فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادیِ کاربردی ایران
سال پنجم، شماره‌ی ۱۸، تابستان ۱۳۹۵
صفحات: ۱-۳۴

نظریه بازی‌ها و نقش آن در تعیین سیاست‌های بهینه در تقابل استراتژیک بین سیاست‌گذار پولی و مالی (کاربردی از نظریه بازی‌های دیفرانسیلی و استاکلبرگ)

داود محمودی‌نیا[۱*]
رحیم دلالی‌اصفهانی[۲]
جکوب انجوردا[۳]
رسول بخشی‌دستجردی[۴]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۷/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۲/۱۴

چکیده

در این مقاله چندین هدف دنبال می‌شود. در ابتدا به بررسی مفهوم نظریه بازی‌ها و چگونگی شکل‌گیری مفاهیم کاربردی و بنیادی آن پرداخته‌شده است و سپس این موضوع که چگونه کارهای فن نیومن و مورگن اشتاین (۱۹۴۴) و جان نش (۱۹۵۰-۱۹۵۳)، سبب شکل‌گیری نظریه بازی مدرن شد، مورد بررسی قرار می‌گیرد. با بررسی چگونگی ورود نظریه بازی در فضای اقتصاد کلان مدرن، متوجه دستاوردهای عظیمی می‌شویم؛ این دستاوردها را می‌توان مدیون کار کیدلند و پرسکات (۱۹۷۷) دانست. در این بررسی، دلیل اهمیت بازی‌های دیفرانسیلی برای ما روشن می‌شود. برای بررسی کاربردی این نحوه از تقابل استراتژیک، در ادامه مقاله، تلاش شده است در قالب بازی استاکلبرگ یا همان بازی رهبر- پیرو با ساختار اطلاعاتی حلقه باز و بازخورد در چارچوب مدل تابلینی (۱۹۸۶)، مدل تعادلی برای اقتصاد ایران را طراحی و شبیه سازی نماییم. نتایج نشان می‌دهد که سرعت همگرایی به سمت تعادل در بازی با اطلاعات حلقه باز بیش از بازی با اطلاعات بازخورد است و همچنین سطح بدهی تعادلی در وضعیت پایا در بازی با اطلاعات بازخورد کمتر از بازی با اطلاعات حلقه باز است. همچنین نتایج حاصل از این مدل نشان می‌دهد که در بازی رهبر پیرو بین دولت و بانک مرکزی، می‌توان سطح بدهی را به سطح هدف و مطلوب آن نزدیک کرد و حتی دولت می‌تواند با استفاده بهینه از درآمدهای نفتی، مانع از انتشار پول بیش از اندازه توسط بانک مرکزی شود.

کلیدواژه‌ها: نظریه بازی‌ها، بازی‌های دیفرانسیلی، بازی‌های استاکلبرگ، سیاست پولی و مالی، اقتصاد ایران

طبقه‌بندی JEL: C72، E52، E62، O53

۱. دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه اصفهان (*نویسنده مسئول) **Email:** davoud.mahmoudinia@gmail.com
۲. استاد گروه اقتصاد دانشگاه اصفهان **Email:** rateofinterest@yahoo.com
۳. دانشیار گروه اقتصاد و ریاضی دانشگاه تیلبرگ هلند **Email:** J.C.Engwerda@uvt.nl
۴. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه اصفهان **Email:** bakhshirasul@gmail.com

۱. مقدمه

نظریه بازی‌ها، یکی از مفاهیمی است که در طی دهه‌های اخیر به‌طور گسترده در شاخه‌های مختلف از علوم مانند علوم اقتصادی، علوم سیاسی، علوم نظامی، علوم زیست‌شناسی، علوم کامپیوتر و غیره مورد استفاده قرار گرفته است. سؤالی که مطرح می‌شود این است که چرا نظریه بازی تا این حد از اهمیت بالایی برخوردار است؟ اگر بخواهیم نگاه عمیقی به مفهوم نظریه بازی و تعاریفی که از آن شده است، داشته باشیم، متوجه می‌شویم که مفهوم نظریه بازی با تعاملات بشر و تقابلات افراد با یکدیگر در ارتباط است. افراد در تصمیم‌گیری‌های خود با حالت‌های تعاملی[۱] با دیگران (فعل و انفعال با دیگران) مواجه هستند و پیامدهای هر فرد یا گروهی از افراد نه تنها به تصمیم‌گیری‌ها و رفتار خود فرد یا گروه بستگی دارد بلکه به رفتارها و تصمیم‌های افراد دیگر هم وابسته هست؛ یعنی برخلاف مدل‌های اقتصاد رقابتی کلاسیک و نئوکلاسیک که در آن هر فرد به‌دنبال حداکثر کردن مطلوبیت خود می‌باشد، نظریه بازی بیان می‌کند که افراد به‌راحتی نمی‌توانند به‌دنبال حداکثر کردن مطلوبیت فردی خودشان باشند، زیرا تصمیمات و رفتارهای هر فرد، به تصمیمات و عکس‌العمل‌های دیگر افراد هم وابسته است. این همان دلیلی که مورگن اشتاین[۲] را واداشت تا به‌همراه فن نیومن[۳] کتاب مشهور «نظریه بازی و رفتار اقتصادی» (۱۹۴۴) را به رشته تحریر درآورند. از دیدگاه مورگن‌اشتاین، اقتصاد شامل هر دو متغیر «مرگ» و «زندگی» است که در آن ارزش متغیر «مرگ» توسط طبیعت تعیین می‌شود، درحالی‌که ارزش «زندگی» از طریق رفتارها و تعاملات افراد با یکدیگر تعیین می‌شود.

تعاریف مختلفی در ارتباط با نظریه بازی‌ها توسط اندیشمندان بیان شده است. به‌عنوان‌مثال، برون[۴] (۲۰۰۵) بیان می‌کند که نظریه بازی شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی است که برای بررسی رفتار اجتماعی بشر، تقابل استراتژیک و منطق تضاد میان بشر به کار گرفته می‌شود. کارمایکل[۵] (۲۰۰۵) بیان می‌کند که نظریه بازی یک نوع تکنیک مورد استفاده برای تجزیه‌وتحلیل وضعیت‌هایی در ارتباط با دو یا چند فرد می‌باشد که در آن، پیامدهای ناشی از رفتارهای یک فرد، نه تنها به رفتارهای ایجادشده از خود فرد، بلکه به رفتارهای شکل گرفته شده توسط افراد دیگر هم وابسته است. اسبرن و رابین اشتاین[۶] (۱۹۹۴)، در کتابشان بیان می‌کنند نظریه بازی جعبه‌ای[۷] از ابزارهای تجزیه‌وتحلیل است که به ما کمک می‌کند تا پدیده‌هایی که از طریق تقابل بین تصمیم‌گیرندگان عقلایی مشاهده می‌کنیم را درک کنیم. ماسچلر،

1. Interactive
2. Morgenstern
3. Von Neumann
4. Bruin
5. Carmichael
6. Osborne and Rubinstein
7. Bag

سولان و زمیر[1] (۲۰۱۳) بیان می‌کنند نظریه بازی متدولوژی است که از ابزارهای ریاضی برای مدل‌سازی و تجزیه‌وتحلیل وضعیت‌هایی که شامل چندین تصمیم‌گیرنده (بازیکنان) می‌باشد، استفاده می‌کند. همان‌طور که از تعاریف مشخص است، یک اشتراک نظر در بسیاری از تعاریف وجود دارد و آن این است که نظریه بازی‌ها چیزی جز تئوری تصمیم در شرایط تعاملی نیست و این همان مفهومی است که در میان نظریه‌پردازان در نظریه بازی مورد توافق است.

از طرفی این سؤال در ذهن پدیدار می‌شود که چه ارتباطی بین نظریه بازی و علم اقتصاد وجود دارد. رابینس (۱۹۳۲) اقتصاد را این‌طور تعریف می‌کند: «اقتصاد، علم مطالعه و بررسی رفتار بشر در خصوص ارتباط بین منابع کمیاب که استفاده‌های متنوعی دارند با محصول نهایی است». اندیشمندان نظریه بازی از جمله وان دام[2] (۲۰۱۴) اقتصاد را آن‌طوری که در تعریف رابینس آمده تعریف کرده اما تنها تفاوت تعریف او این است که به‌جای «رفتار بشر» از «تقابل بشر[3]» استفاده کرده است؛ یعنی اقتصاد چیزی جز تقابل افراد با یکدیگر نیست. در اینجا وجود حداقل دو فرد در این تقابل و مبادله لازم و ضروری است. در بخش‌های قبل در ارتباط با مفهوم نظریه بازی، از تعاملات بشر و تقابلات افراد استفاده کردیم. این دو تعریف می‌تواند نشان دهد که چه ارتباط تنگاتنگی بین مفهوم اقتصاد و نظریه بازی در قالب مفهوم تقابل بشر، وجود دارد. البته این حقیقت درست است که هر دوی اقتصاد و نظریه بازی در ارتباط با تقابل بشر بحث می‌کنند، اما باید این نکته را توجه داشت که کاربردهای نظریه بازی گسترده‌تر است و شامل تقابل بین حیوانات و مولکول‌ها و غیره نیز می‌شود.

نظریه بازی‌ها، متفاوت از بهینه‌سازی است؛ در بهینه‌سازی یک بازیکن منفرد وجود دارد که به‌دنبال حداکثر کردن پیامدهای نهایی‌اش است. اگر بخواهیم دقیق‌تر بگوییم، این فرد به‌دنبال بیشینه کردن تابع هدف نسبت به برخی قیود می‌باشد. در اینجا معنی و مفهوم «تصمیم بهینه[4]» واضح و مشخص است؛ اما در چارچوب تصمیم‌گیری‌های تعاملی یا تصمیم‌گیری چندنفره (نظریه بازی‌ها)، مفهوم تصمیم‌گیری بهینه نامشخص است و هیچ فردی به‌طور کامل به دنبال کنترل کردن پیامدهای نهایی نیست بلکه در این فرآیند، افراد به دنبال «مفاهیم راه حل[5]» و بررسی خصوصیات این راه‌حل‌ها می‌باشند. همچنین نظریه بازی‌ها از بهینه‌سازی با چندین تابع هدف نیز که شامل یک بازیکن و پیامدهای متعدد است، متفاوت است. شاخه‌ای دیگر از نظریه بازی وجود دارد که در ارتباط با تصمیم‌گیران متعدد[6] با برد

1. Maschler; Solan, and Zamir
2. Von Damme
3. Human interaction
4. Optimal decision
5. Solution concepts
6. Multiple decision makers

مشترک می‌باشد که به تئوری تیم[1] شناخته‌شده است. این تقسیم‌بندی را می‌توان در جدول (۱) مشاهده کرد (بااوسو[2]، ۲۰۱۴: ۱).

جدول ۱: جایگاه نظریه بازی

	یک پیامد	**N پیامد**
۱ بازیکن	بهینه‌سازی	بهینه‌سازی با چندین تابع هدف
N بازیکن	تئوری تیم	نظریه بازی‌ها

نقش مهم نظریه بازی در اقتصاد و به‌خصوص در اقتصاد کلان مدرن به‌وضوح قابل‌رؤیت است. از دهه ۷۰ و ۸۰، نظریه بازی‌ها نقش مهمی در تجزیه و تحلیل‌های اقتصاد کلان، به‌خصوص در ارتباط با تقابل استراتژیک بین نهادهای اقتصادی و تصمیم‌گیری‌های این نهادها داشته است، در مکتب اقتصاد کلاسیک جدید از دهه ۸۰، کار بزرگ کیدلند و پرسکات در ارتباط با بازی بین بانک مرکزی و کارگزاران اقتصادی و سیاست‌های صلاحدیدی و قاعده‌مند به‌وضوح قابل نمایان است. هدف ما در این مقاله این است تا به‌طور مختصر دستاوردهای بنیادی در نظریه بازی را مورد بررسی قرار دهیم و سپس به این موضوع بپردازیم که چگونه نظریه بازی‌ها به‌طور کاربردی، وارد فضای اقتصاد کلان مدرن شده و کدام دستاوردها نقش مهمی در آن داشته است. همچنین در ادامه به بررسی یکی از کاربردی‌ترین شاخه‌های نظریه بازی با نام نظریه بازی‌های پویای دیفرانسیلی[3] که نقش مهمی در ارتباط با تقابل استراتژیک بین سیاست‌گذارن پولی و مالی دارد خواهیم پرداخت و کاربرد این تئوری را برای اقتصاد ایران مورد بررسی قرار خواهیم داد.

۲. دستاوردهای بزرگ در نظریه بازی‌ها

این موضوع در میان تئوریسین‌های نظریه بازی مورد توافق است که اولین تجزیه‌وتحلیل رسمی در ارتباط با نظریه بازی با کتاب مشهوری که توسط فن نیومن و مورگن‌اشتاین با عنوان «نظریه بازی و رفتار اقتصادی» در سال ۱۹۴۴ منتشر شد، رخ داد. بعد از آنان، جان نش[4] در بین سال‌های ۱۹۵۰–۱۹۵۳ با نوشتن چهار مقاله بنیادی، نقش مهمی در توسعه نظریه بازی ایفا کرد؛ اما بااین‌حال دیدگاه و نظرات متفاوتی در ارتباط با تاریخچه نظریه بازی‌ها وجود دارد و اندیشمندان، هر یک بر اساس تحقیقات خود، نظریات متفاوتی در ارتباط با شکل‌گیری آن دارند. به‌عنوان‌مثال مارتین

1. Team theory
2. Bauso
3. Differential dynamic game theory
4. John Nash

اسبورن[1] (۲۰۰۰) نویسنده کتاب «مقدمه‌ای بر نظریه بازی» به‌طور مختصر در ارتباط با تاریخچه نظریه بازی‌ها بیان می‌کند که «برخی از تفکرات در نظریه بازی را می‌توان به قرن ۱۸ نسبت داد، اما توسعه اصلی آن از دهه ۱۹۲۰ با کار ریاضی‌دان امیل برول[2] (۱۸۷۱-۱۹۵۶) و همچنین فن نیومن (۱۹۰۳-۱۹۵۷) شروع می‌شود؛ اما اتفاق مهم در توسعه نظریه بازی، همان کتابی است که توسط فن نیومن و مورگن اشتاین منتشرشده است. مدل‌های نظریه بازی‌ها در دهه ۱۹۵۰ در تئوری اقتصادی و علوم سیاسی مورد استفاده قرار گرفت و روانشناسان هم شروع به بررسی این مهم کردند که چگونه رفتار بشر در بازی‌های آزمایشی[3] مورد بررسی قرار می‌گیرد. در دهه ۷۰ نظریه بازی ابتدا به‌عنوان ابزاری در زیست‌شناسی تکاملی[4] مورداستفاده قرار گرفت. نتیجتاً چارچوب نظریه بازی در تئوری خرد نفوذ پیدا کرد و در بسیاری از شاخه‌های دیگر از اقتصاد و دامنه عظیمی از علوم رفتاری و اجتماعی مورداستفاده قرار گرفت. جایزه نوبل سال ۱۹۹۴ در اقتصاد به سه تئوریسین نظریه بازی یعنی جان هارسنی[5]، جان نش و ریهار سلتن[6] اهدا شد» (مارتین اسبورن، ۲۰۰۰: ۳)؛ اما تا قبل از قرن بیستم، شاید بزرگ‌ترین دستاورد در نظریه بازی را می‌توان مدیون کارهای کورنو (۱۸۳۸) دانست. دیماند و دیماند[7] (۱۹۹۶) در کتابی با عنوان «تاریخچه نظریه بازی از شروع آن تا سال ۱۹۴۴» به‌طور مفصل به بررسی تاریخچه نظریه بازی‌ها تا قبل از دستاوردهای فن نیومن و مورگن اشتاین پرداختند. آنان بر این اعتقاد هستند که کورنو اولین شخصی بود که تجزیه‌وتحلیل دقیق از ساختار بازار ارائه کرد و آن را از جنبه نظریه بازی مورد بررسی قرار داد. آنان بیان می‌کنند که مباحث سال ۱۸۳۸ کورنو در مورد انحصار، انحصار دو جانبه فروش و انحصار مضاعف، به‌طور باورنکردنی نقش مهمی را در ریاضی‌سازی مسائل اقتصادی داشت. یکی از مباحث مهمی که در مورد انحصار دو جانبه، به‌طور مکرر در مفهوم تعادل در نظریه بازی، بعد از کورنو مورد استفاده قرار گرفته است بحث انحصار دوجانبه کورنو و تعادل نش- کورنو است. فریدمن[8] (۱۹۹۲) بیان می‌کند که شاید اولین تئوریسین بزرگ که تعادل غیرهمکارانه[9] را در چارچوب اقتصاد صنعتی بیان کرد کورنو باشد. توصیف کورنو از تعادل غیرهمکارانه همان تعریف مشترک توسط اقتصاددانان است: *ناتوانی بازیکنان برای ایجاد توافق الزام‌آور با یکدیگر.*

اما پایه و اساس نظریه بازی به‌عنوان علوم اجتماعی در کتاب «نظریه بازی‌ها و رفتار اقتصاد» که توسط ریاضی‌دان فن‌نیومن و اقتصاددان مورگن اشتاین در اواخر جنگ جهانی دوم (۱۹۴۴) در دانشگاه

1. Martin J. Osborne
2. Emile Borel
3. Experimental games
4. Evolutionary biology
5. John Harsanyi
6. Reinhard Selten
7. Dimand and Dimand
8. Friedman
9. Non cooperative

پرینستون منتشر شد، بنیان نهاده شد. فن نیومن (۱۹۰۳–۱۹۵۷) یک نابغه در فیزیک و ریاضی بود که دستاوردهای عظیمی در این زمینه‌ها داشت و از طرفی هم مورگن اشتاین (۱۹۰۲–۱۹۷۷) یک اقتصاددان بزرگ آلمانی بود. همان‌طور که آنان در کتاب خود بیان می‌کنند، فن نیومن در سال ۱۹۲۸ مقاله‌ای بنیادی در ارتباط با نظریه بازی‌ها منتشر می‌کند و کتابی که در سال ۱۹۴۴ نوشته‌شده است، نوعی تعمیم و بسط کارهایی است که فن نیومن در سال ۱۹۲۸ انجام داد. کاهن[1] در مقاله‌ای که در ارتباط با دریافت جایزه نوبل اقتصاد در سال ۱۹۹۴ می‌باشد، بیان می‌کند که این یک حقیقت تاریخی است که حمایت مالی اصلی برای تحقیق در نظریه بازی توسط آژانس نظامی آمریکا صورت گرفته است. اومن بیان می‌کند که: «کاربرد اصلی نظریه بازی درباره مسائل تاکتیکی نظامی مانند دفاع موشکی و غیره بود». فن نیومن یکی از اعضای اصلی پروژه مانهاتن[2] بود که این پروژه به تحقیق و توسعه در ارتباط با تولید اولین سلاح‌های اتمی بعد از جنگ جهانی دوم می‌پرداخت که با همکاری آمریکا، انگلستان و کانادا بین سال‌های ۱۹۴۲ تا ۱۹۴۶ در جریان بود. نظریه‌پردازان اقتصادی نظریه بازی، نظریات متفاوتی در ارتباط با دستاوردهای فن نیومن و مورگن اشتاین دارند؛ اما آنچه میان این نظریه‌پردازان مورد توافق است این است که بسیاری از مفاهیم مهمی که امروزه در نظریه بازی‌ها مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد ناشی از دستاوردهای مهم فن نیومن در مقاله او در سال ۱۹۲۸ و همکاری او با مورگن اشتاین و انتشار کتاب در سال ۱۹۴۴ می‌باشد. مفاهیمی از قبیل بازی‌های دونفره با جمع صفر، بازی‌ها در فرم گسترشی[3] و فرم نرمال[4]، بازی‌های همکارانه، مفهوم قضیه مینی ماکس، مفهوم راه حل و تعادل در این کتاب مطرح شده است. واتسون[5] (۲۰۰۸) بیان می‌کند که نظریه بازی‌ها با کار فن نیومن (۱۹۲۸) و همچنین ترکیب کار او با مورگن اشتاین در سال ۱۹۴۴، به یک‌رشته تخصصی تبدیل شد. در کتاب سال ۱۹۴۴ فن نیومن و مورگن اشتاین، به‌طور رسمی مفهوم فرم گسترشی از بازی (بر اساس درخت بازی) و فرم نرمال از بازی (بر مبنای استراتژیِ) که با مفهوم استراتژی مرتبط شده بود را تعریف کردند. آنها برای اولین بار یک طبقه‌بندی عمومی از بازی و همچنین تعریف راه‌حل‌ها و اثبات وجود[6] با استفاده از روش‌های نقطه ثابت[7] را ارائه دادند. آنها ایده تجزیه‌وتحلیل در ارتباط با این موضوع که چگونه بازیکنان از طریق ائتلاف[8] روی توافقات الزام‌آور می‌توانند مزیت کسب کنند را معرفی کردند. همچنین آنان تئوری مطلوبیت و تصمیم‌گیری تحت شرایط ریسکی را ارائه کردند (معیار مطلوبیت

1. Kuhn
2. Manhattan Project
3. Extensive form
4. Normal form
5. Watson
6. Existence
7. Fixed-point methods
8. Coalitions

انتظاری) (واتسون، ۲۰۰۸: ۱). میرسین[1] (۱۹۹۹)، به بررسی دستاوردهای فن نیومن (۱۹۲۸) و مورگن اشتاین می‌پردازد و به این نتیجه می‌رسد که سه دستاورد مهم در کارهای فن نیومن و مورگن اشتاین وجود دارد. این دستاوردها شامل: ۱- شرح کاملی از بازی در فرم نرمال و مفهوم استقلال استراتژی؛ ۲- قضیه مینی ماکس و ۳- استنتاج اکسیوماتیک از حداکثر کردن مطلوبیت انتظاری با استدلال جانشینی می‌باشد.

اما ایرادهایی هم به تئوری فن نیومن و مورگن اشتاین وارد شد. اول اینکه آنها برای بازی‌های با جمع غیرصفر هیچ راه‌حل عقلانی در غیاب توافقات الزام‌آور پیشنهاد نمی‌دهند. دوم اینکه در روش آنها هیچ راهی برای پیش‌بینی پیامد در ارتباط با مسئله چانه‌زنی دو بازیکن فراتر از منحنی قرار داد اجورث[2] (۱۸۸۱) پیش‌بینی‌نشده است. همچنین، آنها در تحلیل‌های خود بر روی مطلوبیت قابل‌انتقال[3] تکیه کرده‌اند. با ورود جان نش به دانشگاه پرینستون، بسیاری از نقایص در مدل‌های فن نیومن و مورگن اشتاین برطرف شد. نش کل ساختار نظریه بازی را مورد بـررسی مجدد قرار داد و به‌طور صحیح دسته‌بندی جدیدی از آن ارائه کرد.

جان نش نابغه ریاضی و برنده جایزه نوبل سال ۱۹۹۴ است که دستاوردهای بنیادی در نظریه بازی‌ها داشت. در دوره کوتاه‌مدت ۱۹۵۰-۱۹۵۳ جان نش چهار مقاله برجسته با عناوین «بازی‌های غیرهمکارانه»[4]، «بازی‌های همکارانه دو نفره»، «مسئله‌ی چانه‌زنی» و «نقاط تعادل در بازی‌های n نفره» منتشر کرد. او حداقل سه مفهوم بنیادی را در تئوری بازی‌ها بیان کرد:

۱- او تفاوت بین بازی همکارانه و غیرهمکارانه را بیان کرد. بازی‌های همکارانه بازی است که در آن بازیکنان می‌توانند به‌طور لازم‌الاجرا باهم توافق کنند. افراد می‌توانند به‌طور کامل خودشان را به استراتژی خاص متعهد کنند. در مقابل در بازی غیر همکارانه چنین تعهدی وجود ندارد.

۲- نش مفهوم نقطه‌های تعادلی در بازی غیرهمکارانه را معرفی کرد که امروزه به‌عنوان تعادل نش[5] شناخته می‌شود و چنین تعادلی در همه‌ی بازی‌های محدود وجود دارد.

۳- همچنین نش راه‌حل چانه‌زنی نش را به‌عنوان مفهوم راه‌حلی برای بازی‌های همکارانه دو نفره، ابتدا برای بازی‌ها با تهدیدهای ثابت[6] و بعد برای بازی‌ها با تهدیدهای متغیر[7] به‌کار برده است (متن سخنرانی جایزه نوبل، ۱۹۹۴: ۱۶۵). ون دام (۲۰۱۴) بیان می‌کند که سه دستاورد مهم توسط نش در

1. Myerson
2. Edgeworth
3. Transferable utility

۴. این مقاله عنوان رساله جان نش در مقطع دکتری بود.

5. Nash Equilibrium
6. Fixed threats
7. Variable threats

نظریه بازی‌ها ایجاد شد: ۱- در بازی غیرهمکارانه بحث تعادل نش؛ ۲- در نظریه بازی همکارانه راه‌حل چانه‌زنی نش و ۳- برنامه نش، برای پوشش شکاف بین تئوری همکارانه و غیرهمکارانه.

در سال ۱۹۹۴ جان نش به‌همراه جان هارسنی و ریهار سلتن موفق به دریافت جایزه نوبل شدند. این سه نفر برای تجزیه‌وتحلیل پیشگام در تعادل بازی‌های غیرهمکارانه مورد تقدیر قرار گرفتند. نش در تجزیه‌وتحلیل خود فرض کرده که بازیکنان اطلاعات کامل دارند: هر بازیکن نه تنها مجموعه رفتارهای خود و تابع مطلوبیت خودش را می‌داند، بلکه حتی از رفتارها و تابع مطلوبیت رقیب خودش نیز آگاه است. از این‌رو اطلاعات نه‌تنها کامل است بلکه متقارن هم می‌باشد. به‌هرحال غالباً اطلاعات به‌صورت نامتقارن وجود دارد: یک بازیکن چیزهایی می‌داند که بازیکن دیگر نمی‌داند. جان هارسنی روش هوشمندانه‌ای را برای مدل‌سازی چنین وضعیت‌هایی به‌عنوان بازی بیزین[1] پیدا کرد، به‌طوری‌که مفهوم تعادلی نش می‌توانست برای چنین وضعیت‌های به‌خوبی مورد کاربرد قرار گیرد. ریهارد سلتن این مسئله را نشان داد که به نظر نمی‌رسد تعادل کاندیدای خوبی برای راه‌حل عقلایی باشد. او مفهوم تعادل نش را از بازی ایستا به بازی‌های پویا[2] گسترش داد و مفهوم تعادلی مجددی را برای این نوع از بازی‌ها مطرح کرد. آنها تئوری در ارتباط انتخاب تعادل[3] را پیشنهاد کردند که در آن، تعادل نش منحصربه‌فردی را برای هر بازی انتخاب می‌کند. از این‌رو این تئوری، معیار کاملاً منطقی را ارائه می‌دهد که می‌تواند با رفتار واقعی مقایسه شود. به‌طور مختصر، چگونگی شکل‌گیری مفاهیم مهم در نظریه بازی را می‌توان در جدول زیر ملاحظه کرد.

1. Bayesian games
2. Dynamic games
3. Theory of equilibrium selection

جدول ۲: روند شکل‌گیری مفاهیم بنیادی در نظریه بازی‌ها

دوره	۱۹۱۰-۱۹۳۰	۱۹۳۰-۱۹۵۰	۱۹۵۰-۱۹۶۰	۱۹۶۰-۱۹۷۰	۱۹۷۰-۱۹۹۰
رویدادهای مهم	در سال‌های اولیه در این فاصله زمانی، نظریه بازی‌ها بیشتر شامل بازی‌های اکیداً رقابتی بود و بیشتر با نظریه بازی‌های دو نفره با جمع صفر مشهور شد.	رویداد برجسته در این دوران انتشار کتاب "نظریه بازی و رفتار اقتصادی" در دانشگاه پرینستون بود که توسط ریاضی‌دان فن نیومن و اقتصاددان مورگن اشتاین در سال ۱۹۴۴ نوشته شد.	دهه ۵۰ دوره‌ای از شور و هیجان در نظریه بازی بود. نظریه بازی‌ها در این دوران با کارهای جان نش در ارتباط با بازی‌های غیرهمکارانه و مسئله چانه‌زنی تبدیل به یک رشته شد.	دهه ۶۰ دهه‌ای از رشد بود. توسعه مفاهیمی مانند اطلاعات ناقص، بازی‌های ائتلافی با مطلوبیت غیرقابل‌انتقال، سبب کاربردی‌تر شدن نظریه بازی شد. همچنین مفاهیم بنیادی از قبیل دانش عمومی شکل گرفت. تئوری هسته، به‌طور گسترده توسعه یافت و برای اقتصاد بازار مورد استفاده قرار گرفت.	در این فاصله، مدل‌های سیاستی و اقتصاد سیاسی در چارچوب نظریه بازی به‌طور عمیق مورد مطالعه قرار گرفت. مدل‌های بازی غیرهمکارانه برای بسیاری از مدل‌های اقتصادی کاربردی شد. نظریه بازی‌ها در زیست‌شناسی، علوم کامپیوتر، روش‌شناسی، تخصیص هزینه، بکار گرفته شد.
رویدادهای مهم	البته این نوع از بازی‌ها در واقعیت برای کاربرد در اقتصاد و سیاست چندان مناسب نبود اما سبب شکل‌گیری مفاهیم اولیه در نظریه بازی‌ها شد.	انتشار این کتاب سرآغازی برای بررسی مدرن نظریه بازی‌ها شد و از فن نیومن و مورگن اشتاین به‌عنوان پایه گذاران نظریه بازی یاد می شود.	همچنین دستاوردهای شاپلی برای تعریف ارزش برای بازی‌های ائتلافی، کار میلنور با توسعه مدل بازی با زنجیره‌ای از بازیکنان و کشف معمای زندانی توسط تاکر، به‌عنوان مهمترین دهه در نظریه بازی شناخته شد.	مجموعه چانه‌زنی تعریف و بررسی شد. بازی با بازیکنان زیاد به‌طور عمیق مورد مطالعه قرار گرفت؛ و همچنین رابطه‌ی ماندگار نظریه بازی با اقتصاد ریاضی و تئوری اقتصادی در این دوران گسترده‌تر شد.	همچنین بسیاری از ژورنال‌هایی که در ارتباط با نظریه بازی می‌باشند در این دوران منتشر شد. تحقیقات مرکزی مهم در نظریه بازی، غیر از آمریکا و دانشگاه پرینستون به بقیه کشورها مانند فرانسه، هلند، ژاپن، انگلیس و هند هم منتقل شد.
مفاهیم	بازی‌های دونفره با جمع صفر	بازی‌های همکارانه	مفهوم تعادل و تعادل نش	بازی‌های ائتلاف با مطلوبیت غیرقابل‌انتقال	کاربرد در زیست‌شناسی
	مفهوم استراتژی	بازی در فرم ائتلاف	بازی‌های تصادفی و پویا	اطلاعات ناقص	پالایش تعادل استراتژیک
	فرم گسترشی بازی	مفهوم راه حل	بازی‌های تکراری	دانش عمومی	عقلانیت محدود
	مفهوم استراتژی بازیکن	سلطه (غالب)	معمای زندانی	مجموعه چانه‌زنی	محاسبه توزیعی
	مفهوم استراتژی تصادفی یا مختلط	مجموعه‌های با ثبات	مسئله‌ی چانه‌زنی (مبادله)	اصل هم ارزی	ثبات
	مفهوم عقلانیت فردی	مطلوبیت قابل‌انتقال و غیرقابل‌انتقال	مفهوم ارزش	بازیکنان زیاد	تخصیص هزینه
	قضیه مینی ماکس	مطلوبیت انتظاری و تئوری نقطه ثابت کاکوتونی	روش‌های اکسیوماتیک	هسته‌ی بازی‌ها محدود و بازارها	

۳. نقش نظریه بازی در اقتصاد کلان مدرن

بعد از آن‌که نظریه بازی به‌عنوان یک ابزار قدرتمند برای تجزیه‌وتحلیل تقابل استراتژی‌ها مورد استفاده قرار گرفت، اقتصاددانان به بهترین نحو از این ابزار برای بررسی تقابل بین سیاست‌های پولی و مالی در تعیین اهداف بهینه‌ی تورم، محصول و همچنین دست‌یابی به نرخ‌های پایدار از بدهی، کسری بودجه، انتشار پول و غیره استفاده کردند. می‌توان مقالات بنیادی که در ارتباط با سیاست پولی بهینه و تقابل استراتژی‌های بین دولت، بانک مرکزی و کارگزاران اقتصادی با استفاده از نظریه بازی‌ها، تاکنون منتشرشده است را دسته‌بندی کرد[۱]. دسته‌بندی اول را می‌توان مدیون کار بنیادی کیدلند و پرسکات[۲] (۱۹۷۷) در مقاله مشهورشان با عنوان «قواعد در مقابل صلاحدید: ناسازگاری زمانی برنامه‌های بهینه» دانست. این مقاله یک نقطه عطف در ارتباط با کاربرد نظریه بازی‌ها در بحث‌های سیاست پولی و مالی بهینه بود[۳]. دستاوردهای کیدلند و پرسکات در سال ۱۹۷۷ نگرش جدیدی در فضای اقتصاد کلاسیک‌های جدید ارائه کرد. آنان دو دستاورد مهم را معرفی کردند: یکی مسئله ناسازگاری زمانی و دیگر بحث سیاست‌گذاری پولی قاعده‌مند در مقابل سیاست پولی صلاحدید بود. آنان بیان کردند که اجرای سیاست پولی قاعده‌مند توسط مقام پولی به‌جای سیاست صلاحدیدی در یک بازی استراتژیک با کارگزاران بخش خصوصی آینده‌نگر و مطلع، می‌تواند نتایج مطلوبی برای اقتصاد داشته باشد. تحت این فروض، کیدلند و پرسکات نشان می‌دهند که سیاست‌گذاری دولت در ارتباط با مسئله ناسازگاری زمانی[۴] است. بعد این دستاورد بزرگ، مقالات بنیادی دیگری در جهت بسط و به چالش کشیدن این نظرات ارائه شد که مهمترین آنان را می‌توان در کارهای بزرگ بارو و گوردون[۵] (۱۹۸۳)، کانزونری[۶] (۱۹۸۵)، روگوف[۷] (۱۹۸۵)، آلسینا و تابلینی[۸] (۱۹۸۷) لوهمن[۹] (۱۹۹۲)، والش[۱۰] (۱۹۹۵) سونوسن[۱۱] (۱۹۹۷) و غیره مشاهده کرد. بارو و گوردون (۱۹۸۳) دو مقاله بنیادین منتشر کردند که در هر دوی این مقاله‌ها با پیروی از کار کیدلند و پرسکات در چارچوب نظریه بازی به‌دنبال راه‌حل‌هایی برای حل مسئله ناسازگاری

---

۱. این دسته‌بندی بر اساس مطالعات محقق این رساله شکل گرفته و شاید محققین و اساتید دیگر با مطالعه منابع دیگر دسته‌بندی دیگری از این موضوع را نشان دهند.

2. Kydland and Prescott

۳. البته لازم به ذکر است که افرادی همچون، دبرو (۱۹۵۲) در مقاله‌ای با عنوان «قضیه وجود تعادل اجتماعی»، ارو و دبرو (۱۹۵۴) با عنوان «وجود تعادل برای اقتصاد رقابتی» از راه‌حل‌هایی مشابه با راه حل تعادلی نش برای وجود تعادل در اقتصاد رقابتی استفاده کرده‌اند.

4. Time inconsistency problem
5. Barro and Gordon
6. Canzoneri
7. Rogoff
8. Alesina and Tabellini
9. Lohmann
10. Walsh
11. Svensson

زمانی در مواجه با سیاست‌های صلاحدید و قاعده‌مند بودند. مقاله اول بارو و گوردون شامل یک مدل ساده از سیاست پولی با ویژگی ناسازگاری زمانی در ارتباط با سیاست بهینه است. مفهوم اصلی در این مدل این است که اگر سیاست‌گذار پولی فاقد توانایی برای پیش تعهد و یا اعتبار باشد، نرخ تورم بیش از حد است. آنان نشان می‌دهند در این چارچوب، تورش تورمی در تعادل صلاحدیدی غالب می‌شود و جهت واقعی اقتصاد یا نرخ بیکاری بدون تغییر باقی می‌ماند. این وضعیت از جنبه اجتماعی ناکارا تلقی می‌شود. نتایج دستاوردهای کیدلند- پرسکات (۱۹۷۸) و مقاله اول بارو-گوردون (۱۹۸۳) نشان می‌دهد که سیاست‌های پولی صلاحدیدی می‌تواند سبب تورم در سطح بالا و ناکارآمدی و تورش تورمی شود و این سؤال را در ذهن مطرح می‌کند که چه راه‌حل‌هایی را می‌توان برای مقابله با آن در نظر گرفت. از این‌رو اقتصاددانان مانند بارو و گردون (۱۹۸۳)، روگوف (۱۹۸۵)، والش (۱۹۹۵)، کانزوری (۱۹۸۵) و غیره راه‌هایی برای حذف مسئله ناسازگاری زمانی کشف کردند. این راه‌حل‌ها در ارتباط با مسئله «شهرت[1]»، «واگذاری[2]» (تفویض اختیار)، «رجحان[3]»، «قرارداد[4]» و غیره است. در مقاله دوم بارو و گوردون (۱۹۸۳) آنان شهرت سیاست‌گذار را یکی از راه‌حل‌ها برای جلوگیری از شکل‌گیری تورش تورمی و ناسازگاری زمانی دانستند. از دیدگاه آنان یک راه‌حل بالقوه برای حل مسئله تورش تورمی، تحمیل کردن برخی هزینه‌ها به بانک مرکزی است. اگر بانک مرکزی از سیاست‌های اعلام‌شده‌اش درباره کاهش تورم منحرف شود، این موضوع هزینه نهایی تورم را افزایش می‌دهد. یکی از این روش-های شکل‌گیری این هزینه‌ها می‌تواند زیان ناشی از شهرت بانک مرکزی باشد. در ادامه، روگوف (۱۹۸۵) در چارچوب نظریه بازی، به بررسی درجه استقلال بانک مرکزی پرداخت و این کار بزرگ در سال‌های بعد به‌عنوان مقاله پایه‌ای در زمینه استقلال بانک مرکزی و سیاست پولی بهینه مورد استفاده قرار گرفت. روگوف بیان می‌کند که سیاست پولی باید به یک بانک مرکزی مستقل که بیشتر از دولت مخالف با تورم است، محول شود به‌طوری‌که این بانک مرکزی مستقل، وزن بیشتری را به زیان‌های ناشی از تورم نسبت به دولت بدهد. در این حالت در تعادل، محافظه‌کاری بانک مرکزی سبب ایجاد تورش تورمی کمتری نسبت به دولت می‌شود. تورم و در نتیجه تورم مورد انتظار هنگامی که سیاست پولی به‌وسیله‌ی فردی که می‌دانیم تورم گریز است کنترل شود، پایین‌تر خواهد بود. والش در یک مقاله بنیادی در سال (۱۹۹۵) با عنوان «قراردادهای بهینه برای بانکداران مرکزی» با بیان دیدگاهی در مقابل دیدگاه روگوف، بیان کرد که سیاست پولی به‌جای آن‌که به یک بانک مرکزی مستقل و محافظه‌کار داده شود، باید در قرارداد شفاهی بین دولت و بانک مرکزی مشخص شود. والش بیان کرد که دولت باید اهداف نهایی بانک مرکزی که قرار است بر طبق قرارداد اجرا شود را مشخص کند و سپس این

1. Reputation
2. Delegation
3. Preference
4. Contract

اجازه را به بانک مرکزی بدهد تا خودش، ابزارها برای اجرای این اهداف را انتخاب کند. تئوری والش به تئوری اصیل- عامل[1] نیز شناخته‌شده است. در این تئوری دولت (به‌عنوان اصیل) قراردادی را با بانک مرکزی (عامل) امضا می‌کند که در این قرارداد، اهداف و انگیزه‌های پولی را مشخص می‌کند و بانک مرکزی وظیفه‌ی اجرای این سیاست‌ها را با ابزارهای مستقلی که خودش انتخاب می‌کند دارد. آلسینا و تابلینی (۱۹۸۷) در مقاله بنیادی در چارچوب نظریه بازی‌ها به بررسی منبع ناسازگاری زمانی در سیاست‌های پولی و مالی پرداختند. آنها منبع ناسازگاری زمانی سیاست پولی بهینه را ناشی از اثرات اختلالات مالیاتی[2] بیان می‌کنند و در چارچوب نظریه بازی نشان دادند که اگر سیاست پولی و مالی باهم هماهنگ نباشند، تعهدات الزام‌آور به قواعد پولی لزوماً سبب بهبود رفاه نمی‌شود. دیکسیت و لامبرتینی[3] (۲۰۰۰ و ۲۰۰۳) به بررسی تقابل بین استراتژی‌های بین دولت و بانک مرکزی پرداختند. در این مقالات دیکسیت و لامبرتینی برخلاف مقالات دیگر که نقش برون‌زایی برای مقام مالی (دولت) در بازی استراتژیک با مقام پولی در نظر گرفته بودند، در تلاش بودند تا نقش فعالی را برای دولت قائل باشند و بیان کنند که در واقعیت، تقابل بین سیاست‌گذار پولی و مالی منجر به پیامدهای متفاوت در نتایج اقتصاد کلان می‌شود. آنان فرض کردند که تابع هدف سیاست مالی، تابع رفاه اجتماعی است و سیاست‌گذار پولی ابزار مستقل در دنبال کردن هدف محافظه‌کاری دارد. هر کدام از سیاست‌گذاران رفتارهایشان را به‌طور مستقل انتخاب می‌کنند. ازاین‌رو تقابل این نوع مقام، از نوع بازی غیرهمکارانه می‌باشد. نتایج دستاوردهای آنان نشان می‌دهد که:

۱- اگر هیچ نوع از سیاست تعهد و یا رهبری در ساختار بازی وجود نداشته باشد، تقابل بین بانک مرکزی محافظه‌کار و مقام مالی که رفاه اجتماعی را بیشینه می‌کند، به پیامدهای زیربهینه و حدی[4] منجر می‌شوند؛ ۲- رهبری سیاست مالی، معمولاً سطح محصول مرجح‌تری نسبت به رهبری پولی ایجاد می‌کند و ۳- مسئله سازگاری زمانی سیاست پولی می‌تواند با تعهد به قاعده حل شود.

دسته‌بندی دیگری از مطالعات را می‌توان با استناد به مقاله بنیادی سارجنت و والاس[5] (۱۹۸۱) با عنوان «برخی ناخوشایندی اصول پول‌گرایان» ارائه نمود. در این مقاله آنان با استفاده از چارچوب تحلیل نظریه بازی‌ها در فضای بازی‌های استاکلبرگ[6]، توانستند عقاید مکتب پول‌گرایان و فریدمن در ارتباط با این موضوع که سیاست‌گذار پولی می‌تواند کنترل دائمی بر تورم داشته باشد را رد کنند. بعد از این

1. Principal-agent Theory
2. Tax distortions
3. Dixit and Lambertini
4. Suboptimal and extreme outcomes
5. Sargent and Wallac

۶. مدل استاکلبرگ (Stackelberg) یک نوع مدل استراتژیک در اقتصاد است که در آن یک بازیکن به‌عنوان رهبر و دیگری به‌عنوان پیرو در بازی وجود دارند و بازیکنان به‌طور مدام در حال حرکت در این بازی هستند. این تئوری مدیون کار اقتصاددان آلمانی فریر فن استاکلبرگ است که در سال ۱۹۳۵ با انتشار کتابی با عنوان «ساختار بازار و تعادل» این مدل را تشریح کرد.

دستاورد بزرگ، مقالات زیادی به بررسی نقد و یا بسط این کار سارجنت و والاس پرداختند که می‌توان به کارهای داربی[1] (۱۹۸۴)، میلر و سارجنت[2] (۱۹۸۴)، توگو[3] (۲۰۰۷) و غیره اشاره کرد. سارجنت و والاس (۱۹۸۱) در این مقاله و در چارچوب بازی‌های استاکلبرگ مدلی را طراحی کردند که در آن و تحت شرایط خاص، سیاست‌گذار پولی نمی‌تواند کنترل دائمی بر روی تورم داشته باشد. این موضوع زمانی رخ می‌دهد که سیاست مالی غالب بر سیاست پولی باشد؛ یعنی دولت به‌عنوان رهبر و بانک مرکزی به‌عنوان پیرو عمل می‌کنند. این دیدگاه سارجنت و والاس در مقابل دیدگاه فریدمن است؛ زیرا فریدمن استدلال می‌کند که سیاست‌گذار پولی می‌تواند کنترل دائمی بر روی نرخ تورم به‌خصوص در بلندمدت داشته باشد؛ اما در این مقاله سارجنت و والاس بیان می‌کنند که حتی در اقتصادی که فروض طرفداران مکتب پول‌گرایان تأمین می‌شود، اگر سیاست پولی به‌عنوان عملیات بازار باز[4] تفسیر شود، سیاست پولی قادر به کنترل دائمی تورم نیست. یکی از فروض مهم در این مدل آن است که در صورت ایجاد کسری بودجه توسط دولت، فروش اوراق به عموم دارای یک کران بالایی است و تقاضای عموم برای اوراق قرضه نمی‌تواند برای همیشه ادامه یابد و همچنین وجود تقاضا برای اوراق قرضه در مدل آنها به این مفهوم است که نرخ بهره‌وری اوراق بزرگ‌تر از نرخ رشد اقتصاد است.

دسته‌بندی دیگر را می‌توان به مقاله بنیادی تابلینی[5] (۱۹۸۶) با عنوان «پول، بدهی، کسری بودجه در بازی پویا» نسبت داد. در این مقاله تابلینی در چارچوب نظریه بازی‌های پویا دیفرانسیلی که در ادامه به آن خواهیم پرداخت، به بررسی تقابل استراتژیک بین دولت و بانک مرکزی پرداخت. هدف از این تقابل دست‌یابی به سطح پایداری از بدهی، کسری بودجه و انتشار پول بود. این مقاله یکی از مقالات کاربردی در زمینه تقابل بین سیاست‌گذار پولی و مالی بوده است و بعد از انتشار این مقاله، مقالات متعددی در تلاش برای بسط و تعمیم مدل تابلینی برآمدند و هدف اصلی در این مقالات، بررسی پایداری بدهی در کشورهای مختلف بود. افرادی همچون آرله و همکاران[6] (۱۹۹۵ و ۱۹۹۷)، بارتولومی و گیاچونی[7] (۲۰۰۸)، انجوردا و همکاران[8] (۲۰۱۳) و غیره به بسط و تعمیم کارهای تابلینی پرداختند. در این مقاله، تابلینی با بررسی یک بازی پویای خطی درجه دوم[9] بین مقامات پولی و مالی به بررسی مسیر زمانی بهینه متغیرهایی نظیر بدهی، انتشار پول و کسری بودجه پرداخت. او در مقاله خود نشان داده که چگونه تقابل استراتژیک بین این دو مقام، سبب مشخص شدن مسیر زمانی بدهی عمومی می‌شود.

1. Darby
2. Miller and Sargent
3. Togo
4. Market operations
5. Tabellini
6. Aarle and *et al.*
7. Bartolomeo and Gioacchino
8. Engwerda and *et al.*
9. Dynamic linear-quadratic game

در قسمت بعد به بررسی یک شاخه از نظریه بازی با نام نظریه بازی دیفرانسیلی که نقش مهمی در ارتباط با تقابلات استراتژیک بین سیاست‌گذاران در اقتصاد دارد می‌پردازیم.

٤. نظریه بازی‌های دیفرانسیلی

نظریه بازی‌های دیفرانسیلی شاخه‌ای از علوم کاربردی است که به‌عنوان ابزاری برای مدل‌سازی تضادها توسعه داده شد. همان‌طور که لوین[1] (۱۹۹۴) بیان کرد، کاربردهای نظامی[2]، شاید قوی‌ترین محرکی برای توسعه این نوع از بازی‌ها بود. ایساکس[3] را می‌توان به‌عنوان پیشگام نظریه بازی‌های دیفرانسیلی به خاطر کار به‌یادماندنی او در شرکت RAND با گرایش به سمت مدل‌سازی و حل مسئله تعقیب و گریز[4] در فضای نظامی نام برد (لوین، ۱۹۹۴). همان‌گونه که ستی و تامپسون[5] (۲۰۰۶) بیان می‌کنند، مسئله بازی‌های دیفرانسیلی تعمیمی از تئوری کنترل بهینه را ارائه می‌دهد که در آن بیش از یک کنترل‌کننده یا بازیکن وجود دارد. بازی‌های دیفرانسیلی از لحاظ مفهومی دارای پیچیدگی بیش‌تری نسبت به مسئله کنترل بهینه است به‌گونه‌ای که شکل‌گیری جواب راه‌حلی به روشنی نمایان نیست. در بازی‌های دیفرانسیلی انواع مختلف راه‌حل‌ها مانند مینی ماکس، نش، بهینه پارتو با احتمالات از نوع بازی‌های غیرهمکارانه، استاکلبرگ، چانه‌زنی و غیره وجود دارد (ستی و تامپسون، ۲۰۰۶: ۳۰۸).

حال سؤالی که مطرح می‌شود این است که نظریه بازی دیفرانسیلی در چه نوع از بازی‌ها کاربرد وسیعی دارد. دو نوع از بازی را مورد تفکیک قرار می‌دهیم که نقش بسیار مهمی در تحلیل نظریه بازی‌ها ایفا می‌کند: یکی بازی‌های همکارانه و دیگری بازی‌های غیرهمکارانه است. تمایز این دو نوع از بازی در آن است که بازی‌های غیرهمکارانه شامل وضعیت استراتژیکی است که در آن تصمیم‌گیرندگان و بازیکنان نتوانند توافقات الزام‌آوری را برای همکاری در طی بازی ایجاد کنند. ولی در بازی‌های همکارانه، بازیکنان می‌توانند توافقات الزام‌آور و مذاکراتی پیش از بازی انجام دهند. دوکنر و همکاران[6] (۲۰۰۰) بیان می‌کنند، بسیاری از مطالعاتی که در ارتباط با نظریه بازی‌های دیفرانسیلی مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرند، در چارچوب بازی‌های غیرهمکارانه است. در طی سالیان اخیر، اکثر کاربردهای اقتصادی و مدیریتی در نظریه بازی‌ها، در چارچوب نظریه بازی‌های غیرهمکارانه است و عمده مطالعات توسعه‌ای در نظریه بازی‌های دیفرانسیلی در قالب بازی‌های غیرهمکارانه صورت گرفته است.

1. Lewin
2. Military applications
3. Issacs
4. Pursuit-evasion problems
5. Sethi and Thompson
6. Dockner *et al.*

از طرف دیگر می‌توانیم دو تمایز مهم دیگری که نقش اساسی در کاربردی کردن نظریه بازی‌های دیفرانسیلی دارد را بیان کنیم. این تمایز مربوط به بازی‌های ایستا و پویاست. در بازی‌های پویا، حرکات بازیکنان به‌طور متوالی و پی‌درپی شکل می‌گیرند؛ یعنی در ابتدا یک بازیکن حرکت خود را انجام می‌دهد و سپس بازیکن دیگر با توجه به عمل این بازیکن، به آن پاسخ می‌دهد. به‌گونه‌ای که «زمان» در این نوع از بازی‌ها نقش مهمی دارد. ولی در بازی‌های ایستا، حرکت بازیکنان به‌طور هم‌زمان شکل می‌گیرد. اکثر بازی‌های دیفرانسیلی هم در قالب بازی‌های پویاست. با توجه به مواردی که بیان‌شده می‌توان بیان کرد که نظریه بازی‌های دیفرانسیلی یک نوع از بازی‌های پویای غیرهمکارانه است و این نوع از بازی‌ها ارتباط بسیار نزدیکی با تئوری‌های کنترل بهینه دارد و بعد از توسعه اصل ماکزیمم پونتریاگین، این ارتباط به‌وضوح نمایان شد. باسر و اولسدار[1] (۱۹۹۹) در یک تقسیم‌بندی، جایگاه نظریه بازی‌های پویای دیفرانسیلی و تفاوت آن با تئوری کنترل بهینه و برنامه‌ریزی ریاضی را مشخص کردند که در شکل زیر نمایان است.

جدول ۳: جایگاه نظریه بازی‌های پویای دیفرانسیلی

	یک بازیکن	**بیش از یک بازیکن**
ایستا	برنامه‌ریزی ریاضی	نظریه بازی ایستا
پویا	تئوری کنترل بهینه	نظریه بازی دیفرانسیلی پویا

موضوع دیگری که در نظریه بازی‌های دیفرانسیلی دارای اهمیت است نوع ساختار اطلاعات یا استراتژی در بازی است. اینکه بازیکنان از چه نوع ساختار اطلاعات و استراتژی در بازی استفاده می‌کنند و چه نوع تعادلی در بازی شکل خواهد گرفت دارای اهمیت است. در اکثر مطالعاتی که در ارتباط با بازی‌های دیفرانسیلی و در چارچوب بازی‌های پویای همکارانه و غیرهمکارانه و یا بازی‌های استاکلبرگ انجام می‌شود، معمولاً دو نوع استراتژی مهم مورد بررسی قرار می‌گیرد، یکی استراتژی با ساختار اطلاعاتی حلقه باز[2] و دیگری استراتژی با ساختار اطلاعاتی بازخورد[3] است (ون لانگ[4]، ۲۰۱۰؛ فریز[5]، ۲۰۱۰؛ ستی و تامسون، ۲۰۰۰؛ انجورد[6]، ۲۰۰۵ و لوین، ۱۹۹۴). استراتژی‌های حلقه باز که به آن استراتژی‌های پیش تعهد[7] هم گفته می‌شود استراتژی است که در آن بازیکنان رفتارهایشان را بر اساس

1. Basar and Olsdar
2. Open-loop strategies
3. Feedback strategies
4. Von Long
5. Friesz
6. Engwerda
7. Pre-commitment strategies

وضعیت اولیه سیستم و زمان شکل می‌دهند و افراد نمی‌تواند استراتژی‌هایشان را در طول مسیر بازی تغییر دهند و از طرف دیگر، استراتژی بازخورد که در برخی از مطالعات مانند فن لانگ (۲۰۱۰) به استراتژی کامل مارکوف[1] شهرت دارد، استراتژی‌هایی هستند که در آن، بازیکنان رفتارهایشان را بر روی وضعیت جاری سیستم شکل می‌دهند. همچنین باید در مورد مفهوم راه‌حل تعادلی در بازی، بین راه‌حل تعادل نش و راه‌حل تعادل استاکلبرگ تمایز قائل شد. در تعادل نش، هر بازیکن به‌طور سیستماتیک استراتژی بهینه‌اش را مستقل انتخاب می‌کند و در راه‌حل تعادل استاکلبرگ که به راه‌حل رهبر- پیرو هم مطرح است، یکی از بازیکنان به‌عنوان رهبر این توانایی را دارد که ابتدا استراتژی‌اش را اعلام کند و آن را به دیگر بازیکن (پیرو) تحمیل کند.

۵. کاربردی از نظریه بازی‌های پویای دیفرانسیلی در اقتصاد ایران

بحران‌های مالی جهانی در طی سالیان اخیر منجر به انباشت سریع بدهی دولت در بسیاری از کشورها شد و این موضوع نگران‌کننده منجر به این شد تا بسیاری از مطالعاتی که در ارتباط با تقابل بین سیاست‌های پولی و مالی مورد بررسی قرار گرفتند بر روی این موضوع متمرکز شوند و به‌دنبال بررسی مسائلی از جمله پایداری بدهی[2] و یا کسری بودجه باشند که می‌توان به کارهای بوهن[3] (۱۹۹۱)، ایزر و لیما[4] (۲۰۰۰)، نک و استرم[5] (۲۰۰۸) کالیگن[6] (۲۰۱۲) و غیره اشاره کرد. رشد سریع بدهی دولت در محیط‌های بی‌ثبات مالی و به‌دنبال آن کاهش رشد اقتصادی، ضرورت انجام مطالعات روی ارزیابی پایداری بدهی و کسری بودجه را افـزایش داد. همان‌طور که کالیگن (۲۰۱۲) بیـان کرده، انباشت بدهی‌های کشوری همانند یونان و ریسک نکول بدهی‌های دولت یونان در منطقه یورو، نشانه‌هایی از اولین بحران‌های بدهی جدی در دنیا را انعکاس داد. این موضوع سبب شد تا پایداری بدهی موضوع مهمی تلقی شود. پایداری به این معنی نیست که بودجه باید همواره در توازن باشد، اما به‌هرحال زمانی که کسری بودجه بیش از اندازه شود و بدهی‌های دولت، حالت انفجاری به خود بگیرد، آن‌گاه مسئله پرداخت بدهی دولت[7] تهدید بزرگی برای اقتصاد می‌شود. بدهی دولتی از انباشت کسری بودجه و بهره مربوط به بدهی‌های بازپرداخت نشده تشکیل می‌شود. کشور ایران هم در طی دهه‌های اخیر همواره با وجود درآمـدهای نفتی عظیم، شـاهد کسری بودجه و همچـنین افزایش بدهی بوده است به‌طوری‌که یکی از مشکلات مهم دولتی‌ها در هر دوره این است تا چگونه کسری بودجه خود را کاهش دهند و

1. Markov-perfect strategies
2. Debt sustainability or debt stability
3. Bohn
4. Issler and Lima
5. Neck and Sturm
6. Collignon
7. Government’s solvency

بتوانند بدهی خود را به پایین‌ترین حد ممکن برسانند یا آن را بازپرداخت کنند. آمارهای سری زمانی بانک مرکزی نشان می‌دهد که از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۱ میانگین کسری بودجه با درآمدهای نفتی و بدون درآمدهای نفتی به تولید ناخالص داخلی به ترتیب ۴/۳ و ۱۶/۶ درصد بوده است. این موضوع نشان‌دهنده سهم نفت در تعیین کسری بودجه در اقتصاد ایران می‌باشد. با وجود درآمدهای نفتی عظیم، میانگین بدهی خالص دولت به بانک مرکزی از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۱ به‌طور متوسط برابر ۱۵ درصد بوده است که در دهه پنجاه، شصت، هفتاد و هشتاد به ترتیب ۷/۵، ۳۵/۵، ۱۶/۱ و ۲ درصد بوده است. در اواخر دهه پنجاه و دهه شصت به علت کاهش درآمدهای نفتی و افزایش مخارج دولت شاهد کسری بودجه بالا و افزایش سطح بدهی دولت و همچنین افزایش انتشار پول توسط بانک مرکزی بوده‌ایم. از سال ۷۰ به بعد با افزایش درآمدهای دولت و افزایش درآمدهای نفتی، کسری بودجه کاهش پیدا کرد و همچنین ما شاهد روند نزولی بدهی و پایه پول می‌باشیم. حال سؤالی که پیش می‌آید این است که چگونه می‌توان به سطح پایداری از بدهی دست یافت؟ ازاین‌رو در این مقاله قصد داریم تا تقابل استراتژیک بین دولت و بانک مرکزی در اقتصاد ایران برای دست‌یابی به سطح پایداری از بدهی، کسری بودجه و انتشار پول را مورد بررسی قرار دهیم و به این موضوع بپردازیم که آیا دست‌یابی به این سطح پایدار امکان‌پذیر است و چگونه با وجود درآمدهایی نفتی عظیم در اقتصاد ایران می‌توان به سطح پایینی از بدهی دولت دست پیدا کرد آن طوری که انتشار پول کمتر و کسری پایین‌تری ایجاد شود؟

تقابل استراتژیک بین مقامات پولی و مالی و همچنین دست‌یابی به بدهی پایدار، کسری بودجه پایدار در سال‌های اخیر بر اساس روش‌های متفاوتی نشان داده شده است که می‌توان در کارهای ایسلر و لیما[1] (۲۰۰۰)، نک و استرم[2] (۲۰۰۸)، گنوچی و لامبرتینی[3] (۲۰۱۲) و لورکزن و روماگسا[4] (۲۰۱۲) مشاهده کرد. اما در چارچوب نظریه بازی‌ها، تابلینی (۱۹۸۶) مدلی را مورد بررسی قرار داد که در آن تقابل استراتژی بین دولت و بانک مرکزی در چارچوب بازی پویای دیفرانسیلی مدل‌سازی شد و با حل روش‌ها کنترل بهینه، به بررسی پایداری بدهی و سرعت تعدیل به سمت وضعیت پایای متغیرها پرداخت. در سال‌های بعد این مدل توسط تئوریسین‌های نظریه بازی از جمله آرله و همکاران[5] (۱۹۹۵)، بارتولومه و گیاچینی[6] (۲۰۰۸) انجوردا[7] (۲۰۱۳) تعمیم داده شد. در گام اول از مدل، به بررسی قید بودجه پویای دولت که در آن ارتباط بین کسری بودجه، بدهی دولت و انتشار پول را نشان می‌دهد خواهیم پرداخت[8]:

1. Issler and Lima
2. Neck and sturm
3. Gnocchi and Lambertini
4. Lukkezen and Romagosa
5. Aarle and et al
6. Bartolomeo and Gioacchino
7. Engwerda

۸. نحوه استخراج این معادله، در صورت درخواست خواننده در اختیار قرار خواهد گرفت.

$$\dot{d}(t) = (r - g)d(t) + f(t) - m(t) \qquad d(0) = d_0 \qquad (۱)$$

در این معادله d_t نشان‌دهنده بدهی عمومی دولت، f_t کسری بودجه دولت، m_t پایه پولی بانک مرکزی می‌باشد که تمام این متغیرها نسبت به تولید ناخالص داخلی نرمالایز شده‌اند. همچنین r و g هم به ترتیب نشان‌دهنده نرخ بهره واقعی و نرخ رشد اقتصادی است. این قید نشان می‌دهد کسری بودجه دولت توسط انتشار بدهی (انتشار اوراق دولتی) و انتشار پول توسط دولت تأمین مالی می‌شود. در این مدل، تابلینی فرض می‌کند کسری بودجه تنها شامل تفاضل مخارج دولت از مالیات می‌باشد. اما از آنجایی‌که نفت سهم مهمی از درآمدهای دولت در اقتصاد ایران را تشکیل می‌دهد، ازاین‌رو در این مدل فرض می‌کنیم که کسری بودجه در ایران شامل تفاضل مخارج دولت از مالیات و درآمد نفتی است. در این معادله حرکت، بدهی دولت به‌عنوان متغیر وضعیت و کسری بودجه و پایه پول به‌عنوان متغیرهای کنترل در مدل شناخته می‌شوند. تابلینی (۱۹۸۶)، آرله و همکاران (۱۹۹۵) و انجوردا (۲۰۱۳) در بررسی مدلشان تفاوت بین نرخ بهره واقعی و رشد اقتصادی را تنها برابر نرخ بهره واقعی در نظر گرفتند، اما در این مطالعه از تفاضل دو متغیر نرخ بهره واقعی و نرخ رشد اقتصادی استفاده می‌کنیم، زیرا در بخش شبیه‌سازی می‌توان اثرات تغییر در نرخ بهره واقعی و نرخ رشد اقتصادی را به‌طور مجزا بر مسیر بدهی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. همچنین شرط بازی بدون پونزی[1] در این مدل برقرار است. یعنی هر دو سیاست‌گذار پولی و مالی این اجازه را نخواهند داد تا سطح بدهی، کسری بودجه و پایه پولی برای همیشه در حال رشد باشند و بعد از یک زمان مشخص این متغیرها به وضعیت پایا[2] همگرا می‌شوند. حال با فرض این‌که دولت کنترل‌کننده کسری بودجه و بانک مرکزی کنترل‌کننده پایه پولی در اقتصاد باشد می‌توان تابع هدف برای هر دو بازیکن را به‌دست آورد. یکی از خصوصیات بازی‌های پویای دیفرانسیلی آن است که توابع هدف از نوع معادلات تفاضلی درجه دوم[3] هستند[4]. تابع هدف دولت و بانک مرکزی یک نوع تابع زیان[5] است و هر دوی این بازیکنان به‌دنبال حداقل کردن تابع زیان خود نسبت به قید پویای دولت می‌باشند. تابع زیان دولت و بانک مرکزی به‌صورت معادلات (۲) و (۳) مشخص می‌شود و آنها در تلاش هستند تا این تابع زیان خود را نسبت به قید بودجه (۱) حداقل کنند.

1. No Ponzi game
2. Steady state
3. Quadratic differential equations
۴. برای مطالعه بیشتر درباره حل این نوع از بازی‌ها، به کتاب Basar and Olsder (1999) و Engwerda (2005) رجوع شود.
5. Loss function

$$L_F = \frac{1}{2}\int_0^{\infty} \{(f(t)-\bar{f})^2 + \varphi(m(t)-\bar{m})^2 + \theta\big(d(t)-\bar{d})^2\}\mathrm{e}^{-\rho t}\,dt \qquad (۲)$$

$$L_M = \frac{1}{2}\int_0^{\infty} \{(m(t)-\bar{m})^2 + \eta(f(t)-\bar{f})^2 + \tau\big(d(t)-\bar{d})^2\}\mathrm{e}^{-\rho t}\,dt \qquad (۳)$$

در این معادلات $\bar{d}$، $\bar{f}$ و $\bar{m}$ به‌عنوان متغیرهای برون‌زا در مدل هستند که نشان‌دهنده اهداف سیاستی برای متغیرهای بدهی، کسری بودجه و پایه پولی هستند و به‌عنوان سطح هدف شناخته می‌شوند. در این قسمت پارامتر $\bar{f}$ نقش تعیین‌کننده‌ای را ایفا می‌کند. زیرا این پارامتر به‌عنوان سطح هدف برای کسری بودجه در نظر گرفته شده است و تغییر در این پارامتر می‌تواند اثرات مهمی در تعیین سطح بدهی تعادلی داشته باشد. ما در این مدل فرض می‌کنیم که هر چقدر سطح درآمدهای نفتی در بودجه کشور افزایش یابد، آن‌گاه دولت سطح هدف کمتری را برای کسری بودجه در نظر می‌گیرد و به‌طور معکوس هر چقدر سهم درآمدهای نفتی در بودجه کشور کاهش یابد و یا این‌که تنها درآمد دولت ناشی از مالیات باشد، آن‌گاه دولت سطح هدف بالاتری را برای کسری بودجه تعیین می‌کند و این تغییرات در سطح هدف کسری بودجه می‌تواند نتایج متفاوتی را برای سطح بدهی تعادلی در پی داشته باشد. θ و τ هم به‌عنوان وزن نسبت داده شده به بدهی به ترتیب توسط دولت و بانک مرکزی است. به‌عنوان مثال اگر θ پایین و τ بالا باشد، نشان‌دهنده آن است که مقام پولی نسبت به مقام مالی اهمیت بیشتری برای ثبات بدهی می‌دهد و این به معنی این است که پول بیشتری توسط بانک مرکزی برای تثبیت بدهی چاپ می‌شود و از این‌رو ما با یک سیاست‌گذار پولی ضعیف و سیاست‌گذار مالی قوی مواجه هستیم. ρ به‌عنوان فاکتور تنزیل در مدل وارد می‌شود که نشان می‌دهد سیاست‌گذاران تا چه حد زیان‌های آینده را تنزیل می‌کنند. همان‌گونه که بارتولومه و گیاچینی (۲۰۰۸) بیان کردند، هر چقدر سیاست‌گذاران وزن بیشتری به بدهی دهند در آن صورت واکنش بیشتری به تغییرات در متغیر کنترل رقیب می‌دهند و سبب وابستگی بیشتری بین سیاست‌گذار پولی و مالی می‌شود. همچنین برخلاف مدل تابلینی فرض می‌کنیم که رشد پایه پولی و رشد کسری بودجه به ترتیب در تابع زیان سیاست‌گذار مالی و پولی وارد می‌شود. یعنی از یک طرف رشد پول برای دولت از اهمیت بالایی برخوردار است و همچنین از طرف دیگر رشد کسری بودجه هم برای مقام پولی از اهمیت برخوردار می‌باشد و از این‌رو φ و η وزن نسبی نسبت داده شده به رشد پایه پولی و کسری بودجه به ترتیب توسط دولت و بانک مرکزی است.

٦. بازی استاکلبرگ با اطلاعات حلقه باز

در این قسمت بازی را مورد بررسی قرار می‌دهیم که در آن، یک بازیکن به‌عنوان رهبر و بازیکن دیگر به‌عنوان پیرو در بازی رفتار می‌کنند. این نوع از بازی به‌عنوان بازی استاکلبرگ مطرح است. در اقتصاد ایران به‌نظر می‌رسد که بازی بین دولت و بانک مرکزی در چارچوب بازی استاکلبرگ می‌باشد. در این بازی، دولت در اقتصاد ایران به‌عنوان رهبر و بانک مرکزی به‌عنوان پیرو شناخته می‌شوند و این موضوع سازگاری بیشتری با اقتصاد ایران دارد. از طرف دیگر ساختار اطلاعاتی در این نوع از بازی، ساختار اطلاعاتی حلقه باز است. بازی با ساختار اطلاعات حلقه باز به این معنی است که بازیکنان به‌طور هم‌زمان متعهد به یک استراتژی خاص از بازی می‌شوند و هر بازیکن تنها وضعیت اولیه از بازی در زمان $t \in [0,T]$ را می‌داند و در این نوع از بازی، هر بازیکن رفتارهای حال و آینده از رقیب خود را داده شده فرض می‌کند. از آنجایی‌که در این ساختار بازی تمام مسیر زمانی سیاست‌ها در شروع هر دوره برنامه‌ریزی ثابت است از این‌رو به این نوع از بازی، سیاست‌های پیش تعهد[1] هم می‌گویند. حال با توجه به این فروض شکل گرفته شده، به بررسی تعادل برای این اقتصاد می‌پردازیم.

در ابتدا سیاست‌گذار پولی به‌عنوان پیرو در پی حداقل کردن تابع زیان خود (معادله ۳) نسبت به قید بودجه (معادله ۱) می‌باشد. ارزش هامیلتون برای این معادلات به‌صورت زیر است:

$$H_m = \frac{1}{2}\left[(m(t)-\bar{m})^2 + \eta\left(f(t)-\bar{f}\right)^2 + \tau(d(t)-\bar{d})^2\right]\mathrm{e}^{-\rho t} + \lambda_1[(r-g)d(t)+f(t)-m(t)] \qquad (۴)$$

در این معادلات λ_1 به‌عنوان متغیر هم‌وضعیت[2] تعریف می‌شود. با فرض $\mu_1 = \lambda_1 e^{\rho t}$، آن‌گاه با به‌کارگیری اصل حداکثریابی پونتراگین داریم:

$$m^*(t) = \bar{m} + \mu_1(t) \qquad (۵)$$

$$\dot{\mu}_1(t) = (\rho - r + g)\mu_1(t) - \tau(d(t)-\bar{d}) \qquad (۶)$$

همچنین شرط ترانسورسالیتی نیز در این معادلات برقرار است. از طرف دیگر دولت به‌عنوان رهبر در پی حداقل کردن تابع زیان خود نسبت به قید بودجه دولت (۱) و قید مقام پولی (۶) است و از این‌رو ارزش هامیلتون برای دولت به شکل معادله زیر بیان می شود:

1. Pre-Commitment
2. Costate variable

$$H_f = \frac{1}{2}\left[\left(f(t)-\bar{f}\right)^2 + \varphi(m(t)-\bar{m})^2 + \theta(d(t)-\bar{d})^2\right]\mathrm{e}^{-\rho t} + \lambda_2[(r-g)d(t)+f(t)-m(t)] + \lambda_3\left[(\rho-r+g)\mu_1(t)-\tau(d(t)-\bar{d})\right] \quad (۷)$$

در این معادله λ_2 و λ_3 هم به‌عنوان متغیرهای هم‌وضعیت در تابع هامیلتون دولت بیان می‌شود. حال با فرض اینکه $\mu_2 = \lambda_2 e^{\rho t}$ و $\mu_3 = \lambda_3 e^{\rho t}$ باشد، آنگاه شرط مرتبه اول و حداقل سازی به‌صورت معادلات زیر بیان می‌شود:

$$f^*(t) = \bar{f} - \mu_2(t) \quad (۸)$$

$$\dot{\mu}_2(t) = (\rho - r + g)\mu_2(t) - \theta\left(d(t)-\bar{d}\right) + \tau\mu_3(t) \quad (۹)$$

$$\dot{\mu}_3(t) = (r-g)\mu_3(t) - \varphi\mu_1(t) + \mu_2(t) \quad (۱۰)$$

حال $f^*(.)$ و $m^*(.)$ و $d^*(.)$ مجموعه معادلات دیفرانسل خطی زیر را حل می‌کنند:

$$\begin{bmatrix}\dot{d}(t)\\ \dot{\mu}_1(t)\\ \dot{\mu}_2(t)\\ \dot{\mu}_3(t)\end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r-g & -1 & -1 & 0\\ -\tau & \rho-r+g & 0 & 0\\ -\theta & 0 & \rho-r+g & \tau\\ 0 & -\varphi & 1 & r-g\end{bmatrix}\begin{bmatrix} d(t)\\ \mu_1(t)\\ \mu_2(t)\\ \mu_3(t)\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}\bar{f}-\bar{m}\\ \tau\bar{d}\\ \theta\bar{d}\\ 0\end{bmatrix} \quad (۱۱)$$

که در این معادله،

$$\alpha = r-g; \qquad \beta = \rho - r + g$$

قضیه۱: با فرض این‌که ماتریس A به‌صورت $A = SDS^{-1}$ باشد، که در این ماتریس، مقادیر ویژه D به‌صورت $D = \begin{bmatrix} d_1 & 0\\ 0 & d_2\end{bmatrix}$ که در آن $d_1 < 0$ و $\sigma(d_2) \subset \mathbb{C}^+$ می‌باشد، آن‌گاه جواب دستگاه معادلات دیفرانسیلی

$$\begin{pmatrix}\dot{d}(t)\\ \dot{\mu}(t)\end{pmatrix} = A\begin{pmatrix} d(t)\\ \mu(t)\end{pmatrix} + \begin{pmatrix} c_1\\ c_2\end{pmatrix} \quad ; \begin{pmatrix} d(0)\\ \mu(0)\end{pmatrix} = \begin{pmatrix} d_0\\ \mu_0\end{pmatrix}$$

به‌صورت زیر می‌باشد:

$$d(t) = \left(d_0 + [I \quad 0]A^{-1}\begin{pmatrix}c_1\\c_2\end{pmatrix}\right)e^{d_{1t}} - [I \quad 0]A^{-1}\begin{pmatrix}c_1\\c_2\end{pmatrix}$$

$$\mu(t) = \alpha\, e^{d_{1t}}\,[0 \quad I]S\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} - [0 \quad I]A^{-1}\begin{pmatrix}c_1\\c_2\end{pmatrix}$$

که در آن

$$\mu_0 = \alpha[0 \quad I]\left(S\begin{pmatrix}1\\0\end{pmatrix} - A^{-1}\begin{pmatrix}c_1\\c_2\end{pmatrix}\right)\text{، }\alpha = \frac{1}{s_{11}}\left(d_0 + [I \quad 0]A^{-1}\begin{pmatrix}c_1\\c_2\end{pmatrix}\right)$$

و $s_{11} = [I \quad 0]S\begin{bmatrix}I\\0\end{bmatrix}$ است.

حال با استفاده از قضیه (۱) می‌توانیم سطح تعادلی بدهی، کسری بودجه و پایه پولی در اقتصاد ایران بر طبق بازی‌های دیفرانسیلی پویا که در معادله (۱۱) نشان داده شده را به‌صورت زیر به‌دست آوریم:

$$d^e(t) = \left(d_0 + [1 \quad 0 \quad 0 \quad 0]A^{-1}\begin{pmatrix}\bar{f}-\bar{m}\\ \tau\bar{d}\\ \theta\bar{d}\\ 0\end{pmatrix}\right)e^{d_1 t} - \delta_1 \qquad (۱۲)$$

$$m^e(t) = \bar{m} + \left(\alpha e^{d_1 t}[0 \quad 1 \quad 0 \quad 0]s\begin{pmatrix}1\\0\\0\\0\end{pmatrix}\right) - \delta_2 \qquad (۱۳)$$

$$f^e(t) = \bar{f} - \left(\alpha e^{d_1 t}[0 \quad 0 \quad 1 \quad 0]s\begin{pmatrix}1\\0\\0\\0\end{pmatrix}\right) + \delta_3 \qquad (۱۴)$$

که در این معادلات:

$$\delta_1 = \frac{\beta(\alpha\beta-\tau)(\bar{f}-\bar{m}) - \left(\tau^2(1+\varphi) - \alpha\beta(\tau+\theta)\right)\bar{d}}{(\alpha\beta-\tau)^2 - \theta\alpha\beta + \varphi\tau^2}$$

$$\delta_2 = \frac{\tau(\alpha\beta-\tau)\left(\bar{f}-\bar{m}\right) + \alpha\tau(\alpha\beta-\tau)\bar{d}}{(\alpha\beta-\tau)^2 - \theta\alpha\beta + \varphi\tau^2}$$

$$\delta_3 = \frac{(\alpha\beta\theta - \varphi\tau^2)\left(\bar{f} - \bar{m}\right) + \alpha(\alpha\beta\theta - \varphi\tau^2)\bar{d}}{(\alpha\beta - \tau)^2 - \theta\alpha\beta + \varphi\tau^2}$$

در این معادلات $-\delta_1$ نشان‌دهنده وضعیت پایای بدهی دولت، $\bar{f} + \delta_3$ نشان‌دهنده وضعیت پایای کسری بودجه دولت و $\bar{m} - \delta_2$ نشان دهنده وضعیت پایای پایه پولی می‌باشد. همچنین d_1 در سه معادله بالا نشان‌دهنده سرعت همگرایی به سمت وضعیت پایا است.

۷. بازی استاکلبرگ با اطلاعات بازخورد

در این قسمت مانند قسمت قبل، بازی را مورد بررسی قرار می‌دهیم که در آن، یک بازیکن به‌عنوان رهبر و بازیکن دیگر به‌عنوان پیرو در بازی رفتار می‌کنند. تفاوت عمده تعادل نش بازخورد با تعادل نش حلقه باز در این است که در استراتژی نش حلقه باز، بازیکنان رفتارهای‌شان را بر اساس وضعیت اولیه بازی شکل خواهند داد اما در استراتژی‌های بازخورد، بازیکنان رفتارهایشان را بر اساس وضعیت جاری سیستم شکل خواهند داد و اجرای استراتژی بازخورد نیازمند آن است که هر بازیکن باید در هر نقطه از زمان، از وضعیت دقیق سیستم آگاه باشد. از این‌رو تعادل نش حلقه باز به سازگار زمانی ضعیف[1] و تعادل نش بازخورد به سازگار زمانی قوی[2] مشهور است (باسر و اسدار، ۱۹۹۹ و انجوردا ۲۰۰۵). همانند قبل فرض می‌کنیم که دولت به‌عنوان رهبر این بازی و بانک مرکزی به‌عنوان پیرو رفتار می‌کنند.

در ابتدا فرض می‌کنیم که $\tilde{d}(t) = (d(t) - \bar{d})e^{-\frac{1}{2}\rho t}$، $\tilde{m}(t) = (m(t) - \bar{m})e^{-\frac{1}{2}\rho t}$، $\tilde{f}(t) = \left(f(t) - \bar{f}\right)e^{-\frac{1}{2}\rho t}$ و همچنین $x(t) = \begin{bmatrix} \tilde{d}(t) \\ e^{-\frac{1}{2}\rho t} \end{bmatrix}$ باشد. آن‌گاه تحت این فرض که دولت به‌عنوان رهبر، مسیر سیاستی‌اش را به‌صورت معادله زیر اعلام کند:

$$\tilde{f}(t) = \alpha_f \tilde{d}(t) + \beta_f e^{-\frac{1}{2}\rho t} \qquad (۱۵)$$

آن‌گاه تابع زیان بانک مرکزی به‌صورت معادله (۱۶) نوشته می‌شود. در این حالت بانک مرکزی قصد دارد تا تابع زیان (۱۶) را نسبت به قید بودجه (۱۷) حداقل کند.

$$\min_m \frac{1}{2}\int_0^\infty \{x^T(t)Qx(t) + \tilde{m}^2(t)\}dt \qquad (۱۶)$$

1. Weakly time consistent
2. Strongly time consistent

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + B\tilde{m}(t). \quad (۱۷)$$

که در این معادلات

$$A = \begin{bmatrix} (r - g - \frac{1}{2}\rho + \alpha_f) & \left((r-g)\bar{d} + \bar{f} - \bar{m} + \beta_f\right) \\ 0 & -\frac{1}{2}\rho \end{bmatrix}; \quad B = \begin{bmatrix} -1 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$Q = \begin{bmatrix} \eta\alpha_f^2 + \tau & \alpha_f\beta_f\eta \\ \alpha_f\beta_f\eta & \eta\beta_f^2 \end{bmatrix}; \quad S = BR^{-1}B^T = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad R = 1;$$

حال می‌توان ماتریس زیر را تعریف کرد:

$$K = \begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} \\ k_{12} & k_{13} \end{bmatrix};$$

که ماتریس K جواب بهینه معادله ریکاتی زیر است، به‌طوری که ماتریس $A - SK$ پایدار باشد (انجوردا ۲۰۰۵).

$$Q_{\alpha,\beta} + A^T K + KA - KSK = 0 \quad (۱۸)$$

از این رو جواب مسئله کنترل بهینه برای مقام پولی به‌صورت معادله (۱۹) نوشته می‌شود:

$$\tilde{m}(t) = k_{11}\tilde{d}(t) + k_{12}e^{-\frac{1}{2}\rho t} \quad (۱۹)$$

حال مقام مالی، با درنظرگرفتن مسیر سیاستی بهینه مقام پولی، در تلاش برای حداقل کردن تابع زیان خود نسبت به قید بودجه است. همان‌طور که گفتیم، مقام مالی مسیر سیاستی خود را به‌صورت زیر اعلام می‌کند:

$$\tilde{f}(t) = \alpha_f\tilde{d}(t) + \beta_f e^{-\frac{1}{2}\rho t}$$

دراین حالت تابع زیان مقام مالی به‌صورت معادله (۲۰) نوشته می‌شود و مقام مالی در تلاش است تا معادله (۲۰) را نسبت به قید بودجه (۲۱) حداقل کند:

$$\min_{\alpha,\beta}\frac{1}{2}\int_0^{\infty}\{x^T(t)Qx(t)\}dt \qquad (۲۰)$$

نسبت به

$$\dot{x}(t)=Ax(t) \qquad (۲۱)$$

که در این معادلات

$$A=\begin{bmatrix}(r-g-\frac{1}{2}\rho+\alpha_f-k_{11}) & \left((r-g)\bar{d}+\bar{f}-\bar{m}+\beta_f-k_{12}\right)\\ 0 & -\frac{1}{2}\rho\end{bmatrix};$$

$$Q=\begin{bmatrix}\alpha_f^2+\varphi k_{11}^2+\theta & \alpha_f\beta_f+\varphi k_{11}k_{12}\\ \alpha_f\beta_f+\varphi k_{11}k_{12} & \beta_f^2+\varphi k_{12}^2\end{bmatrix};$$

حال ماتریس $\overline{K}$ را تعریف می‌کنیم:

$$\overline{K}=\begin{bmatrix}\bar{k}_{11} & \bar{k}_{12}\\ \bar{k}_{12} & \bar{k}_{13}\end{bmatrix};$$

که $\overline{K}$ از حل معادله ریکاتی زیر به‌دست می‌آید (انجوردا، ۲۰۰۵):

$$Q_{\alpha_f,\beta_f}+A^T\overline{K}+\overline{K}A=0 \qquad (۲۲)$$

به‌طوری‌که به ازای $\lambda_i(\mathrm{A})+\lambda_j(\mathrm{A})\neq 0,\ i,j=1,..,n$
حال مقادیر بهینه برای α_f و β_f با حداقل کردن معادله (۲۳) به‌دست می‌آید:

$$\min_{\alpha_f,\beta_f} x_0^T\overline{K}_{\alpha_f,\beta_f}x_0 \qquad (۲۳)$$

و $x(t)$ نیز از حل معادله دیفرانسیل زیر استخراج می‌شود:

$$\dot{x}(t)=Ax(t) \qquad (۲۴)$$

در نهایت در تعادل بازی استاکلبرگ با اطلاعات بازخورد، مسیر تعادلی متغیرهای بدهی، کسری بودجه و پایه پولی به شکل معادلات زیر نشان داده می‌شوند.

$$d^e(t) = \left(d_0 + \frac{\beta}{\alpha}\right) e^{\alpha t} - \frac{\beta}{\alpha} \quad (۲۵)$$

$$m^e(t) = \bar{m} + k_{11}\left(d^e(t) - \bar{d}\right) + k_{12} \quad (۲۶)$$

$$f^e(t) = \bar{f} + \alpha_f\left(d^e(t) - \bar{d}\right) + \beta_f \quad (۲۷)$$

که در این معادلات

$$\alpha = r - g + \alpha_f - k_{11}$$
$$\beta = \bar{f} - \bar{m} + \left(k_{11} - \alpha_f\right)\bar{d} + \beta_f - k_{12}$$

در این معادلات $-\frac{\beta}{\alpha}$ نشان‌دهنده وضعیت پایای بدهی دولت و همچنین α نشان‌دهنده سرعت همگرایی به سمت وضعیت پایا است. همچنین $\bar{m} + k_{11}(-\frac{\beta}{\alpha} - \bar{d}) + k_{12}$ به‌عنوان وضعیت پایای پایه پولی و $\bar{f} + \alpha_f(-\frac{\beta}{\alpha} - \bar{d}) + \beta_f$ به‌عنوان وضعیت پایای متغیر کسری بودجه می‌باشد.

۸. تجزیه و تحلیل تجربی و شبیه‌سازی مدل‌های تعادلی

در این بخش به شبیه‌سازی مدل‌های تعادلی به‌دست آمده در بخش قبل با استفاده از پارامترهای موجود در اقتصاد ایران خواهیم پرداخت. هدف ما در این مدل آن است که ابتدا مقادیر اولیه‌ای را برای پارامترها مشخص کرده و در مرحله بعد می‌خواهیم مشاهده کنیم با تغییر برخی از پارامترهای کلیدی در مدل، مسیر تعادلی متغیرها در بازی چگونه خواهد بود و این پارامترها باید طوری انتخاب شود که سازگار با شرایط اقتصاد ایران باشد. مقادیر مربوط به این پارامتر در جدول (۴) نشان داده می‌شود. پارامترهای مربوط به رشد اقتصاد و نرخ بهره واقعی برابر میانگین این دو نرخ از سال ۱۳۵۲ تا ۱۳۹۱ در اقتصاد ایران می‌باشد که از آمار مربوط به بانک مرکزی ایران استخراج شده است. نرخ رجحان زمانی هم برگرفته از مطالعه عبدلی (۱۳۸۸) برای اقتصاد ایران به‌دست آمده است. مقادیر بدهی اولیه و بدهی هدف هم با توجه به میانگین روند بدهی در اقتصاد ایران مقادیر ۰/۴ و ۰/۱ در نظر گرفته شده است. همچنین برای سطح هدف کسری بودجه با درآمدهای نفتی و پایه پولی با توجه به میانگین روند آن در اقتصاد ایران، مقادیر ۰/۰۲ و۰/۰۱ در نظرگرفته شده است. از طرفی هم برای ساده‌سازی در مدل فرض

می‌کنیم دولت و بانک مرکزی وزن یکسانی را به بدهی و همچنین کسری بودجه و پایه پولی می‌دهند که مقادیر آنها در جدول نشان داده می‌شود.

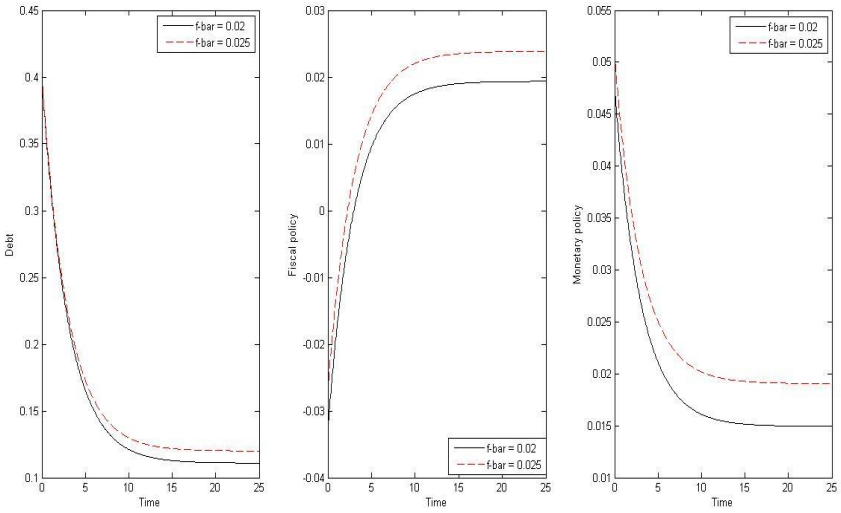
جدول ٤: مقادیر پارامترها

پارامترها	g	r	ρ	$d(0)$	$\bar{d}$	$\bar{m}$	$\bar{f}$	θ	τ	φ	η
مقادیر	۰/۰۲	−۰/۰۲	۰/۰۷	۰/۴	۰/۱	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵

حال با توجه به مشخص شدن پارامترها برای اقتصاد ایران، با استفاده از نرم افزارMatlab به بررسی مقادیر تعادلی و وضعیت پایای متغیرهای بدهی، کسری بودجه و پایه پولی در چارچوب بازی استاکبرگ که در آن دولت به‌عنوان رهبر و بانک مرکزی به‌عنوان پیرو هستند خواهیم پرداخت.

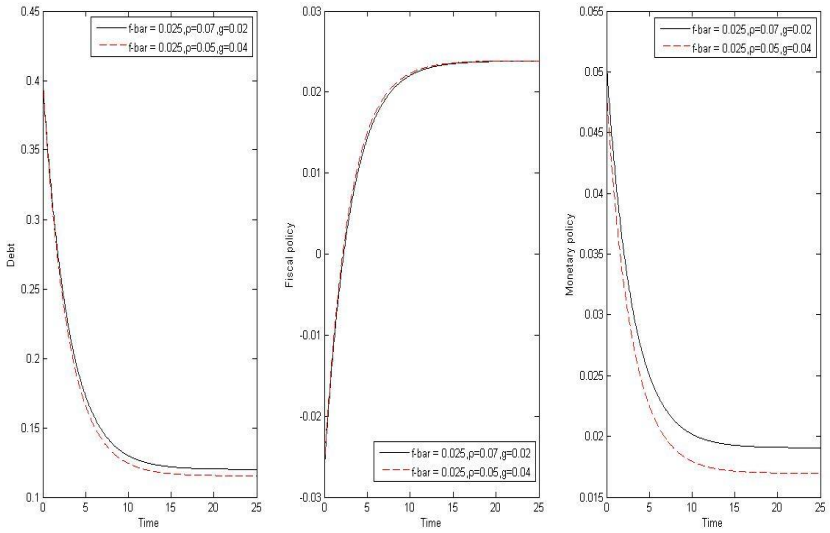
۱-۸. شبیه‌سازی برای بازی‌های استاکلبرگ با اطلاعات حلقه باز

شکل ۱ وضعیت حرکت متغیرهای بدهی، کسری بودجه و انتشار پول به سمت اهداف مطلوب را نشان می‌دهد. همان‌طور که در قسمت‌های قبل اثبات کردیم، در وضعیت پایا، معادله بدهی تعادلی (d^e) در بازی استاکلبرگ با اطلاعات حلقه باز برابر $-\delta_1$ می‌باشد. با توجه به داده‌های اولیه، در وضعیت پایا، میزان بدهی تعادلی برابر ۰/۱۱۰۹ و از طرف دیگر سرعت همگرایی به سمت تعادل برابر ۰/۳۳۳ می‌باشد. زمانی که دولت هدف‌گذاری ۰/۰۲ را برای کسری بودجه در نظر می‌گیرد آن‌گاه در وضعیت پایا میزان بدهی دولت به سمت مطلوب آن نزدیک می‌شود و بدهی در سطح ۰/۱۱۰۹ همگرا می‌شود و از این‌رو هم کسری بودجه و انتشار پول در یک دوره زمانی تقریبا ۱۰ دوره‌ای، به سمت وضعیت مطلوب خود همگرا می‌شود. حال اگر فرض‌کنیم که درآمدهای نفتی دولت کاهش پیدا کند، آن‌گاه دولت سطح هدفگذاری مطلوب برای بدهی را به عنوان مثال برابر ۰/۰۲۵ در نظر می‌گیرد و همان‌طور که در شکل مشخص است با افزایش سطح مطلوب هدف‌گذاری برای کسری بودجه به ۰/۰۲۵، آنگاه بدهی به سطح بالاتری از قبل همگرا می‌شود و در وضعیت پایا، بدهی برابر ۰/۱۲۰۰ می‌باشد و از آن طرف هم کسری بودجه بالاتر و انتشار پولی بیشتری هم صورت می‌گیرد. این موضوع نشان می‌دهد که دولت ایران به‌عنوان رهبر بازی می‌تواند از درآمدهای نفتی استفاده بهینه انجام دهد به‌گونه‌ای که انتشار پول کمتری توسط بانک مرکزی ایجاد شود. در ایران که دولت تا حدی به‌عنوان رهبر در بازی عمل می‌کند می‌تواند با وجود درآمدهای نفتی عظیم مسیر زمانی بودجه‌ای خود را طوری تنظیم کند تا نیازی چندان به انتشار پول توسط بانک مرکزی و در نتیجه تورم نباشد.



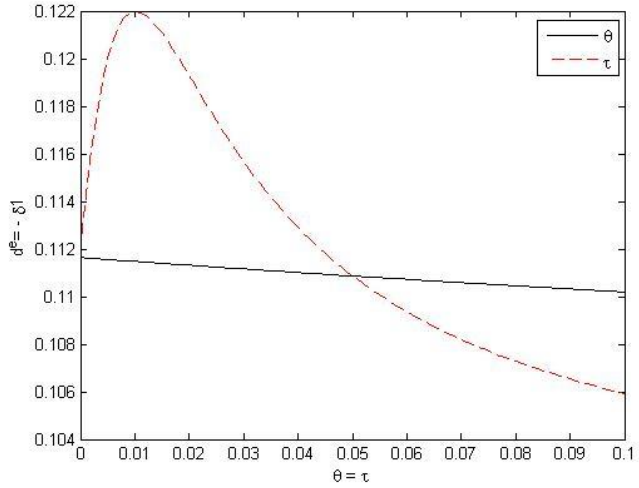
شکل ۱: مسیرهای تعادلی در بازی با اطلاعات حلقه باز

حال سؤال بعدی این است که اگر درآمدهای نفتی وجود نداشته باشد دولت چگونه می‌تواند سطح بدهی را به سمت مطلوبش نزدیک کند و از طرفی هم انتشار پول کمتری هم ایجاد کند. این را می‌توان در شکل (۲) مشاهده کرد. وقتی دولت رشد اقتصادی خود را افزایش دهد و یا نرخ ترجیح زمانی کاهش یابد (یعنی افراد و سیاست‌گذاران آینده‌نگر باشند و افق بلندمدت‌تری داشته باشند و یا به فکر نسل‌های آینده باشند)، می‌توان بدهی را به سمت هدف خود نزدیک کرد. همان‌طور که در شکل مشخص است، با افزایش نرخ رشد اقتصادی به ۰/۰۴ و کاهش نرخ ترجیح زمانی به ۰/۰۵، می‌توان به سطح بدهی پایین‌تر و کسری بودجه کمتر و انتشار پول کمتری دست یافت. در این حالت سطح تعادلی بدهی از ۰/۱۲۰۰ به ۰/۱۱۵۳ کاهش می‌یابد و سرعت همگرایی به سمت وضعیت تعادلی به ۰/۳۴۵۱ افزایش می‌یابد. البته کاهش نرخ بهره واقعی نیز این اثرات را بر مدل دارد.



شکل ۲: اثرات تغییر در رشد اقتصاد و رجحان زمانی بر مسیرهای تعادلی

همچنین از طرف دیگر هرچقدر دولت به‌عنوان رهبر در بازی، وزن بیشتری به سطح هدف بدهی نسبت به بانک مرکزی بدهد (افزایش در θ)، سبب می‌شود که در وضعیت پایا، بدهی تعادلی به سطح پایین‌تری کاهش یابد و همان‌طور که از شکل (۳) مشخص است با افزایش θ به ۰/۱، سطح بدهی تعادلی همواره درحال کاهش است. اما از طرف دیگر مشاهده می‌کنیم که اگر بانک مرکزی به‌عنوان پیرو، وزن بیشتری به بدهی نسبت به دولت بدهد (افزایش در τ)، در ابتدا برای وزن‌های کمتر، سطح بدهی تعادلی افزایش می‌یابد اما برای وزن‌های بیشتر، سطح بدهی تعادلی با شیب نزولی کاهش می‌یابد و تقریباً زمانی که $\theta = \tau = 0/05$ باشد، سطح بدهی تعادلی یکسان است.



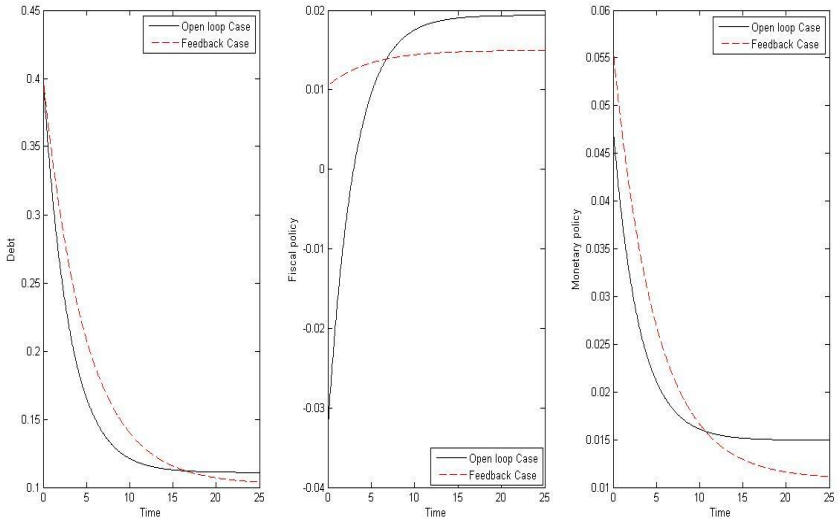
شکل ۳: اثرات تغییر در وزن‌های بدهی

۲-۸. شبیه‌سازی برای بازی‌های استاکلبرگ با اطلاعات بازخورد

در این قسمت بازی استاکلبرگ با اطلاعات بازخورد بین دولت و بانک مرکزی را شبیه‌سازی خواهیم کرد. همان‌طور که قبلا هم بیان کردیم در این نوع از بازی، بازیکنان در هر نقطه از زمان بازی، از وضعیت در آن نقطه از زمان آگاهی دارند. اما یک نکته مهمی که در این بازی وجود دارد این است که جواب بهینه تعادلی همانند بازی قبل به آسانی قابل دست‌یابی نیست. زیرا در این بازی باید از طریق روش حل نقطه‌گذاری، به بهترین جواب تعادلی دست یابیم. در این قسمت ابتدا از طریق حل عددی در تلاش برای به‌دست آوردن ارزش‌های بهینه برای پارامترهای سیاست مالی یعنی α_f و β_f می‌باشیم. مقادیر بهینه برای پارامترها $\alpha_f = -0/0150$ و $\beta_f = -0/005$ می‌باشد. ازاین‌رو ارزش متناظر برای $\alpha = -0/2061$ و $\beta = 0/0210$ می‌باشد. این اعداد نشان می‌دهد که در وضعیت پایا با اطلاعات بازخورد، میزان بدهی تعادلی برابر ۰/۱۰۲۱ می‌باشد و سرعت همگرایی به سمت تعادل برابر ۰/۲۰۶۱ می‌باشد. در اینجا مشاهده می‌شود که سرعت همگرایی به سمت تعادل در بازی با اطلاعات حلقه باز بیشتر از بازی با اطلاعات بازخورد است. اما از طرف دیگر سطح بدهی تعادلی در وضعیت پایا در بازی با اطلاعات بازخورد کمتر از بازی با اطلاعات حلقه باز است.

از طرف دیگر در شکل (۴) به مقایسه مسیرهای تعادلی بدهی، کسری بودجه و پایه پولی در دو مدل می‌پردازیم. همان‌طور که شکل نشان می‌دهد، سطح بدهی تعادلی در بازی با اطلاعات حلقه باز تا ۱۵ دوره اول، پایین‌تر از سطح بدهی با ساختار اطلاعاتی بازخورد است اما بعد از دوره ۱۵، در وضعیت پایا سطح بدهی تعادلی در بازی با اطلاعات بازخورد پایین‌تر است. از آنجایی‌که سطح بدهی تعادلی در

دوره‌های اول، در بازی با اطلاعت حلقه باز کمتر از بازی با اطلاعات بازخورد است، از این‌رو دولت با کسری بودجه کمتر و بانک مرکزی با انتشار پول کمتری در تلاش برای تثبیت بدهی می‌باشد. یعنی دولت و بانک مرکزی تلاش کمتری برای تثبیت بدهی انجام می‌دهند. اما در بلندمدت، که سطح بدهی تعادلی در بازی با اطلاعات حلقه باز بیش از بازی با اطلاعات بازخورد است، دولت و بانک مرکزی تلاش بیشتری را برای تثبیت بدهی انجام می‌دهند.



شکل ٤: مقایسه مسیرهای تعادلی در بازی با اطلاعات بازخورد و حلقه باز

نتیجه‌گیری

نظریه بازی یکی از مفاهیمی است که در طی سالیان اخیر کاربردهای فراوانی در علوم مختلف داشته است. اندیشمندان نظریه بازی‌ها، تعاریف متعددی از آن انجـام داده‌اند اما آن چیزی کـه در میان نظریه‌پردازان مورد توافق است این است که نظریه بازی چیزی جز تقابل بشر و تصمیمات در شرایط تعاملی نیست. نظریه بازی‌ها مجموعه‌ای از ابزار را ارائه می‌دهد که به فرد این اجازه را می‌دهد تا هر موقعیت اقتصادی که در آن موقعیت، فرض رقابت کامل به‌راحتی قابل دست‌یابی نیست را مدل‌سازی کند. تاریخچه نظریه بازی به قرن‌های ۱۷ و۱۸ برمی‌گردد. اما نظریه بازی به شکل مدرن آن، در قرن بیستم با کارهای فن نیومن و مورگن اشتاین (۱۹۴۴) در ارتباط با بازی‌های دونفره با جمع صفر، بازی‌های همکارانه، مفهوم اسـتراتژی و بـازی‌ها در فرم نرمـال و گسـترده و همچنین جان نش (۱۹۵۰–۱۹۵۳) با کارهایی در ارتباط با بازی‌های غیرهمکارانه و تعادل نش در این نوع از بازی‌ها شکل

گرفته است. در دهه ۷۰ و ۸۰ نظریه بازی وارد مباحث اقتصاد کلان مدرن شد و مهمترین دستاورد در این زمینه کار کیدلند و پرسکات (۱۹۷۷) در ارتباط با بازی بین دولت و کارگزاران اقتصادی و بحث ناسازگاری زمانی بود. از آن زمان به بعد نظریه بازی‌ها نقش مهمی را در تقابل استراتژیک بین دولت و بانک مرکزی ایفا کرد و یکی از مدل‌هایی که نقش مهمی در این نوع مدل‌سازی از این نوع از استراتژی‌ها داشت، نظریه بازی‌های دیفرانسیلی بود. از این‌رو در راستای بازی استاکلبرگ بین دولت و بانک مرکزی با ساختار اطلاعات حلقه باز و بازخورد در اقتصاد ایران، با استفاده از بسط مدل تابلینی (۱۹۸۶)، مدلی را برای اقتصاد ایران شبیه‌سازی کردیم که به بررسی ثبات و پایداری سطح بدهی، کسری بودجه و پایه پولی می‌پردازد. نتایج حاصل از مدل تعادلی نشان می‌دهد که با افزایش درآمدهای نفتی در اقتصاد ایران، سطح بدهی می‌تواند به سطح مطلوب خود نزدیک شود و از طرفی هم انتشار پول کمتری توسط بانک مرکزی می‌تواند صورت گیرد و از این‌رو دولت باید به‌عنوان رهبر در این بازی، سیاست‌هایی را اتخاذ کند تا از این درآمدهای نفتی به‌خوبی استفاده کند. همچنین نتایج نشان می‌دهد حتی اگر درآمدهای نفتی وجود نداشته باشد می‌توان با افزایش نرخ رشد اقتصادی یا کاهش نرخ ترجیح زمانی و یا کاهش نرخ بهره واقعی، سطح بدهی را به سطح مطلوب نزدیک کرد. همچنین هرچقدر دولت وزن بیشتری را به اهداف تورمی و بدهی دهد، سطح بدهی کاهش می‌یابد. از طرف دیگر مقایسه دو نوع از بازی با ساختار اطلاعات متفاوت نشان می‌دهد که سرعت همگرایی به سمت تعادل در بازی با اطلاعات حلقه باز بیش از بازی با اطلاعات بازخورد است. همچنین سطح بدهی تعادلی در وضعیت پایا در بازی با اطلاعات بازخورد کمتر از بازی با اطلاعات حلقه باز است.

منابع

عبدلی، قهرمان (۱۳۸۸)؛ تخمین نرخ تنزیل اجتماعی برای ایران، پژوهشنامه اقتصادی، سال ۹، شماره ۳، ۱۵۶-۱۳۵.

Aarle, B.; Bovenberg, L. and Raith, M. (1995); Monetary and fiscal policy interaction and government debt stabilization, Journal of Economics, 62, 111-140.

Aarle, B.; Bovenberg, L. and Raith, M. (1997); Is there a tragedy of a common Central Bank? A dynamic analysis. Journal of Economic Dynamics and Control, 21, 417-447.

Alesina, A. and Tabellini, G. (1987); Rules and Discretion with No coordinated Monetary and Fiscal Policies. Economic Inquiry, 25(4), 619-630.

Barro, R. and Gordon, D. (1983); A Positive Theory of Monetary Policy in a Natural-Rate Model, Journal of Political Economy, 91(3), June, 589-610.

Barro, R. and Gorden, D. (1983); Rules, Discretion, and Reputation in a Model of Monetary Policy, Journal of Monetary Economics, 12, 20-101.

Bartolomeo, G. and Gioacchino, D. (2008); Fiscal-monetary policy coordination and debt management: a two-stage analysis, Empirica, 35, 433-448

Basar, T. and Olsder, G. (1999); Dynamic Non cooperative game theory. SIAM. Philadelphia.

Bauso, D. (2014); Game theory: models, numerical methods and applications, Foundations and Trends® in Systems and Control: Vol. 1: No. 4, 379-522.

Bohn, H. (1991); The Sustainability of Budget Deficits with Lump-Sum and with Income-Based Taxation, Journal of Money, Credit and Banking, Vol. 23, No. 3, 580-604.

Carmichael, F. (2005); A Guide to Game Theory, Published by Financial Times.

Collignon, S. (2012); Fiscal policy rules and the sustainability of public debt in Europe, International Economic Review, Vol. 53, No. 2, May 2012.

Darby, M. (1984); Some pleasant monetarist Arithmetic, Federal Reserve bank of Minneapolis Quarterly Review, vol 8 No 2.

Dimand, M. and Dimand, R. (1996); The history of game theory, volume 1, Routledge research.

Dixit, A. and Lambertini, L. (2000); Fiscal discretion destroys monetary commitment. Working paper, Princeton and UCLA.

Dixit, A. and Lambertini, L. (2003); Interactions of Commitment and Discretion in Monetary and Fiscal Policies. American Economic Review, 93(5): 1522-1542

Dockner, E.; Jergensen, S.; Van Long, N. and Sorger, G. (2000); Differential Games in Economics and Management Science, Cambridge University Press.

Engwerda, J. C. (2005); LQ Dynamic Optimization and Differential Games. John Wiley & Sons.

Engwerda, J.; Van Aarle, B.; Plasmans, J. and Weeren, A. (2013); Debt stabilization games in the presence of risk premia. Journal of Economic Dynamics & Control. 37, 2525-2546.

Friedman, J. W. (1992); The interaction between game theory and theoretical industrial economies, Scottish Journal of Political Econocy vol. 39(4), 353-73.

Friesz, T. (2010); Dynamic Optimization and Differential Games, Springer.

Issler, J. and Lima, L. (2000); Public debt sustainability and endogenous seigniorage in Brazil: time-series evidence from 1947–1992, Journal of Development Economics, Vol. 62, 131-147.
Kuhn, H.; Harsanyi, J.; Selten, R.; Weibull, J.; Van Damme, E. and Nash, J. (1994); The work of john Nash in game theory, Nobel Seminar.
Kydland, F. and Prescott, E. (1977); Rules Rather Than Discretion: The Inconsistency of Optimal Plans, Journal of Political Economy, 85, 473-490.
Lewin, J. (1994); Differential Games, Printed at the Alden Press, Oxford.
Maschler, M.; Solan, E. and Zamir, S. (2013); Game Theory, Cambridge University Press.
Miller, P. and Sargent, T. (1984); A reply to Darby, Federal Reserve bank of Minneapolis Quarterly Review, Vol 8, No 2.
Myerson, R. (1999); Nash Equilibrium and the History of Economic Theory, Journal of Economic Literature, 37(3): 1067-1082.
Nash, J. F. (1950); The bargaining problem. Econometrica18:155-162.
Nash, J. F. (1951); Noncooperative games. Annals of Mathematics 54:289-295.
Nash, J, F. (1953); Two-person cooperative games. Econometrica 21:128-140.
Neck, R. and Sturm, J. E. (2008). Sustainability of Public Debt, MIT Press, Cambridge, Massachusetts.
Osborne, M. and Rubinstein, A. (1994); A Course in Game Theory. MIT Press, Cambridge, MA.
Osborne, M. (2000); An Introduction to Game Theory, Oxford University Press.
Rogoff, K. (1985); The Optimal Degree of Commitment to an Intermediate Monetary Target, Quarterly Journal of Economics, 100(4), November, 1169-89.
Sargent, T. and Wallace, N. (1981); Some Unpleasant Monetarist Arithmetic, Federal Reserve Bank of Minneapolis Quarterly Review, 5(3), 1-17.
Sethi, S. and Thompson, J. (2006); Optimal control theory, Applications to Management Science and Economics springer.
Svensson, L. (1997); Optimal Inflation targets, 'Conservative' Central Banks, and Linear Inflation Contracts. American Economic Review, 87(1), March, 98-114.
Tabellini, G. (1986); Money, debt and deficits in a dynamic game, Journal of Economic Dynamics and Control 10, 427-442.
Togo, E. (2007); Coordinating Public Debt Management with Fiscal and Monetary Policies: An Analytical Framework, Policy Research Working paper 4369.
Van Long, N. (2010); A Survey of Dynamic Games in Economics, World Scientific Publishing.
Von Neumann, J. and Morgenstern, O. (1944); Theory of Games and Economic Behavior. Princeton University Press, Princeton, NJ.
Walsh, C. E. (1995); Optimal contracts for central bankers. American Economic Review 85, 150-167.
Watson, J. (2008); Nash, John Forbes (born 1928), From the New Palgrave Dictionary of Economics, Second Edition.

Game theory and its role in determining optimal policies and strategic interaction between fiscal and monetary policymakers
(Application of differential game theory and stackelberg games)

Davoud Mahmoudinia[1], Rahim Dalali Isfahani[2], Jacob Engwerda[3]
Rasul Bakhshi Dastjerdi[4]

Abstract

In this study, we follow several purpose. In the first section, the game theory concept and the formation of its fundamental concepts is examined. After that, we investigate that how von Neumann-Morgenstern (1944) and john Nash (1950-1953) works, caused the formation of modern game theory. Then, we discussed that how game theory enter to macroeconomic modern space. The achievement of this area can be found in Kydland and Prescott (1977). On the other hand, we consider the importance of differential game. This theory plays an important role in the applicable of strategic interaction between fiscal and monetary policy. Hence by extend Tabellini model (1986) in stackellberg case by open loop and feedback information, the equilibrium model in Iranian economy is investigated. The results show that, converge speed in open loop case is higher than feedback case and also debt equilibrium in the feedback case is lower than open loop case. On the other hand, the result shows that in stackelberg game between government and central bank, the level of debt can be brought to the target level, and even with huge oil revenues, the government could impose policy to prevent the creation of much money by central bank.

Key word: Game theory, Differential game, Stackelberg game, Fiscal and Monetary policy, Iran economy.

JEL: C72 ،E52 ،E62 ،O53

1. PhD Student in Economics, Isfahan University, Iran
2. Professor in Economics , Isfahan University, Iran
3. Associate Professor in Economics, Tilburg University, Netherlands
4. Associate Professor in Economics, Isfahan University, Iran