varepsilon} (p)^{-\varepsilon} = \lambda \Rightarrow c^{-\sigma} (p)^{\varepsilon(\sigma-1)} = \lambda \quad (9a)$$

در ابتدا از رابطه (9a) لگاریتم گرفته و پس از آن نسبت به زمان مشتق می‌گیریم. که این رابطه نرخ‌های رشد متغیرهای مختلف را نشان می‌دهد.

$$-\sigma \frac{\dot{c}}{c} - \varepsilon(1-\sigma) \frac{\dot{p}}{p} = \frac{\dot{\lambda}}{\lambda} \Rightarrow \sigma \frac{\dot{c}}{c} + \varepsilon(1-\sigma) \frac{\dot{p}}{p} = -\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} \quad (10a)$$

شرایط اولیه به منظور بهینه‌سازی تابع همیلتون نسبت به متغیر وضعیت سرمایه در رابطه (11a) نشان داده شده است.

$$\frac{\partial H}{\partial k} = -e^{-\rho t} (\lambda - \rho\lambda) \Rightarrow \lambda[r(1-\tau) - \delta - n] = -(\dot{\lambda} - \rho\lambda) \quad (11a)$$

با تقسیم رابطه (۱۱a) بر  $\lambda$  خواهیم داشت:

$$[r(1-\tau)-\delta-n] = -\frac{\dot{\lambda}}{\lambda} + \rho \quad (12a)$$

با جای گذاری  $\frac{\dot{\lambda}}{\lambda}$  از رابطه (۱۰a) در این رابطه خواهیم داشت:

$$[r(1-\tau)-\delta-n] = \sigma \frac{\dot{c}}{c} + \varepsilon(1-\sigma) \frac{\dot{p}}{p} + \rho \Rightarrow \sigma \frac{\dot{c}}{c} + \varepsilon(1-\sigma) \frac{\dot{p}}{p} = r(1-\tau)-\delta-n-\rho \quad (13a)$$

## پیوست ۲: مسئله بهینه سازی سود تولید کننده

بنگاه‌های اقتصادی به دنبال حداکثرسازی سود با فرض ثابت بودن دستمزد، نرخ سود سرمایه و قیمت‌های دانش و انرژی می‌باشند. با فرض آزادی ورود و خروج بنگاه‌های تولیدی و کامل بودن بازار، تابع تولید بنگاه را می‌توان تابع تولید ثابت نسبت به مقیاس در نظر گرفت. تابع تولید فرض شده در این مطالعه تابع تولید کاب داگلاس و همگن از درجه یک می‌باشد. بنابراین تکنولوژی تولید بنگاه به صورت رابطه (۱۴a) در نظر گرفته شده است.

$$F(K, L, A, E) = K^\alpha L^\beta E^\gamma A^\theta, \quad \alpha + \beta + \gamma + \theta = 1 \quad (14a)$$

با توجه به بازدهی ثابت نسبت به مقیاس تابع تولید خواهیم داشت:

$$F\left(\frac{K}{L}, \frac{E}{L}, \frac{A}{L}, 1\right) = \left(\frac{K}{L}\right)^\alpha \left(\frac{E}{L}\right)^\beta \left(\frac{A}{L}\right)^\gamma \left(\frac{A}{L}\right)^\theta \Rightarrow F\left(\frac{K}{L}, \frac{E}{L}, \frac{A}{L}, 1\right) = \frac{F(K, L, A, E)}{L} = f(k, e, a) \\ \Rightarrow f(k, e, a) = k^\alpha e^\gamma a^\theta \quad (15a)$$

از دیگر فروض این الگو این می‌باشد که آلودگی توسط بنگاه‌های تولیدی صورت می‌گیرد و تابعی از تولید و مصرف انرژی می‌باشد. که آلودگی در رابطه (۱۶a) آمده است.

$$p = \left(\frac{e}{f}\right)^{\delta_1} a^{-\delta_2} f^{\delta_3} = e^{\delta_1} f^{\delta_2 - \delta_1} a^{-\delta_2} \quad \delta_1, \delta_2, \delta_3 > 0 \quad (16a)$$

سود بنگاه به صورت درآمد منهای هزینه‌های بنگاه (رابطه ۱۷a) در نظر گرفته می‌شود.

$$\pi(K, L, A, E) = F(K, L, A, E) - [\tau_p P + p_e E + p_a A + rK + wL] \quad (17a)$$

با تقسیم بر جمعیت و جای گذاری آلودگی سرانه از رابطه (۱۶a) خواهیم داشت:

$$\pi(k, e, a) = f(k, e, a) - \tau_p (e^{\delta_1} f^{\delta_2 - \delta_1} a^{-\delta_2}) - p_e e - p_a a - rk - w \quad (18a)$$

بنگاه به دنبال حداکثر سود با توجه به متغیرهای سرمایه، انرژی و مخارج تحقیق و توسعه می‌باشد. بنابراین مسئله حداکثرسازی به صورت زیر می‌باشد.

$$\pi(k, e, a) = \text{Max}_{k, e, a} [f(k, e, a) - \tau_p (e^{\delta_1} f^{\delta_2 - \delta_1} a^{-\delta_2}) - p_e e - p_a a - rk - w], \quad f(k, e, a) = k^\alpha e^\gamma a^\theta \quad (19a)$$

با توجه به شرط‌های اولیه حداکثرسازی سود و انجام ساده‌سازی روابط (۲۰a)، (۲۱a) و (۲۲a) خواهیم داشت.

$$\frac{\partial \pi}{\partial k} = 0 \Rightarrow f_k - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) f_k e^{\delta_1} a^{-\delta_2} f^{\delta_2 - \delta_1 - 1} - r = 0 \Rightarrow f_k - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) f_k e^{\delta_1} a^{-\delta_2} f^{\delta_2 - \delta_1 - 1} = r$$

$$\Rightarrow \alpha \frac{f}{k} - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \alpha \frac{f}{k} e^{\delta_1} a^{-\delta_2} f^{\delta_2 - \delta_1 - 1} = r \Rightarrow$$

$$\alpha f - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \alpha e^{\delta_1} a^{-\delta_2} f^{\delta_2 - \delta_1} = rk \xrightarrow{16a} \alpha f - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \alpha p = rk \quad (20a)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial a} = 0 \Rightarrow f_a - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) f_a e^{\delta_1} a^{-\delta_2} f^{\delta_2 - \delta_1 - 1} + \delta_3 \tau_p e^{\delta_1} a^{-\delta_2 - 1} f^{\delta_2 - \delta_1} - p_a = 0 \xrightarrow{f_a = \theta \frac{f}{a}}$$

$$\Rightarrow \theta \frac{f}{a} - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \theta \frac{f}{a} e^{\delta_1} a^{-\delta_2} f^{\delta_2 - \delta_1 - 1} + \delta_3 \tau_p e^{\delta_1} a^{-\delta_2 - 1} f^{\delta_2 - \delta_1} = p_a \Rightarrow$$

$$\theta f - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \theta e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} + \delta_3 \tau_p e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} = p_a a \xrightarrow{16a} \theta f - \tau_p [(\delta_2 - \delta_1) \theta - \delta_3] p = p_a a \quad (21a)$$

$$\frac{\partial \pi}{\partial e} = 0 \Rightarrow f_e - \tau_p [\delta_1 e^{\delta_1 - 1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} + (\delta_2 - \delta_1) f_e e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1 - 1}] - p_e = 0 \Rightarrow$$

$$f_e - \tau_p [\delta_1 e^{\delta_1 - 1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} + (\delta_2 - \delta_1) f_e e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1 - 1}] = p_e$$

$$\Rightarrow \gamma_e^f - \tau_p [\delta_1 e^{\delta_1 - 1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} + (\delta_2 - \delta_1) \gamma_e^f e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1 - 1}] = p_e \Rightarrow$$

$$\gamma_e^f - \tau_p [\delta_1 e^{\delta_1 - 1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} + (\delta_2 - \delta_1) \gamma_e^f e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1}] = p_e$$

$$\Rightarrow \gamma f - \tau_p [\delta_1 e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} + (\delta_2 - \delta_1) \gamma e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1}] = p_e e \Rightarrow$$

$$\gamma f - \tau_p [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1) \gamma] e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} = p_e e \xrightarrow{16a} \gamma f - \tau_p [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1) \gamma] p = p_e e \quad (22a)$$

با توجه به رقابتی بودن بنگاه‌ها، سود بنگاه صفر در نظر گرفته می‌شود. بنابراین با توجه به رابطه (19a) خواهیم داشت:

$$w = f(k, e, a) - \tau_p (e^{\delta_1} f^{\delta_2 - \delta_1}) - p_e e - p_a a - rk \Rightarrow w = f(k, e, a) - \tau_p (e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1}) - p_e e - p_a a - rk \quad (23a)$$

با توجه به روابط (20a)، (21a) و (22a) خواهیم داشت:

$$p_e e + rk + p_a a = \alpha f - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \alpha e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} + \theta f - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \theta e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} + \dots$$

$$+ \delta_3 \tau_p e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} + \gamma f - \tau_p [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1) \gamma] e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} \Rightarrow$$

$$p_e e + rk + p_a a = (\alpha + \theta + \gamma) f - \tau_p e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} [(\delta_2 - \delta_1) \alpha + (\delta_2 - \delta_1) \theta + \delta_1 + (\delta_2 - \delta_1) \gamma - \delta_3] \Rightarrow$$

$$p_e e + rk + p_a a = (\alpha + \theta + \gamma) f - \tau_p e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} [(\delta_2 - \delta_1) (\alpha + \theta + \gamma) + \delta_1 - \delta_3] \quad (24a)$$

با جای‌گذاری رابطه (24a) در رابطه (23a) خواهیم داشت.

$$w = f - \tau_p (e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1}) - p_e e - p_a a - rk \Rightarrow w = (1 - \alpha - \theta - \gamma) f - \tau_p e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} [1 - (\delta_2 - \delta_1) (\alpha + \theta + \gamma) - \delta_1 + \delta_3]$$

$$w = \beta f - \tau_p e^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2 - \delta_1} [1 - (\delta_2 - \delta_1) (1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3] \xrightarrow{16a} w = \beta f - \tau_p p [1 - (\delta_2 - \delta_1) (1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3] \quad (25a)$$

### پیوست ۳: محاسبه نرخ‌های بهینه مالیات بر آلودگی

با توجه به روابط (16a)، (20a)، (21a) به ترتیب روابط (26a) و (27a) را خواهیم داشت.

$$\xrightarrow{16a, 20a} rk = \alpha f - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \alpha p \quad (26a)$$

$$\xrightarrow{16a, 21a} \theta f - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \theta p + \delta_3 \tau_p p = p_a a \Rightarrow \theta f - [(\delta_2 - \delta_1) \theta - \delta_3] \tau_p p = p_a a \quad (27a)$$

با ساده‌سازی و ترکیب دو رابطه بالا داریم:

$$\xrightarrow{26a} \frac{rk}{\alpha} = f - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) p \Rightarrow f = \frac{rk}{\alpha} + \tau_p (\delta_2 - \delta_1) p \quad (28a)$$

$$\xrightarrow{27a} f - \frac{[(\delta_2 - \delta_1) \theta - \delta_3] \tau_p}{\theta} p = \frac{p_a a}{\theta} \quad (29a)$$

$$\xrightarrow{28a, 29a} \frac{rk}{\alpha} + \tau_p (\delta_2 - \delta_1) p - \frac{[(\delta_2 - \delta_1) \theta - \delta_3] \tau_p}{\theta} p = \frac{p_a a}{\theta} \Rightarrow$$

$$\frac{rk}{\alpha} + \frac{\tau_p (\delta_2 - \delta_1) \theta - [(\delta_2 - \delta_1) \theta - \delta_3] \tau_p}{\theta} p = \frac{p_a a}{\theta} \Rightarrow$$

$$\frac{rk}{\alpha} + \frac{\delta_3 \tau_p}{\theta} p = \frac{p_a a}{\theta} \Rightarrow \frac{r}{\alpha} k + \frac{\delta_3 \tau_p}{\theta} p = \frac{p_a a}{\theta} \Rightarrow \theta rk + \alpha \delta_3 \tau_p p = \alpha p_a a \quad (30a)$$

با ترکیب روابط (16a)، (22a) و (26a) خواهیم داشت





$$\begin{aligned} \xrightarrow{16a, 22a} \gamma f &= p_e e + \tau_p [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1)\gamma] p \Rightarrow f = \frac{p_e}{\gamma} e + \frac{\tau_p [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1)\gamma]}{\gamma} p \\ \xrightarrow{26a} \alpha f &= rk + \tau_p (\delta_2 - \delta_1)\alpha p \Rightarrow f = \frac{r}{\alpha} k + \tau_p (\delta_2 - \delta_1)p \\ \Rightarrow \frac{p_e}{\gamma} e + \frac{\tau_p [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1)\gamma]}{\gamma} p - \tau_p (\delta_2 - \delta_1)p &= \frac{r}{\alpha} k \Rightarrow \frac{p_e}{\gamma} e + \left[ \frac{\tau_p \delta_1}{\gamma} + \tau_p (\delta_2 - \delta_1) - \tau_p (\delta_2 - \delta_1) \right] p = \frac{r}{\alpha} k \\ \Rightarrow \frac{p_e}{\gamma} e + \frac{\tau_p \delta_1}{\gamma} p &= \frac{r}{\alpha} k \Rightarrow \\ \alpha p_e e + \alpha \delta_1 \tau_p p &= \gamma rk \end{aligned} \tag{31a}$$

با توجه به رابطه (25a) و همچنین رابطه (18) خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \xrightarrow{18, 25a} tr_G &= (1 + \xi - \zeta - \varphi) [(\beta f - \tau_p p [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3] + rk)\tau + \tau_p p + p_e e + p_a a + I_{oil}] \\ \Rightarrow \frac{tr_G}{(1 + \xi - \zeta - \varphi)} &= (\beta f - \tau_p p [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3] + rk)\tau + \tau_p p + p_e e + p_a a + I_{oil} \\ \Rightarrow \frac{tr_G}{(1 + \xi - \zeta - \varphi)} - I_{oil} &= (\beta f - \tau_p p [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3] + rk)\tau + \tau_p p + p_e e + p_a a \\ \Rightarrow \frac{tr_G}{(1 + \xi - \zeta - \varphi)} - I_{oil} &= \beta \tau y - \tau_p \tau p [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3] + r\tau k + \tau_p p + p_e e + p_a a \\ \Rightarrow \frac{tr_G}{(1 + \xi - \zeta - \varphi)} - I_{oil} &= \beta \tau y - \tau_p \tau p \left[ 1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3 - \frac{1}{\tau} \right] + r\tau k + p_e e + p_a a \end{aligned} \tag{32a}$$

با توجه به روابط (20a)، (21a) و (22a) داریم:

$$\begin{aligned} \xrightarrow{20a} \tau \alpha y - \tau_p \tau (\delta_2 - \delta_1)\alpha p &= \tau rk \\ \xrightarrow{21a} \theta y - \tau_p [(\delta_2 - \delta_1)\theta - \delta_3]p &= p_a a \\ \xrightarrow{22a} \gamma y - \tau_p [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1)\gamma] p &= p_e e \\ \Rightarrow \tau \alpha y - \tau_p \tau (\delta_2 - \delta_1)\alpha p + \theta y - \tau_p [(\delta_2 - \delta_1)\theta - \delta_3]p + \gamma y - \tau_p [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1)\gamma] p &= \tau rk + p_a a + p_e e \\ \Rightarrow (\tau \alpha + \gamma + \theta)y - \tau_p \tau (\delta_2 - \delta_1)\alpha p - \tau_p [(\delta_2 - \delta_1)\theta - \delta_3]p - \tau_p [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1)\gamma] p &= \tau rk + p_a a + p_e e \\ \Rightarrow (\tau \alpha + \gamma + \theta)y - \tau_p p [\tau (\delta_2 - \delta_1)\alpha + (\delta_2 - \delta_1)\theta - \delta_3 + \delta_1 + (\delta_2 - \delta_1)\gamma] &= \tau rk + p_a a + p_e e \\ (\tau \alpha + \gamma + \theta)y - \tau_p p [(\delta_2 - \delta_1)(\tau \alpha + \theta + \gamma) - \delta_3 + \delta_1] &= \tau rk + p_a a + p_e e \end{aligned} \tag{33a}$$

با جای‌گزینی (33a) در (32a) و ساده‌سازی ریاضی به صورت زیر داریم:

$$\begin{aligned} \frac{tr_G}{(1 + \xi - \zeta - \varphi)} - I_{oil} &= \beta \tau y - \tau_p \tau p \left[ 1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3 - \frac{1}{\tau} \right] + (\tau \alpha + \gamma + \theta)y - \tau_p p [(\delta_2 - \delta_1)(\tau \alpha + \theta + \gamma) - \delta_3 + \delta_1] \\ &= (\beta \tau + \tau \alpha + \gamma + \theta)y - \tau_p p [\tau - \tau (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) + \tau (\delta_3 - \delta_1) - 1 + (\delta_2 - \delta_1)(\tau \alpha + \theta + \gamma) - \delta_3 + \delta_1] \\ &= (\beta \tau + \tau \alpha + \gamma + \theta)y - \tau_p p [\tau - \tau (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) + (\tau - 1)(\delta_3 - \delta_1) - 1 - (\delta_2 - \delta_1)(\tau \alpha + \theta + \gamma)] \\ &= (\beta \tau + \tau \alpha + \gamma + \theta)y - \tau_p p [(\tau - 1) - \tau (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) + (\tau - 1)(\delta_3 - \delta_1) - (\delta_2 - \delta_1)(\tau \alpha + \theta + \gamma)] \\ &= (\beta \tau + \tau \alpha + \gamma + \theta)y - \tau_p p [(\tau - 1)(\delta_3 - \delta_1 + 1) - (\delta_2 - \delta_1)(\tau \alpha + \theta + \gamma + \tau - \tau \beta)] \Rightarrow \\ \frac{tr_G}{(1 + \xi - \zeta - \varphi)} - I_{oil} &= (\beta \tau + \tau \alpha + \gamma + \theta)y - \tau_p p [(\tau - 1)(\delta_3 - \delta_1 + 1) - (\delta_2 - \delta_1)(\tau \alpha + \theta + \gamma + \tau - \tau \beta)] \end{aligned} \tag{34a}$$

با توجه به برونزا بودن نرخ دستمزد روابط (25a) و (34a) را به صورت دو معادله و دو مجهول حل کرده و مقادیر  $y$  و  $P$  را محاسبه می‌کنیم.

$$\begin{aligned} & \frac{34a \times \beta}{25a \times (\beta\tau + \tau\alpha + \gamma + \theta)} \rightarrow \beta \left[ \frac{tr_G}{(1 + \xi - \zeta - \varphi)} - I_{oil} \right] = \beta(\beta\tau + \tau\alpha + \gamma + \theta)y - \tau_p p \beta [(\tau - 1)(\delta_3 - \delta_1 + 1) - (\delta_2 - \delta_1)(\tau\alpha + \theta + \gamma + \tau - \tau\beta)] \\ & \rightarrow (\beta\tau + \tau\alpha + \gamma + \theta)w = \beta(\beta\tau + \tau\alpha + \gamma + \theta)y - \tau_p p [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3](\beta\tau + \tau\alpha + \gamma + \theta) \\ & \Rightarrow \beta \left[ \frac{tr_G}{(1 + \xi - \zeta - \varphi)} - I_{oil} \right] - (\beta\tau + \tau\alpha + \gamma + \theta)w = \\ & \tau_p p \{ [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3](\beta\tau + \tau\alpha + \gamma + \theta) - \beta [(\tau - 1)(\delta_3 - \delta_1 + 1) - (\delta_2 - \delta_1)(\tau\alpha + \theta + \gamma + \tau - \tau\beta)] \} \\ & p = \frac{\beta \left[ \frac{tr_G}{(1 + \xi - \zeta - \varphi)} - I_{oil} \right] - (\beta\tau + \tau\alpha + \gamma + \theta)w}{\tau_p \{ [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3](\beta\tau + \tau\alpha + \gamma + \theta) - \beta [(\tau - 1)(\delta_3 - \delta_1 + 1) - (\delta_2 - \delta_1)(\tau\alpha + \theta + \gamma + \tau - \tau\beta)] \}} \quad (35a) \end{aligned}$$

برای سادگی و قابل فهم بودن نتایج، ساده‌سازی و تغییر متغیرهای روابط (36a) تا (39a) را انجام می‌دهیم.

$$\wp = \beta \left[ \frac{tr_G}{(1 + \xi - \zeta - \varphi)} - I_{oil} \right] - (\beta\tau + \tau\alpha + \gamma + \theta)w \quad (36a)$$

$$\mathfrak{S} = [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3](\beta\tau + \tau\alpha + \gamma + \theta) \quad (37a)$$

$$\mathfrak{K} = \beta [(\tau - 1)(\delta_3 - \delta_1 + 1) - (\delta_2 - \delta_1)(\tau\alpha + \theta + \gamma + \tau - \tau\beta)] \quad (38a)$$

$$h = \frac{\wp}{\{\mathfrak{S} - \mathfrak{K}\}} \quad (39a)$$

با توجه به این تغییر متغیرها و همچنین رابطه (35a) رابطه ساده شده (40a) را داریم.

$$p = \frac{h}{\tau_p} \quad (40a)$$

با جای‌گزینی (40a) در (25a) رابطه (41a) که نشان دهنده میزان تولید بهینه می‌باشد را به ما خواهد داد.

$$\begin{aligned} w &= \beta y - h [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3] \\ w + h [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3] &= \beta y \\ y^* &= \frac{w + h [1 - (\delta_2 - \delta_1)(1 - \beta) - \delta_1 + \delta_3]}{\beta} = \lambda \quad (41a) \end{aligned}$$

با جانشینی روابط (40a) و (41a) در روابط (21a) و (22a) به ترتیب مقدار سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه و انرژی مصرفی داخلی در حالت پایا بدست خواهد آمد.

$$p = \left(\frac{e}{f}\right)^{\delta_1} a^{-\delta_3} f^{\delta_2} = e^{\delta_1} f^{\delta_2 - \delta_1} a^{-\delta_3} \quad \delta_1, \delta_2, \delta_3 > 0$$

$$\begin{aligned} \theta \lambda - h [(\delta_2 - \delta_1)\theta - \delta_3] &= p_a a \Rightarrow \\ a &= \frac{\theta \lambda - h [(\delta_2 - \delta_1)\theta - \delta_3]}{p_a} = \alpha \quad (42a) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \gamma \lambda - [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1)\gamma] h &= p_e e \Rightarrow \\ e &= \frac{\gamma \lambda - [\delta_1 + (\delta_2 - \delta_1)\gamma] h}{p_e} = e \quad (43a) \end{aligned}$$

حال با قرار دادن روابط (40a) تا (43a) در رابطه (16a) و کمی ساده‌سازی، مقدار بهینه مالیات بر آلودگی بدست خواهد آمد.

$$\frac{h}{\tau_p} = e^{\delta_1} \lambda^{\delta_2 - \delta_1} \alpha^{-\delta_3} \Rightarrow \tau_p = h e^{-\delta_1} \lambda^{-\delta_2 + \delta_1} \alpha^{\delta_3} \quad (44a)$$