

برآورد انباشت دی اکسید کربن در قالب مدل تعادلی رمزی پایدار در اقتصاد ایران

علی طیب نیا^۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۱۰

آزاده اختری^۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۸/۲۵

چکیده

در این مطالعه میزان حقیقی دی اکسید کربن موجود در جو، انباشت دی اکسید کربن سرانه مؤثر و انباشت سرانه مؤثر وضعیت پایدار این آلاینده در دوره ۴-۱۳۸۶ : ۴-۱۳۷۰ به کمک رهیافت کالمن فیلتر^۳ و در قالب مدل تعادلی رمزی برای ایران برآورد شده است. از این رهگذر برآورد پارامترهایی همچون ضریب پاک سازی محیط برای دی اکسید کربن، سهم منابع فسیلی در تولید، نرخ ترجیح زمانی و کشش تابع انتشار نسبت به فعالیت های کاهنده انتشار، امکان پذیر شد. نتایج برآورد برای دوره مذکور با لحاظ ضرایب پاک سازی کمینه، تعادلی و بیشینه

۱. دانشیار دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران، Email: Taiebnia@ut.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری، دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران، (نویسنده مسئول)، Email: azadeh_akhtary@yahoo.com

3. Kalman filtering

۴. کشش مصرف سوخت های فسیلی در تابع تولید

حاکی از آن است که در ایران سهم منابع فسیلی در تولید، ۰/۴۴۷۵، نرخ ترجیح زمانی، ۰/۰۱۲، کشش تابع انتشار نسبت به فعالیت‌های کاهنده، ۴/۴۵ و ضریب پاک‌سازی فصلی محیط برای آلاینده دی‌اکسید کربن، ۰/۰۲، است. انباشت دی‌اکسید کربن سرانه مؤثر و انباشت سرانه مؤثر وضعیت پایدار این آلاینده با ضریب پاک‌سازی فصلی ۰/۰۲، به ترتیب دارای میانگین‌های ۵۰/۴۵ و ۵۲/۹۷ متریک تن و بر حسب برابری قدرت خرید و ثابت سال ۲۰۰۵ است. مصرف سوخت‌های فسیلی و سرمایه سرانه مؤثر وضعیت پایدار نیز به ترتیب دارای میانگین‌های ۴/۴۶۸ کیلوگرم و ۶/۵۶ دلار و بر حسب برابری قدرت خرید و ثابت سال ۲۰۰۵ است. پیشی گرفتن میانگین مقادیر وضعیت پایدار انباشت دی‌اکسید کربن از میانگین انباشت آن، حاکی از روند صعودی مسیر حرکت انباشت این آلاینده در آینده خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: کالمن فیلتر، مدل فضا-حالت^۱، الگوریتم ژنتیک، مدل رشد رمزی، بی‌نظمی و قانون اسمالدرز.

JEL: B13, C68, C88, E13, Q01, Q32

1. State space model

۱. مقدمه

با آغاز انقلاب صنعتی در اوایل قرن نوزدهم میلادی و رشد روز افزون تحولات بشری، نیاز بشر به انرژی و مصرف انواع سوخت‌های فسیلی نظیر ذغال سنگ، نفت و گاز طبیعی بیشتر شده است. افزایش جمعیت کره زمین نیز همراه با رشد میزان تقاضای حامل‌های انرژی، تغییر کاربری زمین و تخریب جنگل‌ها را در پی داشته است. یکی از دستاوردهای این تحولات افزایش روزافزون غلظت گازهای گلخانه‌ای^۱ موجود در جو است که به همراه هواویزه‌ها^۲ و تغییرات ضریب انعکاسی زمین^۳، بر سرعت پدیده تغییر اقلیم تأثیر می‌گذارند و در این میان تأثیر و اهمیت گازهای گلخانه‌ای بسیار بیشتر و شناخته‌شده‌تر است^۴ (دفتر طرح ملی تغییر آب و هوا، ۱۳۸۱). از میان این گازها، دی‌اکسید کربن که به آلودگی فرامرزی معروف است، عامل اصلی گرمایش جهانی تشخیص داده شده است^۵. منابع طبیعی تولید آن تنفس موجودات زنده، تجزیه بقایا و آتش‌سوزی‌های طبیعی است و به طور مصنوعی از طریق سوختن سوخت‌های فسیلی، جنگل‌زدایی و تولید سیمان نیز ایجاد می‌شود. انتشار گازهای حاصل از احتراق سوخت‌های فسیلی در حدود ۶۵ درصد دی‌اکسید کربن اضافی که اکنون در اتمسفر یافت می‌شود را به وجود می‌آورد و باقی‌مانده ۳۵ درصدی آن از نابودی جنگل‌ها و تبدیل آن‌ها به سیستم‌های کشاورزی ناشی می‌شود. این گاز دارای طول عمر اتمسفری ۵ الی ۲۰۰ سال در جو است و با رسیدن نسبت آن در

1. Green House Gases (GHG)

۲. هواویزه‌ها یا آثرسول‌ها که اثری بر خلاف گازهای گلخانه‌ای دارند، به وسیله انعکاس پرتوهای مرئی، از ورود انرژی خورشیدی به جو زمین جلوگیری می‌کنند.

۳. تغییر در ضریب انعکاس زمین به علت استفاده بی‌رویه از جنگل‌ها، تبدیل چمنزارها به مزارع، اثرات سوء احشام در طبیعت، تبدیل روستاها به شهرها و حتی استفاده گسترده از کلکتورهای خورشیدی به وقوع می‌پیوندد که به تغییراتی در آب، هوا و خاک منطقه منتهی می‌شود.

۴. گازهای گلخانه‌ای با کاهش توانایی زمین برای خروج انعکاس خورشید به فضا و با جذب و بازتابیدن بخشی از تابش‌های فروسرخ به سطح زمین، تعادل انرژی زمین را مختل کرده، موجب باقی ماندن انرژی گرمایی بیشتری در داخل اتمسفر زمین می‌شوند که این امر به گرم شدن زمین و بروز سایر تغییرات در اقلیم منتهی می‌شود.

۵. این گاز علت ۵۵ درصد تغییر در شدت اثر گلخانه‌ای زمین است.

جو به آن‌چه که حد بحرانی نامیده شده، ممکن است تغییرات اقلیمی شدیدی در جو زمین به وقوع پیوندد.

پدیده تغییر اقلیم آثار سوئی را به دنبال دارد که پدیده‌هایی نظیر افزایش دما، افزایش سطح آب دریاها، خشکسالی، بروز توفان‌های قدرتمند، مهاجرت بافت‌های جمعیتی، کاهش محصولات کشاورزی و آسیب‌های اقتصادی ناشی از این موارد از آثار زیانبار مستقیم تغییرات اقلیمی است؛ به‌طوری که هزینه‌های اقتصادی سالیانه مرتبط با بلایای طبیعی در جهان در حدود ۵۰-۱۰۰ میلیارد دلار برآورده شده و حتی در بعضی سال‌ها میزان آسیب‌های اقتصادی ناشی از بلایای طبیعی به بیش از ۴۵۰ میلیارد دلار رسیده است. بر اساس مطالعات هیئت بین دولتی تغییر اقلیم^۱، آسیب‌های اقتصادی ناشی از افزایش^۰ ۲/۵C ای دمای متوسط کره زمین که در اثر دو برابر شدن غلظت گازهای گلخانه‌ای موجود در جو زمین به وقوع می‌پیوندد، سبب کاهش سالیانه ۱ تا ۱/۵ درصد تولید ناخالص داخلی کشورهای توسعه یافته و ۲ تا ۹ درصد تولید ناخالص داخلی کشورهای در حال توسعه می‌شود. از اثرات غیر مستقیم تغییر اقلیم نیز می‌توان به آسیب‌های اقتصادی ناشی از سیاست‌های کاهش انتشار و نیز اقدامات مقابله‌ای کشورهای عضو پروتکل کیوتو بر اقتصاد کشورهای صادرکننده نفت اشاره کرد (امیرفخری، ۱۳۸۹).

بروز تغییرات اقلیمی همچون بروز سیل، تغییر سطوح آب‌های دریای خزر و خلیج فارس، کاهش قابل توجه میزان تولید محصولات کشاورزی، وابستگی به واردات غلات، بروز بحران‌های اقتصادی-اجتماعی و ناکارآمدی مشهود سیاست‌های اجرایی کشور در مواجهه با این تغییرات، رهاورد وابستگی شدید ساختار اقتصادی کشور به درآمدهای نفتی، روند صعودی مصرف حامل‌های انرژی و روند فزاینده تولید دی‌اکسید کربن^۲ در کشور است که این مهم لزوم بررسی میزان انتشار این آلاینده را در کشور بیش از کشورهای دیگر جهان تقویت می‌کند؛ به‌طوری که آمارگویای تولید ۱۷۵ میلیون تن

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

۲. مصرف انرژی موجب بیش از ۸۰٪ انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

دی اکسید کربن در سال ۱۳۶۹ در ایران است؛ در حالی که در سال ۱۳۸۶ این میزان به ۴۶۶ میلیون تن رسیده و در مجموع شاهد افزایش ۱۶۵/۸ درصدی بوده ایم (گزارش سالیانه آژانس بین المللی انرژی^۱، ۲۰۰۷).

اما آن چه توجه بدان حائز اهمیت است آن که دی اکسید کربن آلاینده ای نیمه پایا با طول عمر ۵ تا ۲۰۰ سال در جو است؛ این گاز دارای قابلیت انباشت بوده^۲، ارتباط مستقیم نیروی تابشی گازهای گلخانه ای با طول عمرشان موجب می شود تأثیر دی اکسید کربن بر پدیده تغییر اقلیم تنها محدود به زمان انتشار نباشد.

با توجه به آن چه گفته شد، در مطالعه حاضر برای دستیابی به میزان دقیق غلظت دی اکسید کربن موجود در جو و درک عمق آسیب های زیست محیطی ناشی از انباشت این آلاینده، برای اولین بار در قالب مدل تعادلی رمزی و به کمک رهیافت کالمن فیلتر، انباشت دی اکسید کربن سرانه مؤثر و انباشت سرانه مؤثر وضعیت پایدار این آلاینده در ایران برآورد شده است.

بخش های مقاله به صورت زیر تنظیم شده است: در ابتدا پس از تبیین اهمیت برآورد انباشت دی اکسید کربن در چارچوب مدل رشد رمزی، مسیرهای بهینه مصرف و فعالیت های کاهنده انتشار تعیین شده است. سپس با بهره گیری از مسیرهای بهینه و مسیر حرکت انباشت دی اکسید کربن و سرمایه، فرم خلاصه شده ای از سیستم معادلات ساختاری برای طراحی در قالب مدل فضا- حالت معرفی شده است. سپس چگونگی برآورد مدل در چارچوب رهیافت کالمن فیلتر بیان شده و پس از آن نتایج برآورد مدل گزارش و تجزیه و تحلیل شده است. بخش پایانی به نتیجه گیری اختصاص یافته است.

1. IEA(2011)

۲. زیرا بخشی از دی اکسید کربن انتشار یافته در اتمسفر توسط پوشش گیاهی جذب و بخشی دیگر در آب اقیانوس ها حل می شود و حدود ۵۰٪ آن در اتمسفر باقی می ماند. مطالعات اخیر نشان می دهند که بازایی مقادیر بیشتر دی اکسید کربن ناشی از سوزاندن سوخت های فسیلی باعث ایجاد طول عمر موثری حدود ده ها هزار سال برای آن خواهد شد.

۲. مروری بر بخشی از مطالعات پیشین رشد پایدار^۱

مدل‌های معرفی‌شده در این بخش با بهره‌گیری از فروض خاص خود به ارائه راهکارهایی می‌پردازند که به کمک آن‌ها بهبود در کیفیت زیست‌محیطی و رشد اقتصادی توانمند می‌شود. ادبیات مربوط به رشد پایدار با تلاش‌های گسترده در دهه ۷۰ به وسیله فورستر^۲ (۱۹۷۳)، سولو (۱۹۷۳) و براک^۳ (۱۹۷۷) آغاز شد. فورستر (۱۹۷۳) برای اولین بار در چارچوب مدلی نئو کلاسیکی، با فرض نرخ رشد جمعیت صفر و با فرض عدم وجود پیشرفت فنی در فعالیت‌های کاهنده انتشار و تولید آلودگی، به بررسی کنترل بهینه انتشار پرداخته است. نتایج مطالعه او نشان داد که هنگامی که جامعه برای کنترل انتشار، قسمتی از منابع خود را سرمایه‌گذاری می‌کند، مصرف و سرمایه سرانه وضعیت پایدار^۴ به علت کاهش بازگشت خالص سرمایه در نتیجه تخصیص بخشی از منابع به فعالیت‌های کنترل انتشار، کاهش می‌یابند.

استوکی^۵ (۱۹۹۸) با استفاده از مدل A-K به بررسی تقابل انتشار آلودگی و رشد پرداخت. مدل او بر نقش فعالیت‌های کاهنده بر بهبود کیفیت محیط‌زیست در طول مسیر رشد متوازن تمرکز دارد. مهم‌ترین ویژگی مدل استوکی وابستگی آن به فعالیت‌های کاهنده افزایشی و به کارگیری مقررات شدید در کاهش انتشار است. در این مدل افزایش در شدت فعالیت‌های کاهنده انتشار با اختصاص سهم بیشتری از محصول بالقوه به فعالیت‌های کاهنده، محدودیت بیشتری را بر رشد اقتصادی تحمیل خواهد کرد. این درحالی‌است که سهم محصول بالقوه اختصاص یافته به فعالیت‌های کاهنده در نهایت به یک نزدیک شده و در نتیجه تخصیص همه منابع به فعالیت‌های کاهنده، رشد اقتصادی متوقف خواهد شد. از این رو استوکی بر اهمیت پیشرفت‌های فنی در فعالیت‌های کاهنده در دستیابی به توسعه پایدار تاکید دارد.

-
1. Sustainable Growth
 2. Forster
 3. Brock
 4. Steady State
 5. Stokey

مدل سبز^۱ سولو که توسط براك و تیلور (۲۰۰۴) طراحی شده است، با بهره‌گیری از مدل سولو بسط یافته^۲ بیان می‌کند که رشد اقتصادی پایدار با فرض پیشرفت فنی برونزا در تولید و فعالیت‌های کاهنده انتشار امکان‌پذیر خواهد بود. در این مدل تک محصولی عامل ایجاد آلودگی میزان تولید است و کسری ثابت از نهاده‌های نیروی کار و سرمایه به فعالیت‌های کاهنده اختصاص می‌یابد. انباشت آلودگی معیاری برای بررسی میزان کیفیت زیست‌محیطی است و انتشار آلودگی برای تولید هر واحد از محصول با نرخ ثابتی کاهش می‌یابد. مدل آن‌ها بیان می‌کند که سرمایه‌گذاری برای بهبود کیفیت محیط‌زیست، تنها سطح مقادیر تعادلی متغیرها را تغییر می‌دهد و تأثیری بر نرخ‌های رشد نخواهد داشت. همچنین اعمال سیاست‌های زیست‌محیطی شدیدتر تنها موجب می‌شود مقادیر تعادلی تولید، سرمایه و مصرف سرانه در سطوح تعادلی پایین‌تری قرار گیرند. هم‌چنین بیان می‌شود حضور پیشرفت فنی در کاهش انتشار، در تضمین رشد مداوم و کنترل میزان هزینه‌های کاهش انتشار مؤثر است.

۳. معرفی مدل تعادلی

در این مطالعه تلاش می‌شود تا در قالب مدل تعادلی رشد رمزی، تقابل انباشت دی‌اکسید کربن با تولید و مصرف در مسیر رشد بررسی شود و پس از آن با بهره‌گیری از مسیرهای بهینه رشد مصرف و فعالیت‌های اختصاص یافته به کاهش انتشار و مسیرهای رشد سرمایه و انباشت آلاینده، متغیر غیر قابل مشاهده انباشت دی‌اکسید کربن برآورد شود. با توجه به آن‌که خسارت‌های زیست‌محیطی ناشی از انتشار دی‌اکسید کربن بر مطلوبیت مصرف‌کننده و هزینه‌های اختصاص یافته به فعالیت‌های کاهنده انتشار بر درآمد قابل تصرف و لذا بر مصرف تأثیرگذار است در این مطالعه به منظور بررسی تقابل انباشت دی‌اکسید کربن^۳ با مصرف از مدل رشد رمزی بهره گرفته شده است و انباشت آلاینده

1. Augmented Solow model

۲. این مدل از انواع مدل‌های با رویکرد مصرف‌کننده است.

۳. لازم به ذکر است که انباشت دی‌اکسید کربن به جای ذخیره منابع فسیلی در تابع تولید لحاظ شده است.

مذکور به طور همزمان تولید و مطلوبیت خانوار را تحت تأثیر قرار می‌دهد. در این مدل با استفاده از دیدگاه اقتصاددانان بیوفیزیکی^۱ فرض شده است که مصرف سوخت‌های فسیلی به همراه سرمایه و نیروی کار مؤثر در فرایند تولید نقش دارند. تابع تولید کارافزا^۲ و دارای بازدهی ثابت نسبت به مقیاس است و پیشرفت فنی با نرخ رشد π و جمعیت با نرخ رشد n افزایش می‌یابد. اما بر خلاف مدل‌های پیشین، با استفاده از دیدگاه اسمالدرز^۳ و با تبدیل مولاریته^۴ انباشت دی‌اکسیدکربن به عنوان نمادی از کاهش ذخایر فسیلی در تابع تولید وارد می‌شود. با توجه به آن که نرخ احیای منابع طبیعی تجدیدناپذیر صفر است و با فرض آن که ذخیره انرژی‌های فسیلی در هر کشور a و میزان استخراج سوخت‌های فسیلی در هر دوره en باشد، تغییر در ذخیره این منابع برابر با منفی میزان استخراج این منابع است.^۵ بنابراین مجموع کاهش در منابع تجدیدناپذیر برابر با مجموع استخراج منابع در طول زمان خواهد بود:

$$\int_0^t \dot{a} = - \int_0^t en \Rightarrow s = \bar{a} - \sum_{i=1}^t en \quad (1)$$

در این مدل جای‌گزینی انباشت دی‌اکسیدکربن با ذخایر فسیلی سوخت‌شده با استفاده از قانون بی‌نظمی^۶ اسمالدرز انجام یافته است که در آن ذخیره منابع تجدیدناپذیر با بی‌نظمی پایین t ، E_t ، از تفاضل ذخیره کل منابع تجدیدناپذیر سیستم $\bar{E}$ و ذخیره پسماندها با بی‌نظمی بالا P_{pt} ، حاصل می‌شود^۷ (پیتل^۸، ۲۰۰۴).

۱. لازم به ذکر است که در مدل منبع و پاک‌سازی براک و تیلور، انرژی به عنوان نهاده واسطه تعریف شده و تابع تولید دارای سه نهاده سرمایه، نیروی کار و انرژی است.

2. laborAugmenting

3. Smulders

۴. با استفاده از تبدیل مولاریته واحدهای حجمی نفت و مشتقات آپس از سوختن، به واحدهای حجمی آلاینده‌های حاصل از احتراق مانند دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شوند و تبدیل مولاریته به کمک تناسب بین اجرام مولکولی انجام می‌شود.

5. $\dot{a} = -en$

۶. آنتروپی

۷. مجموع مقادیر منابع با آنتروپی پایین و بالا ثابت خواهند ماند. زیرا در فرآیند تبدیل، انرژی به هدر نخواهد رفت و فقط از آنتروپی پایین به آنتروپی بالا تبدیل خواهد شد.

8. Pittel, 2004

$$E_t = \bar{E} - P_{pt} \quad (۲)$$

که در آن ذخیره پسماندها با بی‌نظمی بالا P_{pt} ^۱، با ضریب تعدیل K ، برابر با مجموع ذخایر فسیلی انتشار یافته است.^۲ اما وجود نقش پاک‌سازی طبیعت موجب می‌شود انباشت آلاینده‌های نیمه‌پایا با توجه به ضریب پاک‌سازی آلاینده و مجموع انتشار خالص در دوره مورد بررسی تعیین شود. بنابراین اگر P بیانگر انباشت دی اکسید کربن با سطح اولیه $p_0 = 0$ و انتشار این آلاینده و s بیانگر ضریب پاک‌سازی محیط‌زیست برای این آلاینده^۳ باشد، آن‌گاه انباشت دی اکسید کربن توسط معادله تفاضلی روبه‌رو مشخص می‌شود:

$$p^0 = e - SP \quad P_0 = 0 \quad (۳)$$

بنابراین با توجه به روابط فوق‌الذکر، P_t ضریبی از P_{pt} و ضریب تعدیل بزرگتر از یک است.^۴ بدین‌سان ذخیره منابع فسیلی در هر دوره، تابعی از انباشت دی اکسید کربن خواهد بود:

$$S_t = \bar{a} - P_{pt} = \bar{a} - \kappa \varphi P_t \quad (۴)$$

و با فرض آن که مصرف منابع فسیلی در هر دوره ضریبی ثابت از ذخیره منابع فسیلی باشد، مصرف این منابع در هر دوره توسط رابطه روبه‌رو تصریح خواهد شد:

۱. مجموع انتشار آلاینده تا زمان t

۲. با توجه به دیدگاه اسمالدرز انرژی‌های فسیلی در هنگام سوختن به طور کامل به مشتقات آن (دی اکسید کربن، متان، گاز طبیعی و...) تبدیل می‌شوند. می‌دانیم که دی اکسید کربن از اشتعال سوخت‌های فسیلی که یکی از نهاده‌های تولید است به وجود می‌آید. با توجه به آن که هدف مطالعه حاضر بررسی مسیر حرکت انباشت دی اکسید کربن است لذا به کمک ضریب تعدیل فرض شده است

که انتشار دی اکسید کربن در هر دوره ضریبی از مصرف انرژی‌های فسیلی همان دوره است. $\sum_{i=1}^t en_i = K P_{pt}$

۳. S معکوس طول عمر دی اکسید کربن در اتمسفر است. علت این رابطه آن است که اگر طول عمر دی اکسید کربن ۵۰ سال باشد، به طور متوسط سالانه $\frac{1}{50}$ واحد از ۱ واحد دی اکسید کربن تجزیه می‌شود تا در پنجاهمین سال، یک واحد دی اکسید کربن به طور کامل توسط اتمسفر تجزیه شود.

$\varphi \cdot P_{pt} = \varphi P_t \quad \varphi > 1$

$$en_t = \frac{1}{k'} S_t = \frac{1}{k'} \varphi \kappa \left(\frac{\bar{a}}{\varphi \kappa} - p_t \right) \quad (۵)$$

اکنون با استفاده از فروض فوق الذکر تولید تابعی از سرمایه، نیروی کار و انباشت دی اکسید کربن است که در آن $A = \frac{\kappa \varphi}{k'}$ است:

$$F = A^h K^\alpha \left(\frac{\bar{a}}{\kappa \varphi} - P \right)^h (BL)^{1-\alpha-h} \quad (۶)$$

مسیر بهینه متغیرهای سیستم نیز با حداکثر سازی ارزش حال مطلوبیت تنزیل یافته خانوار نماینده نسبت به سطح مصرف و انباشت دی اکسید کربن سرانه

$$\int_0^\infty U(C(t), P(t)) e^{-\rho t} dt \quad (۷)$$

با توجه به قیود انباشت سرمایه و انباشت آلاینده برای افق نامحدود و سطوح اولیه $P(0) = P_0, k(0) = k_0$ و با لحاظ شرایط تراگرادی $p(t)e^{-\rho t} \geq 0$ و $k(t)e^{-\rho t} \geq 0$ می یابد و تابع مطلوبیت نسبت به مصرف مقعر ($U_C > 0, U_{CC} < 0$) و نسبت به انباشت آلاینده محدب ($U_P < 0, U_{PP} < 0$) است. تحذب تابع مطلوبیت نسبت به انباشت آلاینده بیانگر آن است که خسارت نهایی آلاینده بر محیط زیست با افزایش انباشت آلاینده به صورت فزاینده افزایش خواهد یافت. فرم تبعی تابع مطلوبیت این مدل همان تابع مدل وندر پلاک-ویتاگن است که در آن شرایط رفتار مطلوب توابع نئوکلاسیکی برآورده شده است.

$$U_t = \sigma \ln \bar{C}_{(t)} - \zeta \bar{P}_{(t)}^\theta \Rightarrow U_t = \sigma \ln CB - \zeta B^\theta P(t)^\theta \quad (۸)$$

در این معادله σ و ζ وزن های مصرف و انباشت آلودگی در تابع مطلوبیت هستند

و $\theta > 1$ نشان دهنده خسارت نهایی افزایشی است. سرمایه توسط معادله تفاضلی روبه‌رو انباشت می‌شود:

$$K_t^o = Y_t - C_t - X_t - \delta K_t \quad (9)$$

که در آن $\delta > 0$ نرخ استهلاک سرمایه فیزیکی است و سرمایه‌گذاری خالص برابر است با تولید کل که از آن مخارج مصرفی، C_t و هزینه‌های اختصاص یافته به فعالیت‌های کاهنده انتشار X_t^1 کسر شده است. تابع انتشار ضربی از تولید کل بوده، شدت انتشار واحد محصول m_t به شدت انتشار پایه^۲ و به هزینه‌های اختصاص یافته به فعالیت‌های کاهنده انتشار وابسته است^۳ (اورداس، والنته و استنگاس، ۲۰۱۱).

$$E_t = m_t Y_t \quad (10)$$

$$m_t = \Omega(t) (1 - x(t))^\varepsilon \quad \text{و} \quad \varepsilon > 1 \quad (11)$$

$x = \frac{x}{y}$ سهم اختصاص یافته از تولید به فعالیت‌های کاهنده انتشار است و تمایل به سرمایه‌گذاری در تکنولوژی‌های پاک را نشان می‌دهد (اورداس، والنته و استنگاس، ۲۰۱۱).
با توجه به روابط فوق قید انباشت آلاینده به صورت روبه‌رو تعریف می‌شود:

$$\dot{P}_t = \Omega(t) (1 - x(t))^\varepsilon Y(t) - sp_t \quad (12)$$

با نرمال‌سازی همه متغیرها نسبت به نیروی کار مؤثر و با جایگذاری $X(t) = x(t) Y(t)$ معادلات انباشت سرمایه و دی اکسید کربن به شکل روبه‌رو تصریح خواهند شد:

$$\begin{aligned} \kappa_t^o &= f(k(t), p(t)) (1 - \chi(t)) - c(t) - (n + \pi + \delta)k(t) \\ P^o(t) &= \Omega(t) [1 - \chi(t)]^\varepsilon f(k(t), p(t)) - (n + \pi + s)p(t) \end{aligned} \quad (13)$$

۱. سرمایه‌گذاری در تکنولوژی پاک (ICT)

۲. در مدل بראک و تیلور وجود رشد پایدار مستلزم آن است که شدت انتشار پایه با نرخ پیشرفت فنی در طول زمان کاهش یابد.

۳. فرم خاص تابع شدت انتشار واحد محصول، تابع مورد استفاده بראک و تیلور است.

اکنون با حداکثرسازی ارزش حال مطلوبیت تنزیل یافته خانوار نسبت به قیود سرمایه و انباشت سرانه مؤثر^۱ و با توجه به شرایط انتقال متغیرهای وضعیت انباشت دی‌اکسید کربن و سرمایه:

$$H(p_t, k_t, c_t, x_t) = \sigma \ln c - sp^\theta + \lambda^k [f(k_t, p_t)(1 - x_t) - c_t - (n + \pi + \delta)k_t] + \lambda^p [\Omega_t(1 - x_t)^\varepsilon f(k_t, p_t) - (n + \pi + s)p_t]$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \lambda^k(t)k(t)e^{-\rho t} = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \lambda^p(t)p(t)e^{-\rho t} = 0$$

و با فرض وجود راه حل داخلی و با برقراری شرایط لازم بهینه‌گی متغیرهای کنترل و وضعیت سیستم:

$$\frac{\delta H}{\delta c} = 0 \quad \text{و} \quad \frac{\delta H}{\delta p} = \rho \lambda^p - \lambda^{\circ p} \quad \text{و} \quad \frac{\delta H}{\delta k} = \quad (۱۴)$$

$$\frac{\delta H}{\delta x} = 0 \quad \text{و} \quad \rho \lambda^k - \lambda^{\circ k}$$

مسیرهای رشد بهینه مصرف و فعالیت‌های ICT سرانه مؤثر به شکل روبه‌رو تصریح خواهند شد:

$$\frac{c^0}{c} = A a k^{\alpha-1} \left(\frac{a}{\kappa \varphi} - p \right)^h (1-x)(1-\varepsilon^{-1}) - (n + \pi + \delta + p)$$

$$\frac{x^0}{x} = \frac{-\Omega \sigma^{-1} \varepsilon c (1-x)^\varepsilon s \theta p^{\theta-1}}{(\varepsilon-1)_x} + \frac{\Omega h A^h k^\alpha \left(\frac{a}{\kappa \varphi} - p \right)^{h-1} (1-x)^{\varepsilon+1}}{x} +$$

$$\frac{a A^h K^{\alpha-1} \left(\frac{a}{\kappa \varphi} - p \right)^h (1-x)^2 (1-\varepsilon^{-1})}{(\varepsilon-1)_x} + \frac{(s-\pi-\delta)(1-x)}{(\varepsilon-1)_x} \quad (۱۵)$$

۱. لازم به ذکر است که حل سیستم به برای دستیابی به مسیرهای بهینه رشد با جاگذاری رابطه ۶ با میزان تولید در روابط ۱۳ امکان‌پذیر می‌شود.

۴. تصریح مدل تعادلی در قالب مدل فضا - حالت

برآورد متغیر غیرقابل مشاهده انباشت دی اکسید کربن با رهیافت کالمن فیلتر، تنها با طراحی سیستم در قالب مدل های فضا - حالت امکان پذیر است. انباشت دی اکسید کربن که متغیری غیرقابل مشاهده است متغیر حالت^۱ مدل می باشد و مسیر حرکت آن با جای گذاری رابطه (۱۱) در تابع انتشار، حاصل می شود. نرخ های رشد سرمایه، مصرف و هزینه های اختصاص یافته به فعالیت های کاهنده انتشار، معادلات انتقال سیستم را تشکیل می دهند:

$$p_{t+1} = \Omega(1-x)^{\varepsilon} A^h k^{\alpha} \left(\frac{a}{\kappa\varphi} - p_t \right)^h + (1 - (n + \pi + s))p_t \quad (16a)$$

$$\frac{\dot{k}}{k} = \frac{\alpha k^{\alpha} \left(\frac{a}{\kappa\varphi} - p \right)^h (1-x)}{k} - \frac{c}{k} - (n + \pi + \delta)s$$

$$\frac{c^0}{c} = A a k^{\alpha-1} \left(\frac{a}{\kappa\varphi} - p \right)^h (1-x)(1-\varepsilon^{-1}) - (n + \pi + \delta + p) \quad (16b)$$

$$\begin{aligned} \frac{x^0}{x} = & \frac{-\Omega\sigma^{-1}\varepsilon c(1-x)^{\varepsilon}s\theta p^{\theta-1}}{(\varepsilon-1)_x} + \frac{\Omega h A^h k^{\alpha} \left(\frac{a}{\kappa\varphi} - p \right)^{h-1} (1-x)^{\varepsilon+1}}{x} \\ & + \frac{a A^h K^{\alpha-1} \left(\frac{a}{\kappa\varphi} - p \right)^h (1-x)^2 (1-\varepsilon^{-1})}{(\varepsilon-1)_x} + \frac{(s-\pi-\delta)(1-x)}{(\varepsilon-1)_x} \end{aligned}$$

با توجه به آن که استفاده از تکنیک کالمن فیلتر تنها در سیستم خطی امکان پذیر است، در ابتدا معادلات فضا- حالت غیر خطی سیستم فوق می بایست خطی شوند. این مهم با بهره گیری از بسط تیلور و حول نقطه تعادلی وضعیت پایدار انجام یافته است. نکته دیگری که توجه بدان حائز اهمیت است، ثبات یا تغییر نقاط تعادلی وضعیت پایدار است که برای

۱. متغیر وضعیت

سازگاری مدل مذکور با دنیای واقع^۱، فرض شده است نقاط تعادلی وضعیت پایدار در طول زمان متغیر و دارای روندی مانا و از نوع $AR(1)$ هستند که به سمت میانگین متغیر در دوره مورد بررسی همگرا هستند.

بدین ترتیب سیستم فضا- حالت خطی متناظر با معادلات فوق به شکل ذیل طراحی می‌شود:

معادلات انتقال:

$$\begin{aligned} dlk_{t+1} &\simeq \int_{dlk,a}(a_t - a_{sst}) + \int_{dlk,k}(k_t - k_{sst}) + \int_{dlk,x}(x_t - x_{sst}) \\ &\quad + \int_{dlk,c}(c_t - c_{sst}) + \int_{dlk,p}(p_t - p_{sst}) \\ dlc_{t+1} &\simeq \int_{dlc,a}(a_t - a_{sst}) + \int_{dlc,k}(k_t - k_{sst}) + \int_{dlc,x}(x_t - x_{sst}) + \\ &\quad \int_{dlc,p}(p_t - p_{sst}) \\ dlx_{t+1} &\simeq \int_{dlx,a}(a_t - a_{sst}) + \int_{dlx,k}(k_t - k_{sst}) + \int_{dlx,x}(x_t - x_{sst}) \\ &\quad + \int_{dlx,c}(c_t - c_{sst}) + \int_{dlx,p}(p_t - p_{sst}) \quad (17a) \end{aligned}$$

معادلات حالت:

$$\begin{aligned} p_{t+1} &\simeq \int_{p,a}(a_t - a_{sst}) + \int_{p,k}(k_t - k_{sst}) + \int_{p,x}(x_t - x_{sst}) + \int_{p,p}(p_t - p_{sst}) \\ &\quad + (1 - (n + \pi + s))p_t \end{aligned} \quad (17b)$$

که در این معادلات (a) ذخیره منابع فسیلی، (k) سرمایه، (x) هزینه‌های اختصاص یافته به فعالیت‌های کاهنده انتشار، (c) مصرف و (p) انباشت دی‌اکسید کربن سرانه مؤثر است. اندیس ss نشان‌دهنده سطح وضعیت پایدار متغیرهای نام‌برده است. شایان ذکر است که داده‌ای برای ذخیره منابع فسیلی موجود نیست. بدین منظور از یکی از فروض مدل که در آن مصرف انرژی هر دوره برابر با درصدی از ذخیره منابع طبیعی موجود در همان دوره است، استفاده شده و این متغیر با عناصر تشکیل یافته خود جای‌گزین شده است.

۱. زیرا عوامل بنیادی ویژه اقتصاد همچون کنش سرمایه‌ای تابع تولید، تمایل به پس‌انداز، نرخ پیشرفت فنی و نرخ رشد جمعیت در طول زمان تغییر خواهند کرد و وابستگی سطح وضعیت پایدار متغیرهای مدل به این عوامل موجب می‌شود سطوح وضعیت پایدار متغیرهای مدل در طول زمان متفاوت باشد.

$$en_t = k'S \rightarrow en_t = k'(\bar{a} - ens_t)$$

با این فرض میزان ذخیره منابع فسیلی موجود در هر سال برابر با مجموع مصرف انرژی دوره‌های گذشته^۱ ens_t و $\frac{1}{k'}$ مصرف انرژی هر دوره و k' ضریبی از ذخایر منابع فسیلی است که در هر دوره مصرف می‌شود.

$$\bar{a} = \frac{1}{k'} en_t + ens_t$$

نکته دیگر محدودیت زمانی متغیر هزینه اختصاص یافته به فعالیت‌های کاهنده به ۱۷ دوره و تعداد پارامترهای بالای مدل نسبت به این دوره زمانی است که برای حل این مشکل و تصریح بهتر پارامترهای مدل از داده‌های فصلی استفاده شده است؛ این مهم با استفاده از روش کیوبیک^۲ که در آن از حل یک چندجمله‌ای، بهترین مقادیر هر فصل با توجه به داده‌های سالانه محاسبه می‌شود، محقق شده است. هم‌چنین برای برآورد دقیق‌تر مدل با استفاده از معادله (۱۱) در بخش متغیرهای توضیحی به جای هزینه‌های اختصاص یافته به فعالیت‌های کاهنده از ضریب انتشار استفاده شده است.^۳

پس از اعمال این تغییرات، معادلات انتقال و وضعیت نهایی مدل به شکل ذیل تصریح خواهد شد:

معادلات انتقال:

$$\begin{aligned} dly_{t-4} = & \int_{dly,ens} (ens_{t-4} - ens_{sst-4}) + \int_{dly,k} (k_{t-4} - k_{sst-4}) \\ & + \int_{dly,m} (m_{t-4} - m_{sst-4}) + \int_{dly,c} (c_{t-4} - c_{sst-4}) \\ & + \int_{dly,en} (en_{t-4} - e_{sst-4}) + \int_{dly,p} (p_{t-4} - p_{sst-4}) \end{aligned} \quad (18a)$$

سیستم فوق بیانگر مسیر رشد سرمایه، مصرف و فعالیت‌های کاهنده انتشار است که در آن $Y' = [k_t, c_t, x_t]$ و نقطه تعادلی وضعیت پایدار متغیرهای سیستم با پیروی از مطالعات پیشین برابر با میانگین متغیر مذکور در طول دوره ۴-۱۳۸۶: ۴-۱۳۷۰ است. شایان ذکر

1. $ens_t = \varepsilon_{t-1}^{-1} en_t$

2. cubic

3. $X_t = 1 - (\frac{m_t}{\Omega_t})^{\frac{1}{\varepsilon}}$

است که علت تصریح روابط رشد با ۴ دوره وقفه، حذف نوسانات فصلی از داده‌های مورد استفاده است.

$$X_t - X_t^{ss} = \hat{X}_t = B(L)\hat{X}_{t-1} + \varepsilon_{\hat{X},t} \quad (18) \text{ b}$$

معادلات انتقال دیگر مدل (۱۸b)، ارتباط بین شکاف متغیر ($\hat{X}_t$) با وقفه‌های آن است که به صورت یک مدل خود رگرسیونی ارائه می‌شود که در آن $X'_t = [k_t, c_t, en_t, ens_t, m_t]$ است. $B(L)$ بیانگر اپراتورهای وقفه معادلات شکاف متغیرهای مرتبط است و تعداد وقفه‌های مناسب به گونه‌ای انتخاب شده‌اند که پسماندهای سیستم همگی نوفه سفید باشند. تعداد وقفه‌های مناسب شکاف متغیرها، برای متغیرهای سرمایه، ضریب انتشار، مصرف، مجموع انرژی هدررفته و مصرف انرژی پس از حصول پسماندهای نوفه سفید در معادلات انتقال (۱۸b)، سه وقفه تعیین شد. یکی دیگر از نکاتی که در برآورد روابط (۱۸b) بایستی در نظر گرفته شود لزوم مانایی روابط (۱۸b) است؛ به همین سبب پس از تعیین وقفه بهینه باید ضرایب فرایندهای اتورگرسیو مرتبه سوم در معادلات (۱۸b) به گونه‌ای مقید شوند که همه ریشه‌های معادله $1 - \varphi_1 L - \varphi_2 L^2 - \varphi_3 L^3 = 0$ خارج دایره واحد قرار گیرند. برای تامین این شرط همانند کیم و نلسون^۱ (۱۹۹۹) قیودی برضرایب روابط (۱۸b) اعمال شده است.

معادلات حالت:

$$\begin{aligned} p_{t+1} = & \int_{p,ens}(ens_{t-3} - ens_{sst-3}) + \int_{p,k}(k_{t-3} - k_{sst-3}) \\ & + \int_{p,m}(m_{t-3} - m_{sst-3}) \\ & + \int_{p,en}(en_{t-3} - e_{sst-3}) + \int_{p,p}p_{t-3} + \int_{p,ss}p_{sst-3} \end{aligned} \quad (18c)$$

$$Z_{t+1}^{ss} = \mu_z^0 + \mu_z Z_t^{ss} + \varepsilon_{t+1,zss} \quad |\mu_z| < 1$$

$$Z' = [ens, k, m, p, c, en]$$

1. Kim&Nelson

(۱۸ d)

(۱۸c) بیانگر مسیر حرکت متغیر انباشت دی اکسید کربن و (۱۸d) بیانگر مسیر وضعیت پایدار متغیرهای سرمایه، ضریب انتشار، مصرف، مجموع انرژی هدررفته و مصرف انرژی است که همگی از فرایند مرتبه اول مارکوف (۱) AR تبعیت می کنند و $|\mu_z| < 1$ نشان دهنده مانایی مسیرهای وضعیت پایدار عناصر ماتریس Z است. نکته دیگر همگرایی^۱ انباشت دی اکسید کربن سرانه مؤثر به سمت وضعیت پایدار خود است.

$$\Delta p_{t+1} = \mu_p \Delta p_t + \mu_p^0 \Rightarrow p_{t+2} - p_{t+1} = \mu_p (p_{t+1} - p_t) + \mu_p^0$$

$$\Rightarrow p_{t+2}(1 + \mu_p)p_{t+1} - \mu_p p_t + \mu_p^0$$

(۱۸ e)

برای برآورد این شرط معادله تفاضلی فوق می بایست مانا باشد که لازمه آن محدودیت μ_p به بازه (۰-۱) است و علامت μ_p^0 با توجه به روند انتشار تعیین می شود. با توجه به روند انتشار دی اکسید کربن در ایران مشاهده شد که امکان کاهش در انباشت این آلاینده برخلاف کاهش در ضریب انتشار، غیرممکن است؛ از همین رو برای به منظور تصریح بهتر مدل، محدوده ضریب ثابت معادله تفاضلی برای ایران، μ_p^0 ، به بازه (۰-۱) محدود شد.

پس از رعایت نکات فوق الذکر می توان با ساده سازی ضرایب معادلات اندازه و وضعیت با استفاده از روابط تعادلی موجود در مسیر رشد متوازن سیستم^۲، پارامترهای مهم اقتصادی- زیست محیطی^۳ همچون کشش مصرف سوخت های فسیلی تابع تولید، کشش هزینه های اختصاص یافته به فعالیت های کاهنده انتشار، ضریب پاک سازی محیط برای آلاینده دی اکسید کربن^۴ و نرخ ترجیح زمانی و مقادیر غیر قابل مشاهده انباشت

۱. با توجه به این که وجود مسیر رشد متوازن در نتیجه پایداری و یکنایی مدل نظری، به اثبات رسیده است، همگرایی انباشت آلاینده تضمین می شود.

$$2. \frac{\dot{K}}{K} = \frac{\dot{C}}{C} = \frac{\dot{P}}{P} = \frac{\dot{X}}{X} = 0$$

۳. لازم به ذکر است که محدوده پارامترهای مذکور در پیوست ۲ بیان شده است.

۴. بر طبق گزارش سایت هیئت بین دولتی تغییر اقلیم، نرخ پاک سازی اتمسفر برای دی اکسید کربن (S)، دارای محدوده سالانه (0/005,0/2) است. از آنجا که نرخ پاک سازی محیط زیست ضریبی است که برای برآورد متغیر ذخیره به کار می رود، مقدار

دی اکسید کربن سرانه مؤثر و مقادیر تعادلی وضعیت پایدار سرانه مؤثر انباشت آلاینده مذکور، سرمایه و مصرف انرژی را بر اساس رهیافت کالمن فیلتر برآورد کرد.

۵. برآورد انباشت دی اکسید کربن در قالب مدل تعادلی رمزی

۵-۱. تبیین داده‌ها و روش‌های آماری

با توجه به آن که برای دستیابی به نقطه تعادلی و مسیر رشد متوازن باید فرم سرانه مؤثر متغیرها را محاسبه کرد، در این مطالعه در ابتدا سطح بهره‌وری محاسبه شده است. بدین منظور از تابع تولید کاب-داگلاس که دارای دو نهاده سرمایه و نیروی کار و از بازدهی ثابت نسبت به مقیاس برخوردار است، استفاده شده که در آن α کشش سرمایه‌ای تابع تولید است.

$$Y = AK^{\alpha}L^{\gamma} \quad \alpha + \gamma = 1 \quad \Rightarrow \quad Y = AK^{\alpha}L^{1-\alpha} \quad (19)$$

داده‌های تولید و سرمایه سرانه که بر حسب برابری قدرت خرید و به قیمت‌های ثابت سال ۲۰۰۵ است^۱، از سایت بانک جهانی^۲ و کشش سرمایه‌ای تابع تولید و سرانه نهاده نیروی کار که برابر با حاصل ضرب ساعت‌های کاری نیروی کار و شاخص کیفیت نیروی کار^۳ محاسبه شده است^۴، از مقاله‌ای با عنوان «رشد بالقوه در دنیای اقتصاد»^۵ (نوشته یورگنسن و هوانگ در سال ۲۰۱۰)، استخراج شده‌اند.

داده‌های مصرف خانوار، مصرف انرژی‌های فسیلی، ضریب انتشار دی اکسید کربن،

فصلی آن از تقسیم نرخ سالانه بر ۴ به دست می‌آید. بنابراین نرخ پاک‌سازی فصلی دی اکسید کربن محدود به (۰/۰۵ ، ۰/۰۰۱۲۵) است.

1. Per capita output PPP\$(2005)

2. work bank

۳. داده‌های این مطالعه بر حسب سال پایه ۲۰۰۵ است. با توجه به آن که کیفیت نیروی کار در مقاله یورگنسن بر حسب سال پایه ۲۰۰۰ بوده، در این مطالعه با تغییر سال پایه کیفیت نیروی کار بر حسب سال ۲۰۰۵ محاسبه شده است.

۴. یورگنسن، مقاله «رشد بالقوه در دنیای اقتصاد»، ۲۰۱۰.

5. Dale W. Jorgenson, and Vu M. Khuong, 2.10, Journal of Policy Modeling 32, 615-631

جمعیت و تمایل به پرداخت برای کاهش خسارت آلاینده^۱ از سایت شاخص‌های توسعه جهانی ۲۰۱۱^۲ جمع‌آوری شده‌اند. مصرف انرژی‌های فسیلی بر حسب کیلوگرم معادل نفت برای هر ۱۰۰۰ دلار GDP و داده‌های ضریب انتشار دی‌اکسید کربن بر حسب کیلوگرم برای یک دلار GDP است؛ هم چنین میزان مصرف برابر با مخارج نهایی مصرفی خانوار است که بر حسب برابری قدرت خرید^۳ و به قیمت ثابت سال ۲۰۰۵ است. میزان انرژی هدررفته نیز برابر با مجموع مصرف انرژی از سال ۱۹۸۰ تا دوره ماقبل هر دوره است.^۴ نرخ استهلاک سرمایه نیز در کشورمان ۱۰٪ فرض شده که مقدار فصلی آن برابر با ۲/۵٪ است (شاهمرادی، کاوند، ۱۳۸۸). نرخ رشد بهره‌وری و نرخ رشد جمعیت فصلی نیز توسط رابطه زیر محاسبه شده که در آن B سطح بهره‌وری، n جمعیت و $g_{n,B}$ نمایان‌گر نرخ رشد جمعیت یا بهره‌وری است.

$$\frac{(1 + g_{n,B}^{seasonal})^4 X - X}{X} = g_{n,B}^{yearly} \Rightarrow (1 + g_{n,B}^{seasonal})^4 - 1 = g_{n,B}^{yearly} \Rightarrow$$

$$g_{n,B}^{seasonal} = \frac{1}{4} (1 + g_{n,B}^{yearly}) - 1 \quad (20)$$

نکته دیگر آن که بر اساس آمار منتشر شده در نوامبر ۲۰۱۰ در سایت‌های طرح کربن جهانی و علوم جغرافیای طبیعی و ترسیم تولید دی‌اکسید کربن^۵ در سال‌های (۲۰۰۰-۲۰۰۹)، ۲۶ درصد انتشار دی‌اکسید کربن به هنگام انتشار توسط دریا و اقیانوس و ۲۷ درصد انتشار کل نیز توسط زمین و پوشش گیاهی از جمله جنگل‌ها جذب شده است و تنها ۴۷٪ انتشار کل در هر دوره تجزیه نشده و به دوره بعد انتقال یافته است؛ از همین رو با توجه به هم‌خوانی محدوده تحقیق این مطالعه با آمار ارائه شده در این مطالعه میزان دی‌اکسید کربن

۱. به علت عدم دسترسی به داده‌های فعالیت‌های کاهنده انتشار، از تمایل به پرداخت برای کاهش خسارت آلودگی که به صورت درصدی از GDP تعریف می‌شود، استفاده شده است.

2. Word development indicators(2011)

3. PPP

4. $ens = e_{i=1}^{t-1} en_t$

5. Graphic production: co2mow.org & Nature Geoscience Global Carbon project.org

تجزیه نشده در اتمسفر در انتهای هر دوره ۴۷ درصد انتشار کل دوره، در نظر گرفته شده است.

لازم به ذکر است که بازه زمانی مورد استفاده در این مقاله محدود به سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۷۰^۱ (۱۷ دوره) است که پس از فصلی‌سازی داده‌ها با نرم‌افزار ایویوز^۲ این بازه به ۶۵ دوره افزایش می‌یابد.

۵-۲. برآورد مدل

پس از تصریح کامل سیستم فوق به صورت مدل فضا-حالت فرم ماتریسی معادلات به صورت ذیل نمایش داده می‌شود:

$$y_t = z_t \alpha_t + d_t + \varepsilon_t \quad t = 1, \dots, T \quad \text{معادله انتقال}$$

$$d_t = A_t X_t \quad (21) \quad \text{و}$$

$$\alpha_t = T_t \alpha_{t-1} + C_t + R_t \eta_t \quad t =$$

$$t, \dots, T \quad \text{معادله حالت}$$

در معادله انتقال y_t برداری $n \times 1$ از متغیرهای مشاهده شده، Z_t ماتریسی با ابعاد $n \times m$ و d_t دارای ابعاد $n \times 1$ است. جملات خطای معادلات انتقال ε_t ، نیز برداری $n \times 1$ از اجزای اخلال با میانگین صفر و ماتریس کوواریانس H_t است که به صورت سریالی ناهمبسته هستند. α_t نماینده متغیر حالت است که توسط فرایند مرتبه اول مارکوف^۳ تولید می‌شود که هر دو بصورت نرمال توزیع شده‌اند.^۴

T_t ماتریسی $m \times m$ ، C_t برداری $m \times 1$ و R_t ماتریسی به ابعاد $m \times g$ است و η_t برداری $g \times 1$ از اجزای اخلال با میانگین صفر و ماتریس کوواریانس Q_t است که به صورت سریالی

۱. زیرا داده‌های کشش سرمایه‌ای تابع تولید به سال‌های ۱۳۶۹-۱۳۸۷، تمایل به پرداخت برای کاهش خسارات انتشار به سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۶۹ و ضریب انتشار دی‌اکسید کربن برای هر واحد GDP به سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۶۹ محدود می‌شوند.

2. Eviews

3. Markov

۴. با این فرض امکان محاسبه توزیع بردار متغیر حالت α_t در زمان حال با تکنیک کالمن فیلتر به صورت بازگشتی و بر پایه مجموعه اطلاعات زمان t فراهم می‌شود.

ناهمبسته هستند. با فرض آن که در سیستم فضا-حالت فوق، $\alpha_{t|t-1}$ بیانگر پیش‌بینی بردار حالت α_t بر اساس اطلاعات موجود تا زمان $t-1$ باشد و a_{t-1} بهترین تخمین زن α_{t-1} بر پایه مشاهدات از زمان 1 تا y_{t-1} و P_{t-1} ماتریس کوواریانس خطای تخمین با ابعاد $m \times m$ و $P_{t|t-1}$ پیش‌بینی ماتریس کوواریانس خطای تخمین در زمان $t-1$ باشد.

$$P_{t-1} = E[(\alpha_{t-1} - a_{t-1})(\alpha_{t-1} - a_{t-1})'] \quad \text{الف (۲۲)}$$

$$P_{t|t-1} = T_t P_{t-1} T_t' + R_t a_t R_t' \quad \text{و } t = 1, \dots, T \quad \text{ب (۲۲)}$$

آن‌گاه پیش‌بینی بردار حالت $\alpha_{t|t-1}$:

$$\alpha_{t|t-1} = T_t a_{t-1} + C_t \quad \text{الف (۲۳)}$$

در زمان t

$$\alpha_{t+1|t} = (T_{t+1} - k_t z_t) \alpha_t + k_t y_t + (C_{t+1} - k_t d_t) \quad \text{ب (۲۳)}$$

معادله فوق‌الذکر خواهد بود که با دسترسی به مشاهدات جدید y_t و به هنگام شدن تخمین $\alpha_{t|t-1}$ و α_t و با تفسیر این معادلات بر اساس معادلات ریکاتی به‌عنوان مجموعه‌ای بازگشتی از α_{t-1} به $\alpha_{t|t-1}$ که در آن ماتریس k_t برابر با:

$$k_t = T_t P_{t|t-1} z_t' F_t^{-1} \quad \text{و } t = 1, \dots, T$$

و ماتریس واریانس-کوواریانس خطای تخمین

$$P_{t+1|t} = T_{t+1} (P_{t|t-1} - P_{t|t-1} z_t' F_t^{-1} z_t P_{t|t-1}) T_{t+1}' + R_{t+1} Q_{t+1} R_{t+1}', \quad t = 1, \dots, T \quad \text{د (۲۳)}$$

رابطه بالا باشد، کالمن فیلتر می‌تواند بهترین تخمین زن بردار حالت را هر هنگام که مشاهدات جدید در دسترس باشند، به وجود آورد. هم چنین هنگامی که جزءهای اخلاف و بردار حالت اولیه به صورت نرمال توزیع شوند، این روش امکان تخمین پارامترهای مجهول

مدل را با محاسبه تابع درست نمایی^۱ به وسیله تجزیه خطاهای پیش بینی فراهم می آورد. تابع حداکثر راست نمایی در مدل گاسین با میانگین $\tilde{y}_{t|t-1}$ و واریانس F_t به شکل ذیل است:

$$\log L = -\frac{NT}{2} \log 2\pi - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \log |F_t| - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T v_t' F_t^{-1} v_t \quad (24)$$

که در آن v_t تفاضل مشاهدات زمان t با میانگین شرطی مشاهدات در زمان $t-1$ و F_t ماتریس واریانس-کوواریانس تابع حداکثر راست نمایی است.

$$v_t = y_t - \tilde{y}_{t|t-1} \quad t = 1, \dots, T$$

$$E_{t-1}(y_t) = \tilde{y}_{t|t-1} = Z_t a_{t|t-1} + d_t \quad (25)$$

$$F_t = z_t P_{t|t-1} z_t' + H_t \quad \text{و} \quad t = 1, \dots, T$$

در فرم ماتریسی مدل فضا-حالت این مطالعه در معادلات انتقال، Z_t ، یک ماتریس مربع و از مرتبه ۸×۳۶ ، d_t ، یک بردار ستونی ۸×۱ و در معادلات وضعیت، T_t یک ماتریس مربع ۳۶×۳۶ و G_t ، یک بردار ستونی ۳۶×۱ است.

بردار d_t شامل ماتریس A_t و بردار X_t است که در آن اجزای F_t' و X_t' توسط روابط ذیل مشخص شده اند.

$$X_t' = [F_{t-1}, F_{t-2}, F_{t-3}, F_{t-4}] \quad \text{و} \quad F_t' = [ens_t, k_t, m_t, c_t, en_t]$$

c_t نیز شامل ماتریس B_t و بردار S_t است که

$$S_t' = [ens_{t-3}, k_{t-3}, m_{t-3}, en_{t-3}, I]$$

بردار I یک بردار واحد است که برای برآورد ضریب ثابت در مدل لحاظ می شود.

برای برآورد مدل از نرم افزار MATLAB استفاده شده است. با توجه به وابستگی

1. Likelihood

روش های بهینه یابی مبتنی بر روش های ریاضی بر نقطه شروع اولیه و احتمال دستیابی به نقطه بهینه محلی در این روش ها^۱، پیچیدگی تابع هدف حداکثر راست نمایی مدل مورد مطالعه به علت وجود ۷۶ متغیر و احتمال وجود ناپیوستگی و عدم مشتق پذیری این تابع، در این مطالعه برای دستیابی به حداکثر تابع راست نمایی از الگوریتم ژنتیک^۲، که یکی از الگوریتم های جست و جوی اتفاقی است و از چند نقطه، جست و جوی متقارب^۳ به جای یک نقطه جست و جوی استفاده می کند، بهره گرفته شده است. این الگوریتم با لحاظ مجموعه ای از نقاط فضای جواب، در هر تکرار با رمزگشایی رشته های موجود در جمعیت رشته ها و نسبت دادن یک عدد برازندگی به مقدار تابع هدف، احتمال انتخاب را برای هر رشته تعیین می کند. سپس بر اساس این احتمال انتخاب، مجموعه ای از رشته ها انتخاب و با اعمال عملگرهای ژنتیکی روی رشته های انتخابی رشته های جدید جایگزین رشته هایی از جمعیت اولیه می شوند. با این روش کروموزوم ها در طی نسل های متوالی به نحوی تغییر می کنند که نسل های جدیدتر پاسخ بهتری برای مسئله بهینه یابی داشته باشند. این روند باعث می شود جست و جوی ناحیه هایی از فضا که متوسط آماری تابع هدف در آن ها زیاد و امکان وجود نقطه بهینه مطلق در آن ها بیشتر است، سوق پیدا کند و این روند با دستیابی به شرط پایانی الگوریتم متوقف می شود.

با توجه به آن که متغیرهای تصمیم مدل مورد مطالعه، همچون ضریب پاک سازی محیط برای دی اکسید کربن، سهم منابع فسیلی در تولید، نرخ ترجیح زمانی و کشش تابع انتشار نسبت به فعالیت های کاهنده انتشار مقید هستند، در این الگوریتم از ابزارهایی بهره گرفته شده است که قیود حاکم بر پارامترها را برآورده سازد. بدین منظور از تابع تولید امکان پذیر خطی^۳ برای ایجاد جمعیت اولیه، و برای ایجاد فرزندان جهش یافته از روش جهش

۱. وجود چند نقطه اوج در چند جهت موجب می شود با وجود دقت بسیار استفاده از قوانین انتقال در حرکت از نقطه شروع به سمت نقطه بهینه، محل قرارگیری نقطه اوج، به اشتباه تعیین شود. لازم به ذکر است که برای اطمینان از صحت نتایج برآورده شده در هر سه حالت، الگوریتم ژنتیک با ۳۰ جمعیت اولیه تصادفی اجرا شد.

۲. بصورت مجموعه ای از افراد

3. linearfeasible

این تابع جمعیت اولیه تصادفی را با توزیعی مناسب به گونه ای ایجاد می کند که تمام مرزها و محدودیت های خطی برآورده شوند.

تعدیل یافته امکان پذیر^۱ که همه فرزندان جهش یافته را در فضای محصور به قیود برآورده می سازد، استفاده شده است. فرزندان پیوندی نیز به روش آریتمیک^۲ ایجاد شده اند که در آن فرزندان، میانگین وزنی ریتیک والدین خود هستند و همواره در فضای محصور به قیود قرار دارند و تابع برازندگی متناسب با تابع هدف با توجه به کمینه یابی منفی لگاریتم تابع راست نمایی مقید به صورت مقابل پیشنهاد می شود $f(B) = \frac{1}{a+S'(B)}$.^۳ گزینش والدین در این الگوریتم توسط فرم تصادفی یکنواخت انجام شده است.

اما وابستگی کارایی^۴ الگوریتم ژنتیک به نوع طراحی عملگرهای آن مانند اندازه جمعیت، عملگر انتخاب^۵ و عملگرهای پیوند و جهش^۶ موجب می شود در فرایند دستیابی به بهینه مطلق، تابع حداکثر راست نمایی با جمعیت های اولیه، فرزندان نخه و نرخ پیوندهای متفاوت آزمون شود. در این مطالعه تشخیص بهترین ابزارهای الگوریتم ژنتیک بر اساس خودهمبستگی ناچیز در باقی مانده های معادلات اندازه و حالت، واقع گرایی نتایج، رعایت قیود حاکم بر پارامترها و کوتاهی زمان تخمین صورت گرفته است. پس از برآوردهای گوناگون با جمعیت های اولیه، فرزندان نخه و نرخ های پیوند متفاوت مشاهده شد که در این الگوریتم که هر کوروموزم آن ۷۶ ژن دارد، اندازه جمعیت ۱۲۰ مناسب تر است. هم چنین تعداد فرزندان نخه، ۲۰٪ جمعیت در نظر گرفته شد. نرخ پیوند نیز در حالتی که ضریب پاک سازی محیط زیست برای داده های فصلی ۰/۰۵ و ۰/۰۱۲۵ است، به ترتیب ۰/۹ و ۰/۹۵ و در حالتی که این ضریب متغیر باشد، ۰/۹۵ در نظر گرفته شده است. پس از

1. mutationadaptfeasible

2. arithmetic

۳. در این مدل از مقیاس برازندگی rank استفاده شده است که اثر پراکندگی رتبه های خام را بر طرف می کند که در آن به مقادیر کمینه تابع هدف بیشترین مقدار برازندگی نسبت داده می شود.

۴. همگرایی

۵. عملگر انتخاب، مرتبط با تابع برازندگی است و به استفاده از بهترین پاسخ ها و کاوش در فضای جست و جوی پارامترها تمایل نشان می دهد.

۶. پیوند و جهش به عنوان عملگرهای جست و جو دسته بندی می شوند. عملگر پیوند اجازه می دهد هم بهره برداری از بهترین پاسخ ها صورت گیرد و هم کاوش در فضای جست و جوی پارامترها ادامه یابد؛ در صورتی که عملگر جهش بر کاوش در فضای جست و جوی پارامترها تاکید دارد.

تشخیص مناسب ترین اندازه جمعیت و با توجه به آن که بردار جمعیت اولیه، برداری تصادفی و نتایج الگوریتم به انتخاب جمعیت اولیه وابسته است، هر الگوریتم آن قدر تکرار شد تا یک روند تکرارشونده در مقادیر برآوردی انباشت دی اکسید کربن، پارامترها و مقدار حداکثر تابع راست‌نمایی مشاهده شد. از میان نتایج برآوردشده، آن جمعیت اولیه‌ای به عنوان بهترین جمعیت انتخاب شد که بیشترین مقدار حداکثر راست‌نمایی و کم‌ترین مقدار خودهمبستگی را در باقی‌مانده‌های معادلات حالت و اندازه دارا بود.

در نهایت لازم به ذکر است که برای محاسبه ماتریس واریانس-کوواریانس مربوط به پارامترهای مدل، ابتدا ماتریس هشین برای لگاریتم تابع راست‌نمایی محاسبه شد و بر اساس آن، ماتریس اطلاعات به صورت $I = -(H)^{-1}$ به دست آمد که در آن H ، بیانگر ماتریس هشین است و ماتریس واریانس-کوواریانس $\frac{1}{T}$ ماتریس اطلاعات و T نشان‌دهنده تعداد مشاهدات است ($Var - COV = \frac{1}{T} I$) که جذر عناصر روی قطر اصلی آن، همان انحراف معیار پارامترهای برآوردشده مدل به شمار می‌رود (شاهمرادی، کاوند ۱۳۸۹).

۶. نتایج برآورد مدل

در این بخش با اعمال قیودی که در بخش‌های ۴ و ۵-۱ بیان شد، انباشت دی اکسید کربن سرانه مؤثر و انباشت سرانه مؤثر وضعیت پایدار به کمک رهیافت کالمن فیلتر و با روش الگوریتم ژنتیک در دوره زمانی ۴: ۱۳۸۶-۴: ۱۳۷۰ در ابتدا با لحاظ ضریب پاک‌سازی^۱ در حکم پارامتر سیستم، برآورد می‌شود و پس از آن با هدف دست‌یابی به محدوده انباشت دی اکسید کربن، این برآورد با استفاده از دو کران بالا و پایین ضریب پاک‌سازی فصلی دی اکسید کربن (۰/۰۵، 0/00125) تکرار می‌شود. از این رهگذر امکان برآورد مقادیر تعادلی وضعیت پایدار مصرف سوخت‌های فسیلی، سرمایه و انتشار سرانه مؤثر و پارامترهایی همچون سهم منابع فسیلی در تولید، نرخ ترجیح زمانی و کشش تابع انتشار نسبت به فعالیت‌های کاهنده انتشار

۱. با توجه به تأثیر فعالیت‌های اقتصادی بر ضریب پاک‌سازی از دو کانال تخریب توازن طبیعت و کاهش حلالیت آب دریاها و اقیانوس‌ها در اثر پدیده گلخانه‌ای، این ضریب به عنوان یکی از متغیرهای مدل در سیستم لحاظ شده است.

فراهم خواهد شد.

جدول ۱. برآورد پارامترهای مدل با لحاظ مقادیر پیشینه، کمینه و برآوردی ضریب پاک‌سازی محیط

برای دی‌اکسیدکربن

نام متغیر	ضریب پاک‌سازی فصلی پیشینه $S=0.05$	ضریب پاک‌سازی فصلی برآورد شده	ضریب پاک‌سازی فصلی کمینه $S=0.00125$
	پارامتر برآوردی	انحراف معیار	پارامتر برآوردی
ضریب پاک‌سازی فصلی محیط (S)		0.0003	0.0003
سهم منابع فسیلی در تولید (H)	0.30	1.20E-05	0.498
کشش تابع انتشار نسبت به فعالیت‌های کاهنده (ε)	3.72	4.00E-05	2.21
نرخ ترجیح زمانی (ρ)	0.01	1.10E-07	0.003

بر اساس جدول ۱ مشاهده می‌شود که پارامترهای کشش منابع فسیلی در تابع تولید، نرخ ترجیح زمانی، کشش فعالیت‌های ICT در تابع انتشار و ضریب پاک‌سازی محیط برای دی‌اکسیدکربن در هر سه حالت در سطح ۰/۰۵ معنی‌دار هستند و در حالتی که این ضریب به عنوان متغیر لحاظ شده است؛ مقدار برآورد شده آن برای داده‌های فصلی ۰/۰۲ و مقدار سالانه آن ۰/۰۸ است که به مقدار ۰/۱ که ضریب پاک‌سازی سالانه دی‌اکسیدکربن در اکثر مطالعات این مقدار فرض می‌شود، بسیار نزدیک است. با توجه به استقلال کشش مصرف سوخت‌های فسیلی، کشش فعالیت‌های کاهنده در تابع انتشار، نرخ ترجیح زمانی، سطح سرمایه، مصرف، ضریب انتشار و ... از ضریب پاک‌سازی محیط، انتظار می‌رود که با تغییر این ضریب در سه حالت فوق نتایج برآوردهای مذکور ثابت باقی بمانند. با توجه به آن که نتایج برآورد مدل در سه حالت حاکی از تغییری کوچک در متغیرهای مذکور است، میانگین پارامترها در سه حالت برآوردی با استفاده از روش مرسوم الگوریتم ژنتیک به عنوان برآوردهای سازگار پارامترهای مدل برگزیده شدند.

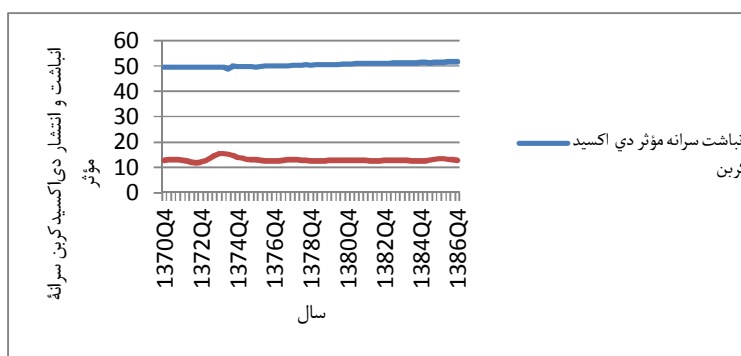
بدین‌سان برای ایران کشش مصرف سوخت‌های فسیلی در تابع تولید ۰/۴۴۷۵، نرخ ترجیح زمانی ۰/۰۱۲ و کشش هزینه‌های اختصاص یافته به فعالیت‌های کاهنده در تابع انتشار ۴/۴۵ است و با توجه به رابطه نرخ تنزیل و نرخ ترجیح زمانی ($B = \frac{1}{1+\rho}$) میانگین نرخ تنزیل

۰/۹۸۷ است که با نتایج مطالعات پیشین سازگار است.

شکل ۱ نمودارهای مربوط به توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی پسماندها را به تصویر کشیده است. بر اساس نمودار توابع خودهمبستگی و خودهمبستگی جزئی پسماندهای معادلات وضعیت و انتقال می توان به نوفه سفید بودن پسماندهای این معادلات تا حد زیادی اطمینان داشت. از آن جاکه در این اشکال شواهدی مبنی بر وجود خودهمبستگی مشاهده نمی شود، نتایج حاکی از خوب بودن مدل برآورد شده است.

نتایج برآورد انباشت دی اکسید کربن سرانه مؤثر و سرانه مؤثر وضعیت پایدار این آلاینده با وجود ۳ ضریب پاک سازی متفاوت در جدول ۲ گزارش شده اند. مقادیر برآورد شده انباشت سرانه مؤثر و انباشت وضعیت پایدار این آلاینده بر حسب متریک تن هستند. نتایج جدول حاکی از آن است که انباشت دی اکسید کربن در هر سه حالت از روند صعودی برخوردار بوده و تنها در حالتی که ضریب پاک سازی متغیر است، در دوره ۱۵ کمی کاهش یافته است. میانگین انباشت این آلاینده با توجه به سه ضریب پاک سازی ۰/۰۱۲۵، ۰/۰۲، ۰/۰۵ به ترتیب ۵۶/۷۲، ۵۰/۴۵، ۴۴/۱۴ است که در هر سه حالت به سمت مقدار تعادلی وضعیت پایدار خود در حرکت است که همگرایی و توالی مقادیر برآورد شده انباشت با تغییر ضریب پاک سازی می تواند تاییدی بر درستی نتایج برآوردی باشد.

شکل ۱. انباشت و انتشار سرانه مؤثر دی اکسید کربن بر حسب واحدهای متریک



اختلاف چشم‌گیر مقادیر انباشت و انتشار سرانه مؤثر این آلاینده حاکی از آن است که شدت تاثیر این آلاینده بر پدیده تغییر اقلیم بسیار بیشتر از حد انتظار است که این مهم لزوم تجدیدنظر در افزایش شدت سیاست‌های کاهنده انتشار را می‌رساند. مقادیر وضعیت پایدار سرمایه و مصرف انرژی‌های فسیلی نیز در جدول ۳ گزارش شده‌اند.

نتایج برآورد حاکی از آن است که مصرف سوخت‌های فسیلی سرانه مؤثر وضعیت پایدار در دوره ۴-۱۳۸۶ تا ۴-۱۳۷۰ با سه ضریب ۰/۰۵، ۰/۰۲، ۰/۰۰۱۲۵ به ترتیب دارای میانگین ۴/۴۸، ۴/۴۵، ۴/۴۷ است. سرمایه سرانه مؤثر وضعیت پایدار نیز به ترتیب دارای میانگین‌های ۶/۵۷، ۶/۵۷، ۶/۵۴ است. بنابراین با استفاده از روش مرسوم الگوریتم ژنتیک میانگین برآوردهای مذکور در سه حالت فوق‌الذکر به عنوان مقادیر تعادلی مصرف سوخت‌های فسیلی و سرمایه سرانه مؤثر وضعیت پایدار در دوره ۴-۱۳۸۶ تا ۴-۱۳۷۰ برگزیده شدند. انباشت دی‌اکسید کربن وضعیت پایدار نیز در این سه حالت به ترتیب دارای میانگین‌های ۶۰/۲۹، ۵۲/۹۷، ۴۶/۲ است. با توجه به آن که مقادیر انباشت با گذشت زمان به مقادیر تعادلی وضعیت پایدار همگرا خواهد شد، پیشی گرفتن میانگین مقادیر وضعیت پایدار سه حالت مذکور از میانگین انباشت حاکی از آن است که مسیر حرکت انباشت روندی صعودی خواهد داشت.

مقادیر انتشار سرانه مؤثر وضعیت پایدار نیز با توجه به رابطه $p^0 = e - sp$ و با توجه به آن که تغییرات انباشت سرانه مؤثر در وضعیت پایدار صفر است، از حاصل ضرب ضریب پاک‌سازی انباشت دی‌اکسید کربن و مقدار انباشت این آلاینده در وضعیت پایدار حاصل شده‌اند. مقادیر انتشار سرانه مؤثر وضعیت پایدار نیز در جدول ۳ گزارش شده و انتشار سرانه مؤثر وضعیت پایدار دارای میانگین ۴/۲۳۷ است.

۷. نتیجه‌گیری

با توجه به قابلیت انباشت دی‌اکسید کربن، تشخیص صحیح خسارت‌های وارد بر

محیط‌زیست^۱ و تصمیم‌گیری مناسب در مورد سیاست‌های کاهنده انتشار باید بر اساس مقادیر انباشت این آلاینده لحاظ شوند. بدین منظور در قالب مدل تعادلی رمزی و با استفاده از مسیرهای بهینه سرمایه، مصرف و فعالیت‌های کاهنده انتشار، فرم ساختاری مدل رشد پایدار طراحی شد و متغیر غیر قابل مشاهده انباشت دی‌اکسید کربن و مقادیر تعادلی غیر قابل مشاهده سرمایه، مصرف سوخت‌های فسیلی و انباشت این آلاینده در وضعیت پایدار با رهیافت کالمن فیلتر و با استفاده از تکنیک الگوریتم ژنتیک در دوره ۴-۱۳۸۶ تا ۴-۱۳۷۰ با لحاظ مقادیر کمینه، بیشینه و تعادلی ضریب پاک‌سازی، برای کشور ایران برآورد شد. از این رهگذر امکان برآورد پارامترهای مهم اقتصادی زیست‌محیطی کشتش منابع فسیلی در تابع تولید، نرخ ترجیح زمانی، کشتش فعالیت‌های ICT در تابع انتشار و ضریب پاک‌سازی محیط برای دی‌اکسید کربن فراهم شد. تشخیص بهترین ابزارهای الگوریتم ژنتیک بر اساس خودهمبستگی ناچیز در باقی‌مانده‌های معادلات اندازه و حالت، واقع‌بینی نتایج، تأمین محدودیت‌های حاکم بر پارامترها و کوتاهی زمان تخمین به وقوع پیوست. هم‌چنین با توجه به وابستگی رهیافت کالمن فیلتر به مقادیر اولیه، از میان نتایج برآوردشده الگوریتم ژنتیک آن جمعیت اولیه‌ای به عنوان بهترین جمعیت انتخاب شد که بیش‌ترین مقدار حداکثر راست‌نمایی و کمترین مقدار خودهمبستگی را در باقی‌مانده‌های معادلات حالت و اندازه دارا بود.

نتایج برآورد نشان می‌دهد که کشتش مصرف سوخت‌های فسیلی تابع تولید برای کشور ایران ۰/۴۴۷۵، نرخ ترجیح زمانی ۰/۰۱۲ و کشتش هزینه‌های اختصاص یافته به فعالیت‌های کاهنده ۴/۴۵ و ضریب پاک‌سازی محیط برای دی‌اکسید کربن ۰/۰۲ است. نتایج برآورد انباشت دی‌اکسید کربن با لحاظ مقادیر متفاوت ضریب پاک‌سازی حاکی از آن است که این متغیر از روند صعودی برخوردار بوده، تنها در حالتی که ضریب پاک‌سازی ۰/۰۲ است، در دوره پانزدهم کمی کاهش یافته است. میانگین انباشت این آلاینده نیز با توجه به سه ضریب پاک‌سازی ۰/۰۱۲۵، ۰/۰۲، ۰/۰۵، در دوره ۴-۱۳۷۰ تا ۴-۱۳۸۶ به ترتیب ۵۶/۷۲،

۱. پدیده گرمایش جهانی - اثر گلخانه‌ای افزوده و کاهش محصولات کشاورزی

۵۰/۴۵، ۴۴/۱۴ است.

لازم به ذکر است که همگرایی برآوردهای انباشت دی‌اکسید کربن، کشتش مصرف سوخت‌های فسیلی در تابع تولید، نرخ ترجیح زمانی و کشتش فعالیت‌های کاهنده در تابع انتشار با لحاظ مقادیر متفاوت ضریب پاک‌سازی می‌تواند تاییدی برای درستی برآوردهای متغیرهای مذکور برای اقتصاد ایران باشد.^۱

با توجه به آن که کشور ایران دارای ذخایر عظیم انرژی‌های فسیلی می‌باشد و بخش عظیمی از تولیدات ایران وابسته به فرآورده‌های نفتی است، به نظر می‌رسد برآورد ۴۴۷۵/۰ برای کشتش انرژی‌های فسیلی تابع تولید بر ساختار اقتصاد ایران منطبق باشد. هم‌چنین با توجه به این که در سال‌های اخیر، ایران در خصوص میزان انتشار دی‌اکسید کربن در رده‌بندی جهانی جز ۱۰ کشور اول جهان است و با توجه به ناکارآمدی آشکار سیاست‌ها و راهکارهای دولت در پاک‌سازی انتشار و مبارزه با تغییرات اقلیمی، فرسودگی صنایع مصرف‌کننده حامل‌های انرژی و موقعیت جغرافیایی شهرهای صنعتی کشور عزیزمان ایران که قابلیت انباشت را تقویت می‌کند، در بخش انرژی می‌توان با استفاده از تدابیری میزان انباشت را کاهش داد؛ که می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد:

بهره‌گیری از سیاست‌های اصلی مبتنی بر تولید برق، استفاده از فناوری‌های پاک و پر بهره و نیز پالایشگاه‌های دوستدار محیط زیست، بهینه‌سازی فناوری وسایل نقلیه و ناوگان حمل‌ونقل عمومی، استفاده از لوازم برقی و ساختمان‌هایی با بهره‌وری بیشتر و فعالیت‌های کاهنده انتشار فعالی همانند کنترل انتشار دی‌اکسید کربن انتهای لوله.

در بخش غیرانرژی استراتژی‌های کاهش، شامل مدیریت مزارع و ترویج دامداری مدرن، حفاظت از جنگل‌ها و سایر منابع طبیعی، کنترل مضاعف و تصفیه پساب‌ها، مدیریت مواد زائد و بازیافت آنها.

هم‌چنین استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی بادی و خورشیدی، زمین‌گرمایی، انرژی امواج و جزرومد، انرژی هیدروژنی و نیروی آب در فرایند تولید در

۱. زیرا با تغییر یکی از متغیرهای مدل، تغییر چندانی نداشته‌اند.

کشور ضروری است. اما با توجه به آن که در حال حاضر، سهم منابع انرژی تجدیدپذیر در تولید برق پایین و هزینه برق تولیدی از آنها بسیار بالاست، عمده سیاست‌های کاهش بایستی بر جایگزینی سوخت‌های سنگین با گاز طبیعی، برق آبی، سیکل ترکیبی و تولید همزمان گرما و برق متمرکز شود (مهدی‌زاده، ۱۳۸۹).

منابع و مآخذ

- امیر فخری، جواد. (۱۳۸۹)، ضرورت کاهش انتشار متان به عنوان یکی از عمده‌ترین گازهای گلخانه‌ای، مجموعه مقالات سومین همایش سراسری مدیران و متخصصان HSE، امور HSEQ شرکت مهندسی و توسعه گاز ایران، وزارت نفت، اردیبهشت، ۱۳۸۹.
- بخشی دستجردی، رسول و خاکی نجف‌آبادی، ناهید. (۱۳۹۰)، بررسی تأثیر جمعیت بر رشد اقتصادی در چارچوب الگوی رشد بهینه در اقتصاد ایران (۱۳۵۰-۱۳۸۶) کاربردی از الگوریتم ژنتیک، مجله تحقیقات اقتصادی، دوره ۴۵، شماره ۹۴، صص ۲۳-۰۱.
- بهروزی ایزدموسی، وحید. (۱۳۸۸)؛ محاسبه بازده بدون ریسک بازارهای مالی ایران به روش فیلترکالمن؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد: دانشکده اقتصاد دانشگاه تهران.
- دفتر حفاظت لایه ازن. (۱۳۸۶)، اثرات گازهای گلخانه‌ای و تخریب لایه ازن بر محیط زیست، تهران، انتشارات دفتر حفاظت لایه ازن.
- رومر، دیوید. (۱۳۸۳)، اقتصاد کلان پیشرفته نظریه رشد (جلد اول)، مهدی تقوی، تهران: انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران. (۱۳۸۳)، ۲۵۵.
- سازمان حفاظت محیط‌زیست (<http://www.epo.ir>)
- شاد، روزبه و عبادی، حمید و سعدی مسگری، محمد و وفائی نژاد، علیرضا. (۱۳۸۳)، طراحی و اجرای GIS کاربردی جهت مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی با استفاده از مدل‌های فازی، وزن‌های نشان‌گر و ژنتیک، نشریه دانشکده فنی، دوره ۴۳، شماره ۴، صص ۳۱۷-۴۲۹.
- شاهمرادی، اصغر و کاوند، حسین و ندری، کامران (۱۳۸۹)، برآورد نرخ بهره تعادلی در اقتصاد ایران (۱۳۶۸:۴-۱۳۸۶:۴) در قالب یک مدل تعادل عمومی، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۹۰، صص ۴۱-۱۹.
- عباسی‌نژاد، حسین، کاوند، حسین و شاهمرادی، اصغر (۱۳۸۸)، برآورد یک مدل ادوار تجاری واقعی برای اقتصاد ایران با استفاده از رهیافت کالمن فیلتر و حد اکثر راستمایی، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۸۹، صص ۲۱۴-۱۸۵.

- قاسمی، محمدرضا و آزادی، اکبر (۱۳۸۷)، بهینه سازی قاب‌های فولادی با استفاده از الگوریتم وراثتی اصلاح شده هوشمند، نشریه دانشکده فنی، دوره ۴۲، شماره ۴، صص ۴۶۵-۴۷۶.
- مهدی‌زاده، محمود (۱۳۸۹)، ماهنامه پیام پتروشیمی، شماره ۳۴.
- مکانیزم توسعه پاک سازمان ملل (<http://cdm.unfccc.int>)
- Ashworth, Robert, Nahle, Nasif & Schreuder, Hans. (2011), **Greenhouse Gases in the Atmosphere Cool the Earth.**
- Brock, A.W, Taylor, M.S (2004), *Economic Growth and the Enviroment: a Review of Theory and Empirics*, NBER Working Paper, No.10854.
- Brock, A. W, Taylor, M.S (2004), *The Green Solow Model*, NBER Working Paper, No.10557.
- Graphic production: co₂ mow.org & Nature Geo science Global Carbon project.org
- Harvey, Andrew C. (2003), **Forecasting , Structural Time Series Models and the Kalman Filter**, British: Cambridge University Press, 554 .
- IEA, 2011.
- Jorgenson, Dale W. and Vu, Khuong M. (2010), *Potential Growth of the World Economy*, Journal of Policy Modeling, No 32, 615-631.
- Kalaitzidakis, Pantelis, P. Mamuneas, Theofanis and Stengos, Thanasis (2007), *The Contribution of Greenhouse Pollution to Productivity Growth*, Working Papers from University of Guelph, Department of Economics, No 802, Desember, 2008.
- L. Ingber , B. E. Rosen (1992), *Genetic Algorithms and Very Fast Simulated Reannealing*,
- Mathematical and Computer Modeling, No 16, November, 87-100.
- Ordás Criado, C., Valente, S., T. Stengos (2010), *Growth and Pollution Convergence: Theory and Evidence*, Journal of Enviromental and Economics and Management, Volume 62, Issue 2, September, 2011, 199-214.
- Pittel, Karen. (2004), **Sustainabiliy and Endogenous Growth**, Germany: Department of Economics Chemnitz University of Technology.
- S. Garcia; (1999), *Experimental Design Optimizationand Thermophysical Parameter Estimation of Composite Materials Using Genetic Algorithms*; Ph.D. Thesis; Virginia: Polytechnic Institute and State University.
- World Development Indicators, 2011.

جدول ۲. مقادیر برآوردشده انباشت دی‌اکسید کربن سرانه مؤثر و انباشت سرانه مؤثر این آلاینده در وضعیت پایدار بر حسب واحدهای متریک با لحاظ مقادیر بیشینه، کمینه و تعادلی ضریب پاک‌سازی محیط برای دی‌اکسید کربن

s	ایران					
	انباشت دی‌اکسید کربن سرانه مؤثر			انباشت دی‌اکسید کربن سرانه مؤثر وضعیت پایدار		
	۰,۰۰۱۲۵	۰,۰۲	۰,۰۵	۰,۰۰۱۲۵	۰,۰۲	۰,۰۵
1370-4	56.921	49.608	43.521	60.930	53.023	46.205
1371-1	56.995	49.599	43.529	61.0487	53.0308	46.204
1371-2	56.234	49.575	43.276	59.852	52.981	46.210
1371-3	57.307	49.575	43.605	61.604	53.0590	46.206
1371-4	57.230	49.486	43.567	61.303	53.024	46.203
1372-1	56.982	49.545	43.502	60.947	52.989	46.201
1372-2	56.073	49.495	43.306	60.0282	52.987	46.199
1372-3	57.0541	49.605	43.530	60.856	52.959	46.186
1372-4	57.048	49.653	43.445	60.580	52.953	46.214
1373-1	56.763	49.665	43.408	60.427	53.203	46.206
1373-2	55.900	49.662	43.251	59.819	53.017	46.207
1373-3	56.813	49.638	43.353	60.492	53.016	46.223
1373-4	56.889	49.675	43.623	60.295	53.037	46.159
1374-1	56.604	49.674	43.500	60.139	53.0642	46.191
1374-2	55.745	48.995	43.412	59.635	53.185	46.199
1374-3	56.683	50.075	43.593	60.216	52.983	46.204
1374-4	56.806	49.816	43.612	60.101	53.0311	46.223
1375-1	56.538	49.838	43.619	60.002	53.032	46.211
1375-2	55.715	49.786	43.538	59.628	53.010	46.210
1375-3	56.687	49.768	43.715	60.145	52.944	46.207
1375-4	56.811	49.577	43.787	60.043	53.383	46.207
1376-1	56.572	49.910	43.766	59.978	53	46.199
1376-2	55.753	50.034	43.659	59.634	52.946	46.196
1376-3	56.761	50.02	43.801	60.005	52.908	46.188
1376-4	56.777	50.019	43.948	59.854	52.875	46.162
1377-1	56.582	50.0983	43.524	59.831	52.836	46.251
1377-2	55.771	50.080	43.645	59.552	52.840	46.212
1377-3	56.699	50.155	43.803	59.861	52.819	46.204
1377-4	56.772	50.210	43.858	59.756	52.812	46.206
1378-1	56.565	50.264	43.974	59.710	52.809	46.0921
1378-2	55.757	50.265	43.823	59.483	52.805	46.187
1378-3	56.672	50.501	43.949	59.758	52.962	46.193
1378-4	56.765	50.390	44.025	59.721	52.875	46.194
1379-1	56.549	50.445	44.213	59.705	52.874	46.152
1379-2	55.771	50.494	43.876	59.570	52.873	46.223
1379-3	56.711	50.528	44.053	59.849	52.869	46.213
1379-4	56.824	50.554	44.126	59.837	52.870	46.212
1380-1	56.614	50.629	44.105	59.822	52.854	46.218
1380-2	55.842	50.670	44.139	59.682	52.856	46.181
1380-3	56.768	50.720	44.232	59.889	52.859	46.194
1380-4	56.868	50.772	44.283	59.875	52.864	46.196

1381-1	56.697	50.816	44.320	59.933	52.859	46.191
1381-2	55.948	50.950	44.007	59.876	52.942	46.289
1381-3	56.871	50.915	44.366	60.099	52.897	46.214
1381-4	57.006	50.940	44.457	60.148	52.896	46.211
1382-1	56.802	50.985	44.439	60.139	52.908	46.213
1382-2	56.0725	51.025	44.352	60.088	52.926	46.235
1382-3	57.008	51.0176	44.573	60.277	52.960	46.203
1382-4	57.116	51.109	44.611	60.281	52.957	46.207
1383-1	56.953	51.143	44.634	60.342	52.967	46.207
1383-2	56.217	51.191	44.626	60.296	52.969	46.205
1383-3	57.112	51.225	44.759	60.441	52.967	46.204
1383-4	57.204	51.244	44.836	60.459	52.973	46.203
1384-1	57.0610	51.304	44.869	60.541	52.925	46.206
1384-2	56.360	51.337	44.835	60.060	52.970	46.216
1384-3	57.269	51.376	45.243	60.746	52.997	46.125
1384-4	57.393	51.399	45.0871	60.839	53.0242	46.2
1385-1	57.242	51.417	45.093	60.918	53.050	46.206
1385-2	56.554	51.267	45.0981	60.958	53.120	46.208
1385-3	57.462	51.544	45.253	61.139	53.0610	46.198
1385-4	57.608	51.534	45.315	61.249	53.0811	46.214
1386-1	57.452	51.572	45.353	61.331	53.097	46.214
1386-2	56.785	51.630	45.356	61.389	53.115	46.220
1386-3	57.697	51.661	45.414	61.569	53.149	46.247
1386-4	57.855	51.703	45.730	61.687	53.047	46.168

مأخذ: محاسبات محقق

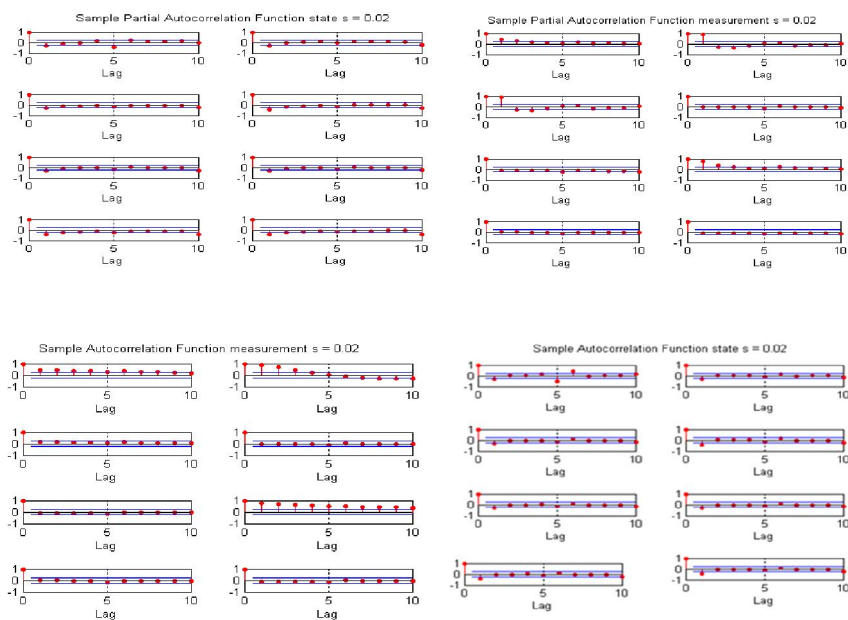
جدول ۳. مقادیر برآوردشده سرمایه، مصرف سوخت‌های فسیلی، انتشار دی‌اکسیدکربن سرانه مؤثر وضعیت پایدار

	ایران		
	انتشار دی‌اکسیدکربن سرانه مؤثر وضعیت پایدار	مصرف سوخت‌های فسیلی وضعیت پایدار	سرمایه سرانه مؤثر وضعیت پایدار
1370-4	4.242	4.498	6.568
1371-1	4.242	4.494	6.560
1371-2	4.238	4.527	6.589
1371-3	4.245	4.482	6.667
1371-4	4.242	4.481	6.605
1372-1	4.239	4.459	6.599
1372-2	4.239	4.439	6.596
1372-3	4.237	4.399	6.579
1372-4	4.236	4.521	6.617
1373-1	4.256	4.141	6.587
1373-2	4.241	4.426	6.580
1373-3	4.241	4.480	6.601
1373-4	4.243	4.313	6.470
1374-1	4.245	4.376	6.528
1374-2	4.255	4.270	6.542
1374-3	4.239	4.591	6.553
1374-4	4.242	4.574	6.584
1375-1	4.242	4.540	6.561
1375-2	4.241	4.554	6.556
1375-3	4.235	4.606	6.550
1375-4	4.271	3.941	6.544
1376-1	4.240	4.422	6.535
1376-2	4.236	4.443	6.533
1376-3	4.233	4.432	6.525
1376-4	4.230	4.370	6.481
1377-1	4.227	4.630	6.638
1377-2	4.227	4.499	6.563
1377-3	4.225	4.498	6.543
1377-4	4.225	4.511	6.541
1378-1	4.225	4.215	6.335
1378-2	4.224	4.476	6.505
1378-3	4.237	4.284	6.515
1378-4	4.230	4.416	6.516
1379-1	4.230	4.321	6.438
1379-2	4.230	4.522	6.562
1379-3	4.229	4.510	6.543
1379-4	4.230	4.505	6.540
1380-1	4.228	4.552	6.559
1380-2	4.228	4.453	6.502
1380-3	4.229	4.485	6.535
1380-4	4.229	4.489	6.543
1381-1	4.229	4.490	6.535
1381-2	4.235	4.631	6.7
1381-3	4.232	4.504	6.557
1381-4	4.232	4.506	6.545
1382-1	4.233	4.514	6.548
1382-2	4.234	4.572	6.596
1382-3	4.237	4.469	6.554
1382-4	4.236	4.518	6.575
1383-1	4.237	4.517	6.585
1383-2	4.237	4.516	6.585

1383-3	6.581	4.513	4.237
1383-4	6.576	4.497	4.238
1384-1	6.576	4.577	4.234
1384-2	6.590	4.548	4.238
1384-3	6.426	4.292	4.240
1384-4	6.560	4.477	4.242
1385-1	6.574	4.487	4.244
1385-2	6.581	4.416	4.250
1385-3	6.572	4.515	4.245
1385-4	6.604	4.550	4.246
1386-1	6.607	4.547	4.248
1386-2	6.616	4.550	4.249
1386-3	6.660	4.583	4.252
1386-4	6.517	4.533	4.244

مأخذ: محاسبات محقق

شکل ۲. خودهمبستگی (ACF) و خودهمبستگی جزئی ($PACF$) پسماندهای معادلات اندازه و وضعیت



پیوست ۱. محاسبه ضرایب مدل فضا- حالت در برآورد انباشت دی اکسید کربن سرانه مؤثر

$$\int_{dlk,ens} = \frac{k'h\left(\frac{c_{ss}}{k_{ss}} + (n + \pi + \delta)\right)}{en_{ss}} \quad \int_{dlk,k} = (\alpha - 1)\left(\frac{c_{ss}}{k_{ss}} + \frac{n + \pi + \delta}{k_{ss}}\right) + \frac{c_{ss}}{k_{ss}^2}$$

$$\int_{dlk,m} = \frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{\frac{c_{ss}}{k_{ss}} + (n + \pi + \delta)}{m_{ss}} \right) \quad \int_{dlk,c} = -\frac{1}{k_{ss}}$$

$$\int_{dlk,en} = \frac{\int_{dlk,ens}}{k'} \quad \int_{dlk,p} = -(\int_{dlk,ens})\varphi$$

$$\int_{dlc,ens} = \frac{k'h(n + \pi + \delta + \rho)}{en_{ss}} \quad \int_{dlc,k} = \frac{(\alpha - 1)(n + \pi + \delta + \rho)}{k_{ss}}$$

$$\int_{dlc,m} = \frac{1}{\varepsilon} \left(\frac{(n + \pi + \delta + \rho)}{m_{ss}} \right) \quad \int_{dlc,en} = \frac{\int_{dlc,ens}}{k'}$$

$$\int_{dlc,p} = -(\int_{dlc,ens})\varphi$$

$$\int_{dlx,ens} = \frac{1}{\varepsilon - 1} \left(\frac{(1 - X_{ss})\int_{dlk,ens}}{\left(\frac{c_{ss}}{K_{ss}} + n + \pi + \delta\right)X_{ss}} \right) ((- (h - 1)(n + \pi + s))$$

$$\int_{dlx,k} = \frac{1}{(\varepsilon - 1)} \left(\frac{(1 - X_{ss})}{X_{ss}K_{ss}} \right) \left(\frac{-(n + \pi)ah}{enf_{ss}} - \frac{\alpha sh}{enf_{ss}} + (n + \pi + \delta)(\alpha - 1) + (\alpha - 1)\rho \right)$$

$$\begin{aligned} \int_{dlx,m} = & \frac{1}{(\varepsilon - 1)x_{ss}} \left[(1 - x_{ss})^{1-\varepsilon} \left(-h \left(1 - \frac{1}{\varepsilon} \right) \left(\frac{n + \pi + s}{enf_{ss}} \right) \right. \right. \\ & \left. \left. + \frac{1}{\varepsilon} ((2n + \pi + \delta) + 2\rho + s + 2(1 - x_{ss})) \right) \right] \\ & + \frac{1}{(\varepsilon - 1)x_{ss}} \left(\frac{\int_{dlx,c} c_{ss}}{\mu_{ss}} - \frac{(n + \pi + s)h(1 - x_{ss})(\varepsilon - 1)}{enf_{ss}\mu_{ss}} \right) \end{aligned}$$

$$\int_{dlx,c} = \frac{1}{(\varepsilon - 1)x_{ss}} (-\sigma^{-1} \delta \varepsilon \theta \mu_{ss} p_{ss}^{\theta-1}) \quad \int_{dlx,en} = \frac{\int_{dlx,ens}}{k'}$$

$$\begin{aligned} \int_{dlx,p} = & \varphi \left(\frac{\int_{dlx,c} (\theta - 1) c_{ss}}{p_{ss}} \right. \\ & + \frac{1}{(\varepsilon - 1)x_{ss}} \left(\frac{\int_{dlx,ens} (n + \pi + s)(h - 1)(1 - x_{ss})}{n + \pi + \delta + \frac{c_{ss}}{k_{ss}}} \right. \\ & \left. \left. - \int_{dlc,ens} (1 - x_{ss}) \right) \right) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_{p,p} = & 1 - ((n + \pi + s) \left(1 + \varphi h k' \frac{p_{ss}}{enf_{ss}} (0/47) \right)) \quad \int_{p,ens} \\ = & 0/47 h k' \frac{p_{ss}}{enf_{ss}} (n + \pi + s) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \int_{p,k} = & - \frac{\alpha(n + \pi + s)p_{ss}}{k_{ss}} (0/47) \quad \int_{p,m} \\ = & \frac{(n + \pi + s)p_{ss}}{m_{ss}} \end{aligned}$$

$$\int_{p,en} = \frac{\int_{p,ens}}{k'}$$

پیوست ۲. محدوده مهم ترین پارامترهای موجود در مدل

محدوده مهم ترین پارامترهای مدل به شرح ذیل است: با توجه به این که تابع تولید دارای بازدهی ثابت نسبت به مقیاس است، کشش مصرف سوخت های فسیلی تابع تولید (h) به صفر و تفاضل عدد یک و کشش سرمایه ای کشور مورد نظر محدود می شود. ضریب میزان مصرف ذخایر طبیعی در هر دوره (k') به بازه (۰/۰۰۱ و ۰) محدود می شود. کشش هزینه های اختصاص یافته به فعالیت های کاهنده در تابع انتشار (ε) محدود به (۱۰ و ۱) است. نرخ ترجیح زمانی (ρ) که مقدار فصلی آن محدود به (۰/۰۲ و ۰/۰۴) است. با توجه به آن که در اکثر مطالعات به جای نرخ ترجیح زمانی، نرخ تنزیل محاسبه می شود، برای تعیین محدوده این متغیر از رابطه آن با نرخ تنزیل استفاده شده است ($B = \frac{1}{1+\rho}$) که محدوده نرخ تنزیل فصلی، $0/98 < B < 0/996$ است.