

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

ابراهیم هادیان<sup>۱</sup>، علی حسین استادزاده<sup>۲\*</sup>

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: ۱۳۹۴/۰۵/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۱/۲۵

### چکیده

در متون جدید مخارج تحقیق و توسعه (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 می‌باید. در مطالعات بسیاری که در زمینه 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 اولاً 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 دوره ۱۳۹۲-۱۳۵۳ 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.

**طبقه‌بندی JEL:** C15, C49, C61, Q30

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

## 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<sup>۱</sup> برای اقتصاد ایران به صورت درون‌زا می‌باشد. برای دستیابی به این هدف باید پارامترهای تابع تولید تخمین زده شود.

توابع تولید، نهادهای تولید (مانند سرمایه و نیروی کار) 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<sup>۲</sup> 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 درون‌زا بی موفق نبوده‌اند. از این‌رو تحقیقات مختلف برای یافتن شیوه‌های قابل اعتماد برای تشخیص پارامترهای تابع تولید ادامه یافته است (بلوندل و باند<sup>۳</sup> (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<sup>۴</sup> پیروی می‌کند مانند آرلانو و بوور<sup>۵</sup> (۱۹۹۵)، بلوندل و باند (۲۰۰۰). مطالعات دسته دوم از تکنیک‌ها از روش الی و پیکس (OP)<sup>۶</sup> (۱۹۹۶) و لوینسون و پترین (LP)<sup>۷</sup>

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 مشاهده شده<sup>۱</sup> برای کنترل شوک‌های بهره‌وری مشاهده نشده استفاده می‌شود.<sup>۲</sup> تکیک LP و OP در تعداد زیادی از مقالات تجربی اخیر به کار رفته است. از جمله پاووسنیک<sup>۳</sup> (۲۰۰۲)، سیواداسان<sup>۴</sup> سیواداسان<sup>۵</sup> (۲۰۰۴)، فرناندز<sup>۶</sup> (۲۰۰۳)، اوزلر و ییلماز<sup>۷</sup> (۲۰۰۱)، تپالووا<sup>۸</sup> (۲۰۰۳)، بلالک و گرتلر<sup>۹</sup> (۲۰۰۴) و آلوارز و لوپز<sup>۱۰</sup> (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 الی 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 وسیله آن تغییر در بهره‌وری (که درون زا 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 توسعه الگو و روش‌شناسی برآورده، الگو برای اقتصاد ایران طی دوره ۱۳۹۲ تا ۱۳۵۳ بسط داده شده و سری زمانی متغیر غیرقابل مشاهده سطح دانش کمی و بر حسب واحد پولی به دست آمده است. از دیگر نوآوری‌های این مطالعه برآورد سهم سرمایه و نیروی کار در بخش‌های R&D، انرژی (به عنوان 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 پیش‌بینی 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 جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

## ۲. پیشینهٔ پژوهش

در این قسمت به بررسی مطالعات مختلف در زمینهٔ برآورد تحقیق و توسعه، مشکلات برآورد و همچنین بررسی ارتباط تحقیق و توسعه و سطح بهره‌وری برداخته 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<sup>۱</sup> 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).

روم<sup>۲</sup> (۱۹۹۰)، به عنوان یک کالای غیررقیب<sup>۳</sup> توجه می‌کند که استفاده استفاده از آن توسط یک شرکت یا فرد کاربردش را برای شرکت‌های دیگر محدود نمی‌کند. رومر، انحصار را هم مدنظر می‌گیرد و اشاره می‌کند که نتایج کاربردی R&D می‌تواند تا حدی برای استفاده بقیه محدود شود و تنها شرکتی که به نتایج تحقیق

1. Capital investment

2. Romer

3. Nonrival goods

دست یافته است از آن نتایج استفاده کند. یعنی رومر بحث سرریز دانش را در نظر نمی‌گیرد.

سوال مهم دیگر در تأمین سرمایه تحقیق و توسعه این است که چه بخش از R&D باید به عنوان سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شود؟ همه تحقیق و توسعه‌های خصوصی، دولتی یا دانشگاهی باید به عنوان سرمایه‌گذاری در بخش R&D مدنظر قرار گیرند. با این حال دو مسئله مطرح می‌شود. ابتدا شکل‌های بسیاری از تحقیق و توسعه ارزش اقتصادی کمی ندارند و به رشد کمکی نمی‌کنند. پس آیا آنها باید به عنوان سرمایه‌گذاری محسوب شوند؟ دوم اگر تحقیقات اصلی با سرمایه عمومی و تحقیقات خصوصی هر دو سرمایه‌گذاری باشند، محاسبه مضاعف<sup>۱</sup> رخ می‌دهد. (گروه کانبرا<sup>۲</sup>) (۲۰۰۶)

با این حال همه هزینه‌های تحقیق و توسعه خصوصی می‌تواند به عنوان سرمایه‌گذاری در نظر گرفته شود. چون این هزینه‌ها همگی با انتظار یک سود تجاری انجام گرفته‌اند و ممکن است سودهایی را به همراه داشته باشند. در مطالعات فرامنی و اوکوبو<sup>۳</sup> (۲۰۰۵)، گریلیچز<sup>۴</sup> (۱۹۸۶)، فرامنی و اوکوبو (۲۰۰۵)، توول<sup>۵</sup> (۲۰۰۷) و هال، جف و ترجنبرگ<sup>۶</sup> (۲۰۰۵) به بررسی و تفکیک سرمایه در بخش R&D دولتی و خصوصی و تأثیر هر یک بر رشد اقتصادی پرداخته شده است. نلسون<sup>۷</sup> (۱۹۸۸)، گریلیچز (۱۹۷۹) و جف (۱۹۸۶)، علاوه بر بررسی سود حاصل از سرمایه در بخش R&D، به مطالعه در زمینه انتقال تکنولوژی پرداخته‌اند.

در مطالعات جف<sup>۸</sup> (۱۹۸۶، ۱۹۸۸)، فرانزن<sup>۹</sup> (۲۰۰۲)، پارک<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۴)، مورتی<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۴)، جف و ترانتبرگ<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۲)، تراتنبرگ (۱۹۹۰)، هارhoff و همکاران<sup>۱۳</sup>

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

حال جف و تراتنبرگ<sup>۱</sup> (۲۰۰۵)، پری<sup>۲</sup> (۲۰۰۵) و العزاوی<sup>۳</sup> (۲۰۰۴)، به بررسی اثرات سوریزهای دانش بین شرکتی و بین‌المللی پرداخته شده است. آدامز، چیانگ و جنسن<sup>۴</sup> (۲۰۰۳)، آدامز<sup>۵</sup> (۲۰۰۴)، منسفیلد<sup>۶</sup> (۱۹۹۵) و داربی و زاکر<sup>۷</sup> (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 به کار رفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به پاوینیک<sup>۸</sup> (۲۰۰۲)، سیوداسان<sup>۹</sup> (۲۰۰۴)، فرناندز<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۳)، اوزلر و یilmaz<sup>۱۱</sup> (۲۰۰۱)، توپالووا<sup>۱۲</sup> (۲۰۰۳)، بلالک و گرتلر<sup>۱۳</sup> (۲۰۰۴) و آلوارز و لوپز<sup>۱۴</sup> (۲۰۰۵) اشاره کرد.

با توجه به اینکه سری زمانی تحقیق و توسعه برای اقتصاد ایران گزارش نشده است. در مطالعات اقتصادی انجام گرفته در زمینه تحقیق و توسعه برای اقتصاد ایران از داده واحد و یکسانی برای سری زمانی تحقیق و توسعه استفاده نشده است. این مطالعه به دنبال یافتن حجم سرمایه 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 سرمایه 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<sup>۱۵</sup> (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

لوبنسون/پترین<sup>۱</sup> (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.

### ۳.۱.۳. تکنیک‌های الی و پیکس (OP)<sup>۲</sup> و لوبنسون و پترین (LP)<sup>۳</sup>

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

$$y_t = \beta_k k_t + \beta_l l_t + \omega_t + \varepsilon_t \quad (1)$$

که در این رابطه  $y$  لگاریتم تولید،  $k$  لگاریتم سرمایه و  $l$  لگاریتم نیروی کار (نهاده‌های تولید) در زمان  $t$  می‌باشد. در رابطه (1) دو متغیر غیرقابل مشاهده وجود دارد ( $\omega_t, \varepsilon_t$ ). فرض 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 به طور اجتنابناپذیری بر حجم سرمایه‌آتی می‌افزاید، به این معنا که

$$k_t = \kappa(k_{t-1} | i_{t-1}) \quad (2)$$

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  $\omega$  فعلی شرکت است، به عبارت دیگر:

$$i_t = f_t(\omega_t, k_t) \quad (3)$$

به این نکته توجه کنید که این تابع سرمایه‌گذاری (رابطه ۳) به طور معمول حاوی همه متغیرهای وضعیت فعلی<sup>۴</sup> برای بهینه‌سازی خواهد بود، مثلًاً میزان حجم سرمایه ( $k_t$ ) و  $\omega_t$  فعلی. نیروی کار وارد تابع متغیر وضعیت نمی‌شود، چون یک ورودی غیردینامیکی است و مقادیر  $\omega_t$  قبل از زمان  $t$  نیز وارد نمی‌شوند و این امر به دلیل فرض مرتبه اول مارکوف درباره فرایند  $\omega$  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  $\omega_t$  اکیداً یکنوا است، می‌توان آن را برای به دست آوردن معادله (۴) معکوس کرد.

$$\omega_t = f_t^{-1}(i_t, k_t) \quad (4)$$

نکته اساسی روش OP این است که از این تابع معکوس در تابع تولید به جای  $\omega_t$  استفاده می‌شود. با جایگزینی این در تابع تولید (۱) رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$y_t = \beta_k k_t + \beta_l l_t + f_t^{-1}(i_t, k_t) + \varepsilon_t = \beta_l l_t + \Phi_t(i_t, k_t) + \varepsilon_t \quad (5)$$

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 رابطه (۵)، نمی‌توان  $\beta_k$  را برآورد کرد، چون  $k_t$  با تابع غیرپارامتریک رابطه هم خطی<sup>۱</sup> دارد. با این حال، می‌توان تخمینی از ضریب  $\beta_l$ ,  $\hat{\beta}_l$ ,  $\Phi_t(i_t, k_t) = \beta_k k_t + f_t^{-1}(i_t, k_t)$  برآورد کرد. همچنین تخمینی از جمله مرکب به دست می‌آید که آن با  $\hat{\Phi}_t$  نشان داده خواهد شد.

مرحله دوم OP با فرض تخمین‌هایی از  $\beta_l$ ,  $\hat{\beta}_l$ ,  $\hat{\Phi}_t$  ادامه می‌یابد. با توجه به ویژگی‌های امید ریاضی شرطی، مؤلفه نوآوری ( $\hat{\gamma}_t$ ) در رابطه  $E[\cdot | I_{t-1}, \hat{\gamma}_t] = 0$  صدق می‌کند. همچنین  $I_{t-1} \in k_t$  می‌باشد. این به این معنی است که  $\hat{\gamma}_t$  بر  $k_t$  عمود است، به عبارت دیگر  $E[\hat{\gamma}_t | k_t] = 0$ . این استقلال متوسط به این معنی است که  $\hat{\gamma}_t, k_t$  غیروابسته هستند، به عبارت دیگر  $E[\hat{\gamma}_t k_t] = 0$ . در روش OP از این گشتاور برای شناسایی ضریب سرمایه ( $\beta_k$ ) استفاده می‌شود. با یک حدس درباره ضریب سرمایه  $\beta_k$ ، می‌توان یک سری زمانی برای  $\omega$  در همه دوره‌ها محاسبه کرد.

$$\omega_t(\beta_k) = \hat{\Phi}_t - \beta_k k_t \quad (6)$$

1. Collinear

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

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

$$\xi_t(\beta_k) = \omega_t(\beta_k) - \hat{\Psi}(\omega_{t-1}(\beta_k)) \quad (7)$$

که در آن  $\hat{\Psi}(\omega_{t-1}(\beta_k))$  مقادیر پیش‌بینی شده از رگرسیون غیرپارامتریک هستند.<sup>۱</sup> این رفتار غیرپارامتری با رگرسیون  $\omega_t$  بر  $\omega_{t-1}$  این امکان را برای  $\omega_t$  فراهم می‌کند که از یک فرایند مرتبه اول مارکوف<sup>۲</sup> پیروی کند. سپس این سری زمانی  $\xi_t(\beta_k)$  می‌تواند برای تشکیل نمونه‌ای شبیه گشتاور بالا استفاده شوند یعنی:

$$\frac{1}{T} \sum_t \xi_t(\beta_k).k_t \quad (8)$$

در یک فرآیند GMM، با در نظر گرفتن تا حد ممکن نزدیک به صفر رابطه  $\beta_k$  تخمین زده می‌شود.

به طور خلاصه مبنای برآورده در OP به این صورت است که، با استفاده از اطلاعات موجود در تصمیمات سرمایه‌گذاری یعنی  $i$  برای کنترل شوک‌های بهره وری یعنی  $\omega_i$  که به  $i$  وابسته است،  $\beta_k$  برآورده می‌شود. با فرض زمان‌بندی که  $k_t$  قبل از تحقق کامل  $\omega_t$  تعیین شده، محاسبه می‌شود.

روش LP مانند روش OP راه حلی برای مسئله درون‌زایی تابع تولید ارائه می‌دهد. تفاوت کلیدی در این است که به جای استفاده از معادله تقاضای سرمایه‌گذاری، در این روش از تابع تقاضای نهاده واسطه‌ای (مانند انرژی) برای "معکوس کردن"  $\omega_i$  استفاده می‌شود. در بالا بررسی شد که برای کارکرد شیوه OP نیاز است که تابع سرمایه‌گذاری نسبت به  $\omega_i$  اکیداً یکنوا باشد. با این حال، 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. به جای رگرس کردن  $\omega_i$  ضمنی بر  $\omega_{i-1}$ ، آن‌ها  $y_i - \beta_k k_i - \beta_l l_i$  را بر  $\omega_{i-1}$  رگرس می‌کنند. با این شیوه گشتاورها در باقیمانده  $\varepsilon_i + \varepsilon_{i-1}$  است ولی در شیوه توضیح داده شده گشتاورها در جمله باقیمانده  $\varepsilon_i$  است. بنا بر مطالعات تجربی، گشتاورهای برآورده از  $\varepsilon_i$  دارای واریانس کمتر و تخمین‌های پایدارتری می‌باشند. دلیل این است که جمله پسماند  $\varepsilon_i$ ، به گشتاور واریانس اضافه می‌کند و از این‌رو واریانس تخمین‌ها را افزایش می‌دهد (ولدریچ (۲۰۰۵)).

2. First-order Markov process

غیریکنواست.<sup>۱</sup> 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:

$$y_t = \beta_k k_t + \beta_l l_t + \beta_m m_t + \omega_t + \varepsilon_t \quad (9)$$

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

$$m_t = f_t(\omega_t, k_t) \quad (10)$$

در این رابطه اولاً نهاده واسطه در زمان  $t$  به عنوان تابعی از  $\omega_t$  انتخاب می‌شود. این بدان معنی است که نهاده واسطه  $m_t$  زمانی انتخاب می‌شود که تولید اتفاق می‌افتد. در این نهاده به عنوان یک ورودی "کاملاً متغیر"<sup>۲</sup> توصیف می‌شود. ذکر این نکته ضروری می‌باشد که  $l_t$  وارد رابطه (10) نشده است، این بدین معنی است که نیروی کار نیز یک نهاده غیردینامیکی است، یعنی همزمان با  $m_t$  انتخاب می‌شود. می‌توان با این فرض که تقاضای نهاده واسطه‌ای (رابطه 10) تخمینی از جمله این رابطه را به صورت  $(m_t, k_t) = f_t^{-1}(\omega_t)$  معکوس کرد. با جایگزینی در تابع تولید معادله زیر را خواهیم داشت:

$$y_t = \beta_k k_t + \beta_l l_t + \beta_m m_t + f_t^{-1}(m_t, k_t) + \varepsilon_t \quad (11)$$

در اولین مرحله روش تخمین LP،  $\beta_l$  با استفاده از معادله بالا تخمین زده می‌شود، که در آن  $f_t^{-1}$  غیرپارامتری برآورد شده است. در رابطه (11) تخمینی از جمله ترکیبی به دست می‌آید، که در اینجا  $\hat{\phi}_t = \beta_k k_t + \beta_m m_t + f_t^{-1}(m_t, k_t)$  می‌باشد که دوباره با  $\hat{\phi}_t$  نشان داده خواهد شد.

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

۱. برای مطالعه بیشتر به ABBP رجوع کنید

2. Perfectly variable

خواهد شد. تنها در این روش گشتاور مکملی برای تخمین  $\beta_m$  اضافه می‌شود، شرطی که بر اساس آن  $(\beta_k, \beta_m)$  بر  $m_{t-1}$  عمود است، این امر منجر به شرط گشتاوری  $E \left[ \sum_t (\beta_k, \beta_m) | m_{t-1}^{k_t} \right] = 0$  می‌شود که تخمین  $\beta_m$  قرار است بر اساس آن صورت بگیرد. روش این است که نوآوری  $\beta_t$  بر  $m_t$  عمود نیست. این امر به این دلیل است که  $\omega_t$  زمانی مشاهده شده که  $m_t$  انتخاب می‌شود. از سوی دیگر، بر اساس این الگو،  $\beta_t$  باید به  $m_{t-1}$  وابسته نباشد، چون  $m_{t-1}$  در  $t-1$  تعیین شده و از این رو بخشی از اطلاعات دوره  $t-1$  است ( $I_{t-1}$ ). برای مطالعه بیشتر در زمینه روش‌های LP و OP به آلی و پیکس (OP)<sup>1</sup> (۱۹۹۶) و لوینسون و پترین (LP)<sup>2</sup> (۲۰۰۳) مراجعه شود.

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

### ۲.۳. الگوی مورد بررسی در این مطالعه

پایه 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.

$$Y_t = f(K_{tY}, H_{tY}, E_{tY}, A_t) \quad (12)$$

یکی از تفاوت‌های الگوی مطالعه 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:

$\theta_1$ : سهم نیروی کار در تولید کالای نهایی

$\theta_2$ : سهم نیروی کار در تولید کالای واسطه‌ای انرژی

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

$\eta_1$ : سهم سرمایه در تولید کالای نهایی

$\eta_2$ : 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:

$$\begin{aligned} H_{tY} &= \theta_1 H_t, & H_{tE} &= \theta_2 H_t, & H_{tA} &= (1 - \theta_1 - \theta_2) H_t \\ K_{tY} &= \eta_1 K_t, & K_{tE} &= \eta_2 K_t, & K_{tA} &= (1 - \eta_1 - \eta_2) K_t \end{aligned} \quad (13)$$

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 دوره قبل بستگی دارد، بنابراین با توجه به رابطه (۱۳)، رابطه (۱۴) را برای متغیر سطح دانش می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$dA = [h(A, (1 - \eta_1 - \eta_2)K_t, (1 - \theta_1 - \theta_2)H_t)] dt \quad (14)$$

برای درک بهتر، در رابطه (۱۴) سطح دانش را می‌توان به صورت یک متغیر به عنوان "ارزش دانش"<sup>۱</sup> 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 دوره ۱۳۵۳ تا ۱۳۹۲ هستیم.

1. Knowledge value

کالای واسطه انرژی نیز برای تولید به سرمایه و نیروی کار نیاز دارد، بنابراین با توجه به رابطه (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.

$$E = g(\eta_2 K_t, \theta_2 H_t, A_t, IES_t) \quad (15)$$

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 کاپ-دالگاس 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.

$$A_{t+1} = A_t + B_1 A_t [(1 - \eta_1 - \eta_2) K_t]^{\alpha_1} [(1 - \theta_1 - \theta_2) H_t]^{\alpha_2} \quad (16)$$

$$Y_t = B_2 (\eta_1 K_t)^{\beta_1} (\theta_1 H_t)^{\beta_2} (E_t)^{\beta_3} (A_t)^{\beta_4} \quad (17)$$

$$E_t = B_3 (\eta_2 K_t)^{\gamma_1} (\theta_2 H_t)^{\gamma_2} (A_t)^{\gamma_3} (IES_t)^{\gamma_4} \quad (18)$$

در رابطه (۱۸) پارامترهای  $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ ، به ترتیب کشش تولید انرژی نسبت به سرمایه، نیروی کار، سطح دانش و سطح تولید انرژی اولیه است. همچنین در رابطه (۱۶)،  $\alpha_2, \alpha_1$  کشش رشد سطح دانش نسبت به سرمایه و نیروی کار می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که پارامترهای  $\beta$  کشش نهاده‌های تولید کالای نهایی نمی‌باشد. با توجه به رابطه (۱۷) و (۱۸)، کشش تولید کالای نهایی نسبت به سرمایه و نیروی کار با استفاده از روابط (۱۹) و (۲۰) قابل محاسبه است.<sup>۱</sup>

<sup>1</sup>  $\frac{d \ln Y_t}{d \ln K_t} = \beta_1 + \beta_3 \frac{d \ln (E_t)}{d \ln K_t} \xrightarrow{(28)} \Xi_K = \frac{d \ln Y_t}{d \ln K_t} = \beta_1 + \beta_3 \gamma_1$

$$\Xi_K = \frac{d \ln Y_t}{d \ln K_t} = \beta_1 + \beta_3 \gamma_1 \quad (19)$$

$$\Xi_L = \frac{d \ln Y_t}{d \ln H_t} = \beta_2 + \beta_3 \gamma_2 \quad (20)$$

در ادامه الگوریتم بازگشتی چند هدفه به منظور برآورد روابط ۱۸-۱۶ 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 دوره ۱۳۹۲-۱۳۵۳، 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 نویسندها در شکل (۱) آمده است. در ادامه به بررسی مراحل این نمودار پرداخته می‌شود.

در مرحله اول سطح دانش درصدی از تولید کالای نهایی در نظر گرفته شده است.

( $A_t = \vartheta_t Y_t$ )، بنابراین  $\vartheta_t$  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  $\vartheta_t$  سری زمانی سطح

دانش را خواهیم داشت. فرض می‌شود  $\vartheta_t$  از فرآیند مرتبه اول مارکوف با فرآیند AR(1) بدون ثابت پیروی می‌کند، بنابراین برای فرآیند  $\vartheta_t$  رابطه  $\vartheta_t = (1 + g_g) \vartheta_{t-1}$  برقرار خواهد بود. با برآورد  $g_g$  و همچنین برآورد یک مقدار اولیه برای  $\vartheta_0$ ، ( $\vartheta_0$ ) می‌توان سری زمانی نسبت سطح دانش به تولید را در طول زمان با استفاده از رابطه (۲۱) محاسبه کرد.<sup>۱</sup>

$$\vartheta_t = (1 + g_g)^t \vartheta_0 \quad (21)$$

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

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

⋮

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

**مرحله (۱):** با توجه به نمودار چرخشی شکل (۱) در شروع یک مقدار تصادفی برای  $g_0$  و  $\theta_0$  انتخاب می‌شود.

**مرحله (۲):** با استفاده از رابطه (۲۱) یک سری زمانی برای  $\theta_t$  به دست می‌آید.

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

**مرحله (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 برنامه الگوریتم، توابع حداقل مربعات خطأ با توجه به روابط ۱۸-۱۶ به صورت زیر تشکیل می‌شود.  
 $MSE_E(B_3, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4)$  و  $MSE_A(B_1, \alpha_1, \alpha_2)$ . که در این روابط داریم:

$$MSE_Y(\hat{A}_t, \beta_1, \beta_2, \beta_3) = \sum_{t=1}^T (\hat{Y}_t - \hat{Y})^2, \quad MSE_A(B_1, \alpha_1, \alpha_2) = \sum_{t=1}^T (A_t - \hat{A}_t)^2$$

$$MSE_E(B_3, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4) = \sum_{t=1}^T (E_t - \hat{E}_t)^2$$

توابع حداقل مربعات خطأ تابعی از پارامترهای الگو (روابط ۱۸-۱۶) می‌باشند که باید برآورد شوند. ذکر این نکته ضروری است که  $T$  نشان دهنده بازه زمانی است، که برای برآورد به کار برده می‌شود. از سویی  $A_t$  در روابط، سری زمانی متغیر غیرقابل مشاهده 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.

**مرحله (۶):** در این مرحله با استفاده از روش بهینه سازی الگوریتم ژنتیک چند هدفه<sup>۱</sup> به حداقل سازی همزمان توابع حداقل مربعات خطأ ذکر شده در مرحله (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

**مرحله (۷):** پس از برآوردهای الگو با استفاده از الگوریتم ژنتیک چند هدفه و همچنین با استفاده از تعارف آمارهای ضریب تشخیص ( $R^2$ )، ضریب تشخیص تعدیل شده ( $Adj - R^2$ ) و آمارهای  $t$  برای هر پارامتر و هر معادله مشخص، محاسبه خواهد شد<sup>۱</sup>.

**مرحله (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).

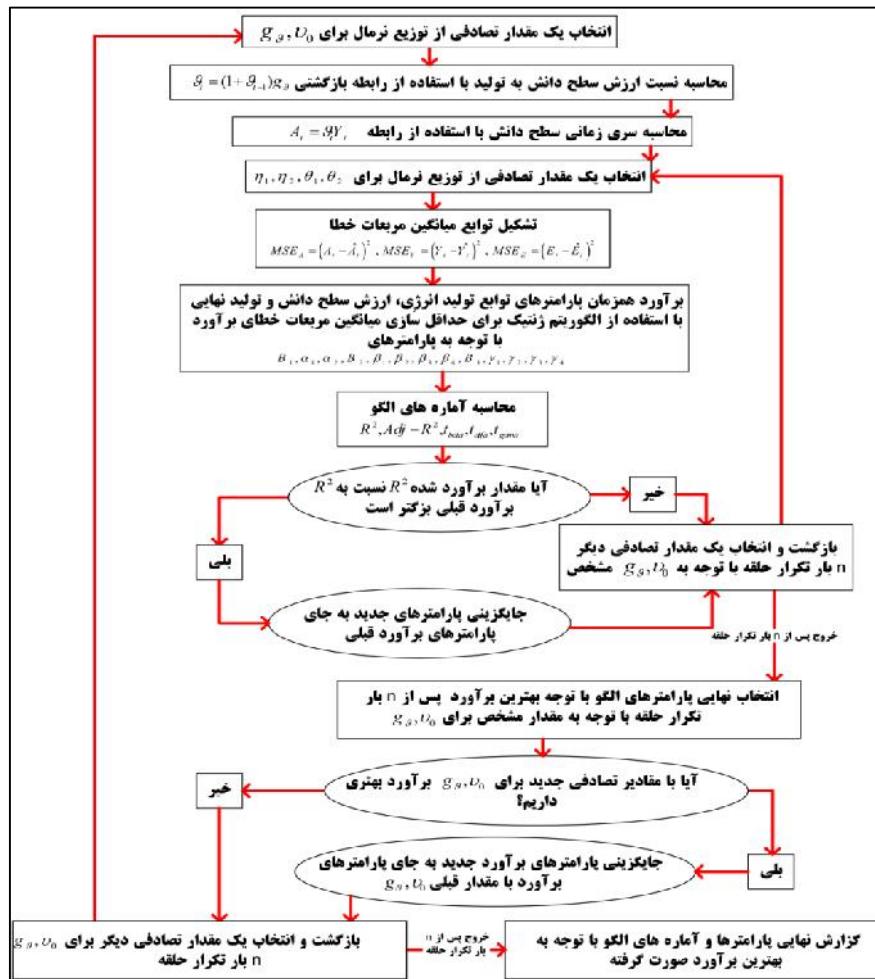
**مرحله (۹):** حال در این مرحله تمام پارامترها و آمارهای برآورده شده از بهترین برآورد را در فایلی جداگانه ذخیره خواهیم کرد.

**مرحله (۱۰):** به مرحله (۱) الگوریتم باز خواهیم گشت و دوباره  $9$  مرحله قبل را با یک سری زمانی جدید برای ارزش سطح دانش ادامه می‌دهیم و این چرخه را  $m$  بار تکرار خواهیم کرد.

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

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

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



شکل ۲. نمودار چرخشی محاسبه پارامترهای الگو

منبع: یافته‌های تحقیق

در قسمت بعد با استفاده از این الگوریتم و با توجه به داده‌های اقتصاد ایران طی دوره ۱۳۹۲-۱۳۵۳ سری زمانی متغیر غیرقابل مشاهده ارزش سطح دانش محاسبه شده است. از سویی به برآوردهای 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 دوره ۱۳۹۲-۱۳۵۳ پرداخته شده است. داده‌های سری زمانی تولید ناخالص داخلی بدون ارزش افزوده بخش ارزشی به قیمت‌های ثابت ۱۳۸۳ بر حسب میلیارد ریال طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۵۳ (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 ۱۳۹۲-۱۳۵۳ (منبع: بانک مرکزی، داده‌های سری‌های زمانی و نماگرهای اقتصادی) است. داده‌های انرژی (منبع: وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال‌های مختلف) طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۵۳، که کل انرژی اولیه تولید شده در کشور بر حسب میلیون بشکه معادل نفت خام می‌باشد در نظر گرفته شده است. عرضه انرژی اولیه نیز از وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال‌های مختلف طی سال‌های ۱۳۹۲-۱۳۵۳ استخراج شده است. نیروی کار یکی دیگر از نهادهای 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 ۱۳۹۰-۱۳۵۳ و برای سال‌های ۹۱ و ۹۲ با توجه به میانگین نرخ رشد نیروی کار طی ۵ سال اخیر، توسط نویسنده‌گان 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.<sup>۱</sup> برای شروع کار با الگوریتم ژنتیک، جمعیت اولیه ۲۰۰۰ کروموزوم، نرخ تغییر نسل (۵) 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 برنامه نوشته شده، پارامترها و آمارهای الگو برآورد و در جدول (۱) آورده شده است.

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

جدول ۱. پارامترها و آماره‌های برآورد شده

پارامترهای تابع تولید انرژی (رابطه ۱۸)			پارامترهای تابع حجم سرمایه در بخش R&D (رابطه ۱۶)			پارامترهای تابع تولید (رابطه ۱۷)		
آماره t	مقدار برآورد	شیده	آماره t	مقدار برآورد	شیده	آماره t	مقدار برآورد	شیده
۲/۲۸۵	۰/۰۳۰۰	$B_3$	۱/۳۸۶	۰/۰۱۹۷	$B_1$	۲/۶۳۸	۰/۷۳۱	$B_2$
۴/۲۴۵	۰/۲۲۳۱	$\gamma_1$	۲/۹۴۷	۰/۰۴۱۹	$\alpha_1$	۴/۹۲۰	۰/۳۰۱	$\beta_1$
۷/۵۰۵	۰/۰۳۷۱	$\gamma_2$	۳/۴۴۴	۰/۰۴۹۰	$\alpha_2$	۲/۵۳۳	۰/۲۴۶	$\beta_2$
۱/۱۴۷	۰/۰۲۴۷	$\gamma_3$				۲/۶۵۳	۰/۲۲۱	$\beta_3$
۵/۴۴۶	۰/۸۵۸۹	$\gamma_4$				۳/۵۵۹	۰/۱۲۳	$\beta_4$
$R^2 = 0.9974$			$R^2 = 0.991$			$R^2 = 0.971$		
Adj- $R^2 = 0.9971$			Adj- $R^2 = 0.989$			Adj- $R^2 = 0.968$		
سهم نیروی کار و حجم سرمایه در بخش‌های مختلف								
سهم نیروی کار در بخش تولید کالای نهایی ( $\theta_1$ )			سهم حجم سرمایه در بخش تولید کالای نهایی ( $\eta_1$ )			سهم نیروی کار در بخش تولید انرژی ( $\theta_2$ )		
۰/۷۴۷۷			۰/۶۱۱۳			۰/۲۵۰۰		
سهم حجم سرمایه در بخش تولید انرژی ( $\eta_2$ )			۰/۳۸۸۴			سهم نیروی کار در بخش R&D ( $1 - \theta_1 - \theta_2$ )		
۰/۰۰۲۲			۰/۰۰۲۹			سهم حجم سرمایه در بخش R&D ( $1 - \eta_1 - \eta_2$ )		

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 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 برآورده 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 آماره  $t$ ، در سطح اطمینان ۹۰ درصد تمام پارامترهای برآورده شده نیز معنادار می‌باشند.

در نمودار (۲) با توجه به داده‌های جدول (۲) مقادیر محاسبه شده سطح دانش و همچنین مقادیر برآورده شده از معادله (۱۶) رسم شده است. این نشان می‌دهد که اولاً برآورده پارامترها و برازش به خوبی انجام گرفته است. همان‌گونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، مقادیر برآورده شده از تابع در نظر گرفته شده برای سطح دانش نقاط عطف<sup>۱</sup> مقادیر محاسبه شده را به خوبی دنبال می‌کند. که این نشان دهنده خوبی برازش و همچنین دقت برآورده و محاسبه متغیر غیرقابل مشاهده سطح دانش است. از سوی دیگر در این نمودار شاخص سطح دانش با روش LP برآورده شده است. با توجه به این نمودار سری زمانی برآورده 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 برآورده 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 برآورده با استفاده از روش الگوریتم بازگشتی شکل (۳) و (۴) رسم شده است. شکل (۳)، مقادیر برآورده شده تقاضای انرژی نهایی از رابطه (۱۸) و نیز مقادیر تحقق یافته این متغیر را در طول زمان نشان می‌دهد. افزون بر این شکل (۴) مقادیر تحقق یافته تولید کالای نهایی به غیراز نفت و مقادیر برآورده شده این متغیر از رابطه (۱۷) را نشان می‌دهد. که خوبی برازش و همچنین دنبال کردن نقاط عطف در این دوشكل به خوبی مشخص است.

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

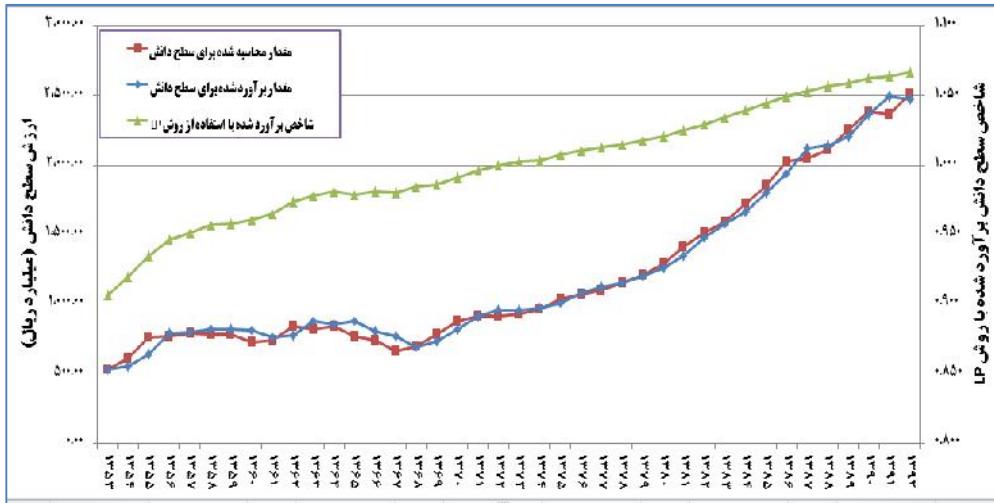
---

1. Turning point

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

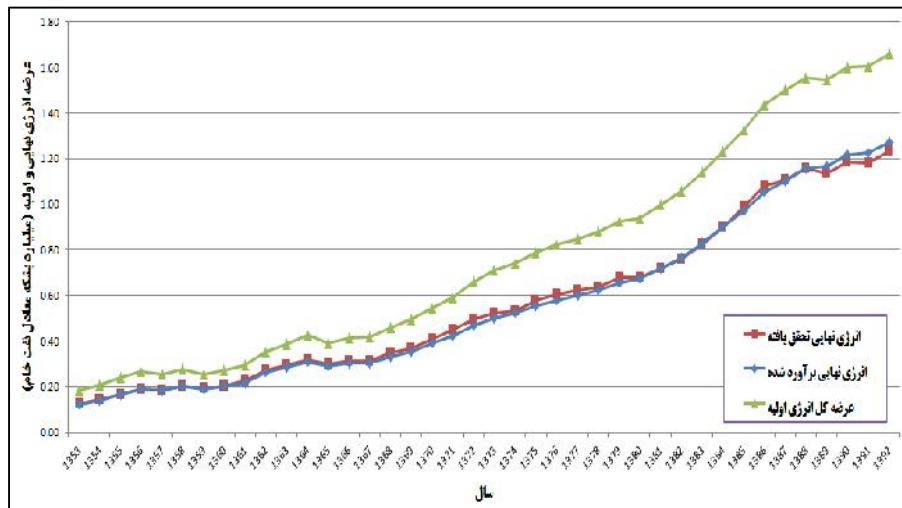
سال	بخش تولید کالای نهایی	نیروی کار سرمایه	نیروی کار سرمایه	بخش تولید انرژی	نیروی کار سرمایه	نیروی کار سرمایه	بخش تحقیق و توسعه	ارزش سطح دانش	سری زمانی سطح دانش (LP روش)
		سرمایه	نیروی کار	سرمایه	نیروی کار	سرمایه			
۱۳۵۳	۶/۹۸	۹۱۱۰۸۶/۴	۲/۳۳	۵۷۸۹۳۲/۳	۰/۰۲۱	۴۳۵/۲۱	۵۳۰/۰۸	۰/۹۰۶	
۱۳۵۴	۷/۱۵	۱۰۷۵۶۷۲	۲/۳۹	۶۸۳۵۱۴/۹	۰/۰۲۱	۵۱۳/۸۳	۵۵۲/۰۲	۰/۹۲۰	
۱۳۵۵	۷/۳۲	۱۳۱۶۸۲۵	۲/۴۰	۸۳۶۷۵۱/۲	۰/۰۲۲	۶۲۹/۰۲	۶۳۸/۹۲	۰/۹۳۵	
۱۳۵۶	۷/۵۱	۱۵۰۸۲۰۶	۲/۵۱	۹۵۸۳۶۰/۷	۰/۰۲۲	۷۲۰/۴۴	۷۹۱/۸۰	۰/۹۴۶	
۱۳۵۷	۷/۷۰	۱۶۷۳۹۰۴	۲/۵۷	۱۰۶۳۶۵۰	۰/۰۲۳	۷۹۹/۰۹	۷۹۹/۹۱	۰/۹۵۱	
۱۳۵۸	۷/۹۰	۱۷۶۷۶۴۵	۲/۶۴	۱۱۲۳۲۱۶	۰/۰۲۳	۸۴۴/۳۷	۸۲۳/۴۵	۰/۹۵۷	
۱۳۵۹	۸/۱۱	۱۸۵۰۵۰۸	۲/۷۱	۱۱۷۵۸۷۰	۰/۰۲۴	۸۸۳/۹۵	۸۱۷/۲۵	۰/۹۵۸	
۱۳۶۰	۸/۳۴	۱۹۱۱۲۹۲	۲/۷۹	۱۲۱۴۴۹۴	۰/۰۲۵	۹۱۲/۹۸	۸۱۵/۸۴	۰/۹۶۱	
۱۳۶۱	۸/۵۷	۱۹۵۵۳۱۰	۲/۸۷	۱۲۴۲۴۶۴	۰/۰۲۵	۹۳۴/۰۱	۷۵۹/۷۹	۰/۹۶۵	
۱۳۶۲	۸/۸۱	۲۰۵۱۳۳۱	۲/۹۵	۱۳۰۳۴۷۹	۰/۰۲۶	۹۷۹/۸۸	۷۷۶/۶۹	۰/۹۷۳	
۱۳۶۳	۹/۰۷	۲۱۴۳۱۴۱	۳/۰۳	۱۳۶۱۸۱۸	۰/۰۲۷	۱۰۲۳/۷۳	۸۷۹/۵۰	۰/۹۷۸	
۱۳۶۴	۹/۳۴	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	۱۳۸۴۵۰۷	۰/۰۲۹	۱۰۴۰/۸۳	۸۰۲/۰۲	۰/۹۸۱	
۱۳۶۷	۱۰/۱۵	۲۱۶۷۵۸۳	۳/۳۹	۱۳۷۷۳۴۹	۰/۰۳۰	۱۰۳۵/۴۱	۷۷۰/۰۴	۰/۹۸۱	
۱۳۶۸	۱۰/۴۲	۲۱۹۳۵۸۸	۳/۴۹	۱۳۹۳۸۷۳	۰/۰۳۱	۱۰۴۷/۸۳	۶۹۱/۰۳	۰/۹۸۵	
۱۳۶۹	۱۰/۷۲	۲۱۸۱۳۲۷	۳/۵۸	۱۳۸۶۰۸۲	۰/۰۳۲	۱۰۴۱/۹۷	۷۳۱/۹۵	۰/۹۸۶	
۱۳۷۰	۱۱/۰۲	۲۲۷۴۵۷۲	۳/۶۸	۱۴۴۵۳۲۳	۰/۰۳۳	۱۰۸۶/۵۱	۸۱۸/۴۷	۰/۹۹۱	
۱۳۷۱	۱۱/۲۴	۲۳۵۶۲۲۹	۳/۷۶	۱۴۹۷۲۲۱	۰/۰۳۳	۱۱۲۵/۵۲	۹۱۶/۲۰	۰/۹۹۶	
۱۳۷۲	۱۱/۴۷	۲۴۱۰۵۸۰	۳/۸۴	۱۵۳۱۷۵۶	۰/۰۳۴	۱۱۵۱/۴۸	۹۵۷/۰۸	۱/۰۰۰	
۱۳۷۳	۱۱/۷۲	۲۴۴۵۶۰۸	۳/۹۲	۱۵۵۴۰۱۵	۰/۰۳۵	۱۱۶۸/۲۱	۹۰۵/۳۶	۱/۰۰۲	
۱۳۷۴	۱۱/۹۷	۲۴۷۱۹۲۵	۴/۰۰	۱۵۷۰۷۳۷	۰/۰۳۵	۱۱۸/۷۹	۹۷۱/۷۰	۱/۰۰۳	
۱۳۷۵	۱۲/۲۴	۲۵۳۰۴۷۲	۴/۰۹	۱۶۰۷۹۴۰	۰/۰۳۶	۱۲۰۸/۷۵	۱۰۰۶/۲۰	۱/۰۰۷	
۱۳۷۶	۱۲/۷۴	۲۵۹۹۹۰۸	۴/۲۶	۱۶۵۲۰۶۲	۰/۰۳۸	۱۲۴۱/۹۲	۱۰۸۳/۰۵	۱/۰۱۰	
۱۳۷۷	۱۳/۲۶	۲۶۶۹۴۵۳	۴/۴۳	۱۶۹۶۲۵۳	۰/۰۳۹	۱۲۷۵/۱۴	۱۱۲۲/۶۲	۱/۰۱۲	
۱۳۷۸	۱۳/۷۸	۲۷۴۴۴۲۹	۴/۶۱	۱۷۴۳۸۹۵	۰/۰۴۱	۱۳۱۰/۹۶	۱۱۴۹/۲۴	۱/۰۱۵	
۱۳۷۹	۱۴/۳۰	۲۸۳۰۶۰۴	۴/۷۸	۱۷۹۸۶۵۳	۰/۰۴۲	۱۳۵۲/۱۲	۱۲۰۴/۷۵	۱/۰۱۸	

سال	بخش تولید کالای نهایی			بخش تولید انرژی			بخش تحقیق و توسعه			ارزش سطح دانش (میلیارد ریال)	سری زمانی سطح دانش (LP روش)
	نیروی کار	سرمایه	نیروی کار	سرمایه	نیروی کار	سرمایه	نیروی کار	سرمایه	نیروی کار		
۱۳۸۰	۱۴/۸۱	۲۹۶۰۸۴۳	۴/۹۵	۱۸۸۱۴۱۱	۰/۰۴۴	۱۴۱۴/۳۳	۱۲۶۲/۱۲	۱/۰۲۱	۱۴۸۱/۵۵	۱۳۴۵/۳۱	۱/۰۲۵
۱۳۸۱	۱۵/۲۸	۳۱۰۱۵۷۲	۵/۱۱	۱۹۷۰۸۳۴	۰/۰۴۵	۱۴۸۱/۵۵	۱۲۶۲/۱۲	۱/۰۲۱	۱۵/۲۸	۱۳۴۵/۳۱	۱/۰۲۵
۱۳۸۲	۱۵/۷۱	۳۲۰۱۲۲۷	۵/۲۵	۲۰۶۵۹۲۹	۰/۰۴۷	۱۵۵۳/۰۴	۱۴۷۹/۲۹	۱/۰۲۹	۱۶/۱۳	۱۵/۷۱	۱۳۸۲
۱۳۸۳	۱۶/۱۳	۳۴۱۲۸۳۱	۵/۳۹	۲۱۶۸۶۱۸	۰/۰۴۸	۱۶۳۰/۲۴	۱۵۸۱/۳۲	۱/۰۳۴	۱۶/۶۹	۳۵۷۹۰۸۶	۱۶/۶۹
۱۳۸۴	۱۷/۵۵	۳۷۳۰۶۱۵	۵/۸۷	۲۳۷۰۵۴۸	۰/۰۵۲	۱۷۸۲/۰۴	۱۸۰۴/۹۸	۱/۰۴۴	۱۷/۶۹	۳۵۷۹۰۸۶	۱/۰۳۹
۱۳۸۵	۱۷/۶۳	۳۹۰۶۹۵۱	۵/۹۰	۲۴۸۲۵۹۷	۰/۰۵۲	۱۸۶۶/۲۷	۱۹۳۵/۷۳	۱/۰۴۹	۱۷/۶۳	۳۹۰۶۹۵۱	۱/۰۴۹
۱۳۸۶	۱۷/۱۲	۴۱۱۲۴۴۲	۵/۷۲	۲۶۱۳۱۷۲	۰/۰۵۱	۱۹۶۴/۴۳	۲۱۲۰/۷۶	۱/۰۵۳	۱۷/۸۰	۴۳۲۰۱۲۳	۱/۰۵۷
۱۳۸۷	۱۸/۶۲	۴۵۳۳۳۲۶	۶/۲۳	۲۸۸۰۶۱۵	۰/۰۵۵	۲۱۶۵/۴۷	۲۲۰۷/۵۰	۱/۰۵۹	۱۸/۶۲	۴۵۳۳۳۲۶	۱/۰۶۳
۱۳۸۸	۱۹/۲۲	۴۷۴۹۶۸۲	۶/۴۳	۳۰۱۸۰۹۴	۰/۰۵۷	۲۲۶۸/۸۲	۲۳۶۴/۳۹	۱/۰۶۴	۱۹/۰۰	۴۸۰۳۰۹۰	۱/۰۶۶
۱۳۸۹	۱۹/۰۰	۴۸۰۳۰۹۰	۶/۰۲	۳۰۱۸۳۰۶	۰/۰۵۸	۲۳۱۸/۲۲	۲۴۹۵/۳۵	۱/۰۶۴	۱۹/۰۰	۴۹۸۱۲۹۹	۱/۰۶۶
۱۳۹۰	۲۰/۳۰	۴۹۸۱۲۹۹	۶/۷۹	۳۱۶۵۲۷۱	۰/۰۶۰	۲۳۷۹/۴۶	۲۴۷۶/۲۹	۱/۰۶۶	۲۰/۳۰	۴۹۸۱۲۹۹	۱/۰۶۶



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

منبع: یافته‌های تحقیق



شکل ۴. مقادیر تولید کالای نهایی تحقیق یافته و برآورده 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) به منظور 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. پایه ساختاری الگوی این مطالعه کاربردی روش LP می‌باشد. با توجه به ساختار الگو تعدادی از فروض روشن LP تغییر داده شده و در برآوردن 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 نویسندها، 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<sup>۱</sup> برای اقتصاد ایران به صورت درونزا بوده است. با توجه به پارامترها و سری زمانی محاسبه شده برای سطح دانش، در سطح اطمینان ۹۰ درصد تمام پارامترهای برآورده 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 برآورده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، درصد بسیار پایینی از نیروی کار در بخش تحقیق و توسعه فعالیت دارند. با توجه به برآورده 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 برآورده سری زمانی سطح دانش بین سال‌های ۱۳۵۳-۱۳۵۹ پرداخته شده است. با توجه به سری زمانی برآورده 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 برآورده شده کشش تولید نسبت به سرمایه، نیروی کار، انرژی و سطح دانش به ترتیب ۰/۳۵، ۰/۲۶، ۰/۲۲ و ۰/۱۲ محسوبه شده است. از سویی کشش سرمایه و نیروی کار در بخش تحقیق و توسعه به ترتیب ۰/۰۴۹ و ۰/۰۴۲ برآورده است. با توجه به این مقادیر برآورده شده می‌توان نتیجه گرفت که با افزایش ٪۱

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

حجم سرمایه در بخش تولید کالای نهایی تولید به اندازه 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 توسعه رشد سطح دانش به اندازه 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.

محاسبه سطح سرمایه تحقیق و توسعه در بخش‌های مختلف اقتصادی از جمله بخش کشاورزی، صنعت و ... می‌تواند موضوع مطالعات آتی باشد، محاسبه 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 سرمایه 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، ۴۰-۱.
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، سالنامه 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 Destruction, 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 Manufacturing 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.