شبیه‌سازی رشد درون‌زای اقتصادایران (رویکرد اونیکی – اوزاوا)*

DOR: 20.1001.1.00398969.1399.55.3.5.0

محمد داود خورسندی[۱]، احمد گوگردچیان[۲]، کریم آذربایجانی[۳]، سید کمیل طیبی[۴]**

۱. دانشجوی دکتری، دانشکده اقتصاد، دانشگاه اصفهان، mdkhorsandi@ase.ui.ac.ir

۲. استادیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه اصفهان، a.googerdchian@ase.ui.ac.ir

۳. استاد دانشکده اقتصاد، دانشگاه اصفهان، k_azarbayjani@ase.ui.ac.ir

۴. استاد دانشکده اقتصاد، دانشگاه اصفهان، sk.tayebi@ase.ui.ac.ir

نوع مقاله: علمی پژوهشی تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۲۲

چکیده

در این پژوهش با استفاده از تلفیق روش اقتصادسنجی و پویایی‌شناسی سیستمی، به شبیه‌سازی اثر تجارت بر رشد اقتصادی ایران پرداخته شده است. بر این اساس، از طریق طراحی چهارچوبی مفهومی، تلاش شده است تا الگوی رشد درون‌زای اوزاوا (۱۹۶۵) – لوکاس (۱۹۸۸) از طریق بسط اونیکی – اوزاوا (۲۰۱۵) گسترش داده شود. نقش تجارت از دو طریق، صادرات و واردات و نیز سرمایه‌گذاری خارجی وارد الگو شده تا اثر این دو عامل بر روند بخش تولید کالا و تولید دانش، شاخص سرمایه انسانی و شاخص تکنولوژی برای سال‌های ۱۳۵۹ تا ۱۴۰۹ شبیه‌سازی و پیش‌بینی شود. هم‌چنین از داده‌های تجارت کشور مالزی و کشور ترکیه جهت اعمال شوک و تحلیل مقایسه‌ای آن با روند پیش‌بینی شده ایران استفاده شده است.

نتایج نشان می‌دهد که اثر تکنیک منتج شده از تجارت (در مفهوم سرمایه‌گذاری خارجی) تنها روی تابع تکنولوژی اثر گذار بوده و رشد آن بر تابع تولید دانش، اثری مثبت داشته باشد. هم‌چنین تجارت (در مفهوم داد و ستد کالا و سرمایه‌گذاری خارجی) نتوانسته است اثری مثبت بر تابع تولید کالا داشته باشد. اعمال سناریو شوک تجارت نشان می‌دهد که پیروی از روند سرمایه‌گذاری خارجی کشور مالزی برای الگو شبیه‌سازی شده ایران، بهتر از الگوی ترکیه و بهتر از الگوی ایران بوده است. در انتها نتایج پیش‌بینی شبیه‌سازی، حاکی از رشد اقتصادی رکودی برای سال‌های ۱۳۹۹ تا ۱۴۰۹ می‌دهد. این شرایط در صورت ادامه دار بودن و وجود شرایط تحریمی می‌تواند بسیار وخیم‌تر از پیش‌بینی‌ها باشد.

طبقه‌بندی JEL : P45 ,O15, F16, F11, C61

واژه‌های کلیدی: رشد درون‌زا اوزاوا - لوکاس، رشد درون‌زا اونیکی - اوزاوا، اثر تکنیک، سرمایه انسانی، پویایی شناسی سیستمی

---

*. این مقاله مستخرج از رساله دکتری محمد داود خورسندی می‌باشد.

**. نویسنده مسئول، شماره تماس ۰۹۱۳۲۲۵۹۷۹۱

مقدمه

امروزه رشد، به‌عنوان یکی از اهداف اصلی اقتصاد، می‌تواند در بررسی میزان پیشرفت جوامع، شاخص مهمی به شمار آید. بیشتر کشورها با این هدف، در ابتدا مسیر اقتصاد را برای یافتن مکانیسمی که رشد اقتصادی را تضمین کند، تنظیم خواهند کرد و پس از آن نقش و سهم عوامل مختلف بر رشد را به گونه‌ای مشخص می‌کنند، که بتوانند با اتخاذ سیاست‌های کلان و خرد اقتصادی، رشدی بلندمدت و با ثبات را تضمین کنند. (آلتار و همکاران، ۲۰۰۸)[1]. با گذر زمان و افزایش تجارت، علم اقتصاد، توانست روش دیگری را به‌منظور رسیدن به رشد اقتصادی بالاتر، شناسایی کند. این فرآیند که با رویکرد رابطه مبادله‌ای شکل گرفته تا سر حدی در مبادلات طرفین تجاری ادامه یافته که به بازار بست گرایی (مرکانتلیسمی)، تبدیل و منجر به نظر دیوید هیوم[2] شده[3]. تجربه کشورهای تازه صنعتی شده آسیایی گواه این مسأله بوده است (رائو و همکاران ،۲۰۱۰)[4]. با این حال مسیر تصور شده مرکانتلیسمی، اقتصاد همواره رو به رشد را با عواید و عوارضی همراه کرده است که علم اقتصاد نوین می‌تواند علاوه بر تقویت عواید، سیاست‌هایی در جهت رفع و یا کاهش عوارض آن تجویز کند. عوارضی که با پیچیدگی و جهانی شدن همه عوامل مرتبط با آن در یک اقتصاد کلان، سایر علوم، نظیر علوم اجتماعی را نیز با اقتصاد درگیر کرده است. در این خصوص نقش نیروی انسانی به‌دلیل محوریت انسان در طول زمان با دامنه‌ای از دگرگونی‌های روبرو بوده است. از یک سو مفهوم "نیروی کار[5]" که تنها با توانمندی‌های فیزیکی ارزیابی می‌شود و ا ز سوی دیگر مفهوم "سرمایه انسانی[6]" که حاصل انباشت دانش، مهارت و تجربه در انسان‌ها، است مورد نظر قرار گرفته است. در این بین سطح خلاقیت، ابداع و جذب دانش و در بطن نظریات رشد اقتصادی، با کمک تجارت، جذب فن آوری‌های جدید، از طریق اثر تکنیک

---

1. Altar, et al.
2. David Hume

۳. هیوم معتقد است "مرکانتیلیسم ممکن است در کوتاه مدت وضعیت تجاری را بهبود بخشد ولی این امر در بلندمدت به زیان کشور خاتمه می‌یابد".

4. Rao, et al.
5. Work force
6. Human Capital

به گونه‌ای کمک می‌کند، تا در بستر نظریات تجاری و مفهوم سرریز دانش[1]، به حفظ و ارتقاء ابعاد توسعه‌ای سرمایه انسانی یاری بخشد (دهقانی، ۱۳۹۶).

در این مطالعه تلاش شده است تا با استفاده از نظریه‌های اقتصاد نئوکلاسیک و گسترش آن از منظر رشد درون‌زا الگو اوزاوا–لوکاس[2] و بسط اونیکی- اوزاوا[3] با تلفیق روش‌های جدید پویایی شناسی سیستمی[4]، چهارچوب مفهومی[5] منحصر به فردی طراحی شود، تا بتواند علاوه بر پوشش ارتباطات رگرسیونی و برآورد ضرایب متغیرها از روش‌های اقتصادسنجی، به سمت یک الگوی یکپارچه پویا[6] سوق داده شود. در این راستا سه زیر سیستم اصلی به‌صورت حلقه‌های علی معلولی (رشد اقتصادی و اثر تجارت، توسعه منابع انسانی و اثر تجارت، تابع تکنولوژی و اثر تجارت) و زیر سیستم‌های فرعی به‌طور مجزا تعریف، طراحی و برآورد شده است. پس از آن، با هدف شبیه‌سازی الگو به ایجاد بستری جهت ایجاد سناریو و پیش‌بینی تا سال ۱۴۰۹مبادرت شده است.

۲- ادبیات موضوع و پیشینه پژوهش

۲-۱- *تجارت و تئوری رشد اقتصادی*

با توسعه الگوهای رشد درون‌زا، رابطه رسمی بین مؤلفه‌های تجاری و رشد بلندمدت ارائه شده است. اقتصاددانانی نظیر رومر (۱۹۸۷)[7]، لوکاس (۱۹۸۸)[8]، گراسمن و هلپمن (۱۹۹۷)[9]، پایه‌های نظری ارتباط مثبت بین تجارت خارجی و رشد اقتصادی را مطرح کرده و چگونگی تأثیر پویا مستمر تجارت خارجی بر رشد اقتصادی را نشان داده‌اند. آنها الگوهای مختلفی را ارائه کرده‌اند که براساس آن تجارت با اثراتی نظیر

---

۱. این فرضیه که دانش فنی کسب شده توسط یک کشور می‌تواند به سایر کشورها به صورت سرریز منتقل شود و بهره وری کل عوامل آن را افزایش دهد، نخستین بار توسط ارو (۱۹۶۲) با عنوان اثر یادگیری نهفته در تجهیزات سرمایه‌ای جدید مطرح شده است. دانش فنی جدید که به سرعت و با کم‌ترین هزینه کپی‌برداری می‌شود و رفته رفته سطح دانشی یک اجتماع کاری را ارتقاء می‌دهد.

2. Uzawa–Lucas
3. Oniki–Uzawa Trade Models
4. System Dynamics
5. Conceptual Framework
6. Dynamic Integrated Pattern
7. Romer
8. Lucas
9. Grossman and Helpman.

افزایش تنوع، افزایش کیفیت نهاده‌های واسطه ای، انتقال و گسترش دانش، آثار یادگیری از طریق عمل و افزایش اندازه بازارها، رشد اقتصادی را تحریک می‌کند. گراسمن و هلپمن (۱۹۹۵)، پیشنهاد می‌کنند که سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی می‌تواند بطور بالقوه به انتشار تکنولوژی کشور میزبان، کمک کند.کو و هلپمن (۱۹۹۵)، کو و هلپمن و هافامیستر (۱۹۹۷) به "آثار سرریز" یا "آثار انتشاری" ناشی از تجارت بین کشورها اشاره کرده‌اند که نه تنها در تجارت بین کشورهای توسعه یافته به‌وجود می‌آید، بلکه از کشورهای توسعه یافته به کشورهای در حال توسعه نیز سرایت می‌کند. بلومستروم، گلوبرمن و کوکو[1] (۲۰۰۱) مطرح کرده‌اند که چنانچه شرایطی مانند مهارت نیروی کار و بازارهای مالی توسعه یافته فراهم باشد، رابطه مثبت میان آثار سرریز سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی با رشد اقتصادی تأیید می‌شود (بورنسزتین و همکاران، ۱۹۹۸[2] آلفرو و همکاران، [3]۲۰۰۸).

۲-۲- تجارت و سرمایه انسانی

در دهه ۹۰ شاخص جدیدی با عنوان شاخص سرمایه انسانی معرفی شده که این شاخص با استفاده از شاخص‌هایی نظیر شاخص فقر انسانی[4] و شاخص توسعه جنسیتی[5] توانسته است علاوه بر مؤلفه درآمد، مؤلفه‌های دیگری نظیر سطح آموزش و سطح سلامتی را در اندازه‌گیری رفاه انسان‌ها دخیل کند. در این شاخص جایگاه نیروی انسانی به‌عنوان عامل توسعه و قابل ارتقاء معرفی شده است. این جایگاه، نوع نگرش به انسان را به‌عنوان عامل اقتصادی، و ارزیابی رفتار وی را، به وسیله سطح مطلوبیت، منابع و درآمد دچار تحول ساخته است. (دیویس و کویین لیوان ۲۰۰۶). با معرفی الگوی لوکاس (۱۹۹۶)، سرمایه انسانی و سرمایه فیزیکی به‌طور مجزا به‌عنوان نهاده وارد تابع تولید شده است. در این راستا تجارت در ابتدا منجر به رشد اقتصادی شده و رشد اقتصادی نیز به نوبه خود بهبود در سرمایه انسانی را موجب می‌آورد. لذا رشد منتج شده از تجارت می‌توانست از طریق کانال‌هایی نظیر افزایش درآمد سرانه، افزایش بهداشت و سلامتی، افزایش امید به زندگی، کاهش فقر و نابرابری و نیز افزایش مهارت از طریق اثر

1. Blomström, Globerman & Kokko
2. Borenszettin, et al.
3. Alfaro, et al.
4. Human Poverty Index
5. Gender-related Development Index

تکنیک، به ارتقاء شاخص سرمایه انسانی کمک کند (گزارش توسعه انسانی آسیا – پاسفیک (۲۰۰۶))[۱]. گراسمن و هلپمن، ابداع و نوآوری را از طریق الگوی تجارت، تابعی از نیروی کار شاغل در بخش آموزش، تحقیق و توسعه دانسته است. رومر، ریورا و باتیز نیز دلایل تأثیر تجارت بر رشد اقتصادی را بیشتر از مجاری منابع انسانی در چهار نکته این‌گونه ذکر کرده‌اند که اول، تجارت احتمال دسترسی بیشتر به دانش را برای یادگیری بیشتر نیروی انسانی فراهم می‌آورد، دوم، از طریق توسعه فناوری، باعث کاهش هزینه و افزایش سرعت تنوع کالا و کاهش اتلاف منابع می‌شود و سوم، تجارت می‌تواند با جلوگیری از انجام مجدد تحقیق‌های صنعتی که نوآوری چندانی نمی‌خواهد به فرآیند تولید کمک کند و چهارم، تجارت با تقویت خلاقیت، نوآوری و شناسایی صرفه‌های حاصل از مقیاس در اثر رقابت شدیدتر، می‌تواند اثرگذاری موثر بر رشد اقتصادی داشته باشد (پاتریشیا اشنایدر، ۲۰۰۵)[۲].

۲-۳- *تجارت و اثر تکنیک*

به‌طور کلی کشورهای در حال توسعه‌ای که واردات کالاهای با فن‌آوری بالا، سهم به‌سزایی از کل وارداتشان را شامل می‌شود، از واردات در بهره‌وری عوامل تولید و رشد اقتصادی بیشتر بهره‌مند می‌شوند. این کالاها به‌عنوان یک متغیر جانشین برای اثر سرریز تحقیق و توسعه در نظر گرفته می‌شود و این امر باعث افزایش سطح دانش جدید در کشورهای در حال توسعه خواهد شد (کیم ۲۰۱۵)[۳]. ثمره این سرریز تحقیق و توسعه، دانشی است که مخلوط سیالی از تجربیات، ارزش‌ها، اطلاعات و نگرش‌های نظام یافته است و می‌تواند نقش کلیدی به‌عنوان نهاده اثر گذار در جهش رو به بالا در فرآیند تولید و محرک اصلی در ایجاد ارزش افزوده به حساب آید. یکی از راه‌های انتقال دانش می‌تواند از طریق تعاملات تجاری، بلاخص سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی باشد، مهم‌تر از انتقال دانش می‌تواند ارتباط میان تجارت و سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی با سرمایه انسانی باشد که به شدت غیرخطی بوده و به‌گونه‌ای که بدون سرمایه انسانی مناسب و آموزش دیده، بدون ایجاد زیرساخت جذب و ذخیره فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات[۴]

---

۱. گزارش توسعه انسانی آسیا – پاسفیک ۲۰۰۶

2. Patricia Higino Schneider
3. Kim
4. Information and Communication Technology. (ICT)

این‌گونه سرمایه‌گذاری‌ها نمی‌توانند انجام شوند. (روبینی، ۲۰۱۴)[1]، لذا الگوهای رشد درون‌زا از طریق معرفی فعالیت‌های تحقیق و توسعه‌ای[2] و تأثیر آن بر نرخ پیشرفت فنی و به‌دنبال آن نرخ رشد اقتصادی بلندمدت شکل می‌گیرد. براین اساس الگوهای رشد درون‌زا را می‌توان تحت دو زیر بخش معرفی کرد؛ اول الگوهایی که اثر تجارت را به‌نوعی از طریق تراکم سرمایه‌گذاری مطرح می‌کنند که شامل الگوهای رومر (۱۹۸۷)، لوکاس (۱۹۸۸)، بارو (۱۹۹۰) و ربلو (۱۹۹۱) که بر سرمایه‌گذاری خارجی، واردات کالاهای سرمایه ای، نقش و اهمیت منابع انسانی و.... تأکید دارند و دوم الگوهای گروسمن و هلپمن (۱۹۹۱) و اقیون و هویت (۱۹۹۸) که بر نقش پیشترفت تکنولوژی با تأکید بر حوزه تحقیق و توسعه، الگوهای مبتی بر آموزش نیروی انسانی، آموزش‌های ضمن خدمت و تحقیقات فن آورانه معرفی می‌کنند.

۲-۴- پیشینه پژوهش

خلاصه‌ای از مطالعات صورت گرفته گذشته که از منظر مفهوم و یا از منظر روش تحقیق به کلیت موضوع مورد پژوهش نزدیک باشد را می‌توان به‌صورت زیر گزارش کرد:

دانگ هوی و همکاران (۲۰۱۶)[3]، در پژوهشی با عنوان "تجارت، رشد و نوسان رشد: شواهد پانل جدید" از روش خود توزیعی مقطعی کاهشی[4] به بررسی رابطه تجارت با رشد اقتصادی و نوسان رشد پرداخته‌اند. نتایج نشان می‌دهد که تجارت، به‌طور متوسط، رشد اقتصادی را افزایش داده و سبب تقویت در نوسان رشد بلندمدت شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که عدم تجانس بزرگی بین تجارت و رشد اقتصادی به‌وجود خواهد آمد، چرا که اثرات تجارت، بسته به سطح توسعه یافتگی یک کشور، می‌تواند متفاوت باشد. ویانا (۲۰۱۶)[5]، در مطالعه‌ای با عنوان "تأثیر صادرات به چین در رشد آمریکای لاتین" از روش حداقل مربعات تعمیم یافته[6] به بررسی رابطه بین رشد تولید ناخالص داخلی در هفت کشور بزرگ آمریکای لاتین و تقاضای چین برای صادرات پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد که بیشتر رشد تولید داخلی آمریکای

1. Rubini
2. Research and development, (R&D)
3. Dong-Hyeon Kim, et al
4. Cross-sectionally augmented autoregressive distributed lag, (CS-ARDL)
5. Vianna, Andre C.
6. Generalized least squares method, (GLS)

به‌طور مثبت نسبت به سرمایه‌گذاری به تولید، صادرات کل، نرخ ارز واقعی موثر بوده و اثرات منفی آن مربوط به رشد جمعیت و نرخ بیکاری می‌باشد و رابطه بین سرمایه‌گذاری مستقیم خارجی و رشد تولید ناخالص داخلی ناچیز بوده است. زاهونوگو (۲۰۱۶)[1] در مطالعه‌ای با عنوان "تجارت و رشد اقتصادی کشورهای در حال توسعه، شواهدی برای کشورهای جنوب صحرای آفریقا" از طریق تکنیک میانگین همگرا[2] به چگونه تجارت و درجه بازبودن آن بر رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه توجه کرده است. نتایج نشان می‌دهد باز بودن تجارت تأثیر مثبت و معناداری بر اقتصاد دارد، اما با سیاست‌های تکمیلی که با هدف تشویق تأمین مالی سرمایه‌گذاری‌های جدید و افزایش کیفیت و توانایی تنظیم و یادگیری مهارت‌های جدید باشد، همراه شود.

۳- الگوی پژوهش

۳-۱- الگوی تجارت و رشد اقتصادی (حلقه تولید کالا و تولید دانش)

به استناد از الگوی رشد درون‌زای اوزاوا - لوکاس دو عامل سرمایه ی فیزیکی (K) و سرمایه انسانی (H) در تابع تولید در نظر گرفته و تابع تولید ملی، به دو بخش تولید کالاها و تولید دانش تقسیم شده است. تابع تولید به فرم کاب- داگلاس فرض می‌شود، به‌طوری‌که Y مقدار تولید کالا، A پارامتر تکنولوژی، α سهم سرمایه فیزیکی و u کسری از سرمایه انسانی تخصیص داده شده به بخش کالا و E مقدار تولید دانش و B پارامتر تکنولوژیکی بخش آموزش که می‌تواند بیانگر حداکثر رشد ممکن برای سرمایه انسانی و شاخصی برای بهره‌وری بخش آموزش و در نهایت سهم دیگری از سرمایه انسانی یعنی $(1-u)$ نیز برای تولید در بخش آموزش مورد استفاده قرار می‌گیرد.

$$Y = AK^{\alpha}(uH)^{1-\alpha} \quad (۱)$$

$$E = B(1-u)H \quad (۲)$$

به‌دلیل اینکه در تابع تولید دانش به‌طور آشکار اثرات مستقیم سایر متغیرها مشخص نشده و نتوانسته تمامی اثرات را در الگوی تولید دانش نشان دهد، سنتز اوزاوا – لوکاس (۲۰۱۴) در بحث اثر آموزش بر رشد اقتصادی و نیز سنتز اونیکی – اوزاوا (۲۰۱۵) در بحث اثر تجارت بر رشد اقتصادی و توسعه منابع انسانی توانسته است اثر

1. Zahonogo, Pam
2. Pooled Mean Group Estimation technique

تکنیک را از طریق دو دیدگاه آموزشی در تابع تولید دانش و تابع تولید کالا بگنجاند. این امر در ابتدا از طریق آموزش (تحصیلات)[1] همراه بوده و در ادامه از طریق آموزش ضمن خدمت (تجربه و مهارت)[2] گسترش یافته است. اگر فرض شود تولید ملی کشور j ام در زمان t تابع $F_j(t)$ باشد، که از مجموع تابع تولید بخش کالا با اندیس i و تابع تولید بخش دانش با اندیس e تشکیل شده باشد، می‌توان توابع را به‌صورت $F_j(t) = F_{ji}(t) + F_{je}(t)$ زیر بسط داد. هم‌چنین در این الگو فرض بر این است که $K_j(t) = K_{ji}(t) + K_{je}(t)$ و $N_j(t) = N_{ji}(t) + N_{je}(t)$ باشد. N تعداد نیروی کار ساعت در هر بخش خواهد بود و با فرض اینکه تعداد ساعات کار در تولید کالا، u ساعت و تعداد ساعات کار در تولید دانش (1-u) باشد، $N_{ji} = L_j.u$ و $N_{je} = L_j.(1-u)$ خواهد بود. به استناد از سنتز اونیکی – اوزاوا (۲۰۱۵) که از طریق الگوی تجارت اثر تکنیک را می‌توان برای متغیر A_{ji} و A_{je} به‌صورت $A_{ji} = f(R\&d_{ji}, FDI_{ji})$ و $A_{je} = f(R\&d_{je}, FDI_{je})$ گسترش داده. در این صورت الگوی نهایی تولید کالا و تولید دانش به‌صورت زیر خواهد بود:

$$F_{ji}(t) = c_{ji}K_{ji}{}^{\alpha_{ji}}(t)\, H_j^{m_{ji}\beta ji}(t)\left(L_j.u(t)\right)^{\beta ji} R\&D_{ji}^{\varphi_{ji}} FDI_{ji}^{\gamma_{ji}} \qquad (۳)$$

$$F_{je}(t) = c_{je}K_{je}{}^{\alpha_{je}}(t)\, H_j^{m_{je}\beta je}(t)\left(L_j.(1-u)(t)\right)^{\beta je} R\&D_{je}^{\varphi_{je}} FDI_{je}^{\gamma_{je}} \qquad (۴)$$

جهت پویا کردن الگوی رشد در چرخه تولید به استناد میر آجول و لقمان (۲۰۱۴)[3] به‌منظور محاسبه، نرخ‌های رشد، معادلات حرکت[4] (تغییرات) موجودی سرمایه فیزیکی $(\dot{K}_{ji})$ و $(\dot{K}_{je})$، موجودی سرمایه انسانی $(\dot{H}_{ji})$ و $(\dot{H}_{je})$ محاسبه شده است.

$$\dot{K}_{jt} = \frac{\partial K_{jt}}{\partial t} = \frac{\partial K_{jt}}{\partial F_{jt}}.\frac{\partial F_{jt}}{\partial t} - \delta_{Kjt} = \frac{\alpha_j F_{jt}}{K_{jt}}.\dot{F}_{jt} - \delta_{Kjt} = s_{Kj}.\dot{F}_{jt} - \delta_{Kjit}$$

$$\left\{\dot{K}_{jit} = \frac{\alpha_{ji}F_{jit}}{K_{jit}}.\dot{F}_{jit} - \delta_{Kjit} = s_{Kji}.\dot{F}_{jit} - \delta_{Kjit} = S_{Kjit}\right\}$$

$$\left\{\dot{K}_{jet} = \frac{\alpha_{je}F_{jet}}{K_{jet}}.\dot{F}_{jet} - \delta_{Kjet} = s_{Kje}.\dot{F}_{jet} - \delta_{Kjet} = S_{Kje}t\right\} \qquad (۵)$$

تغییرات سرمایه فیزیکی در طول زمانی می‌تواند پس از کسر استهلاک (که صفر فرض شده است) به‌عنوان پس‌انداز سرمایه فیزیکی S_{Kjt}، دوباره در چرخه تولید جهت

---

1. Learning by education
2. Learning by doing. Learning by production
3. Mirajul Haq, Muhamammad Luqman
4. Evelution

تولید بیستر استفاده شود. هم‌چنین به استناد اوزاوا (۱۹۶۵)، ژانگ[1] (۲۰۰۷) و هانوشک و وویسمن[2] (۲۰۰۸) در مورد تغییرات سرمایه انسانی در طول زمان می‌توان بیان کرد که به سه طریق آموزش از طریق تحصیل[3]، آموزش از طریق تجربه و کار[4] و آموزش از طریق مصرف[5] به تجربات خود خواهد افزود که همه این سه در S_{Hjt} به‌عنوان پس‌انداز سرمایه انسانی ذخیره خواهد شد و دوباره در چرخه تولید جهت تولید بیشتر یا با بهره‌وری بالا متبلور می‌شود. معادله حرکت سرمایه انسانی در طول زمان به شرح زیر خواهد بود:

$$\dot{H}_{jt} = \frac{\partial H_{jt}}{\partial t} = \frac{\partial H_{jt}}{\partial F_{jt}} . \frac{\partial F_{jt}}{\partial t} - \delta_{Hjt} = \frac{m_j \beta_j F_{jt}}{K_{jt}} . \dot{F}_{jt} - \delta_{Hjt} = s_{Hj} . \dot{F}_{jt} - \delta_{Hjt}$$

$$\left\{ \dot{H}_{jit} = \frac{m_{ji} \beta_{ji} F_{jit}}{H_{jit}} . \dot{F}_{jit} - \delta_{Hjit} = s_{Hji} . \dot{F}_{jit} - \delta_{Hjit} = S_{Hjit} \right\}$$
$$\left\{ \dot{H}_{jet} = \frac{m_{je} \beta_{je} F_{jet}}{H_{jet}} . \dot{F}_{jet} - \delta_{Hjet} = s_{Hje} . \dot{F}_{jet} - \delta_{Hjit} = S_{Hjet} \right\} \qquad (۶)$$

۳-۲- الگوی تجارت و سرمایه انسانی

با استناد به دیویس و کوینلیون (۲۰۰۶)[6]، عوامل موثر بر سرمایه انسانی را می‌توان علاوه بر حجم تجارت، از مخارج آموزش و مخارج سلامتی دانست. در این الگو فرض شده که تجارت اثرات با وقفه‌ای بر سرمایه انسانی دارد، بدین مفهوم که ورود کالاها با تکنولوژی بالا با وقفه برای چند سال متوالی به ارتقای منابع انسانی منجر خواهد شد. اگر $H_{j,t}$ و $Trade_{j,t}$ شاخص سرمایه انسانی و حجم تجارت کشور j ام در زمان t باشد، سایر عوامل موثر بر توسعه منابع انسانی نظیر مخارج بهداشت سرانه $cost\ HE_{j,t}$، مخارج آموزش سرانه $cost\ EDU_{j,t}$ به شکل تفاضل وارد الگو می‌شوند:

$$H_{j,t} - \lambda H_{j,t-1} = \alpha(1-\lambda) + \beta Trade_{j,t} + \phi\left(cost\ HE_{j,t} - cost\ HE_{j,t-1}\right)$$
$$\varphi\left(cost\ EDU_{j,t} - cost\ EDU_{j,t-1}\right) + \varepsilon_{j,t} - \lambda\varepsilon_{j,t-1} \qquad (۷)$$

---

1. Zhang
2. Hanushek and Woessmann
3. Learning by education
4. Learning by producing
5. Learning by consumption
6. Davies & Quinlivan

۳-۳- *الگوی تجارت و اثر تکنیک*

در نظریات رشد درون‌زا جزء باقی مانده رشد، به عواملی مانند دانش وتکنولوژی نسبت داده می‌شود. در برخی از الگوهای توسعه یافته، مانند الگو ادواردز، علاوه بر منابع داخلی تولید دانش، به منابع خارجی آن نیز توجه می‌شود. در این الگوها اعتقاد بر این است که اقتصادهای بازتر به سوی تجارت جهانی در جذب ایده‌های جدید و اختراعات انجام شده در سطح جهانی در مقایسه با اقتصادهای بسته موفق‌تر است. به استناد از اسچنیدر (۲۰۰۵) و کیم و همکاران (۲۰۱۵)، عوامل اثرگذار در تابع تکنولوژی به‌صورت $A(HDI, Trade, GDP, TELcom, R\&D, FDI)$ مطرح می‌شود. در این تابع، TELcom متغیر ارتباطات که خود از تعداد خطوط تلفن ثابت، تلفن همراه و تعداد استفاده‌کنندگان از اینترنت تشکیل شده است.

۴- روش شناسی

الگوی پویایی شناسی با استفاده از نرم افزار Vensim DSS4[۱]، طراحی و مورد تحلیل قرار گرفته، مرز مفهومی الگو که نقش تجارت و اثر آن بر تمامی زیر بخش‌ها را نشان می‌دهد، طراحی شده است. افق زمانی یک دوره ۵۰ ساله است که از سال ۱۳۵۹ تا ۱۴۰۹ ادامه می‌یابد. با توجه به اینکه داده‌های واقعی برخی از متغیرهای تا سال ۱۳۹۵ در دسترس است، الگوی اقتصادسنجی از سال ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۵ تخمین زده شده، ضرایب آن به الگوی شبیه‌سازی پویا منتقل شده است. به‌منظور سنجش اعتبار الگوی شبیه‌سازی شده، نتایج آن از سال ۱۳۵۹ تا ۱۳۹۵ با داده‌های واقعی، مقایسه و سپس عملیات شبیه‌سازی تا سال ۱۴۰۹ ادامه یافته است.[۲]

۴-۱- *روابط علی معلولی پژوهش*

در روش پویایی شناسی سیستمی در ابتدا ارتباط متغیرها بر اساس روابط علت و معلولی نشان داده می‌شود. حلقه‌های علی معلولی[۳] ضمن بیان روابط علی بین دو یا چند متغیر، جهت تأثیر آنها را به‌صورت مثبت یا منفی مشخص می‌کنند. این تأثیر

---

۱. برای اطلاعات بیشتر در مورد نرم افزار و توانایی‌های آن می‌توان به سایت www.vensim.com مراجعه شود.

۲. منظور جمع آوری داده‌های آماری از بانک‌های آماری ارائه دهنده اطلاعات مرتبط نظیر سایت بانک جهانی، بانک مرکزی ایران و درگاه آماری ایران استفاده شده است.

3. Causal Loop Diagram (CLD)

می‌تواند بر متغیر مورد نظر به‌صورت مستقیم و یا بطور غیرمستقیم ازطریق متغیرهای واسطه صورت پذیرد. مطابق نمودار (۱) در پیوست، الگوی مفهومی از چهار زیر سیستم کلی تشکیل شده است: زیر سیستم رشد اقتصادی، در قالب چرخه R_1، رفتار علت و معلولی اقتصاد را از دیدگاه کلان اقتصادی نمایش داده است. زیر سیستم اثر تجارت، بر تولید و رشد اقتصادی در قالب چرخه‌های R_2 تا R_5 رفتار علت و معلولی هر یک از متغیرهای تجاری را بر تولید و رشد اقتصادی نشان می‌دهد. چرخه R_6 و R_7 اثر تجارت را بر سرمایه انسانی، تولید و رشد اقتصادی نشان می‌دهد، چرخه R_8 و R_9 و R_{10} و B_1، اثر تجارت را بر جمعیت، نیروی کار، تولید و رشد اقتصادی نشان می‌دهد. در نهایت چرخه نوآوری R_{14} و R_{15} که اثر تکنیک ناشی از تجارت در کنار مؤلفه‌های دیگر تابع تکنولوژی را به نمایش می‌گذارد.

۴-۲- زیر سیستم‌ها و تلفیق اقتصادسنجی با پویایی شناسی

قبل از گسترش حلقه‌های علت و معلولی و تبدیل آن‌ها به نمودارهای انباشت و جریان[1]، باید توابع آن را از طریق روش‌های آماری یا اقتصادسنجی ایجاد و تخمین زد[2]. پس از آن با در نظر گرفتن فرم ضمنی معادلات و نیز ضرایب برآوردی به ایجاد بستری جهت عملیات شبیه‌سازی و طراحی نمودارهای جریان در قالب متغیرهای حالت، متغیرهای نرخ و نیز استفاده از متغیرهای کمکی در زیرسیستم‌های منحصر به فرد مبادرت کرد.

۴-۲-۱- تجارت و زیر سیستم رشد اقتصادی

به‌استناد روابط ۳ و ۴ در بخش الگوی رشد اقتصادی، ارتباط تابع تولید با زیر سیستم خود در قالب دو تابع با عنوان تابع تولید کالا $F_{ji}(t)$ و تابع تولید دانش $F_{je}(t)$ معرفی شدند. پس از اعمال آزمون‌های آماری و بررسی پایایی متغیرها، نتایج حاصل از الگوی اقتصادسنجی برآوردی به‌صورت زیر تخمین زده شد:

$$\mathrm{LnF_{ji}(t)} = 5.1 + 0.3\mathrm{LnK_{ji}(t)} + 0.67\mathrm{LnH_j(L_j.u)(t)} + 0.48\mathrm{LnR\&D_{ji}(t)}$$
$$-0.006\mathrm{LnFDI_{ji}(t)} + 0.7\mathrm{AR(1)} + \varepsilon_{j,t}$$

1. Stock Flow Diagram (SFD)

۲. در تمام الگوهای اقتصادسنجی گرفته شده در ابتدا ایستایی متغیرها مورد بررسی واقع شد و دلالت بر مانایی آن بررسی شده است. با توجه به آزمون مربوطه مشاهده می‌شود که تمام متغیرهای درسطح ایستا بوده و خطر ایجاد رگرسیون کاذب از بین رفته است و می‌توان از روش مرسوم اقتصادسنجی به تناسب الگوی مربوطه استفاده کرد. درنهایت بعد از تخمین معادلات رگرسیونی به بررسی تست‌های آماری پرداخته شده است.

$$(6.14)\quad (2.86)\quad (2.26)\quad (10.21)\quad (-0.17) \qquad (۸)$$
$$R^2 = 0.957 \qquad \overline{R}^2 = 0.948 \qquad D-W = 1.91$$

$$\mathrm{LnF_{je}(t) = 4.48 + 0.31LnK_{je}(t) + 0.16LnH_{je}(L_j.(u-1))(t)}$$
$$\mathrm{+0.4LnR\&D_{je}(t) - 0.001LnFDI_{je}(t) + 0.85AR(1)} + \varepsilon_{j,t}$$
$$(4.2)\quad (3.1)\quad (0.62)\quad (6.55)\quad (-0.04) \qquad (۹)$$
$$R^2 = 0.949 \qquad \overline{R}^2 = 0.939 \qquad D-W = 2.05$$

۴-۲-۲- تجارت و زیر سیستم سرمایه انسانی

در بخش تجارت و اثر سرمایه انسانی (جهت درون‌زا در نظر گرفن سرمایه انسانی) به استناد از دیویس و کوینلیون (۲۰۰۶)، ارتباط سرمایه انسانی با زیر سیستم خود در قالب معادله ۷ معرفی و نتایج حاصل از الگوی اقتصادسنجی برآوردی به‌صورت زیر تخمین زده شده است:

$$\mathrm{H_{j,t} - 0.45H_{j,t-1}}$$
$$\mathrm{= 0.75 + 0.000017Trade_{j,t} + 0.00002\big(cost\ HEX_{j,t} - cost\ HEX_{j,t-1}\big)}$$
$$\mathrm{+0.015\big(cost\ EDUEX_{j,t} - cost\ EDUEX_{j,t-1}\big) + 0.67AR(1) - 0.89AR(2)}$$
$$(4.96)\quad (5.66)\quad (2.72)\quad (6.53)\quad (2.23)\quad (2.43)\quad (-5.32)$$
$$R^2 = 0.97 \qquad \overline{R}^2 = 0.97 \qquad D-W = 1.91 \qquad (۱۰)$$

۴-۲-۳- تجارت و زیر سیستم نوآوری

به استناد از اسچنیدر (۲۰۰۵) و کیم و همکاران (۲۰۱۵)، می‌توان عوامل اثر گذار در تابع تکنولوژی که در قسمت ۴-۳ معرفی شده است را به‌صورت زیر برآورد کرد، نتایج حاصل از الگوی اقتصادسنجی برآوردی به‌صورت زیر تخمین زده شده است:

$$\mathrm{LNINV_{j,t} = 3.95 + 0.009\ LNFDI_{j,t} - 0.17\ LNGDP_{j,t} + 3.37\ LNHDI_{j,t} +}$$
$$\mathrm{0.05\ LNINTR_{j,t} + 0.14\ LNTLPH_{j,t} - 0.02\ LNMOB_{j,t} - 0.15\ LNTrade_{j,t}}$$
$$(5.82)\quad (0.99)\quad (-3.43)\quad (5.95)\quad (4.06)\quad (6.48)\quad (-3.33)\quad (-3.11)$$
$$R^2 = 0.98 \qquad \overline{R}^2 = 0.98 \qquad D-W = 2.75 \qquad (۱۱)$$

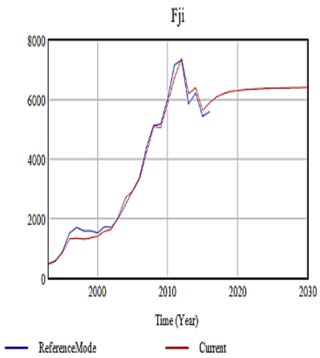
با بسط الگوی برآوردی به‌صورت زیر سیستم تولید کالا و تولید دانش، سرمایه انسانی و تکنولوژی، زیر سیستم‌های آن را می‌توان دقیق‌تر در نمودارهای ۲ تا ۴ پیوست ملاحظه کرد[۱].

---

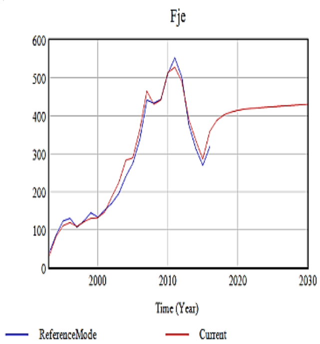
۱. کلیه محاسبات ریاضی متغیرهای مورد استفاده بر حسب توابع موجود در نرم افزار ونسیم نوشته شده است که به‌دلیل طولانی شدن در این مقاله تشریح نمی شود. در صورت تقاضای خواننده کل الگو و روابط آن در اختیار قرار خواهد گرفت.

۵- شبیه‌سازی و اعتبار سنجی الگو

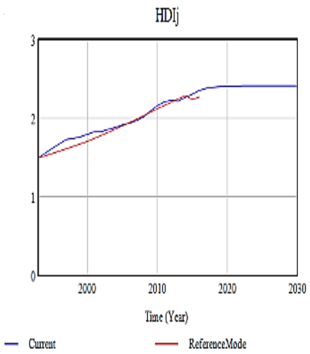
بعد از انجام شبیه‌سازی،جهت اعتبار سنجی در ابتدا آزمون رفتار مجدد[1] جهت مقایسه نتایج شبیه‌سازی با داده‌های واقعی صورت گرفته است. همان‌طورکه در نمودار ۵ تا ۱۰ آمده است، اطلاعات واقعی و نتایج شبیه سازی نشان از درستی شبیه سازی دارد. جهت اطمینان بیشتر، آزمون میزان خطای متغیرهای کلیدی بر اساس روش حداقل مجذورات[2] به استناد استرمن (۲۰۰۰) و به‌منظور شناسایی ریشه‌های خطا به استناد تیلز[3] (۱۹۶۶)، سه عامل خطای مبنا، خطای انحراف و خطای نابرابری کوواریانس آزمون شده و نتایج آن در جدول ۱ نشان داده شده است.



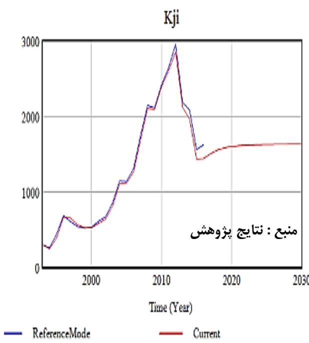
نمودار ۵. آزمون رفتار الگو متغیر تولید کالا



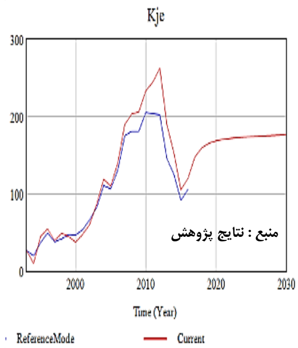
نمودار ٦. آزمون رفتار الگو متغیر تولید دانش



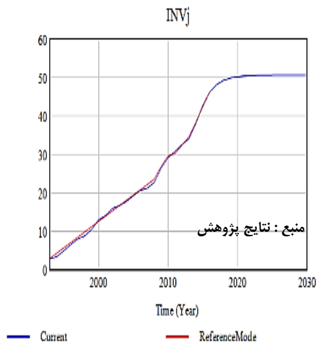
نمودار ۷. آزمون رفتار الگو متغیر سرمایه انسانی



نمودار ۸. آزمون رفتار الگو متغیر سرمایه گذاری در تولید کالا



نمودار ۹. آزمون رفتار الگو متغیر سرمایه گذاری در تولید دانش



نمودار ۱۰. آزمون رفتار الگو تابع تکنولوژی

1. Auxiliary Variables.
2. Root Mean Square Percent Error.
3. Theils

جدول ۱. نتایج اعتبار سنجی الگو

آزمون	تولید کالا F_{ji}	تولید دانش F_{je}	سرمایه انسانی	تکنولوژی	سرمایه تولید کالا	سرمایه تولید دانش	تجارت
RMSPE	۰/۱۰۲۱	۰/۱۰۸۷۲	۰/۲۷۹۱۴	۰/۲۵۹۱۴	۰/۰۰۰۷۱	۰/۲۵۶۱	۰/۰۴۵۹۱
UT	۰/۰۶۹۹۶	۰/۰۶۳۶۸	۰/۰۱۰۳۵	۰/۰۴۷۵۱	۰/۰۰۷۶۵	۰/۰۱۸۳۱	۰/۱۹۱۰۶
U^m	۰/۱۸۲۸۹	۰/۲۴۲۵۳	۰/۰۰۰۵۲	۰/۰۹۲۲۷	۰/۰۴۵۷۱	۰/۱۷۰۵۲	۰/۲۲۹۸۷
U^s	۰/۳۰۷۷۹	۰/۱۹۶۶۹	۰/۰۳۲۹۵	۰/۱۲۶۸۸	۰/۰۰۰۵۴	۰/۲۱۰۷۱	۰/۱۷۰۹۱
U^c	۰/۵۰۹۳۲	۰/۵۶۰۸۷	۰/۹۶۶۷۸	۰/۷۸۰۱۲	۰/۹۵۱۰۳	۰/۶۰۸۷۱	۰/۴۱۷۸۱
$U^m+U^s+U^c$	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱

منبع: یافته‌های تحقیق

۶- شبیه سازی متغیرهای کلیدی

۶-۱- *چرخه تولید سرانه (تولید کالا و خدمات فیزیکی* F_{ji}) (*تولید دانش و خدمات آموزشی* F_{je})

براساس نتایج الگو در نمودار ۵، میزان تولید کالا و خدمات فیزیکی سرانه در سال ۱۳۵۹ برابر ۲۱۶/۲۹ میلیون دلار که در سال ۱۳۹۵ به ۵۶۰۱/۹۳ افزایش یافته و تا ۱۴۰۹ بر اساس نتایج شبیه‌سازی به ۶۴۱۰/۴۸ افزایش خواهد یافت. افزایش حدود ۸۰۰ میلیون دلاری (۱۴/۵ درصدی) شبیه‌سازی پیش‌بینی شده طی ۱۴ سال منتهی به ۱۴۰۹ (سالی ۱ درصد)، نشان از روندی صعودی با شیب ملایم را می‌دهد. هم‌چنین نتایج الگو در نمودار ۶ نشان می‌دهد، میزان تولید دانش و خدمات آموزشی سرانه در سال ۱۳۵۹ برابر ۳۷/۸۵ میلیون دلار که در سال ۱۳۹۵ به ۳۵۹/۳۳۴ افزایش یافته و تا ۱۴۰۹ بر اساس نتایج شبیه‌سازی به ۴۳۰/۰۷۷ افزایش خواهد یافت. افزایش حدود ۷۱ میلیون دلاری (۲۰درصدی) شبیه‌سازی پیش‌بینی شده طی ۱۴ سال منتهی به ۱۴۰۹ (سالی ۱/۴۲ درصد) نشان از روندی صعودی با شیب ملایم را همانند تولید کالا، گوشزد می‌کند. بنابراین اتخاذ برنامه‌ریزی‌های لازم جهت بهبود تولید، امری ضروری محسوب می‌شود.

۶-۲- شاخص سرمایه‌گذاری انسانی (HDI_j)

براساس نتایج الگو در نمودار ۷، میزان شاخص سرمایه انسانی در سال ۱۳۵۹ برابر ۱/۰۷۳۳ بوده، که در سال ۱۳۹۵ به ۲/۲۷۰۳ افزایش یافته و تا سال ۱۴۰۹ بر اساس نتایج شبیه‌سازی به ۲/۴۱۲۸ افزایش خواهد یافت. معیار این شاخص عددی بین صفر تا ۱۰ است و از ابتدا تا پایان دوره تقریباً روندی صعودی با شیب ملایم را طی می‌کند. جهت بهبود و افزایش شیب صعودی این شاخص، باید معیارهایی نظیر نرخ امید به زندگی، نرخ باسوادی، ضریب جینی، هزینه‌های بهداشت، هزینه‌های آموزش بهبود یابد

۶-۳- سرمایه‌گذاری فیزیکی سرانه (K_{ji} و K_{je})

براساس نتایج الگو در نمودار ۸، میزان سرمایه فیزیکی سرانه در بخش تولید کالا در سال ۱۳۵۹ برابر ۱۰۳/۵۲ میلیون دلار بوده، که در سال ۱۳۹۵ به ۱۶۲۶/۹۵ رسیده است و در سال ۱۴۰۹ بر اساس نتایج شبیه‌سازی به ۱۶۳۷/۰۸ افزایش خواهد یافت. افزایش ناچیز ۱۱ میلیون دلاری پیش‌بینی شده برای متغیر سرمایه‌گذاری در بخش تولید کالا یکی از عوامل اصلی در رکود تولید کالا در رشد اقتصادی به حساب می‌آید. نکته قابل ذکر در الگو این است که، میزان K_{ji} از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ روندی به شدت نزولی را با سقوط ۱۳۰۰ میلیون دلار تجربه کرده و جای تامل است که چه اولویت‌هایی در اقتصاد، سهم این عامل اقتصادی را به خود اختصاص داده اند. براساس نتایج الگو در نمودار ۹، میزان سرمایه فیزیکی سرانه در بخش تولید دانش و خدمات آموزشی سرانه در سال ۱۳۵۹ برابر ۲۶/۷۱ میلیون دلار بوده، که این مقدار در در سال ۱۳۹۵ به ۱۱۹/۸۸۱ افزایش یافته و در سال ۱۴۰۵ بر اساس نتایج شبیه‌سازی به ۱۷۶/۶۴۵ خواهد رسید. افزایش ۵۷ میلیون دلاری پیش‌بینی شده برای متغیر سرمایه‌گذاری در بخش تولید دانش حاکی از رشد ۴ درصدی در هر سال برای دوره ۱۴ ساله منتهی به ۱۴۰۹ بوده که به نظر می‌رسد برای بخش سرمایه‌گذاری در دانش، رقمی ناچیز است. سقوط ۱۱۱ میلیون دلاری K_{je} که از سال ۱۳۹۱ تا ۱۳۹۴ اتفاق افتاده است جای تاملی برای محققان در این حوزه خواهد بود که چه اولویت‌هایی در اقتصاد، سهم این عامل اقتصادی را به خود اختصاص داده‌اند.

۶ – ۴- شاخص نوآوری (INV_j)

براساس نتایج الگو در نمودار ۱۰، شاخص نوآوری در سال ۱۳۵۹ برابر ۲/۹۷۱۴ بوده که در سال ۱۳۹۵ به ۴۶/۳ افزایش یافته و تا سال ۱۴۰۹ بر اساس نتایج شبیه‌سازی به ۵۰/۶۸۳۶ خواهد رسید. افزایش ناچیز ۴ واحدی برای ۱۴ سال پیش‌بینی نشان می‌دهد که زیرساخت‌های این حوزه پتانسل تولید انفجاری را در این بخش ندارند و توانسته است فرضیه تکنولوژی با تخریب هوشمند را به‌شدت پذیرا باشد. با این حال میزان تولیدتکنولوژی از ابتدا تا سال ۱۳۹۸ روندی صعودی با شیب قابل قبولی را طی می‌کند، اما از سال ۱۴۰۱ به بعد با روندی ثابت شبیه‌سازی را همراه شده است. این شاخص که عددی بین صفر تا ۱۰۰ بوده، از متغیرهایی نظیر سرمایه‌گذاری داخلی، درجه باز بودن تجاری، نرخ مبادله، سرمایه‌گذاری خارجی، سرمایه انسانی، شاخص‌های ICT و ارتباطات و .... صورت می‌گیرد و موید این مطلب است که در جهت بهبود این شاخص به‌ویژه از سال ۱۴۰۱ به بعد، به بهبود هر یک متغیرهای ذکر شده کمک شده و تصمیمات کاربردی اتخاذ شود.

جدول ۲. نتایج االگو در یک نگاه

زیر سیستم	F_{ji} میلیون دلار	F_{je} میلیون دلار	K_{ji} میلیون دلار	K_{je} میلیون دلار	HDI_j	INV_j
سال ۱۳۵۹	۲۱۶/۲۹	۳۷/۸۵	۱۰۳/۵۲	۲۶/۷۱	۱/۰۷۳۳	۲/۹۷۱۴
سال ۱۳۹۵	۵۶۰۱/۹۳	۳۵۹/۳۳۴	۱۶۲۶/۹۵	۱۱۹/۸۸۱	۲/۲۷۰۳	۴۶/۳
سال ۱۴۰۹	۶۴۱۰/۴۸	۴۳۰/۰۷۷	۱۶۳۷/۰۸	۱۷۶/۶۴۵	۲/۴۱۲۸	۵۰/۶۸۳۶
شکاف روند	سالی ۱۵۰	سالی ۳۰	سالی ۳۰۰-	سالی ۱۱۱-	–	–
سال شکاف روند	۲ ساله ۹۶ و۹۷	۲ ساله ۹۶ و۹۷	۴ ساله ۹۱ تا۹۴	۴ ساله ۹۱ تا۹۴	–	–
پیش‌بینی رشد	رشد ۱ درصدی و رکودی	رشد ۱/۴۲ درصدی و رکودی	رشد ثابت	رشد ثابت	رشد صعودی با شیب ملایم	رشد صعودی با شیب ملایم

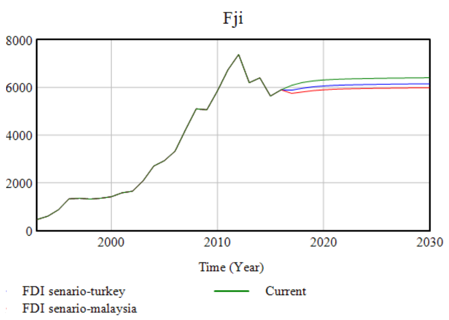
منبع: یافته‌های تحقیق

۷- بهینه سازی متغیرهای کلیدی از طریق اعمال سناریو

هدف این مرحله بهینه سازی متغیرهای کلیدی بر حسب سناریوهای مختلف است. متغیرهایی که افزایش آنها مطلوب است، در جهت مثبت افزایش می‌یابند و متغیرهایی که کاهش آنها مطلوب است، در جهت منفی کاهش می‌یابند. از آنجا که داده‌های واقعی تمامی متغیرهای الگو تا سال ۱۳۹۵ موجود است، منطقی به نظر می‌رسد که این تغییرات از سال ۱۳۹۶ در الگو اعمال شود. جهت اعمال سناریو در این الگو از اطلاعات دو کشور مالزی به‌عنوان نماینده آسیای شرقی و ترکیه به‌عنوان نماینده خاورمیانه استفاده شده است. بدین صورت که شوک سال ۱۳۹۶ یعنی اعمال اطلاعات سال ۱۳۹۶ (۲۰۱۷) مالزی یا ترکیه در متغیر مربوطه برای کشور ایران خواهد بود.

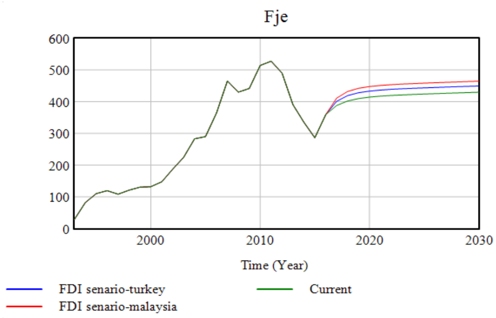
۷-۱- اثر شوک تجارت بر بخش تولید (رشد اقتصادی)

سناریو شوک تجارت از طریق دو مؤلفه مهم تجاری یعنی سرمایه‌گذاری خارجی سرانه و میزان تجارت خارجی سرانه در الگو اعمال می‌شود. با فرض این که حجم سرمایه‌گذاری خارجی و تجارت ایران در سال ۱۳۹۵ به‌ترتیب $\mathrm{FDI_{IR}} =$ ۴۲/۰۰۴۳ و $\mathrm{Trade_{IR}} =$ ۲۲۲۵/۰۳ میلیون دلار بوده است، مقادیر اعمال شده از طریق داده‌های دو کشور ترکیه و مالزی برای سال ۱۳۹۶ (۲۰۱۷) به‌ترتیب $\mathrm{FDI_{TUR}} =$ ۱۳۴/۸۵ و $\mathrm{Trade_{TUR}} =$ ۴۶۱۰۵۹/۶ و $\mathrm{FDI_{MAL}} =$ ۳۰۰/۷۷ و $\mathrm{Trade_{MAL}} =$ ۴۲۷۴۶۸/۳۷ میلیون دلار بوده است. الگوی شبیه‌سازی برای ۱۴ سال منتهی به ۱۴۰۹ را اعمال و تغییرات این شوک بر بخش تولید (رشد اقتصادی) از طریق نمودارهای پیش‌بینی ۱۱ تا ۱۴ شبیه‌سازی شده است.



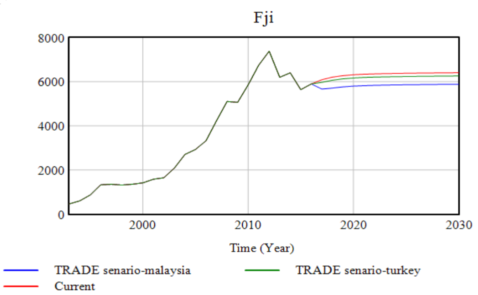
منبع : یافته‌های تحقیق

نمودار ۱۱. نتایج شوک سرمایه گذاری خارجی بر تولید کالا



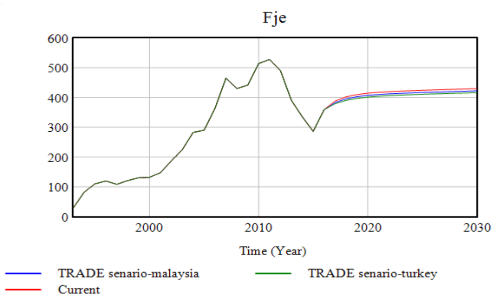
منبع : یافته‌های تحقیق

نمودار ۱۲. نتایج شوک سرمایه گذاری خارجی بر تولید دانش



منبع : یافته‌های تحقیق

نمودار ۱۳. نتایج شوک تجارت بر تولید



منبع : یافته‌های تحقیق

نمودار ۱۴. نتایج شوک تجارت بر تولید

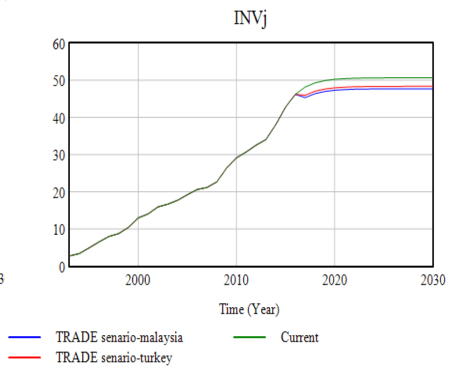
نتایج نشان می‌دهد، اعمال این شوک بر عملکرد رشد اقتصادی از طریق افزایش سرمایه‌گذاری خارجی مطابق نمودار ۱۱ نتوانسته است تولید کالا را افزایش دهد و اعمال سناریو مالزی اثر کاهشی بیشتری نسبت به سناریو ترکیه دارد. همچنین اثر افزایش سرمایه‌گذاری خارجی مطابق نمودار ۱۲ توانسته است تولید دانش را افزایش دهد و اعمال سناریو مالزی اثر افزایشی بیشتری نسبت به سناریو ترکیه دارد. همچنین اثر افزایش تجارت از طریق افزایش داد و ستدهای تجاری مطابق نمودار ۱۳ و ۱۴ نشان می‌دهد که نتوانسته است تولید کالا و تولید دانش را افزایش دهد و اعمال سناریو مالزی اثر کاهشی بیشتری نسبت به سناریو ترکیه دارد.

۷-۲- *اثر شوک تجارت بر بخش سرمایه انسانی*

سناریو شوک تجارت بر سرمایه انسانی واثر افزایش تجارت بر سرمایه انسانی اثر چشم‌گیری نبوده است، چرا که در الگوی رگرسیونی برآوری، نقش تجارت از طریق ضریب اثر گذاری مقدار بسیار ناچیز $۱۰^{-۵}$ * ۱/۷ بوده و اثر چندانی ندارد.

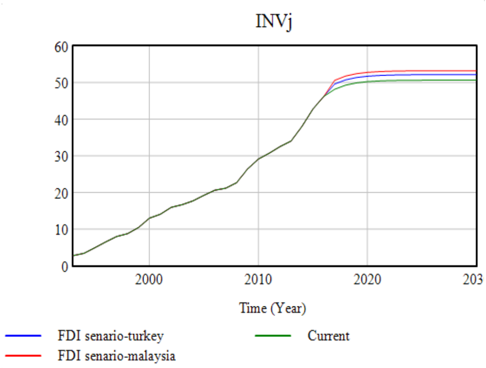
اثر شوک تجارت بر نوآوری

سناریو شوک تجارت بر نوآوری از طریق نمودارهای ۱۵ و ۱۶ شبیه‌سازی شده است. نتایج نشان می‌دهد، اعمال شوک تجارت بر عملکرد نوآوری از طریق افزایش داد و ستدهای تجاری مطابق نمودار ۱۵ نتوانسته است اثر افزایشی داشته باشد و اعمال سناریو مالزی اثر کاهشی بیشتری نسبت به سناریو ترکیه دارد. هم‌چنین اثر افزایش سرمایه‌گذاری خارجی مطابق نمودار ۱۶ توانسته است بر نوآوری اثر افزایشی داشته باشد و اعمال سناریو مالزی اثر افزایشی بیشتری نسبت به سناریو ترکیه را نشان می‌دهد.



منبع : یافته های تحقیق

نمودار ۱۵. نتایج شوک تجارت بر نوآوری



منبع : یافته های تحقیق

نمودار ۱۶. نتایج شوک سرمایه گذاری خارجی بر نوآوری

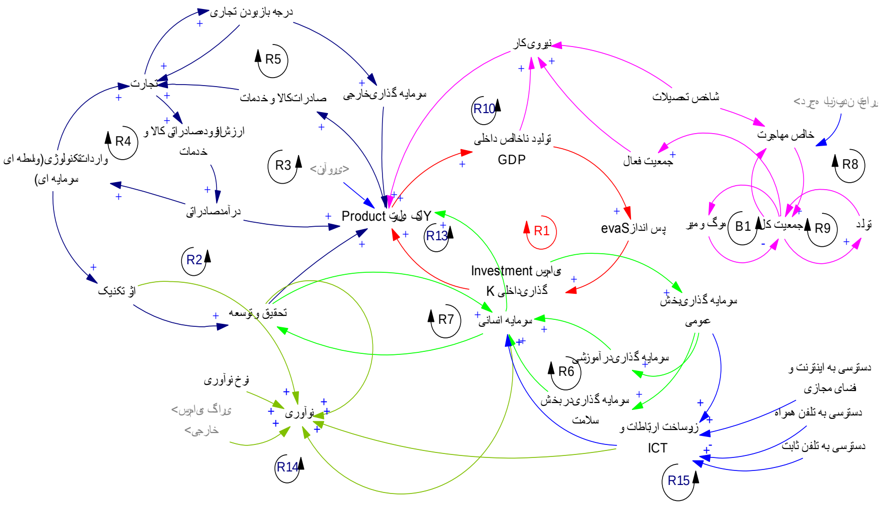
۸- نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان می‌دهد که اثر تکنیک منتج شده از تجارت (در مفهوم سرمایه‌گذاری خارجی) روی تابع تولید شاخص نوآوری به‌طور خاص اثر گذار بوده و توانسته است در الگوی شبیه‌سازی شده بر تابع تولید دانش، از طریق تابع تولید نوآوری و تابع تولید سرمایه انسانی اثری مثبت داشته باشد. تحلیل مقایسه‌ای دو کشور منتخب از روش

ایجاد سناریو شوک نشان می‌دهد که پیروی از روند سرمایه‌گذاری خارجی در مالزی برای الگور شبیه‌سازی شده ترکیه و بهتر از ایران بوده است. پیش‌بینی این الگو در افق ۱۰ ساله ۱۴۰۹ حاکی از دهه رکودی را نشان می‌دهد. نتایج با دیدگاه اثر تجارت (در مفهوم داد و ستد) نشان داده است که تجارت نه تنها نتوانسته است اثری مثبت بر تولید کالا و دانش، تولید نوآوری و سرمایه انسانی داشته باشد، بلکه اثری منفی و رو به پایین را در آینده نه چندان دور شبیه‌سازی می‌کند. از منظر محقق، توجیه رو به پایین اثر تجارت، موید این مطلب است که سهم داد و ستدهای مصرفی بر سهم داد و ستدهای تکنیکی برتری داشته و اقتصاد ایران از تجارت، منافع مصرفی بیشتری برای خود در مقایسه با منافع تکنیکی به‌دست می‌آورد. هم‌چنین الگوی شوک تجاری نشان داد که فشار به بخش خارجی جهت افزایش تجارت، تولید بخش داخل را کاهش می‌دهد چرا بیشتر سهم تجارت، کالاهای غیر سرمایه ای، غیر واسطه‌ای تولیدی بوده است. هم‌چنین با فشار به بخش سرمایه‌گذاری خارجی (با وجود موانع زیاد داخلی و خارجی و عدم تمایل سرمایه‌گذاران) نمی‌توان اثر چشم‌گیری بر تولید متصور شد.

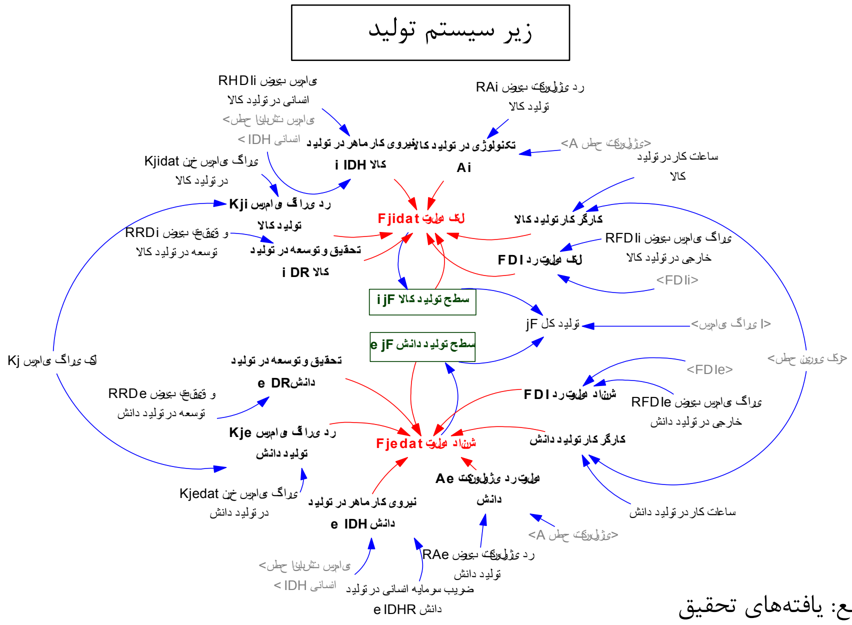
با توجه به نتایج شبیه‌سازی، پیشنهاد می‌شود تا از طریق سرمایه‌گذاری خارجی و در جهت تولید دانش، سهم آن را در تولید کل افزایش داده و از این اثر بر تولید نوآوری بیشتر بهره گرفت. هم‌چنین از طریق شرایط قانون گذاری و تعرفه سهم مصرفی ناشی از تجارت را به مصرفی کالای تولید داخلی انتقال داد. از دیدگاه طراحی چهارچوب مفهومی می‌توان پیشنهادات کرد که اثر متغیر تحقیق و توسعه و متغیر سرمایه‌گذاری خارجی را به‌صورت درون‌زا طراحی کرد. افزون‌بر این به‌منظور بررسی اثر مصرفی تجارت پیشنهاد می‌شود تا از طریق طراحی الگوی هزینه مبادله نقش عوامل بازدارنده مطلوبیت‌های ناشی از تجارت بر تابع تولید کالا مشخص شود، چرا که به نظر می‌رسد عامل هزینه مبادله به‌عنوان عاملی بازدارنده روند تولید تا مصرف را به گونه‌ای تحت الشعاع قرار داده است که از دید تولید کننده کالای تولیدی غیر رقابتی وارد عرصه داده ستد شده و نیز از دید مصرف کننده کالای تولیدی، کالایی بدون صرفه اقتصادی جهت مصرف به شمار می‌آید. به‌منظور بررسی اثر تجارت بر سرمایه انسانی، پیشنهاد می‌شود با گسترش الگوی تابع تولید سرمایه انسانی، نقش جمعیت فعال، جمعیت غیر فعال، جمعیت به تفکیک تحصیلات و مقاطع تحصیلی و نیز نقش زیر سیستم تولید دانش و نقش زیر سیستم نوآوری به تفصیل وارد تابع سرمایه انسانی شود تا نقش تکنیکی تجارت موشکافانه‌تر مورد بررسی قرار گیرد.

پیوست



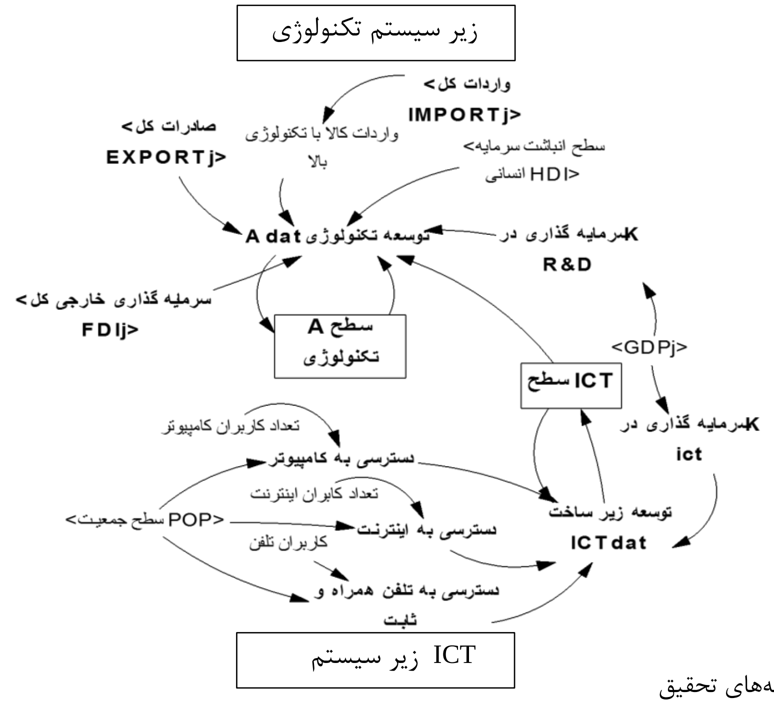
منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار ۱. کل چارچوب مفهومی علت و معلولی پژوهش



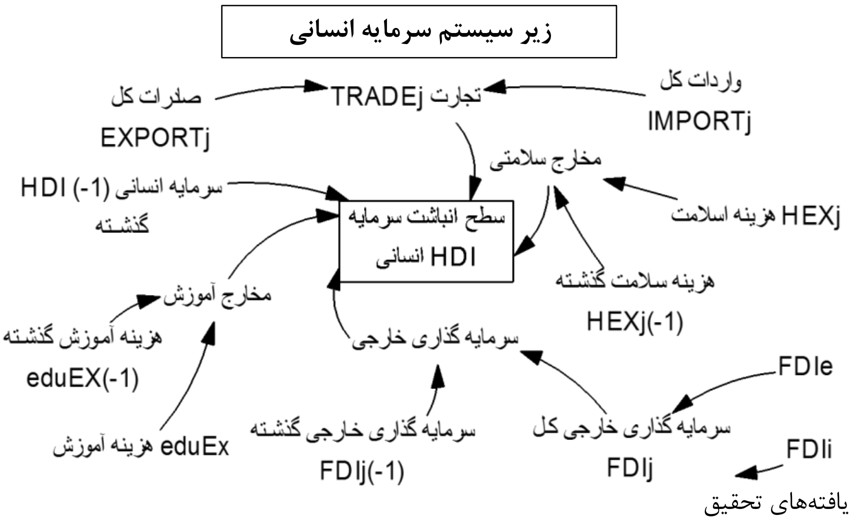
منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار ۲. چارچوب مفهومی علت و معلولی زیر سیستم تولید



منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار ۳. چارچوب مفهومی علت و معلولی تابع تکنولوژی



منبع: یافته‌های تحقیق

نمودار ۴. چارچوب مفهومی علت و معلولی سیستم سرمایه انسانی

جداول تخمیل مدل‌ها

جدول ۳. نتایج و برآورد تابع تولید کالا و خدمات (معادله ۸)

Dependent Variable: LNFJI
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)
Date: 05/01/20 Time: 13:49
Sample: 1980 2016
Included observations: 37
Convergence achieved after 31 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	5.100839	0.829946	6.145988	0.0000
LNKJI	0.308113	0.107656	2.862024	0.0076
LNLUHDI	0.671761	0.296585	2.264983	0.0309
LNFDII	-0.006025	0.033817	-0.178154	0.8598
LNRDI	0.480837	0.047094	10.21014	0.0000
AR(1)	0.700228	0.180240	3.884980	0.0005
SIGMASQ	0.011385	0.003632	3.134992	0.0038

R-squared	0.957245	Mean dependent var	7.919906
Adjusted R-squared	0.948694	S.D. dependent var	0.523156
S.E. of regression	0.118499	Akaike info criterion	-1.240954
Sum squared resid	0.421259	Schwarz criterion	-0.936186
Log likelihood	29.95766	Hannan-Quinn criter.	-1.133509
F-statistic	111.9461	Durbin-Watson stat	1.917704
Prob(F-statistic)	0.000000		
Inverted AR Roots	.70		

جدول ۴. نتایج و برآورد تابع تولید دانش (معادله ۹)

Dependent Variable: LNFJE
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)
Date: 05/01/20 Time: 13:47
Sample: 1980 2016
Included observations: 37
Convergence achieved after 13 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	4.487552	1.068497	4.199874	0.0002
LNKJE	0.314729	0.101351	3.105338	0.0041
LNL1UHDI	0.159135	0.252774	0.629556	0.5338
LNFDIE	-0.001176	0.027034	-0.043508	0.9656
LNRDE	0.399095	0.060858	6.557851	0.0000
AR(1)	0.854486	0.161170	5.301779	0.0000
SIGMASQ	0.012581	0.002601	4.837381	0.0000

R-squared	0.949463	Mean dependent var	5.442129
Adjusted R-squared	0.939355	S.D. dependent var	0.505836
S.E. of regression	0.124568	Akaike info criterion	-1.123874
Sum squared resid	0.465514	Schwarz criterion	-0.819105
Log likelihood	27.79166	Hannan-Quinn criter.	-1.016429
F-statistic	93.93703	Durbin-Watson stat	2.059999
Prob(F-statistic)	0.000000		
Inverted AR Roots	.85		

جدول ۵. نتایج و برآورد تابع سرمایه انسانی (معادله ۱۰)

Dependent Variable: HDI1
Method: ARMA Maximum Likelihood (OPG - BHHH)
Date: 02/18/20 Time: 20:38
Sample: 1994 2016
Included observations: 23
Convergence achieved after 19 iterations
Coefficient covariance computed using outer product of gradients

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
HDI1(-1)	0.458685	0.092463	4.960731	0.0002
C	0.753333	0.133051	5.661977	0.0000
TRADE_POP	1.70E-09	6.22E-10	2.729313	0.0155
EDU_GNI	0.015969	0.007155	2.231798	0.0413
HEX_PPP	0.000273	4.19E-05	6.521007	0.0000
AR(1)	0.672236	0.276008	2.435571	0.0278
AR(2)	-0.895506	0.168063	-5.328391	0.0001
SIGMASQ	0.000101	3.93E-05	2.561502	0.0217

R-squared	0.998391	Mean dependent var	1.911957
Adjusted R-squared	0.997641	S.D. dependent var	0.255661
S.E. of regression	0.012418	Akaike info criterion	-5.524435
Sum squared resid	0.002313	Schwarz criterion	-5.129481
Log likelihood	71.53101	Hannan-Quinn criter.	-5.425105
F-statistic	1329.919	Durbin-Watson stat	2.448503
Prob(F-statistic)	0.000000		

Inverted AR Roots	.34-.88i	.34+.88i

جدول ۶. نتایج و برآورد تابع تکنولوژی (معادله ۱۱)

Dependent Variable: LNINV
Method: Least Squares
Date: 03/21/20 Time: 14:18
Sample: 1993 2016
Included observations: 24

Variable	Coefficient	Std. Error	t-Statistic	Prob.
C	3.959171	0.679694	5.824934	0.0000
LNGDP	-0.170972	0.049830	-3.431105	0.0034
LNHDI1	3.371965	0.567102	5.945961	0.0000
LNINTR	0.058841	0.014492	4.060144	0.0009
LNTLPH	0.145708	0.022469	6.484720	0.0000
LNMOBL	-0.022697	0.006809	-3.333366	0.0042
LNTRADE	-0.152034	0.048756	-3.118259	0.0066
LNFDI	0.009266	0.009348	0.991247	0.3363

R-squared	0.999186	Mean dependent var	2.751776
Adjusted R-squared	0.998829	S.D. dependent var	0.678222
S.E. of regression	0.023204	Akaike info criterion	-4.427754
Sum squared resid	0.008615	Schwarz criterion	-4.035070
Log likelihood	61.13305	Hannan-Quinn criter.	-4.323575
F-statistic	2804.669	Durbin-Watson stat	2.265348
Prob(F-statistic)	0.000000		

منابع

۱. بانک مرکزی ایران، بانک اطلاعات سری زمانی، سال‌های ۱۳۵۹-۱۳۹۵: http://tsd.cbi.ir

۲. دهقانی شبانی، زهرا، شهنازی، روح اله، (۱۳۹۶). تحلیل تأثیر سرریزهای بین استانی سرمایه انسانی بر رشد اقتصادی در ایران، تحقیقات اقتصادی، ۸۹-۱۱۵.

۳. مرکز آمار ایران، جمعیت ایران، سالنامه آماری و گزارش تفصیلی سالانه جمعیت ایران، سال‌های ۱۳۵۹-۱۳۹۵.

4. Alfaro, L., Kalemli-Ozcan, S., & Volosovych, V. (2008). Why Doesn't Capital Flow from Rich to Poor Countries? An Empirical Investigation, Review of Economics and Statistics, 90, No. 2, PP. 347–368.
5. Altar, M., Necula, C., & Bobeica, G. (2008). Modeling the Economic Growth in Romania. The Role of Human Capital. Romanian Journal of Economic Forecasting, 5(3),115-128.
6. Arellano, M., & Bond, S. (1991). Some Tests of Specification for Panel Data: Monte Carlo Evidence and an Application to Employment Equations, Review of Economic Studies, 58, 277–297.
7. Barro, R., & Sala-I-Martin, X. (1995). Economic Growth. Second Edition. McGraw-Hill Inc. New York Press.
8. Branstetter, L., & Sakakibara, M. (1998). Japanese research consortia: a microeconomic analysis of industrial policy. The Journal of Industrial Economics 46, 207– 233.
9. Davies. A., & Quinlivan, G. (2006). A Panel Data Analysis of The Impact of Trade on Human Development, Journal of Socio-Economics, 35, 868-876.
10. Dong-Hyeon Kim, Shu-Chin Lin, Yu-Bo Suen (2016). Trade, growth and growth volatility: New panel evidence , International Review of Economics and Finance 45, 384–399.
11. Gong G., Greiner, A., & Semmler, W. (2002). Estimating the Uzawa-Lucas Model for the U.S. and Germany. Center for Empirical Macroeconomics Working Paper 10.
12. Grossman, G. M., & Helpman, E. (1991). Innovation and growth in the global economy. Cambridge: MIT. Hanushek, E., & Kimko, D. (2000). Schooling, labor-force quality and the growth of nations. American Economic Review, 90, 1194–1204.
13. Hanushek, E. A., & Woessmann, L. (2008). The role of cognitive skills in economic development. Journal of Economic Literature, 46, 603–668.
14. Kim, Kyunam, Kim, Yeonbae (2015). Role of policy in innovation and international trade of renewable energy technology: Empirical study of

solar PV and wind power technology, Renewable and Sustainable Energy Reviews 44,717–727.

15. Lucas, R. E. (1988). On the mechanics of economic development. Journal of Monetary Economics, 22, 3–42.
16. Pradhan, R. K., Jena, L. K., & Singh, S. (2017). Examining the Role of Emotional Intelligence between Organizational Learning and Adaptive Performance in Indian Manufacturing Industries. Journal of Workplace Learning, 29,13-23.
17. Rao Muhammad Atif, Abida Jadoon, Khalid Zaman1, Aisha Ismail, Rabia Seemab (2010). Trade Liberalisation, Financial Development and Economic Growth: Evidence from Pakistan (1980-2009), journal of International Academic Research ,10, 23-32.
18. Romer, P.M. (1989). Human capital and growth: Theory and evidence. Working Paper. 3173, NBER, Cambridge.
19. Rubini, Loris, (2014). Innovation and the trade elasticity, Journal of Monetary Economics, 66, 32–46
20. Schneider, H. (2005). International trade, economic growth and intellectual property rights: A panel data study of developed and developing countries, Journal of Development Economics, 78, 2, 529-547
21. Solow, R. (2000). Growth theory—An exposition. New York: Oxford University Press.
22. Teixeira, A. A. C., & Fortuna, N. (2004). Human capital, innovation capability and economic growth in Portugal, 1960–2001. Portuguese Economic Journal, Springer-Verlag , 25(3): 35–50.
23. Teixeira, A. A. C., & Fortuna, N. (2010). Human Capital, R & D, Trade, and Long-Run Productivity Testing the Technological Absorption Hypothesis for the Portuguese Economy, 1960 – 2001. Research Policy, 39(3): 335–350.
24. Trade and human development (2006). Asia-Pacific human development report
25. Uzawa, H. (1965). Optimal technical change in an aggregative model of economic growth. International Economic Review, 6, 18–31.
26. Vianna, Andre C. (2016). The impact of exports to China on Latin American growth, Journal of Asian Economics 47, 58–66.
27. Zahonogo, Pam (2016). Trade and economic growth in developing countries: Evidence from sub-Saharan Africa, Journal of African, 3, 41-56)
28. Zhang, W. B. (2007). Economic growth with learning by producing, learning by education, and learning by consuming. Interdisciplinary Description of Complex Systems, 5, 21–38.
29. Zhang, Wei-Bin (2015). National Education and Global Economic Growth: A Synthesis of the Uzawa–Lucas Two-Sector and the Oniki–Uzawa Trade Models, J Knowl Econ, 6:905–928.

Simulation of Endogenous Growth of Iran's Economy (Oniki–Uzawa approach)

Mohamad Davood Khorsandi[1], Ahmad Gogerdchian*[2], Karim Azarbayjani [3], Seyed Komail Tayebi[4]

1. North Kashani Street Opposite Jami, Bamdad Bldg, mohamaddavood@gmail.com
2. Assistant Professor of Economics, Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan, a.googerdchian@ase.ui.ac.ir
3. Professor of Economics, Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan, k_azarbayjani@ase.ui.ac.ir
4. Professor of Economics, Faculty of Administrative Sciences and Economics, University of Isfahan, sk.tayebi@ase.ui.ac.ir
Received: 2020/05/05 Accepted: 2020/09/12

Abstract

In this study, we simulated the effect of trade on Iran's economic growth by using a combination of econometric methods and system dynamics. Through the design of a conceptual framework, an attempt has been made to expand the Ozawa (1965) -Lucas (1988) growth pattern by expanding the Oniki-Ozawa (2015) model. Entering the role of trade through trade volume and foreign investment inthe model, we simulated and predicted the effect of these two factors on the trend of production of goods and knowledge production, human capital index, and innovation indexfor the period of 1359 to 1409 (Solar Year). We used business data from Malaysia and Turkey to analyze a shock and compare the result with Iran's data. The results show that the effect of technology resulting from trade (in the sense of foreign investment) only affecte the technology function, and the growth of technology has a positive effect on the knowledge production function. In addition, trade has not a positive effect on the commodity production function.. Besides, following Malaysia's trend of foreign investment to simulate Iran's situation is beteer working than the model of Turkey and current Iran's model. Finally, the result of forecast for economic growth for the period of 1399 to 1409 indicates a situation of economic recession. With countinuing this situation and sanction, a worst situation is expected.

JEL Classification: P45, O15, F16, F11, C61

Keywords: Ozawa- Lucas's endogeneous growth, Oniki-Ozawa's model, Technical effect, Human capital, System dynamics

---

*. Corresponding Author, Tel: 09132259791