

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

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

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

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

دریافت: ۱۳۹۱/۷/۴ پذیرش: ۱۳۹۱/۸/۴

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.

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 وزنه‌های 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 وزنه‌های سیاستی بر ارتباط معکوس بین وزنه‌های سیاستی اعمال شده توسط سیاست‌گذاران 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.

* Assistant Professor, Payame Noor University.

Email: a-abolhasani@pnu.ac.ir

** Associate Professor, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.

Email: h_pourkazemi@yahoo.com.au

*** Associate Professor, Payame Noor University.

Email: asna_amiri@yahoo.com

**** Ph.D. Student in Economics, Payame Noor University.

Email: m_ehsanfar@yahoo.com

* 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

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 عقلانی و مدل‌های بهینه‌یابی^۱ 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^۲ و پویا^۳ مطرح می‌شود. نظریه کنترل بهینه^۴ 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^۵ با دوازده معادله که به شیوه جوهانسن^۶ آنها را خطی کرده و به فرم فضای حالت^۷ تبدیل می‌کند و دیگر با استفاده از مدل‌های کنترل بهینه قطعی^۸ آنرا حل خواهد نمود. مقاله چگونگی کاربرد مدل‌ها و تکنیک‌های اقتصاد ریاضی را در جهت حل مسائل رشد، تولید و تورم، نشان خواهد داد.

۲- پیشینه‌ی تحقیق

۱-۲- مطالعات خارجی

پیشینه بکارگیری مسائل تنوری کنترل توسط اقتصاددانان و یا مهندسان به دهه ۱۹۵۰ برمی‌گردد. از جمله کارهای اولیه میتوان به تحقیقات تاستین^۹ (۱۹۵۳)، فیلیپس^{۱۰} (۱۹۵۴ و ۱۹۵۷)، سیمون^{۱۱} (۱۹۵۶) و تایل^{۱۲} (۱۹۵۳) اشاره کرد. پیشگامان بعدی در این زمینه هولت^{۱۳} (۱۹۶۲)، فیشر^{۱۴} (۱۹۶۲) و زلنر^{۱۵} (۱۹۶۶) بودند. در دهه ۱۹۷۰ مطالعات بسیاری مانند چاو^{۱۶} (۱۹۷۰، ۱۹۷۳ و ۱۹۷۶)، کنسدریک و تیلور^{۱۷} (۱۹۷۰)، پرسکات^{۱۸} (۱۹۷۱ و ۱۹۷۲)، پیندیک^{۱۹} (۱۹۷۲ و ۱۹۷۳) و دیگران صورت گرفته است. در تمام این مطالعات توصیفی از مدل‌های متعین (غیرتصادفی)^{۲۰} بعمل آمده و مدل‌ها را به طرف تنوری کنترل تصادفی^{۲۱} سوق داده‌اند. همچنین می‌توان به تحقیقات زیر طی یک دهه گذشته اشاره کرد.

آوکی^{۲۲} (۲۰۰۱) مدل بهینه‌سازی 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^{۲۳} (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)

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

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: ۴۹۱).

ماتسینی و نیستیکو^۵ (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^۶ (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^۷ (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 (نارایدو و ناپوتسان، ۲۰۱۱: ص ۲۵۱).

کریتسو و همکاران^۸ (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای به سیاست‌های

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: ۴۹۸).

جی‌یو ایندر^۱ (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^۲ (۲۰۰۴) 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، ۲۰۰۴: ص ۱۷۴).

کروستی و پیستی^۳ (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 پیستی، ۲۰۰۵: ۲۸۱).

دمجانویک^۴ 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

5. Mattesini & Nisticò (2010)

6. Petrella & Santoro (2011)

7. Naraidoo & Raputsoane (2011)

8. Kryvtsov et al. (2011)

1. Guender (2003)

2. Cooley & Quadrini (2004)

3. Corsetti & Pesenti (2005)

4. Damjanovic et al. (2008)



سیاست های مالی بهینه با کنترل قوی به تجزیه و تحلیل نااطمینانی رفتار مصرف کننده تحت چارچوب مدل لوکاس پرداخته است. ایشان نشان می دهد که دولت چگونه میتواند با وارد کردن تابع مطلوبیت مصرف کننده در تابعی هدف خود، حد بهینه مالیات را بدست آورد (جاستین اسویک، ۲۰۱۲: ۳۴۹).

۲-۲- مطالعات داخلی

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

ترکی عقدا (۱۳۶۸) طی تحقیقی به سیاستگزاری مدل اقتصاد کلان ایران با استفاده از تئوری کنترل بهینه پرداخته است. ایشان با استفاده از سناریوهای متفاوت، بررسی های مختلفی را در رابطه با موضوع تحقیق انجام داده است (ترکی عقدا، ۱۳۶۸: ۱۰).

عسلی (۱۳۷۵) طی مقاله ای رشد اقتصادی کشور را در مقابل انباشت بدهی های 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، ۱۳۷۵: ۵).

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: ۵۵).

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

عبدی راد (۱۳۸۵) در پژوهشی با عنوان کنترل بهینه

پولی بهینه تحت بازارهای ناقص و نااطمینانی می پردازند. آنها با استفاده از روش کنترل بهینه نشان دادند که سیاست پولی بهینه می تواند با مدل های نسلهای هم پوش با فرض وجود عدم قطعیت یک تخصیص بهینه پرتو را تأمین نماید. همچنین آنها بیان داشتند که هدف از این سیاست، تثبیت نرخ پس انداز اقتصاد از طریق تغییر بازده واقعی اوراق قرضه اسمی بوسیله تغییر در نرخ تورم انتظاری است (کریستو و همکاران، ۲۰۱۱: ۱۰۴۵).

لنگوتیو^۱ (۲۰۱۱) در مطالعه ای تحت عنوان موجودی انبار و سیاست های بهینه در یک اقتصاد کوچک باز به بررسی چگونگی اثر سرمایه گذاری در موجودی انبار به طراحی سیاست های پولی بهینه در یک مدل کینزی جدید پرداخت. ایشان با انجام یک تحلیل حساسیت نشان داد که تحت یک سیستم قیمت گذاری، زمانی که کشش جانشینی کوچکتر از یک است، سیاست های پولی بهینه در مدل طراحی شده به همراه موجودی انبار با یک مدل استاندارد بدون موجودی یکسان بوده و در غیر این صورت هر مدل نتایج متفاوتی را نشان خواهند داد (لنگوتیو، ۲۰۱۱: ۱۷۱۹).

رهی و تاردالیو^۲ (۲۰۱۲) طی تحقیقی با عنوان سیاستهای پولی بهینه در یک اقتصاد باز کوچک به همراه تولید و تورم پایدار و با استفاده از مدل های 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: ۲۵۳۳).

نیکولوویا و نک^۳ (۲۰۱۲) طی مقاله ای کاربرد الگوریتم OPTCON که در C# برنامه نویسی شده است را برای اقتصاد اسلونی 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^۴ (۲۰۱۲) در مطالعه خود تحت عنوان

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

بهبود 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: ۱۴۷).

۳- ساختار و روابط مدل

۳-۱- مدل کنترل بهینه

رهیافتی که پژوهش حاضر از آن بهره می‌جوید، رهیافت کنترل بهینه است. معمولاً 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 سیاست‌گذاران 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 نااطمینانی را در معادلات خود وارد نمی‌کند، اما کنترل تصادفی اثرات نااطمینانی 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. از آنجا که اکثر مسائل اقتصاد کلان که پایه معادلات سیستمی این تحقیق بر آن بنا شده، 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 $(u_0, u_1, \dots, u_{N-1})$ است. این بردار برای حداقل کردن تابعی هدف درجه دوم زیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

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 (۱۳۸۶) به بررسی سیاست‌گذاری 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 سیاست‌گذاران 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، ۱۳۸۶: ۱۵).

خلیلی عراقی و همکاران (۱۳۸۸) با بکارگیری تئوری کنترل بهینه به تعیین قاعده بهینه سیاست پولی برای اقتصاد ایران با این فرض که سیاست‌گذار از نرخ بهره به عنوان ابزار سیاستی استفاده می‌کند، پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که رفتار بهینه سیاست‌گذار این است که نرخ بهره را در پاسخ به نوسان مثبت تورم، تولید و حجم پول افزایش، و در پاسخ به شوک تکنولوژی کاهش می‌دهد (خلیلی عراقی و همکاران، ۱۳۸۸: ۶۹).

درگاهی و شربت اوغلی (۱۳۸۹) در مقاله‌ای با استفاده از تئوری کنترل بهینه به تعیین قاعده 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



$$X_{K+1} = A_K X_K + B_K U_K + C_K + \xi_k \quad (3)$$

$$K = 0, 1, \dots, N-1$$

که در آن فرض می‌شود ξ_k دارای توزیع نرمال با میانگین صفر و کواریانس Q بوده و نیز ناهمبسته پیاپی می‌باشد. یعنی:

$$E\{\xi_k\} = 0, \quad E\{\xi_k \xi_k'\} = Q, \quad E\{\xi_k \xi_{k'}'\} = 0, k \neq k'.$$

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) می‌باشد. 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.

۴- تخمین و برآورد مدل

۴-۱- خطی سازی و کالیبره کردن مدل

اکنون مدل فوق را بوسیله روش جوهانسن^۱ به یک مدل پویای خطی تبدیل کرده که هر متغیر به صورت انحراف درصدی از ارزش وضعیت یکنواخت^۲ خود تعریف می‌شود. بعنوان مثال اگر داشته باشیم:

$$x = y + z \quad (4)$$

خواهیم داشت:

$$dx = dy + dz \quad (5)$$

$$\frac{dx}{x} = \frac{dy}{x} + \frac{dz}{x} \quad (6)$$

$$\frac{dx}{x} = \frac{y}{x} * \frac{dy}{y} + \frac{z}{x} * \frac{dz}{z} \quad (7)$$

$$x^* = s_y y^* + s_z z^* \quad (8)$$

$$J = \frac{1}{2} [x_N - x_N^*] W_N^# [x_N - x_N^*] + \sum_{k=0}^{N-1} \left(\frac{1}{2} [x_N - x_N^*] W_N^# [x_N - x_N^*] + \frac{1}{2} [u_k - u_k^*] \Lambda_k^# [u_k - u_k^*] \right)$$

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

$$x_{K+1} = A_K x_K + B_K u_K + c_K \quad (2)$$

$$K = 0, 1, \dots, N-1$$

و بالاخره برای شرایط اولیه، x_0 داده شده فرض می‌شود.

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 مینیم 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 ξ_k اضافه شود، آنگاه یکی از انواع مسائل کنترل تصادفی رخ خواهد داد. بنابراین محدودیت مسأله در کنترل تصادفی به صورت زیر ظاهر می‌شود:

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



وضعیت یکنواختش را دارد. بعد معادلات را خطی کرده و مدل را به فرم ماتریسی می‌نویسیم سپس مدل را برای تبدیل معادلات به فرم خلاصه شده حل می‌کنیم که معادلات تفاضلی مرتبه سوم خواهد بود و سرانجام سیستم معادلات را به مرتبه یک تقلیل می‌دهیم تا به صورت فرم فضا-حالت ظاهر شود. سیستم معادلات حاضر شده به عنوان محدودیت، وارد یک مدل کنترل بهینه خواهد شد.

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 صورت $s_y = \frac{y_{ss}}{y_{ss} + z_{ss}}$ و $s_z = \frac{z_{ss}}{y_{ss} + z_{ss}}$ می‌باشد و اندیس ss بمعنی ارزش وضعیت یکنواخت هر یک از متغیرهاست. اکنون دوازده معادله مدل را با جایگزاری به چهار معادله تبدیل می‌کنیم بطوریکه Y^* ، R^* ، P^* و E^* حاصل شود که نشان ستاره دلالت بر انحراف درصدی هر متغیر از ارزش

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

ردیف	توضیحات	معادلات	بخش				
۱	معادله تعریفی تولید ناخالص داخلی	$Y = C + I + G + X$	معادلات IS-LM				
۲	درآمد قابل تصرف	$YD = (1-t)Y$					
۳	مخارج مصرفی	$C = \alpha + bYD$					
۴	مخارج سرمایه گذاری	$I = e - dR$					
۵	تقاضای پول	$\frac{M}{P} = kY - hR$					
۶	تورم انتظاری	$\pi^e = \alpha\pi_{t-1} + \beta\pi_{t-2}$	انتظارات و منحنی فیلیپس				
۷	نرخ تورم	$\pi = \pi^e + f\left(\frac{Y_t - Y_N}{Y_N}\right)$					
۸	سطح عمومی قیمت ها	$P = P_{t-1}(1 + \pi)$					
۹	نرخ ارز واقعی	$\frac{E^* P}{P_W} = q + vR$	بخش خارجی				
۱۰	خالص صادرات	$X = g - mY - n\frac{E^* P}{P_W}$					
۱۱	کسری بودجه دولت	$GD = G - tY$	دولت و بیکاری				
۱۲	نرخ بیکاری	$U = U_N - \mu\left(\frac{Y_t - Y_N}{Y_N}\right)$					
پارامترها							
$a = 220$	$b = 0/7754$	$d = 2000$	$e = 1000$	$f = 0/8$	$g = 600$	$h = 2000$	$k = 0/158$
$m = 0/1$	$n = 100$	$q = 0/75$	$t = 0/1875$	$v = 5$	$\alpha = 0/4$	$\beta = 0/2$	$\mu = 0/33$

مأخذ: هال و تیلمور، ۱۹۹۷

جدول (۲): متغیرهای به کار رفته در مدل

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



مأخذ: محاسبات تحقیق

چهار معادله خطی سازی شده به روش جوهانسن به صورت

(۱۶)

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

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

اکنون کافیسست بردارهای جدیدی به صورت زیر تعریف کنیم:

$$XL = X_{-1} \quad (۱۷)$$

$$XLL = XL_{-1} = X_{-2} \quad (۱۸)$$

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:

(۲۰)

$$x = Ax_{-1} + BU + CV$$

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 قسمت قبل است. بنابراین مسأله تحقیق حداقل کردن تابعی هدف معادله (۱) با توجه به محدودیت معادله (۲۰) می باشد. ماتریس های A، B و C فوق برای سیستم معادلات به صورت زیر محاسبه شده و بدست آمده اند.

$$A = \begin{bmatrix} -0.3460 & -0.0606 & 0 & 0 & 0.0087 & 0 & 0 & 0 & 0.0087 & 0 \\ 7.8110 & 1.3669 & 0 & 0 & -1.9530 & 0 & 0 & 0 & -1.9530 & 0 \\ 0.8 & 0 & 1/4 & 0 & 0 & -0.2 & 0 & 0 & -0.2 & 0 \\ 1/154 & 0 & 2.019 & 0 & 0 & -0.2880 & 0 & 0 & -0.2880 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

زیر می باشد:

(۹)

$$Y^* = -sa_{12}R^* - sa_{13}P^* - sa_{14}E^* + sb_{12}G^* + sc_{12}Pw^* \quad (۱۰)$$

$$R^* = -sa_{21}Y^* - sa_{23}P^* + sb_{21}M^* \quad (۱۱)$$

$$P^* = sa_{131}Y_{t-1}^* + sa_{133}P_{t-1}^* + sa_{233}P_{t-2}^* + sa_{333}P_{t-3}^* + sc_{31}YN^* \quad (۱۲)$$

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

۴-۲- قید مسأله تحقیق

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

(۱۳)

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

که در آن بردار متغیرهای وضعیت (X)، متغیرهای کنترل (U) و

متغیرهای برونزای غیر کنترل (V) به صورت زیر است:

(۱۴)

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

و داریم:

(۱۵)

$$SA = \begin{bmatrix} 1 & sa_{12} & sa_{13} & sa_{14} \\ sa_{21} & 1 & sa_{23} & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & sa_{42} & sa_{43} & 1 \end{bmatrix}, \quad SA1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ sa_{131} & 0 & sa_{133} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$SA2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & sa_{233} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad SA3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & sa_{333} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

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

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

داشت:

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.

$$B = \begin{bmatrix} -0.433 & 0.231 \\ -9.763 & 4.386 \\ 0 & 0 \\ -2.442 & 1.097 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad C = \begin{bmatrix} 0.346 & 0 \\ -7.811 & 0 \\ -0.800 & 0 \\ -1.154 & 1 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}$$

۴-۳- حل مدل

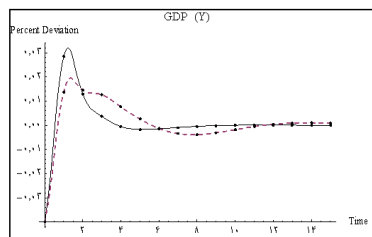
در معادله (۱) ماتریس‌های W و Λ ، ماتریس‌های وزنی متقارن معین مثبت به ترتیب روی انحراف متغیر وضعیت و متغیر کنترل از مسیر مطلوبشان می‌باشند. اعمال این وزنها به فروض سیاست‌گذاران در ارتباط با هر بسته سیاستی بستگی دارد. در اینجا فرض می‌شود که سیاست هدف، تثبیت Y^* ، R^* ، P^* و E^* اطراف ارزشهای وضعیت یکنواختشان می‌باشد. حال فرض می‌شود که یک شوک منفی موقتی در خالص صادرات، باعث شود که Y به میزان ۴٪ پایین‌تر از وضعیت یکنواخت خود قرار گیرد. اگر چنین شود این سؤال مطرح می‌شود که مسیرهای بهینه برای متغیرهای سیاستی یعنی مخارج دولتی (G) و حجم پول (M) برای برگرداندن GNP به وضعیت پائین‌باش چیست؟

سؤال دیگر اینست که اگر سیستم با چنین شوک‌هایی 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؟

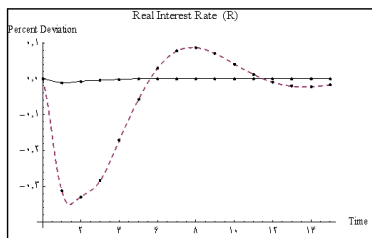
برای پاسخگویی به این سئوالات، مسأله دو بار در شرایط کنترل متعین حل شده است. یکمرتبه معادله (۱) یعنی تابعی هدف نسبت به قید (۲۰) در صورت بروز شوک حل گردیده است و بار دیگر همان مسأله با صفر قرار دادن انحرافات درصدی متغیرهای سیاستی از مقادیر یکنواختشان حل شده است. نمودار (۱) مقایسه مسیرهای بهینه‌ی متغیرهای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

در قسمت‌های (الف) تا (د) نمودار (۱) محورهای عمودی انحرافات درصدی هر یک از متغیرها نسبت به وضعیت پائین‌باششان را

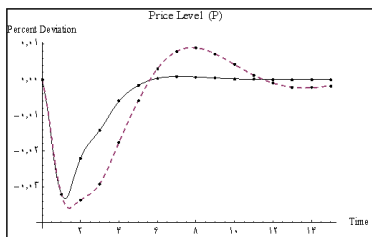
قسمت (الف)



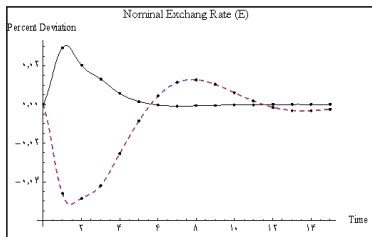
قسمت (ب)



قسمت (ج)



قسمت (د)



نمودار (۱): مسیرهای بهینه متغیرهای وضعیت Y ، R ، P و E در مقابل مسیرهای

مستقل آنها

مأخذ: محاسبات تحقیق

در نمودار (۱) مسیرهای مستقل متغیرهای وضعیت که با خطوط نقطه چین مشخص شده‌اند، چرا چنین رفتار نوسانی را

۴-۴- تحلیل حساسیت مدل نسبت به وزن‌های سیاستی

با توجه به تابعی هدف (۱) 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 (۳) آمده است. این ترکیبات از وزن‌های بالا برای (Y) و وزن‌های پائین برای (P) شروع می‌شود و تا عکس این ترکیب ادامه می‌یابد.

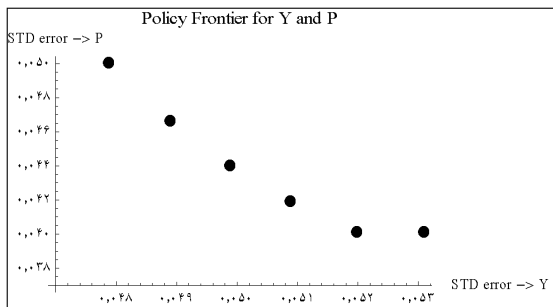
جدول (۳): ترکیبات وزنی مختلف و انحراف استاندارد متغیرهای P و Y

جهت تحلیل حساسیت مدل

آزمایش	وزن متغیر Y	وزن متغیر P	انحراف استاندارد Y	انحراف استاندارد P
۱	۱۰۰	۰	۰/۰۴۷۹	۰/۰۵۰۰
۲	۸۰	۲۰	۰/۰۴۸۹	۰/۰۴۶۶
۳	۶۰	۴۰	۰/۰۴۹۹	۰/۰۴۴۰
۴	۴۰	۶۰	۰/۰۵۰۹	۰/۰۴۱۹
۵	۲۰	۸۰	۰/۰۵۲۰	۰/۰۴۰۱
۶	۰	۱۰۰	۰/۰۵۳۱	۰/۰۳۸۶

مأخذ: محاسبات تحقیق

منحنی که این ترکیبات را نشان می‌دهد و به منحنی مرز سیاستی^۱ معروف است، در نمودار (۳) آمده است.



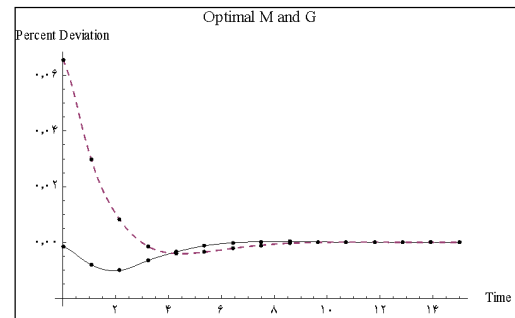
نمودار (۳): منحنی مرز سیاستی برای متغیرهای P و Y

مأخذ: محاسبات تحقیق

هر دایره در نمودار فوق نشان دهنده یک بار حل مدل با وزن‌های ترکیبی در جدول (۳) می‌باشد. هر چقدر که وزن‌های یک متغیر کم می‌شود، انحراف استاندارد نقاط بدست آمده برای

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 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 شده‌اند. در قسمت (الف)، GDP به سرعت از ۴٪ زیر وضعیت یکنواخت به ۳٪ 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 ۶ درصدی در متغیر کنترل (G) باشد که مسیر بهینه آن در نمودار (۲) مشاهده می‌شود.



نمودار (۲): مسیرهای بهینه متغیرهای کنترل M و G

مأخذ: محاسبات تحقیق

همچنین مسیر نرخ بهره واقعی بهینه تقریباً بدون تغییر مانده است، این در حالی است که مسیر مستقل آن حدوداً ۳۵٪ کاهش یافته است. این ثبات می‌تواند ناشی از افزایش (G) [نمودار (۲)] 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 (۲) 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.

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 فوق‌الذکر رسید. اما با توجه به این نکته که این سیستم، مسأله ناطمینیان 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.

مسیرهای بهینه آن افزایش می‌یابد و برعکس. باید توجه داشت که شکل و موقعیت منحنی مرز سیاستی در نمودار (۳) 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.

۵- نتیجه‌گیری و پیشنهادات

تعیین سیاست‌های پولی و مالی بهینه همواره یکی از مهمترین وظایف سیاست‌گذاران 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 اقتصادسنجی 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.



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 Uzawa-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.
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 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, Amsterdam.
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.