آنالیز حساسیت بهینه سازی تولید و تورم در اقتصاد بر مبنای یک مدل کنترل بهینه

Optimization Sensitivity Analysis of Production and Inflation in the Economy Based on an Optimal Control Model

دکتر اصغر ابوالحسنی هستیانی[*]، دکتر محمد حسین پورکاظمی[**]، دکتر ابوالقاسم اثنی عشری امیری[***]، محمد حسین احسان فر[****]

Asghar Abolhasani Hastiyani (Ph.D.)[*], Mohammad Hossein Pour Kazemi (Ph.D.)[**], Abolghaseme Asna Ashari Amiri (Ph.D.)[***], Mohammad Hossein EhsanFar [****]

دریافت: ۱۳۹۱/۷/٤ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/٤

Received: 25/Sep/2012 Accepted: 25/Oct/2012

چکیده:

هدف مقاله حاضر، تعیین مسیرهای زمانی بهینه متغیرهای اقتصادی تولید، تورم، حجم پول و مخارج دولتی و نیز تحلیل حساسیت این مسیرها می‌باشد. برای این منظور از یک مدل کنترل بهینه متعین استفاده می‌شود. در این مدل یک تابعی هدف درجه دوم با توجه به قید مسأله که شامل یک سیستم معادلات کلان پویاست، حداقل خواهد شد. در این روش به مجذور انحراف متغیرهای هدف از ارزشهای باثباتشان وزنهای سیاستی داده شده است. سپس با استفاده از نرم افزار Mathematica مسیرهای بهینه متغیرهای وضعیت و کنترل محاسبه شده‌اند. نتایج حاصل از بهینه‌سازی بیانگر آنست که در صورت اتخاذ سیاست‌های بهینه، متغیرهای نامبرده به طور قابل توجهی از نوسانات کمتری برخوردار خواهند بود. بر اساس یافته‌های تحقیق، تحلیل حساسیت مدل نسبت به وزنهای سیاستی بر ارتباط معکوس بین وزنهای سیاستی اعمال شده توسط سیاستگزاران اقتصادی بر روی متغیر هدف با انحراف استاندارد مقادیر بدست آمده مسیرهای بهینه برای آن متغیر تأکید دارد. و نیز این مقاله نشان داد که میتوان از مدل‌ها و تکنیک‌های اقتصاد ریاضی در جهت حل مسائل رشد، تولید و تورم استفاده نمود.

کلمات کلیدی: کنترل بهینه، مدل کلان استاندارد، متغیر وضعیت و متغیر کنترل، آنالیز حساسیت.

طبقه‌بندی JEL: C61، E20، C69، C82.

* استادیار دانشگاه پیام نور

Email: a-abolhasani@pnu.ac.ir

** دانشیار دانشگاه شهید بهشتی

Email: h_pourkazemi@yahoo.com.au

*** دانشیار دانشگاه پیام نور

Email: asna_amiri@yahoo.com

**** دانشجوی دکتری علوم اقتصادی دانشگاه پیام نور

Email:m_ehsanfar@yahoo.com

Abstract:

The purpose of this paper is to determine the optimal time paths of economic variables such as production, inflation, money stock and government expenditures, and also sensitivity analysis of these paths. For this aim, a deterministic optimal control model is used. In this model, a quadratic objective functional, due to the constraint of dynamic macroeconomic equations system, will be minimized. In this method, the squared deviations of variables from their steady state values are weighted. Then, optimal paths of control and state variables are calculated by using Mathematica software. Optimization results indicate that if optimal policies are chosen, mentioned variables will considerably have less fluctuations. According to results of survey, analyzing the sensitivity of the model to policy weight emphasizes on inverse relationship between weight imposed by economic policy makers on the target variable, and standard deviation of values of the optimal paths for that variable. Also, this paper shows that mathematical economic models and techniques can be used in order to solve the problems of growth, production and inflation.

Keywords: Optimal Control, Standard Macro Model, State and Control Variables, Sensitivity Analysis**.**

JEL: C61, E20, C69, C82.

* Assistant Professor, Payame Noor University.
Email: a-abolhasani@pnu.ac.ir

** Assosiate Professor, Shahid Behesti University, Tehran, Iran.
Email: h_pourkazemi@yahoo.com.au

***Assosiate Professor, Payame Noor University.
Email: asna_amiri@yahoo.com

**** Ph.D. Student in Economics, Payame Noor University.
Email: m_ehsanfar@yahoo.com

Archive of SID

www.SID.ir

۱- مقدمه

معمولاً مدل‌های اقتصاد کلان رفتار سیستمهای اقتصادی را از یک نگاه کلی مورد بررسی قرار می‌دهند. آنها سعی دارند روابط و وابستگی‌های بین مخارج مصرفی، مخارج سرمایه‌گذاری، تورم، اشتغال و نیز متغیرهای سیاست‌های پولی و مالی را بیان کنند (حسینی نسب و حاضری نیری، ۱۳۹۱: ۱۲۷). از بین این مدل‌های اقتصادی می‌توان به مدل‌ها و الگوهای استاندارد، مدل‌های انتظارات عقلائی و مدل‌های بهینه‌یابی[1] اشاره کرد. بوسیله این الگوها می‌توان روابط اصلی بین متغیرهای اقتصادی را تفکیک کرده و نتایج منطقی تغییر این روابط را بررسی نمود.

الگوهای استاندارد که به الگوهای کتاب‌های درسی نیز مشهورند، با یک نظام مخارج شروع شده و با افزودن بخش پولی، مدل IS-LM را شکل می‌دهند. اضافه کردن سطح اشتغال به همراه یک تابع تولید و منحنی فیلیپس، مدل را کامل‌تر و تا اندازه‌ای به واقعیت نزدیک کرده و الگوی عرضه و تقاضای کل را تشکیل می‌دهد. از طرف دیگر مدل سوم، یعنی مدل بهینه‌یابی، یکی دیگر از روش‌های مورد استفاده در اقتصاد ریاضی است که به دو صورت بهینه‌یابی ایستا[2] و پویا[3] مطرح می‌شود. نظریه کنترل بهینه[4] یکی از روش‌های حل بهینه‌یابی پویاست.

این مقاله از تلفیق این دو مدل بهره خواهد برد، یعنی یک الگوی استاندارد کلان غیر خطی تحت مدل هال و تیلور[5] با دوازده معادله که به شیوه جوهانسن[6] آنها را خطی کرده و به فرم فضای حالت[7] تبدیل می‌کند و دیگر با استفاده از مدل‌های کنترل بهینه قطعی[8] آنرا حل خواهد نمود. مقاله چگونگی کاربرد مدل‌ها و تکنیک‌های اقتصاد ریاضی را در جهت حل مسائل رشد، تولید و تورم، نشان خواهد داد.

1. Optimization
2. Static
3. Dynamic
4. Optimal Control Theory
5. Hall & Taylor
6. Johansen
7. State-Space Form
8. Deterministic Control

۲- پیشینه‌ی تحقیق

۲-۱- مطالعات خارجی

پیشینه بکارگیری مسائل تئوری کنترل توسط اقتصاددانان و یا مهندسان به دهه ۱۹۵۰ برمی‌گردد. از جمله کارهای اولیه میتوان به تحقیقات تاستین[9] (۱۹۵۳)، فیلیپس[10] (۱۹۵٤و ۱۹۵۷)، سیمون[11] (۱۹۵٦) و تایل[12](۱۹۵۳) اشاره کرد. پیشگامان بعدی در این زمینه هولت[13] (۱۹٦۲)، فیشر[14] (۱۹٦۲) و زلنر[15] (۱۹٦٦) بودند. در دهه ۱۹۷۰ مطالعات بسیاری مانند چاو[16] (۱۹۷۰، ۱۹۷۳و ۱۹۷٦)، کندریک و تیلور[17] (۱۹۷۰)، پرسکات[18] (۱۹۷۱و۱۹۷۲)، پیندیک[19] (۱۹۷۲و۱۹۷۳) و دیگران صورت گرفته است. در تمام این مطالعات توصیفی از مدلهای متعین(غیرتصادفی)[20] بعمل آمده و مدلها را به طرف تئوری کنترل تصادفی[21] سوق داده‌اند. همچنین می‌توان به تحقیقات زیر طی یک دهه گذشته اشاره کرد.

آوکی[22] (۲۰۰۱) مدل بهینه سازیی را برای یک سیستم اقتصادی کوچک باز طراحی کرد و به تجزیه و تحلیل اثرات سیاست‌های پولی در بخشی که قیمتها قابل انعطاف بوده و نیز در بخشی که چسبندگی قیمتی وجود داشته باشد، پرداخت. ایشان بوسیله منحنی فیلیپس و با استفاده از مدل کینزین‌های جدید نشان داد که سیاست پولی بهینه در شرایطی رخ می‌دهد که بانک مرکزی هدف‌گذاری تورم را در رأس سیاست‌های خود قرار دهد (آوکی، ۲۰۰۱ : ۵۵).

پاسکال[23] (۲۰۰۳) در مقاله‌ای با عنوان سیاست‌های مالی و قواعد بهینه پولی در یک اقتصاد غیر ریکاردویی به مطالعه و بررسی چگونگی تعامل بین سیاست‌های مالی و پولی پرداخت. ایشان دو بسته سیاستی، یکی سیاست‌های پولی و مالی به طور

9. Tustin (1953)
10. Phillips (1954,1957)
11. Simon (1956)
12. Theil (1953)
13. Holt (1962)
14. Fisher (1962)
15. Zellner (1966)
16. Chow (1970,1973,1976)
17. Kendrick & Taylor (1970)
18. Prescott (1971,1972)
19. Pindyck (1972,1973)
20. Deterministic models
21. Stochastic control theory
22. Aoki (2001)
23. Pascal (2003)

Archive of SID

www.SID.ir

همزمان بهینه‌سازی شده و دیگری سیاست‌های پولی بدون توجه به سیاست مالی بهینه‌سازی شده است را با یکدیگر مقایسه کرد و به این نتیجه رسید که یک سیاست ترکیبی به مراتب نتایج بهتری را به ارمغان می‌آورد (پاسکال، ۲۰۰۳ : ٤٩٨).

جی‌یو ایندر[1] (۲۰۰۳) سیاست‌های پولی بهینه را تحت تورم هدف‌گذاری شده در یک مدل ساده اقتصاد کلان تصادفی مورد بررسی قرار داد. تحقیقات ایشان نشان داد که اندازه پارامترهای سیاستی یکی به منابع ایجاد کننده نااطمینانی و دیگری به ترجیحات سیاستگزاران و یا به هر دو پارامتر یاد شده بستگی دارد (جی‌یو ایندر، ۲۰۰۳ :ص ۵۵).

کولی و کوادرینی[2] (۲۰۰٤) طی تحقیقی به مطالعه سیاست‌های پولی بهینه بوسیله منحنی فیلیپس و ادغام تئوری مدرن بیکاری و مدل نقدینگی انتقال پولی، پرداختند. آنها سناریوهای تجربی متفاوتی را در نظر گرفتند و نشان دادند، زمانی که اقتصاد در معرض شوکهای بهره‌وری است سیاست‌های بهینه بصورت ادواری خواهد بود. آنها همچنین با تعیین خواص سیاست‌های پولی بلند مدت نشان دادند که نرخ بهینه تورم با قدرت چانه‌زنی کارگران رابطه‌ای معکوس دارد (کولی و کوادرینی، ۲۰۰٤ :ص ۱۷٤).

کروستی و پیسنتی[3] (۲۰۰۵) با استفاده از یک مدل تعادل عمومی به بررسی سیاست‌های پولی بهینه پرداختند. آنها نشان دادند که در میان اقتصادهای وابسته به شرکت‌های انحصاری تثبیت قیمتهای داخلی بدون توجه به نوسانات نرخ ارز مطلوب نخواهد بود و صادرکنندگان و واردکنندگان را در برابر یک عدم قطعیت قرار می‌دهد. آنها بیان داشتند که یک سیاست قاعده‌مند بهتر از سیاست‌های اختیاری عمل می‌کند (کروستی و پیسنتی، ۲۰۰۵ : ۲۸۱).

دمجانویک[4] و همکاران (۲۰۰۸) طی مقاله‌ای تحت عنوان سیاست‌های پولی بهینه بی‌قید و شرط نشان دادند که برای تجزیه و تحلیل سیاست‌های بهینه می‌توان از مسائل عمومی خطی درجه و همچنین از مسائل غیر خطی نیز بهره جست. آنها از مدلی در چهارچوب مدلهای کینزی جدید استفاده کردند (دمجانویک و همکاران، ۲۰۰۸ : ٤٩١).

ماتسینی و نیستیکو[5] (۲۰۱۰) طی تحقیقی با عنوان روند رشد و سیاست پولی بهینه به رفتار بهینه بانک مرکزی تحت یک اقتصاد با رشد متوازن پرداختند. آنها نشان دادند که روند رشد بر پویایی‌های تورم، ترجیحات بانک مرکزی و سیاست‌های پولی بهینه اثر می‌گذارد (ماتسینی و نیستیکو، ۲۰۱۰ : ۷۹۷).

پتریلا و سانتورو[6] (۲۰۱۱) به بررسی سیاست‌های پولی بهینه و اثر متقابل بین عوامل جدول داده و ستانده پرداختند. آنها در مقاله خود از یک مدل تعادل عمومی پویا استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که اگر فقط افزایش ارزش افزوده و تولید مد نظر بوده، بدون توجه به اینکه آیا سیاست پولی بهینه است یا نه، این امر به طور قابل توجهی موجب کاهش رفاه اجتماعی می‌گردد (پتریلا و سانتورو، ۲۰۱۱ : ۱۸۱۷).

نارایدو و راپوتسان[7] (۲۰۱۱) تحقیقی را با عنوان تابع عکس العمل سیاست‌های پولی بهینه در مدلی با مناطق هدف و ترجیحات نامتقارن برای آفریقای جنوبی انجام دادند. آنها از انحراف متغیرهای تورم و تولید از ارزشهای هدف‌گذاری شده آنها استفاده کرده و واکنش بهینه بانک مرکزی آفریقای جنوبی را نسبت به آنها سنجیدند. یافته اصلی آنها واکنش متقارن مقامات پولی نسبت به تورم است یعنی زمانیکه تورم در نزدیکی مقدار هدف خود است آنها نسبت به تورم منفعل هستند، درحالیکه مقامات بانک مرکزی حالتی انفعالی خواهند داشت زمانیکه تورم به طور قابل توجهی از ارزش هدف‌گذاری شده آن دور است. این دو حالت انفعالی و منفعل برای زمانی که تورم فراتر یا پایین‌تر از مقدار هدف آن قرار داشته باشد به یک صورت عمل می‌کند و به یک میزان واکنش نشان می‌دهند (ناردیدو و ناپوتسان، ۲۰۱۱ :ص ۲۵۱).

کریتسو و همکاران[8] (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به سیاست‌های

1. Guender (2003)
2. Cooley & Quadrini (2004)
3. Corsetti & Pesenti (2005)
4. Damjanovic et al. (2008)
5. Mattesini & Nisticò (2010)
6. Petrella & Santoro (2011)
7. Naraidoo & Raputsoane (2011)
8. Kryvtsov et al. (2011)

Archive of SID

www.SID.ir

پولی بهینه تحت بازارهای ناقص و نااطمینانی می‌پردازند. آنها با استفاده از روش کنترل بهینه نشان دادند که سیاست پولی بهینه می‌تواند با مدل‌های نسلهای هم‌پوش با فرض وجود عدم قطعیت یک تخصیص بهینه پرتو را تأمین نماید. همچنین آنها بیان داشتند که هدف از این سیاست، تثبیت نرخ پس‌انداز اقتصاد از طریق تغییر بازده واقعی اوراق قرضه اسمی بوسیله تغییر در نرخ تورم انتظاری است (کریتسو و همکاران، ۲۰۱۱ : ۱۰٤٥).

لنگوتیو[1] (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای تحت عنوان موجودی انبار و سیاست‌های بهینه در یک اقتصاد کوچک باز به بررسی چگونگی اثر سرمایه‌گذاری در موجودی انبار به طراحی سیاست‌های پولی بهینه در یک مدل کینزی جدید پرداخت. ایشان با انجام یک تحلیل حساسیت نشان داد که تحت یک سیستم قیمت‌گذاری، زمانی که کشش جانشینی کوچکتر از یک است، سیاست‌های پولی بهینه در مدل طراحی شده به همراه موجودی انبار با یک مدل استاندارد بدون موجودی یکسان بوده و در غیر اینصورت هر مدل نتایج متفاوتی را نشان خواهند داد (لنگوتیو، ۲۰۱۱ : ۱۷۱۹).

رهی و تاردالیو[2] (۲۰۱۲) طی تحقیقی با عنوان سیاستهای پولی بهینه در یک اقتصاد باز کوچک به همراه تولید و تورم پایدار و با استفاده از مدلهای بهینه یابی، پویایی های رفتار مصرف کننده و نیز شکاف تولید را در شرایط تورم صفر و همچنین تورم پایدار بررسی نمودند (رهی و تاردالیو، ۲۰۱۲ : ۲٥۳۳).

نیکولوویا و نک[3] (۲۰۱۲) طی مقاله ای کاربرد الگوریتم OPTCON که در C# برنامه نویسی شده است را برای اقتصاد اسلوونی نشان دادند. آنان یک تابعی هدف درجه دوم را با توجه به محدودیت مسأله که یک سیستم معادلات اقتصاد سنجی غیر خطی بود، مینیمم کردند. آنها نشان دادند که چگونه بوسیله این الگوریتم میتوان مسائل کنترل قطعی و تصادفی را حل نمود (نیکولوویا و نک، ۲۰۱۲ : ۳۲۳۰).

اسویک[4] (۲۰۱۲) در مطالعه خود تحت عنوان سیاست های مالی بهینه با کنترل قوی به تجزیه و تحلیل نااطمینانی رفتار مصرف کننده تحت چارچوب مدل لوکاس پرداخته است. ایشان نشان میدهد که دولت چگونه میتواند با وارد کردن تابع مطلوبیت مصرف کننده در تابعی هدف خود، حد بهینه مالیات را بدست آورد (جاستین اسویک، ۲۰۱۲ : ۳٤۹).

۲-۲- مطالعات داخلی

از مطالعات انجام یافته در داخل کشور می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

ترکی عقدا (۱۳٦۸) طی تحقیقی به سیاستگزاری مدل اقتصاد کلان ایران با استفاده از تئوری کنترل بهینه پرداخته است. ایشان با استفاده از سناریوهای متفاوت، بررسی‌های مختلفی را در رابطه با موضوع تحقیق انجام داده است (ترکی عقدا ، ۱۳٦۸ : ۱۰).

عسلی (۱۳۷٥) طی مقاله‌ای رشد اقتصادی کشور را در مقابل انباشت بدهی‌های خارجی از طریق کاربرد نظریه کنترل بهینه در یک مدل ساده اقتصادی مورد بحث قرار داده است. مقاله برای بدست آوردن سیاستهای بهینه رشد اقتصادی، سناریوهای مختلفی را در نظر گرفته و به توضیح آن پرداخته است عسلی، ۱۳۷٥ : ٥).

توکلی و شجری (۱۳۷۹) با استفاده از روش کنترل بهینه به تاثیر آزادسازی تجارت خارجی بر مخارج دولت و مصرف خانوارها در ایران پرداختند. آنها یک مدل کلان اقتصادی، متشکل از ده معادله را بکار گرفتند و با استفاده از آن تأثیرات حاصله از متغیرهای کنترل را بر متغیرهای درونزای مدل مورد بررسی قرار دادند (توکلی و شجری، ۱۳۷۹ : ٥٥).

جعفری صمیمی و طهرانچیان (۱۳۸۳) طی تحقیقی با استفاده از الگوریتم کنترل بهینه تصادفی OPTCON به بررسی اثرات سیاستهای پولی و مالی بهینه بر شاخص‌های عمده اقتصاد کلان ایران، برای دوره برنامه سوم توسعه در نظام‌های مختلف ارزی پرداختند (جعفری صمیمی و طهرانچیان، ۱۳۸۳ : ۲۱۳).

عبدی راد (۱۳۸٥) در پژوهشی با عنوان کنترل بهینه

1. Leong Teo (2011)
2. Rhee & Turdaliev (2012)
3. Nikolaeva & Neck (2012)
4. Svec (2012)

Archive of SID

www.SID.ir

سیاستهای مالی در ایران: کاربردی از الگوریتم کنترل بهینه تصادفی، بوسیله الگوریتم OPTCON به برآورد کمی سیاستهای مالی بهینه پرداخته است. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهند که به استثنای سال اول برنامه چهارم، مقادیر بهینه مخارج جاری دولت از مقادیر پیشنهاد شده آن بیشتر بوده و مقادیر بهینه مخارج عمرانی در تمام سالهای مورد بررسی همواره بیشتر از مقادیر مصوب آنها بوده است (عبدی راد، ۱۳۸۵ : ۱۰).

شاکری و همکاران (۱۳۸٦) به بررسی سیاستگزاری اقتصادی برنامه‌های توسعه در چارچوب یک الگوی کنترل بهینه پرداخته‌اند. نتایج تحقیق حاکی از آن است که برخی از اهداف در نظر گرفته شده در برنامه‌ها بعضاً در تعارض بوده و قابل دسترس نیستند و اینکه مسیرهای مطلوب ابزارهای سیاستی پولی بهتر از مسیرهای ابزارهای مالی تعیین شده توسط سیاستگزاران است و با هدایت ابزارهای مالی به سمت مقادیر مطلوبشان نمی‌توان به بسیاری از اهداف در نظر گرفته شده برای متغیرها دست یافت (شاکری و همکاران، ۱۳۸٦ : ۱۵).

خلیلی عراقی و همکاران (۱۳۸۸) با بکارگیری تئوری کنترل بهینه به تعیین قاعدهٔ بهینهٔ سیاست پولی برای اقتصاد ایران با این فرض که سیاستگزار از نرخ بهره به عنوان ابزار سیاستی استفاده می‌کند، پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که رفتار بهینهٔ سیاستگزار این است که نرخ بهره را در پاسخ به نوسان مثبت تورم، تولید و حجم پول افزایش، و در پاسخ به شوک تکنولوژی کاهش می دهد (خلیلی عراقی و همکاران، ۱۳۸۸ : ٦۹).

درگاهی و شربت اوغلی (۱۳۸۹) در مقاله‌ای با استفاده از تئوری کنترل بهینه به تعیین قاعدهٔ سیاست پولی در شرایط تورم پایدار اقتصاد ایران پرداختند. نتایج بررسی پایداری تورم با روشهای مختلف، نشان داد که تورم در اقتصاد ایران پایدار بوده و در اجرای سیاست پولی می‌بایست اثرات کوتاه‌مدت و بلندمدت آن، در نظر گرفته شود (درگاهی و شربت اوغلی، ۱۳۸۹ : ۱).

پورکاظمی و لطفی (۱۳۹۰) طی مقاله‌ای با بکارگیری کنترل بهینه پویا به شبیه سازی رشد اقتصادی ایران پرداختند. آنها مسیرهای زمانی بهینه متغیرهای کلان اقتصاد ایران را بر اساس یک مدل رشد درونزا محاسبه کردند (پورکاظمی و لطفی،۱۳۹۰ : ۱٤۷).

۳- ساختار و روابط مدل

۳-۱- مدل کنترل بهینه

رهیافتی که پژوهش حاضر از آن بهره می‌جوید، رهیافت کنترل بهینه است. معمولا مسائل تئوری کنترل با دو گروه متغیر، یعنی متغیر وضعیت X و متغیر کنترل u روبرو می‌باشد. متغیرهای وضعیت، توصیف کننده موقعیت و یا وضعیت یک سیستم اقتصادی در هر نقطه از زمان است و متغیر کنترل همان متغیرهای سیاستی هستند که توسط سیاستگزاران انتخاب می‌شوند.

از طرف دیگر سیستم طبقه‌بندی که برای تئوری کنترل بیان گردیده، آنرا به دو دسته اصلی تقسیم می‌کند؛ یکی تئوری کنترل قطعی یا متعین و دیگری تئوری کنترل تصادفی که با توجه به نگاه هر یک به مسأله نااطمینانی شکل گرفته است. مورد اول نا اطمینانی را در معادلات خود وارد نمی‌کند، اما کنترل تصادفی اثرات نا اطمینانی را بر سیستم معادلات در نظر می‌گیرد.

در تئوری کنترل متعین از مسائل خطی درجه دوم استفاده می‌شود که در آن تابعی هدف درجه دوم بوده و سیستم معادلات آن خطی می‌باشد. ازآنجا که اکثر مسائل اقتصاد کلان که پایه معادلات سیستمی این تحقیق بر آن بناشده، از نوع مسائل زمان گسسته است، لذا تابعی هدف بجای انتگرال به صورت زیگما یا مجموع تحت زمان بوده و سیستم معادلات به شکل معادلات تفاضلی است. مسأله کنترل متعین در پی یافتن بردارهایی از متغیر کنترل در دوره K به صورت $(u_k)_{K=0}^{N-1}$ می‌باشد و همانگونه که مشخص است از دوره صفر تا دوره $N-1$ می‌باشد. یعنی مسأله در پی یافتن $(u_0, u_1, ..., u_{N-1})$ است. این بردار برای حداقل کردن تابعی هدف درجه دوم زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

Archive of SID

www.SID.ir

(۱)

$$J=\frac{1}{2}\left[x_N-x_N^{\#}\right]'W_N^{\#}\left[x_N-x_N^{\#}\right]$$
$$+\sum_{K=0}^{N-1}\left(\frac{1}{2}\left[x_N-x_N^{\#}\right]'W_N^{\#}\left[x_N-x_N^{\#}\right]+\frac{1}{2}\left[u_K-u_K^{\#}\right]'\Lambda_K^{\#}\left[u_K-u_K^{\#}\right]\right)$$

محدودیت مسأله، سیستم معادلات تفاضلی مرتبه اول به صورت زیر است:

$$x_{K+1}=A_Kx_K+B_Ku_K+c_K \qquad K=0,1,\ldots..,N-1 \qquad (۲)$$

و بالاخره برای شرایط اولیه، x_0 داده شده فرض می شود.

هر کدام از نمادهای استفاده شده در بالا به صورت زیر می‌باشند:

x_K : بردار متغیر وضعیت برای دوره K با n عنصر،

u_K : بردار متغیر کنترل برای دوره K با m عنصر،

$x_K^{\#}$: بردار متغیر وضعیت مطلوب برای دوره K با n عنصر،

$u_K^{\#}$: بردار متغیر کنترل مطلوب برای دوره K با m عنصر،

$W_K^{\#}$: ماتریس وزنی متقارن معین مثبت روی انحراف متغیر وضعیت از مسیر مطلوب،

$\Lambda_K^{\#}$: ماتریس وزنی متقارن معین مثبت روی انحراف متغیر کنترل از مسیر مطلوب،

A_K : ماتریس ضرایب بردار متغیر وضعیت $(n\times n)$،

B_K : ماتریس ضرایب بردار متغیر کنترل $(n\times m)$،

c_K: بردار n عنصری برای دوره K،

پس درکل، مسأله تحقیق پیدا کردن مسیرهای زمانی برای m متغیر کنترل در هر دوره برای بازه زمانی صفر تا $N-1$ برای مینیمم کردن شکل درجه دوم بالا با شروع از شرط اولیه x_0 و ادامه آن بوسیله معادلات تفاضلی، می‌باشد.

اگر در مسأله کنترل قطعی برای تابعی هدف جهت حداقل کردن آن یک ارزش انتظاری (E) در نظر گرفته شود و همچنین به سیستم معادلات تفاضلی یک جمله خطا $_K$ اضافه شود، آنگاه یکی از انواع مسائل کنترل تصادفی رخ خواهد داد. بنابراین محدودیت مسأله در کنترل تصادفی به صورت زیر ظاهر می‌شود:

$$X_{K+1}=A_KX_K+B_KU_K+C_K+\ _k \qquad K=0,1.....,N-1 \qquad (۳)$$

که در آن فرض می‌شود $_K$ دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و کواریانس Q بوده و نیز ناهمبسته پیاپی می‌باشد. یعنی: $E\{\ _K\}=0,\quad E\{\ _K\ '_K\}=Q,\quad E\{\ _K\ \}=0,k\neq$.

قسمت بعدی به استخراج محدودیت مسأله کنترل تحت یک سیستم معادلات اقتصادی از نوع مدل‌های استاندارد اقتصاد کلان خواهد پرداخت.

۳-۲- مدل اقتصادی هال و تیلور

این قسمت به بیان یک مدل شناخته شده در متون درسی اقتصاد کلان یعنی مدل هال و تیلور (۱۹۹۷) می‌پردازد. این یک مدل پویای غیر خطی شامل چهار بخش با دوازده معادله می‌باشد که معادلات و پارامترهای آن به صورت جدول (۱) می باشد. برای تطبیق این مدل با یک مدل کنترل بهینه سه دسته متغیر قابل تعریف است. متغیرهای درونزا، متغیرهای برونزای بدون کنترل و متغیرهای برونزای کنترل یا متغیرهای سیاستی که در جدول (۲) آمده‌اند.

٤- تخمین و برآورد مدل

٤-۱- خطی سازی و کالیبره کردن مدل

اکنون مدل فوق را بوسیله روش جوهانسن[1] به یک مدل پویای خطی تبدیل کرده که هر متغیر به صورت انحراف درصدی از ارزش وضعیت یکنواخت[2] خود تعریف می‌شود. بعنوان مثال اگر داشته باشیم:

$$x=y+z \qquad (٤)$$

خواهیم داشت:

$$dx=dy+dz \qquad (٥)$$

$$\frac{dx}{x}=\frac{dy}{x}+\frac{dz}{x} \qquad (٦)$$

$$\frac{dx}{x}=\frac{y}{x}*\frac{dy}{x}+\frac{z}{x}*\frac{dz}{x} \qquad (٧)$$

$$x^*=s_yy^*+s_zz^* \qquad (٨)$$

که در آن x^*، y^* و z^*، انحراف درصدی هر یک از متغرها را نشان داده و s_y و s_z سهم هر یک از متغیرهاست که به

۱. برای اطلاعات بیشتر رجوع کنید به Johansen(1960) .

2. Steady State

Archive of SID

www.SID.ir

صورت $s_y=\frac{y_{ss}}{y_{ss}+z_{ss}}$ و $s_z=\frac{z_{ss}}{y_{ss}+z_{ss}}$ می‌باشد و انـدیس ss بمعنی ارزش وضعیت یکنواخت هر یک از متغیرهاست.

اکنون دوازده معادله مدل را با جایگزاری به چهار معادله تبدیل می‌کنیم بطوریکـه Y^* ، R^*، P^* و E^* حاصـل شـود کـه نشان ستاره دلالت بـر انحـراف درصـدی هـر متغیـر از ارزش وضعیت یکنواختش را دارد. بعد معادلات را خطی کرده و مدل را به فرم ماتریسـی مـی‌نویسـیم سـپس مـدل را بـرای تبـدیل معادلات به فرم خلاصه شده حل می‌کنیم که معادلات تفاضلی مرتبه سوم خواهد بود و سرانجام سیستم معادلات را بـه مرتبـه یک تقلیل می‌دهیم تا به صورت فرم فضا–حالت ظـاهر شـود. سیستم معادلات حاضر شده به عنـوان محـدودیت، وارد یـک مدل کنترل بهینه خواهد شد.

جدول (۱): معادلات و پارامترهای مدل اقتصاد کلان هال و تیلور

بخش	معادلات	توضیحات	ردیف
معادلات IS-LM	$Y = C + I + G + X$	معادله تعریفی تولید ناخالص داخلی	۱
	$YD=(1-t)Y$	درآمد قابل تصرف	۲
	$C = \quad + bYD$	مخارج مصرفی	۳
	$I = e - dR$	مخارج سرمایه گذاری	٤
	$\frac{M}{P} = kY - hR$	تقاضای پول	٥
انتظارات و منحنی فیلیپس	$^{e} = \quad_{t-1} + \quad_{t-2}$	تورم انتظاری	٦
	$= \quad^{e} + f\left(\frac{Y_t - Y_N}{Y_N}\right)$	نرخ تورم	۷
	$P = P_{t-1}(1+\quad)$	سطح عمومی قیمت ها	۸
بخش خارجی	$\frac{E^*P}{P_W} = q + vR$	نرخ ارز واقعی	۹
	$X = g - mY - n\frac{E^*P}{P_W}$	خالص صادرات	۱۰
دولت و بیکاری	$GD = G - tY$	کسری بودجه دولت	۱۱
	$U = U_N - \left(\frac{Y_t - Y_N}{Y_N}\right)$	نرخ بیکاری	۱۲

پارامترها							
$a = 220$	$b = 0/7754$	$d = 2000$	$e = 1000$	$f = 0/8$	$g = 600$	$h = 2000$	$k = 0/158$
$m = 0/1$	$n = 100$	$q = 0/75$	$t = 0/1875$	$v = 5$	$= 0/4$	$= 0/2$	$= 0/33$

مأخذ: هال و تیلور، ۱۹۹۷

جدول (۲): متغیرهای به کار رفته در مدل

متغیرهای برونزای بدون کنترل					
تولید ناخالص داخلی بالقوه	Y_N	نرخ طبیعی بیکاری	U_n	سطح قیمتهای خارجی	P_W
متغیرهای برونزای کنترل (متغیرهای سیاستی)					
حجم پول	M	مخارج دولتی			G
متغیرهای درونزا					
مخارج مصرفی	C	نرخ ارز اسمی	E	کسری بودجه دولت	GD
مخارج سرمایه گذاری	I	سطح قیمتهای داخلی	P	نرخ بهره واقعی	R
نرخ بیکاری	U	خالص صادرات	X	تولید ناخالص داخلی	Y
درآمد قابل تصرف	YD	نرخ تورم		نرخ تورم انتظاری	^{e}

مأخذ: محاسبات تحقیق

Archive of SID

www.SID.ir

چهار معادله خطی سازی شده به روش جوهانسن بـه صـورت زیر می‌باشد:

(۹)

$$Y^* = -sa_{12}R^* - sa_{13}P^* - sa_{14}E^* + sb_{12}G^* + sc_{12}Pw^*$$

(۱۰)

$$R^* = -sa_{21}Y^* - sa_{23}P^* + sb_{21}M^*$$

(۱۱)

$$P^* = sa1_{31}Y^*_{t-1} + sa1_{33}P^*_{t-1} + sa2_{33}P^*_{t-2} + sa3_{33}P^*_{t-3} + sc_{31}YN^*$$

(۱۲)

$$E^* = -sa_{42}R^* - sa_{43}P^* + sc_{42}Pw^*$$

٤-۲- قید مسأله تحقیق

معادلات (۹) تا (۱۲) مدل را به صورت ماتریسی می‌نویسیم.

(۱۳)

$$SA\ X = SA1\ X_{-1} + SA2\ X_{-2} + SA3\ X_{-3} + SB\ U + SC\ V$$

که در آن بردار متغیرهای وضعیت(X)، متغیرهای کنتـرل(U) و متغیرهای برونزای غیر کنترل(V) به صورت زیر است:

(١٤)

$$Z = \begin{bmatrix} YN^* \\ P^* \end{bmatrix} \qquad u = \begin{bmatrix} M^* \\ G^* \end{bmatrix} \qquad X = \begin{bmatrix} Y^* \\ R^* \\ P^* \\ E^* \end{bmatrix}$$

و داریم:

(۱۵)

$$SA = \begin{bmatrix} 1 & sa_{12} & sa_{13} & sa_{14} \\ sa_{21} & 1 & sa_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & sa_{42} & sa_{43} & 1 \end{bmatrix}, \quad SA1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ sa1_{31} & 0 & sa1_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$SA2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & sa2_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad SA3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & sa3_{33} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$SB = \begin{bmatrix} 0 & sb_{12} \\ sb_{21} & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad SC = \begin{bmatrix} 0 & sc_{12} \\ 0 & 0 \\ sc_{31} & 0 \\ 0 & sc_{42} \end{bmatrix}$$

اگر SA^{-1} را در سمت راست معادله (۱۳) ضرب کنیم خواهیم داشت:

(١٦)

$$X = RA1\ X_{-1} + RA2\ X_{-2} + RA3\ X_{-3} + RB\ U + RC\ V$$

بعنوان مثال $RA1 = SA^{-1} * SA1$ می‌باشد و بقیه موارد نیز بـه همین صورت است.

اکنون کافیست بردارهای جدیدی به صورت زیر تعریف کنیم:

$$XL = X_{-1} \qquad (۱۷)$$

$$XLL = XL_{-1} = X_{-2} \qquad (۱۸)$$

بنابراین خواهیم داشت:

(۱۹)

$$X = RA1\ X_{-1} + RA2\ XL_{-1} + RA3\ XLL_{-1} + RB\ U + RC\ V$$

و در آخر آنرا به شکل ماتریس کلی زیر می نویسیم:

$$x = Ax_{-1} + BU + CV \qquad (۲۰)$$

که در آن ماتریس A به صورت زیر می باشد.

(۲۱)

$$A = \begin{bmatrix} RA1 & RA2 & RA3 \\ I & 0 & 0 \\ 0 & I & 0 \end{bmatrix} \quad B = \begin{bmatrix} RB \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} RC \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

معادله آخر در اصل همان قید مسأله کنترل ما در قسـمت قبـل است.بنابراین مسأله تحقیق حداقل کردن تـابعی هـدف معادلـه (۱) با توجه به محدودیت معادله (۲۰) می‌باشد. مـاتریس‌هـای A ، B و C فوق برای سیستم معادلات به صورت زیر محاسبه شده و بدست آمده اند.

$$A = \begin{bmatrix} -0/3460 & -0/6060 & 0\ 0 & 0/087 & 0\ 0\ 0 & 0/087\ 0 \\ 7/811\ 0 & 1/36690 & 0\ 0 & -1/9530 & 0\ 0 & -1/9530 \\ 0/8 & 0 & 1/4 & 0\ 0\ 0 & -0/2 & 0\ 0\ 0 & -0/2\ 0 \\ 1/154\ 0 & 2/019 & 0\ 0\ 0 & -0/2880 & 0\ 0 & -0/2880 \\ 1 & 0 & 0 & 0\ 0\ 0 & 0 & 0\ 0\ 0 & 0\ 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0\ 0\ 0 & 0 & 0\ 0\ 0 & 0\ 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0\ 0\ 0 & 0 & 0\ 0\ 0 & 0\ 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1\ 0\ 0 & 0 & 0\ 0\ 0 & 0\ 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0\ 1\ 0 & 0 & 0\ 0\ 0 & 0\ 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0\ 0\ 1 & 0 & 0\ 0\ 0 & 0\ 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0\ 0\ 0 & 1 & 0\ 0\ 0 & 0\ 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0\ 0\ 0 & 0 & 1\ 0\ 0 & 0\ 0 \end{bmatrix}$$

$$B = \begin{bmatrix} -0/433 & 0/231 \\ -9/763 & 4/386 \\ 0 & 0 \\ -2/442 & 1/097 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 0/346 & 0 \\ -7/811 & 0 \\ -0/800 & 0 \\ -1/154 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

Archive of SID

www.SID.ir

٤-۳- حل مدل

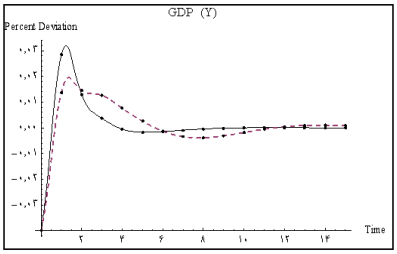
در معادله (۱) ماتریس‌های Wو Λ، ماتریس‌های وزنی متقارن معین مثبت به ترتیب روی انحراف متغیر وضعیت و متغیر کنترل از مسیر مطلوبشان می‌باشند. اعمال این وزنها به فروض سیاستگزاران در ارتباط با هر بسته سیاستی بستگی دارد. در اینجا فرض می‌شود که سیاست هدف، تثبیت Y^* ، R^*، P^* و E^* اطراف ارزشهای وضعیت یکنواختشان می‌باشد. حال فرض می‌شود که یک شوک منفی موقتی در خالص صادرات، باعث شود که Y به میزان ٤٪ پایین‌تر از وضعیت یکنواخت خود قرار گیرد. اگر چنین شود این سئوال مطرح می‌شود که مسیرهای بهینه برای متغیرهای سیاستی یعنی مخارج دولتی (G) و حجم پول (M) برای برگرداندن GNP به وضعیت باثباتش چیست؟

سئوال دیگر اینست که اگر سیستم با چنین شوکهائی برخورد کند و دولت و بانک مرکزی از ابزارهای سیاستی خود استفاده نکنند، مسیرهای بهینه متغیرهای وضعیت چه خواهد بود؟ بعبارت دیگر مقایسه این مسیرهای بهینه در صورت وجود و یا عدم وجود بکارگیری ابزارهای سیاستی چگونه است؟

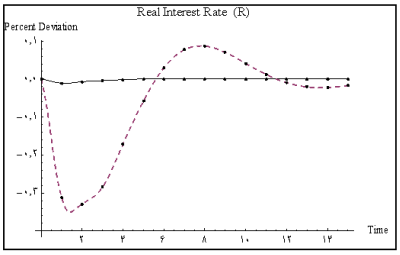
برای پاسخگویی به این سئوالات، مسأله دو بار در شرایط کنترل متعین حل شده است. یکمرتبه معادله (۱) یعنی تابعی هدف نسبت به قید (۲۰) در صورت بروز شوک حل گردیده است و بار دیگر همان مسأله با صفر قرار دادن انحرافات درصدی متغیرهای سیاستی از مقادیر یکنواختشان حل شده است. نمودار (۱) مقایسه مسیرهای بهینه‌ی متغیرهای وضعیت را در حالت کنترل بهینه و نیز جواب‌های سیستم مستقل از بکارگیری ابزارهای سیاستی را در نرم‌افزار Mathematica نشان می‌دهد.

در قسمت های (الف) تا (د) نمودار(۱) محورهای عمودی انحرافات درصدی هر یک از متغیرها نسبت به وضعیت باثباتشان را نشان می‌دهد و محورهای افقی نشان دهنده دوره زمانی است. لازم به توضیح است که در اینجا ارزش ۲٪ یعنی دو درصد بالاتر از وضعیت یکنواخت و به معنی ۲٪ افزایش نسبت به دوره قبل نمی‌باشد. از آنجا که تمام متغیرها به صورت انحرافات درصدی می‌باشند، بنابراین ارزش وضعیت یکنواخت آنها همگی برابر صفر می‌باشد.

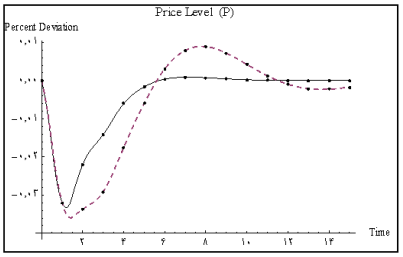
قسمت (الف)



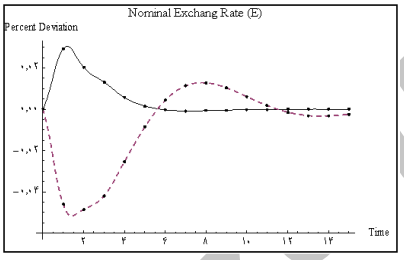
قسمت (ب)



قسمت (ج)



قسمت (د)



نمودار (۱): مسیرهای بهینه متغیرهای وضعیتY، R، P وE در مقابل مسیرهای مستقل آنها

مأخذ: محاسبات تحقیق

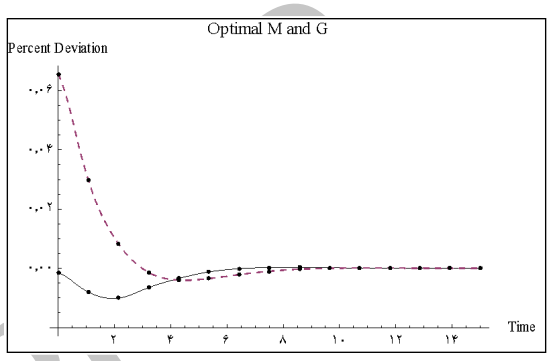
در نمودار (۱) مسیرهای مستقل متغیرهای وضعیت که با خطوط نقطه چین مشخص شده اند، چرا چنین رفتار نوسانی را نشان می‌دهند؟ بر اساس مدلهای کلان استاندارد، اینگونه بیان می‌شود که با کاهش موقتی در خالص صادرات، سطح قیمتها شروع به کاهش خواهد کرد، چرا که تقاضا برای تولیدات بنگاهها کاهش یافته و آنها قیمت محصولاتشان را پائین می‌آورند. سطح قیمت‌های پائین‌تر، از طریق بازار پول منجر به کاهش نرخ بهره و افزایش سرمایه‌گذاری خواهد شد. این نوسانات تعدیل قیمتی مادامی که متغیرها به وضعیت یکنواختشان نرسیده‌اند ادامه خواهد

Archive of SID

www.SID.ir

داشت.

این نوسانات در نمودارهای بالا با خطوط نقطه‌چین برای متغیرهای وضعیت مدل، قابل مشاهده است. مسیرهای بهینه بدست آمده نیز با خطوط پررنگ مشخص شده اند. در قسمت (الف)، *GDP* به سرعت از ٤٪ زیر وضعیت یکنواخت به ٣٪ بالای این وضعیت افزایش یافته و سپس به آرامی به ارزش وضعیت باثباتش کاهش یافته است. این فراز و نشیب می‌تواند از یک افزایش بیش از ٦ درصدی در متغیر کنترل (G) باشد که مسیر بهینه آن در نمودار (٢) مشاهده می‌شود.



نمودار (٢): مسیرهای بهینه متغیرهای کنترل M وG

مأخذ: محاسبات تحقیق

همچنین مسیر نرخ بهره واقعی بهینه تقریبا بدون تغییر مانده است، این در حالی است که مسیر مستقل آن حدودا ٣٥٪ کاهش یافته است. این ثبات می‌تواند ناشی از افزایش (G) [نمودار (٢)] و ایجاد فشار رو به بالای آن باشد و در آخر نرخ ارز اسمی برای جبران کاهش قیمت‌ها افزایش یافته است و سپس به آهستگی بطرف وضعیت یکنواخت خود کاهش یافته است.

اگرچه برای متغیرهای کنترل وزن یکسانی در نظر گرفته شده اما با توجه به نمودار (٢) مشاهده می‌شود که نقش سیاست‌های مالی بیشتر از سیاست‌های پولی بوده است و مخارج دولت اثرات قوی‌تری برای خارج کردن اقتصاد از رکود داشته است.

٤- ٤- تحلیل حساسیت مدل نسبت به وزن‌های سیاستی

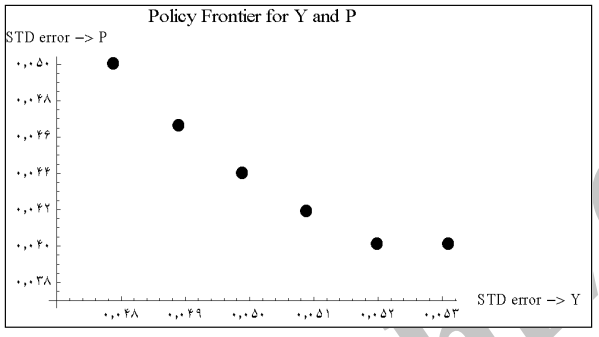
با توجه به تابعی هدف (١) و مدل کلان استاندارد هال و تیلور، ترکیبات مختلفی از وزن‌های متغیرهای (Y) و (P)را در نظر گرفته و مدل کنترل برای هر کدام از آنها حل شده است. سپس انحراف استاندارد هر یک از مسیرهای بهینه برای هر ترکیب وزنی محاسبه گردیده و در جدول (٣) آمده است. این ترکیبات از وزن‌های بالا برای (Y) و وزن‌های پائین برای (P) شروع می‌شود و تا عکس این ترکیب ادامه می‌یابد.

جدول (٣): ترکیبات وزنی مختلف و انحراف استاندارد متغیرهای Y و P جهت تحلیل حساسیت مدل

آزمایش	وزن متغیر Y	وزن متغیر P	انحراف استاندارد Y	انحراف استاندارد P
١	١٠٠	٠	٠/٠٤٧٩	٠/٠٥٠٠
٢	٨٠	٢٠	٠/٠٤٨٩	٠/٠٤٦٦
٣	٦٠	٤٠	٠/٠٤٩٩	٠/٠٤٤٠
٤	٤٠	٦٠	٠/٠٥٠٩	٠/٠٤١٩
٥	٢٠	٨٠	٠/٠٥٢٠	٠/٠٤٠١
٦	٠	١٠٠	٠/٠٥٣١	٠/٠٣٨٦

مأخذ: محاسبات تحقیق

منحنی که این ترکیبات را نشان می‌دهد و به منحنی مرز سیاستی[1] معروف است، در نمودار (٣) آمده است.



نمودار (٣): منحنی مرز سیاستی برای متغیرهای Y و P

مأخذ: محاسبات تحقیق

هر دایره در نمودار فوق نشان دهنده یک بار حل مدل با وزن‌های ترکیبی در جدول (٣) می‌باشد. هر چقدر که وزن‌های یک متغیر کم می‌شود، انحراف استاندارد نقاط بدست آمده برای مسیرهای بهینه آن افزایش می‌یابد و برعکس. باید توجه داشت که شکل و موقعیت منحنی مرز سیاستی در نمودار (٣) به ساختار وزن‌های داده شده به متغیرهای وضعیت و کنترل بستگی دارد. بعنوان مثال هر چقدر وزن‌های متغیرهای سیاستی بطور کلی افزایش یابد، منحنی مرز سیاستی بطور پیوسته از مرکز فاصله گرفته و به طرف راست و بالا انتقال می‌یابد.

1. Policy Frontier

Archive of SID

www.SID.ir

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

تعیین سیاست‌های پولی و مالی بهینه همواره یکی از مهمترین وظائف سیاستگزاران و برنامه‌ریزان اقتصادی هر کشوری بوده است. بدین لحاظ آنها در پی دست‌یابی به هدف‌های بهینه خود بوسیله برنامه‌ریزی‌های میان‌مدت و بلندمدت می‌باشند. در مقاله حاضر ما نشان دادیم که چگونه مدل‌های اقتصاد ریاضی و بخصوص مسائل کنترل بهینه متعین به کمک مدل‌های معمول اقتصاد کلان آمده و توان تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی صاحب‌نظران را افزایش می‌دهد. همچنین نشان داده شد که در صورت بروز یک شوک منفی موقتی در خالص صادرات، در صورت عدم دخالت دولت و بانک مرکزی و عدم استفاده آنها از ابزارهای پولی و مالی مسیرهای بهینه نرخ بهره واقعی، نرخ ارز اسمی و سطح قیمت‌ها تا رسیدن به وضعیت باثبات خود دچار نوسانات شدیدی می‌شود. از طرف دیگر در صورت کنترل سیستم بوسیله سیاست‌های پولی و مالی، متغیرهای نامبرده از نوسانات بسیار کمتری برخوردارند.

هرچند موارد مطرح شده در این مقاله نیازمند مطالعات بیشتری در این حوزه می‌باشد، اما با توجه به یافته‌های این تحقیق پیشنهادهای زیر قابل طرح است. اول اینکه مراجع مربوطه مانند بانک مرکزی در کنار مدل‌های اقتصاد سنجی و تئوری‌های اقتصادی از مدل‌های اقتصاد ریاضی و بخصوص کنترل بهینه نیز در مطالعات و برنامه‌ریزی‌های خود استفاده نمایند. همچنین توصیه می‌شود دولت و بانک مرکزی در صورت بروز چنین شوک‌هایی برای جلوگیری از نوسانات شدید متغیرهای اقتصادی مانند نرخ تورم، نرخ ارز و غیره سیستم را بوسیله سیاست‌های پولی و بخصوص سیاست‌های مالی کنترل کنند چرا که یافته‌های تحقیق نشان داد اثرات ابزارهای مالی در خارج کردن اقتصاد از رکود قوی‌تر از ابزارهای پولیست.

دیگر اینکه علیرغم تلاش محققان در مطالعه حاضر، سوالات دیگری نیز در این حیطه مطرح است که بدون جواب باقی مانده است و خود می‌تواند تحقیقات بعدی را بدنبال داشته باشد. از جمله آنکه این مقاله از سیستم کنترل بهینه متعین استفاده نمود و به نتایج فوق الذکر رسید. اما با توجه به این نکته که این سیستم، مسأله نااطمینانی به شکل‌های گوناگون را در نظر نمی‌گیرد، بنابراین پیشنهاد می‌شود که تجزیه و تحلیل‌ها بوسیله یک سیستم کنترل بهینه تصادفی حل و تفسیر گردد.

منابع:

1. Abdi Rad, M. (2006), "Optimal Fiscal Policies In Iran: An Application of the Stochastic Optimal Control Algorithm", M.A. Thesis, University of Mazandaran.
2. Aoki, K. (2001), "Optimal Monetary Policy Responses to Relative Prices Changes", Journal of Monetary Economics, 48, pp. 55–80.
3. Asali, M. (1996), "Control of Foreign Commitments in Economic Growth: an application of the optimal control theory in a macroeconomic model", Journal of Planning and Budget, 7, pp.5-40.
4. Chiang , C.A. (1992), "Element of Dynamic Optimization", New York, McGraw–Hill.
5. Chow, G.C. (1970), "Optimal Stochastic Control of Linear Economic Systems", Journal of Money and Credit Banking, 1, pp. 411–425.
6. Chow, G.C. (1973), "Problems of Economic Policy from the View Point of Optimal Control", American Economic Review, 63(5), pp. 25-48.
7. Chow, G.C. (1976), "Control Methods for Macroeconomic Policy Analysis", American Economic Review, 66(2), pp. 87-93.
8. Cooley F.T. and Quadrini, V. (2004), "Optimal Monetary Policy in a Phillips-curve world", Journal of Economic Theory, 118(2), pp.174-208.
9. Corsetti G. and Pesenti, P. (2005), "International Dimensions of Optimal Monetary Policy, Journal of Monetary Economics, 52(2), pp. 281-305.
10. Damjanovic, T., Vladislav, D. and Charles, N. (2008), "Unconditionally Optimal Monetary Policy", Journal of Monetary Economics, 55(3), pp. 491-500.
11. Dargahi, H. and Sharbatoghli, R. (2011), "Monetary Policy Role in Case of Inflation Persistency of Iran: An Optimal Control Approach", Economic Research, 45(93), 1-27.
12. Fisher, W.D. (1962), "Estimation in the Linear Decision Model", International Economic Review, 3, pp. 1–29.
13. Hall, R.E. and Taylor, J.B. (1997), "Macroeconomics", New York, W.W. Norton & Company.
14. Holt, C.C. (1962) , "Linear Decision Rules for Economic Stabilization and Growth", Quarterly Journal of Economics, 76, pp. 20–45.
15. Hoseininasab, S.E. and Hazeri Niri, H. (2012), "Computable General Equilibrium Analysis of the Effect of Energy Carrier's Subsidies Reform on Inflation and GDP", Quarterly Journal of

Archive of SID

www.SID.ir

wa-Lucas Model with Dynamic Optimal Control", Quarterly Journal of Quantitative Economics, 8(1), pp. 147-172.
31. Prescott, E.C. , (1971) , "Adaptive Decision Rules for Macroeconomic Planning, West. Econ. J., 9, pp. 369–378.
32. Prescott, E.C. (1972), "The Multi-period Control Problem under Uncertainty, Econometrica", 40, pp. 1043–1058.
33. Rhee, H. and Turdaliev, N. (2012), "Optimal Monetary Policy in a Small Open Economy with Inflation and Output Persistence", Economic Modelling, 29, pp. 2533-2542.
34. Shakeri, A., Mohammadi, T. and Mousalou, Y. (2007), "Economic Policy Making of Development Plans in the Framework of an Optimal Control Model, Economic Research Review, 7(1), pp. 15-46.
35. Simon, H.A. (1956) , "Dynamic Programming under Uncertainty with a Quadratic Criterion Function, Econometrica, 24, pp. 74–81.
36. Svec, J. (2012), "Optimal Fiscal Policy with Robust Control, Journal of Economic Dynamics & Control, 36, pp. 349-368.
37. Tavakoli, A. and Shajari H. (2001), "The Effects of Foreign Trade Liberalization on Government Expenditure and Private Consumption in Iran, (Optimal Control Method)", Economic Research, 57, pp.31-59.
38. Taylor, J.B. (1999), "Monetary Policy Rules. University of Chicago Press, Chicago.
39. Theil, H. (1957), "A Note on Certainty Equivalence in Dynamic Planning", Econometrica, 25, pp. 346–349.
40. Tourki Aghda, A.(1989), Policy making of Iran macroeconomic models by optimal control theory, Master's Thesis, Isfahan University of Technology.
41. Tustin, A. (1953), "The Mechanism of Economic Systems", Harvard University Press, Cambridge.
42. Zellner, A. (1966), "On Controlling, and Learning about a Normal Regression Model", University of Chicago, School of Business, Chicago.

Economic Growth and Development, 2(7), pp. 125-148.
16. Jafari Samimi, A. and Tehranchian, A.M. (2004) , "The Effect of the Optimal Monetary and Fiscal Policies on Major Macroeconomic Indices in Iran: An Application of Optimal Control Theory, Economic Research , 65, pp. 213-242.
17. Johansen, L. (1960), "A Multi Sectoral Model of Economic Growth", North Holland Publishing Company, Amesterdam.
18. Kendrick, D.A. (2002), "Stochastic Control for Economic Models, Past, Present and the Paths Ahead", Texas: Austin.
19. Kendrick, D.A. and Taylor, L. (1970), "Numerical Solutions of Nonlinear Planning Models", Econometrica, 38(3), pp. 453–467.
20. Khalili Araghi, S.M., Shakouri, H. and Zanganeh M. (2009), "Optimal Monetary Policy for the Iranian Economy: an application of optimal control theory", Economic Research, pp. 44(88),69-94.
21. Leong W.T. (2011), "Inventories and Optimal Monetary Policy in a Small Open Economy", Journal of International Money and Finance, 30(8), pp. 1719-1748.
22. Nikolaeva V.B. and Neck D.B.R. (2012), "Optimal Control of Nonlinear Dynamic Econometric Models: An Algorithm and an Application", Computational Statistics and Data Analysis, 56, pp. 3230-3240.
23. Pascal, J.B. (2003), "Fiscal Policy and Optimal Monetary rules in a Non-Ricardian Economy", Review of Economic Dynamics, 6(3), pp. 498-512.
24. Petrella, I. and Emiliano, S. (2011), "Input–output Interactions and Optimal Monetary Policy", Journal of Economic Dynamics and Control, 35(11), pp. 1817-1830.
25. Phillips, A. (1954), "Stabilization Policy in a Closed Economy", Economic Journal, 64, pp. 290–323.
26. Phillips, A. W. (1957), "Stabilization Policy and the Time Form of the Lagged Responses, Economic Journal, 67, pp. 265–277.
27. Pindyck, R.S. (1972), "An Application of the Linear Quadratic Tracking Problem to Economic Stabilization Policy, IEEE Trans. Automatic Control, AC-17(3), pp. 287–300.
28. Pindyck, R.S. (1973a) , "Optimal Planning for Economic Stabilization, North-Holland, Amsterdam.
29. Pindyck, R.S. (1973b), "Optimal Policies for Economic Stabilization", Econometrica, 41(3), pp. 529–560.
30. Pourkazemi, M.H. and Lotfi, A. (2011), "Simulating the Economic Growth in Iran Using Uza-

Archive of SID

www.SID.ir