برآورد انباشت دی‌اکسید کربن در قالب مدل تعادلی رمزی پایدار در اقتصاد ایران

علی طیب نیا[1]　　آزاده اختری[2]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۱۰　　تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۸/۲۵

چکیده

در این مطالعه میزان حقیقی دی‌اکسید کربن موجود در جو، انباشت دی‌اکسید کربن سرانهٔ مؤثر و انباشت سرانهٔ مؤثر وضعیت پایدار این آلاینده در دورهٔ ۴-۱۳۸۶ : ۴-۱۳۷۰ به کمک رهیافت کالمن‌فیلتر[3] و در قالب مدل تعادلی رمزی برای ایران برآورد شده است. از این رهگذر برآورد پارامترهایی همچون ضریب پاک‌سازی محیط برای دی‌اکسید کربن، سهم منابع فسیلی در تولید، نرخ ترجیح زمانی و کشش تابع انتشار نسبت به فعالیت‌های کاهندهٔ انتشار، امکان‌پذیر شد.

نتایج برآورد برای دورهٔ مذکور با لحاظ ضرایب پاک‌سازی کمینه، تعادلی و بیشینه

۱. دانشیار دانشکدهٔ 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 سوخت‌های فسیلی در تابع تولید

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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 آلایندهٔ دی‌اکسیدکربن،۰/۰۲، است. انباشت دی‌اکسیدکربن سرانهٔ مؤثر و انباشت سرانهٔ مؤثر وضعیت پایدار این آلاینده با ضریب پاک‌سازی فصلی۰/۰۲، 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 سرمایهٔ سرانهٔ مؤثر وضعیت پایدار نیز به ترتیب دارای میانگین‌های ۴/۴۶۸کیلوگرم و۶/۵۶ دلار و بر حسب برابری قدرت خرید و ثابت سال ۲۰۰۵ است. پیشی گرفتن میانگین مقادیر وضعیت پایدار انباشت دی‌اکسیدکربن از میانگین انباشت آن، حاکی از روند صعودی مسیر حرکت انباشت این آلاینده در آینده خواهد بود.

واژه‌های کلیدی:کالمن‌فیلتر، مدل فضا- حالت[1]، الگوریتم ژنتیک، مدل رشد رمزی، بی‌نظمی و قانون اسمالدرز.

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

1. State space model

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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 کرهٔ 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[1] موجود در جو است که به همراه هواویزه‌ها[2] و تغییرات ضریب انعکاسی زمین[3]، بر سرعت پدیدهٔ تغییر اقلیم تأثیر می‌گذارند و در این میان تأثیر و اهمیت گازهای گلخانه‌ای بسیار بیشتر و شناخته‌شده‌تر است[4] (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[5]. منابع طبیعی تولید آن تنفس موجودات زنده، تجزیهٔ 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 ۳۵درصدی 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 آئرسول‌ها 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 استفادهٔ 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 باجذب و بازتابانیدن 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.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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

پدیدهٔ 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؛ به‌طوری‌که هزینه‌های اقتصادی سالیانهٔ مرتبط با بلایای طبیعی در جهان در حدود ۵۰-۱۰۰میلیارد 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[1]، آسیب‌های اقتصادی ناشی از افزایش $۲/۵C^0$ ای دمای متوسط کرهٔ زمین که در اثر دو برابرشدن غلظت گازهای گلخانه‌ای موجود در جو زمین به وقوع می‌پیوندد، سبب کاهش سالیانهٔ ۱ تا ۱/۵ درصد تولید ناخالص داخلی کشورهای توسعه‌یافته 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 خلیج‌فارس، کاهش قابل توجه میزان تولید محصولات کشاورزی، وابستگی به واردات غلات، بروز بحران‌های اقتصادی-اجتماعی و ناکارامدی 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 فزایندهٔ تولید دی‌اکسیدکربن[2] در کشور است که این مهم لزوم بررسی میزان انتشار این آلاینده را در کشور بیش از کشورهای دیگر جهان تقویت می‌کند؛ به‌طوری‌که آمارگویای تولید ۱۷۵میلیون تن

1. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

دی‌اکسیدکربن در سال ۱۳۶۹ در ایران است؛ درحالی‌که در سال ۱۳۸۶ این میزان به ۴۶۶ میلیون تن رسیده و در مجموع شاهد افزایش ۱۶۵/۸ درصدی بوده‌ایم (گزارش سالیانهٔ آژانس بین‌المللی انرژی[1]، ۲۰۰۷).

اما آن‌چه توجه بدان حائز اهمیت است آن‌که دی‌اکسیدکربن آلاینده‌ای نیمه‌پایا با طول عمر ۵ تا ۲۰۰ سال در جو است؛ این گاز دارای قابلیت انباشت بوده[2]، ارتباط مستقیم نیروی تابشی گازهای گلخانه‌ای با طول عمرشان موجب می‌شود تأثیر دی‌اکسیدکربن بر پدیدهٔ تغییر اقلیم تنها محدود به زمان انتشار نباشد.

با توجه به آن‌چه گفته شد، در مطالعهٔ حاضر برای دستیابی به میزان دقیق غلظت دی‌اکسیدکربن موجود در جو و درک عمق آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از انباشت این آلاینده، برای اولین بار در قالب مدل تعادلی رمزی و به کمک رهیافت کالمن‌فیلتر، انباشت دی‌اکسیدکربن سرانهٔ مؤثر و انباشت سرانهٔ مؤثر وضعیت پایدار این آلاینده در ایران برآورد شده است.

بخش‌های مقاله به صورت زیر تنظیم شده است: در ابتدا پس از تبیین اهمیت برآورد انباشت دی‌اکسیدکربن درچارچوب مدل رشد رمزی، مسیرهای بهینهٔ مصرف و فعالیت‌های کاهندهٔ انتشار تعیین شده است. سپس با بهره‌گیری از مسیرهای بهینه و مسیر حرکت انباشت دی‌اکسیدکربن و سرمایه، فرم خلاصه‌شده‌ای از سیستم معادلات ساختاری برای طراحی در قالب مدل فضا- حالت معرفی شده است. سپس چگونگی برآورد مدل در چارچوب رهیافت کالمن‌فیلتر بیان شده و پس از آن نتایج برآورد مدل گزارش و تجزیه و تحلیل شده است. بخش پایانی به نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

1. IEA(2011)

۲. زیرا بخشی از دی‌اکسیدکربن انتشاریافته در اتمسفر توسط پوشش گیاهی جذب و بخشی دیگر در آب اقیانوس‌ها حل می‌شود و حدود ۵۰٪ آن در اتمسفر باقی می‌ماند. مطالعات اخیر نشان می‌دهند که بازیابی مقادیر بیشتر دی‌اکسیدکربن ناشی از سوزاندن سوخت‌های فسیلی باعث ایجاد طول عمر موثری حدود ده‌ها هزار سال برای آن خواهد شد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

۲. مروری بر بخشی از مطالعات پیشین رشد پایدار[1]

مدل‌های معرفی‌شده در این بخش با بهره‌گیری از فروض خاص خود به ارائهٔ راهکارهایی می‌پردازند که به کمک آن‌ها بهبود در کیفیت زیست‌محیطی و رشد اقتصادی تؤامان ممکن می‌شود. ادبیات مربوط به رشد پایدار با تلاش‌های گسترده در دههٔ ۷۰ به وسیلهٔ فورستر[2] (۱۹۷۳)، سولو(۱۹۷۳) و براک[3] (۱۹۷۷) آغاز شد. فورستر(۱۹۷۳) برای اولین بار در چارچوب مدلی نئوکلاسیکی، بافرض نرخ رشد جمعیت صفر و بافرض عدم‌وجود پیشرفت فنی در فعالیت‌های کاهندهٔ انتشار و تولید آلودگی، به بررسی کنترل بهینهٔ انتشار پرداخته است. نتایج مطالعهٔ او نشان داد که هنگامی‌که جامعه برای کنترل انتشار، قسمتی از منابع خود را سرمایه‌گذاری می‌کند، مصرف و سرمایهٔ سرانهٔ وضعیت پایدار[4] به علت کاهش بازگشت خالص سرمایه در نتیجهٔ تخصیص بخشی از منابع به فعالیت‌های کنترل انتشار،کاهش می‌یابند.

استوکی[5] (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 کاهندهٔ افزایشی و به کارگیری مقررات شدید در کاهش انتشار است. در این مدل افزایش در شدت فعالیت‌های کاهندهٔ 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 اختصاص‌یافته به فعالیت‌های کاهنده در نهایت به یک نزدیک شده و در نتیجهٔ تخصیص همهٔ منابع به فعالیت‌های کاهنده، رشد اقتصادی متوقف خواهد شد. از این رو استوکی بر اهمیت پیشرفت‌های فنی در فعالیت‌های کاهنده در دستیابی به توسعهٔ پایدار تاکید دارد.

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

مدل سبز[1] سولو که توسط براک و تیلور (۲۰۰۴) طراحی شده است، با بهره‌گیری از مدل سولو بسط یافته[2] 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 سرانهٔ 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 دی‌اکسیدکربن با تولید و مصرف در مسیر رشد بررسی شود و پس از آن با بهره‌گیری از مسیرهای بهینه رشد مصرف و فعالیت‌های اختصاص‌یافته به کاهش انتشار و مسیرهای رشد سرمایه و انباشت آلاینده، متغیر غیر قابل مشاهده انباشت دی‌اکسیدکربن برآورد شود. با توجه به آن‌که خسارت‌های زیست محیطی ناشی از انتشار دی‌اکسیدکربن بر مطلوبیت مصرف‌کننده و هزینه‌های اختصاص‌یافته به فعالیت‌های کاهنده انتشار بر درآمد قابل تصرف و لذا بر مصرف تأثیرگذار است در این مطالعه به منظور بررسی تقابل انباشت دی‌اکسیدکربن[3] با مصرف از مدل رشد رمزی بهره گرفته شده است و انباشت آلایندهٔ

1. Augmented Solow model

۲. این مدل از انواع مدل های با رویکرد مصرف کننده است.

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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 آن‌که نرخ احیای منابع طبیعی تجدیدناپذیرصفر است و با فرض آن‌که ذخیرهٔ انرژی‌های فسیلی در هر کشور a و میزان استخراج سوخت‌های فسیلی درهر دوره en باشد، تغییر در ذخیرهٔ 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:

$$\int_0^t \dot{a} = -\int_0^t en \Rightarrow s = \bar{a} - \sum_{i=1}^{t} en \qquad (۱)$$

در این مدل جای‌گزینی انباشت دی‌اکسیدکربن با ذخایر فسیلی سوخت‌شده با استفاده از قانون بی‌نظمی[۶] اسمالدرز انجام یافته است که در آن ذخیرهٔ منابع تجدیدناپذیر با بی‌نظمی پایین E_t، از تفاضل ذخیرهٔ کل منابع تجدیدناپذیر سیستم $\overline{E}$ و ذخیرهٔ 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 نهادهٔ 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 آنپس 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. $\dot{a} = -\dot{en}$

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

$$E_t = \overline{E} - P_{pt} \quad (۲)$$

که در آن ذخیرهٔ پسماندها با بی‌نظمی بالا P_{pt}[۱]، با ضریب تعدیل κ، برابر با مجموع ذخایر فسیلی انتشاریافته است[۲]. اما وجود نقش پاک‌سازی طبیعت موجب می‌شود انباشت آلاینده‌های نیمه‌پایا با توجه به ضریب پاک‌سازی آلاینده و مجموع انتشار خالص در دورهٔ مورد بررسی تعیین شود. بنابراین اگر P بیانگر انباشت دی‌اکسید کربن با سطح اولیه $p_0 = 0$ و e انتشار این آلاینده و s بیانگر ضریب پاک‌سازی محیط‌زیست برای این آلاینده[۳] باشد، آن‌گاه انباشت دی‌اکسید کربن توسط معادلهٔ 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 آن‌که مصرف منابع فسیلی در هر دوره ضریبی ثابت از ذخیرهٔ منابع فسیلی باشد، مصرف این منابع در هر دوره توسط رابطهٔ 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 (دی‌اکسید کربن، متان، گاز طبیعی و....)تبدیل می‌شوند. می‌دانیم که دی‌اکسید کربن از اشتعال سوخت‌های فسیلی که یکی از نهاده‌های تولید است به وجود می‌آید. با توجه به آن‌که هدف مطالعه حاضر بررسی مسیر حرکت انباشت دی‌اکسید کربن است لذا به کمک ضریب تعدیل فرض شده است که انتشار دی‌اکسید کربن در هر دوره ضریبی از مصرف انرژی‌های فسیلی همان دو ره است. $\sum_{i=1}^{t} en_t = \kappa p_{pt}$

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

۴. $p_{pt} = \varphi p_t \quad \varphi > 1$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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

اکنون با استفاده از فروض فوق‌الذکر تولید تابعی از سرمایه، نیروی کار و انباشت دی‌اکسیدکربن 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 بهینهٔ متغیرهای سیستم نیز با حداکثرسازی ارزش حال مطلوبیت تنزیل‌یافتهٔ خانوار نماینده نسبت به سطح مصرف و انباشت دی‌اکسیدکربن سرانهٔ

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

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 تراگردی $p(t)e^{-\rho t} \geq ۰$ و $k(t)e^{-\rho t} \geq 0$ تحقق می‌یابد و تابع مطلوبیت نسبت به مصرف مقعر ($U_C>0, U_{CC}<0$) و نسبت به انباشت آلاینده محدب ($U_{PP}<۰, U_P<۰$) است. تحدب تابع مطلوبیت نسبت به انباشت آلاینده بیانگر آن است که خسارت نهایی آلاینده بر محیط‌زیست 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 وزن‌های مصرف و انباشت آلودگی در تابع مطلوبیت هستند

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

و $\theta > 1$ نشان‌دهندهٔ خسارت نهایی افزایشی است. سرمایه توسط معادلهٔ تفاضلی روبه‌رو انباشت می‌شود:

$$K_t^{\circ}=Y_t-C_t-X_t-\delta K_t \qquad (۹)$$

که در آن $\delta>0$ نرخ استهلاک سرمایهٔ فیزیکی است و سرمایه‌گذاری خالص برابر است با تولیدکل که از آن مخارج مصرفی، C_t و هزینه‌های اختصاص‌یافته به فعالیت‌های کاهندهٔ انتشار[1] X_t کسرشده است. تابع انتشار ضریبی از تولید کل بوده، شدت انتشار واحد محصول m_t، به شدت انتشار پایه[2] و به هزینه‌های اختصاص‌یافته به فعالیت‌های کاهندهٔ انتشار وابسته است[3] (اورداس، والنته و استنگاس،۲۰۱۱).

$$E_t = m_t Y_t \qquad (۱۰)$$

$$m_t = \Omega(t)\,(1 - x(t))^{\varepsilon} \quad \text{و} \quad \varepsilon>1 \qquad (۱۱)$$

$x = \frac{X}{Y}$ سهم اختصاص‌یافته از تولید به فعالیت‌های کاهندهٔ انتشار است و تمایل به سرمایه گذاری در تکنولوژی‌های پاک را نشان می‌دهد(اورداس، والنته و استنگاس،۲۰۱۱).

با توجه به روابط فوق قید انباشت آلاینده به صورت روبه‌رو تعریف می‌شود:

$$\dot{P}_t = \Omega(t)\,(1 - x(t))^{\varepsilon} Y(t) - sp_t \qquad (۱۲)$$

با نرمال‌سازی همهٔ متغیرها نسبت به نیروی کار مؤثر و با جایگذاری $X(t) = x(t)\,Y(t)$ معادلات انباشت سرمایه و دی‌اکسیدکربن به شکل روبه‌رو تصریح خواهند شد:

$$\kappa_t^{\circ} = f(k(t),p(t))\big(1-\chi(t)\big) - c(t) - (n+\pi+\delta)k(t)$$
$$P^{\circ}(t) = \Omega(t)[1-\chi(t)]^{\varepsilon} f(k(t),p(t)) - (n+\pi+s)p(t) \qquad (۱۳)$$

---

۱. سرمایه‌گذاری در تکنولوژی پاک(ICT)

۲. در مدل براک وتیلور 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 استفادهٔ براک و تیلور است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

اکنون با حداکثرسازی ارزش‌حال مطلوبیت تنزیل‌یافتهٔ خانوار نسبت به قیود سرمایه و انباشت سرانهٔ مؤثر[1] و با توجه به شرایط انتقال متغیرهای وضعیت انباشت دی‌اکسیدکربن و سرمایه:

$$\mathrm{H}(p_t,k_t,c_t,x_t)=\sigma\, ln\, c-sp^{\theta}+\lambda^{k}[f(k_t,p_t)(1-x_t)-c_t-(n+\pi+\delta)k_t]+\lambda^{p}[\Omega_t(1-x_t)^{\varepsilon}f(k_t,p_t)-(n+\pi+s)p_t]$$
$$\lim_{t\to\infty}\lambda^{k}(t)k(t)e^{-\rho t}=0\,,\lim_{t\to\infty}\lambda^{p}(t)p(t)e^{-\rho t}=0$$

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

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

مسیرهای رشد بهینهٔ مصرف و فعالیت‌های ICT سرانهٔ مؤثر به شکل روبه‌رو تصریح خواهند شد:

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

$$\frac{x^{0}}{x}=\frac{-\Omega\sigma^{-1}\varepsilon c(1-x)^{\varepsilon}s\theta p^{\theta-1}}{(\varepsilon-1)_x}+\frac{\Omega hA^{h}k^{\alpha}\left(\frac{a}{\kappa\varphi}-p\right)^{h-1}(1-x)^{\varepsilon+1}}{x}+\frac{aA^{h}K^{\alpha-1}\left(\frac{a}{\kappa\varphi}-P\right)^{h}(1-x)^{2}(1-\varepsilon^{-1})}{(\varepsilon-1)_x}+\frac{(s-\pi-\delta)(1-x)}{(\varepsilon-1)_x} \qquad (۱۵)$$

۱. لازم به ذکر است که حل سیستم به برای دستیابی به مسیرهای بهینهٔ رشد با جاگذاری رابطهٔ۶ با میزان تولید در روابط ۱۳ امکان‌پذیر می‌شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

٤. تصریح مدل تعادلی در قالب مدل فضا – حالت

برآورد متغیر غیرقابل مشاهدهٔ انباشت دی‌اکسید کربن با رهیافت کالمن‌فیلتر، تنها با طراحی سیستم در قالب مدل‌های فضا - حالت امکان‌پذیر است. انباشت دی‌اکسید کربن که متغیری غیرقابل مشاهده است متغیر حالت[1] مدل می‌باشد و مسیر حرکت آن با جای‌گذاری رابطهٔ (۱۱) در تابع انتشار، حاصل می‌شود. نرخ‌های رشد سرمایه، مصرف و هزینه‌های اختصاص‌یافته به فعالیت‌های کاهندهٔ انتشار، معادلات انتقال سیستم را تشکیل می‌دهند:

$$p_{t+1} = \Omega(1-x)^{\varepsilon} A^h k^{\alpha} (\frac{a}{\kappa\varphi} - p_t)^h + \big(1-(n+\pi+s)\big)p_t \tag{۱۶a}$$

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

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

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

با توجه به آن‌که استفاده از تکنیک کالمن‌فیلتر تنها در سیستم خطی امکان‌پذیر است، در ابتدا معادلات فضا- حالت غیر خطی سیستم فوق می‌بایست خطی شوند. این مهم با بهره‌گیری از بسط تیلور و حول نقطه تعادلی وضعیت پایدار انجام یافته است. نکتهٔ دیگری که توجه بدان حائز اهمیت است، ثبات یا تغیر نقاط تعادلی وضعیت پایدار است که برای

---

۱. متغیر وضعیت

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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

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

معادلات انتقال:

$$dlk_{t+1} \simeq \int_{dlk,a}(a_t - a_{sst}) + \int_{dlk,k}(k_t - k_{sst}) + \int_{dlk,x}(x_t - x_{sst}) + \int_{dlk,c}(c_t - c_{sst}) + \int_{dlk,p}(p_t - p_{sst})$$

$$dlc_{t+1} \simeq \int_{dlc,a}(a_t - a_{sst}) + \int_{dlc,k}(k_t - k_{sst}) + \int_{dlc,x}(x_t - x_{sst}) + \int_{dlc,p}(p_t - p_{sst})$$

$$dlx_{t+1} \simeq \int_{dlx,a}(a_t - a_{sst}) + \int_{dlx,k}(k_t - k_{sst}) + \int_{dlx,x}(x_t - x_{sst}) + \int_{dlx,c}(c_t - c_{sst}) + \int_{dlx,p}(p_t - p_{sst}) \quad (۱۷a)$$

معادلات حالت:

$$p_{t+1} \simeq \int_{p,a}(a_t - a_{sst}) + \int_{p,k}(k_t - k_{sst}) + \int_{p,x}(x_t - x_{sst}) + \int_{p,p}(p_t - p_{sst}) + \big(1 - (n + \pi + s)\big)p_t$$

(b۱۷)

که در این معادلات (a) ذخیرهٔ منابع فسیلی، (k) سرمایه،(x) هزینه‌های اختصاص‌یافته به فعالیت‌های کاهندهٔ انتشار، (c) مصرف و (p) انباشت دی‌اکسیدکربن سرانهٔ مؤثر است. اندیس ss نشان‌دهنده سطح وضعیت پایدار متغیرهای نام‌برده است. شایان ذکر است که داده‌ای برای ذخیرهٔ منابع فسیلی موجود نیست. بدین‌منظور از یکی از فروض مدل که در آن مصرف انرژی هر دوره برابر با درصدی از ذخیرهٔ منابع طبیعی موجود در همان دوره است، استفاده شده و این متغیر با عناصر تشکیل‌یافتهٔ خود جای‌گزین شده است.

۱. زیرا عوامل بنیادی ویژهٔ اقتصاد همچون کشش 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.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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

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

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

نکتهٔ دیگر محدودیت زمانی متغیرهزینهٔ اختصاص‌یافته به فعالیت‌های کاهنده به ۱۷ دوره و تعداد پارامترهای بالای مدل نسبت به این دورهٔ 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[2] که در آن از حل یک چندجمله‌ای، بهترین مقادیر هر فصل با توجه به داده‌های سالانهٔ محاسبه می‌شود، محقق شده است. هم‌چنین برای برآورد دقیق‌تر مدل با استفاده از معادلهٔ (۱۱) در بخش متغیرهای توضیحی به جای هزینه‌های اختصاص‌یافته به فعالیت‌های کاهنده از ضریب انتشار استفاده شده است[3].

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

معادلات انتقال:

$$\begin{aligned} dlY_{t-4} = {} & \int_{dlY,ens}(ens_{t-4} - ens_{sst-4}) + \int_{dlY,k}(k_{t-4} - k_{sst-4}) \\ & + \int_{dlY,m}(m_{t-4} - m_{sst-4}) + \int_{dlY,c}(c_{t-4} - c_{sst-4}) \\ & + \int_{dlY,en}(en_{t-4} - e_{sst-4}) + \int_{dlY,p}(p_{t-4} - p_{sst-4}) \end{aligned} \quad (۱۸a)$$

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

1. $ens_t = \varepsilon_{i=1}^{t-1} en_t$
2. cubic
3. $X_t = 1 - (\frac{m_t}{\Omega_t})^{\frac{1}{\varepsilon}}$

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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

$$X_t - X_t^{ss} = \hat{X}_t = B(L)\hat{X}_{t-1} + \varepsilon_{\hat{X},t} \qquad (۱۸)\ \text{b}$$

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 وقفهٔ معادلات شکاف متغیرهای مرتبط است و تعداد وقفه‌های مناسب به‌گونه‌ای 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 وقفهٔ بهینه باید ضرایب فرایندهای اتورگرسیو مرتبه سوم در معادلات (۱۸b) به‌گونه‌ای مقید شوند که همهٔ ریشه‌های معادلهٔ $1 - \varphi_1 L - \varphi_2 L^2 - \varphi_3 L^3 = 0$ خارج دایرهٔ واحد قرار گیرند. برای تامین این شرط همانند کیم و نلسون[1] (۱۹۹۹) قیودی برضرایب روابط (۱۸b) اعمال شده است.

معادلات حالت:

$$p_{t+1} = \int_{p,ens}(ens_{t-3} - ens_{sst-3}) + \int_{p,k}(k_{t-3} - k_{sst-3}) + \int_{p,m}(m_{t-3} - m_{sst-3})$$

$$+\int_{p,en}(en_{t-3} - e_{sst-3}) + \int_{p,p} p_{t-3} + \int_{p,p_{ss}} p_{sst-3} \qquad (۱۸\text{c})$$

$$Z_{t+1}^{ss} = \mu_z^0 + \mu_z Z_t^{ss} + \varepsilon_{t+1,zss} \qquad \text{و} |\mu_Z|<1$$

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

1. Kim&Nelson

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

(۱۸ d)

(۱۸c) بیانگر مسیر حرکت متغیر انباشت دی‌اکسید کربن و(۱۸d) بیانگر مسیر وضعیت پایدار متغیرهای سرمایه، ضریب انتشار، مصرف، مجموع انرژی هدررفته و مصرف انرژی است که همگی از فرایند مرتبهٔ اول مارکوف AR(۱) تبعیت می‌کنند و $|\mu_z| <$ 1نشان‌دهندهٔ مانایی مسیرهای وضعیت پایدار عناصر ماتریس Z است. نکتهٔ دیگر همگرایی[۱] انباشت دی‌اکسید کربن سرانهٔ 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 معادلهٔ تفاضلی فوق می‌بایست مانا باشد که لازمهٔ آن محدودیت μ_p به بازهٔ (۰و۱-) است و علامت μ_p^0 با توجه به روند انتشار تعیین می‌شود. با توجه به روند انتشار دی‌اکسید 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، محدودهٔ ضریب ثابت معادله تفاضلی برای ایران، μ_p^0، به بازهٔ (۱۰و۱) محدود شد.

پس از رعایت نکات فوق‌الذکر می‌توان با ساده‌سازی ضرایب معادلات اندازه و وضعیت با استفاده از روابط تعادلی موجود در مسیر رشد متوازن سیستم[۲]، پارامترهای مهم اقتصادی- زیست‌محیطی[۳] همچون کشش مصرف سوخت‌های فسیلی تابع تولید، کشش هزینه‌های اختصاص‌یافته به فعالیت‌های کاهندهٔ انتشار، ضریب پاک‌سازی محیط برای آلایندهٔ دی‌اکسید کربن[۴] و نرخ ترجیح زمانی و مقادیر غیر قابل مشاهدهٔ انباشت

---

۱. با توجه به این‌که وجود مسیر رشد متوازن درنتیجه پایداری و یکتایی مدل نظری، به اثبات رسیده است، همگرایی انباشت آلاینده تضمین می‌شود.

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

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

۴ . بر طبق گزارش سایت هیئت بین دولتی تغییر اقلیم، نرخ پاک‌سازی اتمسفر برای دی‌اکسیدکربن (s)، دارای محدوده سالانهٔ (0/005,0/2) است.از آنجا که نرخ پاک‌سازی محیط زیست ضریبی است که برای برآورد متغیر ذخیره به کار می‌رود، مقدار

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

دی‌اکسیدکربن سرانهٔ مؤثر و مقادیر تعادلی وضعیت پایدار سرانهٔ مؤثر انباشت آلایندهٔ مذکور، سرمایه و مصرف انرژی را بر اساس رهیافت کالمن‌فیلتر برآورد کرد.

۵. برآورد انباشت دی‌اکسیدکربن در قالب مدل تعادلی رمزی

۵-۱. تبیین داده‌ها و روش‌های آماری

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

$$Y = AK^{\alpha}L^{\gamma} \qquad \alpha + \gamma = 1 \qquad \Rightarrow \qquad Y = AK^{\alpha}L^{1-\alpha} \qquad (۱۹)$$

داده‌های تولید و سرمایهٔ سرانهٔ که بر حسب برابری قدرت خرید و به قیمت‌های ثابت سال ۲۰۰۵ است[1]، از سایت بانک جهانی[2] و کشش سرمایه‌ای تابع تولید و سرانهٔ نهادهٔ نیروی کار که برابر با حاصل‌ضرب ساعت‌های کاری نیروی کار و شاخص کیفیت نیروی کار[3] محاسبه شده است[4]، از مقاله‌ای با عنوان «رشد بالقوه در دنیای اقتصاد»[5] (نوشته یورگنسن و هوانگ در سال ۲۰۱۰)، استخراج شده‌اند.

داده‌های مصرف خانوار، مصرف انرژی‌های فسیلی، ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن،

فصلی آن از تقسیم نرخ سالانهٔ بر۴ به دست می‌آید. بنابراین نرخ پاک‌سازی فصلی دی‌اکسیدکربن محدود به (۰/۰۵ ، 0/00125) است.

1. Per capita output PPP$(2005)
2. work bank

۳. داده‌های این مطالعه بر حسب سال پایه ۲۰۰۵ است. با توجه به آن‌که کیفیت نیروی کار در مقالهٔ 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، مقالهٔ«رشد بالقوه در دنیای اقتصاد»، ۲۰۱۰:

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

جمعیت و تمایل به پرداخت برای کاهش خسارت آلاینده[1] از سایت شاخص‌های توسعهٔ جهانی ۲۰۱۱[2] 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 برحسب برابری قدرت خرید[3] و به قیمت ثابت سال ۲۰۰۵ است. میزان انرژی هدررفته نیز برابر با مجموع مصرف انرژی از سال ۱۹۸۰ تا دورهٔ ماقبل هر دوره است[4]. 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 رابطهٔ زیر محاسبه شده که در آن B سطح بهره‌وری، n جمعیت و $g_{n,B}$ نمایانگر نرخ رشد جمعیت یا بهره‌وری است.

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

$$g_{n,B}^{seasonal} = (1+g_{n,B}^{yearly})^{\frac{1}{4}} - 1 \qquad (۲۰)$$

نکتهٔ 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[5] 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 دورهٔ بعد انتقال یافته است؛ از همین رو با توجه به هم‌خوانی محدودهٔ تحقیق این مطالعه با آمار ارائه شده در این مطالعه میزان دی‌اکسید کربن

۱. به علت عدم دسترسی به داده‌های فعالیت‌های کاهندهٔ 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. $\text{ens} = \varepsilon_{i=1}^{t-1}\text{en}_t$

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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

لازم به ذکر است که بازهٔ زمانی مورد استفاده در این مقاله محدود به سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۷۰[1] (۱۷ دوره) است که پس از فصلی‌سازی داده‌ها با نرم‌افزار ایویوز[2] 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:

معادله انتقال $y_t = z_t\alpha_t + d_t + \varepsilon_t \qquad t = 1, \dots, T$

و $d_t = A_t X_t$ (۲۱)

معادله حالت $\alpha_t = T_t\alpha_{t-1} + C_t + R_t\eta_t \;\; t = t, \dots, T$

در معادلهٔ انتقال y_t برداری $n\times1$ از متغیرهای مشاهده شده، Z_t ماتریسی با ابعاد $n\times m$ و d_t دارای ابعاد $n\times1$ است. جملات خطای معادلات انتقال ε_t، نیز برداری $n\times1$ 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 مرتبهٔ اول مارکوو[3] تولید می‌شود که هر دو بصورت نرمال توزیع شده‌اند[4].

T_t ماتریسی $m\times m$، C_t برداری $m\times1$ و R_t ماتریسی به ابعاد $m\times g$ است و η_t بردار $g\times1$ از اجزای اخلال با میانگین صفر و ماتریس کوواریانس Q_t است که به صورت سریالی

---

۱. زیرا داده‌های کشش سرمایه‌ای تابع تولید به سال‌های۱۸۷-۱۳۶۹،تمایل به پرداخت برای کاهش خسارات انتشار به سال‌های ۱۳۸۷-۱۳۶۹ و ضریب انتشار دی‌اکسیدکربن برای هر واحد GDP به سال‌های ۱۳۸۶-۱۳۶۹ محدود می‌شوند.

2. Eviews

3. Markov

۴. با این فرض امکان محاسبهٔ توزیع بردار متغیر حالت αt در زمان حال با تکنیک کالمن‌فیلتر به صورت بازگشتی و بر پایهٔ مجموعه اطلاعات زمان t فراهم می‌شود.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

ناهمبسته هستند. با فرض آن‌که 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 تخمین‌زن α_{t-1} بر پایهٔ مشاهدات از زمان 1 تا y_{t-1} و P_{t-1} ماتریس کوواریانس خطای تخمین با ابعاد m×m و $P_{t|t-1}$ پیش‌بینی ماتریس کوواریانس خطای تخمین در زمان t-1 باشد.

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

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

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

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

در زمان t

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

معادلهٔ 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:

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

و ماتریس واریانس-کوواریانس خطای تخمین

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

رابطهٔ بالا باشد، کالمن‌فیلتر می‌تواند بهترین تخمین‌زن بردار حالت را هر هنگام که مشاهدات جدید در دسترس باشند، به وجود آورد. هم چنین هنگامی‌که جزءهای اخلال و بردار حالت اولیه به صورت نرمال توزیع شوند، این روش امکان تخمین پارامترهای مجهول

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

مدل را با محاسبهٔ تابع درست‌نمایی[1] به وسیلهٔ تجزیهٔ خطاهای پیش‌بینی فراهم می‌آورد.

تابع حداکثر راست‌نمایی در مدل گاسین با میانگین $\tilde{y}_{t|t-1}$ و واریانس F_t به شکل ذیل است:

$$\log L = -\frac{NT}{2} Log\ \ 2\pi - \frac{1}{2}\sum_{t=1}^{T} log\,|F_t| - \frac{1}{2}\sum_{t=1}^{T} v_t' F_t^{-1} v_t \qquad (۲۴)$$

که درآن v_t تفاضل مشاهدات زمان t با میانگین شرطی مشاهدات در زمان t-1 و F_t ماتریس واریانس-کوواریانس تابع حداکثر راست‌نمایی است.

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

$$E_{t-1}(y_t) = \tilde{y}_{t|t-1} = Z_t a_{t|t-1} + d_t \qquad (۲۵)$$

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

در فرم ماتریسی مدل فضا- حالت این مطالعه در معادلات انتقال، Z_t ،یک ماتریس مربع و از مرتبهٔ ۳۶×۸، d_t، یک بردار ستونی ۱×۸ و در معادلات وضعیت، T_t یک ماتریس مربع ۳۶×۳۶ و C_t ،یک بردار ستونی ۱×36 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 شده‌اند.

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

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 می‌شود.

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

1. Likelihood

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

روش‌های بهینه‌یابی مبتنی بر روش‌های ریاضی بر نقطهٔ شروع اولیه و احتمال دستیابی به نقطهٔ بهینهٔ محلی در این روش‌ها[۱]،پیچیدگی تابع هدف حداکثر راست‌نمایی مدل مورد مطالعه به علت وجود ۷۶ متغیر واحتمال وجود ناپیوستگی و عدم مشتق‌پذیری این تابع، در این مطالعه برای دستیابی به حداکثر تابع راست‌نمایی از الگوریتم ژنتیک، که یکی ازالگوریتم‌های جست‌وجوی اتفاقی است و از چند نقطه، جست وجوی متقارب[۲] به جای یک نقطهٔ جست جو استفاده می‌کند، بهره گرفته شده است. این الگوریتم با لحاظ مجموعه‌ای از نقاط فضای جواب، در هر تکرار با رمزگشایی رشته‌های موجود در جمعیت رشته‌ها و نسبت‌دادن یک عدد برازندگی به مقدار تابع هدف، احتمال انتخاب را برای هر رشته تعیین می‌کند. سپس بر اساس این احتمال انتخاب، مجموعه‌ای از رشته‌ها انتخاب و با اعمال عملگرهای ژنتیکی روی رشته‌های انتخابی رشته‌های جدید جای‌گزین رشته‌هایی از جمعیت اولیه می‌شوند. با این روش کروموزوم‌ها در طی نسل‌های متوالی به نحوی تغییر می‌کنند که نسل‌های جدیدتر پاسخ بهتری برای مسئلهٔ بهینه‌یابی داشته باشند. این روند باعث می‌شود جست‌وجو به ناحیه‌هایی از فضا که متوسط آماری تابع هدف در آن‌ها زیاد و امکان وجود نقطهٔ بهینهٔ مطلق در آن‌ها بیشتر است، سوق پیدا کند و این روند با دستیابی به شرط پایانی الگوریتم متوقف می‌شود.

با توجه به آن‌که متغیرهای تصمیم مدل مورد مطالعه، همچون ضریب پاک‌سازی محیط برای دی‌اکسید کربن، سهم منابع فسیلی در تولید، نرخ ترجیح زمانی و کشش تابع انتشار نسبت به فعالیت‌های کاهندهٔ 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 امکان‌پذیر خطی[۳] برای ایجاد جمعیت اولیه، و برای ایجاد فرزندان جهش‌یافته از روش جهش

---

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

۲. بصورت مجموعه‌ای از افراد

3. linearfeasible

این تابع جمعیت اولیهٔ تصادفی را با توزیعی مناسب به گونه‌ای ایجاد می‌کند که تمام مرزها و محدودیت‌های خطی برآورده شوند.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

تعدیل‌یافتهٔ امکان‌پذیر[1] که همه فرزندان جهش یافته را در فضای محصور به قیود برآورده می‌سازد، استفاده شده است. فرزندان پیوندی نیز به روش آریتمتیک[2] ایجاد شده‌اند که در آن فرزندان، میانگین وزنی ریتمیک والدین خود هستند و همواره در فضای محصور به قیود قرار دارند و تابع برازندگی متناسب با تابع هدف با توجه به کمینه‌یابی منفی لگاریتم تابع راست‌نمایی مقید به صورت مقابل پیشنهاد می‌شود ($f(B) = \frac{1}{a+S'(B)}$[3]). گزینش والدین در این الگوریتم توسط فرم تصادفی یکنواخت انجام شده است.

اما وابستگی کارایی[4] الگوریتم ژنتیک به نوع طراحی عملگرهای آن مانند اندازهٔ جمعیت، عملگر انتخاب[5] و عملگرهای پیوند و جهش[6] موجب می‌شود در فرایند دستیابی به بهینهٔ مطلق، تابع حداکثر راستنمایی با جمعیت‌های اولیه، فرزندان نخبه و نرخ پیوندهای متفاوت آزمون شود. در این مطالعه تشخیص بهترین ابزارهای الگوریتم ژنتیک بر اساس خودهمبستگی ناچیز در باقی‌مانده‌های معادلات اندازه و حالت، واقع‌گرایی نتایج، رعایت قیود حاکم بر پارامترها و کوتاهی زمان تخمین صورت گرفته است. پس از برآوردهای گوناگون با جمعیت‌های اولیه، فرزندان نخبه و نرخ‌های پیوند متفاوت مشاهده شد که در این الگوریتم که هر کروموزم آن ۷۶ ژن دارد، اندازهٔ جمعیت ۱۲۰ مناسب‌تر است. هم‌چنین تعداد فرزندان نخبه، ۲۰٪ جمعیت در نظرگرفته شد. نرخ پیوند نیز در حالتی‌که ضریب پاک‌سازی محیط‌زیست برای داده‌های فصلی ۰/۰۵ و ۰/۰۰۱۲۵ است، به ترتیب ۰/۹ و ۰/۹۵ و در حالتی‌که این ضریب متغیر باشد، ۰/۹۵ در نظرگرفته شده است. پس از

1. mutationadaptfeasible
2. arithmetic

۳. در این مدل از مقیاس برازندگی rank استفاده شده است که اثر پراکندگی رتبه‌های خام را بر طرف می‌کند که در آن به مقادیر کمینهٔ تابع هدف بیشترین مقدار برازندگی نسبت داده می‌شود.

۴. همگرایی

۵. عملگر انتخاب، مرتبط با تابع برازندگی است و به استفاده از بهترین پاسخ‌ها وکاوش در فضای جست وجوی پارامترها تمایل نشان می‌دهد.

۶. پیوند و جهش به عنوان عملگرهای جست‌وجو دسته‌بندی می‌شوند. عملگر پیوند اجازه می‌دهد هم بهره‌برداری از بهترین پاسخ‌ها صورت گیرد و هم کاوش در فضای جست‌وجوی پارامترها ادامه یابد؛ در صورتی که عملگر جهش برکاوش در فضای جست‌وجوی پارامترها تاکید دارد.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

تشخیص مناسب‌ترین اندازهٔ جمعیت و با توجه به آن‌که 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 دی‌اکسید 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 محاسبهٔ 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-کواریانس $\frac{1}{T}$ ماتریس اطلاعات و T نشان‌دهندهٔ تعداد مشاهدات است ($Var - COV = \frac{1}{T}\ I$)که جذر عناصر روی قطر اصلی آن، همان انحراف معیار پارامترهای برآوردشدهٔ مدل به شمار می‌رود(شاهمرادی، کاوند۱۳۸۹).

٦. نتایج برآورد مدل

در این بخش با اعمال قیودی که در بخش‌های ۴ و ۱-۵ بیان شد، انباشت دی‌اکسیدکربن سرانهٔ مؤثر و انباشت سرانهٔ مؤثر

وضعیت پایدار به کمک رهیافت کالمن‌فیلتر و با روش الگوریتم ژنتیک در دورهٔ زمانی۴ : ۱۳۸۶– ۴ : ۱۳۷۰ در ابتدا با لحاظ ضریب پاک‌سازی[1] در حکم پارامتر سیستم، برآورد می‌شود و پس از آن با هدف دست‌یابی به محدودهٔ انباشت دی‌اکسیدکربن، این برآورد با استفاده از دوکران بالا و پایین ضریب پاک‌سازی فصلی دی‌اکسیدکربن (۰/۰۵، 0/00125) تکرار می‌شود. از این رهگذر امکان برآورد مقادیر تعادلی وضعیت پایدار مصرف سوخت‌های فسیلی، سرمایه و انتشار سرانهٔ مؤثر و پارامترهایی همچون سهم منابع فسیلی در تولید، نرخ ترجیح زمانی و کشش تابع انتشار نسبت به فعالیت‌های کاهندهٔ انتشار

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

فراهم خواهد شد.

جدول۱ . برآورد پارامترهای مدل با لحاظ مقادیر بیشینه،کمینه و برآوردی ضریب پاک‌سازی محیط برای دی‌اکسیدکربن

نام متغیر	ضریب پاک‌سازی فصلی بیشینه S=۰٫۰۵		ضریب پاک‌سازی فصلی برآوردشده		ضریب پاک‌سازی فصلی کمینه۰٫۰۰۱۲۵= S	
	پارامتر برآوردی	انحراف معیار	پارامتر برآوردی	انحراف معیار	پارامتر برآوردی	انحراف معیار
ضریب پاکسازی فصلی محیط(S)			۰٫۰۲	۰٫۰۰۰۱		
سهم منابع فسیلی در تولید(H)	0.30	1.20E-05	0.498	0.0003	0.54	0.0003
کشش تابع انتشار نسبت به فعالیت‌های کاهنده(ε)	۳٫۷۲	4.00E-05	۲٫۲۱	0.0001	۸٫۸۷	0.0003
نرخ ترجیح زمانی(ρ)	0.01	1.10E-07	۰٫۰۱۹	0.0003	0.009	0.0003

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 حالتی‌که این ضریب به عنوان متغیر لحاظ شده است؛ مقدار برآورد شدهٔ آن برای داده‌های فصلی ۰/۰۲ و مقدار سالانهٔ آن ۰/۰۸ است که به مقدار ۰/۱ که ضریب پاک‌سازی سالانهٔ 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 آن‌که 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 اختصاص‌یافته به فعالیت‌های کاهنده در تابع انتشار ۴/۴۵ است و با توجه به رابطهٔ نرخ تنزیل و نرخ ترجیح زمانی($B = \frac{1}{1+\rho}$) میانگین نرخ تنزیل

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

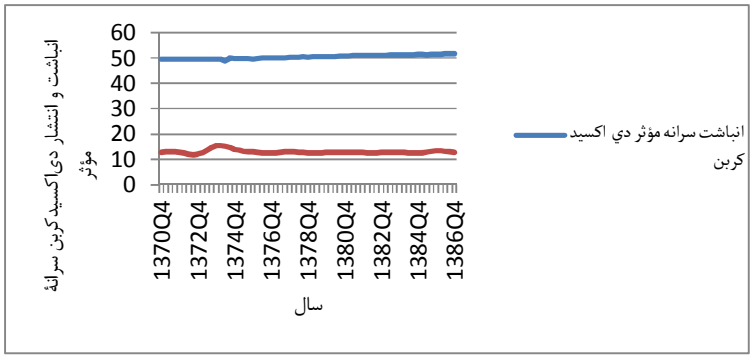
[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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 می‌توان به نوفه سفید بودن پسماندهای این معادلات تا حد زیادی اطمینان داشت. از آن‌جاکه در این اشکال شواهدی مبنی بر وجود خودهمبستگی مشاهده نمی‌شود، نتایج حاکی از خوب‌بودن مدل برآورد شده است.

نتایج برآورد انباشت دی‌اکسید کربن سرانهٔ مؤثر و سرانهٔ مؤثر وضعیت پایدار این آلاینده با وجود ۳ ضریب پاک‌سازی متفاوت در جدول ۲ گزارش شده‌اند. مقادیر برآورد شدهٔ انباشت سرانهٔ مؤثر و انباشت وضعیت پایدار این آلاینده بر حسب متریک تن هستند. نتایج جدول حاکی از آن است که انباشت دی‌اکسیدکربن در هر سه حالت از روند صعودی برخوردار بوده و تنها در حالتی‌که ضریب پاک‌سازی متغیر است، در دورهٔ ۱۵ کمی کاهش یافته است. میانگین انباشت این آلاینده با توجه به سه ضریب پاک‌سازی ۰/۰۰۱۲۵، 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 پاک‌سازی می‌تواند تاییدی بر درستی نتایج برآوردی باشد.

شکل ۱. انباشت و انتشار سرانهٔ مؤثر دی‌اکسیدکربن بر حسب واحدهای متریک



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

اختلاف چشم‌گیر مقادیر انباشت و انتشار سرانهٔ مؤثر این آلاینده حاکی از آن است که شدت تاثیر این آلاینده بر پدیدهٔ تغییر اقلیم بسیار بیشتر از حد انتظار است که این مهم لزوم تجدیدنظر در افزایش شدت سیاست‌های کاهندهٔ 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 سرانهٔ مؤثر وضعیت پایدار در دورهٔ ۴-۱۳۸۶ تا ۴-۱۳۷۰ با سه ضریب ۰/۰۰۱۲۵، ۰/۰۲، ۰/۰۵ به ترتیب دارای میانگین ۴/۴۸، ۴/۴۵، ۴/۴۷ است. سرمایهٔ سرانهٔ 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 سرمایهٔ سرانهٔ مؤثر وضعیت پایدار در دورهٔ ۴-۱۳۸۶ تا ۴-۱۳۷۰ برگزیده شدند. انباشت دی‌اکسیدکربن وضعیت پایدار نیز در این سه حالت به ترتیب دارای میانگین‌های۶۰/۲۹، ۵۲/۹۷، ۴۶/۲ است. با توجه به آن‌که مقادیر انباشت با گذشت زمان به مقادیر تعادلی وضعیت پایدار همگرا خواهد شد، پیشی‌گرفتن میانگین مقادیر وضعیت پایدار سه حالت مذکور از میانگین انباشت حاکی از آن است که مسیر حرکت انباشت روندی صعودی خواهد داشت.

مقادیر انتشار سرانهٔ مؤثر وضعیت پایدار نیز با توجه به رابطهٔ $\mathrm{p}^0 = e - sp$ و با توجه به آن‌که تغییرات انباشت سرانهٔ مؤثر در وضعیت پایدار صفر است، از حاصل‌ضرب ضریب پاک‌سازی انباشت دی‌اکسیدکربن و مقدار انباشت این آلاینده در وضعیت پایدار حاصل شده‌اند. مقادیر انتشار سرانهٔ مؤثر وضعیت پایدار نیز در جدول ۳ گزارش شده و انتشار سرانهٔ مؤثر وضعیت پایدار دارای میانگین ۴/۲۳۷ است.

۷. نتیجه‌گیری

با توجه به قابلیت انباشت دی‌اکسیدکربن، تشخیص صحیح خسارت‌های وارد بر

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

محیط‌زیست[1] و تصمیم‌گیری مناسب در مورد سیاست‌های کاهندهٔ انتشار باید بر اساس مقادیر انباشت این آلاینده لحاظ شوند. بدین‌منظور در قالب مدل تعادلی رمزی و با استفاده از مسیرهای بهینهٔ سرمایه، مصرف و فعالیت‌های کاهندهٔ انتشار، فرم ساختاری مدل رشد پایدار طراحی شد و متغیر غیر قابل مشاهدهٔ انباشت دی‌اکسید کربن و مقادیر تعادلی غیر قابل مشاهدهٔ سرمایه، مصرف سوخت‌های فسیلی و انباشت این آلاینده در وضعیت پایدار با رهیافت کالمن‌فیلتر و با استفاده از تکنیک الگوریتم ژنتیک در دورهٔ 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 کشش منابع فسیلی در تابع تولید، نرخ ترجیح زمانی، کشش 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 کالمن‌فیلتر 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 کشش مصرف سوخت‌های فسیلی تابع تولید برای کشور ایران ۰/۴۴۷۵، نرخ ترجیح زمانی ۰/۰۱۲ وکشش هزینه‌های اختصاص‌یافته 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 دورهٔ پانزدهم کمی کاهش یافته است. میانگین انباشت این آلاینده نیز با توجه به سه ضریب پاک‌سازی ۰/۰۰۱۲۵، ۰/۰۲، ۰/۰۵، در دورهٔ ۴-۱۳۷۰ تا ۴-۱۳۸۶ به ترتیب ۵۶/۷۲،

۱. پدیدهٔ گرمایش جهانی—اثر گلخانه ای افزوده و کاهش محصولات کشاورزی

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

۵۰/۴۵، ۴۴/۱۴ است.

لازم به ذکر است که همگرایی برآوردهای انباشت دی‌اکسیدکربن، کشش مصرف سوخت‌های فسیلی در تابع تولید، نرخ ترجیح زمانی و کشش 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 آن‌که کشور ایران دارای ذخایر عظیم انرژی‌های فسیلی می‌باشد و بخش عظیمی از تولیدات ایران وابسته به فرآورده‌های نفتی است، به نظر می‌رسد برآورد ۴۴۷۵/. برای کشش انرژی‌های فسیلی تابع تولید بر ساختار اقتصاد ایران منطبق باشد. هم‌چنین با توجه به این‌که در سال‌های اخیر، ایران در خصوص میزان انتشار دی‌اکسیدکربن 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 ازفناوری‌های 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 کاهندهٔ انتشار فعالی همانند کنترل انتشار دی‌اکسیدکربن انتهای لوله.

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

هم‌چنین استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر مانند انرژی بادی وخورشیدی، 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.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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 متخصصانHSE ، 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، دورهٔ 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 لایهٔ ازن.(۱۳۸۶)، *اثرات گازهای گلخانه‌ای و تخریب لایه ازن بر محیط زیست*، تهران، انتشارات دفتر حفاظت لایهٔ 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 واجرای GIS کاربردی جهت مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی با استفاده ازمدل‌های فازی، وزن‌های نشان‌گر و ژنتیک*، نشریه دانشکده فنی، دورهٔ ۴۳، شماره۴، 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 راستنمایی*، مجله تحقیقات اقتصادی، شماره ۸۹، صص ۲۱۴- ۱۸۵.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

- قاسمی، محمدرضا و آزادی، اکبر (۱۳۸۷)، *بهینه سازی قاب‌های فولادی با استفاده از الگوریتم وراثتی اصلاح شده هوشمند، نشریه دانشکده فنی*، دورهٔ۴۲، شماره۴، صص۴۶۵-۴۷۶.
- 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: co_2 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.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

جدول۲. مقادیر برآوردشدهٔ انباشت دی‌اکسیدکربن سرانهٔ مؤثر و انباشت سرانهٔ مؤثر این آلاینده در وضعیت پایدار بر حسب واحدهای متریک با لحاظ مقادیر بیشینه،کمینه و تعادلی ضریب پاک‌سازی محیط برای دی‌اکسیدکربن

	ایران					
s	انباشت دی‌اکسیدکربن سرانهٔ مؤثر			انباشت دی‌اکسیدکربن سرانهٔ 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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

جدول۳. مقادیر برآوردشدهٔ سرمایه، مصرف سوخت‌های فسیلی، انتشار دی‌اکسیدکربن سرانهٔ مؤثر وضعیت پایدار

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

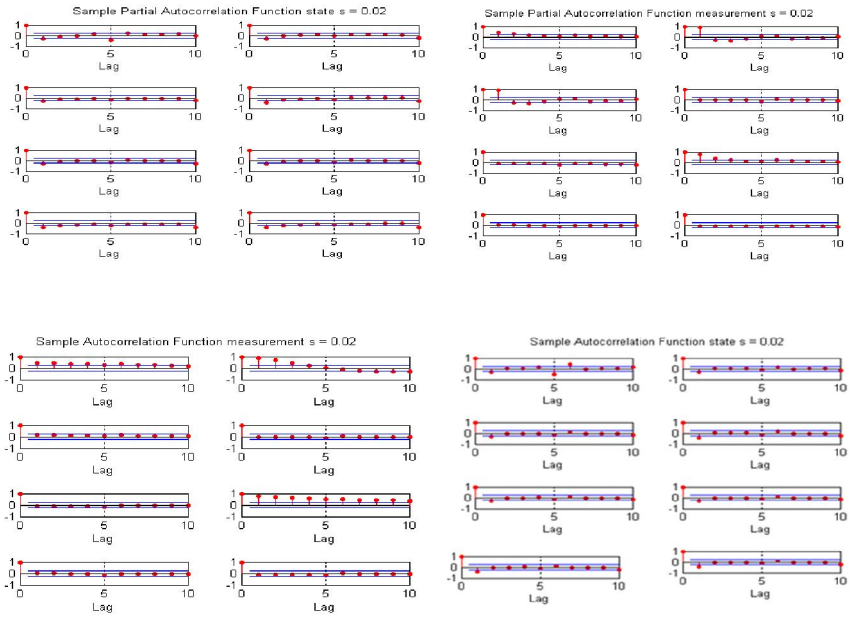
[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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

شکل۲. خودهمبستگی(ACF) و خودهمبستگی جزئی(PACF) پسماندهای معادلات اندازه و وضعیت



[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

پیوست ۱. محاسبه ضرایب مدل فضا- حالت در برآورد انباشت دی‌اکسیدکربن سرانهٔ مؤثر

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

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

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

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

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

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

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

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

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

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

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

$$\int_{p,p} = 1-\left((n+\pi+s)\left(1+\varphi hk'\frac{p_{ss}}{en_{ss}}(0/47)\right)\right. \qquad \int_{p,ens} = 0/47hk'\frac{p_{ss}}{enf_{ss}}(n+\pi+s)$$

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

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

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]

پیوست۲. محدودهٔ مهم‌ترین پارامترهای موجود در مدل

محدودهٔ مهم‌ترین پارامترهای مدل به شرح ذیل است: با توجه به این‌که تابع تولید دارای بازدهی ثابت نسبت به مقیاس است، کشش مصرف سوخت‌های فسیلی تابع تولید (h) به صفر و تفاضل عدد یک و کشش سرمایه‌ای کشور مورد نظر محدود می‌شود. ضریب میزان مصرف ذخایر طبیعی در هر دوره (k') به بازهٔ (۰/۰۰۱ و ۰) محدود می‌شود. کشش هزینه‌های اختصاص‌یافته به فعالیت‌های کاهنده در تابع انتشار (ε) محدود به (۱۰و۱) است. نرخ ترجیح زمانی (ρ) که مقدار فصلی آن محدود به (۰/۰۲و ۰/۰۰۴) است. با توجه به آن‌که در اکثر مطالعات به جای نرخ ترجیح زمانی، نرخ تنزیل محاسبه می‌شود، برای تعیین محدوده این متغیر از رابطه آن با نرخ تنزیل استفاده شده است $\left(B = \frac{1}{1+p}\right)$ که محدوده نرخ تنزیل فصلی، $۰/۹۹۶ < B < 0/98$ است.

[Downloaded from isharat.khu.ac.ir on 2026-10-29]

[DOR: 20.1001.1.22286454.1393.4.16.2.1]