مجله برنامه و بودجه، شمارهٔ ۷، ص. ۵-۴۰.

کنترل تعهدات خارجی در جریان رشد اقتصادی

کاربردی از نظریه کنترل بهینه در یک مدل اقتصاد کلان

نویسنده: دکتر مهدی عسلی●

چکیده

پس از پایان جنگ و آغاز دوره بازسازی اقتصادی، منابع ارزی کشور برای واردات کالاهای سرمایه‌ای و واسطه‌ای لازم به منظور تأمین نرخ رشد نسبتاً بالای پیش بینی شده در برنامه پنجساله اول توسعه کفایت نمی‌کرد، بنابراین، کشور ناگزیر از استقراض از منابع خارجی شد. با توجه به واقعیتهای اقتصادی کشور، از جمله موازنه تراز پرداختهای جاری، چنین پیداست که دست کم طی برنامه دوم توسعه، منابع ارزی همچنان از محدودیتهای اصلی رشد اقتصادی خواهد بود. بدین روی، انتخاب بین رشد سریعتر اقتصادی توأم با خطر افزایش بدهیهای خارجی یا تعدیل نرخ رشد اقتصادی به منظور کنترل تعهدات خارجی کشور در زمره مسائل مهم سیاست اقتصادی کشور قرار می‌گیرد.

در این مقاله، رشد اقتصادی کشور در مقابل انباشت بدهیهای خارجی از طریق کاربرد نظریه کنترل بهینه(۱)* در یک مدل ساده اقتصادی مورد بحث قرار گرفته است. در بخش اول، ارتباط نظریه کنترل بهینه و سیاست اقتصادی، و در بخش دوم، مدل پویای ساده‌ای شامل تابع هدف و دستگاه پویا با مشخصات کلی اقتصاد کشور طرح شده است. تابع هدف مدل تابع درجه دومی از انحراف مقادیر متغیرهای هدف، ذخیره ارزی و ظرفیت سرمایه‌ای، و متغیرهای کنترل یا

●مشاور معاونت اقتصادی سازمان برنامه و بودجه

* اعداد داخل دو کمان، به‌یادداشتهای پایان مقاله اشاره دارد.

سیاستگذاری، مالیاتها و مخارج سرمایه‌گذاری دولت، از مقادیر برنامه‌ریزی شده این متغیرهاست. فرض می‌شود که سیاستگذار اقتصادی مایل است که این تابع هدف اسکالر را مشروط به یک دستگاه پویا از روابط اقتصادی، شامل معادله‌های مدل اقتصاد کلان و مقادیر اولیه متغیرهای سطح در مدل به حداقل برساند. بخش سوم مقاله، کاربرد نظریه کنترل بهینه در مدل اقتصادی و نتایج حاصل را دربرمی‌گیرد. کاربرد نظریه مزبور با استفاده از روش شبیه‌سازی کامپیوتری مسیر بهینه متغیرهای کنترل یا سیاستگذاری، و به تبع آنها، مسیر بهینه متغیرهای سطح یا هدف و نیز مقدار تابع هدف مدل اقتصادی را به دست می‌دهد.

۱. سیاست اقتصادی و نظریه کنترل بهینه[1]

۱-۱. مقدمه

ارتباط نظریه سیاست اقتصادی و کنترل را می‌توان با در نظرگرفتن یک مدل خطی متعارف از اقتصاد کلان مورد بحث قرار داد.(۲)

$$X_t = AX_{t-1} + BU_t + CZ_t + \varepsilon_t \qquad (1)$$

در مدل (۱)، X_t بردار متغیرهای درونی، X_{t-1} بردار متغیرهای درونی با تأخیر زمانی، A ماتریس ضریبهای متغیرهای درونی مدل، U_t بردار متغیرهای کنترل یا سیاستگذاری و B ماتریس ضریبهای متغیرهای کنترل، Z_t بردار متغیرهای بیرونی مدل و C ماتریس ضریبهای این متغیرها و ε_t بردار عناصر تصادفی اختلال با ابعاد مناسب هستند. عناصر اختلال قابل پیش بینی یا کنترل سیاستگذار نیستند.

به فرض با در اختیار داشتن این مدل از اقتصاد کشور، سیاستگذار اقتصادی مایل است در زمان مشخص مثلاً t+i به مجموعه‌ای از هدفهای اقتصادی که معمولاً مجموعه‌ای از متغیرهای سطح در مدل اقتصادی (۱) است، دست یابد. از آنجاکه نه سیاستگذار اقتصادی و نه مشاوران وی، از قبیل سازمان برنامه یا بانک مرکزی، نمی‌توانند پیش بینی از عناصر اختلال تصادفی در نظام اقتصادی داشته باشند، بنابراین، اگر امید ریاضی این عناصر اختلال را مساوی صفر قرار دهیم $E(\varepsilon_{t+i})=0$ و نیز برای سادگی موقتاً از متغیرهای مستقل بیرونی مدل (بردار Z_t) چشم بپوشیم،

1. Optimal Control Theory

خواهیم داشت:

$$X_{t+i} = AX_{t+i-1} + BU_{t+i} \qquad (۲)$$

این مدل اقتصادی می‌تواند برای متغیرهای کنترل مدل حل شده و جواب زیر برای متغیرهای سیاستگذاری به دست می‌آید:

$$U_{t+i} = B^{-1}X_{t+i} - B^{-1}AX_{t+i-1} \qquad (۳)$$

روشن است که مسئله وقتی جواب خواهد داشت که معکوس ماتریس B وجود داشته باشد و به بیان دیگر، متغیرهای کنترل یا سیاستگذاری از یکدیگر مستقل بوده و به طور خطی وابسته نباشند. این موضوع در اساس نظریه سیاست اقتصادی قرار داشته و نخستین بار، تین برگن آن را تحلیل نموده است.

در مدل (۳) به طور منطقی سه حالت امکانپذیر است: اول، به تعداد متغیرهای سطح متغیرهای کنترل وجود داشته باشد. در این صورت، مدل (۳) جواب یگانه‌ای داشته و سیاستگذار می‌تواند با تخصیص یک متغیر کنترل به یک متغیر هدف، به آماجهای اقتصادی خود دست یابد. دوم، ممکن است تعداد متغیرهای ابزار یا کنترل بیشتر از متغیرهای هدف باشد. در این حالت، جواب یگانه‌ای وجود نخواهد داشت، ولی با فرض استقلال ابزار اقتصادی، می‌توان با حذف تعداد متناسبی از سطرهای ماتریس B ، یک ماتریس مربع به دست آورد که معکوس پذیر باشد. در این صورت، مشروط به اختلالات تصادفی و خطاهای پیش بینی اقتصادی، سیاستگذار اقتصادی می‌تواند به هدفهای خود دست یابد. اما حالت سوم که بیشتر با دنیای واقعی قرابت دارد، آن است که دولت هدفهای اقتصادی متعددی داشته، ولی ابزار اقتصادی در اختیار وی محدود است. در این صورت، مسئله جوابی نظیر مدل (۳) نداشته و دولت نمی‌تواند به طور همزمان به همه هدفهای اقتصادی خود برسد. بنابراین، لازم است براساس اولویتهایی که به هدفهای مختلف قایل است، از نیل به برخی از هدفها موقتاً چشمپوشی کند یا از بخشی از یک هدف اقتصادی برای نیل به هدف دیگر صرف نظر نماید. سیاست انتخاب هدفهای اقتصادی جایگزین و تنظیم مسیر زمانی متغیرهای سیاستگذاری برای نیل به مجموعه هدفهای اقتصادی، موضوع بحث نظریه کنترل بهینه در مدلهای

اقتصادی است.

۱-۲.کنترل بهینه و سیاست بهینه اقتصادی

ملاحظه پویاییهای نظام اقتصادی، شباهتهای آن را با سیستمهای مهندسی و صنعتی نشان می‌دهد. وجود پویاییهای ساختاری در نظامهای اقتصادی به این معناست که مدلهای اقتصادی می‌تواند از طریق مجموعه‌ای از معادله‌های تفاضلی[1] توصیف شود. سیاستگذار اقتصادی با این مسئله مواجه است که با استفاده از متغیرهای تحت‌کنترل خود نظام پیچیدهٔ اقتصادی را به سوی هدفهایی که به‌طور خلاصه در تابع هدف یک مدل اقتصادی بیان می‌شود رهبری کند. معمولاً فرض می‌شود که سیاستگذار اقتصادی سعی می‌کند تابع هدفی را که نشاندهندهٔ هزینه هدایت نظام اقتصادی بوده و شامل متغیرهای سطح در مدل اقتصادی است، به حداقل ممکن برساند. در مسئله بهینه‌سازی، برای آنکه مدلهای اقتصادی دارای جواب امکانپذیر باشد، معمولاً متغیرهای کنترل را هم وارد تابع هدف می‌کنند. در نوشته‌های اقتصادی مربوط به‌کاربرد نظریه کنترل بهینه در مدلهای اقتصادی، معمولاً توابع هدف درجه ۲ انتخاب می‌شود. فرض می‌شود که هدف مدیریت اقتصادی، عبارت است از به حداقل رساندن مجذور انحرافات مقادیر متغیرهای هدف و کنترل از مقادیر مطلوب یا برنامه‌ریزی شده برای آنها.(۳)

$$\text{Min } J = \frac{1}{2} \sum \{(X-X)' Q(X-X) + (U-U)' R(U-U)\} \qquad (۴)$$

در رابطهٔ (۴)، U و Xمقادیربرنامه‌ریزی شده متغیرهای کنترل و هدف، و R و Qماتریسهای قطری هزینه‌های انحراف از مقادیر مطلوب متغیرهای سیاستگذاری و هدف هستند که ماتریسهای مثبت نیمه معین[2] می‌باشند. $(X-X)'$ و $(U-U)'$ ترانهاده[3] ماتریسهای متناظر $(X-X)$ و $(U-U)$ هستند. وزن نسبی R در مقابل Q را می‌توان به هزینه کنترل اقتصاد در مقایسه با هزینه انحراف آن از مسیر مطلوب در نظر گرفت.

1 . Difference Equations
2. Positive Semi-Definite
3. Transpose

۱-۳. اصل حداکثر [1] یا نظریه کنترل بهینه

به طور کلی، راه حل مسئله پیداکردن مسیر بهینه متغیرهای هدف و سیاستگذاری تابع هدف (۴) مشروط به مدل اقتصادی (۲) ممکن است از طریق کاربرد اصل بهینه بلمن [2] دربرنامه‌ریزی پویا[۴] یا اصل حداکثر پونتیاراگین (۳۰) به دست آید. روش دوم برتریهایی نسبت به روش دیگر دارد. و در واقع، بسط روش ضریبهای لاگرانژ به بهینه سازی پویاست و ما هم در اینجا از همین روش استفاده کرده‌ایم. بسط روش ضریبهای لاگرانژ [3] و استفاده از قضیه کوهن - تاکر [4] مشروط به یک دستگاه پویا مسیر زمانی بهینه متغیرهای کنترل را برای هدفهای دستگاه پویا در مسیر حداقل کردن تابع هدف به دست می‌دهد. با فرض مدل اقتصادی مورد بحث (۲) و تابع هدف (۴)، بدون در نظرگرفتن عوامل تصادفی اختلال و با این فرض که مقادیر اولیه متغیرهای سطح دستگاه معلوم باشد، مسئله بهینه‌سازی برای نظام اقتصادی (۱) به شکل زیر است:

$$x = (X_t - X)$$

$$u = (U_t - U_t)$$

$$\text{Min } J(\circ) = \Sigma[x'QX)+(u\ 'RU)] \qquad (۵)$$

$$\text{s.t.} \quad X_t = AX_{t-1} + BU_t + CZ_t$$

$$X_\circ = \quad \xi \qquad t = \circ, ..., T$$

در رابطهٔ (۵)، $x_t = (X_t - X_t)$ و $u_t = (U - U)$ و X_t نرخ تغییرات دستگاه پویا طی زمان است. در واقع، X_t بردار متغیرهای نرخ دستگاه است که به صورت تابعی از متغیرهای سطح و کنترل و متغیرهای مستقل بیرونی مدل بیان شده است.

برای حل مسئله (۵) بردار متغیرهای الحاقی [5] $\lambda_t=\{\lambda_1(t), ..., \lambda_n(t)\}$ را به نحوی در نظر می‌گیریم که به هر معادله نرخ تغییرات دستگاه پویا یک متغیر الحاقی متناظر باشد. از آنجاکه هر معادله نرخ نظام اقتصادی در فاصلهٔ زمانی $t= \circ, ..., T$ تغییر می‌کند، متغیرهای الحاقی نیز در این فاصله زمانی تغییر می‌کنند. حال تابع اسکالر هامیلتونین [6] زیر را در نظر می‌گیریم.

---

1. Maximum Principle
2. Principle of Optimality
3. Lagrange Multiplier
4. Kuhn-Tuker Theorem
5. Adjoint or Co-State Variables
6. Hamiltonian

$$H(x, x, u, \lambda, t) = J(.) + \lambda.(x) \qquad (۶)$$

که در آن، عبارت نخست در سمت راست تابع هدف، و عبارت دوم، حاصلضرب داخلی بردار متغیرهای الحاقی در دستگاه پویا یا نرخ تغییرات نظام اقتصادی موردبررسی است. یادآوری این نکته ضروری است که چون نظام اقتصادی (۵) شامل مدل خطی و تابع هدف از درجه دوم است، بنابراین، فرض مربوط به برنامه‌ریزی در فضای محدب[1] که لازمه کاربرد قضیه کوهن - تاکر در مسئله بهینه‌سازی است، در اینجا صدق می‌کند. اگر با رعایت محدودیتهای نظام اقتصادی، جواب مسئله به دست آید، جواب بهینه یگانه‌ای بوده و نیازی به جستجوی جواب بهینه کلی[2] در مقایسه با جوابهای بهینه موضعی[3] نیست (۱۸).

حل مسئله با مشتق‌گیری جزئی از تابع اسکالر هامیلتونین (۶) به دست می‌آید. شرایط درجه اول معادله‌های بهینه متغیرهای سطح و کنترل و معادلات متغیرهای الحاقی را به دست می‌دهد. از طریق حل این معادله‌های همزمان، مسیر بهینه برای U^*_i ، λ^*_i و X^*_i به دست می‌آید.

$$X_t = \frac{\partial H}{\partial \lambda_t}\Bigg|_* = AX^*_t + BU^*_t + CZ_t \qquad (۷)$$

$$\lambda^\circ_t = -\frac{\partial H}{\partial X_t} = \Big|-Q\,(x^*_t) - A'\lambda_t \qquad (۸)$$

$$x^*_\circ = \xi \qquad (۹-۱)$$

$$\lambda_T = Q\,(x_T) \qquad (۹-۲)$$

که مشروط به شرایط کرانه‌ای[4] است. توجه به این نکته لازم است که شرایط (۹) نتیجه شرط

1. Concave
2. Global Solution
3. Local Solution
4. Boundary

پایانی در قضیه حداکثر است (نگاه کنید به منابع، شماره‌های ۱۳ و ۱۵). در نهایت، حداقل کردن هامیلتونین (۶) نتیجه می‌دهد.

$$\left.\frac{\partial H}{\partial u_t}\right|_{*} = 0 \qquad (10)$$

$$u^*_t = -R^{-1}B'\lambda^*_{t+1} + u^*_t \qquad t = 0,..., T$$

حل مسئله از طریق جایگزینی u^*_t از معادله (۱۰) در معادله (۷) به دست می‌آید. در این صورت، مجموعه‌ای مرکب از ۲n معادله تفاضلی از درجه یک برای X^*_t و λ^*_t به دست می‌آید (n تعداد متغیرهای سطح) که به همراه ۲n معادله شرایط کرانه‌ای می‌تواند با استفاده از یک برنامه کامپیوتری حل شده و مقدار به دست آمده برای λ^*_t در معادله (۱۰) جایگزین شده مقادیر بهینه متغیرهای کنترل یا بردار u^*_t به دست آید. سپس از طریق جایگزینی این مقادیر بهینه برای متغیرهای کنترل مسیر بهینه متغیرهای سطح در مدل یعنی X^*_t از طریق رابطهٔ (۲) به دست می‌آید.

ملاحظه می‌شود که یک مسئله کنترل بهینه اساساً حاوی مجموعه‌ای از معادله‌های تفاضلی، مجموعه‌ای از محدودیتهای دستگاه، شرایط اولیه، شامل مقادیر اولیه متغیرهای سطح و یک تابع هدف به عنوان شاخص عملکرد یا تابع هزینه است. بنابراین، برای به کار بردن روش کنترل بهینه در مدلهای اقتصادی، لازم است در وهله اول مدلهای پویا که به صورت مجموعه معادله‌های تفاضلی است به شکل سطح -متغیر[1] نوشته شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲. یک مدل پویای ساده

۲-۱. فروض و ساختار مدل

یک نظام اقتصادی را در نظر می‌گیریم که شامل دو متغیر سطح ظرفیت سرمایه و ذخیره داراییهای

1. State-Variable or State-Space

خارجی و دو متغیر سیاستگذاری مالیات و مخارج سرمایه گذاری دولتی است. فرض می‌کنیم که ذخیره سرمایه از طریق سرمایه گذاری بخشهای دولتی و خصوصی افزایش می‌یابد و استهلاک سرمایه وجود ندارد. تولید تنها تابعی از ذخیره سرمایه است و سرمایه گذاری بخش خصوصی که معادل پس‌انداز بخش خصوصی است با افزایش درآمد قابل تصرف و نیز صادرات غیرنفتی افزایش می‌یابد. واردات تابعی از درآمد ملی است و صادرات متشکل است از صادرات نفتی و غیرنفتی. صادرات غیرنفتی تابعی از ظرفیت سرمایه اقتصادی فرض شده است. در صورتی که مخارج سرمایه گذاری دولتی بر درآمدهای مالیاتی پیشی گیرد، کسری بودجه دولت از طریق کاهش ذخیره ارزی (یا افزایش بدهیها و تعهدات خارجی) تأمین می‌شود. هنگامی که مخارج دولتی کمتر از درآمدهای مالیاتی است، پس‌انداز بخش عمومی به صورت مازاد تراز پرداختها به ذخیره داراییهای خارجی نظام اقتصادی اضافه می‌شود (یا از حجم بدهیهای خارجی می‌کاهد). روابط نظام اقتصادی ساده فوق را در دوایر علت و معلولی زیر می‌توان نشان داد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۱. نمودار علت و معلولی نظام اقتصادی مفروض

با توجه به سادگی و کلی بودن مدل برای مشخص کردن معادله‌ها و پارامترهای آن، توضیحات مختصری در زیر می‌آید. سطح سرمایه در هر دوره، عبارت است از سطح سرمایه در دوره قبل به اضافه سرمایه‌گذاری دوره جاری. برای سادگی، از استهلاک سرمایه صرف نظر شده است. سرمایه‌گذاری کل حاصل جمع سرمایه‌گذاری بخش خصوصی و بخش عمومی است. سرمایه‌گذاری بخش خصوصی تابعی از پس‌انداز خصوصی و درآمدهای صادرات غیرنفتی است. محصول ناخالص داخلی طبق یک تابع تولید ساده تابعی از ظرفیت سرمایه است. فرض می‌شود تابع تولید دارای شرایط بازدهی ثابت به مقیاس باشد. معادله تولید داخلی به شکل زیر است که در آن $\theta\ \mathrm{Cap}^{\alpha}_{t}$ ظرفیت سرمایه‌ای است.

$$\mathrm{Gdp}_t = \theta\ \mathrm{Cap}^{\alpha}_{t} \qquad (۱۱)$$

با فرض α=۱ (ضریب کشش عامل سرمایه در تولید) بازدهی ثابت به مقیاس خواهیم داشت. در این صورت، تولید تابعی از میزان سرمایه در هر دوره و ضریب تکنولوژی θ است که معمولاً ثابت فرض می‌شود. از مشتق کلی تابع تولید فوق نسبت ستانده به سرمایه به دست می‌آید که در این حالت، برابر ضریب تکنولوژی است:

$$\frac{\mathrm{d}(\mathrm{Gdp}_t)}{\mathrm{d}(\mathrm{Cap}_t)} = \theta = \mathrm{Icor} \qquad (۱۲)$$

در مطالعات مختلف (۱۶) و (۲۳) نسبت Icor برای اقتصاد ایران ۳۰ تا ۳۵ درصد برآورد شده است. ما در اینجا این نسبت را ۳۰ درصد در نظر می‌گیریم.

بازدهی داراییهای خارجی کشور در مدل نیز ازطریق یک تابع تولید ساده با بازدهی ثابت به مقیاس به دست می‌آید.

$$\mathrm{Fe}_t = \gamma.\ \mathrm{Far}^{\beta}_{t} \qquad (۱۳)$$

در رابطهٔ (۱۳)، Fe_t جریان درآمد داراییهای ارزی و Far ذخیره ارزی (یا بدهیهای خارجی) کشور است. با فرض β=۱ بازدهی ثابت به مقیاس برای حجم داراییهای خارجی نظام اقتصادی وجود خواهد داشت. بازدهی نهایی یک واحد پولی سرمایه (یا استقراض) در خارج از نظام

اقتصادی در مدل معادل نرخ بهره بین‌المللی Ir در نظر گرفته شده است که فرض می‌کنیم Ir= ۰/۱۰.

$$\frac{d(Fe_t)}{d(Far_t)} = \gamma = Ir \qquad (۱۴)$$

درآمد ملی Ni_t حاصل جمع عواید (یا هزینه) داراییهای (یا بدهیهای) خارجی و ارزش محصول ناخالص داخلی است. درآمد ملی، از سوی دیگر، صرف مالیات Tax_t یا ازطریق درآمد صرف مصرف C_t و پس‌انداز خصوصی PS_t می‌شود. ضریب میل نهایی به پس‌انداز بخش خصوصی ثابت و معادل ۱۰ درصد درآمد قابل تصرف فرض شده است. موازنه ترازپرداختهای خارجی Bop_t حاصل جمع جبری درآمد نفتی or_t، صادرات غیرنفتی X_t، واردات M_t و کسری بودجه دولت Gd_t است. بنابراین، فرض شده است که دولت همواره می‌تواند کسری بودجه خود را ازطریق کاهش داراییهای خارجی یا استقراض از خارج تأمین کرده و نیز مازاد بودجه خود را به صورت ذخیره ارزی نگهداری یا سرمایه‌گذاری کند. از آنجاکه مخارج دولت در مدل تنها شامل مخارج سرمایه‌گذاری است، بنابراین، هزینه فرصت یک واحد سرمایه‌گذاری در خارج، برابر است با از دست دادن بازدهی یک واحد سرمایه‌گذاری در داخل و برعکس. در وضعیت عادی، تخصیص بهینه منابع ایجاب می‌کند که سرمایه‌گذاری داخلی تا نقطه‌ای صورت گیرد که حاصلضرب نسبت ستانده به سرمایه در میل نهایی به پس انداز در آن دوره با هزینه استقراض یا نرخ بهره برابر باشد (۱۶)، به بیان دیگر:

$$mps \times \frac{d(Gdp_t)}{d(Cap_t)} = \frac{d(Fe_t)}{d(Far_t)} = Ir \qquad (۱۵)$$

که در آن، mps عبارت است از میل نهایی به پس‌انداز و Ir نرخ بهره در بازار بین‌المللی سرمایه است.

واردات در مدل تابعی از درآمد ملی است و مقدار آن با میل نهایی به واردات تعیین می‌شود. این ضریب در مدل ۰/۳۵ فرض شده است. صادرات غیرنفتی تابعی از حجم سرمایه موجود است. با توجه به حجم صادرات غیرنفتی نسبت به درآمد ملی و حجم مبادلات تجاری، فرض اینکه کشور بتواند صادرات غیرنفتی خود را در قیمتهای بین‌المللی به نسبت افزایش ظرفیت سرمایه‌ای خود

افزایش دهد،غیرمنطقی نیست. صادرات نفت متغیربیرونی در مدل است و فرض می‌شود جریان درآمدی حاصل از آن در مدل پیش بینی شده است. با توجه به توضیحات بالا و روابط علت و معلولی در شکل ۱، نمودار جریان سطح -متغیر مدل به صورت زیر است:

شکل ۲.نمودار جریان مدل

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی

توجه به شکل ۲، نشان می‌دهد که در مدل ساده مورد بحث دو متغیر سطح، دو متغیر نرخ، دو متغیر سیاستگذاری و یک متغیربیرونی وجود دارد. برای تنظیم معادله‌های نرخ مدل در شکل سطح -متغیر ازطریق جایگزینی معادله‌های نرخ را برحسب متغیرهای سطح، متغیرهای کنترل یا سیاستگذاری و متغیر مستقل بیرونی به دست می‌آوریم. در حالت نهایی، دو معادله نرخ زیر را داریم:

$$I_t = Gi_t + Pi_t + Pei_t \qquad (۱۶)$$

: :

$$I_t = Gi_t - mps \times Tax_t + (mps \times Icor) \times Cap_t + (mps \times ir \times (۱ - eir) + eir) \times Far_t$$

$$Bop_t = Gd_t + or_t + (X_t - M_t) \qquad (۱۷)$$

: :

$$Bop_t = Tax_t = Gi_t + or_t + (exp - mpi \times Icor) \cdot Cap_t - (mpi \times ir) \cdot Far_t$$

معادله‌های نرخ (۱۶) و (۱۷) راکه به صورت تابعی از متغیرهای سطح و متغیرهای کنترل و متغیر مستقل بیرونی مدل به دست آمده است، می‌توان به شکل ماتریسی نوشت. متغیر سرمایه‌گذاری کل نرخ تغییرات متغیر سطح ظرفیت سرمایه و متغیر نرخ موازنه تراز پرداختها تغییرات متغیر سطح ذخیره داراییهای خارجی است. بنابراین، معادله‌های فوق، در واقع، معادله‌های دیفرانسیل از درجه ۱ هستند.

$$\begin{matrix} Far & Bop_t & -۰/۰۳۵ & -۰/۰۸۵ & Far_t & -۱ & ۱ & Gl_t & 1 \\ & & & & & & & & or_t \\ Cap & I_t & ۰/۱۰۹ & ۰/۰۳ & Cap_t & ۱ & -۰/۱ & Tax_t & ۰ \end{matrix} \qquad (۱۸)$$

اگرماتریسهای ضریبهای مدل ۱۸ را، به‌ترتیب A ، B و Cبخوانیم و بردار متغیرهای سطح را با X ، بردار متغیرهای کنترل را با U و متغیرهای بیرونی مستقل را با Z نشان دهیم، مدل (۱۸) به صورت زیر درمی‌آید که در واقع، به همان شکل کلی دستگاه معادله‌های دیفرانسیل مسئله (۵) است.

$$X = AX_t + BU_t + CZ_t \qquad (۵)$$

پیش از پرداختن به تابع هدف مدل، ویژگی مهم ثبات الگوی اقتصادی را مورد توجه قرار می‌دهیم. در واقع، اگر یک مدل اقتصادی فاقد ثبات بوده و کنترل پذیر نباشد، انعکاس غیرواقعی

از نظام اقتصادی در دنیای واقعی بوده و طرح هرگونه سیاست اقتصادی بر مبنای آن بی‌معنا خواهد بود. ثبات یک دستگاه پویا، نظیر (۱۸) با ماتریس ضریبهای ثابت به مفهوم آن است که با حل دستگاه معادله‌های دیفرانسیل دستگاه با تغییر زمانی به سمت مقادیر نامحدود میل نکند، بلکه به مرور زمان، به سمت مقادیر تعادلی دستگاه گرایش یابد. یک دستگاه، معادله‌های دیفرانسیل مثل (۱۸) با ثبات است، هرگاه مقادیر ویژه ماتریس ضریبهای متغیرهای وابسته آن (ماتریس A در دستگاه معادله‌های ۵) منفی باشد (نگاه کنید به منابع، شماره‌های ۹ و ۱۵). علاوه بر آن شرط لازم برای ثبات دستگاه (۱۸) با استفاده از ماتریس (A) چنین است (۹).

$$\text{tr}(A) < 0 \qquad (۱۹)$$

$|A| > 0$ اگر n زوج باشد

$|A| < 0$ اگر n فرد باشد

که در آن، tr (A) ردماتریس و |A| دترمینان آن است. با استفاده از ماتریس ضریبهای (۱۸) داریم:

$$\text{tr}(A) = \text{tr}\begin{matrix} ۰/۰۳۵ & -۰/۰۸۵ \\ ۰/۱۰۹ & ۰/۰۳ \end{matrix} = \Sigma a_{ii} = -۰/۰۳۵ + ۰/۰۳۵ = -۰/۰۰۵ < 0$$

$$\text{Det}(A) = (-۰/۳۵)(۰/۰۳)-(-۰/۰۸۵)(۰/۱۰۹) = ۰/۰۰۸۲۱۵ > 0$$

که نشان می‌دهد شرط لازم برای باثبات بودن مدل وجود دارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۳. تابع هدف مدل

توابع هدف جایگزینی برای این نظام اقتصادی مفروض می‌توان تصور کرد. یک تابع هدف می‌تواند حداکثر کردن ذخیره سرمایه‌های نظام اقتصادی پیش از پایان یافتن منابع نفتی باشد تا

جریان درآمدی جایگزین برای کشور پس از پایان ذخایر نفتی ایجاد کند (نگاه کنید به منبع شماره ۱۶). ما در اینجا تابع هدف کلی تری را بدون در نظرگرفتن عمر منابع نفتی کشور در نظر می‌گیریم.

فرض کنیم دولت یک برنامه توسعه اقتصادی تدوین کرده است که در آن میزان مطلوب سرمایه در سالهای آینده به تبع برنامه رشد محصول ناخالص داخلی معین شده است. برای مثال، براساس یک نرخ رشد ۷ درصد تولید طی سالهای برنامه و تابع تولید برآورد شده میزان سرمایه لازم برای تولید و سرمایه گذاریهای دولتی برای تشکیل سرمایه مشخص شده است. منطقی است اگر فرض کنیم که مدیریت اقتصادی مایل است انحراف میزان سرمایه گذاری دولتی و سطح ظرفیت سرمایه در هر سال برنامه را با مقداربرنامه‌ریزی شده این متغیرها به حداقل برساند. همین موضوع در مورد متغیر دیگر نظام اقتصادی مفروض (۱۸) ، یعنی ذخایر ارزی و متغیر کنترل مالیاتها صدق می‌کند. یعنی سیاستگذار اقتصادی می‌کوشد که انحراف مقادیر این متغیرها را از مقادیر اعلام شده در برنامه به حداقل ممکن برساند.

با توجه به توضیحات گذشته در مورد توابع هدف از درجه ۲ در مدلهای اقتصادی بهینه سازی پویا و اینکه شاخص عملکرد کلی سیاست اقتصادی دولت را مشروط به مدل اقتصادی به خوبی می توان ازطریق چنین تابع هدفی نشان داد، ما در اینجا تابع هدف درجه دومی رادرنظر می‌گیریم که سیاستگذار اقتصادی مایل است مجذور انحراف مقادیر متغیرهای سطح یا هدف و نیز مجذور انحراف مقادیر متغیرهای کنترل یا سیاستگذاری از مقادیر برنامه‌ریزی شده آنها را براساس اولویتهایی که برای هدفهای خود قایل است به حداقل برساند. بنابراین، تابع هدف مدل به صورت زیر است:

$$\text{Min } J(.) = \Sigma \; [(X'QX) + (U'RU)] \qquad (۲۰)$$

که در آن، X و U بردارهای متغیرهای سطح و کنترل مدل هستند.

$$X' = \begin{matrix} Cap_t - Cap_t \\ Far_t - Far_t \end{matrix}' \quad \text{و} \quad U' = \begin{matrix} Gi_t - Gi \\ Tax_t - Tax_t \end{matrix}'$$

R و Q ماتریسهای وزن‌گذاری هستند.

$$R=\begin{matrix} r_{11} & r_{12} \\ r_{21} & r_{22} \end{matrix} \quad \text{و} \quad Q=\begin{matrix} q_{11} & q_{12} \\ q_{21} & q_{22} \end{matrix}$$

در بردارهای X و U متغیرهای Cap و Far، به ترتیب، نشاندهنده مقادیربرنامه‌ریزی شده متغیرهای هدف ظرفیت و ذخیره ارزی و متغیرهای Tax و Giنیز مقادیربرنامه‌ریزی شده مالیات و متغیر سیاست مخارج سرمایه گذاری دولتی است.

۴. اجرای مدل

۴-۱. حل مسئله در عمل

حل مسئله کنترل بهینه از طریق روش توضیح داده شده در معادله‌های (۷) تا (۱۰)، مستلزم عملیات جبری فوق‌العاده زیادی است که با افزایش تعداد متغیرهای سطح و کنترل مسئله به طور تقریباً غیرقابل کنترلی افزایش می‌یابد. به همین دلیل، در اینجا روشی به کارگرفته شده است که توسط چو(۷) و نیز پیندیک (۱۸) برای کاربرد نظر کنترل بهینه در مدلهایی با مشخصات مدل (۵) طرح و استفاده شده است. در این روش، با فرض رابطهٔ خطی زیر بین بردار الحاقی λو متغیرهای سطح دستگاه

$$\lambda^*_t = K_t X^*_t + g_t \qquad (۲۱)$$

و از طریق جایگزینی رابطهٔ (۲۱) در رابطه (۱۰) یا $u^*_t = -R^{-1}B\lambda^*_{t+1}+u_t$ و عملیات جبری لازم (نگاه کنید به منبع شماره ۱۸) دو رابطه برای g_t و K_t برحسب ماتریسهای ضریبهای Q, C,B,A و R و نیز مقادیر نهایی‌برنامه‌ریزی شده برای متغیرهای سطح و کنترل یعنی X_t و U_t به دست می‌آید. با توجه به معلوم بودن این مقادیر باجایگزینی معادله‌های g_t و K_t در معادلهٔ (۲۱) مقدار عددی برای عناصر بردار الحاقی λ^*_t به دست می‌آید. باجایگزینی مقادیر λ^*_t(مقادیر بهینه متغیرهای الحاقی) در رابطهٔ (۱۰) معادله‌ای برای متغیرهای کنترل برحسب متغیر سطح و مقدار برنامه‌ریزی شده متغیر کنترل و ماتریسهای ضریبهای یاد شده به دست می‌آید. برای مسئله

بهینه‌سازی (۵) ما پس از عملیات جبری لازم معادله زیر را بـرای مـتغیرهای کـنترل بـه دست می‌آوریم.

$$U^*_t = -(R+B'K_{t+1}B)^{-1}B'K_{t+1}.(I+A)X^*_t+(R+B'K_{t+1}B)^{-1}B'K_{t+1}BR^{-1}B'g_{t+1} \quad (۲۲)$$
$$-R^{-1}B'g_{t+1}-(R+B'KB)^{-1}B'K_{t+1}.(BU_t+CZ_t)+U_t$$

یادآوری این نکته ضروری است که برای به دست‌آوردن ماتریسهای K_t و بردارهای g_t، لازم است مقادیر این معادله‌ها به‌طریق معکوس از نظر زمانی، یعنی از زمان پایانی برنامه‌ریزی $t=T$ به سوی ابتدای دوره برنامه‌ریزی $t=۰$ محاسبه شوند (نگاه کنید به منابع، شماره‌های ۷ و ۱۸). حال پس از یافتن معادله متغیرهای نرخ (بردار U در معادله ۲۲) مقادیر بهینه این متغیرها و سپس مسیر بهینه متغیرهای سطح دستگاه به دست می‌آید. بدین طریق که با استفاده از مقادیر اولیه متغیرهای سطح (بردار $X_۰ = \xi$ شرایط کرانه‌ای در معادله ۹-۱) مقدار $U_۱$ برای فاصله زمانی $t_۰ - t_۱$ به دست می‌آید. سپس مقدار $X^*_۱$ براساس رابطه $X_t=X_{t-۱}+U^*_t+CZ_t$ (۷) یـعنی مـعادله X^*_t و U^*_t محاسبه می‌شود. آنگاه مقدار $U^*_۲$ برای فاصله زمانی $t_۱ - t_۲$ محاسبه شده مقدار $X^*_۲$ را مشخص می‌کند، و به همین ترتیب، مقادیر بهینه X^*_t برای $t = ۱,۲,...,T$ به دست می‌آید.

توجه به شکل معادله (۲۲) معلوم می‌کند که مقدار بهینه متغیرهای کنترل یعنی U^*_t و در مسئله ما مقادیر بهینه مخارج سرمایه‌گذاری دولتی و مالیاتها کاملاً به کمیت عناصر ماتریس R یا ماتریس وزن‌گذاری برانحراف از مقادیر متغیرهای کنترل از مقادیر برنامه‌ریزی شده آنها حسـاس است. هرچه عناصر R مقدار بزرگتری داشته باشد، مقدار بهنیه متغیر کنترل به مقدار برنامه‌ریزی شده آن نزدیکتر خواهد شد، زیرا عبارتهای ماقبل آخر معادله (۲۲) کوچکتر شده، در نتیجه، U^* به سمت U میل می‌کند. مقدار عددی U^*_t در معادله (۲۲) به مقادیر ماتریسهای قطری Q نیز حساس است، زیرا مقادیر بردار $g_۱$ و ماتریس $K_۱$ تابعی از مقادیر ماتریسهای Q هستند.

۴-۲. نتایج آزمایش مدل

۴-۲-۱.مقادیر اسمی‌یابرنامه‌ریزی‌شده متغیرهای هدف،متغیرهای سیاستگذاری و متغیربیرونی در مدل

فرض کنیم که از جمله هدفهای برنامه توسعه اقتصادی، دستیابی به رشد متوسط ۷ درصد در محصول ناخالص داخلی است . از آنجاکه تابع مفروض ما در مدل یک تابع همگن از درجه یک بود برای ۷ درصد رشد تولید لازم است ذخیره سرمایه نیز به‌طور متوسط ۷ درصد در سال افزایش یابد. با فرض معلوم بودن ظرفیت سرمایه در سال آغاز برنامه، مقادیر برنامه‌ریزی شده برای ظرفیت سرمایه در طول برنامه توسعه به دست می آید. در مورد متغیر دیگر سطح در مدل، یعنی داراییهای ارزی، فرض می‌کنیم که سیاستگذار اقتصادی مایل است در طول برنامه همواره خالص میزان ذخایر ارزی کشور مثبت و دست‌کم معادل ۲/۵ واحد حفظ شود. به همان ترتیب، می توان برای متغیرهای کنترل مقادیر اسمی در نظر گرفت. فرض کنیم که در سازگاری با افزایش ظرفیت سرمایه‌ای و درآمد ملی که ۷ درصد رشد سالانه برای آن منظور شده بود، دولت ۷ درصد رشد سالانه برای مخارج سرمایه گذاری خود در برنامه پیش‌بینی کند. با معلوم بودن حجم سرمایه گذاری دولت در شروع برنامه حجم سرمایه گذاری دولت در هر سال برنامه معلوم می‌شود. همچنین فرض کنیم که دولت سیاست ثابتی مبنی بر اخذ ۱۰ درصد درآمد ملی در هرسال برنامه را به عنوان سیاست مالیاتی خود اعلام کرده باشد. با پیش‌بینی درآمد ملی در سالهای برنامه، مقدار اسمی متغیر مالیات در هر سال به دست می آید. مقدار متغیر مستقل بیرونی مدل (درآمد نفت) نیز به فرض برای سالهای برنامه برآورد شده است. حال براساس این فرضها، جدول تغییرات مقدار برنامه‌ریزی شده متغیرهای سطح و کنترل به شرح جدول ۱ خواهد بود.

توجه داشته باشید که لزومی ندارد مقادیر اسمی متغیرهای هدف (X_t در مدل) و متغیرهای کنترل (U_t) به طور همزمان در مدل (۵) صدق کند. به بیان دیگر، مقادیر اسمی متغیرهای هدف می توانند به طور مستقل انتخاب شوند وضرورتی ندارد که از جایگزینی مقادیر اسمی متغیرهای کنترل در مدل به دست آمده باشند.

جدول ۱.مقادیر اسمی یا برنامه‌ریزی شده متغیرهای مدل

متغیربیرونی	متغیرهای سیاست		متغیرهای هدف		
درآمدنفت	مالیات	مخارج سرمایه گذاری دولت	دارییهای ارزی	ظرفیت سرمایه	سال برنامه
۲۰	۱۵	۱۵	۲/۵	۵۰۰	۱
۲۰	۱۶/۱	۱۶	۲/۵	۵۳۵	۲
۲۰	۱۷/۲	۱۷/۲	۲/۵	۵۷۲/۵	۳
۲۰	۱۸/۴	۱۸/۴	۲/۵	۶۱۲/۵	۴
۲۰	۱۹/۷	۱۹/۷	۲/۵	۶۵۵/۴	۵
۲۰	۲۱/۱	۲۱	۲/۵	۷۰۱/۳	۶
۲۰	۲۲/۵	۲۲/۵	۲/۵	۷۵۰/۴	۷
۲۰	۲۴/۱	۲۴/۱	۲/۵	۸۰۲/۹	۸
۲۰	۲۵/۸	۲۵/۸	۲/۵	۸۵۹	۹
۲۰	۲۷/۶	۲۷/۶	۲/۵	۹۱۹	۱۰

۴-۲-۲. سیاستهای بهینه رشد اقتصادی

در هریک از آزمایشهای زیر، یک جواب عددی برای سیاست بهینه با استفاده از یک تابع هدف مشخص به دست آمده است. در هر مورد تابعی هزینه‌ماتریسهای Q و R به‌نحوی انتخاب شده‌اند که جنبه‌های مختلف جواب بهینه و ویژگیهای پویایی مدل را نشان دهند. نتایج با استفاده از شبیه‌سازی کامپیوتری مدل در شکلهای مربوط نشان داده شده‌اند، و بنابراین، به آسانی می‌توان خصوصیات پاسخ بهینه را مشاهده کرد.

آزمایش اول

در آزمایش اول، اهمیت نسبی متغیرهای هدف وکنترل را یکسان در نظر می‌گیریم. به بیان دیگر، فرض می‌کنیم از نظر سیاستگذار اقتصادی دستیابی به هدف تعیین شده برای ظرفیت سرمایه‌ای به همان اندازه مهم است که حفظ ذخیره داراییهای ارزی در سطح تعیین شده در برنامه. همچنین هزینه نسبی تغییرات سیاستهای مالیاتی و مخارج سرمایه گذاری دولتی به یک اندازه است. توجه به این نکته اهمیت دارد که جریمه‌های[1] انحراف متغیرها در تابع هدف برحسب تغییرات مقادیر این

1. Penalties

متغیرها از مقادیر اسمی یابرنامه‌ریزی شده آنهاست و با توجه به مقیاسهای متفاوت متغیرها برای آنکه تأثیر انحراف یک واحد از متغیرها با یکدیگر قابل مقایسه شود، لازم است ضریبهای این متغیرها به مقیاس متناسبی با هم تبدیل شوند. جدول ضریبهای تابع هدف برای آزمایش پایه، به‌شرح زیر است.

جدول ۲. وزن متغیرهای سطح وکنترل در تابع هزینه آزمایش اول

ماتریس	متغیر	ضریب در تابع هزینه	وزن نسبی
Q	Far	۳۰۰	۱:۱
	Cap	۱	
R	Gi	۴۰	۱:۱
	Tax	۴۰	

نتایج آزمایش پایه در شکلهای زیر نشان داده شده‌اند (شکلهای ۳-۱، ۳-۲ و ۳-۳). متغیر سطح ظرفیت سرمایه‌ای از حدود ۵۰۰ واحد در ابتدای برنامه به حدود ۷۵۰ واحد در پایان برنامه می‌رسد که نرخ رشد متوسط سالانه‌ای معادل ۴/۱ درصد را نشان می‌دهد که پایین‌تر از نرخ رشد تعیین شده برای این متغیر در برنامه است. رشد کم ظرفیت سرمایه‌ای ناشی از عدم کفایت سرمایه‌گذاری است. دلیل رشد کمتر از برنامه سرمایه‌گذاری دولتی در مدل با توجه به شکل ۳ روشنتر می‌شود. از آنجاکه موازنه تراز پرداختهای جاری منفی است، در نتیجه، به‌رغم بالاتر بودن مقدار مالیات نسبت به مخارج دولتی، مازاد بودجهٔ دولت نمی‌تواند خالص منفی صادرات و واردات را جبران کند، بنابراین، متغیر سطح داراییهای ارزی پایین می‌رود. به همین دلیل، سرمایه‌گذاری دولتی برای کنترل کاهش ذخایر ارزی در سطحی کمتر از مقداربرنامه‌ریزی‌شده قرار می‌گیرد. با افزایش حجم بدهیهای خارجی، سطح بهینه متغیر کنترل مالیات افزایش و به‌طور همزمان متغیر کنترل سرمایه‌گذاری دولتی کاهش می‌یابد تا کاهش بیشتر متغیر هدف داراییهای ارزی راکنترل و از افزایش فاصله آن درمسیربرنامه‌ریزی شده جلوگیری کنند. در نتیجه، در اواسط دوره‌برنامه‌ریزی، موازنه پرداختها مثبت شده و بدهیهای خارجی کاهش می‌یابد. در اواخر دوره برنامه، باکاهش چشمگیر بدهیهای خارجی، بار دیگر مسیر بهینه سرمایه‌گذاری دولتی صعودی شده و مسیر مالیاتها حالت نزولی پیدا می‌کند تا امکان سرمایه‌گذاری بیشتر و رشد ظرفیت سرمایه‌ای فراهم شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۳. آزمایش اول - تابع هزینه (Lj) و مسیر تغییرات اسمی و بهینه متغیرهای سطح و کنترل با شرایط ضریب اهمیت یکسان

از نتایج این آزمایش استنباط می‌شود که در مدل اقتصادی مفروض، محدودیتهای نظام اقتصادی به نحوی است که امکان رشد اقتصادی در حد نرخ تعیین شده بدون استفاده از منابع خارجی وجود ندارد. از شکلهای مزبور همچنین مشخص می‌شود که تغییر کنترل مالیات بیشتر از متغیر سیاست مخارج دولتی به کارگرفته شده است. معمولاً تغییر سیاست مالیاتی مشکلتر از تعدیل مخارج سرمایه گذاری دولتی است. ما در آزمایش سوم، نتیجه افزایش ضریب هزینه انحراف متغیر سیاست مالیات از مسیر برنامه‌ریزی شدهٔ آن را مورد توجه قرار می‌دهیم.

آزمایش دوم

در این آزمایش، هزینه انحراف متغیر سطح ظرفیت سرمایه‌ای از مقدار تعیین شده را ۵۰ برابر بالا می‌بریم. ضریبهای متغیرهای دیگر در تابع هدف به همان شکل قبل باقی می‌ماند. ضریبهای متغیرها در تابع هدف در جدول ۳ داده شده است.

جدول ۳. ضریبهای متغیرهای سطح وکنترل در آزمایش دوم

وزن نسبی	ضریب در تابع هدف	متغیر	ماتریس ضریبها
۱:۵۰	۳۰۰ ۵۰	Far Cap	Q
۱:۱	۴۰ ۴۰	Gi Tax	R

نتایج اجرای این آزمایش در شکلهای ۴-۱، ۴-۲ و ۴-۳ آمده است. همان‌طور که می‌بینید، متغیر سطح ظرفیت سرمایه‌ای تا اواخر دورهٔ برنامه‌ریزی تقریباً منطبق بر مقدار برنامه‌ریزی شده تغییر می‌کند و نرخ رشد معادل ۶/۶ درصد در سال نشان می‌دهد که نزدیک به ۷ درصد برنامه‌ریزی شده است. مسیر بهینه مخارج سرمایه گذاری دولتی در این آزمایش برخلاف آزمایش اول در اواخر دوره برنامه، بالاتر از سطح تعیین شده قرار دارد که این امر به دلیل افزایش ضریب اهمیت ظرفیت سرمایه‌ای است. از ابتدای دوره، به سبب رشد سریع سرمایه و تولید و افزایش واردات مورد نیاز، موازنه پرداختها کاهش می‌یابد. ولی از آنجا که سطح مالیات بهینه نسبت به مخارج سرمایه گذاری دولتی بالاتر است تا اواسط دوره مورد مطالعه ذخیره داراییهای خارجی تا حدودی افزایش می‌یابد، ولی پس از آن، با توجه به افزایش سریع واردات، موازنه پرداختها منفی شده و ذخیره داراییهای خارجی نیز رو به کاهش می‌گذارد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۴. آزمایش دوم - تابع هزینه و مسیر تغییرات اسمی و بهینه متغیرهای سطح و کنترل: افزایش ضریب متغیر سرمایه (Cap) از ۱ به ۵۰

نتیجه این آزمایش با آزمایش اول از نظر رشد ظرفیت تولید قابل توجه است. حتی سطح داراییهای ارزی در این آزمایش نسبت به آزمایش قبلی بهتر است. با این حال، در این آزمایش، مالیاتها و مخارج دولتی به طور همزمان به بالاتر از مقادیر برنامه‌ریزی شده افزایش می‌یابند. در اواخر دوره مورد مطالعه، با توجه به افزایش بدهیهای خارجی در مدل، مخارج سرمایه‌گذاری و نیز مالیاتها کاهش می‌یابند و موازنه پرداختها تا حدودی بهبود می‌یابد. در نتیجه، نرخ رشد ظرفیت سرمایه‌ای نیز تا حدودی کندتر می‌شود. این فرایند به خوبی به موازنه متقابلی که بین هدفهای رقیب در تخصیص منابع محدود به آنها وجود دارد، اشاره می‌کند. همچنین اهمیت داشتن درک روشن و صریحی از هزینه‌های متقابل اتخاذ سیاستهای جایگزین اقتصادی مشخص می‌شود. در این آزمایش، مسیر بهینه مالیاتها به حدود سه برابر تعیین شده در برنامه برای مالیات افزایش یافت. این رفتار مدل به دلیل الصاق هزینه کمتر به متغیر کنترل مالیات در تابع هدف نسبت به متغیر سطح ظرفیت سرمایه‌ای بود. در عمل، تغییر سیاستهای مالیاتی، دشوارتر از تعدیل مخارج دولتی است. در آزمایش سوم، ما ضریب متغیر سیاست مالیات را نیز ۵۰ برابر نسبت به آزمایش اول افزایش می‌دهیم.

آزمایش سوم

با افزایش ضریب متغیر سطح ظرفیت سرمایه‌ای و متغیر سیاست مالیات با ضریب ۵۰ نسبت به آزمایش پایه جدول ضریبهای تابع هدف به شکل زیر است.

جدول ۴. ضریبهای متغیرهای سطح و کنترل در تابع هدف در آزمایش سوم

ماتریس ضریبها	متغیر در تابع هدف	وزن متغیر در تابع هدف	وزن نسبی
Q	Far	۳۰۰	۱:۵۰
	Cap	۵۰	
R	Gi	۴۰	۱:۵۰
	Tax	۲۰۰۰	

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۵. آزمایش سوم - تابع هزینه و مسیر تغییرات اسمی و بهینه متغیرهای سطح و کنترل درمدل: افزایش ضریب متغیر سطح سرمایه و متغیر سیاست مالیات با ضریب ۵۰ نسبت به آزمایش پایه

نتیجه اجرای مدل با این تابع هدف در شکلهای ۵-۱، ۵-۲ و ۵-۳ آمده است. همان طور که انتظار داشتیم، با افزایش ضریب جریمه، انحراف متغیر سیاست مالیات از مسیر تعیین شده فاصله کمتری داشته، و به تدریج به آن میل می‌کند. در ابتدای دوره، میزان داراییهای خارجی مثبت است، بنابراین، با توجه به انعطاف پذیری کمتر متغیر کنترل مالیات مقدار بهینه متغیر کنترل سرمایه گذاری دولتی افزایش می‌یابد. به هر حال، پس از کاهش ذخیره داراییهای خارجی به سبب رشد سریعتر واردات نسبت به صادرات، از آنجا که مقدار مالیاتها نمی‌تواند افزایش زیادی پیدا کند، مقدار سرمایه گذاری دولتی کاهش می‌یابد تا کاهش ذخایر ارزی را کنترل کند. با توجه به رشد واردات ناشی از رشد ظرفیت تولید و درآمد ملی موازنه پرداختها منفی بوده و رشد ظرفیت تولید از طریق انباشت دیون خارجی صورت می‌گیرد.

مقایسه نتایج این آزمایش با آزمایش پایه نشان می‌دهد که افزایش ضریب متغیر سیاست مالیاتی در تابع هدف، موجب کاهش انعطاف پذیری متغیر کنترل سیاست در مدل شده، در نتیجه، افزایش مقدار مالیات نسبت به آزمایشهای قبلی کمتر است. این امر، موجب کاهش کنترل بر متغیر سطح داراییهای ارزی شده و رشد اقتصادی همراه با افزایش بدهیهای خارجی است. با توجه به نامطلوب بودن افزایش بدهیهای خارجی، در آزمایش بعدی ضریب هزینه انحراف متغیر سطح داراییهای ارزی از مسیر برنامه‌ریزی شده برای آن را نسبت به آزمایش اول افزایش می‌دهیم.

آزمایش چهارم

در این آزمایش، ضریب جریمه انحراف متغیر هدف داراییهای خارجی را از مقدار برنامه‌ریزی شده آن با ضریب ۵ افزایش و ضریب متغیر سطح ظرفیت سرمایه‌ای را با ضریب ۱۰ کاهش می‌دهیم. همچنین ضریب متغیر کنترل مالیات را با ضریب ۵ کاهش و ضریب متغیر مخارج دولتی را از ۴۰ به ۴ تقلیل می‌دهیم. جدول ۵، ضریبهای تابع هدف را در این آزمایش نشان می‌دهد. شکلهای ۶-۱، ۶-۲ و ۶-۳، نتایج آزمایش چهارم را نشان می‌دهند. همان طور که می‌بینید، افزایش ضریب هزینهٔ متغیر سطح داراییهای خارجی در تابع هدف افزایش بدهیهای خارجی، و به‌طور کلی، انحراف این متغیر از مسیر تعیین شده آن را نسبت به آزمایش قبل محدودتر می‌کند، به‌طوری که در طول دوره برنامه، تغییرات متغیر سطح داراییهای خارجی حداکثر به ۲/۸ و حداقل به ۱/۶

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۶. آزمایش چهارم -مسیر تابع هزینه و متغیرهای سطح وکنترل مدل در حالت افزایش ضریب متغیرهای سطح و متغیر سیاست مالیات نسبت به متغیر سرمایه گذاری دولتی

درصد از مقایسه با ۲/۵ واحد مقداربرنامه‌ریزی شده آن محدود می‌شود. محدودیت تغییر منابع ارزی طبعاً حجم واردات را محدودکرده و برای کاستن از سرعت انباشت بدهیهای خارجی مسیر بهینه سرمایه‌گذاری دولتی حالت نزولی پیدا می‌کند. در نتیجه، انباشت سرمایه به کندی و تنها با تکیه بر سرمایه‌گذاری بخش خصوصی انجام می‌گیرد. رشد ظرفیت سرمایه‌ای در این آزمایش به‌طور متوسط ۳ درصد در سال است. در نتیجه، درآمد ملی رشد محدودی دارد.

جدول ۵. ضریبهای متغیرها در تابع هدف در آزمایش چهارم

وزن نسبی	ضریب در تابع هدف	متغیر	ماتریس ضریبها
۱:۱	۱۵۰۰	Far	Q
	۵	Cap	
۱:۱۰۰	۴	Gi	R
	۴۰۰	Tax	

ایـن آزمـایش، در واقـع، کـنترل دو مـتغیر سـطح تـوسط یک مـتغیر سـیاستگذاری، یـعنی سرمایه‌گذاری دولتی است. با توجه به الصاق هزینه بالاتر بر انحراف مسیر مالیات از مـالیات برنامه‌ریزی شده‌انعطاف پذیری این متغیر محدود شده، و در واقع، فقط متغیر سرمایه‌گذاری دولتی را برای کنترل رفتار متغیرهای هدف انتخاب کرده‌ایم. بنابراین، با توجه به این سیاست اقتصادی، متغیر سطح ذخیره داراییهای خارجی از مقداربرنامه‌ریزی شدهٔ آن فاصله زیادی پیدا نمی‌کند، ولی متقابلاً رشد ظرفیت سرمایه‌ای نیز محدود می‌شود.

آزمایش پنجم

برای مقایسه حالتی که‌متغیر مالیات‌انعطاف پذیر است، متقابلاً متغیر کنترل سرمایه‌گذاری دولتی با افزایش ضریب هزینه آن در تابع هدف انعطاف‌پذیری کمتری دارد. در ایـن آزمـایش، فـرض می‌کنیم که سیاستگذار اقتصادی مایل است کاملاً به برنامه اعلام شده در مخارج سرمایه‌گذاری نزدیک مانده، در عین حال، انعطاف بیشتری در سیاست مالیاتی به خرج دهد (برای مـثال، از

طریق معرفی سیاستهای جدید مالیاتی، از قبیل مالیات بر ارزش افزوده، یا سوخت و انرژی و جز اینها). بنابراین، در این آزمایش، با جایگزینی ضریب متغیر کنترل مالیات به متغیر سیاست سرمایه‌گذاری دولتی، در واقع، کنترل دو متغیر هدف مدل اقتصادی را به متغیر مالیات واگذار می‌کنیم.

جدول ۶. ضریبهای متغیرهای کنترل و سطح در تابع هدف در آزمایش پنجم

ماتریس ضریبها	متغیر	ضریب در تابع هدف	وزن نسبی
Q	Far	۱۵۰۰	۱:۱
	Cap	۵	
R	Gi	۴۰۰	۱۰۰:۱
	Tax	۴	

نتایج آزمایش در شکلهای ۷-۱، ۷-۲ و ۷-۳ آمده است. همان‌طور که انتظار داشتیم، با افزایش جریمه انحراف متغیر مخارج دولتی از مسیر برنامه‌ای آن، این متغیر کاملاً به مسیر برنامه‌ریزی شده خود نزدیک است. در نتیجه، رشد سرمایه‌گذاری کل و ظرفیت سرمایه‌ای نیز نسبت به آزمایش قبل بیشتر است. ظرفیت سرمایه‌ای با نرخ متوسطی حدود ۵/۶ درصد در سال رشد می‌کند. از آنجاکه به عدم کاهش ذخایر ارزی نیز به همان اندازهٔ رشد ظرفیت سرمایه‌ای تأکید شده بود، مسیر بهینه متغیر داراییهای خارجی نیز کم و بیش منطبق بر مسیر برنامه‌ریزی شدهٔ آن بوده، انحراف آن از مسیر اسمی، جزئی و قابل چشمپوشی است. متقابلاً ملاحظه می‌کنیم که برای حفظ موازنه پرداختها که علاوه بر تأمین مخارج سرمایه‌گذاری دولتی تفاوت واردات و صادرات غیرنفتی را نیز در بر می‌گیرد، متغیر کنترل مالیات افزایش زیادی می‌یابد و به‌طور متوسط، ۷/۲ درصد در سال رشد می‌کند. هرچند رشد سرمایه‌گذاریهای دولتی در این آزمایش نزدیک به برنامه پیش‌بینی شده برای این متغیر است، ولی با توجه به افزایش سریع مالیاتها، درآمد قابل تصرف، و در نتیجه، سرمایه‌گذاری بخش خصوصی از رشد کمتری برخوردار است و ظرفیت سرمایه‌ای کمتر از برنامه تنظیم شده افزایش می‌یابد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

شکل ۷. آزمایش پنجم -مسیر تابع هدف و مسیر بهینه متغیرهای سطح و کنترل در شرایط افزایش ضریب اهمیت متغیرهای هدف و متغیرکنترل سرمایه‌گذاری دولتی نسبت به متغیر مالیات

این آزمایش باآزمایش دوم از لحاظ رشد ظرفیت سرمایه‌ای در نظام اقتصادی قابل مقایسه است. در حالی که رشد بالای تولید درآزمایش دوم ازطریق تلفیقی از دریافتهای مالیاتی و کاهش ذخایر ارزی صورت گرفت در این آزمایش فشار اصلی برافزایش مالیاتها متمرکز بوده از افزایش بدهیهای خارجی جلوگیری می‌شود. نرخ رشد تولید درآزمایش دوم بالاتر ازآزمایش پنجم است (۶/۵ درصد در مقابل ۵/۶ درصد)، در حالی که افزایش مالیاتها در آن آزمایش کمتر است. علت نیز آن است که مخارج دولتی درآزمایش دوم انعطاف پذیرتر ازآزمایش پنجم است. در واقع، در حالی که درآزمایش دوم دو متغیر سیاستگذاری برای کنترل یک متغیر هدف در نظر گرفته شده بود، در این آزمایش، یک متغیر سیاستگذاری برای کنترل دو متغیر هدف وجود داشت. این رفتار مدل جنبه‌هایی ازبرتری کاربرد نظریه کنترل بهینه در مدلهای پویای اقتصاد کلان را در مقایسه با کاربرد نظریه سیاست اقتصادی تین برگن (۲۶) در مدلهای ایستا نشان می‌دهد.

۵. خلاصه و نتیجه گیری

در این مقاله، ضمن مروری برارتباط نظریه سیاست اقتصادی و نظریه کنترل بهینه یکی از روشهای کاربردی نظریه مزبور در یک مدل ساده دو بخشی مورد استفاده قرارگرفت. هدف از این مقاله، در واقع، بحث در باره هدفها و سیاستهای اقتصاد کلان در مواجهه با منابع محدود است. همان طور که تولیدکننده یا مصرف کننده برای حداقل کردن هزینهٔ سطح معینی از تولید یا حداکثرکردن مطلوبیت خود با توجه به خط بودجه خود تصمیمهایی را برحسب نسبت قیمت عوامل تولید، رحجانها و قیمت کالاهای مصرفی اتخاذ می‌کند، دولت نیز برای تحقق هدفهای اقتصادی ناگزیر از اتخاذ سیاستهای اقتصادی است. حال اگر منابع کافی برای نیل همزمان به هدفهای اقتصادی وجود نداشته باشد، ناگزیر باید هدفها را تعدیل کرد یا از بخشی از یک هدف به نفع هدف دیگر چشم پوشید.

در این مقاله، ارتباط متقابل هدفها و ابزار سیاست اقتصادی در یک مدل ساده مورد توجه قرارگرفت. نتایج مطالعه این نکته راروشن کرد که در هر نظام اقتصادی که با دستگاه معادله‌های دیفرانسیل (۱۸) نشان داده می‌شود، رفتار مدل کاملاً به‌ماتریس ضریبهای متغیرهای درونی مدل، از قبیل میل نهایی به پس‌انداز،میل نهایی به واردات، نسبت صادرات به سرمایه اقتصادی، نسبت ستانده به سرمایه و جز اینها بستگی دارد. هرچند در کوتاه‌مدت این پارامترها را می‌توان ثابت فرض کرد، ولی مسلماً در بلندمدت اکثر این ضریبها می‌تواند تغییر کند. بنابراین، می‌بینیم برای آنکه رشد اقتصادی در نظام مفروض نه تنها مستلزم افزایش بدهیهای خارجی نباشد، بلکه موجب افزایش داراییهای خارجی نظام اقتصادی شود، لازم است پارامترهای ساختاری اقتصاد، از قبیل میل نهایی به واردات، نسبت صادرات غیرنفتی به درآمد ملی، نسبت ستانده به سرمایه، نسبت سرمایه گذاری به درآمد ملی و جز اینها، تغییر کنند. نظریه اقتصادی و تجربه سایر کشورها نشان می‌دهد که چه سیاستهای اقتصادی و کدام محیط اقتصادی و اجتماعی برای تغییرات بنیانی اقتصاد از یک اقتصاد وابسته به کالاهای وارداتی و سرمایه خارجی به اقتصادی پویا و مبتکر ورقابت پذیر در سطح بین‌المللی لازم است. همه اینها به عظمت تلاشهای لازم برای تبدیل ایران به یک کشور صنعتی پیشرو اشاره می‌کنند؛ در حالی که با ورود کشورهای تازه صنعتی شده به بازارهای جهانی کشور با چالشهای بزرگتری در آینده مواجه خواهد بود.

سرانجام وجه تمایز روش به کار رفته در این نوشته در کاربرد نظریه کنترل بهینه در یک مدل ساده اقتصادی، استفاده از روش شبیه‌سازی دستگاه پویا است.(۵) روش مدلسازی مزبور که در واقع، شبیه‌سازی کامپیوتری مجموعه معادله‌های همزمان دیفرانسیل از طریق جایگزینی است، قبلاً در طرح مدلهای اقتصادی برای کشور به کار رفته است.(۶) کاربرد نظریه کنترل بهینه در این روش می‌تواند در بهینه‌سازی پویا از مدلهای اقتصادسنجی برای کشور مورد استفاده قرارگیرد.

مقادیر متغیرهای م-ل

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

آزمایش اول

آزمایش دوم

آزمایش سوم

آزمایش چهارم

آزمایش پنجم

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

یادداشتها

۱.کاربردنظریه کنترل بهینه در اقتصاد به دنبال مطالعات بلمن (۵) و اثر مهم ریاضیدان روسی، پونتریاگین (۲۰) در اوایل دهه ۱۹۶۰آغاز شد و تقریباً بلافاصله پس از انتشار اثر فیلیپ (۱۷)، مورد توجه کارشناسان اقتصاد کلان قرار گرفت. اهمیت کاربرد این نظریه در مدلهای اقتصادی با توجه به کارهای اقتصاددانهای برجسته‌ای از قبیل تین برگن (۲۶)، مید (۱۴) و تیل (۲۴)، در نظریه سیاست اقتصادی نمودار شده است. پژوهشهای جدید، موجب گسترش کاربرد این نظریه به مدلهای اقتصادی با خاصیت فرایندهای تصادفی [1] و نظریه انتظارات معقول [2] شده است (۱۱) و (۱۲).

۲. مدلهای کلان اقتصادی را می‌توان در حالت کلی به صورت معادلات تفاضلی با درجات مختلف بسته به تأخیرهای زمانی متغیرهای مدل نوشت. از آنجا که معادلات تفاضلی از درجات بالا می‌توانند به صورت دستگاه معادلات تفاضلی از درجه اول نوشته شوند، بنابراین مدلهای خطی (۱)، در واقع، حالت عمومی مدلهای کلان اقتصادی را نشان می‌دهد.

۳. به منابع (۷) و (۱۹) مراجعه شود.

۴.برای جزئیات روشهای برنامه‌ریزی پویا و اصل حداکثر، از جمله می‌توان به انتریلیگیتور و میلر (۱۳) و (۱۵) مراجعه کرد.

۵. مدلهای دستگاه پویا، نظیر مدلی که در این نوشته مورد بحث قرار گرفته، به زبان داینامو [3] نوشته می‌شوند. از آنجا که داینامو یک زبان کامپیوتری است که برای شبیه سازی رفتار سیستمهای پیوسته غیرخطی توصیف شده است، توسط مجموعهٔ معادلات همزمان دیفرانسیل از درجه اول مورد استفاده قرار می‌گیرد. بنابراین، می‌توان از آن برای طرح مدلهای دینامیک شبیه (۵) که مجموعه‌ای از معادلات دیفرانسیل است و کاربرد نظریه کنترل بهینه در این مدلها استفاده کرد. در اینجا از شکلی (Professional Dynamo Plus) از این برنامه کامپیوتری که مناسب کامپیوترهای شخصی است استفاده شده است.

۶. معادله کامپیوتری مدل نزد نویسنده موجود است، که در صورت لزوم می‌توانید به ایشان مراجعه نمایید.

1. Stochastic Process
2. Rational Expectations
3. Dynamo

منابع

1. Aoki, M.; and Canzoneri, M.B. (1979). Sufficient Condition for Control of Target Variables and assignment of instruments in dynamic macroeconomic models. *International Economic Review,* 20, 605-616.
2. Aoki, M. (1983). *Dynamic Analysis of Open Economies.* New York: Academic press.
3. Aoki, M. (1976). *Optimal Control and System Theory in Dynamic Analysis.* Amesterdam: North Holland.
4. Athans, M.; and Falb, P.L. (1966). *Optimal Control Theory: Ah Introduction to the Theory and its Applications.* New Yoork: McGraw Hill.
5. Bellman, R.E. (1957). *Dynamic Programming.* New Jersey. Princeton University Press.
6. Britiny, K. (1974). *Notes on Principles of Dynamic Systems.* M.I.T. Press.
7. Chow, G.C. (1975). *Analysis and Control of Dynamic Economic Systems.* John Wiley and Son.
8. Crine, R.; Havenner, A.; and Berry, J. (1978). Fixed Rules vs Activism in Conduct of Monetary Policy. *American Economic Review,* 68, 769-783.
9. Gandalfo, G. (1971). *Mathematical Methods and Models in Economic Dynamics.* Amesterdam: North Holland.
10. Hall, S.G.; and Henry, S.G.B. (1988). *Macroeconomic Modelling.* North Holland.
11. Holly, S.; and Hughes Hallett, A. (1988). *Optimal Control, Expectation and Uncertainty. Cambridge University Press.*
12. Hughes Hallett, A. (1989). *Econometrics and the Theory of Economic Policy.* Oxford Economic Paper 41, 189-214.
13. Intriligator, M.D. (1971). *Mathematical Optimisation and Economic Theory.* New York: Prentice Hall.

14. Mead, J.E. (1982). *Wage Fixing.* George Allen and Unwin.

15. Miller, R.E. (1979). *Dynamic Optimisation and Economic Application*. New York: McGraw Hill.

16. Motamen, H. (1979). *Expenditure of Oil Revenue: An Optimal Control Approach with Application to the Iranian Economy.* New York: St. Martin's Press.

17. Philips, A.W. (1954). Stabilisation Policy in a Closed Economy. *Economic Journal.* 64. 290-323.

18. Pindyck, R.S.(1973). *Optimal Planning for Economic Stabilisation*. Amesterdam: North Holland.

19. Pitchford, J.D.; and Stephen, J. Turnovsky (1977). *Applicatioin of Optimal Control Theory to Economic Analysis.* Amesterdam: North Holland.

20. Pontryagin, L.S.; Boltyanski, V.; Gamkelidze R.; and Mishchenko, E. (1962). *The Mathematical Theory of Optimal Process.* New York: Wiley Interscience.

21. Porter, B.; and Crossley, R. (1972). Modal Control. London: Taylor and Francis.

22. Rao, M.J.M. (1987). *Filtering and Control of Macroeconomic Systems.* Amesterdam: North Holland.

23. Singh, S.K. (1975). *Development Economics.* Massachusetts. Lexington Books.

24. Theil, H. (1957). A Note on Certainty Equivalence in Dynamic Planning. *Econometrica,* 25, 316-349.

25. Theil, H. (1964). *Optimal Decision Rules for Government and Industry.* Amesterdam: North Holland.

26. Tinbergen, J . (1956). *On the Theory of Economoic Policy.* Amesterdam: North Holland.

27. Wonham, W.M. (1974). *Linear Multivariable Contorl.* Berlin: Springer Verlag.

28. Zadeh, L. A.; and Desoer, C. (1963). *Linear Systems Theory.* New York: McGraw Hill.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی