

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار:

مورد ایران

دکتر کریم اسلاملوئیان* و علی حسین استادزاد**

تاریخ پذیرش: ۶ خرداد ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: ۲۰ دی ۱۳۹۱

هدف اصلی این تحقیق، طراحی الگویی مناسب برای تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در مسیر رشد پایدار و محاسبه این سهم‌ها برای اقتصاد ایران است. در این راستا، ابتدا انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر به عنوان نهاده‌های تولید به یک الگوی رشد درونزا اضافه شده است. الگوی مورد نظر در قالب یک مسئله کنترل بهینه طراحی گردیده است. در مرحله بعد، مسیرهای بهینه مصرف، تولید و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر با ملاحظات زیست‌محیطی و بدون ملاحظات زیست‌محیطی تعیین گردیده است. نتایج بیانگر فاصله قابل توجه اقتصاد ایران از مسیر بهینه رشد پایدار است. براساس حل عددی الگو، در سال ۱۳۸۹، سهم بهینه انرژی تجدیدپذیر بایستی ۰/۸ درصد از کل انرژی باشد. اما در عمل این سهم در این سال تنها ۰/۴ درصد بوده است. همچنین با توجه به پیش‌بینی الگو، برای اینکه اقتصاد ایران تا سال ۱۴۰۰ بر مسیر رشد پایدار قرار گیرد بایستی ۲/۱ درصد از کل انرژی به وسیله انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود. دستیابی به این مهم، مستلزم رشد متوسط سالانه ۲۶ درصدی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در دوره ۱۳۸۹ تا ۱۴۰۰ است.

واژه‌های کلیدی: مدل تعمیم‌یافته رشد درون‌زا، انرژی‌های تجدیدپذیر، سهم بهینه انرژی، اقتصاد

ایران، الگوریتم ژنتیک.

طبقه‌بندی JEL: O11, O15, O41.

۱. مقدمه

استفاده از انرژی در تمام مراحل تولید لازم و ضروری است و بدون مصرف انرژی امکان تولید وجود ندارد. بنابراین، الگوهای رشد اقتصادی که نقش انرژی را بر رشد اقتصادی نادیده گرفته‌اند، کامل نیستند. بسیاری از تحقیقات در مورد انرژی و رشد اقتصادی، چگونگی تأثیر رشد اقتصادی بر روی مصرف انرژی را بیان می‌کنند و تأثیر انرژی بر رشد محصول کمتر مورد بررسی قرار گرفته است.^۱ همچنین می‌توان بیان کرد در بسیاری از الگوهای اصلی رشد اقتصادی، انرژی به عنوان یک عامل تأثیرگذار بر رشد اقتصادی در نظر گرفته نشده است.^۲ از طرف دیگر، تمام فعالیت‌های اقتصادی و مصرف انرژی به طور مستقیم و غیرمستقیم بر محیط زیست اثر می‌گذارد، به طوری که تولید انرژی در مراحل مختلف استخراج، تولید و مصرف به محیط زیست آسیب می‌رساند. ارتباط بین توسعه اقتصادی و محیط زیست، از مسائل مهم و پیچیده اقتصادی است.

از آنجا که انجام هر فعالیت اقتصادی مستلزم مصرف انرژی است، لذا از یک طرف انرژی به منزله عامل محرک رشد اقتصادی و بهبود کیفیت زندگی انسان تلقی می‌شود و از سوی دیگر، موجب تولید آلاینده‌های زیست‌محیطی می‌گردد.^۳ بنابراین، ایجاد آسیب‌های زیست‌محیطی همراه با توسعه و رشد باعث بروز یک جایگزینی بین منافع حاصل از رشد و تخریب محیط زیست گردیده و این عقیده که افزایش تولید موجب حداکثر رفاه می‌گردد را مورد تردید قرار داده است. وجود این جایگزینی موجب اهمیت و توجه بیشتر به ملاحظات زیست‌محیطی و پیامدهای جنبی ناشی از آن در طراحی سیاست‌ها و پیگیری فرایند رشد و توسعه پایدار گردیده است.^۴

با توجه به اهمیت و نقش انرژی در رشد، در این مطالعه در ابتدا انرژی، به عنوان یک نهاد تولید در نظر گرفته شده است که می‌تواند رشد را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین فرض شده است که انرژی توسط دو منبع انرژی‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود و در بخش تولید کالاهای نهایی، انرژی یک نهاد تولید است. پس از توسعه تابع تولید، پارامترهای این تابع برای اقتصاد ایران برآورد شده است. استفاده از انرژی‌های فسیلی آلودگی ایجاد می‌کند که این باعث کاهش مطلوبیت می‌شود. همچنین فرض بر این است که مصرف در طول زمان مطلوبیت فرد را افزایش می‌دهد و آلودگی ناشی از استفاده از انرژی‌های فسیلی مطلوبیت را کاهش می‌دهد.

1. Toman and Jemelkova (2003) and Aghion and Howitt (2009)

۲. همیلتون (۲۰۰۹)

3. Maddison (2001)

4. Bekerman (1992)

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۳

افزایش هزینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی انرژی‌های تجدیدناپذیر (فسیلی) باعث افزایش مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر خواهد شد. از طرف دیگر استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر آلودگی ایجاد می‌کند که این باعث کاهش مطلوبیت می‌گردد. بنابراین در این مطالعه فرض بر این است که استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر یا فسیلی از دو طریق محدود می‌گردد. ۱- افزایش هزینه‌های زیست‌محیطی در اثر کاهش منابع انرژی‌های فسیلی ۲- کاهش مطلوبیت به دلیل تولید آلودگی.

هر یک از دو عامل محدودکننده بالا برای تولید انرژی‌های تجدیدناپذیر به طور جداگانه در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. اما در مطالعه‌های موجود به طور همزمان محدودیت منابع انرژی فسیلی و محدودیت آلودگی مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف این مطالعه بررسی همزمان این دو محدودیت برای مصرف و تولید انرژی‌های فسیلی است.

چارچوب مورد استفاده در این مطالعه یک الگوی رشد تعمیم‌یافته با در نظر گرفتن انرژی (فسیلی و تجدیدپذیر) در تابع تولید است. هدف نهایی این مطالعه پس از حل الگوی تعمیم‌یافته و بررسی نتایج حاصل از الگو، پیدا کردن میزان سهم بهینه استفاده از انرژی‌های تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر از کل انرژی برای اقتصاد ایران در شرایط پایدار (شرایطی که حداکثر مطلوبیت بین دوره‌ای را داشته باشیم) است.

در این تحقیق در ابتدا تابع تولید مورد نظر برای اقتصاد ایران برآورد شده است. پس از برآورد تابع تولید مناسب، به بررسی و برآورد معادله حرکت آلودگی پرداخته شده است. سپس دو الگو مورد توجه قرار گرفته است، در ابتدا الگوی رشد درون‌زایی بدون ملاحظات زیست‌محیطی در نظر گرفته شده است و مسیر متغیرهای بهینه محاسبه گردیده است. پس از آن با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی به بررسی مسیرهای حرکت بهینه پرداخته‌ایم. پس از یافتن مسیرهای بهینه این دو حالت مورد مقایسه قرار گرفته است.

در این مطالعه به دلیل پیچیدگی الگو از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک برای حل الگو استفاده شده است. بررسی همزمان تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تاکنون برای اقتصاد ایران در چارچوب یک الگوی رشد پایدار مورد بررسی قرار نگرفته، که هدف این مطالعه پر کردن این خلأ در ادبیات مربوط است.

این مقاله در پنج قسمت تنظیم شده است. در قسمت دوم پیشینه پژوهش و مطالعات گذشته آورده شده است. در قسمت سوم مبانی نظری و روش شناسی برای برآورد الگو مورد بررسی قرار گرفته است. برآورد الگو و تحلیل نتایج در قسمت چهارم ارائه شده است. در قسمت نهایی نیز یک جمع بندی اجمالی از مطالب آورده شده و پیشنهادهایی ارائه گردیده است.

۲. پیشینه پژوهش

در این قسمت مروری بر مطالعات پیشین خواهیم داشت. الگوهای رشد با در نظر گرفتن منابع و بدون در نظر گرفتن پیشرفت تکنولوژی گروهی از مطالعات رشد اقتصادی را شامل می شوند. داسگوپتا و هیل^۱ با تعمیم الگوهای رشد و در نظر گرفتن منابع طبیعی در این الگوها نشان دادند که برای یک نرخ تنزیل ثابت، مسیر رشد کارا باعث فرسایش منابع طبیعی می شود که این فرسایش در بلندمدت باعث سقوط اقتصاد و کاهش رفاه می گردد اما در این مطالعه پیشرفت تکنولوژی در نظر گرفته نشده بود.

شولز و زیمس^۲ نشان می دهند که رشد و توسعه پایدار با وجود منابع تجدیدناپذیر در یک الگوی رشد درونزا و فرض رقابت کامل امکان پذیر است. اسشولز و زیمس این سؤال را مطرح می سازند که آیا مسیر تعادلی^۳ که ما را به نرخ رشد پایدار هدایت می کند با وجود بازار رقابت ناقص و همچنین در نظر گرفتن منابع طبیعی در الگوی رشد درونزا وجود خواهد داشت؟ نتیجه ای که از این الگو حاصل می شود نشان می دهد در صورتی که کشش تولید نسبت به انباشت سرمایه کوچکتر از کشش تولید نسبت به منابع طبیعی باشد، رشد پایدار امکان پذیر خواهد بود.

گروت و اسچو^۴ در مطالعه خود به این سؤال پاسخ می دهند که آیا با در نظر گرفتن انرژی تجدیدناپذیر به عنوان یک نهاده اساسی تولید در این مدلها آیا امکان توسعه پایدار وجود خواهد داشت؟ با حل یک مدل رشد بهینه یک بخشی^۵ تحت فروض مشخص نشان داده می شود که رشد مصرف سرانه غیر پایدار است مگر اینکه رشد جمعیت در الگو وجود داشته باشد. گریمود و روگ^۶، منابع طبیعی تجدیدناپذیر را در یک مدل رشد درونزای شومپترین^۷ وارد نموده اند. در این

1. Dasgupta and Heal (1979)
2. Scholz and Ziemis (1999)
3. Equilibrium Trajectories
4. Groth and Schou (2002)
5. One-sector Optimal Growth Model
6. Grimaud and Rouge (2003)
7. Schumpeterian

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۵

الگو مسیر تعادلی و بهینه بررسی شده است. سپس مقادیر بهینه جهت اجرای سیاست‌های پولی و مالی محاسبه شده است.

دی ماریا و والنت^۱، مدلی دو بخشی با تغییرات تکنولوژی و همچنین منابع تجدیدناپذیر به عنوان یک نهاده اساسی تولید را توسعه داده‌اند. در این مطالعه دو حالت سرمایه افزا^۲ و منابع طبیعی افزا^۳ برای تولید تکنولوژی در نظر گرفته شده است. نتیجه این مطالعه نشان می‌دهد که در صورت تغییرات تکنولوژیک در صورت استفاده از منابع طبیعی نرخ رشد تعادلی و تعادل پایدار خواهیم داشت.

در مطالعاتی که تا کنون مورد بررسی قرار گرفت، تأثیر رشد اقتصادی بر محیط زیست در نظر گرفته نشده است. در ادامه، الگوهای رشد با توجه به اثرات زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. اهمیت و تأثیر منفی پیامد جنبی آلودگی بر مسیر رشد و توسعه پایدار کشورها موجب شده است تا مطالعات تئوریک و تجربی زیادی در این زمینه انجام گیرد. در طول سال‌های اخیر، تجزیه و تحلیل‌های اقتصادی توسعه پایدار و سیاست محیطی در چارچوب الگوهای رشد نیز مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این چارچوب بسیاری از مطالعات با وارد کردن متغیرهای زیست‌محیطی مانند آلودگی یا کیفیت محیط زیست در الگوهای رشد اقدام به توسعه این الگوها نموده‌اند. قسمت عمده‌ای از این مطالعات به شرایطی که تحت آن رشد پایدار ممکن و مطلوب است، اختصاص یافته است.

در چارچوب تئوری‌های رشد درونزا پیامدهای جنبی زیست‌محیطی، به سبب انباشت آلودگی، بر مسیر رشد بهینه و رفاه تأثیر می‌گذارد. در این چارچوب اعتقاد بر این است که محیط زیست از طریق کانال‌های مختلف از جمله مطبوعیت^۴ محیط زیست، سلامت و بهره‌وری می‌تواند اقتصاد را تحت تأثیر قرار دهد. مطبوعیت محیط زیست و سلامت از طریق اثر بر رفاه کل و با در نظر گرفتن آلودگی یا کیفیت محیط زیست در تابع مطلوبیت مصرف‌کننده نمونه در الگوهای رشد وارد می‌گردند. همچنین اثر بهره‌وری با در نظر گرفتن کیفیت محیط زیست به عنوان یک عامل تولید قابل بررسی است.^۵

-
1. Di Maria and Valente (2008)
 2. Capital Augmenting
 3. Resource Augmenting
 4. Amenity
 5. Mohtadi (1996)

شروع مطالعات در حوزه رشد و محیط زیست به طرح ایده سنتی «محدودیت برای رشد» توسط میدو^۱ باز می‌گردد که بیانگر این است که بین رشد اقتصادی بالاتر و حفاظت از محیط زیست یک جایگزینی وجود دارد. بر این اساس از یک سو ظرفیت محیط زیست برای جذب ضایعات و پسماندهای ایجاد شده توسط سیستم اقتصادی محدود است و از سوی دیگر منابع طبیعی و زیست‌محیطی محدود است.

برخی تحقیقات نشان داده‌اند که در مراحل اولیه رشد اقتصادی شاهد افزایش افت کیفیت محیط زیست بوده و در مراحل بعدی همراه با رشد اقتصادی کیفیت محیط زیست بهبود پیدا می‌کند. این ارتباط به صورت یک منحنی U معکوس و به عنوان منحنی زیست‌محیطی کوزنتس معروف گردیده است. بررسی تجربی این منحنی برای اولین بار توسط گروسمن و کروگر^۲ در رابطه با موافقت‌نامه تجارت آزاد شمال آمریکا^۳ انجام گرفت.

اسمولدز^۴ در یک مدل رشد درون‌زا به بررسی شرایطی که با وجود محدودیت دسترسی به منابع طبیعی بتوان به رشد اقتصادی مناسب و پایدار دست پیدا کرد، می‌پردازد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که دستیابی به رشد پایدار مستلزم اجرای سیاست‌های زیست‌محیطی مناسب، سرمایه‌گذاری مناسب در محافظت از منابع، کنترل و توسعه تکنولوژی‌های پاک است.

مهتدی^۵ با استفاده از یک الگو رشد درون‌زا به بررسی و تحلیل سیاست بهینه زیست‌محیطی برای رسیدن به رشد بلندمدت با وجود اثرگذاری کیفیت محیط زیست بر رفاه و تولید می‌پردازد. بر این اساس سیاست ترکیبی کنترل‌های مقداری و مالیات یا سوبسید بهینه موجب دستیابی به یک سطح بالاتری از رفاه اجتماعی در مقایسه با اجرای سیاست سوبسید یا مالیات مجزا می‌گردد.

آریگا^۶ از یک الگو رشد درون‌زای ساده که آلودگی هم در تابع تولید و هم در مصرف وارد گردیده است به منظور بررسی اثرات سیاست‌های زیست‌محیطی بر مصرف و تولید و بر تعادل وضعیت باثبات استفاده می‌کند. الگو مورد استفاده توسط آنها شکل توسعه‌یافته الگو اسمولدرز و گرادوس^۷ است که به منظور ارتباط بین رشد اقتصاد و محیط زیست و بالاخص سیاست زیست‌محیطی بهینه و اثرات سیاست بر نرخ‌های رشد و رفاه مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج

-
1. Meadow, *et al*
 2. Grossman and Krueger (1991)
 3. North America Free Trade Agreement (NAFTA)
 4. Smulders (1995)
 5. Mohtadi (1996)
 6. Ariga (2002)
 7. Smulders and Gradus (1996)

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۷

الگو نشان می‌دهد که بهبود یا افت کیفیت محیط زیست بستگی به تغییر کیفیت محیط زیست طی زمان دارد.

تهونون و سالو^۱ با استفاده از یک الگوی رشد تعمیم‌یافته، گذار بین انرژی‌های تجدیدپذیر و فسیلی را مورد مطالعه قرار داده‌اند. دو الگوی متفاوت در این مقاله در نظر گرفته شده است. یک الگو بدون در نظر گرفتن پیشرفت تکنولوژی و الگوی دیگر با در نظر گرفتن پیشرفت تکنولوژی مورد بررسی قرار گرفته است. در الگوی اول که تکنولوژی در نظر گرفته نشده است، قیمت انرژی‌های فسیلی، هزینه استخراج منابع فسیلی در نظر گرفته شده است. با افزایش تولید و مصرف انرژی فسیلی و کاهش منابع، هزینه استخراج و در نتیجه آن قیمت انرژی‌های فسیلی افزایش می‌یابد. در مطالعه تهونون ابتدا تنها از انرژی‌های تجدیدپذیر استفاده می‌شود. وی نشان می‌دهد که در طول زمان با افزایش تولید، استفاده از انرژی‌های فسیلی با توجه به قیمت پایین این انرژی افزایش می‌یابد تا به یک نقطه اوج می‌رسد. اما با افزایش استخراج انرژی‌های فسیلی، سطح منابع کاهش می‌یابد. در این حالت هزینه استخراج و در نتیجه قیمت انرژی‌های فسیلی افزایش می‌یابد. با توجه به افزایش قیمت انرژی‌های فسیلی مصرف انرژی‌های فسیلی کاهش و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش می‌یابد. در الگوی دوم تهونون تکنولوژی را نیز وارد الگو می‌نماید. در این الگو هزینه تولید انرژی‌های فسیلی با پیشرفت تکنولوژی به نسبت قبل کمتر افزایش می‌یابد. ولی در هر دو الگو، در طول زمان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر افزایش می‌یابد.

فولرتون و کیم^۲ با استفاده از یک الگوی رشد درونزا به تعیین آلودگی و کیفیت محیط زیست و انباشت سرمایه خصوصی و دانش کنترل آلودگی به صورت درونزا می‌پردازد. نتایج بیانگر این است که نسبت بهینه سرمایه عمومی به خصوصی بستگی به کشش‌های تولید، اختلال ناشی از مالیات و پیامد جنبی آلودگی است.

تاکنون مطالعات نظری رشد اقتصادی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه مطالعات تجربی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. مطالعات تجربی بسیاری در این حوزه صورت گرفته است که در ادامه تعدادی از این مطالعات برای نمونه بررسی خواهد شد.

گلاسر^۳ با بکارگیری یک مدل تصحیح خطای برداری به بررسی رابطه علی بین تولید ناخالص داخلی و مصرف انرژی در طول دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ در کره جنوبی می‌پردازد. در این

1. Tahvonon and Salo (2001)

2. Fullerton and Kim (2008)

3. Glasure (2002)

مطالعه مخارج دولتی به عنوان متغیر نماینده^۱ فعالیت‌های دولتی و عرضه پول به عنوان متغیر نماینده سیاست‌های پولی و قیمت‌های نفت به عنوان یک عامل تعیین کننده در توضیح رابطه علی مورد استفاده قرار گرفته است و تکانه‌های قیمت نفت نیز به عنوان یک متغیر مجازی جهت شکست ساختاری در نظر گرفته شدند. نتایج مقاله گلاسو نشان‌دهنده یک رابطه علی دوطرفه بین قیمت نفت و سیاست پولی بوده و نفت بیشترین تأثیر را بر رشد اقتصادی و مصرف انرژی داشت. آنگک^۲ در مطالعه خود به بررسی رابطه علی پویا بین انتشار گاز دی‌اکسید کربن، مصرف انرژی و تولید در کشور فرانسه طی سال‌های ۲۰۰۰-۱۹۶۰ پرداخته است. نتایج مطالعه وی نشان می‌دهد که رشد اقتصادی علیت بلندمدت مصرف انرژی و آلودگی محیط زیست بوده و یک رابطه علی یک طرفه از سوی مصرف انرژی به رشد تولید در کوتاه‌مدت برقرار است. همچنین، یافته‌های این مطالعه نشان داد که با افزایش استفاده از انرژی، انتشار گاز دی‌اکسید کربن نیز افزایش می‌یابد. مطالعات داخلی کاربردی در این زمینه محدود است که در زیر به تعدادی از این مطالعات اشاره شده است.

صادقی و سعادت (۱۳۸۳) در مطالعه خود با استفاده از داده‌های سری زمانی طی سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۴۶ به بررسی رابطه علی بین رشد جمعیت، رشد اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی در ایران پرداخته‌اند. نتایج به دست آمده از بررسی رابطه علی نشان داد که در دوره مورد مطالعه، یک رابطه علی یک طرفه از رشد جمعیت به سوی تخریب محیط زیست وجود داشته است. همچنین رابطه علی دو طرفه بین تخریب محیط زیست و رشد اقتصادی در ایران برقرار است. برقی اسکویی (۱۳۸۷) در مطالعه خود به بررسی آثار آزادسازی تجاری بر انتشار گازهای گلخانه‌ای در منحنی زیست‌محیطی کوزنتس طی سال‌های ۲۰۰۲-۱۹۹۲ برای کشورهای با درآمد سرانه بالا، متوسط بالا، متوسط پایین و پایین پرداخته است. نتایج مطالعه نشان داد افزایش آزادسازی تجاری و درآمد سرانه در کشورهایی با درآمد سرانه بالا و متوسط بالا به کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن و در کشورهای با درآمد سرانه متوسط پایین و پایین به افزایش انتشار گاز دی‌اکسید کربن منجر می‌شود.

پورکاظمی و ابراهیمی (۱۳۸۷) در مطالعه خود با استفاده از داده‌های سری زمانی سالانه طی سال‌های ۲۰۰۳-۱۹۸۰ به بررسی منحنی زیست‌محیطی کوزنتس در کشورهای خاورمیانه

1. Proxy

2. Ang (2007)

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۹

پرداخته‌اند. در این مطالعه از دو مدل لگاریتمی برای بررسی منحنی کوزنتس زیست‌محیطی استفاده شده است و انتشار گاز دی‌اکسید کربن به عنوان متغیر جانشین آلودگی محیط زیست به کار رفته است. نتایج به دست آمده نشان داد که مدل ساده، تأیید فرضیه منحنی زیست‌محیطی کوزنتس برای نمونه تحت بررسی را در پی دارد.

همان گونه که مشاهده می‌شود در داخل کشور، هیچ مطالعه‌ای به بررسی همزمان سهم انرژی‌های تجدیدناپذیر و تجدیدپذیر در قالب یک الگوی رشد پایدار پرداخته است. بنابراین همان‌طور که قبلاً اشاره گردید یکی از اهداف این مطالعه پرداختن به این موضوع برای اقتصاد ایران است. در این راستا در این تحقیق فرض می‌کنیم که انرژی توسط دو منبع انرژی‌های فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود و در بخش تولید نهایی انرژی یک نهاده تولید است. استفاده از انرژی‌های فسیلی آلودگی ایجاد می‌کند که این باعث کاهش مطلوبیت می‌شود (اثرات زیست‌محیطی). همچنین مصرف انرژی‌های تجدیدناپذیر باعث کاهش منابع انرژی فسیلی می‌گردد. با کاهش منابع هزینه‌های زیست‌محیطی افزایش می‌یابد. هر یک از این دو عامل محدودکننده برای تولید انرژی‌های تجدیدناپذیر (هزینه‌های کاهش منابع و ایجاد آلودگی) به طور جداگانه در مطالعات مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. اما به طور همزمان محدودیت هزینه و محدودیت آلودگی مورد بررسی قرار نگرفته است. هدف این مطالعه بررسی همزمان این دو محدودیت برای مصرف و تولید انرژی‌های فسیلی است. حل الگو و تعیین سهم بهینه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر با توجه به داده‌های اقتصاد ایران از دیگر یافته‌ها و تفاوت این مطالعه نسبت به مطالعات موجود است. نکته دیگری که این مطالعه متمایز از مطالعات موجود می‌سازد، روش حل الگو است. در این مطالعه از روش بهینه‌سازی تکاملی الگوریتم ژنتیک پیوسته برای بهینه‌سازی و یافتن مسیرهای بهینه استفاده شده است که در قسمت‌های بعد به این بحث پرداخته شده است.

۳. مبانی نظری و ساختار الگو

در این بخش مبانی نظری و ساختار الگو مورد بررسی قرار گرفته است. در الگوهای رایج رشد اقتصادی، منابع طبیعی یا انرژی تا حدود زیادی مغفول واقع شده است. پیشرفت تکنولوژی در الگوهای اولیه رشد مانند الگوی رشد سولو^۱ به صورت برونزا در نظر گرفته شده است. بیشتر

1. Solow (1956)

۱۰ فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی سال دوم شماره ۵

الگوهای رشد اخیر سعی در درون‌زا کردن پیشرفت تکنولوژی دارند.^۱ همان‌گونه که در مطالعات رومر (۱۹۹۰) دیده می‌شود، مطالعات مربوط به الگوهای رشد از دهه ۹۰ به سمت الگوهای رشد درون‌زا گرایش یافته است. در این مدل‌ها، رشد بلندمدت با تمرکز بر پیشرفت فن‌آوری درون‌زا از طریق آموزش، تحقیق و توسعه و یادگیری همراه با کار است. هر اختراع و نوآوری، بهره‌وری را افزایش می‌دهد و چنین کشفیاتی، سرانجام منبع رشد بلندمدت است.

تحقیقات نشان می‌دهد که در مطالعات محدودی انرژی به صورت عامل تولید در نظر گرفته شده است و در مطالعات محدودتر انرژی به دو گروه تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر تقسیم شده است. اما به منظور داشتن توسعه پایدار، استفاده از منابع تجدیدپذیر و سرمایه‌گذاری در محیط زیست و انباشت سرمایه فیزیکی برای جبران خالی شدن طبیعت در تابع تولید لازم است.

در ادامه، ساختار الگوی مورد استفاده بررسی می‌شود. در طراحی الگو از تحقیقات تهنون (۲۰۰۱)، آریگا (۲۰۰۲) و گریموت (۲۰۰۳) استفاده شده است. الگوی مورد استفاده بیانگر یک اقتصاد بسته شامل افراد زیادی با طول عمر نامحدود است. در عین حال این افراد همزمان مصرف‌کننده و تولیدکننده هستند.

۳-۱. رفتار مصرف‌کننده

مصرف‌کننده به دنبال حداکثرسازی مطلوبیت در طول زمان است و یا به بیان دیگر به دنبال حداکثرسازی مطلوبیت بین دوره‌ای می‌باشد. بنابراین با توجه به مطالعه آندریونی^۲ برنامه‌ریز اجتماعی به دنبال حداکثرسازی تابع زیر هستیم.

$$W = \max \int_0^{\infty} (U(En_t, C_t)) e^{-\rho t} dt \quad (1)$$

در رابطه (۱)، ρ نرخ ترجیحات زمانی است و همواره دارای مقداری مثبت است ($\rho > 0$). تابع $U(En_t, C_t)$ بیانگر مطلوبیت در هر دوره است. در این تابع فرض می‌شود که مطلوبیت مصرف‌کننده نمونه تابع دو عامل مصرف‌کالای نهایی (C_t) و کیفیت محیط زیست (En) که عکس آلودگی (P_t) است باشد. تابع مطلوبیت می‌تواند جدایی‌ناپذیر و یا جدایی‌پذیر نسبت به

۱. رشد تکنولوژی درون‌زا به معنی توضیح پیشرفت تکنولوژیکی به عنوان محصول، تصمیمی است که خانوار و یا اشخاص برای تولید دانش می‌گیرند.

2. Andreoni and Levinson (2001)

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۱۱

مصرف و کیفیت محیط زیست باشد. در این مطالعه فرض شده است که مطلوبیت از یک تابع جدایی‌پذیر به صورت زیر پیروی می‌کند:

$$U_t = U(En_t, C_t) = U(C_t) + U(En_t) \quad (2)$$

شکل‌های تابعی مختلفی می‌توان برای تابع مطلوبیت در نظر گرفت. با توجه به فرض جدایی‌پذیر بودن تابع مطلوبیت در هر لحظه از زمان را می‌توان طبق رابطه (۳) فرض کرد.

$$U(C_j, En_j) = \frac{C_j^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} + k \frac{En_j^\phi}{\phi} \quad (3)$$

در رابطه (۳) پارامتر ϕ بیانگر وزن کیفیت زیست‌محیطی در تابع مطلوبیت و معرف حس آگاهی زیست‌محیطی مصرف‌کنندگان است. در یک مقدار معین کیفیت محیط زیست (عکس آلودگی) ϕ بزرگ نشان‌دهنده مطلوبیت بیشتر از سطح معینی از کیفیت محیط زیست است که به بیان دیگر پارامتر ϕ حساسیت جامعه نسبت به آلودگی را نشان می‌دهد.

پارامتر σ بیانگر عکس‌کشش جانشینی بین دوره‌ای مصرف است. بدین صورت که هر چه مقدار σ کوچکتر باشد، کشش جانشینی بین دوره‌ای مصرف بزرگتر خواهد بود و مصرف‌کنندگان در مقایسه با آینده، کمتر نگران هستند. همان‌گونه که مطرح شد، هدف از این مطالعه بررسی مسیر بهینه متغیرهای الگو مانند مقدار بهینه مصرف انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر و سهم بهینه هر کدام در طول زمان در دو حالت در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی است. در صورت صفر بودن پارامتر k قسمت دوم تابع مطلوبیت حذف می‌شود و ملاحظات زیست‌محیطی در الگو در نظر گرفته نخواهد شد و در صورت یک بودن این پارامتر، ملاحظات زیست‌محیطی در الگو در نظر گرفته خواهد شد. که یکی از نوآوری‌های این مطالعه ریف این پارامتر است. با توجه به خصوصیات تابع مطلوبیت لحظه‌ای (مثبت بودن مشتقات اول و خاصیت مقعر بودن) باید $\phi \geq 1$ باشد.

۲-۳. تولید کالای نهایی

قانون دوم ترمودینامیک (قانون راندمان یا کارایی) بیان می‌دارد که حداقل مقداری انرژی برای انتقال ماده یا به طور عمومی تر، کار فیزیکی در فرآیند تولید لازم است. انجام انتقال در زمان

کمتر و محدودتر نیازمند انرژی بیشتر از این مقدار حداقل است. برای انجام تولید باید حتماً کار فیزیکی انجام شود. برای انجام کار فیزیکی نیز حتماً انرژی لازم است، بنابراین تمامی پروسه‌های اقتصادی نیازمند انرژی هستند. در فرآیند تولید، نیروی کار و سرمایه فیزیکی در بلندمدت قابل جانشین شدن هستند، ولی محدودیت‌هایی برای جانشینی یا جایگزینی انرژی با دیگر نهاده‌های تولید وجود دارد.^۱ بنابراین انرژی همیشه یک نهاده لازم و ضروری برای تولید است.

بعضی از نهاده‌های تولیدی، غیر قابل تولید مجدد^۲ هستند (مانند نفت و گاز طبیعی)، در حالی که بعضی از نهاده‌های دیگر می‌توانند با یک هزینه، در سیستم اقتصادی باز تولید شوند که به این نهاده‌ها، نهاده‌های با قابلیت بازتولید^۳ گویند. سرمایه فیزیکی، نیروی انسانی و در بلندمدت منابع طبیعی نهاده‌های با قابلیت بازتولید هستند. انرژی و ماده اولیه غیر قابل بازتولید هستند. این در حالی است که بردارهای انرژی (شامل سوخت و الکتروسیته) و مواد اولیه مانند مواد معدنی، در تئوری، نهاده‌های قابل بازتولید در نظر گرفته می‌شوند.

برای تولید، نهاده‌های مهم دیگری (اطلاعات و دانش) استفاده می‌شود که شبیه به انرژی ممکن است نهاده‌های غیر تجدیدپذیر باشند.^۴ برخلاف انرژی، اطلاعات و دانش نمی‌توانند به آسانی اندازه‌گیری شوند. علاوه بر این، اگرچه سرمایه و کار نسبت به اطلاعات و دانش راحت‌تر اندازه‌گیری می‌شوند اما هنوز اندازه‌گیری این نهاده‌های تولید در مقایسه با اندازه‌گیری انرژی، ناقص است. رابطه (۴) تابع تولید در این الگوها را نشان می‌دهد:

$$Y_t = F[E_t, K_t, L_t, A_t] \quad (۴)$$

که در این رابطه، K انباشت سرمایه فیزیکی، E مصرف انرژی و L نیروی کار در تولید است. بدون شک رابطه نزدیکی میان تقاضای انرژی (E) و روش تولید وجود دارد. البته این رابطه یک رابطه دو طرفه است. یعنی هر چه نهاده انرژی را زیاد کنیم تولید زیادتر خواهد شد و هر چه تولید زیاد شود تقاضای انرژی زیاد خواهد شد. چنین ارتباطی می‌تواند از طریق آزمون‌های مختلف بررسی گردد. گفتنی است که زمان مستقیماً وارد تابع تولید نمی‌شود، یعنی تولید در طی زمان تغییر می‌کند تنها اگر نهاده‌های تولید تغییر کنند.

1. Stern (1997)

2. Non-reproducible

3. Producible

4. Spreng (1993), Chen (1994) and Ruth (1995)

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۱۳

در این مطالعه علاوه بر انرژی، انباشت سرمایه در بخش تحقیق و توسعه نیز به عنوان یک نهاد تولید در نظر گرفته شده است. که براساس رابطه (۵) حجم سرمایه در تحقیق و توسعه در هر دوره از جمع سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه در هر دوره (RD) و حجم سرمایه در دوره قبل وقتی که استهلاك از آن کم شده باشد به دست می‌آید.

$$A_t = RD_{t-1} + (1 - \delta_A)A_{t-1} \quad (5)$$

در این مطالعه، تابع تولید یک تابع تولید کاب داگلاس در نظر گرفته شده است که نهاده‌های تولید در این تابع به ترتیب حجم سرمایه فیزیکی (K)، نیروی کار (L)، انرژی مصرفی (n و r) و حجم سرمایه در تحقیق و توسعه (A) است.^۱

$$Y = K^{\alpha_1} \times L^{\alpha_2} \times (n)^{\alpha_3} \times (r)^{\alpha_4} \times A^{\alpha_5} \quad (6)$$

که در این رابطه n و r به ترتیب میزان انرژی اولیه فسیلی و انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شده در کشور است. در مطالعه استاذزاد (۱۳۹۱) پارامترهای معادلات (۵) و (۶) به صورت همزمان برآورد شده است. برآورد این پارامترها در جدول ۱ قابل مشاهده است.

۳-۳. معادله‌های انباشت

سه معادله انباشت و تغییر موجودی در این مطالعه در نظر گرفته شده است.

۱. معادله انباشت سرمایه فیزیکی

۲. معادله کاهش سطح منابع طبیعی موجود

۳. معادله تغییر موجودی آلودگی

که این معادلات در روابط (۷) تا (۹) نشان داده شده است.

$$\dot{K} = Y - C - P_n n - P_r r - RD - \delta_k K \quad (7)$$

$$\dot{R} = -n \quad (8)$$

$$\dot{P} = F(n, Y, P) \quad (9)$$

1. Nicholas Apergis (2012)

معادله (۷) نشان‌دهنده معادله انباشت سرمایه فیزیکی است که بیانگر شرط تسویه بازار کل اقتصاد است. این رابطه معرفی می‌کند که کالای تولید شده در اقتصاد، به سرمایه‌گذاری و مصرف اختصاص داده می‌شود و یا با ضریب δ_k مستهلک می‌شود. تفاوتی که رابطه (۷) با مطالعات متداول دارد این است که هزینه‌های استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر و فسیلی نیز در این معادله در نظر گرفته شده است.

معادله (۸) نشان‌دهنده میزان کاهش منابع طبیعی بر اثر استخراج است که به صورت تابعی از میزان مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در نظر گرفته شده است. معادله (۷) و (۸) در مطالعات بسیاری بررسی شده است. در ادامه معادله انباشت آلودگی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۳-۳. معادله انباشت آلودگی

در چارچوب مدل مورد بررسی فرض می‌شود که تغییر در موجودی آلودگی زیست‌محیطی از دو قسمت تشکیل شده است. بخشی از انتشار آلودگی که در نتیجه فرآیند تولید اتفاق می‌افتد و به عنوان یک محصول فرعی^۱ همراه با تولید شناخته می‌شود. بخشی از آلودگی به طور طبیعی توسط محیط زیست پاک‌سازی (جذب) می‌شود. بنابراین، به پیروی از اواتا و همکاران (۲۰۱۰) خواهیم داشت:

$$\dot{P}_t = Y_t^{\delta_1} \left(\frac{n_t}{Y_t} \right)^{\delta_2} - \eta P_t \quad (10)$$

رابطه (۱۰) بیانگر تغییرات موجودی آلودگی طی زمان است. عبارت $Y_t^{\delta_1} \left(\frac{n_t}{Y_t} \right)^{\delta_2}$ بیانگر کل انتشار آلودگی در زمان t است که Y تولید در زمان t و $\frac{n}{Y}$ شدت مصرف انرژی‌های فسیلی^۲ است. پارامتر η بیانگر نرخ طبیعی پاک‌سازی محیط زیست است. با توجه به رابطه (۱۰) و انجام مقداری ساده‌سازی خواهیم داشت:

$$P_t = Y_t^{\delta_1 - \delta_2} n_t^{\delta_2} + (1 - \eta) P_{t-1} \quad (11)$$

1. By-Product
2. Energy Intensity

با توجه به رابطه (۱۱) با مشتق‌گیری از آلودگی نسبت به تولید خواهیم داشت:

$$\frac{\partial P_t}{\partial Y_t} = (\delta_1 - \delta_2) Y_t^{\delta_1 - \delta_2 - 1} n_t^{\delta_2} \quad (12)$$

در این رابطه اگر $\delta_1 > \delta_2$ باشد با رشد اقتصادی و افزایش تولید کیفیت محیط زیست کاهش می‌یابد (آلودگی افزایش می‌یابد) تا یک سطح آستانه ($\delta_1 = \delta_2$) که از این سطح به بعد کیفیت محیط زیست با افزایش تولید بهبود خواهد یافت ($\delta_1 < \delta_2$) (آلودگی کاهش می‌یابد). این رابطه را می‌توان به صورت منحنی U وارون نشان داد.

براساس این رابطه در مراحل اولیه تولید با افزایش رشد اقتصادی به دلیل استخراج بی‌رویه از منابع تولید و همچنین سازگار نبودن تکنولوژی تولید با محیط زیست، افزایش تولید و رشد اقتصادی باعث کاهش کیفیت محیط زیست می‌شود (کشورهای در حال توسعه). این روند تا یک سطح آستانه‌ای ادامه پیدا می‌کند. از این سطح آستانه به بعد به دلیل بهبود تکنولوژی تولید و همچنین سازگار بودن تکنولوژی تولید با محیط زیست، کیفیت محیط زیست بهبود می‌یابد.

۳-۴. بسط الگوی رشد

در ادامه به دنبال توسعه الگوی رشد تعمیم‌یافته برای اقتصاد ایران هستیم. الگو را به گونه‌ای بسط خواهیم داد که به کمک روش‌های حل عددی قابل بررسی باشد. با توجه به رابطه (۸) معادله حرکت سرمایه را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$K_t = Y_{t-1} + (1 - \delta_k) K_{t-1} - C_{t-1} - P_n n_{t-1} - P_r r_{t-1} - RD_{t-1} \quad (13)$$

با توجه به مباحث مطرح شده به دنبال حداکثرسازی مطلوبیت بین دوره‌ای تنظیم شده در T دوره با توجه به محدودیت‌های مشخص شده ۱۵ تا ۲۱ هستیم.

$$\max \sum_{t=1}^T \frac{1}{(1 + \rho)^t} \left(\frac{C_t^{1-\sigma} - 1}{1-\sigma} + k \frac{En_t^\phi}{\phi} \right) \quad (14)$$

$$K_t = Y_{t-1} + (1 - \delta_k) K_{t-1} - C_{t-1} - P_n n_{t-1} - P_r r_{t-1} - RD_{t-1} \quad (15)$$

$$A_t = RD_{t-1} + (1 - \delta_A) A_{t-1} \quad (16)$$

$$Y_t = K_t^{\alpha_k} L_t^{\alpha_L} n_t^{\alpha_n} r_t^{\alpha_r} A_t^{\alpha_A} \quad (17)$$

$$P_t = Y_t^{\delta_y} n_t^{\delta_n} + (1 - \eta)P_{t-1} \quad (18)$$

$$RE_t = RE_{t-1} - n_{t-1} \quad (19)$$

$$En_t = \frac{1}{P_t} \quad (20)$$

$$L_t = g_{lt}L_{t-1} \quad (21)$$

تمام معادلات و روابط و پارامترها در مباحث و قسمت‌های قبل تعریف شده است. تنها معادله (۲۱) معادله حرکت نیروی کار است که نرخ رشد نیروی کار در این مطالعه، درون‌زا فرض شده است و نرخ رشد نیروی کار در دوره‌های مختلف در الگو مشخص می‌شود و برون‌زا نیست^۱ (g_{lt}). نرخ رشد نیروی کار در دوره t است. همان گونه که مشاهده می‌شود در این الگو انباشت سرمایه در بخش تحقیق و توسعه درون‌زا در نظر گرفته شده است (رابطه (۱۶)). بنابراین الگوی توسعه داده شده یک الگوی رشد درون‌زا است. از طرفی در الگوی فوق نیروی کار و همچنین نرخ‌های رشد انرژی و تولید، درون‌زا در نظر گرفته شده است.

با توجه به قیود دینامیک مرتبه اول الگو، R ، K ، L متغیرهای وضعیت و متغیرهای n ، r ، C متغیرهای کنترل هستند. t متغیر مستقلی است که عموماً زمان است.

در روش غیرمستقیم، که رهیافتی برای حل مسائل کنترل بهینه است، با استفاده از حساب تغییرات برای به دست آوردن شرایط مرتبه اول، به یک مسئله مقدار مرزی می‌رسیم که خود، شکل مشتقات همیلتونین را دارد. وی اثبات کرد که یک شرط لازم برای حل مسئله کنترل بهینه این است که متغیر کنترل و حالت باید به گونه‌ای انتخاب شوند که همیلتونین را کمینه کند. بنابراین سیستم همیلتونین و شرایط اولیه بهینه‌سازی مقید زیر را خواهیم داشت:

$$H = U(C, P)e^{-\rho t} + \lambda_1(h(K_y, L_y, n, r, A) - A - C - p_n n - p_r r - \delta K_y) - \lambda_n n + \lambda_r [Lg_l] \quad (22)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial H}{\partial R} &= -\dot{\lambda}_r & \frac{\partial H}{\partial k} &= -\dot{\lambda}_1 & \frac{\partial H}{\partial n} &= 0 \\ \frac{\partial H}{\partial r} &= 0 & \frac{\partial H}{\partial C} &= 0 & \frac{\partial H}{\partial L} &= -\dot{\lambda}_n \end{aligned} \quad (23)$$

۱. این موضوع یکی دیگر از تفاوت‌های این مطالعه با مطالعات موجود است.

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۱۷

با استفاده از شرایط مرزی مناسب، مسئله به صورت تحلیلی حل خواهد شد. با توجه به گستردگی الگو، حل از طریق روش‌های بهینه‌سازی به صورت نظری امکان‌پذیر نیست. بنابراین در این مطالعه از روش‌های حل عددی استفاده می‌شود. از بین این روش‌ها، روش الگوریتم ژنتیک انتخاب شده است که در ادامه به بررسی مزیت‌های این روش خواهیم پرداخت.

۴. حل الگو و تحلیل نتایج

در این قسمت الگوی مورد نظر در این مطالعه (روابط (۱۴) تا (۲۱)) حل و نتایج مورد بررسی قرار خواهد گرفت. نظریه کنترل بهینه در پی یافتن قانون کنترل برای یک سیستم معین است به شکلی که ضابطه بهینگی خاصی به دست آید. مسئله کنترل، تابعی از متغیرهای کنترل و متغیرهای وضعیت است. کنترل بهینه، در واقع مجموعه‌ای از معادلات حرکت است که «مسیری» از متغیرهای کنترل که تابع هدف را بهینه می‌کند، نشان می‌دهند. کنترل بهینه می‌تواند با استفاده از اصل حداکثرسازی پونتریاگین (شرط لازم)، یا حل معادله همیلتن-ژاکوبی-بلمن (شرط کافی) به دست آید. در این مطالعه به منظور حل الگو از روش عددی الگوریتم ژنتیک با استفاده از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار Matlab استفاده شده است.^۱ در ادامه به بررسی پارامترهای الگو و پس از آن به حل الگو و رسم مسیرهای بهینه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی و بررسی و تحلیل نتایج خواهیم پرداخت.

۴-۱. روش‌شناسی

در کنار روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر گرادیان، روش‌های بهینه‌سازی دیگری نیز معرفی شده‌اند که به حل مسائل مختلف در این حوزه کمک می‌کنند. این روش‌ها در بسیاری از دسته‌بندی‌ها تحت عنوان روش‌های بهینه‌سازی هوشمند، روش‌های بهینه‌سازی و محاسبات تکاملی و یا جستجوی هوشمند شناخته می‌شوند. مزیت این روش‌ها این است که بدون نیاز به مشتق تابع هدف به یافتن نقطه بهینه آن می‌پردازند. همچنین در مقایسه با روش‌های مبتنی بر گرادیان کمتر مشکل افتادن در دام کمینه محلی را دارند. در مقابل اگر هدف رسیدن به یک جواب بهینه محلی باشد،

۱. ذکر این نکته ضروری است که جعبه ابزار آماده بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار Matlab وجود دارد. ولی با توجه به ویژگی‌هایی که الگوی این مطالعه دارد این جعبه ابزار قابل استفاده نیست. به همین منظور برنامه‌ای توسط نویسندگان برای حل الگو در این نرم‌افزار نوشته شده است.

این روش‌ها بسته به کاربرد ممکن است سرعت کمتری در مقایسه با روش‌های مبتنی بر گرادیان داشته باشند. از میان این روش‌ها می‌توان به الگوریتم‌های ژنتیک، الگوریتم اجتماع ذرات، الگوریتم کلونی (مورچه‌ها)، جستجوی تابو، تبرید شبیه‌سازی 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. مزیت‌های

این روش عبارت است از:

۱. توانایی انجام بهینه‌سازی با متغیرهای گسسته و پیوسته.
۲. عدم نیاز به مشتق‌گیری که مشکلات توابع گسسته و یا شکسته است.
۳. جستجوی همزمان با نمونه‌برداری وسیع از رویه هزینه.
۴. توانایی کار کردن با متغیرهای زیاد.
۵. الگوریتم ژنتیک می‌تواند کمینه‌های بهینه را تشخیص دهد.
۶. ارائه فهرستی از متغیرهای بهینه، نه فقط یک راه حل.
۷. امکان رمزگذاری متغیرها به طوری که عملیات بهینه‌سازی با متغیرهای رمز شده انجام شود.
۸. توانایی کار با داده‌های عددی، تجربی و توابع تحلیلی.^۱

۴-۲. برآورد پارامترهای الگو

با توجه به روابط (۱۴) تا (۲۱)، پارامترهای مورد نیاز برای حل عددی الگو عبارت است از α_1 ، α_2 ، α_3 ، α_4 ، α_5 ، α_6 ، α_7 ، α_8 ، α_9 ، α_{10} ، α_{11} ، α_{12} ، α_{13} ، α_{14} ، α_{15} ، α_{16} ، α_{17} ، α_{18} ، α_{19} ، α_{20} ، α_{21} ، ρ و σ که در مبانی نظری این پارامترها مورد بررسی قرار گرفته است. برای برآورد ضرایب تابع تولید در ادبیات موضوع انواع توابع خطی و غیرخطی تولید با روش‌های مختلف استفاده شده است. به طور نمونه می‌توان به لیندنبرگر^۲، مسانجالا^۳، پاپاگئورگیو^۴، میشر^۵، مارکاندیا^۶، سو و همکارانش^۷، لیو^۸، دلیری (۱۳۸۹)، ابونوری (۱۳۸۹)، محمودزاده (۱۳۸۹) و خدادادکاشی (۱۳۹۰) اشاره نمود.

۱. برای اطلاعات بیشتر در مورد این روش و همچنین مراحل این الگوریتم به میچالیز (۱۹۹۴) مراجعه شود.

2. Lindenberger (2003)
3. Masanjala (2004)
4. Papageorgiou (2008)
5. Mishra (2006)
6. Markandya and Pedroso-Galinato (2007)
7. Su, et al (2008)
8. LY et al (2009)

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۱۹

در این تحقیق توابع (۱۶) و (۱۷) به صورت همزمان با روش الگوریتم ژنتیک پیوسته با استفاده از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار Matlab توسط نویسندگان برآورد شده است. به منظور برآورد تابع تولید، محصول به عنوان متغیر وابسته است. سری زمانی تولید ناخالص داخلی به قیمت‌های ثابت ۱۳۷۶ برحسب میلیارد ریال طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۵۷ به عنوان نماینده‌ای از محصول استفاده شده است. حجم سرمایه یکی از متغیرهای مستقل در توابع تولید است که به قیمت‌های ثابت ۱۳۷۶ برحسب میلیارد ریال طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۵۷ است.^۱ کل انرژی اولیه تولید شده در کشور که مجموع انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر برحسب میلیون بشکه معادل نفت خام است برای سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۵۷ از ترازنامه انرژی ایران استخراج شده است. نیروی کار برحسب نفر و براساس داده‌های مرکز آمار ایران و همچنین داده‌های سری زمانی بانک مرکزی طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۵۷ در نظر گرفته شده است. با توجه به اینکه در ایران بخش خصوصی مقدار کمی از سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه را به خود اختصاص داده است. بنابراین از داده‌های سرمایه تحقیق و توسعه بخش دولتی به قیمت ثابت ۷۶ برحسب میلیارد ریال^۲ استفاده شده است. نتایج حاصل از برآورد تابع تولید نشان می‌دهد کشش تولید نسبت به انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر به ترتیب ۰/۲۵۹ و ۰/۱۲۷ است.

برای حل عددی الگو نیاز به برآورد پارامترهای معادله حرکت آلودگی است. در این راستا پارامترهای رابطه (۱۸) برآورد گردیده است. نتایج حاصل از برآورد معادله حرکت آلودگی توسط نویسندگان نشان می‌دهد کشش آلودگی نسبت به تولید و شدت انرژی به ترتیب ۱/۰۲ و ۰/۴۷ است.^۳ به منظور برآورد پارامترهای این رابطه از متغیر انباشت آلودگی کربن دی‌اکسید^۴، انرژی فسیلی تولید شده در کشور برحسب میلیون بشکه معادل نفت خام برای سال‌های ۱۳۸۹-

۱. بانک مرکزی، داده‌های سری‌های زمانی و نماگرهای اقتصادی.

۲. WDI، آمین (۱۳۸۷)، برای سال‌های ۸۸ و ۸۹ محاسبه نویسندگان.

۳. کلیه پارامترها توسط محققین برآورد شده که با توجه به محدودیت فضا از ارائه جزئیات این برآوردها در اینجا خودداری شده است. جهت بررسی بیشتر به مقاله اسلامولیان، ک. و ع. ح. استادزاد (۱۳۹۱) «کاربرد روش الگوریتم ژنتیک برای برآورد منحنی زیست‌محیطی کوزنتس در ایران» اولین کنفرانس بین‌المللی اقتصادسنجی، سندج مراجعه شود.

۴. WDI در سال‌های مختلف

۱۳۵۷^۱ و سری زمانی تولید ناخالص داخلی به قیمت‌های ثابت ۱۳۷۶ برحسب میلیارد ریال طی سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۵۷ به عنوان نماینده‌ای از محصول^۲ استفاده شده است.

۳-۴. حل الگو و تحلیل نتایج

در این قسمت مسیر بهینه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی در سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۴۰۰ ارائه می‌گردد. سال مبنا، سال ۱۳۸۲ قرار گرفته و مقادیر تحقق‌یافته و بهینه تا سال ۱۳۸۹ مقایسه می‌شود. به منظور سیاستگذاری برای قرار گرفتن در حالت بهینه، مسیرهای بهینه مصرف و سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی تا سال ۱۴۰۰ پیش‌بینی شده است. در ادامه به دنبال حل الگوی مورد مطالعه (روابط (۱۴) تا (۲۱)) با استفاده از الگوریتم ژنتیک پیوسته با دو سناریو هستیم. سناریوی اول، الگوی رشد با وجود انرژی تجدیدپذیر بدون توجه به ملاحظات زیست‌محیطی است که در این حالت مقدار k در تابع مطلوبیت (رابطه (۱۴)) صفر در نظر گرفته شده است. در سناریوی دوم، الگوی رشد با وجود انرژی تجدیدپذیر و ملاحظات زیست‌محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. در این حالت مقدار k برابر با یک فرض می‌شود و الگوی بهینه‌سازی دوباره حل می‌شود. با استفاده از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار Matlab و حل بهینه الگو با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مقادیر بهینه نرخ‌های رشد و تولید بهینه انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر محاسبه و نتایج به دست آمده به طور خلاصه در نمودارهای ۱ تا ۴ آمده است.

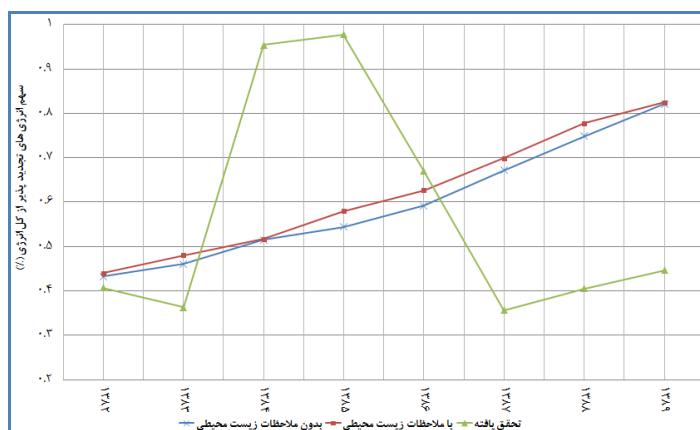
نمودار ۱، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی بین سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۹ را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار ۱، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تحقق‌یافته دارای نوسانات زیادی است. در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر کاهش بسیار زیادی داشته که دلیل این امر، خشکسالی‌های کشور در سال‌های اخیر و کاهش توان تولیدی نیروگاه‌های برق آبی است. با توجه به این نمودار ۱، سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تحقق‌یافته در سال ۱۳۸۹، ۰/۴۵ است. این در حالی است که مقادیر بهینه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی باید ۰/۸۲۴ درصد و بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی باید ۰/۸۲۱ درصد باشد. با توجه به نمودار ۲، بین سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۹ با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی، رشد انرژی‌های تجدیدپذیر باید به ترتیب دارای

۱. ترازنامه انرژی ایران

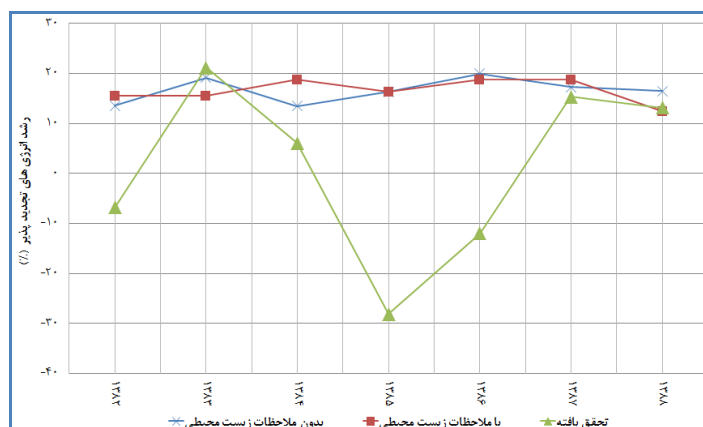
۲. بانک مرکزی، داده‌های سری‌های زمانی و نماگرهای اقتصادی

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۲۱

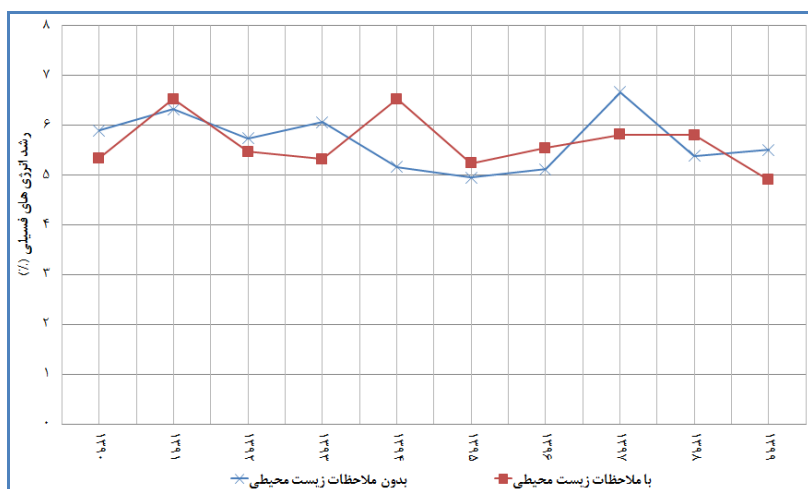
رشد ۵۲/۷ و ۳۸/۷ درصد باشد. این در حالی است که انرژی‌های تجدیدپذیر به طور متوسط دارای رشدی معادل با ۱/۳ درصد بوده است که این نشان‌دهنده رشد پایین برای تولید و مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر در طی این دوره است. برای جبران پایین بودن نرخ رشد تحقق‌یافته برای انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های اخیر باید نرخ رشد تولید انرژی‌های تجدیدپذیر تا ۱۴۰۰ به طور نسبی رشد بیشتری داشته باشد.



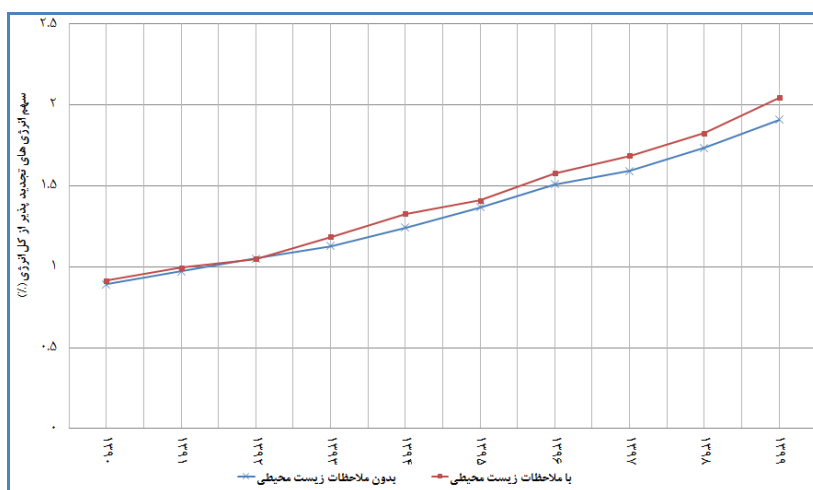
نمودار ۱. مقادیر تحقق‌یافته و بهینه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی (میلیون بشکه معادل نفت خام)



نمودار ۲. مقادیر تحقق‌یافته و بهینه رشد انرژی‌های تجدیدپذیر (%)



نمودار ۳. پیش‌بینی رشد بهینه انرژی‌های فسیلی (%)



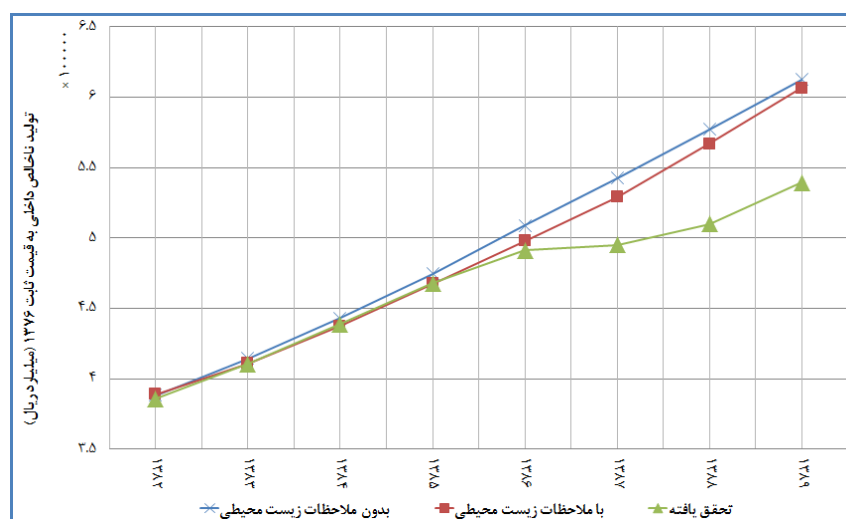
نمودار ۴. پیش‌بینی سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی (%)

نمودار ۳، پیش‌بینی رشد بهینه انرژی‌های فسیلی برای سال‌های ۱۳۸۹ تا ۱۳۹۰ برای دو الگوی مورد نظر در این مطالعه را نشان می‌دهد. با توجه به نمودار ۳، به طور متوسط تولید انرژی‌های فسیلی باید سالانه رشدی معادل با ۵/۲ و ۵/۱ درصد به ترتیب برای الگوی بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی و با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی باشد. پایین تر بودن نرخ رشد

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۲۳

تولید انرژی‌های فسیلی برای حالتی که ملاحظات زیست‌محیطی در نظر گرفته شده است، نشانی از لزوم جایگزینی بیشتر انرژی‌های تجدیدپذیر به جای انرژی‌های فسیلی است.

با توجه به نمودار ۴، تا سال ۱۴۰۰ با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی باید ۲ درصد از کل انرژی توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود. برای رسیدن به این هدف باید انرژی‌های تجدیدپذیر سالانه رشدی معادل با ۵۶ درصد داشته باشد. این در حالی است که نرخ رشد کنونی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، به طور متوسط ۱/۳ است که بسیار نرخ رشد پایینی است. انتظار داریم با پیشرفت تکنولوژی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در سال‌های آتی این نوع از انرژی نرخ رشد بالاتری نسبت به سال‌های گذشته داشته باشد.



نمودار ۵. تولید تحقق یافته و بهینه در دو الگو (میلیارد ریال)

با توجه به حل الگو، نتایج نشان می‌دهد که متوسط رشد بهینه مصرف تا سال ۱۴۰۰ با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی باید به ترتیب ۶/۲ و ۶/۵ باشد. نتیجه نشان می‌دهد که رشد مصرف با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی باید در هر سال ۰/۳ درصد کمتر از حالتی باشد که ملاحظات زیست‌محیطی در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین به طور متوسط بین سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۲ رشد تولید ناخالص داخلی ۴/۹۲ درصد بوده این در حالی است که در حالت بهینه و حل الگو متوسط رشد بهینه تولید ناخالص داخلی با در نظر

گرفتن ملاحظات زیست محیطی و بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی باید به ترتیب ۵/۸ و ۵/۹ درصد باشد. همان گونه که در مصرف نیز توضیح داده شد، نرخ رشد تولید نیز مانند مصرف در حالتی که ملاحظات زیست محیطی در نظر گرفته می شود بالاتر از حالتی است که ملاحظات زیست محیطی در نظر گرفته نشود. گفتنی است که الگو یک دوره ۱۸ ساله را در نظر گرفته و مجموع مطلوبیت های لحظه ای تنزیل شده در این دوره ها را حداکثر می کند. بین عدم مطلوبیت ناشی از آلودگی و مطلوبیت ناشی از مصرف در دوره های مختلف انتخاب صورت می گیرد و حالت بهینه انتخاب می شود. از طرفی در این الگو انرژی های تجدیدپذیر به عنوان نهاد تولید در نظر گرفته شده است. جایگزین شدن انرژی های تجدیدپذیر به جای انرژی های فسیلی و کاهش آلودگی با تولید بیشتر، در الگویی که ملاحظات زیست محیطی در نظر گرفته شده است می تواند توجیهی برای نزدیک بودن نرخ رشد در این الگو نسبت به الگویی باشد که ملاحظات زیست محیطی در نظر گرفته نشده است.

۵. جمع بندی، نتایج و پیشنهادها

از آنجا که انجام هر فعالیت اقتصادی مستلزم مصرف انرژی است، لذا از یک طرف انرژی به منزله عامل محرک رشد اقتصادی و بهبود کیفیت زندگی انسان تلقی می شود و از سوی دیگر، موجب تولید آلاینده های زیست محیطی می گردد. بنابراین ایجاد آسیب های زیست محیطی همراه با توسعه و رشد باعث بروز یک جایگزینی بین منافع حاصل از رشد و تخریب محیط زیست گردیده و این عقیده که افزایش تولید موجب حداکثر رفاه می گردد را مورد تردید قرار داده است. وجود این جایگزینی موجب اهمیت و توجه بیشتر به ملاحظات زیست محیطی و پیامدهای جنبی ناشی از آن در طراحی سیاست ها و پیگیری فرایند رشد و توسعه پایدار گردیده است.

با توجه به اهمیت و نقش انرژی در رشد، این مطالعه انرژی را به عنوان یک نهاد تولید در نظر گرفته که می تواند رشد را تحت تأثیر قرار دهد. همچنین فرض شده است که انرژی توسط دو منبع انرژی های فسیلی و انرژی های تجدیدپذیر تولید و در بخش تولید کالاهای نهایی، استفاده شود. استفاده از انرژی های فسیلی آلودگی ایجاد می کند که این باعث کاهش مطلوبیت می شود. همچنین فرض بر این است که مصرف در طول زمان، مطلوبیت فرد را افزایش می دهد و آلودگی ناشی از استفاده از انرژی های فسیلی و تولید بیشتر، مطلوبیت را کاهش می دهد.

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۲۵

در این تحقیق دو الگوی جداگانه مورد توجه قرار گرفته است. ابتدا الگوی رشد درون‌زایی بدون ملاحظات زیست‌محیطی در نظر گرفته شده و مسیر متغیرهای بهینه محاسبه گردیده است. پس از آن با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی به بررسی مسیرهای حرکت بهینه پرداخته‌ایم. بعد از یافتن مسیرهای بهینه این دو حالت مورد مقایسه قرار گرفته است.

فرض شده است که مصرف‌کننده به دنبال حداکثرسازی مطلوبیت در طول زمان است و یا به بیان دیگر به دنبال حداکثرسازی مطلوبیت بین دوره‌ای است. همچنین فرض شده است که مطلوبیت تابعی از کیفیت محیط زیست و مصرف است.

در این مطالعه علاوه بر انرژی، انباشت سرمایه در بخش تحقیق و توسعه نیز به عنوان یک نهاد تولید در نظر گرفته شده است. سه معادله انباشت و تغییر موجودی در این مطالعه در نظر گرفته شده است:

۱. معادله انباشت سرمایه فیزیکی

۲. معادله کاهش سطح منابع طبیعی موجود

۳. معادله تغییر موجودی آلودگی

در چارچوب مدل مورد بررسی فرض می‌شود که تغییر در موجودی آلودگی زیست‌محیطی از دو قسمت تشکیل گردیده است. بخشی از انتشار آلودگی که در نتیجه فرآیند تولید اتفاق می‌افتد و به عنوان یک محصول فرعی همراه با تولید شناخته می‌شود. همچنین بخشی از آلودگی به طور طبیعی توسط محیط زیست پاک‌سازی (جذب) می‌شود. تابع تولید در این مطالعه یک تابع تولید کاب داگلاس در نظر گرفته شده است که نهاده‌های تولید در این تابع به ترتیب حجم سرمایه فیزیکی (K)، نیروی کار (L)، انرژی مصرفی (π, τ) و حجم سرمایه در تحقیق و توسعه (A) است. الگوی طراحی شده با استفاده از روش‌های کنترل بهینه عددی حل شده است.

مسائل کنترل بهینه اغلب غیرخطی هستند و بنابراین عموماً جواب تحلیلی ندارند. در نتیجه، به کارگیری روش‌های عددی برای حل مسائل کنترل بهینه، به نظر ضروری می‌رسد. در کنار روش‌های بهینه‌سازی مبتنی بر گرادیان، روش‌های بهینه‌سازی دیگری نیز معرفی شده‌اند که به حل مسائل مختلف در این حوزه کمک می‌کنند. این روش‌ها در بسیاری از دسته‌بندی‌ها تحت عنوان روش‌های بهینه‌سازی هوشمند، روش‌های بهینه‌سازی و محاسبات تکاملی و یا جستجوی هوشمند شناخته می‌شود. مزیت این روش‌ها در این است که بدون نیاز به مشتق تابع هزینه به یافتن نقطه بهینه

آن می‌پردازند. همچنین در مقایسه با روش‌های مبتنی بر گرادیان کمتر مشکل افتادن در دام کمینه محلی را دارند. در مقابل اگر هدف رسیدن به یک جواب بهینه محلی باشد، این روش‌ها بسته به کاربرد ممکن است سرعت کمتری در مقایسه با روش‌های مبتنی بر گرادیان داشته باشند. در این مطالعه از الگوریتم ژنتیک برای حداکثرسازی مطلوبیت بین دوره‌ای با توجه به محدودیت‌های مشخص استفاده شده است.

با استفاده از برنامه‌نویسی در نرم‌افزار Matlab و حل بهینه الگو با استفاده از الگوریتم ژنتیک مقادیر بهینه تولید بهینه انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر محاسبه شده است. گفتنی است که در این مطالعه دو الگو توسعه داده شده است. در ابتدا الگویی بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و پس از آن با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی، الگو دوباره حل شده است. پس از حل این دو الگو مقادیر بهینه و همچنین مقادیر تحقق‌یافته بین سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۲ برای مصرف، تولید ناخالص داخلی و تولید انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر در هر یک از این دو الگو و با مقدار تحقق‌یافته مقایسه شده است. پس از این برای سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۰ مقادیر بهینه تولید انرژی‌های فسیلی و تجدیدپذیر در دو الگوی توسعه داده شده (با ملاحظات زیست‌محیطی و بدون ملاحظات زیست‌محیطی) مورد بررسی قرار گرفته است.

از جمله وظایف وزارت نیرو و سازمان‌های مربوط در برنامه‌های توسعه و سند چشم‌انداز ۲۰ ساله کشور، تنوع‌بخشی به سند انرژی کشور است. زیرا با تنوع‌بخشی سبد انرژی، امنیت تأمین انرژی کشور افزایش پیدا می‌کند که خود متضمن افزایش امنیت ملی است. لذا در کنار سایر منابع انرژی مثل انرژی هسته‌ای، توسعه کاربرد انرژی‌های تجدیدپذیر نیز اهمیت بالایی دارند. استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نه تنها باعث تنوع‌بخشی در سبد انرژی کشور می‌شود بلکه با استفاده از این انرژی و با حداقل‌سازی مصرف داخلی سوخت‌های با ارزش فسیلی می‌توان آنها را صادر کرد که ارزآوری فراوانی برای کشور به ارمغان خواهد آورد. با توجه به اهداف برنامه پنجم توسعه کشور، دولت در قالب وزارت نیرو و سازمان انرژی‌های نو ایران موظف شده‌اند تا پایان برنامه ۵۰۰ مگاوات از برق مورد نیاز کشور را با استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین کنند. این میزان تولید برق از انرژی‌های تجدیدپذیر برابر با یک درصد از تولید برق کشور است که تأمین آن به وسیله انرژی‌های تجدیدپذیر به عهده دولت گذاشته شده است. برای رسیدن به اهداف برنامه

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۲۷

پنجم و سند چشم‌انداز، توسعه کاربرد انرژی‌های نو از جمله زمین گرمایی، باد، خورشید، برق آبی و زیست توده از اهمیت بسیار بالایی برخوردارند.

با توجه به نتایج تحقیق (نمودار ۴) مقدار بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۱۳۹۴ یعنی پایان برنامه توسعه پنجم باید ۱/۳۳ درصد از کل برق تولیدی باشد. این در حالی است که در برنامه توسعه این مقدار ۱ درصد از کل انرژی پیش‌بینی شده است.

به طور متوسط بین سال‌های ۱۳۸۹-۱۳۸۲، رشد تولید ناخالص داخلی ۴/۹۲ درصد بوده این در حالی است که براساس نتایج تجربی الگو متوسط رشد بهینه تولید ناخالص داخلی با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی و بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی باید به ترتیب ۵/۸ و ۵/۹ درصد باشد. پایین تر بودن مقدار تحقق‌یافته از مقدار بهینه نشان‌دهنده شکاف میان نرخ رشد بهینه در بلندمدت و نرخ رشد تحقق‌یافته در اقتصاد ایران است.

براساس ماده ۲۳۴ برنامه توسعه پنجم بین سال‌های ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴ نرخ رشد متوسط هشت درصد (۸٪) سالیانه برای تولید ناخالص داخلی در نظر گرفته شده است. این در حالی است که در این مطالعه با توجه به ملاحظات زیست‌محیطی رشد بهینه به طور متوسط برای این سال‌ها باید ۵/۸۶ درصد در نظر گرفته شود.

سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تحقق‌یافته دارای نوسانات زیادی است. در سال‌های ۱۳۸۵ تا ۱۳۸۷ سهم انرژی‌های تجدیدپذیر کاهش بسیار زیادی داشته که به دلیل خشکسالی‌های کشور در سال‌های اخیر و کاهش توان تولیدی نیروگاه‌های برق آبی است. با توجه به این نمودار سهم انرژی‌های تجدیدپذیر تحقق‌یافته در سال ۱۳۸۹، ۰/۴۵ است. این در حالی است که مقادیر بهینه سهم انرژی‌های تجدیدپذیر با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی باید ۰/۸۲۴ درصد و بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی باید ۰/۸۲۱ درصد باشد. همچنین تا سال ۱۴۰۰ با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی باید ۲ درصد از کل انرژی توسط انرژی‌های تجدیدپذیر تولید شود. برای رسیدن به این هدف باید انرژی‌های تجدیدپذیر سالانه رشدی معادل با ۵۶ درصد داشته باشد. این در حالی است که نرخ رشد کنونی تولید انرژی‌های تجدیدپذیر به طور متوسط ۱/۳ است که بسیار نرخ پایینی است. بنابراین پیشنهاد می‌گردد که سیاست‌گذاران با برنامه‌ریزی و تخصیص منابع لازم زمینه افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر را در اقتصاد افزایش داده و در

۲۸ فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی سال دوم شماره ۵

جهت کاهش شکاف بین مقادیر بهینه براساس الگوهای رشد پایدار و مقدار تحقق یافته گام‌های جدی تری بردارند.

منابع

الف - فارسی

ابونوری، عباسعلی و عطیه همدانی (۱۳۸۹)، «بررسی رابطه بین رشد اقتصادی و تقاضای بنزین و گازوئیل در ناوگان حمل و نقل (زمینی - جاده‌ای)»، *پژوهشنامه بازرگانی*، شماره ۵۷، صفحات ۱۱۵-۱۵۴.

بانک مرکزی جمهوری اسلامی ایران، *نماگرهای اقتصادی*، سال‌های مختلف.

بانک مرکزی جمهوری ایران، *گزارش اقتصادی و ترازنامه*، سال‌های مختلف.

بهبودی، داود و اسماعیل برقی گل‌عدانی (۱۳۸۷)، «اثرات زیست‌محیطی مصرف انرژی و رشد اقتصادی در ایران»، *اقتصاد مقداری*، شماره ۴، صفحات ۳۵-۵۳.

پورکاظمی، محمدحسین و ایلناز ابراهیمی (۱۳۸۷)، «بررسی منحنی کوزنتس زیست‌محیطی در خاورمیانه»، *پژوهش‌های اقتصادی ایران*، سال ۱۰، شماره ۳۴، صفحات ۷۱-۸۵.

خداداد کاشی، فرهاد و سیاوش جانی (۱۳۹۰)، «بررسی پویای رفتار تولیدکنندگان 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، صفحات ۹۷-۱۲۴.

دلیری، حسن و محسن رنانی (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، صفحات ۴۱-۶۸.

صادقی، حسین و رحمان سعادت (۱۳۸۳)، «رشد جمعیت، رشد اقتصادی و اثرات زیست‌محیطی در ایران (یک تحلیل علی)»، *تحقیقات اقتصادی*، شماره ۶۴، صفحات ۱۶۴-۱۸۰.

فطرس، محمدحسن و رضا معبودی (۱۳۸۹)، «رابطه علی مصرف انرژی، جمعیت شهرنشینی و آلودگی محیط زیست در ایران، ۱۳۵۰-۱۳۸۵»، *فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی*، سال هفتم، شماره ۲۷، صفحات ۱-۱۷.

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

مرکز آمار ایران، سالنامه آماری کشور، سال‌های مختلف
مرکز آمار ایران، سالنامه آماری کشور، سال‌های مختلف.

ب- انگلیسی

- Aghion, P. and P. Howitt (1998), *Endogenous Growth Theory*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Aghion, P. and P. Howitt (2009), *The Economics of Growth*, MIT Press, Cambridge, MA.
- Andreoni, J. and A. Levinson (2001), "The Simple Analytics of the Environmental Kuznets Curve", *Journal of Public Economics*, Vol. 80, No. 2, pp. 269-286.
- Ang, J. B. (2007), "CO2 Emission, Energy Consumption, and Output in France", *Energy Policy*, No. 35, pp. 4772-4778.
- Ariga, J. (2002), "Internalizing Environmental Quality in a Simple Endogenous Growth Model", Working Paper, Department of Agricultural and Resource Economics University of Maryland Collge Park, MD 20742.
- Beckerman, W. (1992), "Economic Growth and the Environment: Whose Growth? Whose Environment?", *World Development*, No. 20, pp. 481-496.
- Chen, X. (1994), "Substitution of Information for Energy: Conceptual Background, Realities and Limits", *Energy Policy*, No. 22, pp. 15-28.
- Dasgupta, M. and S. K. Mishra (2007), "Least Absolute Deviation Estimation of Linear Econometric Models: A Literature Review", Working Paper, <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/1781/>.
- Dasgupta, P. S. and G. M. Heal (1979), *Economic Theory and Exhaustible Resources*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Di Maria, C. and S. Valente (2008), "Hicks Meets Hotelling: The Direction of Technical Change in Capital-resource Economies", *Environment and Development Economics*, No. 13, pp. 691-717.
- Fullerton, D. and S. R. Kim (2008), "Environmental Investment and Policy with Distortionary Taxes and Endogenous Growth", *Journal of Environmental Economics and Management*, No. 56, pp. 141-154.
- Glasure, Y. U. (2002), "Energy and National Income in Korea: Further Evidence on the Role of Omitted Variables", *Energy Economics*, No. 24, pp. 355-365.
- Grimaud, A. and L. Rougé (2003), "Non-renewable Resources and Growth with Vertical Innovations: Optimum, Equilibrium and Economic Policy", *Journal of Environmental Economics and Management*, No. 45, pp. 433-453.

- Grossman, G. M. and A. B. Krueger (1991), "Environmental Impacts of a North American Free Trade Agreement", NBER Working Paper Series, 3914.
- Groth, C. and P. Schou (2002), "Can Non-renewable Resources Alleviate the Knife-edge Character of Endogenous Growth?", *Oxford Economic Papers*, No. 54, pp. 386-411.
- Lindenberger, D. (2003), "Service Production Functions", EWI Working Paper No. 03.02, Institute of Energy Economics, University of Cologne (EWI).
- LV, Z., Guo, J. and Y. Xi (2009), "Econometric Estimate and Selection on China Energy CES Production Function", *China Population Resources Environment*, Vol. 19, No. 4, pp. 156-160.
- Maddison, A. (2001), "The World Economy, a Millennial Perspective", Development Centre Studies, OECD, Paris.
- Markandya, A. and S. Pedroso Galinato (2007), "How Substitutable is Natural Capital?", *Environment Resource Economics*, No. 37, pp. 297-312.
- 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>.
- Mohtadi, H. (1996), "Environment, Growth and Optimal Policy Design", *Journal of Public Economics*, Vol. 63, No. 1, pp. 119-140.
- Ozturk I. (2010), "A Literature Survey on Energy-growth Nexus", *Energy Policy*, Vol. 38, No. 1, pp. 340-349.
- 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, pp. 119-143.
- Ruth, M. (1995), "Information, Order and Knowledge in Economic and Ecological Systems: Implications for Material and Energy Use", *Ecological Economics*, No. 13, pp. 99-114.
- Scholz, C. and G. Ziemes (1999), "Exhaustible Resources, Monopolistic Competition, and Endogenous Growth", *Environmental and Resource Economics*, No. 13, pp. 169-185.
- Smulders, S. (1995), "Environmental Policy and Sustainable Economic Growth", *Economist*, Vol. 143, No. 2, pp. 163-195.
- Smulders, S. and R. Gradus (1996), "Pollution Abatement and Long-term Growth", *European Journal of Political Economy*, Vol. 12, No. 3, pp. 505-532.
- Solow, R. M. (1956), "A Contribution to the Theory of Economic Growth", *Quarterly Journal of Economics*, No. 70, pp. 65-94.
- Spreng, D. (1993), "Possibilities for Substitution between Energy, Time and Information", *Energy Policy*, No. 21, pp. 13-23.

- Stern, D. I. and A. Kander (2010), "The Role of Energy in the Industrial Revolution and Modern Economic Growth", CAMA Working Papers.
- Su, J., Wang S. Sha and Q. Xiao Wang (2008), "Empirical Research on Factor Allocation in Economic Growth", *Natural Science*, Vol. 43, pp. 36-40.
- Tahvonen, O. and S. Salo, (2001), "Economic Growth and Transitions between Renewable and Nonrenewable Energy Resources", *European Economic Review*, No. 45, pp. 1379-1398.
- Toman, M. A. and B. Jemelkova (2003), "Energy and Economic Development: an Assessment of the State of Knowledge", *Energy Journal*, Vol. 24, No. 4, pp. 93-112.

پیوست ۱

جدول ۱. مقادیر بهینه پیش‌بینی شده و تحقق یافته مصرف (میلیارد ریال)

سال	تحقق یافته	بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی	با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی
۱۳۸۲	۲۴۸۶۸۱/۲	۲۲۱۰۱۶	۲۲۹۶۴۹
۱۳۸۳	۲۷۶۵۵۷/۵	۲۲۶۴۵۸	۲۴۱۲۶۳
۱۳۸۴	۳۰۲۱۹۴/۱	۲۵۱۱۵۲	۲۳۵۱۳۶
۱۳۸۵	۳۲۰۳۸۵/۲	۲۶۰۲۱۸	۲۸۳۷۶۱
۱۳۸۶	۳۳۳۹۰۱/۸	۲۸۷۴۸۵	۲۸۵۳۴۹
۱۳۸۷	۳۲۳۱۶۱/۵	۳۰۳۲۳۷	۳۰۳۵۷۴
۱۳۸۸	۳۲۱۳۱۱/۴	۳۴۷۰۷۱	۳۱۵۲۷۷
۱۳۸۹	۳۲۴۹۰۲/۹	۳۴۲۴۵۸	۳۳۹۱۵۱
۱۳۹۰		۳۷۵۳۸۸	۳۶۳۵۰۲
۱۳۹۱		۳۸۷۷۶۴	۳۹۷۵۶۹
۱۳۹۲		۴۴۲۷۶۵	۴۳۰۱۵۶
۱۳۹۳		۴۵۲۹۰۶	۴۴۵۲۲۳
۱۳۹۴		۴۷۳۱۹۹	۴۶۴۶۶۸
۱۳۹۵		۴۹۸۹۱۸	۵۱۱۴۸۷
۱۳۹۶		۵۳۳۷۳۰	۵۱۰۳۲۴
۱۳۹۷		۵۶۲۸۲۹	۵۶۷۷۰۰
۱۳۹۸		۵۸۸۶۲۱	۶۰۲۵۷۰
۱۳۹۹		۶۳۱۷۱۶	۶۲۱۷۹۰

جدول ۲. مقادیر بهینه پیش‌بینی شده و تحقق یافته رشد مصرف (%)

سال	تحقق یافته	بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی	با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی
۱۳۸۳	۱۱/۲۰۹۶۴۴۶۷	۲/۴۶۲۰۲۲	۵/۰۵۷۴۱۶
۱۳۸۴	۹/۲۶۹۹۰۲۶۱۶	۱۰/۹۰۴۸۶	-۲/۵۳۹۶۹
۱۳۸۵	۶/۰۱۹۶۷۴۱۱	۳/۶۰۹۵۷۲	۲۰/۶۷۹۵۱
۱۳۸۶	۴/۲۱۸۸۵۲۸۰۶	۱۰/۴۷۸۴۹	۰/۵۵۹۷۳۸

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۳۳

۶/۳۸۷۰۰۳	۵/۴۷۹۱۱۴	-۳/۲۱۶۶۰۸۴۳	۱۳۸۷
۳/۸۵۵۱۸۴	۱۴/۴۵۵۵۱	-۰/۵۷۲۴۹۲۸۲	۱۳۸۸
۷/۵۷۲۲۱۹	-۱/۳۲۹۲۴	۱/۱۱۷۷۶۳۸۲۷	۱۳۸۹
۷/۱۷۹۹۵۴	۹/۶۱۵۹۴۸		۱۳۹۰
۹/۳۷۲۰۵۵	۳/۲۹۶۸۵		۱۳۹۱
۸/۱۹۶۵۰۶	۱۴/۱۸۴۱۲		۱۳۹۲
۳/۵۰۲۶۳۲	۲/۲۹۰۴۶۶		۱۳۹۳
۴/۳۶۷۵۵۸	۴/۴۸۰۴۸۹		۱۳۹۴
۱۰/۰۷۵۷۱	۵/۴۳۵۲۷۳		۱۳۹۵
-۰/۲۲۷۴	۶/۹۷۷۴۶۵		۱۳۹۶
۱۱/۲۴۳۰۷	۵/۴۵۱۸۷۴		۱۳۹۷
۶/۱۴۲۲۳۵	۴/۵۸۲۶۷۵		۱۳۹۸
۳/۱۸۹۷۷۱	۷/۳۲۱۳۹۶		۱۳۹۹
۶/۱۵۳۷۳۴	۶/۴۵۲۷۵۸	۴/۰۰۶۶۷۶۶۸۳	میانگین

جدول ۳. مقادیر بهینه پیش‌بینی شده و تحقق یافته تولید ناخالص داخلی (میلیارد ریال)

سال	تحقق یافته	بدون در نظر گرفتن ملاحظات	با در نظر گرفتن ملاحظات
		زیست محیطی	زیست محیطی
۱۳۸۲	۳۸۵۶۳۰/۳	۳۸۸۳۰۹/۲	۳۸۹۰۴۵/۸
۱۳۸۳	۴۱۰۴۲۸/۸	۴۱۴۴۱۱/۱	۴۱۰۸۷۷/۴
۱۳۸۴	۴۳۸۸۹۹/۹	۴۴۳۱۰۶/۶	۴۳۷۳۶۹/۷
۱۳۸۵	۴۶۷۹۳۰	۴۷۴۶۹۸	۴۶۷۶۸۰/۵
۱۳۸۶	۴۹۱۰۹۸/۸	۵۰۸۸۷۵/۲	۴۹۸۱۰۵/۴
۱۳۸۷	۴۹۵۲۶۶/۱	۵۴۲۵۲۵/۳	۵۲۹۱۴۸/۶
۱۳۸۸	۵۰۹۸۹۵	۵۷۷۲۹۴/۹	۵۶۷۱۳۵/۶
۱۳۸۹	۵۳۹۲۱۹/۳	۶۱۲۶۰۴/۲	۶۰۶۵۰۸/۲
۱۳۹۰		۶۵۴۹۳۵	۶۴۴۳۸۸/۳
۱۳۹۱		۶۹۵۹۸۱/۲	۶۸۵۶۰۹/۷
۱۳۹۲		۷۳۶۱۵۱/۸	۷۲۶۸۸۷/۴
۱۳۹۳		۷۷۴۶۲۰/۳	۷۶۶۸۴۸/۵
۱۳۹۴		۸۱۵۰۰۲/۸	۸۱۰۹۵۷/۴
۱۳۹۵		۸۵۵۵۹۹/۱	۸۵۴۶۶۵/۲

۳۴ فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی سال دوم شماره ۵

۸۹۶۲۵۵/۵	۸۹۶۷۷۷/۹	۱۳۹۶
۹۴۴۹۰۰/۲	۹۳۸۵۱۲/۷	۱۳۹۷
۹۸۷۰۲۹/۱	۹۸۱۹۷۷	۱۳۹۸
۱۰۲۸۷۷۰	۱۰۲۴۲۲۰	۱۳۹۹

جدول ۴. مقادیر بهینه پیش بینی شده و تحقق یافته رشد تولید ناخالص داخلی (%)

سال	تحقق یافته	بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی	با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی
۱۳۸۲			
۱۳۸۳	۶/۴۳۰۶۴۱	۶/۷۲۱۹۵۳	۵/۶۱۱۵۷
۱۳۸۴	۶/۹۳۶۹۱۶	۶/۹۲۴۳۹۱	۶/۴۴۷۷۴۵
۱۳۸۵	۶/۶۱۴۲۸۷	۷/۱۲۹۵۲۸	۶/۹۳۰۲۵۸
۱۳۸۶	۴/۹۵۱۳۳۹	۷/۱۹۹۷۸۵	۶/۵۰۵۴۸۷
۱۳۸۷	۰/۸۴۸۵۶۷	۶/۶۱۲۶۳۶	۶/۲۳۲۲۴۱
۱۳۸۸	۲/۹۵۳۷۴۵	۶/۴۰۸۸۴۱	۷/۱۷۸۸۹۹
۱۳۸۹	۵/۷۵۱۰۴۷	۶/۱۱۶۳۴۸	۶/۹۴۲۳۵۱
۱۳۹۰		۶/۹۰۹۹۷۳	۶/۲۴۵۶۱
۱۳۹۱		۶/۲۶۷۲۰۷	۶/۳۹۶۹۸۷
۱۳۹۲		۵/۷۷۱۸۰۱	۶/۰۲۰۵۷۳
۱۳۹۳		۵/۲۲۵۶۱۸	۵/۴۹۷۵۶۴
۱۳۹۴		۵/۲۱۳۱۹۹	۵/۷۵۱۹۷۸
۱۳۹۵		۴/۹۸۱۱۲۲	۵/۳۸۹۶۵۶
۱۳۹۶		۴/۸۱۲۸۶۴	۴/۸۶۶۲۶
۱۳۹۷		۴/۶۵۳۸۶	۵/۴۲۷۵۵۷
۱۳۹۸		۴/۶۳۱۱۸۶	۴/۴۵۸۵۴۸
۱۳۹۹		۴/۳۰۱۸۱	۴/۲۲۸۸۹۸
میانگین		۵/۸۷۵۴۱۹	۵/۸۹۰۱۲۸

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۳۵

جدول ۵. مقادیر بهینه پیش‌بینی شده و تحقق‌یافته مصرف انرژی‌های فسیلی (میلیارد ریال)

سال	تحقق‌یافته	بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی	با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی
۱۳۸۲	۲۰۴۸/۷۹۴۱۶	۲۱۷۹/۸۲۷	۲۱۹۴/۹۵۸
۱۳۸۳	۲۱۳۸/۶۷۰۱۰۱	۲۳۱۸/۱۱۹	۲۳۲۱/۱۱۱
۱۳۸۴	۲۲۱۲/۰۴۲۷۵۷	۲۴۷۰/۳۹۱	۲۴۸۸/۸۴۹
۱۳۸۵	۲۲۸۹/۱۰۴۶	۲۶۵۵/۶۰۱	۲۶۳۱/۶۷۱
۱۳۸۶	۲۴۱۰/۰۶۶۸۲۳	۲۸۳۶/۳	۲۸۳۲/۵۷۹
۱۳۸۷	۲۴۱۹/۷۷۱۴۰۱	۲۹۹۴/۹۹۵	۳۰۱۳/۵۴۶
۱۳۸۸	۲۴۵۷/۰۶۳۴۲۷	۳۱۴۹/۲۲۸	۳۲۱۳/۸۸۴
۱۳۸۹	۲۵۱۶/۳۲۸۱۶۲	۳۳۴۳/۳۳۸	۳۴۰۵/۲۶۲
۱۳۹۰		۳۵۴۰/۵۳۹	۳۵۸۷/۱۶۴
۱۳۹۱		۳۷۶۴/۴۹۷	۳۸۲۱/۵۴
۱۳۹۲		۳۹۸۰/۷۶۴	۴۰۳۰/۸۳۲
۱۳۹۳		۴۲۲۲/۴۰۶	۴۲۴۵/۴۲۸
۱۳۹۴		۴۴۴۰/۶۴۸	۴۵۲۲/۶۴۶
۱۳۹۵		۴۶۶۰/۴۵۱	۴۷۵۹/۶۲۵
۱۳۹۶		۴۸۹۹/۲۲۳	۵۰۲۳/۷۰۴
۱۳۹۷		۵۲۲۵/۹۶۴	۵۳۱۶/۱۰۹
۱۳۹۸		۵۵۰۷/۶۸۵	۵۶۲۴/۸۸۱
۱۳۹۹		۵۸۱۱/۱۸۸	۵۹۰۰/۸۹۴

جدول ۶. مقادیر بهینه پیش‌بینی شده و تحقق‌یافته رشد مصرف انرژی‌های فسیلی (%)

سال	تحقق‌یافته	بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی	با در نظر گرفتن ملاحظات زیست‌محیطی
۱۳۸۳	۴/۳۸۹۷۷۲۶۰۸	۲/۴۸۰۲۵	۷/۶۵۵۳۲۵
۱۳۸۴	۳/۴۳۰۷۶۰۸۲۵	۹/۶۷۸۵۹	۰/۲۳۹۵۸۴
۱۳۸۵	۳/۴۸۳۷۴۱۱۱۵	۰/۵۰۱۴۱۱	۶/۴۸۰۴۵
۱۳۸۶	۵/۲۸۴۲۵۹۳۱۳	۴/۴۷۷۵۱۴	۵/۷۰۹۹۸۳
۱۳۸۷	۰/۴۰۲۶۶۸۴۲	۹/۴۹۸۴۸۴	۴/۷۸۰۷۹۵
۱۳۸۸	۱/۵۴۱۱۳۸۳۹	۲/۹۱۲۱۶۷	۷/۴۲۰۶۷۹
۱۳۸۹	۲/۴۱۲۰۱۴۸۶۱	۵/۸۳۵۰۱۲	۳/۸۸۶۵۲۹

۳۶ فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی سال دوم شماره ۵

۶/۴۲۸۵۹۳	۹/۸۶۱۱۱۹	۱۳۹۰
۱/۵۶۵۶۷۶	۵/۷۴۶۱۰۹	۱۳۹۱
۳/۳۴۶۳۶۵	۸/۵۶۳۲۶۳	۱۳۹۲
۳/۱۵۷۸۸۸	۴/۹۷۱۵۶۱	۱۳۹۳
۵/۹۳۲۸۹۹	۶/۵۸۳۴۲۷	۱۳۹۴
۵/۲۲۵۸۲۴	۵/۶۷۳۸۹۴	۱۳۹۵
۳/۰۵۶۸۵۸	۶/۱۴۶۸۲۱	۱۳۹۶
۶/۷۱۵۱۹۶	۹/۲۸۹۴۲۸	۱۳۹۷
۵/۹۱۴۱۲۲	۰/۲۶۸۱۷۴	۱۳۹۸
۶/۵۶۸۳۶۶	۷/۴۲۵۰۵۶	۱۳۹۹
۴/۵۰۵۴۵	۵/۷۷۳۵۱۴	۲/۹۹۱۶۲۲۲۱۹ میانگین

جدول ۷. مقادیر بهینه پیش بینی شده و تحقق یافته مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (میلیارد ریال)

سال	تحقق یافته	بدون در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی	با در نظر گرفتن ملاحظات زیست محیطی
۱۳۸۲	۸/۳۶۷۷۶۲۲۳۹	۳۳۰۹۲/۴۳	۳۰۹۴۴/۴۱
۱۳۸۳	۷/۷۹۷۱۰۸۰۸۵	۳۷۱۷۱/۵۴	۳۵۹۹۴/۳۹
۱۳۸۴	۲۱/۳۰۸۶۶۱۶	۴۳۸۴۰/۲۶	۴۰۸۰۰/۲۹
۱۳۸۵	۲۲/۶۱۳۸۹۰۷۴	۴۹۹۶۹/۹۳	۴۷۳۵۵/۵۹
۱۳۸۶	۱۶/۲۶۰۶۴۸۵۵	۵۶۸۸۷/۵۹	۵۲۱۶۸/۵۱
۱۳۸۷	۸/۶۵۷۴۴۴۸۸۱	۶۴۳۴۵/۵	۶۲۴۴۳/۲۵
۱۳۸۸	۹/۹۸۶۵۱۱۷۲۱	۷۵۴۶۵/۶۷	۷۳۹۳۵/۰۴
۱۳۸۹	۱۱/۲۹۷۰۳۵۶۶	۹۱۷۷۴/۶۸	۸۵۰۲۹/۳
۱۳۹۰		۱۰۵۴۹۸/۳	۹۶۲۷۸/۷
۱۳۹۱		۱۱۵۲۵۴/۷	۱۱۳۷۵۷/۷
۱۳۹۲		۱۳۱۷۸۳	۱۲۸۷۸۴/۳
۱۳۹۳		۱۴۶۷۶۴/۹	۱۴۱۸۳۵/۶
۱۳۹۴		۱۶۰۴۹۸/۳	۱۵۶۵۸۷/۱
۱۳۹۵		۱۷۲۵۲۰	۱۶۷۰۴۷
۱۳۹۶		۱۸۱۷۱۶/۴	۱۸۳۰۸۵/۴
۱۳۹۷		۱۹۱۴۱۸/۹	۱۹۴۴۳۱/۳
۱۳۹۸		۲۰۰۸۶۰/۲	۲۰۷۵۶۴/۳
۱۳۹۹		۲۱۷۰۲۰/۸	۲۲۲۹۹۱/۹

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۳۷

جدول ۸. مقادیر بهینه پیش‌بینی شده و تحقق یافته رشد مصرف انرژی‌های تجدیدپذیر (%).

سال	تحقق یافته	بدون در نظر گرفتن ملاحظات	با در نظر گرفتن ملاحظات
		زیست محیطی	زیست محیطی
۱۳۸۳	-۶/۸۱۹۶۷۴۵۷۶	۴۳/۲۶۲۲۶	۶۶/۳۶۹۴۸
۱۳۸۴	۲۱/۰۹۴۴۲	۲۴/۸۰۳۳۶	۹۹/۸۸۵۸۹
۱۳۸۵	۶/۱۲۵۳۴۵۴۷۹	۶۸/۶۵۲۳۳	۵/۱۹۲۵۱۲
۱۳۸۶	-۲۸/۰۹۴۴۲۳۳	۳۹/۹۱۴۴۶	۲۳/۸۸۴۵۱
۱۳۸۷	-۱۲/۰۹۴۴۲	۸۷/۷۴۰۳۶	۲۲/۹۹۷۹۱
۱۳۸۸	۱۵/۳۵۱۷۲۱۶۵	۵۸/۰۱۹۸۹	۲۲/۰۳۷۶۸
۱۳۸۹	۱۳/۱۲۲۹۳۹۹۸	۴۶/۴۵۵۲	۳۱/۱۹۷۷۱
۱۳۹۰		۵۹/۷۹۲۶۴	۸۴/۰۴۷۷
۱۳۹۱		۲۰/۲۷۲۱۵	۴۰/۲۷۸۶۴
۱۳۹۲		۴۳/۲۴۸۳۵	۲۴/۵۱۰۸۹
۱۳۹۳		۶۳/۹۸۹۹۶	۵۱/۸۴۰۵۹
۱۳۹۴		۸۸/۶۹۱۹۱	۶۸/۸۲۹۹۴
۱۳۹۵		۵۵/۹۴۴۱۱	۷۱/۳۶۱۶۷
۱۳۹۶		۸۰/۲۷۵۴۴	۹۶/۲۱۳۰۹
۱۳۹۷		۴۳/۳۱۰۵۷	۷۶/۹۳۹۴۹
۱۳۹۸		۹۱/۱۰۹۵۴	۲۰/۲۵۶۷۳
۱۳۹۹		۵۲/۳۲۵۳۷	۴۸/۵۱۶۵۵
میانگین	۱/۲۶۹۴۱۵۶۰۴	۵۶/۹۲۹۸۸	۵۰/۲۵۶۵۳

جدول ۹. مقادیر بهینه پیش‌بینی شده و تحقق یافته سهم انرژی‌های تجدیدپذیر از کل انرژی (%).

سال	تحقق یافته	بدون در نظر گرفتن ملاحظات	با در نظر گرفتن ملاحظات
		زیست محیطی	زیست محیطی
۱۳۸۲	۰/۴۰۶۷۶۲	۰/۴۳۱۹۷۸	۰/۴۳۹۶۴۸
۱۳۸۳	۰/۳۶۳۲۵۳	۰/۴۶۱۰۳۱	۰/۴۸۰۰۴۶
۱۳۸۴	۰/۹۵۴۱۱۱	۰/۵۱۵۳۸۲	۰/۵۱۶۸۷۳
۱۳۸۵	۰/۹۷۸۲۲۹	۰/۵۴۳۸۲۸	۰/۵۸۰۱۲۶
۱۳۸۶	۰/۶۷۰۱۷۵	۰/۵۹۱۸۷۲	۰/۶۲۶۷۲۳
۱۳۸۷	۰/۳۵۶۵۰۴	۰/۶۷۲۰۴۱	۰/۶۹۹۰۱۷
۱۳۸۸	۰/۴۰۴۷۹۶	۰/۷۴۹۱۹	۰/۷۷۷۸۷۶

۳۸ فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی سال دوم شماره ۵

۰/۸۲۴۹۸۲	۰/۸۲۱۳۸	۰/۴۴۶۹۴۳	۱۳۸۹
۰/۹۱۴۱۲۴	۰/۸۹۱۱۲۵		۱۳۹۰
۰/۹۹۳۶۸۲	۰/۹۷۰۸۷۱		۱۳۹۱
۱/۰۴۸۵۲	۱/۰۵۰۰۲۱		۱۳۹۲
۱/۱۸۴۲۴	۱/۱۲۹۰۵۸		۱۳۹۳
۱/۳۲۸۴۲۸	۱/۲۴۳۰۶۴		۱۳۹۴
۱/۴۰۸۸۷۷	۱/۳۶۷۵۵۶		۱۳۹۵
۱/۵۷۸۵۲۷	۱/۵۱۰۱۲۱		۱۳۹۶
۱/۶۸۶۳۸۸	۱/۵۹۲۹۳۱		۱۳۹۷
۱/۸۲۶۶۸۹	۱/۷۳۳۴۹۸		۱۳۹۸
۲/۰۴۴۵۴۵	۱/۹۰۹۲۵۷		۱۳۹۹

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۳۹

پیوست ۲

کد برنامه‌های نوشته شده در نرم‌افزار Matlab برای حل الگوی بهینه

Run file فایل

```
clc
clear

pop=3000;
iter=300;
T=18;
ru=0.0445;
sigma=0.5338;
phi=1.2415;
deltak=.06;
Pn=.8;
Pr=1.2;
deltaA=0.8569;
alfa1=0.4829;
alfa2=0.1625;
alfa3=0.2785;
alfa4=0.0303;
alfa5=0.1047;
delta1=1.02;
delta2=0.8;
eta=0.05;

C0=251236.0078;
RD0=28153.9;
L0=21014000;
n0=2048.79416;
r0=8.367762239;
RE0=2048.79416*10000;
P0=412317.48;
Y0=385630.3;
K0=1369087;
A0=30232.0139976985;

iiii=2
gk=ones(T,iiii)
gRD=ones(T,iiii)
```

```

gL=ones(T,iiii)
gn=ones(T,iiii)
gr=ones(T,iiii)
C=ones(T,iiii)
RD=ones(T,iiii)
L=ones(T,iiii)
n=ones(T,iiii)
r=ones(T,iiii)
RE=ones(T,iiii)
P=ones(T,iiii)
Y=ones(T,iiii)
K=ones(T,iiii)
A=ones(T,iiii)

for i=1:2;
    kapa=(i-1)
    [gk1,gRD1,gL1,gn1,gr1,C1,RD1,L1,n1,r1,RE1,P1,Y1,K1,A1]=...

    main(pop,iter,T,ru,sigma,kapa,phi,deltak,Pn,Pr,deltaA,alfa1,alfa2,alfa3,alfa4
    ,alfa5,delta1,delta2,eta,C0,RD0,L0,n0,r0,RE0,P0,Y0,K0,A0)

    kapaaa(i,1)=kapa;

    gk(:,i)=gk1;
    gRD(:,i)=gRD1;
    gL(:,i)=gL1;
    gn(:,i)=gn1;
    gr(:,i)=gr1;

    Y(:,i)=Y1;
    K(:,i)=K1;
    L(:,i)=L1;
    n(:,i)=n1;
    r(:,i)=r1;
    RD(:,i)=RD1;
    A(:,i)=A1;
    P(:,i)=P1;
    C(:,i)=C1;
    RE(:,i)=RE1;
end

```


تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۴۱

```
%Var=( 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10)
%Var=(year Y K L n r RD A P C)
```

```
Renewableshare=100.*(r./(r+n));
realizedRenewableshare=100.*(X(:,6)./(X(:,6)+X(:,5)));
```

```
t=1382:1399
```

کدهای فایل main

```
function [gk1,gRD1,gL1,gn1,gr1,C1,RD1,L1,n1,r1,RE1,P1,Y1,K1,A1]=...
```

```
main(pop,iter,T,ru,sigma,kapa,phi,deltak,Pn,Pr,deltaA,alfa1,alfa2,alfa3,alfa4,
,alfa5,delta1,delta2,eta,C0,RD0,L0,n0,r0,RE0,P0,Y0,K0,A0)
```

```
clc
```

```
format short g
```

```
disp('***** File prepared by: Ali Hossein
```

```
Ostazdad *****')
```

```
disp('***** Economics and Management
```

```
department *****')
```

```
disp('***** Shiraz University
```

```
*****')
```

```
disp('*****')
```

```
disp('*****')
```

```
disp('we are going to estimate parameter .....')
```

```
disp('please wait...')
```

```
%----- start -----
---
```

```
%-----
```

```
%define iteration and population size
```

```
%
%-----
% Create the initial population % number of
optimization variables
```

```
popsiz=pop; % set population size
```

```
%
```

```
% variable limits
```

```
logk=0; higk=0.1;
```

```

logRD=0;          higRD=1;
logL=0;           higL=0.1;
logn=0;          hign=0.1;
logr=0;          higr=.3;
%
% create random variable
gk=logk+(higk-logk).*rand(T,popsize);
gRD=logRD+(higRD-logRD).*rand(T,popsize);
gL=logL+(higL-logL).*rand(T,popsize);
gn=logn+(hign-logn).*rand(T,popsize);
gr=logr+(higr-logr).*rand(T,popsize);

ss=0;
%
%
K=K0.*ones(T,popsize);
for s=1:iter
    %
% calculates population fitness using epsilon
for i=1:popsize
    for j=1:T
        if j==1
            K(j+1,i)=(1+gk(j,i)).*K(j,i);
            RD(j,i)=(1+gRD(j,i)).*RD0;
            L(j,i)=(1+gL(j,i)).*L0;
            n(j,i)=(1+gn(j,i)).*n0;
            r(j,i)=(1+gr(j,i)).*r0;
            A(j,i)=RD0+(1-deltaA).*A0;

Y(j,i)=(K(j,i).^alfa1).*(L(j,i).^alfa2).*(n(j,i).^alfa3).*(r(j,i).^alfa4).*(A(j,i).^
alfa5);
            C(j,i)=Y(j,i)-Pn.*n(j,i)-Pr.*r(j,i)-RD(j,i)+K(j,i)-deltak.*K(j,i)-
K(j+1,i);
            P(j,i)=abs(((Y(j,i)).^(delta1-delta2)).*((n(j,i)).^(delta2))-(1-
eta).*(P0));
            E(j,i)=1./(P(j,i));
            U(j,i)=(1./((1+ru).^j)).*(((C(j,i)).^(1-sigma)))/(1-
sigma))+kapa.*((E(j,i).^phi)/(phi));
            RE(j,i)=RE0-n0;
        else
            K(j+1,i)=(1+gk(j,i)).*K(j,i);

```

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۴۳

```

RD(j,i)=(1+gRD(j,i)).*RD(j-1,i);
L(j,i)=(1+gL(j,i)).*L(j-1,i);
n(j,i)=(1+gn(j,i)).*n(j-1,i);
r(j,i)=(1+gr(j,i)).*r(j-1,i);
A(j,i)=RD(j-1,i)+(1-deltaA).*A(j-1,i);

Y(j,i)=(K(j,i).^alfa1).*(L(j,i).^alfa2).*(n(j,i).^alfa3).*(r(j,i).^alfa4).*(A(j,i).^
alfa5);
C(j,i)=Y(j,i)-Pn.*n(j,i)-Pr.*r(j,i)-RD(j,i)+K(j,i)-deltak.*K(j,i)-
K(j+1,i);
P(j,i)=abs(((Y(j,i)).^(delta1-delta2)).*((n(j,i)).^(delta2))-(1-eta).*(P(j-
1,i))));
E(j,i)=1./(P(j,i));
U(j,i)=(1./((1+ru).^j)).*(((C(j,i).^(1-sigma)))./(1-
sigma))+kapa.*((E(j,i).^phi)./(phi)));
RE(j,i)=RE(j-1,i)-n(j-1,i);

end

while C(j,i)<=0
gk(j,i)=logk+(higk-logk).*rand;
gRD(j,i)=logRD+(higRD-logRD).*rand;
gL(j,i)=logL+(higL-logL).*rand;
gn(j,i)=logn+(hign-logn).*rand;
gr(j,i)=logr+(higr-logr).*rand;

if j==1
K(j+1,i)=(1+gk(j,i)).*K(j,i);
RD(j,i)=(1+gRD(j,i)).*RD0;
L(j,i)=(1+gL(j,i)).*L0;
n(j,i)=(1+gn(j,i)).*n0;
r(j,i)=(1+gr(j,i)).*r0;
A(j,i)=RD0+(1-deltaA).*A0;

Y(j,i)=(K(j,i).^alfa1).*(L(j,i).^alfa2).*(n(j,i).^alfa3).*(r(j,i).^alfa4).*(A(j,i).^
alfa5);
C(j,i)=Y(j,i)-Pn.*n(j,i)-Pr.*r(j,i)-RD(j,i)+K(j,i)-deltak.*K(j,i)-
K(j+1,i);
P(j,i)=abs(((Y(j,i)).^(delta1-delta2)).*((n(j,i)).^(delta2))-(1-
eta).*(P0)));
E(j,i)=1./(P(j,i));

```

```

    U(j,i)=(1./((1+ru).^j)).*(((C(j,i).^(1-sigma)))/(1-
sigma))+kapa.*((E(j,i).^phi)/(phi));
    RE(j,i)=RE0-n0;

    else
    K(j+1,i)=(1+gk(j,i)).*K(j,i);
    RD(j,i)=(1+gRD(j,i)).*RD(j-1,i);
    L(j,i)=(1+gL(j,i)).*L(j-1,i);
    n(j,i)=(1+gn(j,i)).*n(j-1,i);
    r(j,i)=(1+gr(j,i)).*r(j-1,i);
    A(j,i)=RD(j-1,i)+(1-deltaA).*A(j-1,i);

Y(j,i)=(K(j,i).^alfa1).*(L(j,i).^alfa2).*(n(j,i).^alfa3).*(r(j,i).^alfa4).*(A(j,i).^
alfa5);
    C(j,i)=Y(j,i)-Pn.*n(j,i)-Pr.*r(j,i)-RD(j,i)+K(j,i)-deltak.*K(j,i)-
K(j+1,i);
    P(j,i)=abs(((Y(j,i)).^(delta1-delta2)).*((n(j,i)).^(delta2))-(1-eta).*(P(j-
1,i)));
    E(j,i)=1./(P(j,i));
    U(j,i)=(1./((1+ru).^j)).*(((C(j,i).^(1-sigma)))/(1-
sigma))+kapa.*((E(j,i).^phi)/(phi));
    RE(j,i)=RE(j-1,i)-n(j-1,i);

    end
    end

end
F1(i)=sum(U(:,i));
F(i)=-F1(i);
end
%
% sort fitness
[F,ind]=sort(F); % max fitness in element 1
% monitoring cost function
ss=ss+1;
sss(ss)=s;
%
% sort variable
K=K(:,ind);
RD=RD(:,ind);
L=L(:,ind);
n=n(:,ind);

```

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۴۵

```
r=r(:,ind);
A=A(:,ind);
Y=Y(:,ind);
C=C(:,ind);
P=P(:,ind);
E=E(:,ind);
U=U(:,ind);
RE=RE(:,ind);

gk=gk(:,ind);
gRD=gRD(:,ind);
gL=gL(:,ind);
gn=gn(:,ind);
gr=gr(:,ind);

%
% Pair and mate
%
% selection of chromosome
selection=0.5; % fraction of population kept
keep=floor(selection*popsiz); % #population members that survive
M=ceil((popsiz-keep)/2); % number of matings
prob=flipud([1:keep]'/sum([1:keep]))); % weights chromosomes
odds=[0 cumsum(prob(1:keep))']; % probability distribution function
pick1=rand(1,M); % mate #1
pick2=rand(1,M); % mate #2

% ma and pa contain the indicies of the chromosomes that will mate
ic=1;
while ic<=M
    for id=2:keep+1
        if pick1(ic)<=odds(id) & pick1(ic)>odds(id-1)
            ma(ic)=id-1;
        end
        if pick2(ic)<=odds(id) & pick2(ic)>odds(id-1)
            pa(ic)=id-1;
        end
    end
    ic=ic+1;
end
```

```

%
% generate new value for variable

for j=1:T
    blending(logk,higk,gk(j,:)',M,popsize,pa,ma);
    gk(j,:)=ans';

    blending(logRD,higRD,gRD(j,:)',M,popsize,pa,ma);
    gRD(j,:)=ans';

    blending(logL,higL,gL(j,:)',M,popsize,pa,ma);
    gL(j,:)=ans';

    blending(logn,hign,gn(j,:)',M,popsize,pa,ma);
    gn(j,:)=ans';

    blending(logr,higr,gr(j,:)',M,popsize,pa,ma);
    gr(j,:)=ans';

    for i=1:popsize
        if gk(j,i)<logk | gk(j,i)>higk
            gk(j,i)=logk+(higk-logk).*rand;
        end
    end

    for i=1:popsize
        if gRD(j,i)<logRD | gRD(j,i)>higRD
            gRD(j,i)=logRD+(higRD-logRD).*rand;
        end
    end

    for i=1:popsize
        if gL(j,i)<logL | gL(j,i)>higL
            gL(j,i)=logL+(higL-logL).*rand;
        end
    end

    for i=1:popsize
        if gn(j,i)<logn | gn(j,i)>hign

```

تعیین سهم بهینه انرژی‌های تجدیدپذیر در یک الگوی رشد پایدار: مورد ایران ۴۷

```
        gn(j,i)=logn+(hign-logn).*rand;
    end
end

for i=1:popsize
    if gr(j,i)<logr | gr(j,i)>higr
        gr(j,i)=logr+(higr-logr).*rand;
    end
end

end

%
% Mutation
murate=.4;
Nmujh=murate.*popsize;
%
%Mutation b

for aa=1:Nmujh
    index(aa)=ceil(popsize*rand);
    for sss=1:4:popsize
        while index(aa)==sss | index(aa)==sss+1
            index(aa)=ceil(popsize*rand);
        end
    end
end

randomgk=logk+(higk-logk).*rand(T,popsize);
randomgRD=logRD+(higRD-logRD).*rand(T,popsize);
randomgL=logL+(higL-logL).*rand(T,popsize);
randomgn=logn+(hign-logn).*rand(T,popsize);
randomgr=logr+(higr-logr).*rand(T,popsize);

for x=1:Nmujh
    for j=1:T
        gk(j,index(x))=randomgk(j,index(x));
        gRD(j,index(x))=randomgRD(j,index(x));
        gL(j,index(x))=randomgL(j,index(x));
        gn(j,index(x))=randomgn(j,index(x));
    end
end
```

```

    gr(j,index(x))=randomgr(j,index(x));
end
end

clc
kapa

gk1=gk(:,1);
gRD1=gRD(:,1);
gL1=gL(:,1);
gn1=gn(:,1);
gr1=gr(:,1);
C1=C(:,1);
RD1=RD(:,1);
L1=L(:,1);
n1=n(:,1);
r1=r(:,1);
RE1=RE(:,1);
P1=P(:,1);
Y1=Y(:,1);
K1=K(1:T,1);
A1=A(:,1);
s
disp('C RD L n r RE P Y K A');
[C0 RD0 L0 n0 r0 RE0 P0 Y0 K0 A0;C1 RD1 L1 n1 r1 RE1 P1 Y1 K1 A1];
end

```

کدهای فایل blending

```

function [xx]=blending(mina,maxa,x,M,popsize,pa,ma);
bet=rand(2,M);
jj=0;
for kk=1:4:popsize;
    jj=jj+1;
    xx(kk,1)=x(pa(1,jj));
    xx(kk+1,1)=x(ma(1,jj));
    xx(kk+2,1)=bet(1,jj).*x(ma(1,jj))+(1-bet(1,jj)).*x(pa(1,jj));
    xx(kk+3,1)=bet(2,jj).*x(ma(1,jj))+(1-bet(2,jj)).*x(pa(1,jj));
end

```