تحقیقات اقتصادی / دورهٔ ۵۱، شمارهٔ ۳، پاییز ۱۳۹۵ / ص ۷۳۴-۷۰۹

برآورد سری زمانی ارزش سطح دانش در اقتصاد ایران (۱۳۹۲-۱۳۵۳)

ابراهیم هادیان[۱]، علی حسین استادزاد[*۲]

۱. دانشیار بخش اقتصاد دانشگاه شیراز، ehadian@rose.shirazu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری بخش اقتصاد دانشگاه شیراز،
s.aostadzad@ rose.shirazu.ac.ir -aostadzad@yahoo.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۵

چکیده

در متون جدید مخارج تحقیق و توسعهٔ (R&D) نقش مهمی در رشد اقتصادی ایفا می‌کند. سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه سبب افزایش سطح دانش و افزایش سطح دانش، افزایش بهره‌وری را درپی داشت و از کانال افزایش بهره‌وری رشد اقتصادی بهبود می‌یابد. در مطالعات بسیاری که در زمینهٔ تحقیق و توسعه انجام گرفته، از داده‌های واحدی برای این متغیر استفاده نشده است. دلیل این امر گزارش نشدن نیروی کار و همچنین سطح سرمایه در بخش تحقیق و توسعه (با دلیل پیچیدگی محاسبات و اندازه‌گیری‌های این متغیر غیرقابل مشاهده) می‌باشد. در این مطالعه اولا سری زمانی سرمایه و نیروی کار در دوره‌های مختلف در بخش R&D محاسبه و پس از آن سطح دانش به عنوان یک متغیر غیرقابل مشاهده در تولید در نظر گرفته شده و با بسط یک الگوریتم بازگشتی چند هدفه سری زمانی برای ارزش دانش طی دورهٔ ۱۳۵۳-۱۳۹۲ برآورد شده است. محاسبات انجام گرفته می‌تواند راه گشایی برای مطالعات بسیار مهم در آینده باشد. ذکر این نکته ضروری است که تمام برنامه نویسی الگوریتم بازگشتی بسط داده شده در نرم افزار متلب به صورت نرم افزاری نوشته شده است و برای کشورهای مختلف قابل بسط است.

طبقه بندی JEL: C15, C49, C61, Q30

واژه‌های کلیدی: سطح دانش، مخارج R&D، الگوریتم ژنتیک، متغیرهای غیرقابل مشاهده، اقتصاد ایران

---

*. نویسندهٔ مسئول، ۰۹۱۷۳۰۰۹۱۷۴

۱. مقدمه

کشورهای مختلف برای ایجاد دانش و نوآوری در تولید در بخش تحقیق و توسعه (R&D) و فعالیت‌های مربوط به آن سرمایه‌گذاری می‌کنند. سرمایه‌گذاری‌ها در R&D، دارایی شرکت‌ها را با تقویت بهره‌وری‌شان افزایش خواهد داد. با توجه به بررسی صورت گرفته در بخش پیشینهٔ پژوهش، سری زمانی قابل دسترس برای حجم سرمایه در بخش R&D در کل اقتصاد برای ایران وجود ندارد. یکی از اهداف این تحقیق برآورد سرمایه در بخش R&D[1] برای اقتصاد ایران به‌صورت درون‌زا می‌باشد. برای دستیابی به این هدف باید پارامترهای تابع تولید تخمین زده شود.

توابع تولید، نهاده‌های تولید (مانند سرمایه و نیروی‌کار) را به خروجی تولید مرتبط می‌کنند. عوامل تعیین‌کننده‌ای در تولید وجود دارند که در محاسبات مشاهده نمی‌شوند اما در واقعیت وجود دارند. یکی از روش‌ها برای در نظر گرفتن متغیرهای غیرقابل مشاهده در برآورد تابع تولید، تخمین متغیرهای ابزاری (IV) و یا تخمین اثرات ثابت[2] در داده‌های پنلی هستند. تخمین IV، نیازمند یافتن متغیرهایی است که به متغیرهای ورودی مشاهده شده وابسته هستند، اما به متغیرهای غیرقابل مشاهده‌ای که تولید را تعیین می‌کنند وابسته نیستند. تخمین اثرات ثابت مستلزم این فرض است که متغیرهای غیرقابل مشاهده در طول زمان ثابت می‌باشند. به دلایل مختلف این شیوه‌ها در حل این مسائل درون‌زایی موفق نبوده‌اند. از این‌رو تحقیقات مختلف برای یافتن شیوه‌های قابل اعتماد برای تشخیص پارامترهای تابع تولید ادامه یافته است (بلوندل و باند[3] (۲۰۰۰)).

در مطالعات گذشته تکنیک‌های جدیدی برای برآورد روابط مختلف از جمله برآورد توابع تولید معرفی شده است. یک سری از این مطالعات از تکنیک‌های داده‌های پانلی دینامیکی[4] پیروی می‌کند مانند آرلانو و بوور[5] (۱۹۹۵)، بلوندل و باند (۲۰۰۰). مطالعات دسته دوم از تکنیک‌ها از روش اُلی و پیکس (OP)[6] (۱۹۹۶) و لوینسون و پترین (LP)[7]

---

۱. برآورد سرمایه در بخش R&D مانند کمی کردن سطح دانش و برآورد سری زمانی ارزش ریالی سطح دانش برای اقتصاد ایران می‌باشد.

2. Fixed effects estimation
3. Blundell and Bond
4. Dynamic panel data
5. Arellano and Bover
6. Olley and Pakes
7. Levinsohn and Petrin

(۲۰۰۳) طرفداری می‌کنند. در این دو روش از متغیرهای ورودی مشاهده‌شده[1] برای کنترل شوک‌های بهره‌وری مشاهده نشده استفاده می‌شود[2]. تکنیک LP و OP در تعداد زیادی از مقالات تجربی اخیر به‌کار رفته است. از جمله پاوسنیک[3] (۲۰۰۲)، سیواداسان[4] (۲۰۰۴)، فرناندز[5] (۲۰۰۳)، اوزلر و ییلماز[6] (۲۰۰۱)، تُپالووا[7] (۲۰۰۳)، بلالاک و گرتلر[8] (۲۰۰۴) و آلوارز و لوپز[9] (۲۰۰۵).

در این مقاله از روش LP، البته با مقداری تغییرات در فروض، به منظور برآورد سری زمانی متغیر غیرقابل مشاهده سطح دانش (سرمایه‌گذاری در بخش R&D) استفاده شده است. یعنی در این تحقیق یک روش تخمین جایگزین پیشنهاد می‌شود. این روش بر مبنای نظرات اُلی و پیکس و لوینسون و پترین است.

در این مطالعه سه بخش تولید کالای نهایی، تولید انرژی و R&D در نظر گرفته شده است. سپس یک مدل دینامیکی بسط داده شده است، که سرمایه و نیروی کار بین بخش‌های انرژی، R&D و تولید کالای نهایی تقسیم می‌شود. افزایش سرمایه در بخش R&D سطح دانش را افزایش داده و به وسیلهٔ آن تغییر در بهره‌وری (که درون‌زا فرض شده است) افزایش خواهد یافت. پس از آن یک الگوریتم بازگشتی بسط داده شده که با استفاده از آن تابع تولید و همچنین سری زمانی سطح دانش برآورد شده است. بعد از توسعهٔ الگو و روش‌شناسی برآورد، الگو برای اقتصاد ایران طی دورهٔ ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۲ بسط داده شده و سری زمانی متغیر غیرقابل مشاهده سطح دانش کمی و بر حسب واحد پولی به‌دست آمده است. از دیگر نوآوری‌های این مطالعه برآورد سهم سرمایه و نیروی کار در بخش‌های R&D، انرژی (به‌عنوان یک کالای واسطه‌ای) و کالای نهایی می‌باشد. از سویی دیگر در برآوردهای صورت گرفته به عدم اطمینان و غیرخطی بودن و همچنین سرریز دانش در فرایند R&D و پیامدهای آن نیز توجه شده است.

تفاوت اصلی این مطالعه نسبت به مطالعات موجود را می‌توان در ۳ مورد دانست. کمی کردن و برآورد سری زمانی متغیر غیرقابل مشاهده ارزش سطح دانش و سهم

---

1. Observed input decisions

۲. در مبانی نظری روش LP و OP به صورت کامل مورد بررسی قرار گرفته است.

3. Pavcnik
4. Sivadasan
5. Fernandes
6. Ozler and Yilmaz
7. Topalova
8. Blalock and Gertler
9. Alvarez and Lopez

نیروی کار و سرمایه در بخش R&D برای اقتصاد ایران می‌باشد. از دیگر تفاوت‌های این مطالعه برآورد سهم نیروی کار و سرمایه در بخش‌های انرژی و تولید نهایی است که در مطالعات گذشته مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین برآورد تابعی برای سطح دانش که این تابع می‌تواند برای پیش بینی به کار گرفته شود.

این مقاله در پنج قسمت تنظیم شده است. در قسمت دوم پیشینهٔ پژوهش ارائه می‌شود. قسمت سوم به مبانی نظری و ساختار الگو اختصاص دارد. کاربردی کردن الگو و الگوریتم بسط داده شده و برآورد سری زمانی سطح دانش در قسمت چهارم توضیح داده شده است. قسمت نهایی به جمع بندی و نتیجه گیری اختصاص دارد.

۲. پیشینهٔ پژوهش

در این قسمت به بررسی مطالعات مختلف در زمینه برآورد تحقیق و توسعه، مشکلات برآورد و همچنین بررسی ارتباط تحقیق و توسعه و سطح بهره وری پرداخته شده است.

هدف اصلی برای افزایش هزینه‌های تحقیق و توسعه (R&D) در زمان حال، گسترش حجم سرمایه در بخش تحقیق و توسعه در آینده به عنوان منبع مهمی برای رشد اقتصادی است. هزینه‌های تحقیق و توسعه باید به عنوان سرمایه‌گذاری برای افزایش سرمایه مدنظر قرار گیرد. با این حال R&D از چندین جنبه متفاوت از انواع سرمایه‌گذاری به عنوان سرمایه[1] است. یک ویژگی اصلی R&D این است که پرداخت سود برای تحقیق و توسعه محدود به سرمایه‌گذاران اصلی نیست، بلکه به شرکت‌های رقیب، عرضه کنندگان R&D و تقاضاکنندگان نیز وابسته است (سرریز دانش خواهیم داشت.).

رومر[2] (۱۹۹۰)، به R&D به عنوان یک کالای غیررقیب[3] توجه می‌کند که استفاده از آن توسط یک شرکت یا فرد کاربردش را برای شرکت‌های دیگر محدود نمی کند. رومر، انحصار را هم مدنظر می‌گیرد و اشاره می‌کند که نتایج کاربردی R&D می‌تواند تا

1. Capital investment
2. Romer
3. Nonrival goods

حدی برای استفادهٔ بقیه محدود شود و تنها شرکتی که بـه نتـایج تحقیـق دسـت یافتـه است از آن نتایج استفاده کند. یعنی رومر بحث سرریز دانش را در نظر نمی‌گیرد.

سوال مهم دیگر در تأمین سرمایهٔ تحقیق و توسعه این است که چه بخش از R&D باید به عنوان سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شود؟ همه تحقیق و توسـعه‌هـای خصوصـی، دولتی یا دانشگاهی باید به عنوان سرمایه‌گذاری در بخش R&D مدنظر قـرار گیرنـد. بـا این‌حال دو مسئله مطرح می‌شود. ابتدا شـکل‌هـای بسـیاری از تحقیـق و توسـعه ارزش اقتصادی کمـی ندارنـد و بـه رشـد کمکـی نمـی‌کننـد. پـس آیـا آنهـا بایـد بـه عنـوان سرمایه‌گذاری محسوب شوند؟ دوم اگر تحقیقات اصلی بـا سـرمایهٔ عمـومی و تحقیقـات خصوصی هر دو سرمایه‌گذاری باشند، محاسبهٔ مضاعف[1] رخ مـی‌دهـد. (گـروه کـانبرای[2] (۲۰۰۶))

با ایـن‌حـال همـهٔ هزینـه‌هـای تحقیـق و توسـعهٔ خصوصـی مـی‌توانـد بـه عنـوان سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شود. چون این هزینه‌ها همگی با انتظار یـک سـود تجـاری انجام گرفته‌اند و ممکن است سودهایی را به همراه داشته باشند. در مطالعـات فرامنـی و اوکوبو[3] (۲۰۰۵)، گریلیچز[4] (۱۹۸۶)، فرامنی و اوکوبـو (۲۰۰۵)، تـول[5] (۲۰۰۷) و هـال، جـف و ترجنبـرگ[6] (۲۰۰۵) بـه بررسـی و تفکیـک سـرمایه در بخـش R&D دولتـی و خصوصی و تأثیر هر یـک بـر رشـد اقتصـادی پرداختـه شـده اسـت. نلسـون[7] (۱۹۸۸)، گریلیچز (۱۹۷۹) و جف (۱۹۸۶)، علاوه بـر بررسـی سـود حاصـل از سـرمایه در بخـش R&D، به مطالعه در زمینهٔ انتقال تکنولوژی پرداخته‌اند.

در مطالعات جف[8] (۱۹۸۶ ، ۱۹۸۸)، فرانزن[9] (۲۰۰۲)، پـارک[10] (۲۰۰۴)، مـورتی[11] (۲۰۰۴)، جـف و تراتنبـرگ[12] (۲۰۰۲)، تراتنبـرگ (۱۹۹۰)، هـارهوف و همکـاران[13]

1. Double counting
2. Canberra II group
3. Fraumeni and Okubo
4. Griliches
5. Toole
6. Hall, Jaffe, and Trajtenberg
7. Nelson
8. Jaffe
9. Frantzen
10. Park
11. Moretti
12. Jaffe and Trajtenberg
13. Harhoff, Narin, Scherer, and Vopel

(۱۹۹۹)، هال جف و تراتنبرگ[1] (۲۰۰۵)، پری[2] (۲۰۰۵) و العزاوی[3] (۲۰۰۴)، به بررسی اثرات سرریزهای دانش بین شرکتی و بین‌المللی پرداخته شده است.

آدامز، چیانگ و جنسن[4] (۲۰۰۳)، آدامز[5] (۲۰۰۴)، منسفیلد[6] (۱۹۹۵) و داربی و زاکر[7] (۲۰۰۳)، چگونگی تحقیقات انجام گرفته در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی و سرریز این تحقیقات به بخش‌های خصوصی را بررسی کرده‌اند.

تکنیک LP و OP در تعداد زیادی از مقالات تجربی برای برآورد متغیرهای غیرقابل مشاهده به‌کار رفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به پاوسنیک[8] (۲۰۰۲)، سیواداسان[9] (۲۰۰۴)، فرناندز[10] (۲۰۰۳)، اوزلر و ییلماز[11] (۲۰۰۱)، تُپالووا[12] (۲۰۰۳)، بلالاک و گرتلر[13] (۲۰۰۴) و آلوارز و لوپز[14] (۲۰۰۵) اشاره کرد.

با توجه به اینکه سری زمانی تحقیق و توسعه برای اقتصاد ایران گزارش نشده است. در مطالعات اقتصادی انجام گرفته در زمینهٔ تحقیق و توسعه برای اقتصاد ایران از دادهٔ واحد و یکسانی برای سری زمانی تحقیق و توسعه استفاده نشده است. این مطالعه به دنبال یافتن حجم سرمایهٔ R&D و همچنین ارزش سطح دانش برای اقتصاد ایران با در نظر گرفتن سرریز دانش در بخش‌های اقتصادی باشد.

۳. مبانی نظری و ساختار الگو

در این مطالعه فرض می‌شود که حجم سرمایهٔ R&D یک متغیر غیرقابل مشاهده است. با استفاده از دو روش OP و LP و بسط این دو روش به برآورد سری زمانی این متغیر پرداخته می‌شود. در ادامه مروری اجمالی بر تکنیک‌های الی/ پیکس[15] (OP) و

1. Hall, Jaffe, and Trajtenberg
2. Peri
3. AlAzzawi
4. Adams, Chiang and Jensen
5. Adams
6. Mansfield
7. Darby and Zucker
8. Pavcnik
9. Sivadasan
10. Fernandes
11. Ozler and Yilmaz
12. Topalova
13. Blalock and Gertler
14. Alvarez and Lopez
15. Olley and Pakes

لوینسون/پترین[1] (LP) خواهیم داشت و تغییراتی در این دو الگو ایجاد کرده و پس از آن الگوی خاص این مطالعه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در ادامه به تکنیک الی/ پیکس (OP) پرداخته شده است.

۱.۳. تکنیک‌های اُلی و پیکس (OP)[2] و لوینسون و پترین (LP)[3]

فرم کلی تابع تولید کاب داگاس لگاریتمی به شکل زیر می‌باشد:

$$y_t = \beta_k k_t + \beta_l l_t + \omega_t + \varepsilon_t \qquad (۱)$$

که در این رابطه y_t لگاریتم تولید، k_t لگاریتم سرمایه و l_t لگاریتم نیروی کار (نهاده‌های تولید) در زمان t می‌باشد. در رابطه (۱) دو متغیر غیرقابل مشاهده وجود دارد (ω_t, ε_t). فرض OP این است که نیروی کار یک ورودی غیردینامیکی است. در مقابل، فرض می‌شود که سرمایه یک ورودی دینامیکی است، که وابسته به یک فرایند سرمایه‌گذاری است. در هر دوره اقتصاد درباره سطح سرمایه‌گذاری i_t تصمیم می‌گیرد. این سرمایه‌گذاری به‌طور اجتناب‌ناپذیری بر حجم سرمایهٔ آتی می‌افزاید، به این معنا که

$$k_t = \kappa\left(k_{t-1} \mid i_{t-1}\right) \qquad (۲)$$

با در نظر گرفتن تصمیم اقتصاد درباره سطح سرمایه‌گذاری i_t، در مطالعه OP فرض شده است که سرمایه‌گذاری بهینه تابع اکیداً صعودی از بهره‌وری ω_t فعلی شرکت است، به‌عبارت‌دیگر:

$$i_t = f_t\left(\omega_t, k_t\right) \qquad (۳)$$

به این نکته توجه کنید که این تابع سرمایه‌گذاری (رابطهٔ ۳) به‌طور معمول حاوی همه متغیرهای وضعیت فعلی[4] برای بهینه‌سازی خواهد بود، مثلاً میزان حجم سرمایه (k_t) و ω_t فعلی. نیروی کار وارد تابع متغیر وضعیت نمی‌شود، چون یک ورودی غیردینامیکی است و مقادیر ω_t قبل از زمان t نیز وارد نمی‌شوند و این امر به دلیل فرض مرتبهٔ اول مارکوف درباره فرایند ω_t است. با این فرض که این تابع سرمایه‌گذاری

1. Levinsohn and Petrin
2. Olley and Pakes
3. Levinsohn and Petrin
4. Current state variable

نسبت به ω_t اکیداً یکنوا است، می‌توان آن را برای به دست آوردن معادلهٔ (۴) معکوس کرد.

$$\omega_t = f_t^{-1}(i_t, k_t) \qquad (۴)$$

نکتهٔ اساسی روش OP این است که از این تابع معکوس در تابع تولید به جای ω_t استفاده می‌شود. با جایگزینی این در تابع تولید (۱) رابطهٔ زیر را خواهیم داشت:

$$y_t = \beta_k k_t + \beta_l l_t + f_t^{-1}(i_t, k_t) + \varepsilon_t = \beta_l l_t + \Phi_t(i_t, k_t) + \varepsilon_t \qquad (۵)$$

اولین مرحله در روش OP تخمین این معادله است. برای اجتناب از محاسبات اضافی، OP عملاً با f_t^{-1} به شکل غیرپارامتری رفتار می‌کند. با فرض این رفتار غیرپارامتری، با تخمین مستقیم رابطهٔ (۵)، نمی توان β_k را برآورد کرد، چون k_t با تابع غیرپارامتریک رابطهٔ هم‌خطی[1] دارد. با این‌حال، می‌توان تخمینی از ضریب $\beta_l, \hat{\beta}_l$ برآورد کرد. همچنین تخمینی از جملهٔ مرکب $\Phi_t(i_t, k_t) = \beta_k k_t + f_t^{-1}(i_t, k_t)$ به‌دست می‌آید که آن با $\hat{\Phi}_t$ نشان داده خواهد شد.

مرحلهٔ دوم OP با فرض تخمین‌هایی از $\hat{\beta}_l, \hat{\Phi}_t$ ادامه می‌یابد. با توجه به ویژگی‌های امید ریاضی شرطی، مؤلفهٔ نوآوری (ξ_t) در رابطهٔ $E[\xi_t \mid I_{t-1}] = 0$ صدق می‌کند. همچنین $k_t \in I_{t-1}$[2] می‌باشد. این به این معنی است که ξ_t بر k_t عمود است، به‌عبارت‌دیگر $E[\xi_t \mid k_t] = 0$. این استقلال متوسط به این معنی است که ξ_t, k_t غیروابسته هستند، به‌عبارت‌دیگر $E[\xi_t k_t] = 0$. در روش OP از این گشتاور برای شناسایی ضریب سرمایهٔ (β_k) استفاده می‌شود. با یک حدس درباره ضریب سرمایهٔ β_k، می‌توان یک سری زمانی برای ω در همهٔ دوره‌ها محاسبه کرد.

$$\omega_t(\beta_k) = \hat{\Phi}_t - \beta_k k_t \qquad (۶)$$

---

1. Collinear

۲. چون k_t در زمان $t-1$ تعیین شده است

با تعیین سری زمانی $\omega_t(\beta_k)$، با رگرس غیرپارامتری $\omega_t(\beta_k)$ بر $\omega_{t-1}(\beta_k)$ (و یک جملهٔ ثابت) و تشکیل جمله پسماند زیر می‌توان سری زمانی ξ_t را در همه دوره‌ها محاسبه نمود.

$$\xi_t(\beta_k) = \omega_t(\beta_k) - \hat{\Psi}\left(\omega_{t-1}(\beta_k)\right) \qquad (۷)$$

که در آن $\hat{\Psi}\left(\omega_{t-1}(\beta_k)\right)$ مقادیر پیش‌بینی‌شده از رگرسیون غیرپارامتریک هستند.[۱] این رفتار غیرپارامتری با رگرسیون ω_t بر ω_{t-1} این امکان را برای ω_t فراهم می‌کند که از یک فرایند مرتبهٔ اول مارکوف[۲] پیروی کند. سپس این سری زمانی $\xi_t(\beta_k)$ می‌تواند برای تشکیل نمونه‌ای شبیه گشتاور بالا استفاده شوند یعنی:

$$\frac{1}{T}\sum_t \xi_t(\beta_k).k_t \qquad (۸)$$

در یک فرآیند GMM، با در نظر گرفتن تا حد ممکن نزدیک به صفر رابطهٔ (۸) β_k تخمین زده می‌شود.

به طور خلاصه مبنای برآورد در OP به این صورت است که، با استفاده از اطلاعات موجود در تصمیمات سرمایه‌گذاری یعنی i_t برای کنترل شوک‌های بهره وری یعنی ω_t که به l_tوابسته است، β_lبرآورد می‌شود. β_k با فرض زمان‌بندی که k_t قبل از تحقق کامل ω_t تعیین شده، محاسبه می‌شود.

روش LP مانند روش OP راه حلی برای مسئله درون‌زایی تابع تولید ارائه می‌دهد. تفاوت کلیدی در این است که به‌جای استفاده از معادلهٔ تقاضای سرمایه‌گذاری، در این روش از تابع تقاضای نهاده واسطه‌ای (مانند انرژی) برای "معکوس کردن" ω_t استفاده می‌شود. در بالا بررسی شد که برای کارکرد شیوهٔ OP نیاز است که تابع سرمایه‌گذاری نسبت به ω_t اکیداً یکنوا باشد. بااین‌حال، در داده‌های واقعی، سرمایه‌گذاری اغلب

---

۱. توجه داشته باشید که در هر دو روش OP و LP، شرط گشتاوری کمی متفاوت با این استفاده می‌شود. به‌جای رگرس کردن ω_t ضمنی بر ω_{t-1} ضمنی، آن‌ها $y_t - \beta_k k_t - \beta_l l_t$ را بر ω_{t-1} رگرس می‌کنند. با این شیوه گشتاورها در باقیمانده $\xi_t + \varepsilon_t$ است ولی در شیوهٔ توضیح داده شده گشتاورها در جمله باقیمانده ξ_t است. بنا بر مطالعات تجربی، گشتاورهای برآوردی از ξ_t دارای واریانس کمتر و تخمین‌های پایدارتری می‌باشند. دلیل این است که جملهٔ پسماند ε_t، به گشتاور واریانس اضافه می‌کند و از این‌رو واریانس تخمین‌ها را افزایش می‌دهد (وولدریج (۲۰۰۵)).

2. First-order Markov process

غیریکنواست[۱]. در روش LP این مشکل برطرف شده است. اساس کار این مطالعه نیز روش LP می‌باشد که در ادامه این روش مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در روش LP تابع تولید لگاریتمی کاب داگلاس زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$y_t = \beta_k k_t + \beta_l l_t + \beta_m m_t + \omega_t + \varepsilon_t \qquad (۹)$$

که در آن m_t یک نهادهٔ واسطه‌ای مانند برق، سوخت یا مواد اولیه است. در روش LP تابع تقاضای نهادهٔ واسطه‌ای به صورت زیر فرض می‌شود:

$$m_t = f_t\left(\omega_t, k_t\right) \qquad (۱۰)$$

در این رابطه اولاً، نهادهٔ واسطه در زمان t به‌عنوان تابعی از ω_t انتخاب می‌شود. این بدان معنی است که نهادهٔ واسطه m_t زمانی انتخاب می‌شود که تولید اتفاق می‌افتد. در این نهاده به‌عنوان یک ورودی "کاملاً متغیر[۲]" توصیف می‌شود. ذکر این نکته ضروری می‌باشد که l_t وارد رابطهٔ (۱۰) نشده است، این بدین معنی است که نیروی کار نیز یک نهادهٔ غیردینامیکی است، یعنی همزمان با m_t انتخاب می‌شود. می‌توان با این فرض که تقاضای نهاده واسطه‌ای (رابطهٔ ۱۰) نسبت به ω_t یکنوا است، این رابطه را به صورت $\omega_t = f_t^{-1}\left(m_t, k_t\right)$ معکوس کرد. با جایگزینی در تابع تولید معادلهٔ زیر را خواهیم داشت:

$$y_t = \beta_k k_t + \beta_l l_t + \beta_m m_t + f_t^{-1}\left(m_t, k_t\right) + \varepsilon_t \qquad (۱۱)$$

در اولین مرحلهٔ روش تخمین LP، β_l با استفاده از معادلهٔ بالا تخمین زده می‌شود، که در آن f_t^{-1} غیرپارامتری برآورد شده است. در رابطهٔ (۱۱) تخمینی از جملهٔ ترکیبی به‌دست می‌آید، که در اینجا $\phi_t = \beta_k k_t + \beta_m m_t + f_t^{-1}\left(m_t, k_t\right)$ می‌باشد که دوباره با $\hat{\phi}_t$ نشان داده خواهد شد.

مرحلهٔ دوم LP مانند OP است، تنها فرق موجود این است که یک پارامتر بیشتر برای تخمین زدن وجود دارد و آن β_m است. در روش LP همان شرایط گشتاوری OP برای شناسایی ضریب سرمایه استفاده می‌شود. به عنوان مثال مؤلفهٔ نوآوری ξ_t بر k_t عمود است. $\xi_t\left(\beta_k, \beta_m\right)$ دوباره به‌عنوان باقیماندهٔ رگرسیون غیرپارامتری $\omega_t\left(\beta_k, \beta_m\right) = \hat{\phi}_t - \beta_k k_t - \beta_m m_t$ بر $\omega_{t-1}\left(\beta_k, \beta_m\right) = \hat{\phi}_{t-1} - \beta_k k_{t-1} - \beta_m m_{t-1}$ ساخته

---

۱. برای مطالعهٔ بیشتر به ABBP رجوع کنید

2. Perfectly variable

خواهد شد. تنها در این روش گشتاور مکملی برای تخمین β_m اضافه می‌شود، شرطی که بر اساس آن $\xi_t(\beta_k,\beta_m)$ بر m_{t-1} عمود است، این امر منجر به شرط گشتاوری $E\left[\xi_t(\beta_k,\beta_m)\middle|\begin{matrix}k_t\\ m_{t-1}\end{matrix}\right]=0$ می‌شود که تخمین β_m قرار است بر اساس آن صورت بگیرد. روشن است که نوآوری ξ_t بر m_t عمود نیست. این امر به این دلیل است که ω_t زمانی مشاهده شده که m_t انتخاب می‌شود. از سوی دیگر، بر اساس این الگو، ξ_t باید به m_{t-1} وابسته نباشد، چون m_{t-1} در $t-1$ تعیین شده و از این‌رو بخشی از اطلاعات دورهٔ $t-1$ است (I_{t-1}). برای مطالعهٔ بیشتر در زمینهٔ روش‌های LP و OP به اُلی و پیکس (OP)[1] (۱۹۹۶) و لوینسون و پترین (LP)[2] (۲۰۰۳) مراجعه شود.

در ادامه به بررسی الگوی بسط داده شده توسط نویسندگان بر پایهٔ روش LP جهت برآورد سطح دانش و همچنین محاسبهٔ سری زمانی حجم سرمایه در بخش R&D پرداخته شده است.

۲.۳. الگوی مورد بررسی در این مطالعه

پایهٔ ساختاری الگوی بسط داده شده در این مطالعه کاربردی، روش LP می‌باشد. با توجه به ساختار الگو تعدادی از فروض روش LP تغییر داده شده و در برآورد الگو نیز از روش‌های حل عددی غیرخطی استفاده شده است. در ادامه پس از بسط الگو با استفاده از روش الگوریتم بازگشتی چند هدفه، به بهترین برآورد از الگو پرداخته شده است. بر اساس روش LP در ابتدا فرض شده است که تولید کالای نهایی تابعی از سرمایه (K_t)، نیروی کار (H_t)، کالای واسطه انرژی (E_t) و سطح دانش (A_t) باشد.

$$Y_t = f(K_{tY}, H_{tY}, E_{tY}, A_t) \qquad (۱۲)$$

یکی از تفاوت‌های الگوی مطالعهٔ حاضر با الگوی LP این می‌باشد که، در این مطالعه فرض شده است نیروی کار و سرمایه در سه بخش تحقیق و توسعه (A_t)، کالای واسطه انرژی (E_t) و تولید کالای نهایی (Y_t) به کار گرفته شده است. بنابراین خواهیم داشت: $K_t = K_{tY} + K_{tE} + K_{tA}$ و $H_t = H_{tY} + H_{tE} + H_{tA}$. که H_{tY}, H_{tE}, H_{tA} به ترتیب نیروی کار در بخش‌های تحقیق و توسعه، انرژی و تولید

1. Olley and Pakes
2. Levinsohn and Petrin

کالای نهایی است و همچنین K_{tY}, K_{tE}, K_{tA} به ترتیب حجم سرمایه در بخش‌های تحقیق و توسعه، انرژی و تولید کالای نهایی می‌باشد. در ادامه به چند تعریف پرداخته می‌شود:

θ_1: سهم نیروی کار در تولید کالای نهایی

θ_2: سهم نیروی کار در تولید کالای واسطه‌ای انرژی

$\theta_3 = 1-\theta_1-\theta_2$: سهم نیروی کار در بخش تحقیق و توسعه

η_1: سهم سرمایه در تولید کالای نهایی

η_2: سهم سرمایه در تولید کالای واسطه‌ای انرژی

$\eta_3 = 1-\eta_1-\eta_2$: سهم سرمایه در بخش تحقیق و توسعه

بنابراین با این تعاریف خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} H_{tY} &= \theta_1 H_t \quad , \quad H_{tE} = \theta_2 H_t \quad , \quad H_{tA} = (1-\theta_1-\theta_2) H_t \\ K_{tY} &= \eta_1 K_t \quad , \quad K_{tE} = \eta_2 K_t \quad , \quad K_{tA} = (1-\eta_1-\eta_2) K_t \end{aligned} \qquad (۱۳)$$

یکی از اهداف این مطالعه برآورد سهم نیروی کار و سرمایه در بخش‌های مختلف (انرژی، تحقیق و توسعه و تولید کالای نهایی) برای اقتصاد ایران می‌باشد.

با توجه به بررسی انجام گرفته در پیشینهٔ پژوهش، تغییرات سطح دانش نسبت به زمان، به نیروی کار و سرمایه در بخش تحقیق و توسعه و سطح دانش در دورهٔ قبل بستگی دارد، بنابراین با توجه به رابطهٔ (۱۳)، رابطهٔ (۱۴) را برای متغیر سطح دانش می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$dA = \left[h\left(A_t, (1-\eta_1-\eta_2)K_t, (1-\theta_1-\theta_2)H_t\right)\right]dt \qquad (۱۴)$$

برای درک بهتر، در رابطهٔ (۱۴) سطح دانش را می‌توان به صورت یک متغیر به عنوان "ارزش دانش[1]" بر حسب مقادیر ریالی که متغیری غیرقابل مشاهده است، در نظر نظر گرفت. با توجه به سرریزهای دانش توضیح داده شده در بخش پیشینهٔ پژوهش، ارزش این متغیر در اقتصاد غیرقابل مشاهده است. *بنابراین در این مطالعه به دنبال برآورد سری زمانی این متغیر غیرقابل مشاهده برای اقتصاد ایران طی دورهٔ ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۲ هستیم.*

1. Knowledge value

کالای واسطه انرژی نیز برای تولید به سرمایه و نیروی کار نیاز دارد، بنابراین با توجه به رابطهٔ (۱۵)، تولید انرژی تابعی از سرمایه ($\eta_2 K_t$) و نیروی کار ($\theta_2 H_t$) در بخش انرژی در نظر گرفته خواهد شد.

$$E = g\left(\eta_2 K_t, \theta_2 H_t, A_t, IES_t\right) \qquad (۱۵)$$

همان گونه که در این رابطه مشاهده می‌شود، انرژی نهایی تولید شده (کالای واسطه‌ای برای تولید کالای نهایی) تابعی از انرژی اولیه عرضه شده (IES_t) و همچنین سطح دانش (A_t) در همان دوره می‌باشد. سطح دانش هم در بخش کالای نهایی سبب افزایش بهره‌وری و تولید بیشتر خواهد شد و هم در بخش تولید انرژی نهایی بدون تغییر نهاده‌ها باعث افزایش تولید انرژی می‌شود.

در ادامه فرض می‌شود که توابع (۱۲) و (۱۴) و (۱۵) همگی از تابع تولید کاب-داگلاس پیروی کنند. برای کاربردی شدن الگو و برآورد پارامترهای مختلف، توابع ۱۶-۱۸ برای سطح دانش، تولید کالای نهایی و تولید انرژی در نظر گرفته خواهند شد.

$$A_{t+1} = A_t + B_1 A_t \left[\left(1-\eta_1-\eta_2\right)K_t\right]^{\alpha_1}\left[\left(1-\theta_1-\theta_2\right)H_t\right]^{\alpha_2} \qquad (۱۶)$$

$$Y_t = B_2\left(\eta_1 K_t\right)^{\beta_1}\left(\theta_1 H_t\right)^{\beta_2}\left(E_t\right)^{\beta_3}\left(A_t\right)^{\beta_4} \qquad (۱۷)$$

$$E_t = B_3\left(\eta_2 K_t\right)^{\gamma_1}\left(\theta_2 H_t\right)^{\gamma_2}\left(A_t\right)^{\gamma_3}\left(IES_t\right)^{\gamma_4} \qquad (۱۸)$$

در رابطهٔ (۱۸) پارامترهای $\gamma_4, \gamma_3, \gamma_2, \gamma_1$، به ترتیب کشش تولید انرژی نسبت به سرمایه، نیروی کار، سطح دانش و سطح تولید انرژی اولیه است. همچنین در رابطهٔ (۱۶)، α_2, α_1 کشش رشد سطح دانش نسبت به سرمایه و نیروی کار می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که پارامترهای β کشش نهاده‌های تولید کالای نهایی نمی‌باشد. با توجه به رابطهٔ (۱۷) و (۱۸)، کشش تولید کالای نهایی نسبت به سرمایه و نیروی کار با استفاده از روابط (۱۹) و (۲۰) قابل محاسبه است[1].

---

1. $\xrightarrow{\log(27)} \ln Y_t = \ln B_2 + \beta_1 \ln\left(\eta_1 K_t\right) + \beta_2 \ln\left(\theta_1 H_t\right) + \beta_3 \ln\left(E_t\right) + \beta_4 \ln\left(A_t\right) \Rightarrow$

$\frac{d \ln Y_t}{d \ln K_t} = \beta_1 + \beta_3 \frac{d \ln\left(E_t\right)}{d \ln K_t} \xrightarrow{(28)} \Xi_K = \frac{d \ln Y_t}{d \ln K_t} = \beta_1 + \beta_3 \gamma_1$

$$\Xi_K = \frac{d\ \ln Y_t}{d\ \ln K_t} = \beta_1 + \beta_3\gamma_1 \qquad (۱۹)$$

$$\Xi_l = \frac{d\ \ln Y_t}{d\ \ln H_t} = \beta_2 + \beta_3\gamma_2 \qquad (۲۰)$$

در ادامه الگوریتم بازگشتی چند هدفه به منظور برآورد روابط ۱۶-۱۸ و با اهداف برآورد سهم نیروی کار و سرمایه در بخش‌های تولید کالای نهایی، انرژی و R&D و همچنین برآورد سری زمانی متغیر غیرقابل مشاهده ارزش سطح دانش برای اقتصاد ایران طی دورهٔ ۱۳۵۳-۱۳۹۲، بسط داده شده است.

۴. بسط الگوریتم بازگشتی

به منظور برآورد پارامترهای الگو و همچنین سری زمانی متغیر غیرقابل مشاهده ارزش سطح دانش نمودار چرخشی بسط داده شده توسط نویسندگان در شکل (۱) آمده است. در ادامه به بررسی مراحل این نمودار پرداخته می‌شود.

در مرحلهٔ اول سطح دانش درصدی از تولید کالای نهایی در نظر گرفته شده است. ($A_t = \vartheta_t Y_t$)، بنابراین ϑ_t نسبت سطح دانش در هر دوره به تولید کالای نهایی همان دوره خواهد بود ($\vartheta_t = \frac{A_t}{Y_t}$)، بنابراین با برآورد سری زمانی ϑ_t سری زمانی سطح دانش را خواهیم داشت. فرض می‌شود ϑ_t از فرآیند مرتبهٔ اول مارکوف با فرآیند AR(1) بدون ثابت پیروی می‌کند، بنابراین برای فرآیند ϑ_t رابطهٔ $\vartheta_t = (1+g_\vartheta)\vartheta_{t-1}$ برقرار خواهد بود. با برآورد g_ϑ و همچنین برآورد یک مقدار اولیه برای ϑ_t، (ϑ_0) می‌توان سری زمانی نسبت سطح دانش به تولید را در طول زمان با استفاده از رابطهٔ (۲۱) محاسبه کرد[1].

$$\vartheta_t = (1+g_\vartheta)^t\ \vartheta_0 \qquad (۲۱)$$

$\vartheta_t = (1+g_\vartheta)\vartheta_{t-1} \Rightarrow \vartheta_1 = (1+g_\vartheta)\vartheta_0$

$\vartheta_2 = (1+g_\vartheta)\vartheta_1 \Rightarrow \vartheta_2 = (1+g_\vartheta)^2\vartheta_0$

$\vdots$

1. $\vartheta_t = (1+g_\vartheta)^t\ \vartheta_0$

مرحلهٔ (۱): با توجه به نمودار چرخشی شکل (۱) در شروع یک مقدار تصادفی برای g_{ϑ} و ϑ_0 انتخاب می‌شود.

مرحلهٔ (۲): با استفاده از رابطهٔ (۲۱) یک سری زمانی برای ϑ_t به‌دست می‌آید.

مرحلهٔ (۳): با توجه به $A_t = \vartheta_t Y_t$ یک سری زمانی برای ارزش سطح دانش بر حسب ریال محاسبه خواهد شد.

مرحلهٔ (۴): یک مقدار تصادفی از توزیع نرمال برای سهم نیروی کار و سرمایه در بخش‌های انرژی، تحقیق و توسعه و تولید کالای نهایی در نظر گرفته می‌شود $(\theta_1, \theta_2, \eta_1, \eta_2)$.

مرحله (۵): پس از وارد کردن سری‌های زمانی جمع‌آوری شده به برنامهٔ الگوریتم، توابع حداقل مربعات خطا با توجه به روابط ۱۶-۱۸ به صورت زیر تشکیل می‌شود. $MSE_Y\left(B_2,\beta_1,\beta_2,\beta_3,\beta_4\right)$، $MSE_A\left(B_1,\alpha_1,\alpha_2\right)$ و $MSE_E\left(B_3,\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3,\gamma_4\right)$. که در این روابط داریم:

$$MSE_A\left(B_1,\alpha_1,\alpha_2\right)=\sum_{t=1}^{T}\left(A_t-\hat{A}_t\right)^2 \text{ ،} MSE_Y\left(B_2,\beta_1,\beta_2,\beta_3,\beta_4\right)=\sum_{t=1}^{T}\left(Y_t-\hat{Y_t}\right)^2$$

و $MSE_E\left(B_3,\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3,\gamma_4\right)=\sum_{t=1}^{T}\left(E_t-\hat{E}_t\right)^2$. همان گونه که در این توابع مشاهده می‌شود توابع حداقل مربعات خطا تابعی از پارامترهای الگو (روابط ۱۶-۱۸) می‌باشند که باید برآورد شوند. ذکر این نکته ضرروری است که T نشان دهندهٔ بازهٔ زمانی است، که برای برآورد به کار برده می‌شود. از سویی A_t در روابط، سری زمانی متغیر غیرقابل مشاهدهٔ ارزش سطح دانش است که در مراحل قبل الگوریتم محاسبه شده است. A_t, Y_t, E_t، مقادیر تحقق یافته تقاضای کالای واسطه‌ای انرژی، تولید کالای نهایی و سطح دانش است و $\hat{A}_t, \hat{Y_t}, \hat{E}_t$ مقادیر برآورد شده برای این متغیرها می‌باشد.

مرحلهٔ (۶): در این مرحله با استفاده از روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک چند هدفه[1] به حداقل سازی همزمان توابع حداقل مربعات خطا ذکر شده در مرحلهٔ (۵) با توجه به پارامترهای $B_1,\alpha_1,\alpha_2,B_2,\beta_1,\beta_2,\beta_3,\beta_4,B_3,\gamma_1,\gamma_2,\gamma_3,\gamma_4$ خواهیم پرداخت.

---

1. Multi-purpose algorithm genetic

مرحلهٔ (۷): پس از برآورد پارامترهای الگو با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه و همچنین با استفاده از تعارف آماره‌های ضریب تشخیص (R^2)، ضریب تشخیص تعدیل شده ($Adj-R^2$) و آماره‌های t برای هر پارامتر و هر معادلهٔ مشخص، محاسبه خواهد شد[۱].

مرحلهٔ (۸): در این مرحله، الگوریتم به مرحله (۴) بازگشت می‌کند و مراحل الگوریتم با مقادیر جدید تصادفی برای سهم نهاده‌های تولید ($\theta_1,\theta_2,\eta_1,\eta_2$) ادامه خواهد یافت تا دوباره به مرحله (۸) برسیم. در این مرحله چرخه n بار تکرار شده و به روش غیرپارامتری بهترین مقدار برای ($\theta_1,\theta_2,\eta_1,\eta_2$) برآورد می‌گردد (با توجه به سری زمانی مشخص برای سطح دانش).

مرحلهٔ (۹): حال در این مرحله تمام پارامترها و آماره‌های برآورد شده از بهترین برآورد را در فایلی جداگانه ذخیره خواهیم کرد.

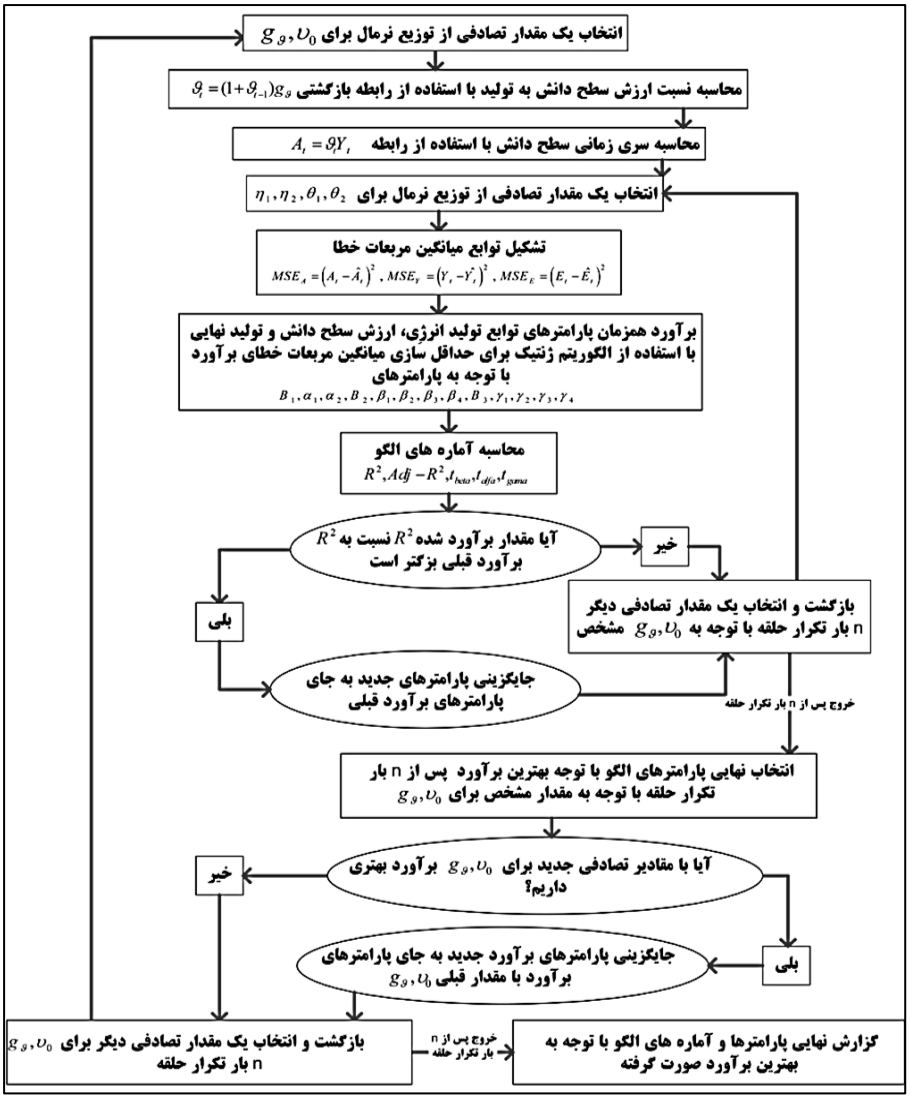
مرحلهٔ (۱۰): به مرحلهٔ (۱) الگوریتم باز خواهیم گشت و دوباره ۹ مرحله قبل را با یک سری زمانی جدید برای ارزش سطح دانش ادامه می‌دهیم و این چرخه را m بار تکرار خواهیم کرد.

مرحلهٔ (۱۱): حال در آخرین مرحله از چرخه، با توجه به بهترین برآوردهای ذخیره شده در مرحلهٔ (۹)، بهترین برآورد از سری زمانی ارزش سطح دانش (که بهترین برآورد الگو نیز می‌باشد) انتخاب و نتایج گزارش می‌شود[۲].

---

1. $R^2=1-\frac{RSS}{TSS}=1-\sum_{t=1}^{T}\frac{(Y_t-\hat{Y}_t)^2}{(Y_t-\overline{Y}_t)^2}$, $Adj-R^2=1-\frac{RSS\,(T-1)}{TSS\,(T-N)}=1-\sum_{t=1}^{T}\frac{(Y_t-\hat{Y}_t)^2(T-1)}{(Y_t-\overline{Y}_t)^2(T-N)}$, $t_\alpha=\frac{\hat{\alpha}}{SE(\hat{\alpha})}$

۲. با توجه به نمودار چرخشی شکل (۱)، جهت محاسبهٔ ارزش سطح دانش، توسط نویسندگان در نرم افزار متلب برنامه نویسی انجام شده است. با توجه به گسترده بودن برنامه نوشته شده، امکان آوردن کدهای برنامه در این مطالعه نمی‌باشد. در صورت نیاز به کدهای برنامه با نویسندگان تماس حاصل فرمایید.



شکل ۲. نمودار چرخشی محاسبهٔ پارامترهای الگو

منبع: یافته‌های تحقیق

در قسمت بعد با استفاده از این الگوریتم و با توجه به داده‌های اقتصاد ایران طی دورهٔ ۱۳۵۳-۱۳۹۲ سری زمانی متغیر غیرقابل مشاهده ارزش سطح دانش محاسبه شده است. از سویی به برآورد سهم نیروی کار و سرمایه در بخش‌های تحقیق و توسعه، تولید نهایی و انرژی خواهیم پرداخت.

۴. برآورد سری زمانی ارزش سطح دانش برای اقتصاد ایران و تحلیل نتایج

در ادامه به برآورد سری زمانی ارزش ریالی سطح دانش و همچنین پارامترهای الگوی بسط داده شده در مبانی نظری برای اقتصاد ایران طی دورهٔ ۱۳۵۳-۱۳۹۲ پرداخته شده است. داده‌های سری زمانی تولید ناخالص داخلی بدون ارزش افزودهٔ بخش انرژی به قیمت‌های ثابت ۱۳۸۳ بر حسب میلیارد ریال طی سال‌های ۱۳۵۳-۱۳۹۲ (منبع: بانک مرکزی، داده‌های سری‌های زمانی و نماگرهای اقتصادی) به عنوان نماینده‌ای از تولید کالای نهایی استفاده شده است. حجم سرمایه، یکی از متغیرهای وضعیت در توابع تولید می‌باشد، که به قیمت‌های ثابت ۱۳۸۳ بر حسب میلیارد ریال طی سال‌های ۱۳۵۳-۱۳۹۲ (منبع: بانک مرکزی، داده‌های سری‌های زمانی و نماگرهای اقتصادی) است. داده‌های انرژی (منبع: وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال‌های مختلف) طی سال‌های ۱۳۵۳-۱۳۹۲، که کل انرژی اولیهٔ تولید شده در کشور بر حسب میلیون بشکه معادل نفت خام می‌باشد در نظر گرفته شده است. عرضهٔ انرژی اولیه نیز از وزارت نیرو، ترازنامهٔ انرژی سال‌های مختلف طی سال‌های ۱۳۵۳-۱۳۹۲ استخراج شده است. نیروی کار یکی دیگر از نهاده‌های تولید در نظر گرفته شده در این مطالعه می‌باشد که بر حسب نفر و بر اساس داده‌های مرکز آمار ایران و همچنین داده‌های سری زمانی بانک مرکزی طی سال‌های ۱۳۵۳-۱۳۹۰ و برای سال‌های ۹۱ و ۹۲ با توجه به میانگین نرخ رشد نیروی کار طی ۵ سال اخیر، توسط نویسندگان محاسبه شده است. در الگوریتم شکل (۱)، برآورد پارامترها با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه انجام می‌پذیرد. در ادامه به بررسی تنظیمات الگوریتم ژنتیک پرداخته شده است[۱]. برای شروع کار با الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه ۲۰۰۰ کروموزوم، نرخ تغییر نسل (s) برابر با ۰/۵ و نرخ جهش برابر ۰/۲ در نظر گرفته می‌شود. با وارد کردن داده‌های اقتصاد ایران به برنامه نوشته شده با استفاده از نرم افزار متلب و همچنین تنظیمات الگوریتم ژنتیک در برنامهٔ نوشته شده، پارامترها و آماره‌های الگو برآورد و در جدول (۱) آورده شده است.

---

۱. برای بررسی بیشتر روش کار الگوریم ژنتیک به اسلاملوئیان (۱۳۹۱) مراجعه شود.

جدول ۱. پارامترها و آماره‌های برآورد شده

پارامترهای تابع تولید (رابطهٔ ۱۷)			پارامترهای تابع حجم سرمایه در بخش R&D (رابطهٔ ۱۶)			پارامترهای تابع تولید انرژی (رابطهٔ ۱۸)		
پارامتر	مقدار برآورد شده	آمارهٔ t	پارامتر	مقدار برآورد شده	آمارهٔ t	پارامتر	مقدار برآورد شده	آماره t
B_2	۰/۷۳۱	۲/۶۳۸	B_1	۰/۰۱۹۷	۱/۳۸۶	B_3	۰/۰۳۰۰	۲/۲۸۵
β_1	۰/۳۰۱	۴/۹۲۰	α_1	۰/۰۴۱۹	۲/۹۴۷	γ_1	۰/۲۲۳۱	۴/۲۴۵
β_2	۰/۲۴۶	۲/۵۳۳	α_2	۰/۰۴۹۰	۳/۴۴۴	γ_2	۰/۰۳۷۱	۷/۵۰۵
β_3	۰/۲۲۱	۲/۶۵۳				γ_3	۰/۰۲۴۷	۱/۱۴۷
β_4	۰/۱۲۳	۳/۵۵۹				γ_4	۰/۸۵۸۹	۵/۴۴۶
R^2=۰/۹۷۱ Adj- R^2=۰/۹۶۸			R^2=۰/۹۹۱ Adj- R^2=۰/۹۸۹			R^2=۰/۹۹۷۴ Adj- R^2=۰/۹۹۷۱		
سهم نیروی کار و حجم سرمایه در بخش‌های مختلف								
سهم نیروی کار در بخش تولید کالای نهایی (θ_1)		۰/۷۴۷۷						
سهم حجم سرمایه در بخش تولید کالای نهایی (η_1)		۰/۶۱۱۳						
سهم نیروی کار در بخش تولید انرژی (θ_2)		۰/۲۵۰۰						
سهم حجم سرمایه در بخش تولید انرژی (η_2)		۰/۳۸۸۴						
سهم نیروی کار در بخش R&D ($1-\theta_1-\theta_2$)		۰/۰۰۲۲						
سهم حجم سرمایه در بخش R&D ($1-\eta_1-\eta_2$)		۰/۰۰۲۹						

منبع: یافته‌های تحقیق

از یک‌سو سری زمانی برآورد شده ارزش سطح دانش (که هدف اصلی این مطالعه بوده است) و همچنین نیروی کار و سرمایه به کار برده شده در بخش‌های تحقیق و توسعه، کالای واسطه‌ای انرژی و تولید کالای نهایی در جدول (۲) گزارش شده است. از سویی دیگر با استفاده از روش LP شاخص سطح دانش برای اقتصاد ایران برآورد و در در ستون آخر جدول (۲) گزارش شده است.

با توجه به جدول (۱)، مقادیر ضریب تعیین برای هر سه معادله، بالای ۹۷ درصد است. که این خوبی برازش و قدرت برآورد را نشان می‌دهد. از سویی مقادیر ضریب تعیین و ضریب تعیین تعدیل شده نزدیک به هم می‌باشند که این نشان می‌دهد متغیر اضافی در الگو وجود ندارد. همچنین با توجه به جدول آمارهٔ t، در سطح اطمینان ۹۰ درصد تمام پارامترهای برآورد شده نیز معنادار می‌باشند.

در نمودار (۲) با توجه به داده‌های جدول (۲) مقادیر محاسبه شده سطح دانش و همچنین مقادیر برآورد شده از معادلهٔ (۱۶) رسم شده است. این نشان می‌دهد که اولا برآورد پارامترها و برازش به خوبی انجام گرفته است. همان گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، مقادیر برآورد شده از تابع در نظر گرفته شده برای سطح دانش نقاط عطف[1] مقادیر محاسبه شده را به خوبی دنبال می‌کند. که این نشان دهندهٔ خوبی برازش و همچنین دقت برآورد و محاسبهٔ متغیر غیرقابل مشاهدهٔ سطح دانش است. از سوی دیگر در این نمودار شاخص سطح دانش با روش LP برآورد شده است. با توجه به این نمودار سری زمانی برآورد شده سطح دانش در اقتصاد ایران با روش LP همواره دارای روندی صعودی بوده است. به نظر می‌رسد با توجه به واقعیات موجود در اقتصاد ایران سری زمانی برآورد شده با استفاده از الگوریتم بازگشتی (بسط داده شده در این تحقیق) نوسانات سطح دانش را بهتر از روش LP نشان می‌دهد.

از سوی دیگر به منظور بررسی بیشتر دقت برآورد با استفاده از روش الگوریتم بازگشتی شکل (۳) و (۴) رسم شده است. شکل (۳)، مقادیر برآورد شدهٔ تقاضای انرژی نهایی از رابطهٔ (۱۸) و نیز مقادیر تحقق یافته این متغیر را در طول زمان نشان می‌دهد. افزون بر این شکل (۴) مقادیر تحقق یافتهٔ تولید کالای نهایی به غیراز نفت و مقادیر برآورد شدهٔ این متغیر از رابطهٔ (۱۷) را نشان می‌دهد. که خوبی برازش و همچنین دنبال کردن نقاط عطف در این دوشکل به خوبی مشخص است.

با توجه به داده‌های محاسبه شده در جدول (۱) و همچنین جدول آمارهٔ t و اینکه در برآورد این تحقیق ۴۰ سال داده وجود داشته است، مشخص می‌شود که در سطح اطمینان ۹۰ درصد تمام پارامترهای برآورد شده معنادار می‌باشند و می‌توان این پارامترها را مورد بررسی قرار داد. با توجه به این موضوع نتایج مربوط به برآورد پارامترها در بخش نتیجه‌گیری آمده است.

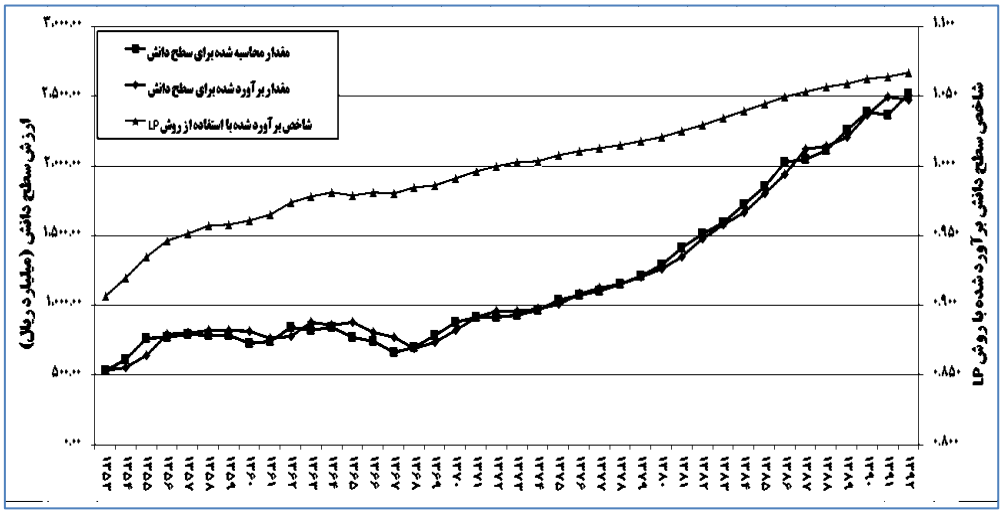
---

1. Turning point

جدول ۲. سری زمانی سری زمانی ارزش سطح دانش، نیروی کار (میلیون نفر) و سرمایه (میلیارد ریال) در بخش‌های مختلف

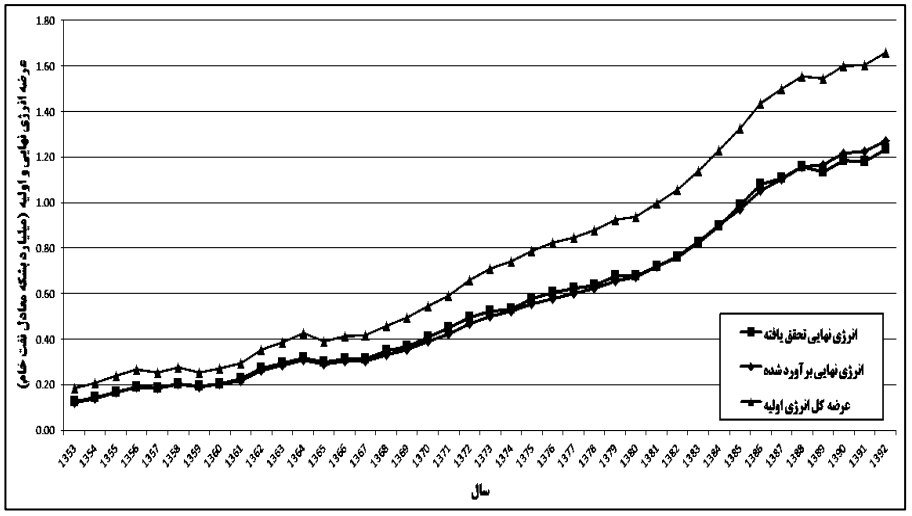
سال	بخش تولید کالای نهایی		بخش تولید انرژی		بخش تحقیق و توسعه		ارزش سطح دانش	سری زمانی سطح دانش
	نیروی کار	سرمایه	نیروی کار	سرمایه	نیروی کار	سرمایه	(میلیارد ریال)	(روش LP)
۱۳۵۳	۶/۹۸	۹۱۱۰۸۶/٤	۲/۳۳	۵۷۸۹۳۲/۳	۰/۰۲۱	٤۳۵/۲۱	۵۳۰/۰۸	۰/۹۰۶
۱۳۵٤	۷/۱۵	۱۰۷۵۶۷۲	۲/۳۹	۶۸۳۵۱٤/۹	۰/۰۲۱	۵۱۳/۸۳	۵۵۲/۰۲	۰/۹۲۰
۱۳۵۵	۷/۳۲	۱۳۱۶۸۲۵	۲/٤۵	۸۳۶۷۵۱/۲	۰/۰۲۲	۶۲۹/۰۲	۶۳۸/۹٤	۰/۹۳۵
۱۳۵۶	۷/۵۱	۱۵۰۸۲۰۶	۲/۵۱	۹۵۸۳۶۰/۷	۰/۰۲۲	۷۲۰/٤٤	۷۹۱/۸۰	۰/۹٤۶
۱۳۵۷	۷/۷۰	۱۶۷۳۹۰٤	۲/۵۷	۱۰۶۳۶۵۰	۰/۰۲۳	۷۹۹/۵۹	۷۹۹/۹۱	۰/۹۵۱
۱۳۵۸	۷/۹۰	۱۷۶۷۶٤۵	۲/۶٤	۱۱۲۳۲۱۶	۰/۰۲۳	۸٤٤/۳۷	۸۲۳/٤۵	۰/۹۵۷
۱۳۵۹	۸/۱۱	۱۸۵۰۵۰۸	۲/۷۱	۱۱۷۵۸۷۰	۰/۰۲٤	۸۸۳/۹۵	۸۱۷/۲۵	۰/۹۵۸
۱۳۶۰	۸/۳٤	۱۹۱۱۲۹۲	۲/۷۹	۱۲۱٤٤۹٤	۰/۰۲۵	۹۱۲/۹۸	۸۱۵/۸٤	۰/۹۶۱
۱۳۶۱	۸/۵۷	۱۹۵۵۳۱۰	۲/۸۷	۱۲٤۲٤۶٤	۰/۰۲۵	۹۳٤/۰۱	۷۵۹/۷۹	۰/۹۶۵
۱۳۶۲	۸/۸۱	۲۰۵۱۳۳۱	۲/۹۵	۱۳۰۳٤۷۹	۰/۰۲۶	۹۷۹/۸۸	۷۷۶/۶۹	۰/۹۷۳
۱۳۶۳	۹/۰۷	۲۱٤۳۱٤۱	۳/۰۳	۱۳۶۱۸۱۸	۰/۰۲۷	۱۰۲۳/۷۳	۸۷۹/۵۰	۰/۹۷۸
۱۳۶٤	۹/۳٤	۲۱۷۵۸۹۷	۳/۱۲	۱۳۸۲۶۳۲	۰/۰۲۸	۱۰۳۹/۳۸	۸۵۹/۲۹	۰/۹۸۱
۱۳۶۵	۹/۶۳	۲۱۵۸۰۸۸	۳/۲۲	۱۳۷۱۳۱۶	۰/۰۲۹	۱۰۳۰/۸۷	۸۷۵/۸۷	۰/۹۷۹
۱۳۶۶	۹/۸۸	۲۱۷۸۹۲۶	۳/۳۰	۱۳۸٤۵۵۷	۰/۰۲۹	۱۰٤۰/۸۳	۸۰۲/۵۲	۰/۹۸۱
۱۳۶۷	۱۰/۱۵	۲۱۶۷۵۸۳	۳/۳۹	۱۳۷۷۳٤۹	۰/۰۳۰	۱۰۳۵/٤۱	۷۷۰/۵٤	۰/۹۸۱
۱۳۶۸	۱۰/٤۲	۲۱۹۳۵۸۸	۳/٤۹	۱۳۹۳۸۷۳	۰/۰۳۱	۱۰٤۷/۸۳	۶۹۱/۵۳	۰/۹۸۵
۱۳۶۹	۱۰/۷۲	۲۱۸۱۳۲۷	۳/۵۸	۱۳۸۶۰۸۲	۰/۰۳۲	۱۰٤۱/۹۷	۷۳۱/۹۵	۰/۹۸۶
۱۳۷۰	۱۱/۰۲	۲۲۷٤۵۷۲	۳/۶۸	۱٤٤۵۳۳۳	۰/۰۳۳	۱۰۸۶/۵۱	۸۱۸/٤۷	۰/۹۹۱
۱۳۷۱	۱۱/۲٤	۲۳۵۶۲۲۹	۳/۷۶	۱٤۹۷۲۲۱	۰/۰۳۳	۱۱۲۵/۵۲	۹۱۶/۲۰	۰/۹۹۶
۱۳۷۲	۱۱/٤۷	۲٤۱۰۵۸۰	۳/۸٤	۱۵۳۱۷۵۶	۰/۰۳٤	۱۱۵۱/٤۸	۹۵۷/۰۸	۱/۰۰۰
۱۳۷۳	۱۱/۷۲	۲٤٤۵۶۰۸	۳/۹۲	۱۵۵٤۰۱۵	۰/۰۳۵	۱۱۶۸/۲۱	۹۵۵/۳۶	۱/۰۰۲
۱۳۷٤	۱۱/۹۷	۲٤۷۱۹۲۵	٤/۰۰	۱۵۷۰۷۳۷	۰/۰۳۵	۱۱۸۰/۷۹	۹۷۱/۷۵	۱/۰۰۳
۱۳۷۵	۱۲/۲٤	۲۵۳۰٤۷۲	٤/۰۹	۱۶۰۷۹٤۰	۰/۰۳۶	۱۲۰۸/۷۵	۱۰۰۶/۲۰	۱/۰۰۷
۱۳۷۶	۱۲/۷٤	۲۵۹۹۹۰۸	٤/۲۶	۱۶۵۲۰۶۲	۰/۰۳۸	۱۲٤۱/۹۲	۱۰۸۳/۰۵	۱/۰۱۰
۱۳۷۷	۱۳/۲۶	۲۶۶۹٤۵۳	٤/٤۳	۱۶۹۶۲۵۳	۰/۰۳۹	۱۲۷۵/۱٤	۱۱۲۲/۶۲	۱/۰۱۲
۱۳۷۸	۱۳/۷۸	۲۷٤٤٤۲۹	٤/۶۱	۱۷٤۳۸۹۵	۰/۰٤۱	۱۳۱۰/۹۶	۱۱٤۹/۲٤	۱/۰۱۵
۱۳۷۹	۱٤/۳۰	۲۸۳۰۶۰٤	٤/۷۸	۱۷۹۸۶۵۳	۰/۰٤۲	۱۳۵۲/۱۲	۱۲۰٤/۷۵	۱/۰۱۸
۱۳۸۰	۱٤/۸۱	۲۹۶۰۸٤۳	٤/۹۵	۱۸۸۱٤۱۱	۰/۰٤٤	۱٤۱٤/۳۳	۱۲۶۲/۱۲	۱/۰۲۱

سال	بخش تولید کالای نهایی		بخش تولید انرژی		بخش تحقیق و توسعه		ارزش سطح دانش (میلیارد ریال)	سری زمانی سطح دانش (روش LP)
	نیروی کار	سرمایه	نیروی کار	سرمایه	نیروی کار	سرمایه		
۱۳۸۱	۱۵/۲۸	۳۱۰۱۵۷۲	۵/۱۱	۱۹۷۰۸۳٤	۰/۰٤۵	۱٤۸۱/۵۵	۱۳٤۵/۳۱	۱/۰۲۵
۱۳۸۲	۱۵/۷۱	۳۲۵۱۲۲۷	۵/۲۵	۲۰٦۵۹۲۹	۰/۰٤۷	۱۵۵۳/۰٤	۱٤۷۹/۲۹	۱/۰۲۹
۱۳۸۳	۱٦/۱۳	۳٤۱۲۸۳۱	۵/۳۹	۲۱٦۸٦۱۸	۰/۰٤۸	۱٦۳۰/۲٤	۱۵۸۱/۳۲	۱/۰۳٤
۱۳۸٤	۱٦/٦۹	۳۵۷۹۰۸٦	۵/۵۸	۲۲۷٤۲٦۲	۰/۰٤۹	۱۷۰۹/٦۵	۱٦٦۷/۳٦	۱/۰۳۹
۱۳۸۵	۱۷/۵۵	۳۷۳۰٦۱۵	۵/۸۷	۲۳۷۰۵٤۸	۰/۰۵۲	۱۷۸۲/۰٤	۱۸۰٤/۹۸	۱/۰٤٤
۱۳۸٦	۱۷/٦۳	۳۹۰٦۹۵۱	۵/۹۰	۲٤۸۲۵۹۷	۰/۰۵۲	۱۸٦٦/۲۷	۱۹۳۵/۷۳	۱/۰٤۹
۱۳۸۷	۱۷/۱۲	٤۱۱۲٤٤۲	۵/۷۲	۲٦۱۳۱۷۲	۰/۰۵۱	۱۹٦٤/٤۳	۲۱۲۰/۷٦	۱/۰۵۳
۱۳۸۸	۱۷/۸۰	٤۳۲۰۱۲۳	۵/۹۵	۲۷٤۵۱۳۹	۰/۰۵۳	۲۰٦۳/٦۳	۲۱٤٤/٤۷	۱/۰۵۷
۱۳۸۹	۱۸/٦۲	٤۵۳۳۳۲٦	٦/۲۳	۲۸۸۰٦۱۵	۰/۰۵۵	۲۱٦۵/٤۷	۲۲۰۷/۵۰	۱/۰۵۹
۱۳۹۰	۱۹/۲۲	٤۷٤۹٦۸۲	٦/٤۳	۳۰۱۸۰۹٤	۰/۰۵۷	۲۲٦۸/۸۲	۲۳٦٤/۳۹	۱/۰٦۳
۱۳۹۱	۱۹/۵۵	٤۸۵۳۰۹۵	٦/۵٤	۳۰۸۳۸۰٦	۰/۰۵۸	۲۳۱۸/۲۲	۲٤۹۵/۳۵	۱/۰٦٤
۱۳۹۲	۲۰/۳۰	٤۹۸۱۲۹۹	٦/۷۹	۳۱٦۵۲۷۱	۰/۰٦۰	۲۳۷۹/٤٦	۲٤۷٦/۲۹	۱/۰٦٦



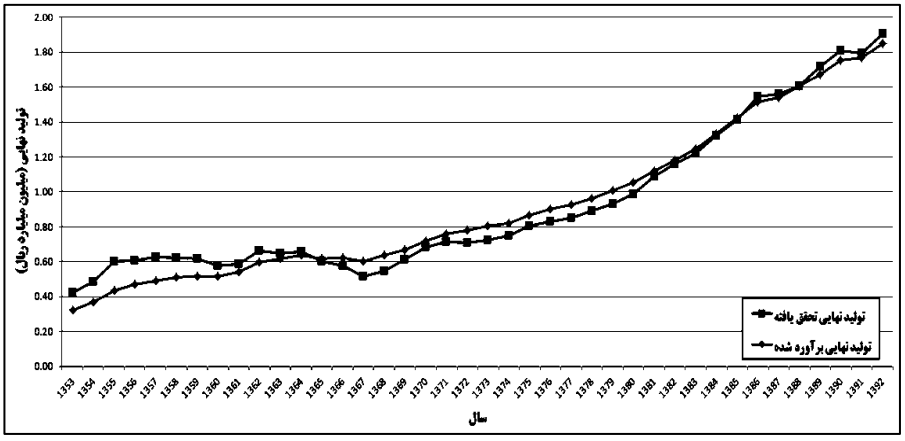
شکل ۳. مقادیر محاسبه شده و برآورد شده ارزش سطح دانش

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۴. مقادیر انرژی نهایی تقاضا شده تحقق یافته و برآورد شده

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۴. مقادیر تولید کالای نهایی تحقق یافته و برآورد شده

منبع: یافته‌های تحقیق

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

این مطالعه را می‌توان به دو بخش طبقه‌بندی کرد. در بخش اول روشی جدید (الگوریتم بازگشتی دو هدفه) به‌منظور برآورد متغیرهای غیرقابل مشاهده بسط داده شده است. در قسمت دوم به کاربرد این الگوریتم جهت برآورد متغیر پنهان سطح دانش

در اقتصاد ایران پرداخته شده است. پایهٔ ساختاری الگوی این مطالعهٔ کاربردی روش LP می‌باشد. با توجه به ساختار الگو تعدادی از فروض روش LP تغییر داده شده و در برآورد الگو نیز از روش‌های حل عددی غیرخطی استفاده شده است. مخارج تحقیق و توسعه یکی از متغیرهای بسیار مهم در هر اقتصادی می‌باشد. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته توسط نویسندگان، سری زمانی برای حجم سرمایه در بخش R&D در کل اقتصاد برای ایران وجود ندارد. یکی از اهداف این تحقیق برآورد حجم سرمایه در بخش R&D[1] برای اقتصاد ایران به‌صورت درون‌زا بوده است. با توجه به پارامترها و سری زمانی محاسبه شده برای سطح دانش، در سطح اطمینان ۹۰ درصد تمام پارامترهای برآورد شده معنادار می‌باشند و می‌توان این پارامترها را برای محاسبات بعدی مورد بررسی قرار داد.

سهم نیروی کار در بخش‌های تولید کالای نهایی، انرژی و R&D به ترتیب ۷۴/۸، ۲۵ و ۰/۲۲ درصد برآورد شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، درصد بسیار پایینی از نیروی کار در بخش تحقیق و توسعه فعالیت دارند. با توجه به برآورد انجام گرفته سهم سرمایه در بخش تحقیق و توسعه تنها ۰/۲۹ درصد می‌باشد، که سهم سرمایه نیز در بخش تحقیق و توسعه برای اقتصاد ایران بسیار پایین است.

پس از برآورد حجم سرمایه و نیروی کار در بخش تحقیق و توسعه به برآورد سری زمانی سطح دانش بین سال‌های ۱۳۵۳-۱۳۵۹ پرداخته شده است. با توجه به سری زمانی برآورد شده برای سطح دانش برای اقتصاد ایران، طی سال‌های ۱۳۵۶-۱۳۶۸، سطح دانش در کشور ثابت بوده است و دارای نرخ رشد میانگین صفر می‌باشد. که این به دلیل دوران انقلاب و جنگ می‌باشد، ولی پس از ۱۳۶۹ تا ۱۳۹۲ دارای روندی صعودی است به صورتی که در این سال‌ها نرخ رشد سالانه به‌طور میانگین ۵/۸ درصد بوده است.

با توجه به پارامترهای برآورد شده کشش تولید نسبت به سرمایه، نیروی کار، انرژی و سطح دانش به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۲۶، ۰/۲۲ و ۰/۱۲ محاسبه شده است. از سویی کشش سرمایه و نیروی کار در بخش تحقیق و توسعه به ترتیب ۰/۰۴۲ و ۰/۰۴۹ برآورد شده است. با توجه به این مقادیر برآورد شده می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش ۱٪

---

۱. برآورد سرمایه در بخش R&D مانند کمی کردن سطح دانش و برآورد سری زمانی ارزش ریالی سطح دانش برای اقتصاد ایران می‌باشد.

حجم سرمایه در بخش تولید کالای نهایی تولید به اندازهٔ ۰/۳۵ درصد به صورت مستقیم افزایش خواهد یافت. از سویی افزایش ۱ درصدی سرمایه در بخش تولید کالای نهایی معادل ۱۴۰ درصد افزایش سرمایه در بخش تحقیق و توسعه است (زیرا حجم سرمایه در بخش تحقیق و توسعه بسیار کم‌تر از بخش تولید کالای نهایی است). با افزایش ۱۴۰٪ سرمایه در بخش تحقیق و توسعهٔ رشد سطح دانش به اندازهٔ ۵/۸۸ درصد افزایش خواهد یافت و با افزایش ۵/۸۸ درصدی نرخ رشد سطح دانش تولید کالای نهایی به اندازه ۰/۷ درصد رشد خواهد داشت. این نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه نسبت به سرمایه‌گذاری مستقیم در بخش تولید کالای نهایی سبب رشد بیشتری در تولید کالای نهایی خواهد شد.

محاسبهٔ سطح سرمایهٔ تحقیق و توسعه در بخش‌های مختلف اقتصادی از جمله بخش کشاورزی، صنعت و ... می‌تواند موضوع مطالعات آتی باشد، محاسبهٔ سطح تحقیق و توسعه در بخش‌های مختلف اقتصادی با استفاده از الگوریتم بسط داده شده است اما با کمی تغییر امکان پذیر خواهد بود. پس از برآورد سرمایهٔ تحقیق و توسعه در بخش‌های مختلف می‌توان به بررسی تأثیر سرمایه در تحقیق و توسعه و رشد اقتصادی بخش‌های مختلف اقتصادی پرداخت.

منابع

۱. اسلاملوئیان، کریم، استادزاد، علی حسین (۱۳۹۱). تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدید پذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران. اقتصاد انرژی ایران ۵، ۱-۴۰.

۲. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران. (سال‌های مختلف). گزارش اقتصادی و ترازنامه .

۳. بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران. (سال‌های مختلف). نماگرهای اقتصادی .

۴. مرکز آمار ایران، سالنامهٔ آماری کشور، سال‌های مختلف

۵. وزارت نیرو، تراز نامه انرژی (سال‌های مختلف)

6. Adams, James D. (2004). "*Learning, Internal Research and Spillovers: Evidence from a Sample of R&D Laboratories*". Working Paper 0409, Rensselaer Polytechnic Institute.
7. Adams, James D., Chiang, Eric P., & Jensen, Jeffrey L. (2003). "The Influence of Federal Laboratory R&D on Industrial Research". *Review of Economics and Statistics*, 12, 1003-1020.
8. AlAzzawi, S. (2004). "*Foreign Direct Investment and Knowledge Flows: Evidence from Patent Citations*". University of California, Davis.

9. Alvarez, R., & Lopez, R. (2005). "Exporting and Performance: Evidence from Chilean Plants" *Canadian Journal of Economics* 1384-1400
10. Arellano, M., & Bover, O. (1995) "Another Look at the Instrumental Variable Estimation of Error Components Models". *Journal of Econometrics*, 68, 29-51
11. Baumol, William F. (2000). "*The Free Market Innovation Machine: Analyzing the Growth Miracle of Capitalism*". Princeton University Press, Princeton.
12. Blalock, G., & Gertler, P. (2004). "Learning from Exporting: Revisited in a Less Developed Setting" *Journal of Development Economics*, 27, 89-112
13. Blundell, R., & Bond S. (2000). "GMM estimation with persistent panel data: an application to production functions". *Econometric Reviews*, 19(3), 321–340.
14. Canberra II Group (2006). "*Capitalization of R&D*". Joint Expert Meeting, March 24, 2006.
15. Darby, Michael R., & Zucker, Lynne G. (2003). "Growing by Leaps and Inches: Creative Destrsuction, Real Cost Reduction and Inching Up". *Economic Inquiry*, 16, 1-19.
16. Frantzen, D. (2002). "Intersectoral and International R&D Knowledge Spillovers and Total Factor Productivity". *Scottish Journal of Political Economy*, 3, 531- 545.
17. Fernandes, A. (2003). "*Trade Policy, Trade Volumes and Plant-Level Productivity in Colombian Manufacturing Industries*". The World Bank Policy Research Working Paper Series: 3064.
18. Fraumeni, B. & Okubo, S. (2005). "*R&D in the National Income and Product Accounts: A First Look at its Effect on GNP*". Measuring Capital in the New Economy, National Bureau of Economic Research, University of Chicago Press, Chicago.
19. Griliches, Z. (1986). "Productivity, R&D, and Basic Research at the Firm Level in the 1970's". *American Economic Review*, 18, 141-154.
20. Hall, Bronwyn H., Jaffe, A. B. & Trajtenberg, M. (2005). "Market Value and Patent Citations". *Rand Journal of Economics*, 16-38.
21. Harhoff, D., Narin, F., Scherer, F. M. & Vopel, K. (1999). "Citation Frequency and the Value of Patented Inventions". *Review of Economics and Statistics*, 511-515.
22. Jaffe, Adam B. (1986). "Technological Opportunity and Spillovers of R&D: Evidence from Firm's Patents, Profits, and Market Value". *American Economic Review*, 984-1001.
23. Jaffe, Adam B. (1988). "Demand and Supply Influences in R&D Intensity and Productivity Growth"., Review of Economics and Statistics (August 1988), pp. 431-437.
24. Jaffe, A., & Trajtenberg, M. (2002). "*Patents, Citations and Innovations*"., MIT Press, Cambridge.

25. Levinsohn, J. & Petrin A. (2003). “Estimating Production Functions Using Inputs to Control for Unobservables”. *Review of Economic Studies,* 70, 317–342.
26. Mansfield, E. (1995). “Academic Research Underlying Industrial Innovations: Sources, Characteristics, and Financing”. *Review of Economics and Statistics*, 42, 55-65.
27. Moretti, Enrico (2004). “Workers Education, Spillovers, and Productivity: Evidence from Plant-Level Production Functions”. *American Economic Review*, 656-690.
28. Nadiri, M. (1993). “*Innovations and Technological Spillovers*”. National Bureau of Economic Research Working Paper 4423.
29. Nelson, Richard R. (1988). “Modeling the Connections in the Cross Section Between Technical Progress and R&D Intensity”. *Rand Journal of Economics*, 478-485.
30. Nordhaus, William D. (2004) “*Schumpeterian Profits in the American Economy: Theory and Measurement*”. National Bureau of Economic Research Working Paper 10433, Cambridge.
31. Olley, G. S. & Pakes, A. (1996). “The Dynamics of Productivity in the Telecommunication Equipment Industry”. *Econometrica*, 1263-1297.
32. Ozler, S. & Yilmaz, K. (2001). “*Does Trade Liberalization Increase Productivity? Plant Level Evidence from Turkish Manufacturing Industry*", Working Paper, UCLA.
33. Park, J. (2004). “International and Intersectoral R&D Spillovers in the OECD and East Asian Economies”. *Economic Inquiry*, 739-757.
34. Pavcnik, N. (2002). “Trade Liberalization, Exit, and Productivity Improvements: Evidence from Chilean Plants”. *The Review of Economic Studies*, 69(1), 245.
35. Peri, G. (2005). “Determinants of Knowledge Flows and Their Effect on Innovation”. *Review of Economics and Statistics*, 17, 308-322.
36. Romer, P. (1990). “Endogenous Technical Change”. *Journal of Political Economy,* S71-S102.
37. Sena, V. (2004). “The Return of the Prince of Denmark: A Survey of Recent Developments in the Economics of Innovation,”. *Economic Journal*, 14, F312- F332.
38. Sivadasan, J. (2004). "*Barriers to Entry and Productivity: Micro-Evidence from Indian Manufac-turing Sector Reforms*" mimeo, University of Chicago.
39. Topalova, P. (2003). "*Trade Liberalization and Firm Productivity: The Case of India*", mimeo, MIT
40. Toole, A. (2007). “Does Public Biomedical Research Complement Private Pharmaceutical Research and Development Investment?”. *Journal of Law and Economics,65,* 81-104.
41. Wooldridge (2005). "*On Estimating Firm-level Production Functions Using Proxy Variables to Control for Unobservables*" mimeo, Michigan State University.