Download from The Journal of Planning and Budgeting

Fossil Fuel Extraction and Investment in Backstop Technology: A Strategic Interaction

Hamideh Esfahani[1] | h.esfahani@imps.ac.ir
Seyedeh Shiva Shahmiri[2]

Abstract In the economy of renewable resources, oil-importing countries seek to explore and develop backstop technologies to moderate their reliance on oil suppliers. On the other hand, oil-exporting countries should integrate the possibility of backstop technology inventions in their decisions regarding oil supply. Therefore oil-exporting countries and oil-importing-countries essentially have a relationship in the form of strategic interdependence. The present study considers a dynamic game between a buyer and a seller, where the seller determines the supply quantity and the buyer can decide to invest in a substitute which is a renewable source that is more favorable for both the buyer and the environment. The results show that in this closed-loop equilibrium, due to the heterogeneity between the fuel supplied by the seller and the alternative fuel developed by the buyer, the time of investing depends on the investment cost and the positive impact of substitute fuel on the environment. Nevertheless, the time of investing is more likely to occur before the resource exhaustion.

پرتال جامع علوم انسانی

Keywords: Fossil Fuel, Backstop Technology, Strategic Interaction, Dynamic Competition, Closed-loop Equilibrium.

JEL Classification: C72, Q30, O30.

1. Assistant Professor of Economics, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran, (Corresponding Author).
2. M.A. in Socio-Economic System Engineering, Institute for Management and Planning Studies, Tehran, Iran.

The Journal of PLANNING AND BUDGETING | Indexed In ISC | ISSN: 2251-9092
Vol. 25 | No. 1 | Spring 2020 | PP 53-69

Download from The Journal of Planning and Budgeting

استخراج منابع فسیلی و سرمایه‌گذاری سوخت جایگزین: یک تعامل راهبردی

حمیده اصفهانی | h.esfahani@imps.ac.ir
استادیار اقتصاد موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران (نویسنده مسئول).

سیده شیوا شاهمیری
کارشناسی ارشد سیستم‌های اقتصادی اجتماعی، موسسه عالی آموزش و پژوهش مدیریت و برنامه‌ریزی، تهران.

مقاله پژوهشی

دریافت: ۱۳۹۹/۰۶/۱۸ | پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۰۶

چکیده: در اقتصاد منابع تجدیدناپذیر، کشورهای واردکننده برای کاهش وابستگی به عرضه‌کنندگان منبع و غلبه بر محدودیت منابع به دنبال کشف فناوری پشتیبان هستند. کشورهای صادرکننده نفت نیز باید امکان ظهور فناوری‌های جایگزین را در تصمیم‌گیری سیاست‌های استخراج در نظر بگیرند. بنابراین، وضعیت بین کشورهای صادرکننده منبع و کشورهای واردکننده به‌ذات یک وابستگی متقابل راهبردی است. در این پژوهش، یک بازی پویا بین خریدار و فروشنده منبع تجدیدناپذیر در نظرگرفته می‌شود که در آن فروشنده مقدار عرضه را مشخص می‌کند و خریدار می‌تواند در هر زمان تصمیم به سرمایه‌گذاری در کالای جانشین بگیرد. کالای جانشینی که خریدار توسعه می‌دهد هیچ آلودگی تولید نمی‌کند و به نفع محیط‌زیست است، در نتیجه مطلوبیت بیش‌تری برای خریدار فراهم می‌کند. در تعادل حلقه بسته، نتیجه می‌گیریم به دلیل این‌که سوخت عرضه‌شده توسط فروشنده و سوخت جانشین به‌طور کامل همگن نیستند و سوخت جایگزین مطلوبیت بیش‌تری برای مصرف‌کننده دارد، زمان سرمایه‌گذاری خریدار به‌طور قطعی مشخص نیست و با توجه به میزان هزینه سرمایه‌گذاری و اثر مثبتی که کالای جانشین بر محیط‌زیست دارد، زمان سرمایه‌گذاری می‌تواند متغیر باشد، اما بسیار محتمل است که پیش از اتمام منبع این امر صورت گیرد.

کلیدواژه‌ها: سوخت فسیلی، فناوری پشتیبان، تعامل راهبردی، رقابت پویا، تعادل حلقه بسته.

طبقه‌بندی JEL: O30, Q30, C72.

فصلنامه علمی - پژوهشی برنامه‌ریزی و بودجه
شاپا (چاپی) ۲۲۵۱-۹۰۹۲ | نمایه در ISC
سال بیست و پنجم | شماره ۱ | بهار ۱۳۹۹ | ص ص ۶۹-۵۳

Download from The Journal of Planning and Budgeting

مقدمه

کشورهای صادرکننده نفت برای این‌که وابستگی کشورهای مصرف‌کننده را به خودشان بیش‌تر کنند، گاه انگیزه دارند قیمت‌ها را بسیار بالا نبرند، زیرا در بازار منابع تجدیدناپذیر انتظارها نسبت به تقاضای آینده بر عرضه زمان حال اثر می‌گذارد. از طرف دیگر، کشورهای واردکننده نفت متوجه هستند که سرمایه‌گذاری در سایر منابع انرژی نه‌تنها یک راه برای مقابله با کمیابی فیزیکی نفت است، بلکه بر تصمیم‌های عرضه کشورهای صادرکننده تاثیر می‌گذارد. وقتی که خریدار در اولین دوره، زمان رسیدن کالای جانشین را مشخص کند، نه‌تنها شرایط بازار هنگام ورود کالای جانشین تغییر می‌کند، بلکه مسیر عرضه در تمام دوره‌های قبلی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. با گذر زمان، وقتی که عرضه در طول دوره تغییر کند، در نتیجه خریدار نیز با یک معامله متفاوت از آنچه در ابتدای دوره بیان می‌کند، روبه‌رو می‌شود (Michielsen, 2014). در این پژوهش، سیاست‌های عرضه فروشنده در زمانی که تقاضای آیندهٔ مصرف‌کنندگان با انگیزه آن‌ها برای پایان دادن به وابستگی‌شان به نفت تغییر می‌کند، تجزیه‌وتحلیل می‌شود. در پژوهش حاضر، زمان‌بندی حرکت خریدار و فروشنده اهمیت دارد. این بازی به صورت متوالی انجام می‌شود. در این حالت وقتی خریدار بعد از فروشنده حرکت می‌کند، خریدار می‌تواند فروشنده را به خاطر مقدار کم عرضه تنبیه کند. در نتیجه، این رفتار به فروشنده نظم می‌دهد و به خریدار و فروشنده این امکان را می‌دهد که به مازاد بیش‌تری دست پیدا کنند.

مبانی نظری پژوهش

یک پرسش اساسی در اقتصاد منابع تجدیدناپذیر مربوط به انگیزه‌ها برای کشف فناوری پشتیبان تجدیدپذیر برای جایگزینی منابع طبیعی محدود است که در حال تخلیه شدن است. کشورهای واردکننده این انگیزه را دارند که فناوری پشتیبان را کشف کنند، نه‌فقط برای غلبه کردن بر این مسئله که منابع محدود هستند، بلکه برای این‌که وابستگی خودشان را به تولیدکنندگان منبع، که اغلب میزان قابل‌توجهی انحصار دارند، کاهش دهند. در مقابل، تولیدکنندگان منابع باید از اختراع فناوری پشتیبان در تصمیم‌گیری برای سیاست‌های استخراج استفاده کنند (فدایی و مطفف، ۱۳۹۵؛ لولویی و فدایی، ۱۳۹۶؛ اصفهانی و مهدوی زفرقندی، ۱۳۹۶). نوردهاوس[1] (۱۹۷۳)، مفهوم فناوری پشتیبان را معرفی می‌کند و زمان ورود این فناوری را در بازارهایی که عرضه محدود دارند، تجزیه‌وتحلیل

1. Nordhaus

Download from The Journal of Planning and Budgeting

می‌کند. فناوری پشتیبان به این صورت تعریف می‌شود که فناوری پشتیبان یک جایگزین مناسب برای منابع تجدیدناپذیر است که در هر مقدار و با قیمت ثابت (به‌طور معمول بالا) می‌تواند تولید شود. زمانی که قیمت کالای تجدیدناپذیر با قیمت کالای پشتیبان برابر می‌شود، به‌جای این‌که از کالای تجدیدناپذیر استفاده شود، از فناوری پشتیبان بهره گرفته می‌شود. فناوری پشتیبان منابع را با هزینه نهایی ثابت برای مدت زمان طولانی فراهم می‌کند. بررسی تعامل‌های راهبردی بین فروشنده منبع تجدیدناپذیر و مصرف‌کننده‌ای که می‌خواهد وابستگی خودش را به منبع پایان دهد، دامنه وسیعی را در بر دارد. اولسن[1] (۱۹۹۳)، راهبرد استفاده از تحقیق‌وتوسعه[2] را در بازار منابع تجدیدناپذیر بررسی می‌کند، که در آن کشورهای مصرف‌کننده توسعه فناوری پشتیبان و تحقیق‌وتوسعه را کنترل می‌کنند و کارتل (کشورهای صادرکننده منبع) میزان منبع را کنترل می‌کنند. کارتل با رقابت بالقوه روبه‌روست و فناوری پشتیبان با سرمایه‌گذاری مناسب در تحقیق‌وتوسعه در دسترس قرار می‌گیرد. منظور از فناوری پشتیبان یک فرایند صنعتی است که وقتی توسعه پیدا می‌کند یک جانشین کامل برای منبع به‌شمار می‌آید. گرلاخ و لیسکی[3] (۲۰۱۱)، راهبرد تعامل بین فروشنده منبع تمام‌شدنی و مصرف‌کننده‌ای که می‌خواهد وابستگی خودش را به منبع پایان دهد، بررسی می‌کنند. آن‌ها این موقعیت را تحلیل می‌کنند که در آن فروشندهٔ منبع تجدیدناپذیر با تقاضای خریدار که یک جانشین دارد، روبه‌روست. در این مدل، جانشین بلافاصله بعد از سرمایه‌گذاری در دسترس قرار نمی‌گیرد و ساخت جانشین مدت زمانی طول می‌کشد. میکلسن (۲۰۱۴)، یک بازی پویا را بین خریدار و فروشنده منبع تجدیدپذیر بررسی می‌کند، به‌طوری که فروشنده مقدار عرضه را به خریدار پیشنهاد می‌دهد و خریدار با توجه به پیشنهاد فروشنده تصمیم می‌گیرد که سرمایه‌گذاری کند یا نه. در بررسی او خریدار برای این‌که بتواند یک جانشین کامل را توسعه دهد، باید هزینه سرمایه‌گذاری ثابت را بپردازد. بعد از سرمایه‌گذاری کالای جانشین بلافاصله با هزینه نهایی ثابت تولید می‌شود و با منبع وارد رقابت می‌شود. نتیجه‌ای که میکلسن (۲۰۱۴)، از بررسی‌های خود به‌دست می‌آورد این است که تا زمانی که فروشنده منبع در اختیار دارد، خریدار سرمایه‌گذاری نمی‌کند و از تولید فروشنده منبع خریداری می‌کند. تفاوتی که پژوهش ما با بررسی میکلسن (۲۰۱۴) دارد این است که کالای جانشینی که خریدار توسعه می‌دهد، با منبعی که فروشنده عرضه می‌کند، به‌طور کامل همگن نیست و کالای جانشین از نظر زیست‌محیطی دوستدار محیط‌زیست است. در نتیجه، مطلوبیتی که خریدار از مصرف

1. Olsen
2. Research & Development (R&D)
3. Gerlagh & Liski

Download from The Journal of Planning and Budgeting

کالای خود می‌برد بیش‌تر از مطلوبیتی است که از مصرف منبعی که فروشنده عرضه می‌کند، به‌دست می‌آورد. در ادامه، ابتدا به بیان کلیات مدل پرداخته می‌شود، و سپس این مدل بررسی و حل می‌شود، و نتایج آن ارائه می‌گردد.

مدل مسئله

در این پژوهش، مدلی با یک خریدار و یک فروشندهٔ منبع تجدیدناپذیر در نظرگرفته می‌شود. فروشندهٔ منبع کشورهای صادرکننده نفت هستند که در هر دوره مقداری از منبعِ در اختیار را عرضه می‌کنند. خریدار نیز کشورهای مصرف‌کننده هستند که در هر دوره تصمیم می‌گیرند از فروشنده خریداری کنند یا این‌که در فناوری پشتیبان سرمایه‌گذاری کنند و کالای جانشین را توسعه دهند.[۱] تابع مطلوبیت ناخالص[۲] مصرف‌کننده به صورت $\tilde{u}: R^+ \rightarrow R$ تعریف می‌شود. $\tilde{u}(q(t))$ یک تابع اکیداً مقعر است. خریدار از مصرف $q(t)$ واحد از منبع مازاد خالص[۳] $u(q(t))$ را به‌دست می‌آورد، که این تابع به صورت $u: R^+ \rightarrow R$ تعریف می‌شود. فرض می‌کنیم تابع u افزایشی و به‌طور پیوسته مشتق‌پذیر و تابعی غیرخطی است. فروشنده انحصاری از فروش منبع، سود $\pi(q(t))$ را کسب می‌کند، که این تابع به صورت $\pi: R^+ \rightarrow R^+$ تعریف می‌شود. این تابع به‌طور اکید مقعر و به‌طور پیوسته در $q(t)$ مشتق‌پذیر است. تابع مطلوبیت خریدار به صورت رابطه (۱) به‌دست می‌آید:

$$u = \tilde{u} - pq \qquad (۱)$$

برای نشان دادن اثر زیست‌محیطی کافی است مطلوبیت ناشی از مصرف را در $(1 + \alpha_i)$ ضرب کنیم. α_i ضریب زیست‌محیطی برای استفاده از منبع است که در رابطه (۲) تعریف می‌شود.

$$u_i = (1 + \alpha_i)\tilde{u} - pq \qquad (۲)$$

که در آن $i = s, b$ است، s برای منبعی که فروشنده عرضه می‌کند، و b برای کالایی که خودِ خریدار تولید می‌کند. به عبارت دیگر، u_s مطلوبیتی است که خریدار از مصرف منبعی که فروشنده عرضه می‌کند، به‌دست می‌آورد. u_b مطلوبیتی است که خریدار از مصرف کالایی که خودش تولید می‌کند، به‌دست می‌آورد. α_i ضریب زیست‌محیطی نامیده می‌شود و در دو حالت استفاده از منبع و استفاده از کالای جانشین متفاوت است و به صورت رابطه (۳) تعریف می‌شود:

---

۱ . مدل پژوهش حاضر توسعه‌یافتهٔ مدل میکلسن (۲۰۱۴) است.

2. Gross Utility
3. Net Surplus

Download from The Journal of Planning and Budgeting

$$\begin{cases} \alpha_s = 0, \forall q_s \,, \\ \alpha_b = \alpha, \forall q_b. \end{cases} \quad (۳)$$

که α_s ضریب زیست‌محیطی برای استفادهٔ خریدار از منبع است و α_b ضریب زیست‌محیطی برای استفاده از کالای جانشینی است که خریدار توسعه می‌دهد و $0 < \alpha_b < 1$ است. برای به‌دست‌آوردن تابع تقاضا داریم:

$$u_i = (1+\alpha_i)\tilde{u} - pq$$
$$\frac{\partial u_i(q(t))}{\partial q(t)} = 0 \;\rightarrow\; \frac{\partial u_i}{\partial q(t)} = (1+\alpha_i)\widetilde{u'} - p = 0 \;\rightarrow\; p = (1+\alpha_i)\widetilde{u'}(q(t)) \quad (۴)$$

در نتیجه، تابع تقاضای عقب‌گرد، برای حالتی که مصرف‌کننده از منبع فروشنده خریداری کند، به صورت رابطه (۵) است:

$$p_s = \widetilde{u'}(q(t)) \quad (۵)$$

و اگر مصرف‌کننده از سوخت جایگزین، که خریدار توسعه می‌دهد، استفاده کند تابع تقاضای عقب‌گرد به صورت رابطه (۶) بیان می‌شود:

$$p_b = (1+\alpha)\widetilde{u'}(q(t)) = c \quad (۶)$$

و همچنین، تابع مطلوبیت خریدار به صورت رابطه (۷) است:

$$u_i(q(t)) = (1+\alpha_i)\tilde{u}(q(t)) - \tilde{u}'(q(t))(1+\alpha_i)\mathrm{q}(t) \quad (۷)$$

فروشندهٔ انحصارگر منبع محدود s_0 را دارد و در این مدل فرض می‌کنیم استخراج بدون هزینه در نظرگرفته می‌شود. هدف فروشنده این است که مجموع جریان تنزیل‌شده سود آنی را بیشینه کند. تابع سود فروشنده به صورت رابطه (۸) است:

$$\pi(q(t)) = \widetilde{u'}(q(t))q(t) \quad (۸)$$

تابع مطلوبیت و سود با نرخ r تنزیل می‌شوند. خریدار می‌تواند بلافاصله برای منبع یک جانشین کامل را توسعه دهد. وقتی خریدار هزینه سرمایه‌گذاری I را پرداخت کند، می‌تواند جانشین را با هزینه نهایی ثابت c تولید کند.

زمان‌بندی تعامل بین فروشنده و خریدار

در این پژوهش، زمان‌بندی حرکت خریدار و فروشنده اهمیت دارد. این بازی به صورت متوالی انجام می‌شود. در این صورت، وقتی خریدار بعد از فروشنده حرکت می‌کند، می‌تواند فروشنده را به

Download from The Journal of Planning and Budgeting

خاطر مقدار کم عرضه تنبیه کند. در نتیجه، این رفتار به فروشنده نظم می‌دهد و به خریدار و فروشنده این امکان را می‌دهد که به مازاد بیش‌تری دست پیدا کنند. ما فرض می‌کنیم زمان پیوسته است اما $i = 1 , \dots , N$ دوره زمانی به طول ε را در نظر می‌گیریم که بازیگران فقط در ابتدای هر دوره راهبرد خود را نشان می‌دهند، یعنی خریدار و فروشنده، تعهدی که در ابتدای دوره می‌بندند، در کل دوره رعایت می‌کنند. ابتدای هر دوره زمانی به صورت رابطه (۹) مشخص می‌شود:

$$t_i = \varepsilon(i-1) \qquad (۹)$$

ما در این پژوهش زمان را به دو بخش تقسیم می‌کنیم، دوره قبل از سرمایه‌گذاری را با فاز A و دوره بعد از سرمایه‌گذاری را با فاز B مشخص می‌کنیم. در فاز A خریدار یک متغیر تصمیم دودویی $k(t_i) \epsilon \{0 , 1\}$ دارد که اگر متغیر دودویی $k(t_i) = 1$ یعنی خریدار اقدام به سرمایه‌گذاری در سوخت جایگزین کند، در فاز A هر دوره سه مرحله دارد:

فروشنده مقدار عرضه $q(t_i)$ را پیشنهاد می‌دهد.

خریدار تصمیم می‌گیرد که از فروشنده خرید کند یا سرمایه‌گذاری کند. خریدار یک متغیر تصمیم دودویی دارد که:

$k(t_i) \epsilon \{0 , 1\}$

اگر $k(t_i) = 0$ باشد، خریدار سرمایه‌گذاری نمی‌کند. با قیمت $p(t_i) = \widetilde{u'}\big(q(t_i)\big)$ مبادله بین خریدار و فروشنده انجام می‌شود.

اگر $k(t_i) = 1$ باشد، خریدار پیشنهاد فروشنده را رد می‌کند و اقدام به سرمایه‌گذاری می‌کند. فروشنده در مقدار پیشنهادی $q'(t_i)$ تجدیدنظر می‌کند و با قیمت $P(t_i) = min\big(\widetilde{u'}\big(q'(t_i)\big) , f(\alpha)c\big)$ مبادله بین خریدار و فروشنده انجام می‌شود. $f(\alpha)$ تابعی از α است که اثر زیست‌محیطی استفاده از کالای جانشین را در قیمت اعمال می‌کند. پس از انجام سرمایه‌گذاری وارد فاز B می‌شویم. در فاز B سرمایه‌گذاری انجام می‌شود و فروشنده مقدار $q(t)$ را انتخاب می‌کند و با قیمت $p(t_i) = min\big(\tilde{u'}\big(q(t_i)\big), f(\alpha)c\big)$ مبادله انجام می‌شود. در ابتدا فرض می‌کنیم که سرمایه‌گذاری انجام می‌شود، و ابتدا فاز B را محاسبه می‌کنیم که در آن خریدار و فروشنده عوایدشان را محاسبه می‌کنند.

Download from The Journal of Planning and Budgeting

فاز بعد از سرمایه‌گذاری

این بازی به روش استدلال عقب‌گرد حل می‌شود. به این شکل که از مرحله آخرِ بازی شروع می‌شود و اقدام بهینه فروشنده را در حالتی که خریدار سرمایه‌گذاری می‌کند، به‌دست می‌آوریم، یعنی بازده هر یک از بازیکنان را در فاز B محاسبه می‌کنیم. سپس به سراغ مرحله قبل از سرمایه‌گذاری می‌رویم و با توجه به اقدام بهینه مرحله بعد از سرمایه‌گذاری، تعادل این مرحله را نیز می‌یابیم. وقتی خریدار سرمایه‌گذاری خود را انجام دهد، یعنی توانایی تولید سوخت جایگزین را پیدا می‌کند. از آن لحظه به بعد، هیچ عامل دیگری نمی‌تواند اثر بگذارد. این بازی می‌تواند تا بی‌نهایت بر اساس زمان جلو برود، به همین دلیل فاز بعد از سرمایه‌گذاری را به روش حلقه باز[1] حل می‌کنیم. در این‌جا فرض می‌شود زمانی که منبع و جانشین با قیمت یکسان در دسترس باشد، مصرف‌کننده کالایی را ترجیح می‌دهد که خودش تولید می‌کند. زمانی که طول دوره ε به اندازه کافی کوچک باشد، یعنی $\varepsilon \to 0$ زمان پیوسته می‌شود و مسئله فروشنده بعد از سرمایه‌گذاری خریدار (فاز B) به صورت رابطه (۱۰) می‌شود:

$$\max_{q} \int_0^{\infty} (pq)e^{-rt}dt = \max_{q} \int_0^{\infty} min\big(\tilde{u}'(q_{t_i}), f(\alpha)c\big)q(t_i)e^{-rt}dt \qquad (۱۰)$$

$$s.t. \qquad \dot{s} = -q(t)$$

$$q(t) \geq 0$$

$$s(t) \geq 0$$

$$s_0 \; given$$

برای حل مسئله کنترل بهینه، از روش اصل بیشینه‌سازی پنتریاگین[2] استفاده می‌شود. تابع همیلتونی این مسئله به صورت رابطه (۱۱) است:

$$H(q, s, \lambda) = min\big(\tilde{u}'(q(t_i)), f(\alpha)\, c\big)q(t_i) - \lambda(t)q(t_i) \qquad (۱۱)$$

شرط مرتبه اول[3] به صورت رابطه (۱۲) است:

$$\frac{\partial H}{\partial q} \leq 0 \;\rightarrow\; \pi'\big(q(t)\big) - \lambda(t) \leq 0 \quad \text{یا} \quad q(t) \geq \tilde{u}'^{-1}\left(\frac{c}{1+\alpha}\right) \qquad (۱۲)$$

معادله الحاقی[4]:

$$\dot{\lambda} = r\lambda(t) \qquad (۱۳)$$

1. Open-Loop
2. Pontryagin Maximum Principle
3. First Order Condition
4. Adjoint Equation

Download from The Journal of Planning and Budgeting

و شرط تراگذاری[1]

$$\lim_{t\to T}\lambda(t)s(t)=0 \qquad (۱۴)$$

که در آن λ ارزش کمبود منابع[2] یا همان قیمت سایه‌ای[3] است. درآمد نهایی به صورت رابطه (۱۵) به‌دست می‌آید:

$$\pi'\big(q(t)\big)=\begin{cases}\tilde{u}'\big(q(t)\big)+q(t)\tilde{u}''\big(q(t)\big), & q(t)\geq q^*\\ f(\alpha)\mathrm{c}, & q(t)<q^*\end{cases} \qquad (۱۵)$$

که در آن $q^*=\tilde{u}'^{-1}\left(\frac{c}{1+\alpha}\right)$ مقدار کالای جایگزین است که از سرمایه‌گذاری خریدار به‌دست می‌آید. اگر میزان عرضه فروشنده از آن بیش‌تر باشد، خریدار از منبعی که فروشنده در اختیار دارد، استفاده می‌کند. اگر عرضه فروشنده از این میزان کم‌تر باشد، خریدار از کالای جایگزین که خودش توسعه می‌دهد، استفاده می‌کند، به دلیل این‌که سوخت جانشین کامل با هزینه c در دسترس است. درآمد نهایی $\pi'\big(q(t)\big)$ در q^* ناپیوسته است و برای واحدهای اول q^* است. از شرط اول همیلتونی یعنی نامعادله (۱۱) داریم: $q^*=\frac{1}{1+\alpha}\tilde{u}'^{-1}(c)$، $\pi'\big(q(t)\big)=f(\alpha)\mathrm{c}$

$$\leq \lambda(t)=\lambda_T e^{-r(T-t)}=f(\alpha)ce^{-r(T-t)} \qquad (۱۶)$$

با حل این نامعادله برای $T-t$ داریم:

$$T-t\ \leq -\frac{1}{r}\ln\left(\frac{\pi'(q^*)}{f(\alpha)c}\right) \qquad (۱۷)$$

T زمانی را نشان می‌دهد که منبع تمام می‌شود. ما ابتدا می‌توانیم میزان s^*، یعنی مقدار نایابی منبع را به‌دست آوریم. برای این منظور با جایگذاری $T=\left(\frac{s}{q^*}\right)$ و حل نامعادله (۱۶)، برای s و $t=0$ داریم:

$$s^*=-\frac{q^*}{r}\ln\left(\frac{\pi'(q^*)}{f(\alpha)c}\right) \qquad (۱۸)$$

برای حالتی که فروشنده تا تمام شدن منبع با قیمتگذاری محدود روبه‌روست، برای همه $s<s^*$ محاسبه می‌شود.

۱. اگر $s<s^*$ باشد، یعنی اگر مقدار منبع کم باشد، فروشنده در هر زمان t به میزان q^* عرضه می‌کند، زیرا درآمد نهایی عرضه یک واحد بیش‌تر است، یعنی $\pi'(q_t)|_{q(t)\geq q^*}$ از ارزش حال درآمد

1. Transversality Condition
2. Scarcity Value of the Resource
3. Shadow Price

Download from The Journal of Planning and Budgeting

نهایی در زمان تمام شدن منبع یعنی $f(\alpha)ce^{-r\frac{s}{q^*}}$ کم‌تر است، پس داریم:

$$q(t) = q^* \quad \forall\, t \in (0\,, T) \;, \qquad T = \frac{s}{q^*} \tag{۱۹}$$

فروشنده در هر دوره تا زمان تمام شدن منبع، یعنی وقتی که نامساوی زیر برای همه $t \in \left(0\,, \left(\frac{s}{q^*}\right)\right)$ برقرار باشد، مقدار q^* را عرضه می‌کند.

۲. اگر $s \geq s^*$ باشد، وقتی که میزان منبع زیاد باشد، طول دوره قیمتگذاری با محدودیت به‌قدری طول می‌کشد تا منبع تمام شود، در این حالت $\pi'(q^*)$ از $f(\alpha)ce^{-r\frac{s}{q^*}}$ بیش‌تر است. به همین دلیل در دوره‌های اول برای فروشنده سودآور است که بیش‌تر از q^* عرضه کند. فروشنده آخرین واحدهای s^* را در یک دوره زمانی به طول $\Delta = \frac{s^*}{q^*}$ استخراج می‌کند. Δ طول فازی است که قیمتگذاری عرضه با محدودیت روبه‌روست. در استخراج اولین $s - s^*$ واحد، درآمد نهایی با نرخ بهره افزایش پیدا می‌کند و در زمان تمام شدن با ارزش حال درآمد نهایی مساوی می‌شود:

$$\pi'\big(q(t)\big) = f(\alpha)ce^{-r(T-t)} \tag{۲۰}$$

$$\Longrightarrow q(t) = (\pi')^{-1}\big(f(\alpha)ce^{-r(T-t)}\big) \qquad \forall\, t \in [0\,, T-\Delta] \tag{۲۱}$$

یعنی عرضه فروشنده را به عنوان تابعی از درآمد نهایی در نظر می‌گیریم. برای زمانی که با گذر زمان منبع نایاب می‌شود، مطابق با حالت $s < s^*$ داریم:

$$q_t = q^* \qquad \forall\, t \in [\,T-\Delta\,, T] \tag{۲۲}$$

می‌توانیم منبع در اختیار فروشنده را به صورت رابطه (۲۳) بنویسیم:

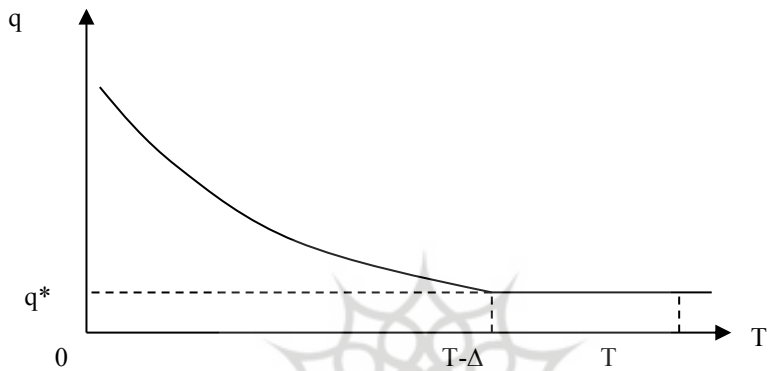
$$\int_0^{T-\Delta} (\pi')^{-1}\big(ce^{-r(T-t)}\big) + \Delta q^* = s \tag{۲۳}$$

سیستم بالا میزان عرضه بهینه فروشنده را بعد از سرمایه‌گذاری یعنی $\phi^I(s\,;c)$ نشان می‌دهد.

حالت اول فاز قیمتگذاری با محدودیت نامیده می‌شود که فروشنده به میزان $q_t = q^*$ عرضه می‌کند. در این حالت، فروشنده نمی‌تواند مقدار کالایی که عرضه می‌کند را بیش‌تر از قیمت c بفروشد. یعنی فروشنده با کم یا زیاد کردن تولید نمی‌تواند روی قیمت اثر بگذارد و قیمتی که فروشنده به خریدار پیشنهاد می‌دهد، قیمت ثابت c یا $c - \varepsilon$ است. اگر فروشنده این راهبرد قیمتگذاری محدود را تا تمام شدن منبع اجرا کند، منبع در زمان $\frac{s}{q^*}$ تمام می‌شود و ارزش حال درآمد نهایی آخرین واحد $f(\alpha)ce^{-r\frac{s}{q^*}}$ است. این حالت را در دو بخش $s < s^*$ و $s \geq s^*$ بررسی می‌کنیم. شکل (۱)، مسیر عرضه فروشنده را در طول فاز بعد از سرمایه‌گذاری نشان می‌دهد، که از زمان صفر تا $T - \Delta$ فروشنده

Download from The Journal of Planning and Budgeting

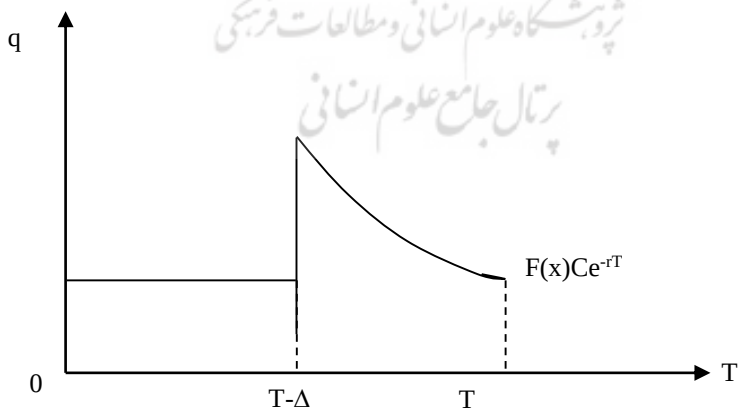
به میزان $q(t) = (\pi')^{-1}\left(f(\alpha)ce^{-r(T-t)}\right)$ عرضه می‌کند. با گذر زمان، با کم شدن مقدار منبع در اختیار، مقداری که فروشنده عرضه می‌کند کاهش می‌یابد، تا زمانی که از $T - \Delta$ تا زمان تمام شدن منبع یعنی T، فروشنده به میزان $q_t = q^*$ عرضه می‌کند.



شکل ۱: عرضه بهینه فروشنده در فاز بعد از سرمایه‌گذاری

شکل (۲)، ارزش حال درآمد نهایی را نشان می‌دهد. با توجه به رابطه (۱۵) متوجه می‌شویم که از لحظه شروع تا $T - \Delta$ که فروشنده به میزان $f(\alpha)$c درآمد نهایی دارد، و از زمان $T - \Delta$ تا T به میزان $\tilde{u}'\left(q(t)\right) + q(t)\tilde{u}''\left(q(t)\right)$ درآمد نهایی به‌دست می‌آید.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۲: ارزش حال درآمد نهایی در طول فاز بعد از سرمایه‌گذاری

Download from The Journal of Planning and Budgeting

در تعادل، فروشنده بین عرضه یک واحد اضافه‌تر در هر دوره قبل از زمان قیمتگذاری با محدودیت یعنی $T - \Delta$ و گسترش دوره قیمتگذاری با محدودیت بی‌تفاوت است. یعنی ارزش حال درآمد نهایی $\pi'(q^*)e^{-rt}$ با $f(\alpha)ce^{-rT}$ بین $[0\ , T - \Delta]$ و T مساوی است.

فاز قبل از سرمایه‌گذاری

در این فاز، خریدار مقدار عرضه فروشنده را مشاهده می‌کند و با توجه به آن تصمیم می‌گیرد که اقدام به سرمایه‌گذاری در سوخت جانشین کند یا خیر. فروشنده نیز با این موضوع مواجه است که خریدار توانایی سرمایه‌گذاری را در سوختی که به نفع محیط‌زیست است، دارد و با توجه به این‌که سوخت جانشین مطلوبیت بیش‌تری برای خریدار دارد، باید مقدار و قیمت عرضه خود را مشخص کند. در مرحله قبل از سرمایه‌گذاری هر لحظه ممکن است خریدار تصمیم به سرمایه‌گذاری بگیرد، یعنی هر لحظه ممکن است متغیر حالت یعنی منبع تغییر کند و تا بی‌نهایت نمی‌تواند بر اساس زمان جلو برود. به همین دلیل، باید به صورت «حلقه بسته»[1] حل شود. برای این منظور، تابع ارزش[2] را برای خریدار و فروشنده در طول فاز قبل از سرمایه‌گذاری به عنوان تابعی از منبع باقیمانده می‌نویسیم. تابع ارزش خریدار را با $U(s)$ و تابع ارزش فروشنده را با $V(s)$ نشان می‌دهیم. تابع ارزش هر یک از خریدار و فروشنده را در لحظه سرمایه‌گذاری به‌ترتیب به وسیله $U^I(s)$ و $V^I(s)$ نشان می‌دهیم. $q = \phi(s)$ راهبرد عرضه فروشنده است، مقداری که فروشنده عرضه می‌کند به میزان منبع بستگی دارد. $K = k(s,q)$ راهبرد سرمایه‌گذاری خریدار است، تصمیم خریدار برای سرمایه‌گذاری به میزان منبع و مقداری که فروشنده عرضه می‌کند بستگی دارد.

فروشنده می‌خواهد سودش را بیشینه کند. ما در فواصل کوچک ε مقدار سودی را که فروشنده به‌دست می‌آورد، محاسبه می‌کنیم. تابع ارزش برای فروشنده از انتخاب مقدار بهینه که در فواصل کوچک ε عرضه می‌شود، به‌دست می‌آید:

$$V(s) = \max_{\{q\}}\{[\varepsilon\pi(q) + e^{-\varepsilon r}V(s - \varepsilon q)]\big(1 - k(s,q)\big) + V^I(s)k(s,q)\} \qquad (۲۴)$$

با توجه به تابع ارزش (۲۴)، می‌خواهیم بدانیم در بازه‌های کوچک فروشنده چه مقدار باید عرضه کند که در کل برآورد او از فروش بیشینه شود. فروشنده برای این تصمیم خود، رفتار خریدار را در

1. Closed Loop
2. Value Function

Download from The Journal of Planning and Budgeting

مورد اقدام به سرمایه‌گذاری در نظر می‌گیرد. هدف خریدار بیشینه کردن مطلوبیتش از استفادهٔ منبع است. تابع ارزش خریدار نیز تابعی از است که به صورت رابطه (۲۵) نوشته می‌شود:

$$U(s) = \max_{k\epsilon\{0,1\}}\{[\varepsilon u(\phi(s)) + e^{-\varepsilon r}U(s - \varepsilon\phi(s))](1-k) + U^I(s)k\} \qquad (۲۵)$$

خریدار باید این تصمیم را بگیرد که سرمایه‌گذاری کند یا نه، و این تصمیم را به‌گونه‌ای بگیرد که $U(s)$ بیشینه شود. مقادیر بعد از سرمایه‌گذاری $U^I(s)$ و $V^I(s)$ به وسیله پویایی‌هایی محاسبه می‌شوند. ما به دنبال یک جفت راهبرد تعادل برای کل s هستیم، به‌طوری که:

$$\phi(s) = arg\max_{\{q\}} V(s) \qquad (۲۶)$$

$$k(s,q) = arg\max_{k} U(s) \qquad (۲۷)$$

نتایج مدل

پس از حل مدل در حالت قبل از سرمایه‌گذاری، نتیجه نهایی که از این مدل به‌دست می‌آید این است که یک تعادل زیر بازی کامل[1] در کل بازی وجود دارد. راهبرد تعادل خریدار به صورت رابطه (۲۸) است:

$$\begin{matrix} k(s,q) = 1 & \forall\, q: u(q) < u_b - rI \\ k(s,q) = 0 & otherwise \end{matrix} \qquad (۲۸)$$

تا به حال راهبرد خریدار به صورت $K = k(s,q)$ بود، اما اکنون می‌گوییم در یک طیفی از تعادل‌ها، راهبرد تعادل خریدار به‌گونه‌ای است که به منبع باقیمانده ربطی ندارد و فقط به q ربط دارد. خریدار زمانی سرمایه‌گذاری می‌کند که مطلوبیت ناشی از مصرف مقداری که فروشنده عرضه می‌کند، کم‌تر از مطلوبیتی باشد که خریدار از مصرف سوخت جایگزینی که خودش توسعه می‌دهد، به‌دست آورد. راهبرد تعادل فروشنده به صورت رابطه (۲۹) است:

$$\phi(s) = \phi^I\left(s\,;\, \tilde{u}'\left(u^{-1}(u_b - rI)\right)\right) \qquad (۲۹)$$

که توسط $\phi^I(s\,;c)$ حل می‌شود.

اگرچه انگیزه در قبل و بعد از سرمایه‌گذاری متفاوت است، اما فروشنده همیشه به اندازه کم‌ترین مقدار ذخیره خریدار[2] عرضه می‌کند. در فاز بعد از سرمایه‌گذاری، عرضه‌کننده با این موضوع که

1. Subgame-Perfect Equilibrium
2. Buyer's Reservation Quantity

Download from The Journal of Planning and Budgeting

خریدار خودش می‌تواند مقداری را تولید کند، مواجه است. بنابراین، در این حالت عرضه‌کننده به قیمتی بالاتر از c نمی‌تواند بفروشد، یعنی در این حالت فروشنده با کم یا زیاد کردن تولید نمی‌تواند روی قیمت اثر بگذارد و قیمتی که فروشنده به خریدار پیشنهاد می‌دهد، قیمت ثابت c یا $c-\varepsilon$ است. q^* مقداری است که خریدار اگر سرمایه‌گذاری کند، این مقدار جایگزین را تولید می‌کند. عرضه‌کننده باید در حالت بعد از سرمایه‌گذاری بیش‌تر از q^* عرضه کند. اگر در حالت قبل از سرمایه‌گذاری بودیم و فروشنده قرار بود کم‌تر از q^* عرضه کند، می‌توانست به قیمت بیش‌تری بفروشد. اما در حالت بعد از سرمایه‌گذاری این اتفاق نمی‌افتد، یعنی اگر کم‌تر عرضه کند قیمت بیش‌تر نمی‌شود، چون همه را به قیمت ثابت c می‌فروشد. در فاز قبل از سرمایه‌گذاری، خریدار تنها از فروشنده می‌تواند خریداری کند، فروشنده هم به عنوان تنها عرضه‌کننده بر اساس درآمد نهایی خودش تصمیم می‌گیرد که چه مقدار و با چه قیمت عرضه کند که سودش بیشینه شود. اگر فرض کنیم که $\hat{q}$ میزان تقاضای خریدار باشد و میزان عرضه فروشنده q باشد، فروشنده باید بیش‌تر از تقاضای خریدار عرضه کند تا خریدار دیگر سرمایه‌گذاری نکند، یعنی $q \geq \hat{q}$. حال می‌خواهیم بررسی کنیم که خریدار چه زمانی را برای سرمایه‌گذاری انتخاب می‌کند. این بررسی منوط به مقایسه دو حالت است: حالت یکم زمانی است که خریدار قبل از این‌که منبع تمام شود، سرمایه‌گذاری خود را انجام می‌دهد و در زمان $T-\Delta$ جانشین را توسعه می‌دهد. حالت دوم زمانی است که خریدار صبر می‌کند منبع تمام شود و سپس سرمایه‌گذاری می‌کند. در این حالت خریدار فرض می‌کند منبع در زمان $\hat{T}$ تمام می‌شود.

حالت یکم: فرض می‌کنیم T زمان تمام شدن منبع باشد و Δ طول دوره‌ای که خریدار در قیمتگذاری با محدودیت روبه‌روست. اگر خریدار در ابتدا سرمایه‌گذاری کند و در زمان $T-\Delta$ کالای جانشین را توسعه دهد، راهبرد خریدار این است که $U(s)$ را نسبت به k بیشینه کند و مقداری که از سرمایه‌گذاری به‌دست می‌آورد، به صورت رابطه (۳۰) است:

$$U^I(s;c) = \int_{T-\Delta}^{\infty} u_b(c)e^{-rt}dt - I + \int_0^{T-\Delta} u_s\big(\phi^I(s;c)\big)e^{-rt}dt$$
$$= \int_0^{\infty} (u_b(c) - rI)e^{-rt}dt + \int_0^{T-\Delta} \big[u_s\big(\phi^I(s;c)\big) - u_b(c)\big]e^{-rt}dt \quad (۳۰)$$

$$\dot{s}(t) = -\phi^I(s(t);c)$$
$$s(0) = s$$

حالت دوم: اگر فرض کنیم $\hat{T}(s)$ مجموع مازاد تنزیل‌شده خریدار (برآورد) باشد، در زمانی که از

Download from The Journal of Planning and Budgeting

راهبرد تعادل استفاده می‌کند، یعنی اگر خریدار به این موضوع فکر کند که چه زمانی برایش به‌صرفه است که سرمایه‌گذاری کند و فناوری را توسعه دهد، آن تصمیم خریدار به راهبرد قیمتی خریدار بستگی دارد. اگر زمان تمام شدن را با $\hat{T}$ و طول فاز قیمتگذاری محدود را با $\hat{\Delta}$ نشان دهیم:

$$\begin{aligned}\widehat{U}(s;c) &= \int_{\hat{T}}^{\infty} u_b(c)e^{-rt}dt - e^{-r\hat{T}}I + \int_0^{\hat{T}} u_s\left(\phi^I\left(s;\tilde{u}'(\hat{q})\right)\right)e^{-rt}dt \\ &= \int_{\hat{T}}^{\infty}(u_b(c)-rI)e^{-rt}dt + \int_0^{\hat{T}} u_s(\hat{c})e^{-rt}dt \\ &= \int_0^{\infty}(u_b(c)-rI)e^{-rt}dt + \int_0^{\hat{T}}(u_s(\hat{c})-[u_b(c)-rI])e^{-rt}dt\end{aligned} \tag{۳۱}$$

$$\begin{aligned}\dot{s}(t) &= -\phi^I\left(s(t);\tilde{u}'(\hat{q})\right) \\ s(0) &= s\end{aligned}$$

$\tilde{u}'(\hat{q}) = \hat{c}$ قیمتی است که وقتی فروشنده مقدار $\hat{q}$ را عرضه می‌کند، پیشنهاد می‌دهد. برای $\hat{c} \geq c$، می‌خواهیم $U^I(s)$ و $\widehat{U}(s)$ را با هم مقایسه کنیم. به این منظور کمی تغییر ساختار داریم:

$$U^I(s) = \int_0^{\infty}(u_b(c)-rI)e^{-rt}dt + \int_0^{T-\Delta}[u_s(c)-u_b(c)]e^{-rt}dt \tag{۳۲}$$

و برای حالت دوم داریم:

$$\begin{aligned}\widehat{U}(s) = &\int_0^{\infty}(u_b(c)-rI)e^{-rt}dt \\ &+ \int_0^{T-\Delta}(u_s(\hat{c})-[u_b(c)-rI])e^{-rt}dt \\ &+ \int_{T-\Delta}^{\hat{T}-\hat{\Delta}}(u_s(\hat{c})-[u_b(c)-rI])e^{-rt}dt \\ &+ \int_{\hat{T}-\hat{\Delta}}^{\hat{T}}(u_s(\hat{c})-[u_b(c)-rI])e^{-rt}dt\end{aligned} \tag{۳۳}$$

Download from The Journal of Planning and Budgeting

و در نهایت:

$$\widehat{U}(s) = \int_0^{\infty} (u_b - rI)e^{-rt}dt + \int_0^{T-\Delta} \big(u_s(\hat{c}) - u_b(c)\big)e^{-rt}dt + \int_{T-\Delta}^{\hat{T}-\hat{\Delta}} \big(u_s(\hat{c}) - u_b(c)\big)e^{-rt}dt + \int_{\hat{T}-\hat{\Delta}}^{\hat{T}} \big(u_s(\hat{c}) - u_b(c)\big)e^{-rt}dt + \int_0^{\hat{T}} rI\ e^{-rt}dt \quad (۳۴)$$

حال به مقایسه انتگرال‌های $U^I(s)$ و $\widehat{U}(s)$ می‌پردازیم. برای این منظور رابطه (۳۲)، و (۳۴) را در نظر می‌گیریم. چون $\hat{c} \geq c$ است، در نتیجه قیمت بالاتر برای خریدار مطلوبیت کم‌تری دارد، یعنی $u_s(c) > u_s(\hat{c})$. پس داریم:

$$\int_0^{T-\Delta} [u_s(c) - u_b(c)]e^{-rt}dt > \int_0^{T-\Delta} \big(u_s(\hat{c}) - u_b(c)\big)e^{-rt}dt \quad (۳۵)$$

که در آن $u_b(c)$ مطلوبیتی است که خریدار از مصرف کالایی که خودش با هزینه c توسعه می‌دهد، به‌دست می‌آورد و $u_s(\hat{c})$ هم مطلوبیتی است که خریدار از مصرف منبعی که فروشنده عرضه می‌کند، به‌دست می‌آورد. چون $\hat{c} \geq c$، و $u_b(c)$ مطلوبیتی است که اثر زیست‌محیطی در آن اعمال می‌شود. پس:

$$u_s(\hat{c}) - u_b(c) < 0 \quad (۳۶)$$

یعنی عبارت داخل انتگرال‌های $\int_{\hat{T}-\hat{\Delta}}^{\hat{T}} \big(u_s(\hat{c}) - u_b(c)\big)e^{-rt}dt$ و $\int_{T-\Delta}^{\hat{T}-\hat{\Delta}} \big(u_s(\hat{c}) - u_b(c)\big)e^{-rt}dt$ منفی هستند. از طرفی، $\int_0^{\hat{T}} rI\ e^{-rt}dt$ یک مقدار مثبت است. با توجه به این نتایج، مقایسه $U^I(s)$ و $\widehat{U}$ نتیجه قطعی ندارد و با توجه به مقادیر α و I می‌تواند نتایج مختلفی بدهد.

در استخراج راهبردی منابع تجدیدناپذیر، خریداران انگیزه دارند که برای کم کردن قیمت، اتخاذ جانشین را به تاخیر بیاندازند. از طرفی، از آن‌جا که خریداران نمی‌توانند زمان آمدن جانشین را در ابتدای دوره مشخص کنند، به این دلیل فروشندگانِ انحصارگر خریداران را مجبور می‌کنند اتخاذ جانشین را تا زمان تمام شدن منبع به تاخیر بیاندازند. در حالتی که جانشین به‌طور کامل همگن با منبع باشد، خریدار زمانی سرمایه‌گذاری می‌کند که منبع تخلیه شده باشد و در این حالت، خریدار و فروشنده هر دو به مازاد بیش‌تری دست پیدا می‌کنند. در این پژوهش، مشاهده می‌شود به دلیل این‌که کالای جانشین که توسط خریدار توسعه داده می‌شود، با منبع متفاوت است، از نظر زیست‌محیطی به

Download from The Journal of Planning and Budgeting

نفع محیط‌زیست است و در نتیجه مطلوبیت بیش‌تری برای خریدار به‌وجود می‌آورد. با در نظرگرفتن این تفاوت‌ها، زمان سرمایه‌گذاری خریدار به میزان α که ضریب زیست‌محیطی استفاده از کالای جایگزین است، و به میزان I که هزینه سرمایه‌گذاری است، بستگی دارد. می‌توان در مورد مقادیر α و I ، و ترکیب این دو پارامتر با هم نتایج متفاوتی را به‌دست آورد. از آن‌جایی که $0 < \alpha < 1$ اگر $\alpha \to 0$ کالای جانشین اثر زیست‌محیطی کم‌تری داشته باشد، و مشابه منبع عرضه‌شده توسط فروشنده باشد، خریدار تا تمام شدن منبع صبر می‌کند و بعد از آن سرمایه‌گذاری می‌کند. اگر $\alpha \to 1$ یعنی کالای جانشین اثر زیست‌محیطی بیش‌تری داشته باشد و منفعتی که برای محیط‌زیست دارد زیاد باشد، احتمال این‌که خریدار زودتر سرمایه‌گذاری کند وجود دارد. در این حالت، زمان سرمایه‌گذاری و میزان عرضه فروشنده به میزان I مرتبط می‌شود. هرچقدر میزان هزینه ثابت برای سرمایه‌گذاری کم‌تر باشد و اثر زیست‌محیطی، یعنی α، بیش‌تر باشد خریدار انگیزه بیش‌تری برای سرمایه‌گذاری دارد، و قبل از این‌که منبع تمام شود سرمایه‌گذاری می‌کند. هرچقدر میزان هزینه ثابت برای سرمایه‌گذاری بیش‌تر باشد و اثر زیست‌محیطی کم‌تر باشد، خریدار تا زمانی که منبع فروشنده در دسترس است، سرمایه‌گذاری را به تاخیر می‌اندازد.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش می‌کوشد اثر سرمایه‌گذاری در کالای جایگزین را که در محیط‌زیست آلودگی ایجاد نمی‌کند، بررسی کند و نتیجه را با پژوهش‌هایی که بدون در نظرگرفتن اهمیت محیط‌زیست هستند، مقایسه نماید.

در حالتی که سوخت جایگزین و سوخت فروشنده به‌طور کامل همگن باشند، تا زمانی که منبع تمام نشود، خریدار در سوخت جایگزین سرمایه‌گذاری نمی‌کند. یعنی تا زمانی که فروشنده منبع در اختیار دارد، خریدار از فروشنده منبع خریداری می‌کند. در حالتی که سوخت جایگزین با سوخت فروشنده یکسان نباشد، زمان سرمایه‌گذاری خریدار به میزان اثر ضریب زیست‌محیطی که آن کالای جایگزین دارد، و به میزان I که هزینه سرمایه‌گذاری است، بستگی دارد. در این حالت، نمی‌توان نتیجه قطعی در مورد زمان سرمایه‌گذاری خریدار گرفت و با توجه به مقادیر α و I، این‌که خریدار در چه زمانی سرمایه‌گذاری می‌کند، می‌تواند متفاوت باشد. این نتیجه‌های متفاوت دلیل بر صحیح یا غلط بودن سناریوی خاصی نیست. ممکن است در حالت این‌که کالای جایگزین و منبع به‌طور کامل

Download from The Journal of Planning and Budgeting

همگن باشند، خریدار گاز شیل[1] را برای جایگزین انتخاب کند و در حالتی که سوخت جایگزین به نفع محیط‌زیست باشد، خریدار انرژی خورشیدی یا بادی را به عنوان کالای جایگزین انتخاب کند، که این دو انتخاب کالای جایگزین به دلیل تفاوت زیست‌محیطی که دارند، طبیعتاً در تصمیم خریدار برای سرمایه‌گذاری اثر خواهند گذاشت و نتایج متفاوتی خواهند داشت.

منابع

الف) فارسی

اصفهانی، حمیده، و مهدوی زفرقندی، سعیده (۱۳۹۶). بررسی آثار رفاهی سیاست زیست‌محیطی واردات کالای پاک. *نشریه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۲۲(۱)، ۴۵-۳۳. http://jpbud.ir/article-1-1470-fa.html.

فدایی، مهدی، و مطفف، مرضیه (۱۳۹۵). روابط راهبردی بین کارتل عرضه‌کننده سوخت‌های فسیلی و ائتلاف تقاضاکننده آن: رویکرد بازی پویا. *نشریه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۲۱(۱)، ۱۲۲-۱۰۵. http://jpbud.ir/article-1-1355-fa.html.

لولویی، مهرناز، و فدایی، مهدی (۱۳۹۶). رقابت بنگاه‌های مسلط و حاشیه‌ای در بازار با تقاضای پویا. *نشریه برنامه‌ریزی و بودجه*، ۲۲(۳)، ۶۰-۴۵ http://jpbud.ir/article-1-1566-fa.html.

ب) انگلیسی

Gerlagh, R., & Liski, M. (2011). Strategic Resource Dependence. *Journal of Economic Theory, 146*(2), 699727-. https://doi.org/10.1016/j.jet.2010.09.007.

Michielsen, T. O. (2014). Strategic Resource Extraction and Substitute Development. *Resource and Energy Economics, 36*(2), 455-468. https://doi.org/10.1016/j.reseneeco.2014.02.001.

Nordhaus, W. D. (1973). The Allocation of Energy Resources. *Brookings Papers on Economic Activity, 4*(3), 529-576.

Olsen, T. E. (1993). Perfect Equilibrium Timing of a Backstop Technology: Limit Pricing Induced by Trigger Zones. *Journal of Economic Dynamics and Control, 17*(1-2), 123-151. https://doi.org/10.1016/S0165-1889(06)80007-2.

1. Shale Gas