

فصلنامه علمی- پژوهشی مطالعات اقتصادی کاربردی ایران

سال سوم، شماره ۹، بهار ۱۳۹۳

صفحات: ۲۵-۴۷

## برآورد کثتش جانشینی میان انرژی و سایر نهاده‌ها در ایران با استفاده از تابع تولید CES چند مرحله‌ای

کریم اسلاملوئیان<sup>۱</sup>  
علی حسین استادزاد<sup>۲\*</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۰۸

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۵/۰۱

### چکیده

هدف اصلی این تحقیق برآورد کثتش جانشینی میان انرژی و سایر نهاده‌های تولید در ایران با استفاده از یک تابع تولید CES چند مرحله‌ای می‌باشد. در این راستا، تابع تولید آشیانه‌ای مناسب با چهار نهاده نیروی کار، سرمایه، انرژی و سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه برای اقتصاد ایران طراحی و با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک پیوسته به صورت عددی و غیرخطی برآورد شده است. این روش در مقایسه با روش‌های معمول اقتصادسنجی از کارایی بیشتری برخوردار است. با توجه به هدف تحقیق، سه الگوی متفاوت توسعه داده شده، و از بین آن‌ها بهترین الگو انتخاب و بر اساس آن کثتش‌های جانشینی میان نهاده‌های تولید محاسبه گردیده است. تحقیق حاضر از نظر انتخاب نهاده‌ها، شکل تابع تولید غیرخطی و همچنین روش برآورد از سایر تحقیقات انجام شده در ایران متمایز است. نتایج به دست آمده از محاسبه کثتش‌های جانشینی بیانگر این است که با افزایش یک درصد نیروی کار، ۰/۵۶ درصد صرفه‌جویی در انرژی خواهیم داشت. همچنین افزایش یک درصدی سرمایه باعث صرفه‌جویی ۰/۵۹ درصدی و به همین صورت افزایش یک درصدی در سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه موجب صرفه‌جویی ۰/۴۶ درصدی در مصرف انرژی می‌گردد. علاوه بر این، نتایج حاصل از محاسبه تولید نهایی طی سال‌های مختلف نشان‌دهنده افزایش تولید نهایی نیروی انسانی بعد از سال‌های جنگ تحمیلی بوده است. همچنین تولید نهایی انرژی بعد از سال ۱۳۷۴ افزایش یافته است که می‌تواند به علت اجرای سیاست‌های ناشی از صرفه‌جویی در مصرف انرژی باشد.

**کلید واژه‌ها:** انرژی، تابع تولید CES چند مرحله‌ای، الگوریتم ژنتیک، کثتش‌های جانشینی، تولید نهایی و اقتصاد ایران

طبقه‌بندی JEL: E23, Q41, Q43, Q55

**Email:** keslamlo@rose.shirazu.ac.ir

**Email:** aostadza@yahoo.com

۱. دانشیار گروه اقتصاد دانشگاه شیراز

۲. دانشجوی دکتری اقتصاد دانشگاه شیراز (نویسنده مسئول)

## ۱. مقدمه

با توجه به محدودیت عوامل تولید، یکی از راه‌های توسعه پایدار مدیریت این نهاده‌ها می‌باشد. در این راستا، لازم است که کشش‌های جانشینی و همچنین مقدار تولید نهایی نهاده‌ها مورد بررسی قرار گیرد. در بسیاری از مطالعات گذشته، توابع تولید با در نظر گرفتن نیروی کار و سرمایه به عنوان مهمترین نهاده‌ها برآورد و بر این اساس، کشش‌های جانشینی و تولید نهایی این عوامل محاسبه شده است. در طول زمان با توجه به روشن شدن اهمیت نقش انرژی به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین نهاده‌های تولید، این توابع گسترش یافته و با در نظر گرفتن عامل انرژی، تخمین‌های جدیدی از سهم عوامل، کشش‌های جانشینی و تولیدات نهایی برای کشورهای مختلف به‌دست آمد.<sup>۱</sup> به‌طور نمونه، توانایی اقتصاد برای پاسخ به شوک‌های مربوط به انرژی تا حد زیادی به این موضوع بستگی دارد که تا چه اندازه می‌توان انرژی را با سایر ورودی‌های تولید جایگزین کرد.

چنان‌که ملاحظه خواهد شد، با وجود ادبیات نظری وسیع و مطالعات تجربی بسیار در مورد نقش انرژی در اقتصاد، هیچ توافقی در خصوص نوع تابع تولید با توجه به نهاده انرژی وجود ندارد. با بررسی مطالعات مختلف، یکی از پرطرفدارترین تابع تولید در میان اقتصاددانان، تابع تولید با کشش جانشینی ثابت<sup>۲</sup> (CES) و همچنین توابع تولید ترانسلوگ می‌باشد.

همچنین در حال حاضر این تحقیقات از جهات دیگر مانند استفاده از انواع توابع تولید، و روش‌های گوناگون برای برآورد این توابع توسعه پیدا کرده است. در همین راستا، در ادبیات موضوع به سایر نهاده‌های مهم تأثیرگذار دیگر در تابع تولید نیز توجه گردیده است.

با توجه به نکات بالا، هدف اصلی این مطالعه بررسی و برآورد کشش جانشینی میان انرژی با سایر نهاده‌های تولید شامل سرمایه، نیروی کار و سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه، برای اقتصاد ایران می‌باشد. در این راستا، تابع تولید CES چند مرحله‌ای با چهار نهاده نیروی کار، سرمایه، انرژی و سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه برای اقتصاد ایران طراحی و با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک پیوسته و به صورت عددی و غیرخطی برآورد شده است. روش مورد استفاده در این مقاله نسبت به روش‌های معمول اقتصادسنجی از کارایی بیشتری برخوردار است. چنان‌که ملاحظه خواهد شد، با توجه به هدف تحقیق، سه الگوی متفاوت توسعه داده شده، و از بین آن‌ها بهترین الگو انتخاب و براساس آن کشش‌های جانشینی میان نهاده‌های تولید محاسبه گردیده است. بنابراین، تحقیق حاضر از نظر انتخاب نهاده‌ها، شکل تابع تولید غیر خطی و همچنین روش برآورد از سایر تحقیقات انجام شده در ایران متمایز است.

۱. برای اطلاعات بیش‌تر به پیشینه تحقیق مراجعه گردد.

2. constant elasticity of substitution production function

به عبارت دیگر، در مطالعات پیشین، کشش جانشینی بین نهاده انرژی با سایر عوامل تولید برای کل اقتصاد این کشش‌های جانشینی محاسبه نشده است.<sup>۱</sup> علاوه بر این سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه (A) نیز به‌عنوان یکی دیگر از نهاده تولید در کنار نیروی کار (L)، سرمایه فیزیکی (K) و انرژی (E) در نظر گرفته شده است.

همچنین نوع تابع تولید CES چند مرحله‌ای<sup>۲</sup> که در این مقاله مورد استفاده قرار گرفته است دارای چندین مزیت نسبت به دیگر توابع تولید می‌باشد. به طور نمونه این تابع تولید به لحاظ نظری انواع توابع تولید مهم دیگر را شامل می‌شود و به همین علت ابزاری ساده و در عین حال به اندازه کافی انعطاف‌پذیر برای محاسبه امکانات جانشینی میان نهاده‌های تولید می‌باشد (بکمن و هرتل،<sup>۳</sup> ۲۰۱۰). علاوه بر این، تابع تولید CES چند مرحله‌ای برای فرموله کردن تناظر بین امکانات جانشینی و رشد اقتصادی بسیار ابزار مناسبی می‌باشد. به منظور بررسی بیشتر به دی لا گراندویل<sup>۴</sup>، (۱۹۸۹ و ۲۰۰۹) و کلامپ<sup>۵</sup> (۲۰۰۰) مراجعه نمایید.

پارامترهای تابع تولید CES چند مرحله‌ای در مطالعات مختلف با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی و به روش‌های خطی‌سازی تخمین زده شده است. روش‌های خطی‌سازی و برآورد یک تابع خطی تولید نهایی برآورد را پایین می‌آورد. با توجه به این نکته روش‌های مختلفی برای برآوردهای غیر خطی توسعه داده شده است که موسوم به روش‌های تکرار<sup>۶</sup> می‌باشند. این مقاله در شش قسمت تنظیم شده است. در قسمت دوم پیشینه پژوهش و روش‌های برآورد بررسی شده است. در قسمت سوم مبانی نظری و روش محاسبه تولید نهایی و همچنین کشش‌های جانشینی مورد بررسی قرار گرفته است. چگونگی کار با الگوریتم ژنتیک در قسمت چهارم که دربرگیرنده روش‌شناسی تحقیق می‌باشد، آورده شده است. برآورد توابع تولید و تحلیل نتایج در قسمت پنجم ارائه گردیده است. قسمت نهایی به جمع‌بندی و ارائه پیشنهادها اختصاص دارد.

۱. چنان‌که در بخش پیشینه تحقیق ملاحظه خواهد شد در مطالعات انجام شده کشش‌های جانشینی عمدتاً برای بخش‌های اقتصادی محاسبه شده است.

۲. تابع تولید CES چند مرحله‌ای اولین بار توسط ساتو (۱۹۶۷) ارائه شده است.

3. Beckman and Hertel

4. de La Grandville

5. Klump

6. Iteration Method

## ۲. پیشینه پژوهش

اغلب تحقیقات در مورد توزیع نهاده تولید، تابع تولید CES معرفی شده توسط ارو<sup>۱</sup> (۱۹۶۱) را مورد بررسی قرار داده‌اند. این تابع تولید روش کارآمدی برای توصیف رفتار اقتصادی می‌باشد. تابع تولید CES اولیه کشش جانشینی ثابت<sup>۲</sup> بین نیروی کار و سرمایه را نشان می‌داد.

اگر بیش از دو نهاده تولید داشته باشیم، تابع تولید CES با کشش جانشینی ثابت، نمی‌تواند تفاوت میان این نهاده‌ها را بیان کند. با این حال این تابع تولید در اقتصاد کلان و همچنین اقتصاد صنعتی بسیار استفاده شده است. ساتو<sup>۳</sup> (۱۹۶۷) با تقسیم تابع تولید CES به دو سطح و افزایش تعداد نهاده‌های ورودی تابع تولید CES دو مرحله<sup>۴</sup> را تعمیم داده است. این تابع تولید به صورت گسترده در تحلیل سه نهاده تولید یا بیشتر در دو سطح متفاوت استفاده شده است. امروزه پایه و اساس اکثر مدل‌های اقتصادی با توجه به انرژی به عنوان نهاده تولید و یا مدل‌های انرژی با توجه به تعریف‌های اقتصادی تابع تولید CES دو مرحله‌ای می‌باشد.

سرمایه، نیروی کار و انرژی در یک تابع CES دو مرحله‌ای می‌توانند به سه روش مختلف  $E(KL)$ ،  $L(KE)$  و  $K(LE)$  تودرتو<sup>۵</sup> شوند. برای مثال، در  $E(KL)$ ، اول سرمایه و نیروی کار ترکیب می‌شوند و سپس ترکیب آن‌ها با انرژی، سطح بالاتری از تودرتو سازی را تشکیل می‌دهند. براساس بررسی مطالعات مختلف از این سه روش ترکیب، روش  $E(KL)$  برای مدل‌سازی انرژی در فعالیت‌های تولیدی مناسب‌تر است. براساس مقاله ون‌درورف<sup>۶</sup> (۲۰۰۸) از ده مطالعه بررسی شده در زمینه سیاست‌های زیست‌محیطی در نه مطالعه انرژی با ترکیب کار- سرمایه تجمیع شده است  $(E(KL))$ . با این حال، در الگوهای  $GTAP - E$  توسعه یافته توسط بارنیوکس و ترانگ<sup>۷</sup> (۲۰۰۲) که به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است، اول انرژی با سرمایه ترکیب و سپس با نیروی کار ترکیب خواهد شد  $(L(KE))$ . بسیاری از الگوهای چرخه‌های تجاری<sup>۸</sup> مانند باکاس و کراسینی<sup>۹</sup> (۲۰۰۰)، دی میگوئل و مانزانو<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۶) و دهاوان<sup>۱۱</sup> (۲۰۱۰) با فرض وجود نهاده انرژی به تبعیت از مطالعه کیم و لانگانی<sup>۱۲</sup> (۱۹۹۲) از ترکیب  $L(KE)$  بهره برده‌اند.

1. Arrow
2. Constant elasticity of substitution
3. Sato
4. Two-level CES production function
5. nested
6. van der Werf
7. Burniaux and Truong
8. Business cycle models
9. Backus and Crucini
10. De Miguel and Manzano
11. Dhawan *et al.*
12. Kim and Loungani

مقادیر کشش جانشینی و انتخاب ساختار ترکیب سازی ( $E(KL)$  و  $L(KE)$ ،  $K(LE)$ ) در الگوهای مختلف، می‌تواند تأثیر قابل توجهی در پیش‌بینی‌های نظری و استنتاج اقتصادی داشته باشد. به‌عنوان مثال ویلناز<sup>۱</sup> (۱۹۸۴) نشان داده است، کشش جانشینی بین انرژی و سرمایه یک پارامتر کلیدی در تعیین نشانه پاسخ تولید پس از افزایش قیمت انرژی است. در مطالعه ژاکوبی و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۰۶) نشان داده شده است که کشش جانشینی بین انرژی و ترکیب سرمایه-کار ( $E(KL)$ ) در تعیین هزینه‌های سیاست‌های زیست محیطی<sup>۳</sup> بسیار مهم می‌باشد. براساس مطالعه شوبرت و تورنوسکی<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) تغییرات کوچک کشش جانشینی ورودی‌های انرژی و ترکیب سرمایه-کار، باعث ایجاد تفاوت‌های قابل توجهی در نرخ رشد اقتصادی خواهد شد. لیکا و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۱) نشان داده‌اند که نتایج نظری یک الگوی تعادل عمومی قابل محاسبه، نسبت به انتخاب ورودی‌های تابع تولید و ترکیب‌های مختلف این ورودی‌ها بسیار حساس می‌باشد.

بورنیاکس<sup>۶</sup> (۱۹۹۱) با در نظر گرفتن سرمایه ( $K$ ) و انرژی ( $E$ ) به‌عنوان تنها نهاده‌های تولید، کشش جانشینی این نهاده‌های تولید را بسیار پایین به‌دست آورده است ( $\sigma_{KE} = ۰.۳$ )، سپس این ترکیب را با نیروی کار در نظر گرفته است و کشش جانشینی بالایی را برای انرژی و سرمایه به‌دست آورده است ( $\sigma_{(K,E)L} = ۰.۶$ ).

آلن و ریچارد<sup>۷</sup> (۱۹۹۲) با در نظر گرفتن نیروی کار و سرمایه کشش جانشینی این دو عامل تولید را برابر با یک محاسبه کرده‌اند ( $\sigma_{KL} = ۱$ ). با در نظر گرفتن این دو عامل به‌همراه انرژی کشش جانشینی این دو عامل تولید را  $۰.۴$  به‌دست آورده‌اند ( $\sigma_{(K,L)E} = ۰.۴$ ).

چانگ<sup>۸</sup> (۱۹۹۴) با در نظر گرفتن سرمایه، نیروی کار و انرژی در بخش صنعت تایوان کشش جانشینی انرژی و سرمایه را  $۰.۸۷$  به‌دست آورده است. کیمفورد<sup>۹</sup> (۱۹۹۸) با توجه به داده‌های ۱۹۶۰-۱۹۹۳ صنعت کشور آلمان و همچنین در نظر گرفتن نیروی کار، انباشت سرمایه و انرژی در سه الگوی مختلف کشش‌های جانشینی بین انرژی و نیروی کار، انرژی و سرمایه و همچنین نیروی کار و سرمایه را به‌ترتیب  $۰.۴۲$ ،  $۰.۶۵$  و  $۰.۸۲$  به‌دست آورده است. لیو<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۹) با در نظر گرفتن داده‌های ۱۹۸۰-۲۰۰۶ صنعت چین کشش جانشینی نیروی کار و سرمایه را  $۰.۴۷$  به‌دست آورده است.

1. Vinals

2. Jacoby *et al.*

3. Costs of environmental policy.

4. Schubert and Turnovsky

5. Lecca *et al.*6. Burniaux *et al.*

7. Alan and Richard,

8. Chang

9. Kemfert

10. Lv *et al.*

در مطالعات محدودی به برآورد کشش جانشینی عوامل تولید برای اقتصاد ایران پرداخته شده است. به عنوان مثال خدادادکاشی (۱۳۹۰) تابع تولید CES دو مرحله‌ای پویا برای کارگاه‌های بزرگ صنعتی را با روش حداقل مربعات معمولی (OLS) برآورد کرده است. عاقلی کهنه شهری (۱۳۸۵) از توابع تولید مختلفی برای برآورد تابع تولید بخش معدن استفاده کرده است. وی به این نتیجه رسیده است که تابع تولید کاب داگلاس نتایج نزدیک به نظریه‌های اقتصادی را به دست می‌دهد. در این مطالعه به منظور برآورد توابع تولید از روش‌های حداقل مربعات ادغام شده (PLS) و حداقل مربعات تعمیم یافته (GLS) استفاده شده 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 داده‌های ۱۳۳۸-۱۳۸۲ و تخمین خطی مقید استفاده شده است. در تعدادی از مطالعات مانند وانگ و تسای<sup>۱</sup> (۲۰۰۳)، کوان و اینوی<sup>۲</sup> (۲۰۰۳) و سینسرا<sup>۳</sup> (۱۹۹۸) کشش‌های تولید نسبت به عامل سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه محاسبه شده است. همچنین در مطالعات مشیری و نیک پور (۱۳۸۶)، پژوهان و فقیه‌نصیری (۱۳۸۷)، محمود زاده (۱۳۸۹)، دلیری و دیگران (۱۳۸۹) و آذربایجانی و همکاران (۱۳۹۰) تابع تولید کل اقتصاد با استفاده از داده‌های پنل و در نظر گرفتن تابع تولید کاب-داگلاس برآورد کرده‌اند.

چنانچه ملاحظه می‌گردد، در هیچ یک از مطالعات قبلی انجام شده در مورد ایران از روش الگوریتم ژنتیک برای برآورد توابع تولید غیرخطی CES چند مرحله‌ای استفاده نشده است. همچنین اکثر توابع برآورد شده به صورت خطی برآورد شده است. چنانکه اشاره گردید، یکی از اهداف این مقاله پر کردن این خلاء با استفاده از روش هوشمند تکاملی (الگوریتم ژنتیک) است که می‌تواند برای بهینه‌سازی غیرخطی و خطی به کار گرفته شود.

بنابراین تفاوت این مطالعه نسبت به مطالعات مشابه این می‌باشد که در این مطالعه تابع تولید CES چند مرحله‌ای با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک پیوسته و به صورت عددی و غیرخطی که کارایی بیشتری نسبت به روش‌های معمول اقتصادسنجی دارد<sup>۴</sup>، تخمین زده شده است. پس از برآورد الگو دقت برازش براساس داده‌های سال‌های ۱۳۸۳ و ۱۳۸۹ آزمون و پس از آن کشش‌های جانشینی

1. Wang
2. Kwon
3. Cincera

۴. با توجه به این نکته که الگوریتم ژنتیک مبتنی بر روش‌های تکرار است. همچنین این روش به صورت تصادفی به بررسی متغیرها متغیرها می‌پردازد.

نهاده‌های تولید محاسبه گردیده است. همچنین در این مطالعه سه الگوی متفاوت  $(K, L) - (E, A)$ ،  $(K, E) - (L, A)$ ،  $(K, A) - (E, L)$  توسعه داده شده است (با ۴ نهاده تولید). در بین این الگوها بهترین الگو انتخاب و تولید نهایی نهاده‌های تولید توسط این تابع تولید مورد بررسی قرار گرفته است.

### ۳. مبانی نظری

رابطه تابع تولید CES که دو عامل تولید داشته باشد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$Y = A[ax_1^{-\rho} + (1-a)x_2^{-\rho}]^{-\frac{v}{\rho}} \quad (۱)$$

که در آن،  $Y$  محصول<sup>۱</sup> و  $(x_1, x_2)$  نهاده‌های تولید مانند نیروی کار و سرمایه می‌باشند.  $0 < a < 1$  پارامتر توزیع<sup>۲</sup> نامیده می‌شود.  $\rho > -1$  پارامتر کشش<sup>۳</sup> و  $v \geq 0$  پارامتر بازده نسبت به مقیاس<sup>۴</sup> می‌باشد. در این تابع کشش جانشینی از رابطه (۲) قابل محاسبه می‌باشد.

$$\sigma = \frac{1}{1+\rho} \quad (۲)$$

با توجه به رابطه (۲) مقدار ثابتی است که به پارامتر جانشینی بستگی دارد. وقتی  $\rho < -1$  برآورد می‌شود، کشش جانشینی  $\sigma$  مقدار منفی خواهد داشت که از نظر تئوری غیرممکن است (پیوارس<sup>۵</sup>، ۱۹۸۶).

تغییرات تکنولوژی عامل بسیار مهمی است که تولید را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به گونه‌ای که اگر همه نهاده‌های تولید را ثابت در نظر بگیریم با افزایش دانش و پیشرفت تکنولوژی تولید افزایش خواهد یافت. به دو صورت می‌توان تغییرات تکنولوژی را بر تولید به حساب آورد. ۱. تغییرات تکنولوژی خنثی هیکس<sup>۶</sup> که در مطالعه دوپوی<sup>۷</sup> (۲۰۰۶) بررسی شده است، ۲. تغییرات تکنولوژی که یک نهاده تولید را تقویت می‌کند (کلامپ<sup>۸</sup>، ۲۰۰۷). در این مطالعه با استفاده از متغیر سرمایه-گذاری دولتی در تحقیق و توسعه فرض شده است که هر چه این سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و

- 
1. Output
  2. Distribution parameter
  3. Substitution parameter
  4. Returns to scale parameter
  5. Prywes
  6. Hicks-neutral
  7. Dupuy
  8. Klump et al.

توسعه بیشتر شود تغییرات تکنولوژیکی و در نتیجه تولید بیشتری را خواهیم داشت. بنابراین متغیر سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه به‌عنوان یک نهاده وارد الگو شده است.

بدون مصرف انرژی امکان تولید وجود نخواهد داشت. بنابراین توابع تولیدی که در آن‌ها انرژی به عنوان نهاده تولید نادیده گرفته شده است، کامل نمی‌باشند. در این مطالعه علاوه بر نیروی کار و سرمایه و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه همچنین انرژی به‌عنوان عوامل تولید در نظر گرفته شده است. بنابراین در این مطالعه چهار نهاده تولید داریم.

کازو ساتو<sup>۱</sup> (۱۹۶۷) مدل CES را برای بیشتر از دو نهاده تعمیم داده است. بر اساس مدل ساتو  $Y = f(x_1, x_2, x_3, x_4)$  که  $Y$  تولید و  $x_i$  نهاده تولید می‌باشد. هم اکنون با توجه به رابطه (۳)  $x_1$  و  $x_2$  را در قالب تابع CES ترکیب می‌کنیم و  $Z_1$  را بوجود می‌آوریم. در مرحله بعد  $x_3$  و  $x_4$  را ترکیب می‌کنیم و  $Z_2$  را بدست می‌آوریم (رابطه ۴). حال  $Z_1$  و  $Z_2$  را به شکل CES ترکیب کرده و تابع تولید را بدست می‌آوریم (رابطه ۵).

$$Z_1 = [ax_1^{-\rho_1} + (1-a)x_2^{-\rho_1}]^{-\frac{1}{\rho_1}} \quad (3)$$

$$Z_2 = [bx_3^{-\rho_2} + (1-b)x_4^{-\rho_2}]^{-\frac{1}{\rho_2}} \quad (4)$$

$$Y = [cZ_1^{-\rho} + (1-c)Z_2^{-\rho}]^{-\frac{1}{\rho}} \quad (5)$$

در این روابط  $\rho_1, \rho_2, \rho$  پارامترهای کشش،  $a, b, c$  پارامترهای توزیع و  $v$  پارامتر بازده می‌باشد. بازه این پارامترها مانند بازده پارامترهای ذکر شده در رابطه ۱ می‌باشد. در تابع تولید CES سه سطحی<sup>۲</sup> فوق در مرحله اول متغیرهای  $x_1$  و  $x_2$  را ترکیب می‌کنیم ( $CE_{S1}$ ). در مرحله دوم  $x_3$  و  $x_4$  را ترکیب کرده ( $CE_{S2}$ ) و در مرحله آخر دو تابع تولید CES فوق را ترکیب می‌کنیم. همان‌گونه که ذکر شد در این مطالعه کشش‌های جانشینی تابع تولید سه مرحله‌ای با چهار نهاده تولید سرمایه ( $K$ )، نیروی کار ( $L$ )، سرمایه در تحقیق و توسعه ( $A$ ) و انرژی ( $E$ ) می‌باشد. در این مطالعه سه الگو با ترکیب‌های مختلف از نهاده‌ها در نظر گرفته شده است:  $(K, L) - (E, A)$ ،  $(K, E) - (L, A)$ ،  $(K, A) - (E, L)$  که در ادامه به بررسی هر یک از این الگوها خواهیم پرداخت.

1. Kazuo Sato

2. Three level CES production function



۱. ترکیب  $(K, L) - (E, A)$ : سرمایه و نیروی کار در مرحله اول با هم در نظر گرفته می‌شوند و پس از آن در مرحله دوم انرژی و تحقیق و توسعه در نظر گرفته خواهد شد. در مرحله آخر نیز این دو ترکیب به هم ترکیب خواهند شد.

$$Y_{(K,L)(E,A)} = f(K, L, E, A) \quad (۶)$$

۲. ترکیب  $(K, E) - (L, A)$ : سرمایه و انرژی در مرحله اول با هم در نظر گرفته می‌شوند و پس از آن در مرحله دوم نیروی کار و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه در نظر گرفته خواهد شد. در مرحله آخر نیز این دو ترکیب به هم ترکیب خواهند شد.

$$Y_{(K,E)(L,A)} = f(K, E, L, A) \quad (۷)$$

۳. ترکیب  $(K, A) - (L, E)$ : سرمایه و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه در مرحله اول با هم در نظر گرفته می‌شوند و پس از آن در مرحله دوم نیروی کار و انرژی در نظر گرفته خواهد شد. در مرحله آخر نیز این دو ترکیب به هم ترکیب خواهند شد.

$$Y_{(K,A)(L,E)} = f(K, A, L, E) \quad (۸)$$

تولید نهایی<sup>۱</sup> نشان دهنده تولید نهایی تولید<sup>۲</sup> هر یک از نهاده‌های تولید می‌باشد. در این مطالعه بعد از برآورد غیرخطی پارامترها و محاسبه کشش‌ها به روش الگوریتم ژنتیک به تحلیل تولید نهایی پرداخته شده است. با گرفتن دیفرانسیل کامل از دو طرف رابطه (۵) خواهیم داشت:

$$\frac{dY}{Y} = \mu_1 \frac{dx_1}{x_1} + \mu_r \frac{dx_r}{x_r} + \mu_f \frac{dx_f}{x_f} + \mu_e \frac{dx_e}{x_e} \quad (۹)$$

که پارامترهای این رابطه در روابط ۱۰ تا ۱۶ تعریف شده است.

$$\begin{aligned} \mu_1 &= \delta_1 \gamma_{11} \quad , \quad \mu_r = \delta_r \gamma_{1r} \\ \mu_f &= \delta_f \gamma_{fr} \quad , \quad \mu_e = \delta_e \gamma_{er} \end{aligned} \quad (۱۰)$$

$$\gamma_{11} = \frac{ax_1^{-\rho_{1r}}}{ax_1^{-\rho_{1r}} + (1-a)x_r^{-\rho_{1r}}} \quad (۱۱)$$

1. Marginal productivity

2. Production efficiency

$$\gamma_{1r} = \frac{(1-a)x_r^{-\rho_{1r}}}{ax_r^{-\rho_{1r}} + (1-a)x_r^{-\rho_{1r}}} \quad (12)$$

$$\gamma_{r2} = \frac{bx_r^{-\rho_{r2}}}{bx_r^{-\rho_{r2}} + (1-b)x_r^{-\rho_{r2}}} \quad (13)$$

$$\gamma_{r3} = \frac{(1-b)x_r^{-\rho_{r3}}}{bx_r^{-\rho_{r3}} + (1-b)x_r^{-\rho_{r3}}} \quad (14)$$

$$\delta_1 = \frac{vcZ_1^{-\rho}}{cZ_1^{-\rho} + (1-c)Z_r^{-\rho}} \quad (15)$$

$$\delta_r = \frac{v(1-c)Z_r^{-\rho}}{cZ_1^{-\rho} + (1-c)Z_r^{-\rho}} \quad (16)$$

که در روابط ۱۵ و ۱۶، متغیرهای  $Z_1$  و  $Z_r$  بر اساس نهاده‌های تولید در روابط ۳ و ۴ آمده است.

در اقتصاد، تولید نهایی تغییرات تولید به ازای یک واحد تغییر در یک نهاده تولید می‌باشد. فرض می‌کنیم که تنها یک نهاده تولید مثل  $X$  تغییر کند، در این صورت تولید نهایی نهاده  $X$  به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$MP_X = \frac{\Delta Y}{\Delta X} \quad (17)$$

که در این رابطه تغییر در نهاده موردنظر و تغییر در مقدار تولید خواهد بود.

بنابراین با توجه به رابطه ۹ تا ۱۷ تولید نهایی نهاده‌های  $x_1, x_r, x_3, x_4$  به ترتیب در روابط ۱۸ تا ۲۱ آمده است.

$$MP_{x_1} = \frac{\partial Y}{\partial x_1} = \mu_1 \frac{Y}{x_1} \quad (18)$$

$$MP_{X_r} = \frac{\partial Y}{\partial x_r} = \mu_r \frac{Y}{x_r} \quad (19)$$

$$MP_{X_r} = \frac{\partial Y}{\partial X} = \mu_r \frac{Y}{x_r} \quad (20)$$

$$MP_{X_r} = \frac{\partial Y}{\partial X} = \mu_r \frac{Y}{x_r} \quad (21)$$

#### ۴- روش شناسی

به منظور برآورد تابع تولید غیر خطی باید از روش‌های عددی پارامترهای الگو را به گونه‌ای تعیین کنیم که تابع ضرر<sup>۱</sup>  $(\sum_{t=1355}^{1384} (Y_t - \hat{Y}_t)^2)$  را حداقل نماییم. روش‌های مختلف غیر خطی برای برآورد پارامترهای الگو عبارت است از حرکت الگوی هوک-جیوز<sup>۲</sup>، هوک جیوز شبه نیوتنی<sup>۳</sup>، روزنبراک شبه نیوتنی<sup>۴</sup>، دیفرانسیل تکاملی<sup>۵</sup>، RPS<sup>۶</sup> نام برد. در بین این روش‌ها دو روش آخر به دلیل ماهیت تصادفی در بین روش‌های بهینه‌سازی از محبوبیت بیشتری برخوردارند (میشرا<sup>۷</sup>، ۲۰۰۶).

کمنتا<sup>۸</sup> (۱۹۶۷) برای برآورد تابع تولید با بازده غیرثابت CES از بسط تیلور استفاده کرده و به خطی‌سازی تابع تولید CES تک سطحی<sup>۹</sup> پرداخته است. لی<sup>۱۰</sup> (۲۰۰۰) روش خطی‌سازی کمنتا را برای تابع تولید CES دو سطحی<sup>۱۱</sup> بسط داده است. وی این تابع تولید را به دو تابع تولید CES تک سطحی تقسیم کرده و فرمولی برای برآورد مرحله مرحله این تابع تولید با توجه به روش کمنتا (۱۹۶۷) داده است. لیو (۲۰۰۹) همچنین از روش خطی‌سازی برای برآورد تابع تولید مطالعه خود استفاده کرده است، که به این منظور دو تابع تولید CES تک سطحی را ترکیب کرده است. در برآورد تابع تولید CES دوسطحی با روش خطی‌سازی، علاوه بر خطاهای بر اثر بسط سری و تقریبی که زده شده است (خطی‌سازی که صورت گرفته است)، در نتیجه ترکیب دو تابع تولید CES تک سطحی نیز خطاهایی به وجود خواهد آمد.

1. Loss Function
2. Hooke-Jeeves Pattern Moves (JPM)
3. Hooke-Jeeves-Quasi-Newton (HJQN)
4. Rosenbrock-Quasi-Newton (RQN)
5. Differential Evolution (DE)
6. Repulsive Particle Swarm (RPS)
7. Mishra
8. Kmenta
9. Single Level CES Production Function
10. Li
11. Two-Level CES Production Function

مارکاندیا و پدروسو گالیناتو<sup>۱</sup> (۲۰۰۷) به روش های برآورد غیر خطی<sup>۲</sup> تابع تولید غیرخطی را برآورد کرده‌اند. این روش از یک فرآیند تکراری<sup>۳</sup> برای پیدا کردن مقادیر پارامترها برای حداقل کردن مجموع مربعات خطا<sup>۴</sup> (SSR) می‌پردازد. این روش با تقریبی حدسی از مقادیر پارامترها و محاسبه مقادیر باقیمانده به حداقل سازی SSR می‌پردازد. بعد از این که همگرایی به وجود آمد آن یک سری از مقادیر اولیه برای پارامترها به وجود می‌آورد. در مرحله بعد یکی از پارامترها را به صورت مستقیم تغییر داده و دوباره به محاسبه مقادیر باقیمانده می‌پردازد و بررسی می‌کند که SSR به وجود آمده در این مرحله بیشتر شد یا کمتر. این فرآیند ادامه پیدا می‌کند تا همگرایی به وجود آید. وقتی فرآیند تکرار پایان می‌یابد که با تغییر هر پارامتر مقدار SSR افزایش یابد.

تفاوت این مطالعه نسبت به مطالعات ذکر شده در روش حداقل سازی RSS می‌باشد، در این مطالعه، از روش بهینه‌سازی تکاملی الگوریتم ژنتیک پیوسته (روشی تصادفی و عددی در بهینه‌سازی) برای حداقل سازی RSS استفاده می‌نماییم. در ادامه به توضیح مختصری از الگوریتم ژنتیک و اجزای آن خواهیم پرداخت.

#### ۱-۴ الگوریتم ژنتیک

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 (یا GA) یک تکنیک برنامه‌نویسی است که از تکامل ژنتیکی به عنوان یک الگوی حل مسئله استفاده می‌کند. مطمئناً الگوریتم ژنتیک بهترین روش برای حل تمامی مسائل نیست. به‌عنوان مثال، روش‌های سنتی می‌توانند به سرعت راه حل یک تابع تحلیلی محدب خوش رفتار با تعداد محدودی متغیر را پیدا کنند. در چنین مواقعی روش‌های کاردیان بهتر از الگوریتم ژنتیک عمل می‌کند. از مزایای الگوریتم ژنتیک می‌توان به توانایی انجام بهینه‌سازی با متغیرهای گسسته و پیوسته، عدم نیاز به مشتق‌گیری که مشکلات تابع گسسته، توانایی کار کردن با متغیرهای زیاد، تشخیص کمینه‌های بهینه و توانایی کار با داده‌های عددی، تجربی و تابع تحلیلی اشاره کرد (هاپت<sup>۵</sup>، ۱۹۹۶).

الگوریتم ژنتیک به دو دسته الگوریتم ژنتیک دودویی و پیوسته تقسیم می‌شود. در این مطالعه به دلیل پیوسته بودن پارامترها از الگوریتم ژنتیک پیوسته استفاده شده است. مراحل انجام یک الگوریتم ژنتیک پیوسته مانند همه الگوریتم‌های بهینه‌سازی از تعریف متغیرها و تابع هدف شروع می‌شود و با بررسی همگرایی به پایان می‌رسد.

1. Markandya and Pedroso-Galinato
2. Nonlinear Estimation Method
3. Iterative Procedure
4. Sum of Squared Residuals
5. Haupt

## ۲-۴ اجزای سازنده الگوریتم ژنتیک پیوسته

به منظور برآورد پارامترهای الگو در حل مسئله بهینه‌سازی، هدف ما حداقل‌سازی مجموع مربعات خطا می‌باشد.

$$RSS = \sum_{t=1357}^{1382} (Y_t - \hat{Y}_t)^2 \quad (22)$$

در این تابع هدف مقادیر مختلف RSS به ازای مقادیر مختلف پارامترها مورد بررسی قرار خواهد گرفت. به صورت چرخه‌ای الگوریتم ادامه پیدا می‌کند تا مقدار حداقل RSS محاسبه شود. داده‌های متغیرهای مستقل موجودی سرمایه (K)، نیروی کار (L)، انرژی (E) و سرمایه‌گذاری تحقیق و توسعه دولتی (A) و متغیر وابسته تولید ناخالص داخلی (Y) برای سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۹ برای اقتصاد ایران می‌باشد.

به منظور آغاز فرآیند تنظیم متغیرها توسط الگوریتم ژنتیک، یک کروموزوم را به صورت آرایه‌ای از مقادیر متغیرها (در این جا پارامترهای تابع تولید می‌باشد) که تابع هدف براساس این متغیرها باید بهینه شود، تعریف می‌کنیم. کروموزوم‌های مسأله مورد بررسی این مطالعه در رابطه ۲۳ آمده است.

$$Chro = (a, b, c, \rho_{1r}, \rho_{rf}, \rho, \nu) \quad (23)$$

ضریب تشخیص ( $R^2$ ) که میزان برازش را نشان می‌دهد توسط رابطه ۲۴ قابل محاسبه است.

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{t=1357}^{1382} (Y_t - \hat{Y}_t)^2}{\sum_{t=1357}^{1382} (Y_t - \bar{Y}_t)^2} \quad (24)$$

که در این رابطه  $\hat{Y}$  تولید برآورد شده و  $\bar{Y}_t$  میانگین تولید بین سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۲ می‌باشد. جمعیت اولیه را با ۱۰۰۰۰ کروموزوم آغاز می‌کنیم. کروموزوم‌های جمعیت اولیه که به اندازه کافی برای زنده ماندن مناسب هستند انتخاب می‌شوند. این کروموزوم‌ها فرزندان نسل‌های آینده را بوجود می‌آورند. در ابتدا تابع هدف را از کم به زیاد مرتب می‌کنیم. کروموزومی که بالاترین عضو ماتریس تابع هدف را به وجود آورده بهترین کروموزوم می‌باشد. کروموزوم‌های مربوط به هر مقدار از تابع هدف

۱. منبع جمع‌آوری داده بانک مرکزی (داده‌های سری زمانی) می‌باشد.
۲. منبع جمع‌آوری داده مرکز آمار ایران (داده‌های سری زمانی) می‌باشد.
۳. منبع جمع‌آوری داده تراز نامه انرژی (سال‌های مختلف) می‌باشد.
۴. منبع جمع‌آوری داده (WDI (2012) می‌باشد.
۵. منبع جمع‌آوری داده بانک مرکزی (داده‌های سری زمانی) می‌باشد.
۶. که جمعیت بسیار بزرگی است و دقت برآورد را بالا می‌برد.

را نیز از کمترین به بیشترین تابع هدف مرتب می‌کنیم. پس از این کروموزوم‌های آخر لیست ضعیف هستند که باید از بین بروند.

کروموزوم‌های اولیه که ضعیف هستند نابود می‌شوند و فرزندان به‌وجود آمده جایگزین این کروموزوم‌های ضعیف می‌شوند. این فرآیند در هر تکرار از الگوریتم رخ می‌دهد تا مناسب‌ترین اعضایی از جمعیت کروموزوم‌ها که توسط تابع هزینه مشخص می‌شوند در نسل‌های بعدی تکامل یابند. در این مطالعه نرخ تغییر نسل برابر با  $0/5$  در نظر گرفته شده است. یعنی در هر مرحله  $50$  درصد از جمعیت پایینی کروموزوم‌ها حذف و  $50$  درصد بالایی انتخاب می‌شوند.

در این مطالعه با توجه به نرخ تغییر نسل  $5000$  کروموزومی که از بقیه مناسب‌ترند استخر تولید مثل را به‌وجود می‌آورند. در استخر تولید مثل دو جفت مادر و پدر با یک روش تصادفی با هم زوج می‌شوند. بنابراین  $2500$  زوج برای جفت‌گیری داریم. هر یک از زوجها دو فرزند به‌وجود می‌آورند که دارای خصوصیتی از هر دو والد هستند. والدین هم زنده می‌مانند تا بخشی از نسل بعدی را تشکیل دهند. برای جفت‌گیری از روش وزن دهی بر اساس ارزش استفاده شده است (هاپت،  $1996$ ). دو والد انتخاب شده در مرحله جفت‌گیری، با هم ترکیب شده و فرزندان را به‌وجود می‌آورند، روش‌های گوناگونی برای تولید مثل وجود دارد، در این مطالعه از روش ترکیب مکاشفه‌ای (مایکلویتز) برای تولید مثل استفاده شده است (مایکلویتز،  $1994$ ).

اگر مراقب نباشیم ممکن است الگوریتم ژنتیک به‌سرعت به سوی ناحیه‌ای 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 به کمینه محلی همگرا شود. در این توابع اگر هیچ کاری نکنیم و الگوریتم را به حال خود رها کنیم به‌سوی کمینه محلی همگرا خواهد شد و به‌جای کمینه سراسری یک کمینه محلی را گزارش خواهد داد. برای اجتناب از این مشکل با ایجاد تغییرات تصادفی (جهش) در متغیرها الگوریتم را وادار می‌کنیم تا مناطق دیگر رویه تابع هدف را مورد بررسی قرار دهد. نرخ جهش برابر  $0/2$  در نظر گرفته می‌شود تا به قسمت دیگر رویه حرکت کنیم<sup>۱</sup>.

## ۵. برآورد الگو و تحلیل نتایج

سه الگوی مطرح شده در مبانی نظری به‌کمک روش الگوریتم ژنتیک با استفاده از داده‌های سال - های  $1357$  تا  $1382$  نتایج برآورد در جدول شماره ۱ آمده است. (از داده‌های سال های  $1383$  -  $1389$  به منظور بررسی قدرت پیشبینی و انتخاب الگوی مناسب استفاده شده است.) با توجه به جدول شماره ۱ در هر سه الگو بازده صعودی نسبت به مقیاس  $(1 > \nu)$  وجود دارد. و پارامتر بازده در هر سه الگو تقریباً  $1/1$  به‌دست آمده است.

۱. یعنی از  $10000$  کروموزوم موجود  $2000$  کروموزوم را در هر مرحله جهش می‌دهیم.

پس از برآورد پارامترها و رسم مقادیر واقعی تولید و مقادیر پیش‌بینی شده توسط سه الگوی مورد نظر (شکل شماره ۱) به محاسبه خطای پیش‌بینی برای سال‌های ۱۳۸۵ و ۱۳۸۶ با استفاده از رابطه ۲۵ پرداخته شده است. که هر چه خطای پیش‌بینی مقدار کمتری داشته باشد تابع تولید مورد نظر برای اقتصاد ایران مناسب‌تر است.

$$LAD_{PR} = \sum_{t=1382}^{1389} |Y_t - \hat{Y}_t| \quad (25)$$

نتایج خطای پیش‌بینی حاصل شده در جدول (۲) آمده است. با توجه به مقادیر به‌دست آمده الگوی KELA به دلیل داشتن کمترین مقدار خطا در پیش‌بینی مناسب‌ترین الگو می‌باشد.

جدول ۱: نتایج تخمین برای سه الگوی فرضی

الگوی شماره ۱			
$v$	$c$	$b$	$a$
۱.۱۱	۰.۴۲	۰.۶۰	۰.۶۹
	$\rho_{KLEA}$	$\rho_{EA}$	$\rho_{KL}$
	-۰.۲۰	۱.۱۸	۱.۵۶
الگوی شماره ۲			
$v$	$c$	$b$	$a$
۱.۰۵	۰.۷۶	۰.۳۳	۰.۷۹
	$\rho_{KELA}$	$\rho_{LA}$	$\rho_{KE}$
	-۰.۵۴	۱.۵۲	۰.۷
الگوی شماره ۳			
$v$	$c$	$b$	$a$
۱.۰۶	۰.۴۵	۰.۲۴	۰.۹۶
	$\rho_{KAEL}$	$\rho_{EL}$	$\rho_{KA}$
	-۰.۲۸	۰.۸۰	۰.۲۴

جدول شماره ۲: مقادیر خطای پیش‌بینی و ضریب تشخیص جهت تعیین تابع تولید مناسب

خطای پیش‌بینی ( $LAD$ ) <sub>PR</sub>	ضریب تشخیص ( $R^2$ )	مجموع مربعات خطا ( $RSS$ )	الگو
$9,8 \times 10^4$	۰.۹۷۷۹	$1,9 \times 10^9$	KLEA
$7,0 \times 10^4$	۰.۹۷۵۶	$2,2 \times 10^9$	KELA
$7,4 \times 10^4$	۰.۹۷۶۷	$2,1 \times 10^9$	KAEL

با استفاده از رابطه (۲) کشت‌های جانشینی نهاده‌های تولید محاسبه و در جدول (۳) آمده است. با توجه به این جدول کشت جانشینی بین انرژی و سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه ( $\sigma_{EA}$ ) ۰/۴۶ به دست آمده است. که این نشان‌دهنده این است که می‌توان با افزایش ۱ درصد سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه در انرژی به اندازه ۰/۴۶ درصد صرفه جویی کرد. کشت‌های محاسبه شده بین نهاده‌های دیگر تولید که در جدول (۳) آمده است نیز به همین صورت قابل تفسیر است.

جدول ۳: کشت‌های جانشینی محاسبه شده

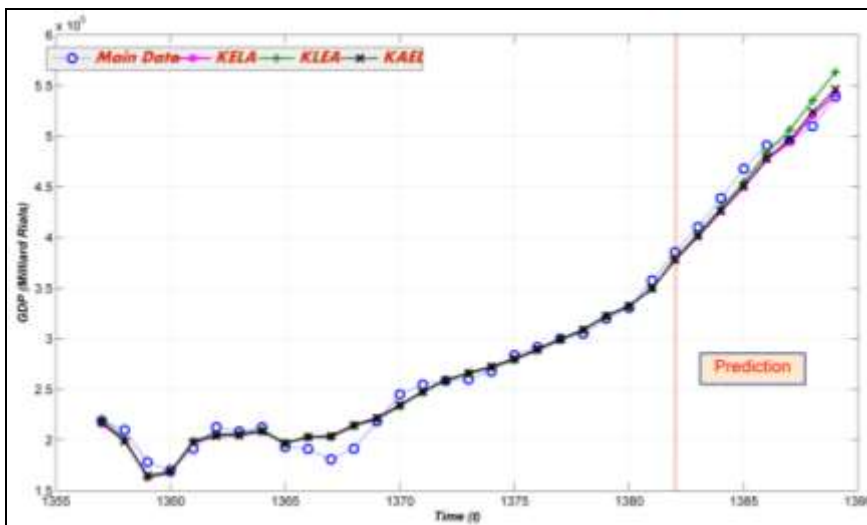
کشت جانشینی			الگو
$\sigma_{KLEA}$	$\sigma_{EA}$	$\sigma_{KL}$	KLEA
۱.۲۴۳	۰.۴۶۰	۰.۳۹۲	
$\sigma_{KELA}$	$\sigma_{LA}$	$\sigma_{KE}$	KELA
۲.۱۷۱	۰.۳۹۷	۰.۵۹	
$\sigma_{KAEL}$	$\sigma_{EL}$	$\sigma_{KA}$	KAEL
۱.۳۷۹	۰.۵۵۷	۰.۸۰۸	

همان‌گونه که مطرح شد بهترین الگو KELA می‌باشد. با توجه به مقادیر برآورد شده در این الگو (جدول ۱) و همچنین روابط ۹ تا ۲۱ مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده تولید نهایی در شکل‌های ۲ تا ۵ آمده است.

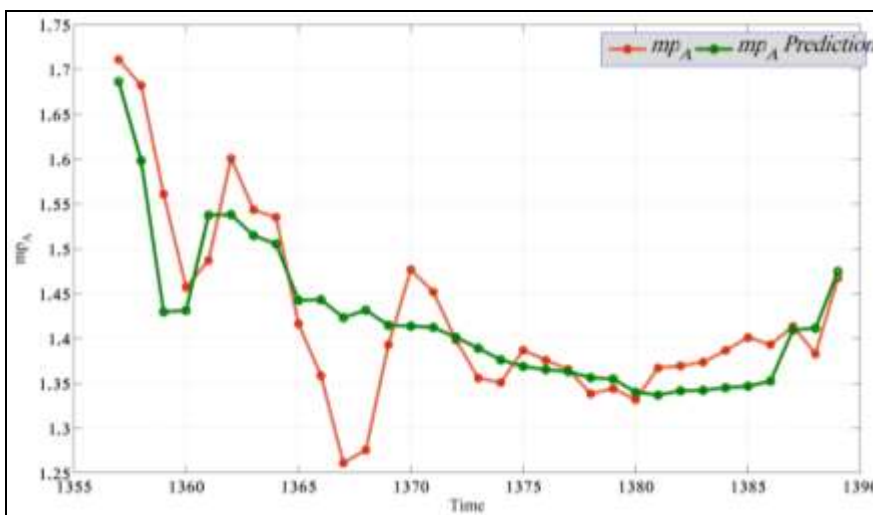
با توجه به این نمودارها الگوی توسعه داده شده قدرت بالایی در پیش‌بینی دارد که این به دلیل برآورد غیر خطی الگو می‌باشد.

با توجه به شکل شماره ۳، بین سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۷۴ تولید نهایی انرژی روندی کاهش داشته است. ولی از سال ۱۳۷۴ تا سال ۱۳۸۹ به دلیل بهینه‌سازی‌های صورت گرفته و همچنین سیاست‌های اجرا شده به منظور هدفمندتر استفاده کردن از انرژی، تولید نهایی مصرف انرژی با روندی مشخص رو به افزایش بوده است.

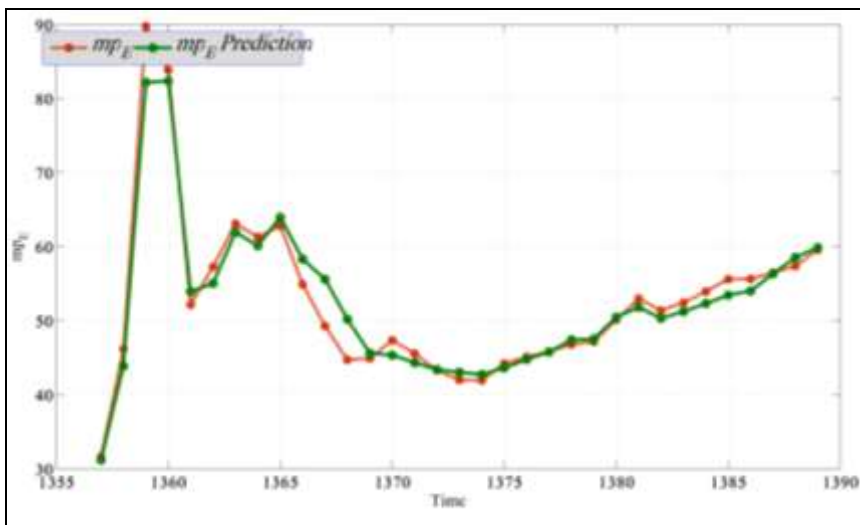




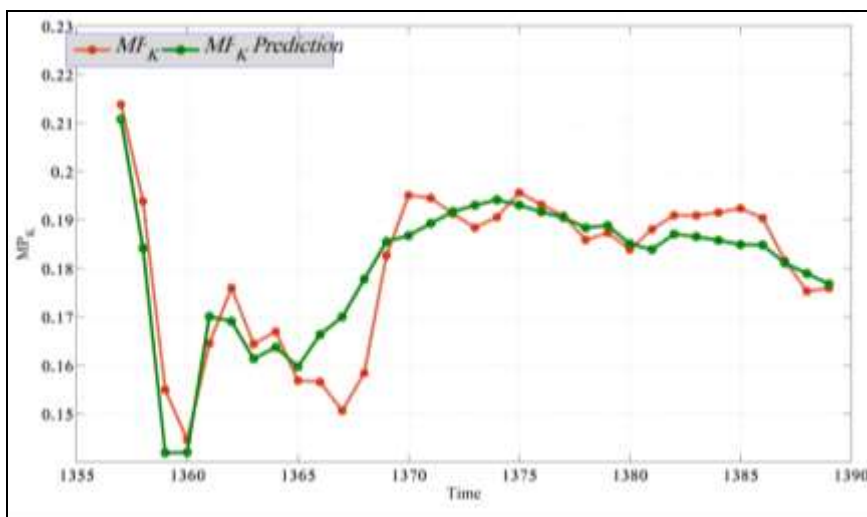
شکل ۱: نتایج تخمین تولید و دقت پیش‌بینی در سه الگو



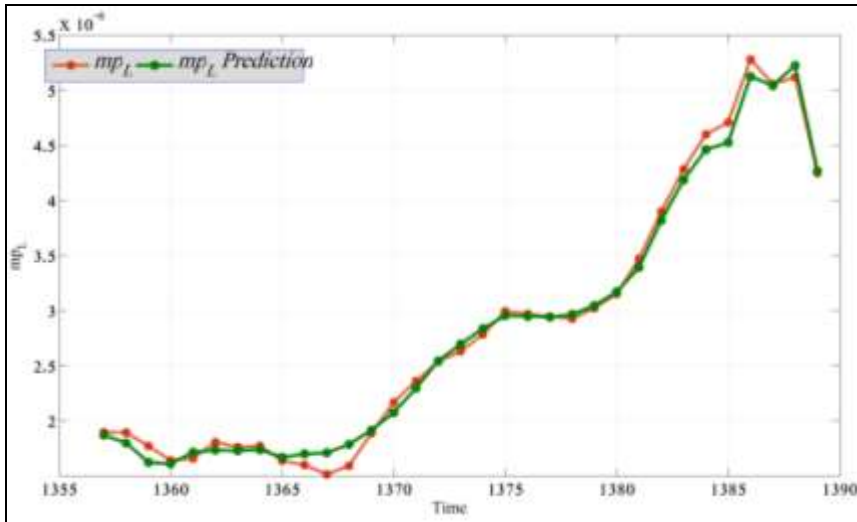
شکل ۲: تولید نهایی سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (مقدار واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگو)



شکل ۳: تولید نهایی انرژی (مقدار واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگو)



شکل ۴: تولید نهایی سرمایه (مقدار واقعی و پیش‌بینی شده توسط الگو)



شکل ۵: تولید نهایی نیروی کار (مقدار واقعی و پیش بینی شده توسط الگو)

## ۶. نتیجه گیری

در این مطالعه ابتدا به منظور بررسی کشش‌های جانشینی، تابع تولید CES چندمرحله‌ای برای اقتصاد ایران با در نظر گرفتن چهار نهاده‌های تولید، نیروی کار (L)، سرمایه (K)، سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه (A) و انرژی (E) در سه الگوی مختلف برآورد شده است.

پارامترهای تابع تولید CES چندمرحله‌ای در مطالعات مختلف با استفاده از روش‌های اقتصادسنجی و به روش‌های خطی‌سازی تخمین زده شده است. بر اساس داده‌های سال‌های ۱۳۵۷ تا ۱۳۸۲ این تابع تولید با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک پیوسته و به صورت عددی و غیرخطی که تولید نهایی بیشتری دارد، تخمین زده شده است. نتایج نشان می‌دهد که قدرت پیش‌بینی الگو بسیار بالاست.

بر اساس نتایج کشش‌های جانشینی بین انرژی با سرمایه ( $\sigma_{KE}$ )، نیروی کار ( $\sigma_{LE}$ ) و سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه ( $\sigma_{EA}$ ) به ترتیب ۰/۵۹، ۰/۵۶ و ۰/۴۶ به دست آمده است. این به معنی این است که با افزایش یک درصد نیروی کار در تولید ۰/۵۶ درصد صرفه‌جویی در انرژی خواهیم داشت. همچنین با افزایش یک درصدی سرمایه، صرفه‌جویی ۰/۵۹ درصدی در مصرف انرژی و به همین صورت با افزایش یک درصدی سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه ۰/۴۶ درصد صرفه‌جویی در انرژی داریم.

نتایج حاصل از محاسبه تولید نهایی طی سال‌های مختلف نشان دهنده افزایش تولید نهایی نیروی انسانی بعد از سال‌های جنگ تحمیلی (۱۳۶۸) بوده است. همچنین تولید نهایی انرژی بعد از سال

۱۳۷۴ افزایش یافته است که می‌تواند به‌علت سیاست‌های اجرا شده به‌منظور صرفه‌جویی در مصرف انرژی باشد. تولید نهایی سرمایه قبل از سال‌های ۱۳۷۴ دارای نوسانات بسیاری بوده است ولی بعد از سال ۱۳۷۵ همزمان با افزایش تولید نهایی انرژی، روندی افزایشی داشته است.

## منابع

- آذربایجانی، کریم؛ راکی، مولود و رنجبر، همایون (۱۳۹۰)؛ تأثیر متنوع‌سازی صادرات بر بهره‌وری کل عوامل تولید و رشد اقتصادی (رویکرد داده‌های تابلویی در کشورهای گروه دی هشت)، پژوهش‌های رشد و توسعه اقتصادی، شماره ۳: ۱۶۵-۲۰۱.
- بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، نماگرهای اقتصادی، سال‌های مختلف.
- بانک مرکزی جمهوری ایران، گزارش اقتصادی و ترازنامه، سال‌های مختلف.
- خدادادکاشی، فرهاد و جانی، سیاوش (۱۳۹۰)؛ بررسی پویای رفتار تولید کنندگان در استفاده از نهاده‌ها بر مبنای تابع تولید دو مرحله‌ای CES، با تأکید بر اصلاح الگوی مصرف انرژی در تولید و ارتقای اشتغال، مطالعات اقتصاد انرژی، سال هشتم، شماره ۳۰: ۹۷-۱۲۴.
- دلیری، حسن و رنای، محسن (۱۳۸۹)؛ سرمایه اجتماعی چگونه وارد تابع تولید می‌شود؟ (طراحی یک الگوی نظری و آزمون آن در چارچوب یک مدل رشد درونزا)، اقتصاد تطبیقی، سال اول، شماره اول: ۴۱-۶۸.
- عاقلی کهنه‌شهری، لطفعلی (۱۳۸۵)؛ برآورد تابع تولید معادن کشور، پژوهش‌های اقتصادی، شماره ۶ (۱): ۳۳-۴۹.
- مشیری، سعید و نیک‌پور، سمیه (۱۳۸۶)؛ تأثیر فن‌آوری اطلاعات و ارتباطات و سرریزهای آن بر رشد اقتصادی کشور های جهان، پژوهش‌های اقتصادی ایران، سال نهم، شماره ۳۳: ۷۵-۱۰۳.
- محمودزاده، محمود (۱۳۸۹)؛ اثرات فناوری اطلاعات و ارتباطات بر بهره‌وری کل عوامل تولید در کشورهای درحال توسعه منتخب، پژوهشنامه بازرگانی، شماره ۵۷: ۶۴ - ۲۹.
- وزارت نیرو، ترازنامه انرژی (سال‌های مختلف).
- Alan, S.M. and G.R. Richard (1992); *Buying Greenhouse Insurance: The Economic Costs of CO2 Emission Limits*, MIT Press
- Arrow K.J., H.B. Chenery, B.S. Minhas B and R.M. Solow (1961); *Capital-Labor Substitution and Economic Efficiency*, *Review of Economics and Statistics*, 43(3), 225- 250.
- 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.oecdilibrary.org>
- Backus, D. K., Crucini, M. J., February (2000); *Oil prices and the terms of trade*. *Journal of International Economics* 50 (1), 185-213.
- Beckman, J., Hertel, T., (2010); *Why previous estimates of the cost of climate mitigation are likely too low*. *GTAP Working Paper* 54 (version 3).
- Bodenstein, M., Erceg, C. J., Guerrieri, L., March (2011); *Oil shocks and external adjustment*. *Journal of International Economics* 83 (2), 168-184.
- Burniaux, J.-M., Truong, T., (2002); *GTAP-E: an energy-environmental version of the GTAP model*. *GTAP Technical Paper* 16.
- Chang, K. P. (1994); *Capital-Energy Substitution and Multilevel CES Production Function*. *Energy Economics*, 16(1), 22-26.

- Chang, K.-P., (1994); Capital-energy substitution and the multi-level production function. *Energy Economics* 16 (1), 22–26.
- David, P., van de Klundert, T, (1965); Biased efficiency growth and capital-labour substitution in the U.S., 1899-1960. *American Economic Review* 55, 357–394.
- De La Grandville, O., (1989); In quest of the Slutsky diamond. *American Economic Review* 79, 468–481.
- De La Grandville, O., (2009); *Economic growth: a united approach*. Cambridge, UK: Cambridge University Press.
- De Miguel, C., Manzano, B., July (2006); Optimal oil taxation in a small open economy. *Review of Economic Dynamics* 9 (3), 438–454.
- Dhawan, R., Jeske, K., Silos, P., (2010); Productivity, energy prices and the Great Moderation: a new link. *Review of Economic Dynamics* 13 (3), 715–724.
- Dupuy, A. and de Grip A. (2006); Elasticity of Substitution and productivity, Capital and Skill Intensity Differences Across Firms, *Economics Letters* 90, 340-347.
- Haupt R. L. and S. E. Haupt (1996); *Practical Genetic Algorithms*, Second Edition, A JOHN WILEY & SONS, INC., PUBLICATION
- Jacoby, H. D., Reilly, J. M., McFarland, J. R., Paltsev, S., November (2006); Technology and technical change in the MIT EPPA model. *Energy Economics* 28 (5-6), 610–631.
- Kemfert, C., (1998); Estimated substitution elasticities of a nested CES production function approach for Germany. *Energy Economics* 20 (3), 249–264.
- Kemfert, C., Heinz, W., (2000); Energy-capital-labour substitution and the economic effects of CO2 abatement: Evidence for Germany. *Journal of Policy Modeling* 22 (6), 641–660.
- Kazuo S. (1967); Two Level Constant – Elasticity of Substitution Production Function, 34(2), 201-218
- Klump, R., Saam, M., (2007); Calibration of Normalized CES Production Functions in Dynamic Models. Goethe University Frankfurt.
- Kwon, Hyeog Ug and Tomohiko Inui (2003); R&D and productivity growth in Japanese manufacturing firms. *Economic and Social Research Institute Discussion Paper No. 44*.
- Klump, R., de la Grandville, O., (2000); Economic growth and the elasticity of substitution: Two theorems and some suggestions. *American Economic Review* 90 (1), 282–291.
- Kuper, G., van Soest, D., (2003); Path-dependency and input substitution: Implications for energy policy modelling. *Energy Economics* 25, 397–407.
- Lecca, P., Swales, K., Turner, K., (2011); An investigation of issues relating to where energy should enter the production function. *Economic Modelling* 28 (6), 2832–2841.
- Lv, Z.; Guo, J. and Y. Xi (2009); Econometric Estimate and Selection on China Energy CES Production Function. *China Popul Resources Environ*, 19(4), 156–16

- Li, Z. (2000); *Econometrics*, Higher education press, Beijing, China Kmenta J. (1967), One the Estimation of the CES Production Function, *International Economic Review*, 8, 180-189.
- Markandya, A. and S. Pedroso-Galinato (2007); How Substitutable is Natural Capital? *Environment Resource Economic*, 37, 297-312.
- Mishra, S.K. (2006); *Globalization and Structural changes in the Indian Industrial Sector: An Analysis of Production Functions*, MPRA Paper No. 1333.
- Michalewicz, Z. (1994); *Genetic Algorithms + Data Structures = Evolution Programs*, Second Edition, New York, Springer Verlag.
- Prywes, M., January (1986); A nested CES approach to capital-energy substitution. *Energy Economics* 8 (1), 22-28.
- Sato, K. (1967); Two level constant elasticity of substitution production function, *Review of Economics and Statistics*, 34(2), 201-18.
- Schubert, S., Turnovsky, S., (2011); The impact of energy prices on growth and welfare in a developing open economy. *Open Economies Review* 22 (3), 365-386.
- Sue Wing, I., (2003); *Induced technical change and the cost of climate policy*. Tech. rep., MIT Joint Program on the Science and Policy of Global Change Report 102.
- Van der Werf, E., November (2008); *Production functions for climate policy modeling: an empirical analysis*. *Energy Economics* 30 (6), 2964-2979.
- Vinals, J.M., Oct-Nov (1984); Energy-capital substitution, wage flexibility and aggregate output supply. *European Economic Review* 26 (1-2), 229-245.
- Wang, Jiann-Chyuan and Kuen-Hung Tsai (2003); *Productivity Growth and R&D expenditure in Taiwan's manufacturing firms*, NBER Working Paper No 9724.