فصلنامه پژوهشهای اقتصادی (رشد و توسعه پایدار) ـ سال شانزدهم ـ شماره اول ـ بهار ۱۳۹۵ ـ صفحات ۴۸-۲۱

برآورد تابع تولید مناسب برای ایران با وجود نهاده انرژی و تحقیق و توسعه: روش الگوریتم ژنتیک

کریم اسلاملوئیان[۱]
علی حسین استادزاد[۲]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۵/۱۷ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۸/۲۱**

چکیده

هدف این مطالعه، برآورد انواع تابع تولید در ایران با تأکید بر نقش انرژی و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (R&D) برای کشور ایران با روش الگوریتم ژنتیک طی دوره ۱۳۵۷تا۱۳۸۹می‌باشد. پس از برآورد انواع توابع تولید شامل CES،GPF، کاب- داگلاس، ترنسندنتال، ترانسلوگ و تعمیم یافته خطی، تابع مناسب برای ایران انتخاب می گردد. این توابع عمدتاً غیر خطی بوده و برآورد آنها مستلزم داشتن حجم نمونه بزرگ است. به علاوه در اقتصاد سنجی مرسوم، برآوردها عمدتاً از طریق حداقل کردن مجموع مجذور خطا (RSS) صورت می گیرد. مطالعات نشان داده اند که این روش نسبت به روش "حداقل سازی کمترین مقدار مطلق انحراف" (LAD) از کارآیی کمتری برخوردار است. با توجه به محدودیت های ناشی از تکنیک های مرسوم اقتصاد سنجی، استفاده از روش (LAD) کمتر مورد توجه می باشد. برای غلبه بر مشکلات فوق در این مطالعه برای اولین بار در ایران، با استفاده از روش هوشمند تکاملی الگوریتم ژنتیک و با حداقل سازی مقدار مطلق انحراف، توابع تولید برآورد شده است. نتایج نشان می دهد که تابع تولید ترانسلوگ نسبت به سایر توابع برای ایران مناسب تر است. بر اساس نتایج،۱۰ درصد افزایش در نهاده انرژی، تولید را به میزان ۷/۳ درصد افزایش می دهد. درحالی که افزایش ۱۰ درصدی در مخارج R&D، منجر به افزایش ۲/۶ درصدی در تولید می گردد. علاوه بر این، نشان داده می شود که تکنولوژی تولید در ایران بعد از جنگ تحمیلی دارای ویژگی بازده صعودی نسبت به مقیاس بوده است. بنابراین، به نظر می رسد که ساخت الگوهای رشد برای اقتصاد ایران با فرض تابع تولید با تکنولوژی بازده ثابت نسبت به مقیاس باید (حداقل برای دوره بعد از جنگ تحمیلی) با تامل بیشتری صورت گیرد.

واژگان کلیدی: تابع تولید، تحقیق و توسعه، انرژی، الگوریتم ژنتیک پیوسته، ایران
طبقه بندی JEL: C15، C18، D24

---

۱. دانشیار اقتصاد دانشگاه شیراز keslamlo@rose.shirazu.ac.ir
۲. دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه شیراز s.aostadzad@rose.shirazu.ac.ir

۱. مقدمه

تابع تولید در تجزیه و تحلیل‌های روابط عوامل تولید و تأثیر آنها بر رشد اقتصادی و همچنین بررسی کارآیی نهاده‌های تولید مورد استفاده می‌باشد. بنابراین، برآورد پارامترهای تابع تولید برای تحلیل رشد اقتصادی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. به عبارت دیگر، سیاستگذار نمی تواند عوامل تأثیرگذار و مسیر رشد بلند مدت را به درستی برآورد کند، مگر اینکه پارامترها و کشش های تولید را با دقت برآورد نماید. این امر مستلزم در نظر گرفتن عوامل و نهاده های کلیدی تأثیرگذار بر تولید و همچنین انتخاب تابع تولید مناسب است. چنانکه ملاحظه خواهیم نمود برای گزینش تابع تولید مناسب، توجه به روش برآورد توابع از اهمیت ویژه ای بر خوردار خواهد بود.

در خصوص انتخاب عوامل کلیدی تولید، در تحقیقات اولیه به نقش کار و سرمایه فیزیکی در کنار سایر عوامل توجه زیادی شده امّا به استفاده از انرژی به عنوان یک نهاده اصلی تولید، توجه کافی نشده است. با توجه به اینکه استفاده از انرژی در تمام مراحل تولید لازم و ضروری می باشد و بدون مصرف انرژی امکان تولید وجود ندارد، در چند دهه اخیر تحقیقاتی که به بررسی نقش انرژی در توابع تولید پرداخته اند، رو به رشد بوده است. برخی برای توجیه استفاده از انرژی در اقتصاد و تولید، از قوانین فیزیکی کمک گرفته اند.

به طور مثال آیرس و همکاران (Ayres et al. 2003) توضیح می دهند که قوانین ترمودینامیک و اصل بقای انرژی و ماده، محدودیت هایی را برای عملکرد یک سیستم اقتصادی اعمال می کند. قانون دوم ترمودینامیک (قانون راندمان یا کارآیی) بیان می دارد که یک مقدار حداقل از انرژی برای انتقال ماده یا به طور عمومی تر کار فیزیکی در فرایند تولید، لازم و انجام انتقالات در زمان کمتر و محدودتر، نیازمند انرژی بیشتر از این مقدار حداقل است. برای انجام تولید باید کار فیزیکی انجام شود. برای انجام کار فیزیکی نیز انرژی لازم است و بنابر این تمامی پروسه‌های اقتصادی نیازمند انرژی هستند. در فرایند تولید، محدودیت‌هایی برای جانشینی انرژی با دیگر نهاده‌های تولید وجود دارد (Stern, 1997). بنابراین انرژی همیشه یک نهاده لازم و ضروری برای تولید می‌باشد و توابع تولیدی که در آنها انرژی به عنوان نهاده تولید نادیده گرفته شده است، کامل نمی‌باشند.

از طرفی برخی از نظریه‌های جدید رشد درونزا، رشد بلند مدت اقتصادی را با تمرکز بر پیشرفت فناوری بر اساس تحقیق و توسعه توضیح می دهند. باید پیشرفت تکنولوژی را وارد الگوهای تولید و رشد کرد تا توجیه کننده رشد سریع تر تولید نسبت به رشد نهاده‌ها باشد. ابداعات و نوآوری‌ها می‌تواند نتیجه فعالیت آشکار در بخش تحقیق و توسعه[1] (R&D) باشد و در نتیجه، برخی نظریه‌های رشد به نقش تحقیق و توسعه به عنوان موتور رشد اقتصادی تأکید دارند. تحقیق و توسعه می تواند از طرق

1. Research and Development

مختلف به رشد اقتصادی و تولید کمک نماید. به طور مثال، تحقیق و توسعه اجازه می دهد تا کالاهای سرمایه ای جدید معرفی شود که از این طریق ممکن است بر تولید اثر گذارد و یا باعث ایجاد اثرات جانبی در موجودی علم و دانش شده و از این راه، بر رشد اقتصادی اثر دارند. بنابراین، در این مطالعه، به متغیر تحقیق و توسعه به عنوان یکی دیگر از نهاده های تولید در کنار سایر عوامل، توجه می‌شود.[۱]

همان طور که اشاره گردید برای برآورد تابع تولید مناسب برای یک اقتصاد، لازم است که علاوه بر توجه به نقش کلیدی نهاده های تولید، به انتخاب شکل درست تابعی[۲] نیز توجه گردد. بنابراین، هدف اصلی این تحقیق، انتخاب تابع تولید مناسب برای ایران می باشد. در این راستا، به نقش بارز انرژی به عنوان یک عامل تولیدی کلیدی در کنار سایر نهاده ها مانند نیروی کار، سرمایه فیزیکی و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه توجه می شود. در این مطالعه، انواع توابع تولید مانند تابع تولید کاب- داگلاس، ترنسندنتال، ترانسلوگ، CES[۳]، GPF[۴]، و تعمیم یافته خطی برای ایران با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک پیوسته، برآورد شده و و تابع تولید مناسب برای کشور پیشنهاد می‌گردد.

توجه به این نکته مهم است که در توابع تولید مورد استفاده در این مطالعه، احتیاج به تخمین تعداد پارامترهای زیاد می باشد. مشکل این است که در روش های اقتصاد سنجی مرسوم برای برآورد این تعداد پارامتر، به حجم داده بسیار زیادی نیاز می باشد. بنابراین، اگر داده ها محدود باشد، درجه آزادی زیادی از دست خواهد رفت و نمی توان به کمک روش های اقتصاد سنجی با دقت بالا این تعداد پارامتر را برآورد کرد. لذا باید از روش های دیگری برای برآورد پارامتر های الگو استفاده کرد. بنابراین، یکی دیگر از تفاوت های این مطالعه نسبت به سایر مطالعات در تخمین توابع تولید استفاده از روش الگوریتم ژنتیک پیوسته شبیه سازی شده است که مشکل محدودیت داده ها را کاهش می دهد. روش مورد استفاده به ما این امکان را می دهد که انواع توابع خطی و غیرخطی را از طریق مقدار مطلق انحراف (LAD) برآورد نماییم که به لحاظ نظری از روش حداقل مربعات خطا (RSS) کاراتر بوده، اما به دلیل محدودیت هایی که روش های مرسوم اعمال می کنند، کمتر مورد توجه

---

۱. بر اساس یک تعریف، تحقیق و توسعه منجر به خلق دانشی می شود که در تولیدات و فرایندها به کار گرفته می شود (Levy, 2002). این تعریف در بر گیرنده پروسه ای است که می تواند منجر به تولید کالاهای نهایی جدید، کشف یا استفاده از نهاده های تولید جدید و تغییر در فرایندها و فناوری ها گردد. بنابراین، فناوری جدید یا گسترش فناوری قدیم، خود محصول (R&D) است. به طور کلی، گاهی تحقیق و توسعه را به مجموعه فعالیت های بدیع، خلاق، نوآور، نظام یافته و برنامه‌ریزی شده ای اطلاق کرده اند که برای بهبود زندگی انسان صورت می‌گیرد. برای جزئیات بیشتر می‌توان به امینی و حجازی آزاد (۱۳۸۷) مراجعه نمود.

2. Functional form
3. Constant Elasticity of Substitution
4. Generalized Production Function

می باشد و بر اساس دانسته های ما، تا کنون در ایران مورد استفاده قرار نگرفته است.

به طور خلاصه در تحقیق حاضر، برای برآورد تابع تولید برای اقتصاد ایران، انواع تابع تولید برآورد و تابع مناسب انتخاب می‌گردد. با استفاده از ضرایب برآورد شده، می توان کشش تولیدی نهاده‌ها، کشش جانشینی نهاده ها، بهره وری عوامل تولید و همچنین بازده نسبت به مقیاس را محاسبه کرد. نتایج حاصل از این تحقیق، می تواند جهت تجزیه و تحلیل تولید برای اقتصاد ایران و همچنین برای طراحی مدل های رشد به کار گرفته شود.

این مقاله در شش قسمت تنظیم شده که قسمت دوم پس از مقدمه، به پیشینه پژوهش اختصاص دارد که در آن، تحقیقات انجام شده در زمینه برآورد تابع تولید ارائه گردیده است. در قسمت سوم، انواع توابع تولید مورد بررسی قرار گرفته، روش الگوریتم ژنتیک در قسمت چهارم توضیح داده شده و برآورد توابع تولید و تحلیل نتایج، در قسمت پنجم ارائه گردیده است. قسمت نهایی دربرگیرنده جمع بندی و نتیجه‌گیری می‌باشد.

۲. پیشینه پژوهش

در ادبیات موضوع، انواع توابع خطی و غیرخطی تولید با روش‌های مختلف برآورد گردیده است. برای نمونه، برخی از این موارد در اینجا ارائه می‌گردد. کمنتا (Kmenta, 1967) در مطالعه‌ای نظری به منظور برآورد تابع تولید با کشش جانشینی ثابت CES از بسط تیلور استفاده کرده و به خطی سازی تابع تولید CES تک سطحی[1] پرداخته و لی (Li, 2000) در مطالعه‌ای نظری، روش خطی سازی کمنتا را برای تابع تولید CES دو سطحی[2] بسط داده که این تابع تولید را به دو تابع تولید CES تک سطحی تقسیم کرده و فرمولی برای برآورد مرحله ای این تابع تولید با توجه به روش کمنتا ارائه داده است.

لیندنبرگر (Lindenberger, 2003) برای دو دوره مختلف، تابع تولید کشور آلمان با نهاده های نیروی کار، سرمایه و انرژی را برآورد کرده، و به کمک دو روش بهینه سازی دیفرانسیل تکاملی (DE) و (RPS) برای هر دو حالت، کمترین مجذورات خطا (LS) و کمترین مقدار مطلق خطا (LAD)، پارامترهای تابع تولید برآورد شده، که نتایج برآورد در این دو روش به یکدیگر نزدیک است.

میشرا (Mishra, 2006)، تابع تولید دو مرحله‌ای CES را با در نظر گرفتن نهاده‌های نیروی کار، سرمایه و انرژی مورد کشور آلمان به پنج روش JPM، HJQN، RQN، DE و RPS برای هر دو تابع هدف LS و LAD برآورد کرده است. وی نشان داده است که این روش‌ها به خوبی پارامترها را برآورد می کنند.

1. Single Level CES Production Function
2. Two-Level CES Production Function

در این مطالعه، این روش ها با یکدیگر مقایسه نشده است.

مارکاندیا و پدروسو گالیناتو (Markandya and Pedroso-Galinato, 2007) به روش های برآورد غیر خطی[1]، توابع تولید را برای کشورهای منتخب برآورد کرده اند. این روش، از یک فرایند تکراری[2] برای پیدا کردن مقادیر پارامترها برای حداقل کردن مجموع مربعات خطا[3] (SSR) تبعیت می کند. این روش با تقریبی حدسی از مقادیر پارامترها و محاسبه مقادیر باقیمانده به حداقل سازی SSR می پردازد. بعد از اینکه همگرایی به وجود آمد، یک سری از مقادیر اولیه برای پارامترها به وجود می آورد. در مرحله بعد، یکی از پارامترها را به صورت مستقیم تغییر داده و دوباره به محاسبه مقادیر باقیمانده می پردازد و بررسی می کند که SSR به وجود آمده در این مرحله، بیشتر یا کمتر می شود. این فرایند ادامه پیدا می کند تا همگرایی به وجود آید. وقتی فرایند تکرار پایان می یابد که با تغییر هر پارامتر مقدار SSR افزایش یابد.

سو و همکاران (Su et al, 2008) به منظور بررسی رشد اقتصادی چین بین سال های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰ از تابع تولید CES دو مرحله ای استفاده و پارامترهای این تابع تولید را برآورد کرده اند. از دیگر مطالعاتی که در آنها از تابع تولید چند مرحله ای بهره گیری شده، می توان به بورنیوکس (Burniaux et al., 1991)، آلن و ریچارد (Alan and Richard, 1992)، کیمفرت (Kemfert, 1998)، مارکاندیا (Markandya and Pedroso-Galinato, 2007) و لیو و همکاران (Lv et al., 2009) اشاره کرد. همچنین در مطالعات پریوس (۱۹۸۶)، چانگ (Chang, 1994) نیز توابع تولید CES با نهاده انرژی برآورد و کشش های جانشینی محاسبه شده است.

مقایسه انواع توابع تولید مختلف با یکدیگر در بسیاری از مطالعات مورد بررسی قرار گرفته است. پریا (Pereira, 2003)، مگالیس (Magalhaes, 2003) و مسانجلا (Masanjala, 2004) تابع تولید CES را به سایر توابع تولید به منظور محاسبات ترجیح می دهند. پاپاگئورگیو (Papageorgiou, 2004) و گوزل (Guzel, 2006) تابع تولید کاب- داگلاس را نسبت به تابع تولید CES ترجیح می دهند (خدادادکاشی، ۱۳۹۰).

در ایران نیز تحقیقاتی در این زمینه صورت گرفته است. به طور نمونه علیمرادی (۱۳۸۲) به منظور اندازه‌گیری رشد بهره وری کل عوامل تولید در سطح اقتصاد کشور و تعیین سهم آن در رشد GDP، طی دوره زمانی ۷۹-۱۳۴۵ تابع تولید اقتصاد کشور با در نظر گرفتن توابع تولید کاب - داگلاس (دو و سه متغیره) و همچنین تابع تولید ترانسلوگ و از طریق روش حداقل مربعات معمولی (OLS) تخمین زده شده و رشد بهره وری کل عوامل تولید و همچنین سهم بهره وری کل عوامل

1. Nonlinear Estimation Method
2. Iterative Procedure
3. Sum of Squared Residuals

تولید و نهاده های تولید در رشد اقتصادی محاسبه گردیده است.

وافی نجار (۱۳۸۴) به منظور بررسی ارتباط انرژی با تولید ناخالص داخلی، به برآورد تابع تولید پرداخته است. بدین منظور در ابتدا، به تخمین تابع تولیدکاب- داگلاس با دو نهاده نیروی کار، سرمایه و در مرحله بعد، به تخمین تابع با سه نهاده نیروی کار، سرمایه و انرژی با داده‌های سال‌های ۱۳۸۱-۱۳۴۶ با روش حداقل مربعات معمولی پرداخته شده است. در این برآورد، کشش تولید نسبت به انرژی، ۰/۱۹ به دست آمده است.

در مطالعه دلالی اصفهانی و همکاران (۱۳۸۷) به منظور بررسی تأثیر مخارج حفاظت از حقوق مالکیت بر رشد اقتصادی به تدوین تابع تولید بخش خصوصی و دولتی با در نظر گرفتن حقوق مالکیت پرداخته شده است. با جمع کردن دو تابع تولید، تابع تولید کل اقتصاد، تابعی کاب- داگلاس از انباشت سرمایه، نیروی کار و مخارج حفاظت از حقوق مالکیت به دست آمده است. برای برآورد پارامترهای این تابع تولید، با استفاده از داده های ۱۳۸۲-۱۳۳۸ و تخمین خطی مقید استفاده شده است.

همچنین مشیری و نیک پور (۱۳۸۶)، پژوهان و فقیه نصیری (۱۳۸۷)، محمود زاده (۱۳۸۹)، دلیری و همکاران (۱۳۸۹) و آذربایجانی و همکاران (۱۳۹۰)، تابع تولید کل اقتصاد را با استفاده از داده های پنل و در نظر گرفتن تابع تولید کاب- داگلاس برآورد کرده‌اند.

تا آنجا که بررسی های انجام شده توسط نویسندگان این مقاله نشان می دهد، در مطالعات صورت گرفته در ایران، از روش الگوریتم ژنتیک برای برآورد توابع مختلف تولید و انتخاب تابع تولید مناسب استفاده نشده و همچنین اکثر توابع برآورد شده به صورت خطی برآورد شده است. علاوه بر این، هیچکدام از این مطالعات به دلیل محدودیت‌های روش های مرسوم، به برآورد مقدار مطلق انحراف (LAD) که به لحاظ نظری کاراتر می باشد، نپرداخته اند. چنانکه اشاره گردید، یکی از اهداف این مقاله، پر کردن این خلاء با استفاده از روش هوشمند تکاملی (الگوریتم ژنتیک) است که می تواند برای بهینه‌سازی غیر خطی و خطی به کارگرفته شود.

۳. مبانی نظری و ساختار الگو

با توجه به اینکه در این مقاله، شش نوع مختلف تابع تولید با روش الگوریتم ژنتیک برآورد می گردد، لذا در این قسمت، انواع تابع تولید مورد بررسی قرار گرفته است. سپس توابع تولید مدنظر را با توجه به هدف تحقیق، تعمیم می دهیم. اولین تابع تولید پارامتری نئوکلاسیک، توسط کاب و داگلاس[1] در سال ۱۹۲۸ ارائه گردید، این تابع تولید در رابطه (۱) ارائه شده است. از آن زمان تاکنون، مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده که منجر به ایجاد اشکال گوناگون توابع تولید گردیده است که برخی

1. Charles. w. Cobb & Paul. H. Douglas

از آنها عبارتند از: تابع تولید با کشش جانشینی ثابت (CES)، تابع تولید متعالی[۱]، تابع تولید دبرتین[۲]، تابع تولید زلنر- ریواکر[۳]، تابع تولید ترانسلوگ[۴]، تابع تولید لئونتیف[۵].

پس از توسعه تابع تولید کاب- داگلاس، دو نوع تابع تولید تعمیم یافته از تابع کاب-داگلاس[۶] در مقالات مختلف ارائه گردیده است. یکی از این توابع تولید به صورت رابطه (۲) تعریف شده بود. و دیگری که توسط هالتر (Halter, 1957) ارائه گردیده، تابع تولید متعالی[۷] می باشد، که به صورت رابطه (۳) مطرح گردیده است (Mishra, 2001).

$$Y = AK^{\alpha}L^{\beta} \quad (۱)$$

$$Y = Ae^{\frac{K}{L}}K^{\beta}L^{1-\beta} \quad (۲)$$

$$Y = Ae^{aK+bL}K^{\alpha}L^{\beta} \quad (۳)$$

در هر یک از روابط ۱ تا ۳، L، K و Y به ترتیب نیروی کار، حجم سرمایه و محصول می‌باشد. پارامتر A پارامتر انتقال می باشد، که این پارامتر را می‌توان به عنوان تکنولوژی تفسیر کرد.α، β، a و b پارامترهای الگو می باشند که به آنها پارامترهای کشش گویند. در رابطه (۳)، e عدد نپر است. در این مطالعه قبل از برآورد، ابتدا این توابع تولید را تعمیم داده و نهاده های تولید حجم سرمایه (K)، نیروی کار (L)، انرژی (E) و میزان سرمایه گذاری در بخش تحقیق و توسعه (A) را به عنوان عوامل تولید در نظر می گیریم. بنابر این، توابع کاب- داگلاس و کاب- داگلاس تعمیم یافته در این مقاله، به ترتیب عبارت است از:

$$Y = K^{\alpha_1} \times L^{\alpha_2} \times E^{\alpha_3} \times A^{\alpha_4} \quad (۴)$$

$$Y = e^{a_1K+a_2L+a_3E+a_4A} \times K^{\alpha_1} \times L^{\alpha_2} \times E^{\alpha_3} \times A^{\alpha_4} \quad (۵)$$

در تابع تولید کاب- داگلاس، کشش جانشینی سرمایه و نیروی کار ثابت و برابر با یک می باشد. ارو[۸] تابع تولیدی ارائه نمود که کامل تر از تابع کاب- داگلاس بود. در تابع تولید ارائه شده توسط ارو، کشش جانشینی بین عوامل تولید بین صفر تا بینهایت می تواند تغییر کند. اما مقدار کشش جانشینی در طول منحنی هم مقداری ثابت خواهد بود. این تابع، تابع تولید با کشش جانشینی ثابت (CES)[۹] شناخته شده است. این تابع تولید در برگیرنده انواع توابع تولید لئونتیف، کاب- داگلاس و تابع تولید

1. Transcendental
2. Debertin
3. Zellner- Revaker
4. Translog
5. Leontief
6. Generalizations of the Cobb-Douglas production function
7. Transcendental production function
8. Arrow et al.
9. Constant Elasticity Substitution

خطی می باشد. برای نمونه برخی از توابع CES در جدول شماره (۱) آمده است.

در جدول شماره (۱) نمادهای L، K و Y به ترتیب نشان دهنده نیروی کار، حجم سرمایه و محصول می باشد. Ψ پارامتر کشش جانشینی و پارامترهای a، b، A، B سهم هر یک از عوامل تولید در تولید را نشان می دهد. همچنین C پارامتر انتقال است که می تواند به عنوان تکنولوژی تفسیر شود.

جدول ۱. انواع تابع تولید CES در مطالعات مختلف

پیچ فورد[1] (۱۹۶۰)	$\boldsymbol{Y = (aK^{\Psi} + bL^{\Psi})^{\frac{1}{\Psi}}}$
ارو[2] (۱۹۶۱)	$\boldsymbol{Y = C[aK^{\Psi} + (1-a)L^{\Psi}]^{\frac{1}{\Psi}}}$
کلاندرد[3] (۱۹۶۵)	$\boldsymbol{Y = [(BK)^{\Psi} + (AL)^{\Psi}]^{\frac{1}{\Psi}}}$
بارو[4] (۱۹۹۵)	$\boldsymbol{Y = C[a(BK)^{\Psi} + (1-a)[(1-B)L]^{\Psi}]^{\frac{1}{\Psi}}}$
در همه توابع تولید	$\boldsymbol{\Psi = \frac{\sigma-1}{\sigma}}$

دو مشکل در توابع تولید CES وجود دارد. اولین مشکل، ثابت بودن کشش جانشینی بین عوامل تولید بر روی یک منحنی هم مقداری و دومین مشکل، در تعریف کشش جانشینی است، وقتی دو یا بیشتر از دو نهاده در تابع تولید داریم. برای مثال، برای سه نهاده باید سه کشش $(\sigma_{ij}, \sigma_{ik}, \sigma_{jk})$ و برای تعداد ورودی بیشتر، کشش های بیشتری را باید تعریف کنیم؛ که برآورد تابع را با مشکل روبرو می سازد.

اوزاوا (Uzawa, 1962) و مک فادن (McFadden, 1962 & 1963) ثابت کردند، به دست آوردن یک شکل تابعی برای تابع تولیدی که یک مجموعه دلخواه از کشش جانشینی ثابت داشته باشند، اگر عوامل تولید (نهاده های تولید) بیشتر از دو باشد، غیر ممکن است. تابع تولید CES در این مطالعه، به صورت رابطه پیچ فورد در نظر گرفته شده و بنابراین با توجه به اینکه در این مطالعه، از چهار نهاده تولید استفاده می گردد، تابع تولید CES را به صورت زیر بازنویسی می کنیم:

$$Y = (a + b_1 K^{-\rho} + b_2 L^{-\rho} + b_3 E^{-\rho} + b_4 A^{-\rho})^{-\frac{v}{\rho}} \qquad (۶)$$

که در این رابطه، b_i ها نشان دهنده سهم های عوامل تولید و ρ و v به ترتیب، نشان دهنده پارامترهای کشش عوامل تولید و بازده نسبت به مقیاس می باشد. متغیرها و نهاده های تولید، قبلاً در رابطه (۴)

1. Pitchford
2. Arrow et al.
3. David and van de Klundert
4. Barrow and Sala-i-Martin

تعریف شده است.

لیو و هیلدبرند (Liu and Hildebrand, 1965) رابطه شماره (۷) را برای تابع تولیدی با دو متغیر را بیان کردند.

$$Y = A[(1-\delta)K^{\eta} + \delta K^{m\eta} L^{(1-m)\eta}]^{\frac{1}{\eta}} \qquad (۷)$$

که در این رابطه، اگر $m = 0$ باشد، تابع تولید CES را خواهیم داشت. برای این تابع، کشش جانشینی با رابطه زیر مشخص می‌شود؛ که در این رابطه، S_k سهم سرمایه در تولید می‌باشد.

$$\sigma = (1 - \eta + \frac{m\eta}{S_k})^{-1} \qquad (۸)$$

ریوانکر (Revankar, 1967) تابع تولید تعمیم یافته‌ای را ارائه نمود که بازده نسبت به مقیاس و همچنین کشش جانشینی متغیر را همزمان دربرداشت (در تابع تولیدهایی که تا آن زمان ارائه شده بود یا بازده نسبت به مقیاس ثابت بود و یا کشش های جانشینی). بر خلاف تابع تولید هایی که بازده نسبت به مقیاس را در تمام سطوح تولید ثابت فرض می‌کردند، زلنر و ریوالکر روشی را تعمیم دادند که با هر تابع تولید خاص (مانند کاب- داگلاس و یا CES) با کشش جانشینی ثابت و یا متغیر، نتیجه این روش تابع تولیدی را ارائه می‌کند که بازده نسبت به مقیاس با سطح تولید تغییر خواهد کرد(Zellner and Revankar, 1969).

اگر تابع تولیدی که انتخاب می کنیم، کشش جانشینی ثابت داشته باشد، در نهایت، تابع تولیدی خواهیم داشت که کشش جانشینی ثابت و بازده نسبت به مقیاس متغیر خواهیم داشت، اگر تابع تولیدی که انتخاب می‌کنیم، کشش جانشینی متغیر داشته باشد و در نهایت، تابع تولیدی با کشش جانشینی و همچنین بازده نسبت به مقیاس متغیر خواهیم داشت.

تابع تولید تعمیم یافته (GPF)[1] زلنر و ریوالکر در زیر آمده است:

$$Ye^{\theta Y} = c^h f^h \qquad (۹)$$

که در این رابطه، f تابع تولید پایه می باشد (مانند CES یا کاب- داگلاس). c یک عدد ثابت و θ و h پارامترهایی می باشند که با بازده نسبت به مقیاس تابع تولید در ارتباط می باشند. به عنوان مثال، اگر تابع تولید GPF با تابع تولید خاص کاب- داگلاس برای دو متغیر تعمیم داده شود، خواهیم داشت:

$$Ye^{\theta Y} = AK^{h\alpha} L^{h(1-\alpha)} \qquad (۱۰)$$

بازده نسبت به مقیاس این تابع تولید برابر خواهد بود با:

$$\rho(Y) = \frac{h}{1+\theta Y} \qquad (۱۱)$$

1. Generalized Production Function

با توجه به علامت θ، بازده نسبت به مقیاس این تابع با افزایش تولید افزایشی ($\theta < 0$) و یا کاهشی ($\theta > 0$) می باشد. اگر θ برابر با صفر شود، بازده ثابت نسبت به مقیاس خواهیم داشت.

بر اساس تحقیقات تجربی، بازده نسبت به مقیاس در ابتدا با افزایش تولید افزایش می یابد و در بازه‌ای، ثابت خواهد ماند و سپس با افزایش تولید، شروع به کاهش خواهد کرد. اما این حقیقت در تابع تولید GPF دیده نمی شود؛ زیرا در این تابع تولید θ مقدار ثابتی است. بنابراین، این تابع تولید، بازده همواره افزایشی و یا همواره کاهشی خواهد داشت که این با نتایج تجربی سازگار نیست.

در این مطالعه، تابع تولید پایه در تابع تولید GPF تابع کاب- داگلاس در نظر گرفته شده است. بنابراین، به دنبال برآورد پارامترهای تابع تولید زیر می باشیم (تمام پارامترها و متغیرها در روابط قبل تعریف شده است):

$$Ye^{\theta Y} = \beta[K^{\alpha_1} \times L^{\alpha_2} \times E^{\alpha_3} \times A^{\alpha_4}]^h \qquad (۱۲)$$

در این تابع تولید، در دو طرف تساوی پارامتر داریم. به منظور برآورد این تابع تولید از روش برآورد دو طرفه استفاده شده، یعنی پارامترهای دو طرف تساوی، به صورت همزمان برآورد شده است.

ریوانکر (Revankar, 1971) برای رفع اشکال تابع CES (ثابت بودن کشش های جانشینی ثابت) و نزدیکتر شدن تابع تولید به نتایج تجربی، تابع تولیدی با کشش جانشینی متغیر (VES)[1] را ارائه نمود، که این تابع تولید در زیر ارائه شده است.

$$Y = AK^{\rho(1-\delta\mu)}[L + (\mu - 1)K]^{\rho\delta\mu} \quad A, \rho > 0; 0 < \delta < 1; 0 < \delta\mu < 1; \frac{L}{K} > \frac{(1-\mu)}{(1-\delta\mu)} \qquad (۱۳)$$

کشش جانشینی این تابع با رابطه (۱۴) قابل محاسبه است[2]:

$$\sigma(K,L) = 1 + \left[\frac{(\mu-1)}{(1-\delta\mu)}\right]\frac{K}{L} = 1 + \beta\frac{K}{L} \qquad (۱۴)$$

ذکر این نکته ضروری است که تابع تولید VES، تابع تولید لئونتیف را در بر ندارد[3] (این در حالی است که تابع تولید لئونتیف حالت خاص تابع تولید CES است). اما تابع تولید خطی و کاب- داگلاس، حالات خاص از این تابع تولید می باشد. نقطه قوت این تابع تولید متغیر و با تجربه سازگار بودن کشش جانشینی است.

از طرف دیگر، برون و کنی (Brown and Cani, 1963) به تعمیم تابع تولید CES پرداختند تا تابع تولیدی با کشش جانشینی غیر ثابت داشته باشیم. از طرف دیگر، نرلاو (Nerlove, 1963) به تعمیم تابع تولید کاب- داگلاس پرداخت، تا تابع تولیدی با بازده متغیر نسبت به مقیاس داشته باشیم. تابع تولیدی که آنها به دست آوردند، در رابطه (۱۵) آمده است.

---

1. Variable Elasticity of Substitution

۲. کشش های جانشینی توسط نویسندگان محاسبه شده است.

۳. این از محدودیت های این تابع تولید می باشد.

$$Y^{1+cInY} = AK^{\alpha}L^{\beta} \quad c \geq 0 \qquad (۱۵)$$

که در این ربطه، اگر $c = 0$ باشد، تابع تولید کاب- داگلاس را خواهیم داشت.

کازو ساتو (Kazuo Sato, 1967) مدل CES را برای بیشتر از دو نهاده تعمیم داد. بر اساس مدل ساتو ما اجازه داریم که تابع تولید را تابعی از بیش از دو نهاده بگیریم یعنی $Y = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ که Y تولید و x_i نهاده تولید می باشد. هم اکنون x_1 و x_2 را به روش CES ترکیب می کنیم و Z_1 را به وجود می آوریم (رابطه ۱۶). در مرحله بعد، x_3 و x_4 را ترکیب می کنیم و Z_2 را به دست می آوریم (رابطه ۱۷). حال Z_1 و Z_2 را به شکل CESترکیب کرده و تابع تولید جدیدی را به دست می آوریم.

$$Z_1 = [(B_1 x_1)^{\frac{\sigma_{12}-1}{\sigma_{12}}} + (A_1 x_2)^{\frac{\sigma_{12}-1}{\sigma_{12}}}]^{\frac{\sigma_{12}}{\sigma_{12}-1}} \qquad (۱۶)$$

$$Z_2 = [(B_2 x_3)^{\frac{\sigma_{34}-1}{\sigma_{34}}} + (A_2 x_4)^{\frac{\sigma_{34}-1}{\sigma_{34}}}]^{\frac{\sigma_{34}}{\sigma_{34}-1}} \qquad (۱۷)$$

$$Y = [(B_3 Z_1)^{\frac{s_{12}-1}{s_{12}}} + (A_3 Z_2)^{\frac{s_{12}-1}{s_{12}}}]^{\frac{s_{12}}{s_{12}-1}} \qquad (۱۸)$$

در این روش، کشش جانشینی بین x_1 و x_2 برابر با σ_{12} و کشش جانشینی بین x_3 و x_4 برابر با σ_{34} و مقدار ثابتی می باشد. همچنین در مرحله دوم، کشش جانشینی بین Z_1 و Z_2 ثابت و برابر با s_{12} می باشد. به منظور بر طرف نمودن مشکل بیش از دو نهاده در تابع تولید، توابع تولید بسیاری ارائه شده است.

تابع تولید خطی تعمیم یافته (GLPF)[1] که توسط دیورت (Diewert, 1971) توسعه داده شد، سه دستاورد مهم داشت:

۱. تابع تولید GLPF به شکل تابعی، می تواند تعداد بسیاری نهاده تولید را داشته باشد.

۲. شکل تابعی آن، به گونه ای است که اجازه کشش های جانشینی متغیر را به ما می دهد.

۳. می توان بازده نسبت به مقیاس های مختلف را برای این تابع تولید آزمایش کرد.

شکل کلی تابع تولید خطی تعمیم یافتهt در رابطه (۱۹) آمده است (Diewert, 1971):

$$Y = h\left(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_i^{1/2} x_j^{1/2}\right) \; ; \; a_{ij} = a_{ji} \geq 0 \qquad (۱۹)$$

h تابعی پیوسته[2]، اکیداً صعودی[3] می باشد که به بینهایت میل می کند و همچنین $h(0) = 0$ می باشد. با اضافه کردن محدودیتی که جمع ضرایب برابر با یک شود ($\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} a_{ij} = 1$)، این تابع، تابع هم مقداری محدب به ما می دهد و تابع هزینه خوش رفتاری[4] را برای ما ایجاد خواهد کرد.

1. Generalized Linear Production Function
2. Continuous
3. Monotonically Increasing
4. Well-behaved

در این تحقیق با پیروی از مطالعه دیورت، به برآورد تابع تولید با استفاده از ۴ نهاده تولید می پردازیم؛ بنابراین:

$$X' = [K \quad L \quad E \quad A] \qquad (۲۰)$$

در این مطالعه برای سادگی، تابع $h(x) = x$ را در نظر می گیریم. با جایگذاری نهاده های تولید در رابطه ۱۹ و ساده سازی، رابطه ۲۱ را خواهیم داشت.

$$Y = a_{11}K + a_{22}L + a_{33}E + a_{44}A + 2a_{12}K^{\frac{1}{2}}L^{\frac{1}{2}} + 2a_{13}K^{\frac{1}{2}}E^{\frac{1}{2}} + 2a_{14}K^{\frac{1}{2}}A^{\frac{1}{2}} + 2a_{23}L^{\frac{1}{2}}E^{\frac{1}{2}} + 2\mathrm{a}_{24}\mathrm{L}^{\frac{1}{2}}\mathrm{A}^{\frac{1}{2}} + 2\mathrm{a}_{34}\mathrm{E}^{\frac{1}{2}}\mathrm{A}^{\frac{1}{2}} \qquad (۲۱)$$

گریلچ و همکار (Griliches and Ringstad, 1971)، برند (Berndt and Christensen, 1973) و کریستنسن (Christensen et al., 1973) تابع تولید ترانسلوگ (TPF)[1] را معرفی نمودند. این تابع تولید اجازه می دهد که بیش از دو نهاده در تابع تولید داشته باشیم. همچنین مانند تابع تولید VES کشش های جانشینی متغیر می باشد. برای n نهاده تولید (x_i) تابع تولید ترانسلوگ به صورت زیر نوشته می شود (Mishra, 2011):

$$Ln(Y) = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i Ln(x_i) + \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n} b_{ij} Ln(x_i)Ln(x_j)\ ;\ b_{ij} = b_{ji} \qquad (۲۲)$$

با بسط الگو و با توجه به داشتن ۴ نهاده تولید در این مطالعه، رابطه (۲۳) را خواهیم داشت.

$$Ln(Y) = a_0 + a_1 Ln(K) + a_2 Ln(L) + a_3 Ln(E) + a_4 Ln(A) + \frac{1}{2}b_{11}(Ln(K))^2 + \frac{1}{2}b_{22}(Ln(L))^2 + \frac{1}{2}b_{33}(Ln(E))^2 + \frac{1}{2}b_{44}(Ln(A))^2 + b_{12}Ln(K)Ln(L) + b_{13}Ln(K)Ln(E) + b_{14}Ln(K)Ln(A) + b_{23}Ln(L)Ln(E) + b_{24}Ln(L)Ln(A) + b_{34}Ln(E)Ln(A) \qquad (۲۳)$$

در ادامه به برآورد توابع تولید CD (رابطه ۴)، ترنسندنتال (رابطه ۵)، CES (رابطه ۶)، GPF (رابطه ۱۲)، GLPF (رابطه ۲۱) و ترانس لوگ (رابطه ۲۳) که همگی غیر خطی می باشند به کمک روش الگوریتم ژنتیک پیوسته می‌پردازیم. قبل از برآورد توابع تولید در قسمت بعد روش الگوریتم ژنتیک توضیح داده می‌شود.

۴. روش شناسی تحقیق

به منظور برآورد تابع تولید غیر خطی، باید از روش های عددی[2]، پارامترهای الگو را به گونه ای تعیین کنیم که تابع ضرر[3] را حداقل سازد. روش های مختلف غیر خطی برای برآورد پارامترهای الگو، عبارت

1. Translog Production Functions
2. Numerical Methods
3. Loss Function

است از حرکت الگوی هوک- جیوز[۱]، هوک جیوز شبه نیوتنی[۲]، روزنبراک شبه نیوتنی[۳]، تکامل دیفرانسیلی[۴]، RPS[۵] نام برد. در بین این روش ها دو روش آخر به دلیل ماهیت تصادفی در بین روش‌های بهینه سازی، طرفداران بیشتری دارد (Mishra, 2006).

نکته دیگری که در اینجا باید مطرح شود، نوع تابع هدف برای برآورد پارامترهای الگو می باشد. به جای حداقل کردن تابع ضرر (مجموع مجذور خطا در دوره های مختلف)، می توان مجموع مقدار مطلق انحراف انتظاری[۶] از مقدار واقعی[۷] آن را حداقل کرد. در اکثر اوقات به این نوع حداقل کردن، کمترین مقدار مطلق انحراف[۸] (LAD) گویند. تعداد زیادی از مطالعات صورت گرفته، نشان داده‌اند که پارامترهای برآورد شده با توجه به این تابع هدف، کاراتر و بهتر از حالتی می‌باشند که تابع هدف مجذور مربعات خطا است (Dasgupta and Mishra, 2004).

دو الگوریتم مشهور به منظور حداقل کردن مقدار مطلق انحراف وجود دارد. اولین روش برنامه ریزی خطی می باشد که توسط چارنس (Charnes et al., 1955) و تیلور (Taylor, 1974) توسعه داده شده است. دومین روش الگوریتم فیر- کلوس مچر[۹] می باشد. هر دو روش، فرض مدل خطی[۱۰] را برای برآورد پارامترها اعمال می‌کنند. با توجه به اینکه توابع تولیدی در این مطالعه برآورد غیر خطی می باشد، بنابراین به کمک این روش‌ها قابل برآورد نمی‌باشند.

همانگونه که اشاره گردید در این مطالعه، از روش الگوریتم ژنتیک برای حداقل سازی مقدار انحرافات خطا (LAD) و برآورد پارامترهای توابع تولید مورد نظر این مطالعه استفاده شده است. در ادامه، مروری اجمالی بر این روش ارائه می گردد.

۱-۴. روش های بهینه سازی تکاملی

در کنار روش های بهینه سازی مبتنی بر گرادیان، روش های بهینه سازی دیگری نیز معرفی شده که به حل مسائل مختلف در این حوزه کمک می کنند. این روش ها در بسیاری از دسته بندی‌ها تحت عنوان روش های بهینه سازی هوشمند، روش های بهینه سازی و محاسبات تکاملی و یا جستجوی

1. Hooke-Jeeves Pattern Moves (JPM)
2. Hooke-Jeeves-Quasi-Newton (HJQN)
3. Rosenbrock-Quasi-Newton (RQN)
4. Differential Evolution (DE)
5. Repulsive Particle Swarm (RPS)
6. Expected Sum of Absolute Deviations ($\sum_{t=1}^{n}|Y_t - \widehat{Y_t}|$)
7. Observed
8. Least Absolute Deviation
9. Fair-Schlossmacher
10. linear Model

هوشمند شناخته می شوند. این روشها این مزیت را دارند که بدون نیاز به مشتق تابع هدف، به یافتن نقطه بهینه آن می پردازند. همچنین در مقایسه با روش های مبتنی بر گرادیان، کمتر مشکل افتادن در دام کمینه محلی را دارند. در مقابل، اگر هدف رسیدن به یک جواب بهینه محلی باشد، این روش ها بسته به کاربرد ممکن است سرعت کمتری در مقایسه با روشهای مبتنی بر گرادیان داشته باشند. از میان این روش ها می توان به الگوریتم های ژنتیک، الگوریتم اجتماع ذرات، الگوریتم کلونی (مورچه ها)، جستجوی تابو، تبرید شبیه سازی شده، تکامل تفاضلی، الگوریتم کلونی زنبورها و الگوریتم رقابت استعماری اشاره نمود. در این مطالعه، از الگوریتم ژنتیک به منظور برآورد توابع تولید استفاده شده است.

۲-۴. الگوریتم ژنتیک[1]

الگوریتم ژنتیک، تکنیک جستجویی برای یافتن راه‌حل تقریبی برای بهینه‌سازی و مسائل جستجو است. این الگوریتم، نوع خاصی از الگوریتم های تکامل است که از تکنیک های زیست‌شناسی مانند وراثت و جهش استفاده می‌کند. این الگوریتم برای اولین بار توسط جان هلند معرفی شد.

در واقع الگوریتم‌های ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کنند. این الگوریتم‌ها اغلب گزینه خوبی برای تکنیک‌های پیش‌بینی بر مبنای رگرسیون هستند. مختصراً گفته می‌شود که الگوریتم ژنتیک (GA) یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مساله استفاده می‌کند. مطمئناً الگوریتم ژنتیک بهترین روش برای حل تمامی مسائل نیست. به عنوان مثال، روش‌های سنتی می‌توانند به سرعت راه حل یک تابع تحلیلی محدب خوش رفتار با تعداد معدودی متغیر را پیدا کنند. در چنین مواقعی روش های مبتنی بر حساب، بهتر و خیلی سریع تر از الگوریتم ژنتیک عمل می کند. از مزایای الگوریتم ژنتیک می توان به توانایی انجام بهینه سازی با متغیرهای گسسته و پیوسته، عدم نیاز به مشتق‌گیری، توانایی کار کردن با متغیرهای زیاد، تشخیص کمینه های بهینه و توانایی کار با داده‌های عددی، تجربی و توابع تحلیلی اشاره کرد (Haupt, 1996).

الگوریتم ژنتیک به دو دسته الگوریتم ژنتیک دودویی و پیوسته تقسیم می شود. در این مطالعه به دلیل پیوسته بودن پارامترهاt از الگوریتم ژنتیک پیوسته استفاده شده است. مراحل انجام یک الگوریتم ژنتیک پیوسته مانند همه الگوریتم های بهینه سازی از تعریف متغیرها و تابع هدف شروع می شود و با بررسی همگرایی به پایان می رسد.

---

1. Genetic Algorithm - GA

۴-۳. اجزای سازنده الگوریتم ژنتیک پیوسته

در این قسمت، اجزای سازنده الگوریتم ژنتیک پیوسته به منظور برآورد شش تابع تولید ذکر شده در قسمت قبل مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۳-۱. متغیرها و توابع هدف و داده های آماری موجود به منظور بهینه سازی

به منظور برآورد پارامترهای الگو در حل مساله بهینه سازی، هدف ما حداقل سازی مجموع مقدار مطلق انحرافات می باشد (رابطه ۲۴). که در این رابطه $\widehat{Y_t}$ و Y_t به ترتیب مقدار برآورد شده توسط الگو و مقدار واقعی است.

$$LAD = \sum_{t=1357}^{1382} \left| Y_t - \widehat{Y_t} \right| \qquad (۲۴)$$

در این تابع هدف، مقادیر مختلف LAD به ازای مقادیر مختلف پارامترها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. الگوریتم به صورت چرخه ای ادامه پیدا می کند تا مقدار حداقل مطلق انحرافات محاسبه شود.

به منظور آغاز فرایند تنظیم متغیرها توسط الگوریتم ژنتیک، یک کروموزوم را به صورت آرایه ای از مقادیر متغیرها (در اینجا پارامترهای تابع تولید می باشد) که تابع هدف بهینه بر اساس این متغیرها باید بهینه شود، تعریف می کنیم. بنابراین کروموزوم های مساله مورد بررسی این مطالعه برای توابع CD (شامل ۴ژن وراثتی)، ترنسندنتال (شامل ۸ ژن وراثتی)، CES (شامل ۷ ژن وراثتی)، GPF (شامل ۷ ژن وراثتی)، GLPF (شامل ۱۰ ژن وراثتی) و ترانسلوگ (شامل ۱۵ ژن وراثتی) در روابط ۲۵ تا ۳۱ آمده است.

$$(\text{Chromosome})_{CD} = [\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4] \qquad (۲۵)$$

$$(\text{Chromosome})_{TRANS} = [a_1, a_2, a_3, a_4, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4] \qquad (۲۶)$$

$$(\text{Chromosome})_{CES} = [\text{a}, \text{b}_1, \text{b}_2, \text{b}_3, \text{b}_4, \text{v}, \rho] \qquad (۲۷)$$

$$(\text{Chromosome})_{GPF} = [\theta, \beta, h, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4] \qquad (۲۸)$$

$$(\text{Chromosome})_{GLPF} = [\text{a}_{11}, \text{a}_{22}, \text{a}_{33}, \text{a}_{44}, \text{a}_{12}, \text{a}_{13}, \text{a}_{14}, \text{a}_{23}, \text{a}_{24}, \text{a}_{34}] \qquad (۲۹)$$

$$(\text{Chromosome})_{GLPF} = [\text{a}_0, \text{a}_1, \text{a}_2, \text{a}_3, \text{a}_4, \text{b}_{11}, \text{b}_{22}, \text{b}_{33}, \text{b}_{44}, \text{b}_{12}, \text{b}_{13}, \text{b}_{14}, \text{b}_{23}, \text{b}_{24}, \text{b}_{34}] \qquad (۳۰)$$

$$(\text{Chromosome})_{MPF} = [\alpha, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4] \qquad (۳۱)$$

ضریب تشخیص (R^2) که میزان برازش را نشان می دهد، توسط رابطه ۳۲ قابل محاسبه است.

$$R^2 = 1 - \frac{RSS}{TSS} = 1 - \sum_{i=1357}^{1382} \frac{(Y_i - \hat{Y}_i)^2}{(Y_i - \bar{Y})^2} \qquad (۳۲)$$

که در این رابطه، $RSS = \sum_{i=1357}^{1382} (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ مجموع مربعات خطا و $TSS = \sum_{i=1357}^{1382} (Y_i - \bar{Y})^2$ مجموع انحرافات از میانگین و $\bar{Y}$ میانگین متغیر وابسته در طول دوره مورد بررسی طی سال های ۱۳۵۷ الی ۱۳۸۲ می باشد.

۲-۳-۴. تعیین رمزگذاری و محدوده متغیرها

در الگوریتم ژنتیک گسسته دودویی، ابتدا باید مقادیر متغیرها به بیت های دو دویی تبدیل شود و سپس مراحل الگوریتم ژنتیک انجام شود و پس از انجام مراحل مورد نظر به منظور بررسی تابع هدف به مقدار ده دهی تبدیل شود. در الگوریتم ژنتیک پیوسته، دیگر لزومی به این کار و کدگذاری متغیر مورد نظر نیست؛ بلکه با مقدار اصلی متغیر مورد نظر، کار می کنیم. از آنجا که الگوریتم ژنتیک، یک روش جستجو است، باید آن را به کاوش در ناحیه معقولی از فضای متغیر محدود کرد. هر چه فضای بررسی متغیرها محدودتر باشد، جواب دقیق تری را خواهیم داشت و از آنجا که در مورد ناحیه جستجوی اولیه پارامترها چیزی نمی دانیم، باید نسل اولیه را به اندازه کافی متنوع در نظر بگیریم تا الگو قبل از متمرکز شدن بر روی امیدبخش ترین نواحی به کاوش در یک فضای متغیر با اندازه معقول بپردازد. بنابراین استفاده از الگوریتم ژنتیک پیوسته نسبت به گسسته برتری دارد.

۳-۳-۴. ایجاد جمعیت اولیه

برای شروع کار با الگوریتم ژنتیک، یک جمعیت اولیه با m تایی تعریف می کنیم. در این مطالعه به دلیل تعداد زیاد پارامترهایی که باید برآورد شوند، و به منظور بررسی کل رویه توسط الگوریتم جمعیت اولیه را ۱۰ هزار کروموزوم (که جمعیت بسیار بزرگی است) در نظر می گیریم. ابتدا همه متغیرها استاندارد سازی می شوند تا مقداری بین صفر و یک داشته باشند و یک ماتریس تصادفی از توزیع نرمال با میانگین صفر و واریانس یک به وجود می آوریم. تابع هدف با مقادیر واقعی متغیرها کار می‌کند. به دلیل اینکه کروموزوم ها همگی با ارزش یکسان تولید نمی شوند، اجتماع کروموزوم ها دموکراتیک نمی باشد، ارزش هر فرد (هر کروموزوم) توسط تابع هدف مشخص، و بنابراین در این مرحله از کار، کروموزوم ها جهت ارزشگذاری به تابع هدف فرستاده می شوند.

۴-۳-۴. انتخاب طبیعی[1]

در این مرحله، کروموزوم های جمعیت اولیه که به اندازه کافی برای زنده ماندن مناسب هستند، انتخاب می‌شوند. این کروموزوم ها فرزندان نسل های آینده را به وجود می آورند. کروموزوم های اولیه که ضعیف هستند، نابود، و فرزندان به وجود آمده جایگزین این کروموزوم های ضعیف می شوند. در ابتدا تابع هدف را از کم به زیاد مرتب می کنیم. کروموزومی که بالاترین عضو ماتریس تابع هدف را به وجود آورده، بهترین کروموزوم می باشد. کروموزوم های مربوط به هر مقدار از تابع هدف را نیز از کمترین به بیشترین تابع هدف مرتب می کنیم. پس از این، کروموزوم های آخر لیست می مانند که

1. Natural Selection

ضعیف هستند و باید از بین بروند. این فرایند در هر تکرار از الگوریتم می باید رخ دهد تا مناسب ترین اعضا از جمعیت کروموزوم ها که توسط تابع هزینه مشخص می شوند، در نسل های بعدی تکامل یابند. بنابراین تنها s (نرخ تغییر نسل) درصد از کروموزوم بالایی که مناسب تر هستند، انتخاب می شوند. در این مطالعه، s برابر با ۰/۵ در نظر گرفته شده است[۱]. یعنی در هر مرحله، ۵۰ درصد از جمعیت پایینی کروموزوم ها حذف و ۵۰ درصد بالایی انتخاب می شوند.

۵. ۳. ۴. ادغام[۲]

تعداد کروموزوم هایی که برای ادغام مناسب ترند، از ضرب نرخ تغییر نسل در جمعیت اولیه به دست می آید و بنابراین:

$$S = s \times m$$

به این ترتیب، در این مطالعه $S = ۵۰۰۰$ کروموزومی که از بقیه مناسب ترند، استخر تولید مثل را به وجود می آورند. در استخر تولید مثل، دو جفت والد با یک روش تصادفی با هم زوج می شوند. بنابراین ۲۵۰۰ زوج برای ادغام داریم. هر یک از زوج ها، دو فرزند به وجود می آورند که دارای خصوصیاتی از هر دو والد هستند. والدین هم زنده می مانند تا بخشی از نسل بعدی را تشکیل دهند. برای ادغام از روش وزن دهی بر اساس ارزش استفاده شده است (Haupt, 1996).

۶. ۳. ۴. تولید مثل[۳]

در این مرحله، دو والد انتخاب شده با هم ترکیب و فرزندان را به وجود می آورند، روش های گوناگونی برای تولید مثل وجود دارد. در این مطالعه، از روش ترکیب مکاشفه ای (مایکلویژ) برای تولید مثل استفاده شده است. ویژگی این روش، آن است که می توان هر تعداد متغیر را برای اصلاح انتخاب کرده و به صورت تصادفی با هم ترکیب کرد. همچنین بر خلاف روش مخلوط کننده[۴]، این روش قادر به تولید فرزندانی با مقادیری خارج از محدوده مقادیر مابین متغیرهای دو والد است. ممکن است از مقادیر تولید شده خارج از بازه، مورد بررسی قرار گیرد که در این صورت، فرزند تولید شده دور انداخته می شود و فرزند جدید تولید شده و جایگزین آن خواهد شد (Michalewicz, 1994).

---

۱. نرخ تغییر نسل می تواند مقادیر مختلف دیگری بین صفر و یک داشته باشد. در تعدادی از مطالعات، به پیدا کردن مقدار بهینه نرخ تغییر نسل پرداخته شده است. در این مطالعه، با توجه به تصحیح و خطا، نرخ های تغییر نسل متفاوتی آزمایش شد و در نتیجه نهایی تغییری حاصل نشد، تنها سرعت همگرایی رسیدن به جواب تغییر کرد.

2. Cross Over or Mating
3. Reproduction
4. Blending

۷. ۳. ۴. جهش[1]

اگر مراقب نباشیم، ممکن است الگوریتم ژنتیک به سرعت به سوی ناحیه ای از رویه تابع هدف همگرا شود. اگر این ناحیه نزدیک بهینه سراسری باشد، همگرایی به سود الگوریتم است. اما برای توابعی که نقاط بهینه محلی زیادی دارند، ممکن است الگوریتم با کمینه محلی همگرا شود. در این توابع اگر هیچ کاری نکنیم و الگوریتم را به حال خود رها کنیم، به سوی کمینه محلی همگرا خواهد شد و به جای کمینه سراسری، یک کمینه محلی را گزارش خواهد داد. برای اجتناب از این مشکل، با ایجاد تغییرات تصادفی (جهش) در متغیرها، الگوریتم را وادار می کنیم تا مناطق دیگر رویه تابع هدف را مورد بررسی قرار دهد. نرخ جهش برابر ۰/۲ در نظر گرفته می شود[2] تا به قسمت دیگر رویه حرکت کنیم (یعنی از ۱۰ هزار کروموزوم موجود ۲ هزار کروموزوم را جهش می دهیم).

۸. ۳. ۴. نسل های بعدی

به همین ترتیب، الگوریتم ژنتیک تکرار می شود تا در هر مرحله، پارامترهای تابع تولید را که مقدار RSS مینیمم را به ما می دهند، پیدا کنند.

۵. برآورد توابع تولید و تحلیل نتایج

در این قسمت، شش تابع انتخاب شده در قسمت مبانی نظری به کمک روش الگوریتم ژنتیک پیوسته با استفاده از برنامه نویسی در نرم افزار متلب[3]برآورد شده است. به منظور برآورد توابع تولید، محصول به عنوان متغیر وابسته می باشد. سری زمانی تولید ناخالص داخلی به قیمت های ثابت ۱۳۷۶ بر حسب میلیارد ریال طی سال های ۱۳۸۹-۱۳۵۷ (بانک مرکزی، داده های سری های زمانی و نماگرهای اقتصادی) به عنوان نماینده ای از محصول، استفاده شده است. حجم سرمایه یکی از متغیرهای مستقل در توابع تولید می باشد، که به قیمت های ثابت ۱۳۷۶ بر حسب میلیارد ریال می‌باشد.

داده‌های انرژی (وزارت نیرو، ترازنامه انرژی سال های مختلف) طی سال های ۱۳۸۹-۱۳۵۷، کل انرژی اولیه تولید شده در کشور که مجموع انرژی های فسیلی و تجدید پذیر بر حسب میلیون بشکه

---

1. Mutation

۲. با توجه به تعریف، نرخ جهش به منظور بررسی کل رویه می‌باشد (تا نقطه بهینه محلی را به جای نقطه بهینه کلی گزارش نکنیم). هر چه نرخ جهش دارای مقدار بزرگتر باشد، همگرایی الگو کندتر می شود. در این مطالعه به دلیل انتخاب مقداری بزرگ برای جمعت اولیه (به گونه‌ای که کل رویه جستجو را در بر می‌گیرد)، این نرخ را کوچک در نظر گرفته‌ایم تا الگو همگرا شود.

3. MATLAB

معادل نفت خام می باشد، در نظر گرفته شده است.

نیروی کار، یکی دیگر از نهاده های تولید در نظر گرفته شده در این مطالعه می باشد که بر حسب نفر و بر اساس داده های مرکز آمار ایران و همچنین داده های سری زمانی بانک مرکزی طی سال های ۱۳۸۹-۱۳۵۷ در نظر گرفته شده است.

بخش خصوصی مقدار کمی از سرمایه گذاری در بخش تحقیق و توسعه را به خود اختصاص داده است. بنابراین داده های سرمایه گذاری در بخش تحقیق و توسعه، داده های سرمایه تحقیق و توسعه دولتی به قیمت ثابت ۷۶ بر حسب میلیارد ریال (WDI، امینی ۱۳۸۷، برای سال های ۸۸ و ۸۹ محاسبه نویسندگان) در نظر گرفته شده است.

برای هر تابع تولید، ابتدا بر اساس داده های سال های ۱۳۸۲-۱۳۵۷پارامترها برآورد شده است. جدول شماره (۲) پارامترهای برآورد شده برای هر تابع تولید را نشان می دهد. پس از برآورد پارامترهای الگو، مقادیر متغیرهای مستقل برای سال های ۱۳۸۹-۱۳۸۳ را در تابع تولید برآورد شده، قرار داده ایم. مقدار برازش هر تابع با توجه به مقدار واقعی در طول زمان در نمودارهای شکل (۱) برای هر تابع تولید رسم شده است. همان‌گونه که در این نمودارها مشاهده می شود، داده‌های سال های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۹ جهت پیش بینی مورد استفاده قرار گرفته است و در برآورد توابع تولید، داده‌های این سال ها در نظر گرفته نشده است. جدول شماره (۳) مقادیر مجموع مربعات خطا و خطای پیش بینی (بر اساس داده سال های ۱۳۸۹-۱۳۸۳ جهت تعیین تابع تولید مناسب) را نشان می‌دهد. در این مطالعه، از معیار میزان دقت پیش بینی برای انتخاب الگوی مناسب استفاده شده است.

پس از برآورد پارامترها و رسم مقادیر واقعی تولید و مقادیر پیش بینی شده توسط توابع تولید مورد نظر، به محاسبه خطای پیش بینی برای سال های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۹ با استفاده از رابطه ۳۳ پرداخته شده است؛ که هر چه خطای پیش بینی مقدار کمتری داشته باشد، تابع تولید مورد نظر، برای پیش بینی اقتصاد ایران مناسب تر است.

$$LAD_{PR} = \sum_{i=1383}^{1389} \left| Y_i - \hat{Y}_i \right| \qquad (۳۳)$$

جدول ۲. پارامترهای برآورد شده برای توابع تولید مختلف

CD (رابطه ۴)		متعالی (رابطه ۵)		CES (رابطه ۶)		GLPF (رابطه ۲۱)		ترانسلوگ (رابطه ۲۳)		GPF (رابطه ۱۲)	
پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
α_1	۰/۴۲۶	a_1	۰/۲۶۸	a	-۰/۲۸۸	a_{11}	۰/۰۵۶	a_0	۰/۰۰۹	θ	۰/۱۳۰
α_2	۰/۲۲۱	a_2	-۰/۰۵۱	b_1	۰/۱۱۰	a_{22}	۰/۰۰۱	a_1	۰/۰۰۴	β	۲/۹۴۰
α_3	۰/۲۵۹	a_3	-۰/۰۱۸	b_2	۰/۰۹۷	a_{33}	۰/۱۶۳	a_2	۰/۰۰۲	h	۰/۵۴۴
α_4	۰/۱۰۷	a_4	-۰/۱۱۷	b_3	۰/۰۷۷	a_{44}	۰/۰۸۷	a_3	۰/۰۱۶	α_1	۰/۷۷۸
		α_1	۰/۷۱۱	b_4	۰/۱۶۷	a_{12}	۰/۰۰۴	a_4	۰/۰۴۷	α_2	۰/۱۶۸
		α_2	۰/۵۲۰	v	۰/۱۰۷	a_{13}	۰/۱۷۸	b_{11}	۰/۰۱۳	α_3	۰/۵۱۴

CD (رابطه ۴)		متعالی (رابطه ۵)		CES (رابطه ۶)		GLPF (رابطه ۲۱)		ترانسلوگ (رابطه ۲۳)		GPF (رابطه ۱۲)	
		α_3	۰٫۲۶۵	ρ	۰٫۰۲۸	a_{14}	۰٫۲۲۰	b_{22}	۰٫۰۰۱	α_4	۰٫۳۶۴
		α_4	۰٫۱۱۹			a_{23}	۰٫۲۱۳	b_{33}	۰٫۰۰۹		
						a_{24}	۰٫۰۲۲	b_{44}	۰٫۰۰۴		
						a_{34}	۰٫۲۱۵	b_{12}	۰٫۰۳۵		
								b_{13}	۰٫۰۰۰۲		
								b_{14}	۰٫۰۰۰۰۲		
								b_{23}	۰٫۰۰۱		
								b_{24}	۰٫۰۰۲		
								b_{34}	۱٫۵۱۰		

منبع: یافته های تحقیق

جدول ۳. مقادیر خطای پیش بینی و ضریب تشخیص جهت تعیین تابع تولید مناسب

ردیف	تابع تولید	مجموع مربعات خطا (RSS)	خطای پیش بینی $(LAD)_{PR}$
۱	ترانسلوگ	۲۵۶۶۳۴۸۵۰۱٫۸۲۳	۷۲۲۴۴٫۳۱۶۲۸
۲	متعالی	۲۰۴۹۶۳۳۱۷۹٫۳۵۷	۲۰۹۳۰۶٫۳۴۵
۳	CD	۳۲۶۴۳۹۳۹۷۲٫۷۸۱	۲۳۹۵۶۴٫۴۳۸
۴	GLPF	۳۹۸۴۸۸۶۷۹۱٫۴۷۱	۲۴۷۱۷۶٫۰۹۰
۵	GPF	۳۲۰۰۲۳۳۶۱۶٫۱۹۹	۲۵۹۱۹۱٫۶۳۹
۶	CES	۴۲۰۲۵۲۱۸۶۵٫۷۷۶	۲۸۲۹۸۲٫۹۵۵

منبع: یافته های تحقیق

نتایج خطای پیش‌بینی در جدول (۳) ارائه شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده تابع تولید ترنسلوگ، به دلیل داشتن کمترین مقدار خطا در پیش بینی، مناسب ترین تابع تولید برای اقتصاد ایران می‌باشد. در این تابع تولید، با توجه به مباحث مطرح شده در مبانی نظری، کشش تولید نسبت به نهاده های تولید در طول زمان ثابت نمی باشد (بر خلاف توابع تولید کاب- داگلاس). با توجه به رابطه (۲۳) کشش تولید نسبت به نهاده های سرمایه، نیروی کار، انرژی و سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه در روابط ۳۴ تا ۳۸ آمده است.

$$\eta_k = \frac{\%\Delta Y}{\%\Delta K} = a_1 + b_{11}Ln(K) + b_{12}Ln(L) + b_{13}Ln(E) + b_{14}Ln(A) \qquad (۳۴)$$

$$\eta_L = \frac{\%\Delta Y}{\%\Delta L} = a_2 + b_{22}Ln(L) + b_{12}Ln(K) + b_{23}Ln(E) + b_{24}Ln(A) \qquad (۳۵)$$

$$\eta_E = \frac{\%\Delta Y}{\%\Delta E} = a_3 + b_{33}Ln(E) + b_{13}Ln(K) + b_{23}Ln(L) + b_{34}Ln(A) \qquad (۳۶)$$

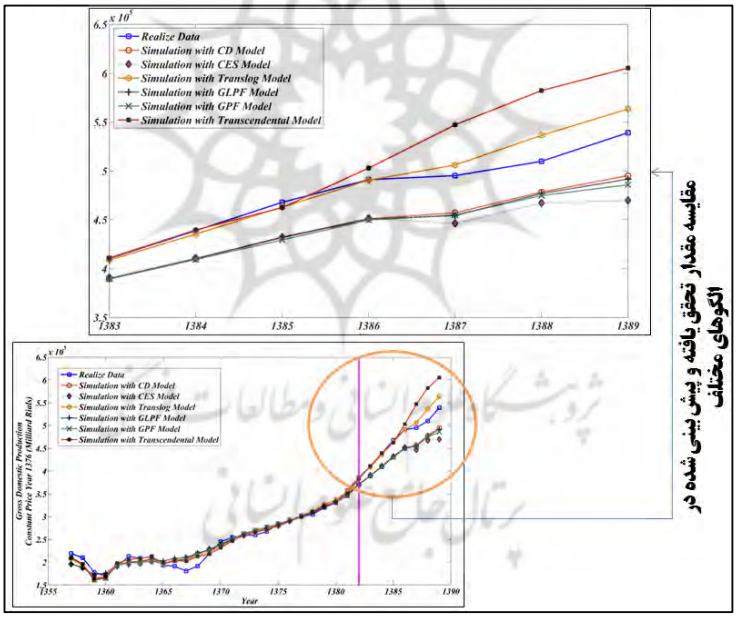
$$\eta_A = \frac{\%\Delta Y}{\%\Delta A} = a_4 + b_{44}Ln(A) + b_{14}Ln(K) + b_{24}Ln(L) + b_{34}Ln(E) \qquad (۳۷)$$

که روابط فوق را می توان به صورت ماتریسی به صورت زیر نوشت:

$$\begin{bmatrix}\eta_k\\ \eta_L\\ \eta_E\\ \eta_A\end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix}a_1\\ a_2\\ a_3\\ a_4\end{bmatrix} + \begin{bmatrix}b_{11} & b_{12} & b_{13} & b_{14}\\ b_{12} & b_{22} & b_{23} & b_{24}\\ b_{13} & b_{23} & b_{33} & b_{34}\\ b_{14} & b_{24} & b_{34} & b_{44}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}Ln(K)\\ Ln(L)\\ Ln(E)\\ Ln(A)\end{bmatrix}_i \qquad (۳۸)$$

که در رابطه بالا، همه پارامترها و متغیر ها تعریف شده است. با قرار دادن مقادیر متغیرهای هر سال (i) در رابطه (۳۸) می توان کشش های تولید را برای سال های مختلف محاسبه کرد. با توجه به پارامترهای محاسبه شده در جدول (۲) برای تابع تولید ترانسلوگ، کشش های تولید نسبت به انباشت سرمایه، نیروی کار، انرژی سرمایه گذاری در بخش R&D برای سال ۱۳۸۹ به ترتیب ۰٫۴۴، ۰٫۴۹، ۰٫۷۳ و ۰٫۲۶ به دست آمده است. یعنی با افزایش ۱۰۰ درصدی سرمایه گذاری در بخش تحقیق و توسعه، تولید تنها ۲۶ درصد افزایش خواهد یافت. این در حالی است که افزایش ۱۰۰ درصدی در نهاده انرژی، تولید را ۷۳ درصد افزایش خواهد داد.

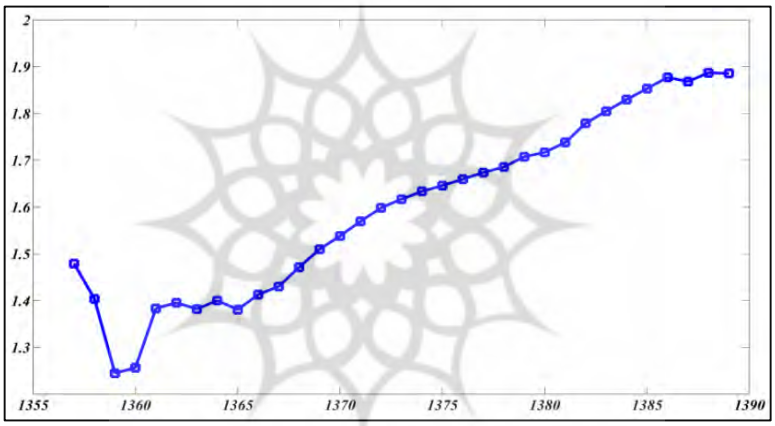
شکل ۱. نتایج مقادیر تحقق یافته و شبیه سازی شده به همراه مقادیر پیش بینی شده در توابع تولید مختلف



منبع: یافته‌های تحقیق

کشش مقیاس[1] را می‌توان از جمع کشش محصول نسبت به تمام نهاده‌های تولید در هر دوره محاسبه کرد. کشش مقیاس نشان می دهد که یک درصد افزایش در تمام نهادها، چند درصد محصول را افزایش می‌دهد. با توجه به اینکه ممکن است برای سطوح مختلف نهاده ها، تکنولوژی تولید دارای بازده‌های متفاوت نسبت به مقیاس باشد، از کشش مقیاس در طول زمان برای نشان داده این تغییرات می‌توان استفاده نمود. مقادیر محاسبه شده برای این کشش برای اقتصاد ایران درشکل (۲) نشان داده شده است. چنانکه مشاهده می گردد، این کشش (با کنار گذاشتن دوره جنگ) در طول زمان افزایش یافته است. به عبارت دیگر، طی دوره بعد از جنگ، در اقتصاد ایران، همواره بازده صعودی نسبت به مقیاس وجود داشته و البته با توجه به شکل (۲) از شیب این منحنی به تدریج کاسته شده است. بر اساس پیش بینی الگو، مقدار این کشش در سال ۱۳۸۹، برابر با ۱/۹ بوده که نشان می دهد یک درصد افزایش در همه نهادهای تولید، باعث افزایش ۱/۹ درصد در تولید محصول شده است.

شکل ۲. کشش مقیاس برای اقتصاد ایران طی دوره ۱۳۸۹-۱۳۵۵



۶. جمع بندی و نتیجه گیری

انرژی یکی از نهاده های بسیار مهم تولید می باشد، به گونه ای که بدون انرژی امکان تولید وجود نخواهد داشت. در این مطالعه، علاوه بر نیروی کار و انباشت سرمایه، انرژی و همچنین سرمایه گذاری در تحقیق و توسعه به عنوان عوامل تولید در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه تابع تولید به عنوان یک ابزار مهم اقتصادی در تجزیه و تحلیل های اقتصادی می باشد، در این مطالعه پس از بررسی انواع توابع تولید، به

1. Elasticity of Scale

انتخاب تابع تولید متناسب برای اقتصاد ایران پرداخته شده است. توابع تولید CES[1]، کاب- داگلاس، ترنسندنتال، ترانسلوگ و تعمیم یافته خطی برای اقتصاد ایران و با توجه به نهاده های تولید نیروی کار، حجم سرمایه فیزیکی، انرژی و سرمایه گذاری در بخش تحقیق و توسعه، شبیه سازی شده است.

در این تحقیق با توجه به حجم کم داده ها، غیر خطی بودن توابع تولید و همچنین با توجه به حداقل کردن کمترین مقدار مطلق انحراف (LAD) که در مقایسه با روش حداقل کردن مربعات خطا (RSS) از کارآیی بیشتری برخوردار است، از روش الگوریتم ژنتیک پیوسته برای برآورد توابع تولید مورد نظر بهره گیری و پس از برآورد انواع توابع با کمک داده های مربوط به سال های ۱۳۸۲-۱۳۵۷، از داده های دوره ۱۳۸۹-۱۳۸۳ برای ارزیابی میزان دقت پیش بینی مدل، برای انتخاب الگوی مناسب استفاده شده است.

نتایج بیانگر این است که تابع تولید ترنسلوگ به دلیل داشتن کمترین مقدار خطا در پیش بینی و همچنین توضیح بهتر نقاط عطف، مناسب ترین تابع تولید برای اقتصاد ایران می باشد. با توجه به پارامترهای برآورد شده در تابع تولید ترانسلوگ، کشش تولید نسبت به حجم سرمایه، نیروی کار، انرژی و سرمایه گذاری در بخش R&D برای سال ۱۳۸۹ به ترتیب ۰/۴۴، ۰/۴۹، ۰/۷۳ و ۰/۲۶ به دست آمده است. یعنی با افزایش ۱۰ درصدی سرمایه گذاری در بخش تحقیق و توسعه، تولید تنها ۲/۶ درصد افزایش خواهد یافت. این در حالی است که افزایش ۱۰ درصد در نهاده انرژی، تولید کشور را به میزان ۷/۳ درصد افزایش خواهد داد.

بنابراین، نتایج به دست آمده نشان می دهد که کشش تولید نسبت به انرژی در مقایسه با کشش تولید نسبت به تحقیق و توسعه به میزان قابل توجهی بیشتر می باشد. با توجه به کشش نسبتاً زیاد تولید نسبت به انرژی در کشور ایران، لازم است که با اتخاذ سیاست های مکمل مانند سیاست های زیست محیطی، مالیات بر انرژی و یا پرداخت های تشویقی به تحقیق و توسعه (R&D) می توان روند انرژی بر بودن تولید در اقتصاد ایران را تغییر داد. به عبارت دیگر، رشد سبز در این مقاله مورد نظر نبوده بلکه به وضعیت فعلی اقتصاد ایران پرداخته شده است. بدیهی است که استفاده از تابع تولید مناسب با توجه به اثرات زیست محیطی در قالب یک الگوی اقتصاد کلان (تعادل عمومی)، می تواند نتایج دقیق تری در خصوص مسیر رشد سبز ارائه نماید. البته این موضوع خارج از هدف این مطالعه است و نیاز به تحقیق مستقلی دارد.

توجه به این نکته لازم است که ضرائب و کشش‌های به دست آمده می تواند برای محاسبه عوامل اثر گذار بر رشد محصول در ایران مورد استفاده قرار گیرد. علاوه بر این، این نتایج می تواند به پژوهشگران و تحلیلگران اقتصاد کلان برای کالیبره کردن الگوهای رشد بلند مدت کمک نماید. به

1. Constant Elasticity of Substitution

عبارت دیگر، نمی توان مسیر متغیرهای کلیدی کلان اقتصاد را در بلند مدت به درستی برآورد نمود، مگر اینکه اطلاعات دقیق تری از تکنولوژی تولید و در نتیجه ضرائب مربوط به آن در اختیار داشت. همچنین نتایج حاصل از محاسبه کشش مقیاس نشان می دهد که طی دوره بعد از جنگ، در اقتصاد ایران، همواره بازده صعودی نسبت به مقیاس وجود داشته است. بنابراین، به نظر می رسد که ساخت الگوهای رشد برای اقتصاد ایران با فرض تابع تولید با تکنولوژی بازده ثابت نسبت به مقیاس باید (حداقل برای دوره بعد از جنگ تحمیلی) با تامل بیشتری صورت گیرد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع و مآخذ

آذربایجانی، کریم؛ راکی، مولود و همایون رنجبر (۱۳۹۰) تأثیر متنوع سازی صادرات بر بهره وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (رویکرد داده های تابلویی در کشورهای گروه دی هشت)؛ پژوهش های رشد و توسعه اقتصادی، شماره ۳: ۲۰۱-۱۶۵.

امینی، علیرضا و زهره حجازی آزاد (۱۳۸۷) تحلیل نقش سرمایه انسانی و تحقیق و توسعه در ارتقای بهره وری کل عوامل (TFP) در اقتصاد ایران؛ پژوهشهای اقتصادی ایران، شماره ۳۵: ۳۰-۱.

پژویان، جمشید و مرجان فقیه نصیری (۱۳۸۸) اثر رقابت مندی بر رشد اقتصادی با رویکرد الگوی رشد درونزا؛ پژوهش های اقتصادی ایران، سال سیزدهم، شماره ۳۸: ۱۳۲-۹۷.

خدادادکاشی، فرهاد و سیاوش جانی (۱۳۹۰) بررسی پویای رفتار تولید کنندگان در استفاده از نهاده‌ها بر مبنای تابع تولید دو مرحله ای CES، با تأکید بر اصلاح الگوی مصرف انرژی در تولید و ارتقای اشتغال؛ مطالعات اقتصاد انرژی، سال هشتم، شماره ۳۰: ۱۲۴-۹۷.

دلیری، حسن و محسن رنانی (۱۳۸۹) سرمایه اجتماعی چگونه وارد تابع تولید می شود؟ (طراحی یک الگوی نظری و آزمون آن در چارچوب یک مدل رشد درونزا)؛ اقتصاد تطبیقی، سال اول، شماره اول: ۶۸-۴۱.

محمودزاده، محمود (۱۳۸۹) اثرات فناوری اطلاعات و ارتباطات بر بهره‌وری کل عوامل تولید در کشورهای در حال توسعه منتخب؛ پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۵۷: ۶۴-۲۹.

مشیری، سعید و سمیه نیک پور (۱۳۸۶) تأثیر فن آوری اطلاعات و ارتباطات و سرریزهای آن بر رشد اقتصادی کشور های جهان؛ پژوهش های اقتصادی ایران، سال نهم، شماره ۳۳: ۱۰۳- ۷۵.

وافی نجار، داریوش (۱۳۸۴) تحلیل آماری و بررسی رابطه علیت گرانجری تولید ناخالص داخلی با مصرف انرژی و محاسبه کشش نهاده ای انرژی با استفاده از تابع تولید (۱۳۸۲- ۱۳۴۶)؛ مطالعات اقتصاد انرژی، شماره ۵: ۷۳-۵۵.

Alan, S.M. and G.R. Richard (1992) Buying Greenhouse Insurance: The Economic Costs of CO2 Emission Limits; MIT Press.

Arrow, K. J., Chenery, H. B., Minhas, B.S. and R. M. Solow (1961) Capital Labor Substitution and Economic Efficiency; Review of Economics and Statistics, Vol. 63, PP. 225-250.

Ayres, R. U., Ayres, L. W. and B. Warr (2003) Exergy, Power and Work in the US Economy (1900-1998); Energy Vol. 28: 219-273.

Bartelsman, E., George van L., Henry N., and K. Zeelenberg (1996) R&D, and productivity growth: Evidence from firm level data in the Netherlands; Netherlands Official Statistics No. 11: 52-69.

Berndt, E. and L. Christensen (1973) The Translog Function and the Substitution of Equipment, Structures and Labor in U.S. Manufacturing, 1929-1968; Journal of Econometrics, Vol. 1: 81-114.

Bond, S., Dietmar, H. and R. John van (2003) Corporate R&D and Productivity in Germany and the United Kingdom; CEP Discussion Papers 0599.

Brown, M. and J. S. Cani (1963) Technological Change and the Distribution of Income; International Economic Review, Vol. 4: 289-309.

Burniaux, J. M., Martin, J., Nicoletti, G. and J.O. Martins (1991) GREEN a Multi-Sector, Multi-Region General Equilibrium Model for Quantifying the Costs of Curbing CO2 Emissions: A Technical Manual; OECD Economics Department Working Papers, No. 116, http://www.oecd-ilibrary.org.

Capron, H. and M. Cincera (1998) Exploring the spillover impact on productivity of worldwide manufacturing firms; Annales d'Economie et de Statistiques, No. 50: 565-588.

Chang, K.P. (1994) Capital˚Energy Substitution and the Multi-level CES Production Function; Energy Economy, No. 16: 22-26.

Charnes, A. Cooper, W.W. and R.O. Ferguson (1955) Optimal Estimation of Executive Compensation by Linear Programming; Management Science, Vol. 1: 138-151.

Christensen, L., Jorgenson, D. and L. Lau (1973) Transcendental Logarithmic Production Frontiers, The Review of Economics and Statistics, No. 55: 28-45.

Cincera, M. (1998) Technological and economic performances of international firms; PhD Thesis, University Libre de Bruxelles, Belgium.

Crepon, B., E. Duguet and J. Mairesse (1998) Research, Innovation, and Productivity: An Econometric Analysis at the Firm Level; Economics of Innovation and New Technology, No. 7, Vol. 2: 115-156.

David, P. A. and T. van de Klundert (1965) Biased Efficiency Growth and Capital-Labor Substitution in the U.S. (1899-1960); American Economic Review, Vol. 55: 357-394.

Diewert, W.E. (1971) An Application of the Shephard Duality Theorem: A Generalized Leontief Production Function; The Journal of Political Economy, Vol. 79, No.3: 481-507.

Griliches, Z. (1969) Capital-Skill Complementarity; Review of Economics and Statistics, Vol. 6: 465-468.

Hall, B.H. and J. Mairesse (1995) Exploring the relationship between R&D and productivity in French manufacturing firms; Journal of Econometrics, No. 65 Vol. 1: 263-293.

Halter, A., Carter, H. and J. Hocking (1957) A Note on the Transcendental Production Function, Journal of Farm Economics, 29, 966-974.

Harhoff, D. (1998) R&D and Productivity in German Manufacturing Firms; Economics of Innovation and New Technology, No. 6, Vol. 1: 29-50.

Haupt R.L. and S.E. Haupt (1996) Practical Genetic Algorithms; Second Edition, A John Wiley & Sons, Inc., Publication.

Kazuo, S. (1967) A Two Level Constant - Elasticity of Substitution Production

Function; The Review of Economic Studies, Vol. 34, No. 2: 201-218.
Kemfert, C. (1998) Estimated Substitution Elasticity of a Nested CES Production Function Approach for Germany; Energy Economy, Vol. 220: 259-264.
Kmenta, J. (1967) On Estimation of the CES Production Function; International Economic Review, Vol. 8: 180-189.
Kwon, H. and T. Inui (2003) R&D and productivity growth in Japanese manufacturing firms; Economic and Social Research Institute Discussion Paper No. 44: 82-106.
Levy, D. M. (2002) Research and Development; In David R. Henderson (ed.), Concise Encyclopedia of Economics (1st ed.), Library of Economics and Liberty. http://en.wikipedia.org/wiki/Research_and_development
Lindenberger, D. (2003) Service Production Functions; EWI Working Paper No. 03.02, Institute of Energy Economics, University of Cologne (EWI), http://hdl.handle.net/10419/23150.
Liu, T.C. and G.H. Hildebrand (1965) Manufacturing Production Functions in the United States; Cornell Univ. Press, Ithaca.
Lv, Z., Guo, J. and Y. Xi (2009) Econometric Estimate and Selection on China Energy CES Production Function; China Popul Resources Environ, Vol. 19 No. 4: 156-160.
Markandya, A. and S. Pedroso Galinato (2007) How Substitutable is Natural Capital?; Environment Resource Economics, Vol. 37: 297-312.
Markandya, A. and S. Pedroso-Galinato (2007) How Substitutable is Natural Capital?; Environment Resource Economic, Vol. 37: 297-312.
Masangala W. and C. Papageorgiou (2004) The Solow Model with CES Technology: Nonlinearities and Parameter Heterogeneity; Journal of Applied Econometrics, Vol. 19: 171-201.
McFadden, D. (1963) Constant Elasticity of Substitution Production Function; Review of Economic Studies, Vol. 30: 73-83.
Michalewicz, Z. (1994) Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs; Second Edition, New York: Springer Verlag.
Mishra, S.K. (2006) A Note on Numerical Estimation of Sato s Two-Level CES Production Function; SSRN at http://www.ssrn.com/author=353253.
Mishra, S.K. (2011) A Brief History of Production Functions; North ˚ Eastern Hill University Shillong (India), Working Paper, Series Social Science Research Network (SSRN), http://ssrn.com.
Nerlove, M. (1963) Returns to Scale in Electricity Supply; reprinted in Nerlove, M (1965) Estimation and Identification of Cobb-Douglas Production Functions, North Holland Publishing Co., Amsterdam.
Papageorgiou C. and M. Saam (2008) Two-Level CES Production Technology in the Solow and Diamond growth models; Scandinavian Journal of Economics Vol. 110, No. 1:119-143.

Pitchford J. D. (1960) Growth and the Elasticity of Factor Substitution; Economic Record, Vol. 36: 491-504

Prywes, M. (1986) A Nested CES Approach to Capital-Energy Substitution; Energy Economics, Vol. 1: 22˚28.

Revankar, N.S. (1971) A Class of Variable Elasticity of Substitution Production Functions; Econometrica, Vol. 39, No. 1: 61-71.

Rogers, M. (2010) R&D and productivity: Using UK firm-level data to inform polity: Empirica, Vol. 37 No. 3: 329-359.

Su, J.S. Wang, S. and Q.X. Wang (2008) Empirical Research on Factor Allocation in Economic Growth; Natural Science, Vol. 43, No. 10: 36-40.

Taylor, L.D. (1974) Estimation by Minimizing the Sum of Absolute Errors, in Zarembka; P. (Ed) Frontiers of Econometrics, Academic Press, New York.

Uzawa, H. (1962) Production Functions with Constant Elasticities of Substitution; Review of Economic Studies, Vol. 29: 291-299.

Varian, H.R. (1992) Microeconomic Analysis; Third Edition, W.W. Norton & Company, London.

Wang, J. and K. Tsai (2003) Productivity Growth and R&D expenditure in Taiwan's manufacturing firms; NBER Working Paper No 9724.

Zellner, A. and N. S. Revankar (1969) Generalized Production Functions; the Review of Economic Studies, Vol. 36 No. 2: 241-250.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی