تاریخ دریافت: ۳ فروردین ۱۴۰۲ تاریخ پذیرش: ۵ تیر ۱۴۰۲ صفحات ۴۴ الی ۵۹

ارائه یک روش محاسباتی مبتنی بر چرخه کربن و اثرات بازخوردهای اقلیمی به‌منظور ارزیابی تغییرات میزان کربن موجود در اتمسفر و مسئولیت تاریخی کشورها در افزایش دمای کره زمین

کیان ابتکار
کارشناس ارشد رشته مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی شریف
kian.ebtekar@energy.sharif.edu

محمد شریفیان
کارشناس ارشد رشته مهندسی انرژی دانشگاه صنعتی شریف
mohammad.sharifian@energy.sharif.edu

دکتر حسین خواجه پور
استادیار دانشگاه صنعتی شریف
khajehpour@sharif.edu

چکیده: مهم‌ترین عامل در افزایش دمای کره زمین پس از انقلاب صنعتی، تغییر در میزان گاز کربن‌دی‌اکسید موجود در اتمسفر ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و کاربری اراضی است؛ بنابراین ارزیابی دقیق مسئولیت تاریخی کشورها در انتشار کربن‌دی‌اکسید به‌منظور مقابله با تغییرات اقلیمی از اهمیت بالایی برخوردار است. کربن موجود در اتمسفر می‌تواند در چرخه‌ای بین خاک، اقیانوس و هوا مبادله شود. اشمیت در مقاله خود با درنظرگرفتن این چرخه در قالب یک دستگاه معادله دیفرانسیل، میزان کربن موجود در بخش‌های مختلف کره زمین را تا سال ۱۹۹۰ تخمین زده است. با ارزیابی نتایج این پژوهش می‌توان دریافت که علاوه بر کشورهای توسعه‌یافته، کشورهای در حال توسعه‌ای مانند چین و هند نیز سهم بالایی در افزایش دمای کره زمین داشتند و باید در جهت جبران خسارات اقلیمی فعال‌تر عمل کنند.

واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، افزایش دما، انتشارات گازهای گلخانه‌ای، چرخه کربن، مسئولیت تاریخی

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]

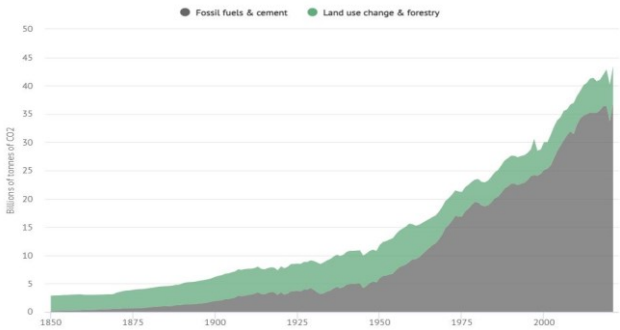
۱. مقدمه

تغییرات اقلیمی به‌عنوان یکی از چالش‌های اصلی زندگی انسان‌ها به شمار می‌رود که نیازمند انجام اقدامات مقابله‌ای در سطح بین‌المللی برای مدیریت و کاهش تأثیرات آن است (Cozzi, Gould et al. ۲۰۲۰). شواهد نشان می‌دهد که افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای پس از انقلاب صنعتی رابطه مستقیمی با افزایش دمای کره زمین که در نهایت منجر به تغییرات اقلیمی می‌شود، دارد (Pachauri and Reisinger ۲۰۰۷). دی‌اکسید کربن به عنوان یک گاز گلخانه‌ای با داشتن نیمه عمر طولانی در چرخه‌ای بین سنگ‌کره[۱]، آبکره[۲] و اتمسفر در تعادل است. با توجه به نیمه عمر طولانی دی‌اکسید کربن، فعالیت‌های انسانی مانند سوختن سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی می‌تواند این تعادل را بر هم زند (Schmitz ۲۰۰۲).

پس از انقلاب صنعتی میزان انتشار کربن‌دی‌اکسید شدت بیشتری گرفته است به صورتی که از سال ۱۸۵۰ تا کنون حدود ۱۵۰۰ گیگاتن کربن‌دی‌اکسید وارد اتمسفر شده است که باعث افزایش دمای ۱/۲ درجه سانتیگرادی دمای کره زمین شده است. باتوجه به بودجه انتشار ۲۰۰۰ گیگاتن کربن‌دی‌اکسید برای کاهش دمای کمتر از ۱/۵ درجه سانتی‌گراد، انتشار ۵۰۰ گیگاتن کربن‌دی‌اکسید دیگر می‌تواند باعث افزایش قطعی بیشتر از ۱/۵ درجه سانتیگرادی زمین شود. در شکل ۱ میزان انتشار کربن‌دی‌اکسید ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و ناشی از سوخت‌های فسیلی تغییر کاربری اراضی نشان داده شده است (Zhou ۲۰۲۱).

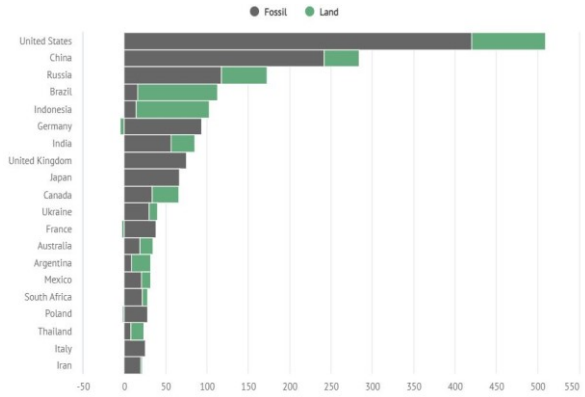
[۱] Lithosphere
[۲] Hydrosphere

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]



شکل ۱: میزان انتشار کربن‌دی‌اکسید ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی از سال ۱۸۵۰ تا ۲۰۲۱ (Hansis, Davis et al. ۲۰۱۵)

همان‌طور که از شکل ۱ مشخص است میزان انتشار کربن‌دی‌اکسید بعد از انقلاب صنعتی با شدت بیشتری افزایش پیدا کرده است. در شکل ۲ نیز سهم کشورها با بیشترین انتشار کربن‌دی‌اکسید ناشی از سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی نشان‌داده‌شده است.



شکل ۲: میزان انتشار کربن‌دی‌اکسید کشورها با بیشترین میزان انتشار ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی (Hansis, Davis et al. ۲۰۱۵)

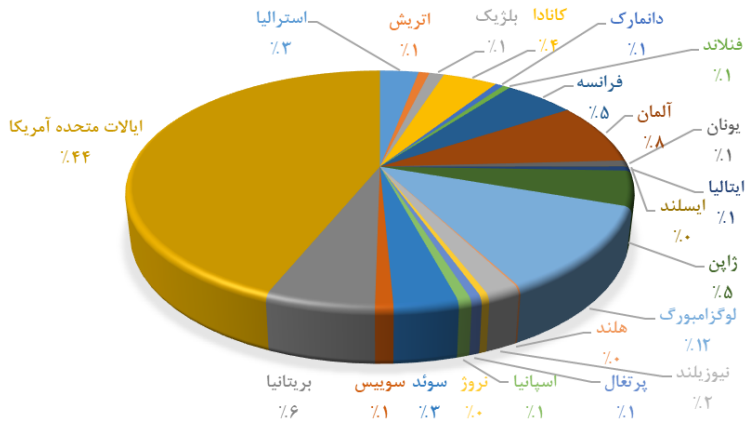
همان‌طور که در شکل ۲ مشخص است میزان انتشار کربن‌دی‌اکسید ایالات متحده آمریکا بیشتر از سایر کشورها است. همچنین کشورهایی مانند برزیل و اندونزی که دارای اراضی جنگلی زیادی هستند،

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]

میزان انتشار کربن‌دی‌اکسید ناشی از تغییر کاربری اراضی آنها نسبت به سایر کشورها بیشتر است درحالی‌که در کشورهایی مانند آلمان و فرانسه انتشار کربن‌دی‌اکسید ناشی از تغییر کاربری اراضی منفی است به این معنی که میزان جنگل‌زایی بیشتر از جنگل‌زدایی این کشورها است.

باتوجه‌به سهم کشورها از انتشار سوخت‌های فسیلی، مسئولیت هر کشور در قبال تغییرات اقلیمی متفاوت خواهد بود. طبیعی است که سهم کشورهای توسعه‌یافته نسبت به سایر کشورها بیشتر است به همین دلیل در کنوانسیون تغییرات اقلیمی، کشورهای توسعه‌یافته، تعهد دادند که سالانه بودجه ۱۰۰ میلیارد دلاری برای کمک به توسعه پایدار کم‌کربن سایر کشورها به‌خصوص کشورهای درحال‌توسعه در نظر بگیرند (Stroebel ۲۰۲۱).

در بین کشورهای توسعه‌یافته نیز برخی از کشورها مانند ایالات متحده آمریکا مسئولیت بیشتری برای تأمین بودجه تعهد داده شده به‌منظور مقابله با تغییرات اقلیمی دارند. در شکل ۳ میزان تعهد کشورهای عضو پیوست ۲ نشان داده شده است (Bos and Thwaites ۲۰۲۱).



شکل ۳: سهم کشورهای عضو پیوست ۲ از بودجه ۱۰۰ میلیارد دلاری کنوانسیون تغییرات اقلیمی (Bos and Thwaites ۲۰۲۱)

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]

همان‌طور که از شکل ۳ مشخص است بیشترین سهم را کشور آمریکا دارد و کشورهایی مانند، آلمان لوکزامبورگ، بریتانیا و فرانسه در رتبه‌های بعدی قرار دارند.

در این پژوهش نخست با درنظرگرفتن چرخه کربن در کره زمین، میزان تغییرات کربن موجود در اتمسفر باتوجه‌به انتشارات ناشی از سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی برای هر کشور محاسبه می‌شود و در گام بعدی با درنظرگرفتن این تغییرات و بازخوردهای اقلیمی ناشی از افزایش میزان کربن، سهم هر کشور از افزایش دمای کره زمین ارزیابی می‌شود و در نهایت باتوجه‌به این میزان افزایش دما برای هر کشور، مسئولیت تاریخی هر کشور در قبال افزایش دمای کره زمین و تغییرات اقلیمی مشخص می‌گردد. در این پژوهش، به‌منظور محاسبه میزان افزایش کربن در اتمسفر برای هر کشور، فرض می‌شود که تنها کشور موردنظر دارای انتشارات است و سایر کشورها و بر همکنش آن‌ها با هم در نظر گرفته نمی‌شود. همچنین ضرایب متغیرها در معادلات دیفرانسیل چرخه کربن در کره زمین برای تمام کشورها ثابت در نظر گرفته شده است. نکته بعدی که حائز اهمیت است این است که در معادلات، تفاوت جنگل‌زایی و جنگل‌زدایی در نظر گرفته می‌شود؛ زیرا معمولاً در پایگاه‌های داده انتشارات ناشی از تغییرات کاربری اراضی گزارش می‌شود و امکان استخراج مستقیم داده برای جنگل‌زایی و جنگل‌زدایی در سطح جهان و کشورها وجود ندارد. در نهایت نیز این فرض در نظر گرفته شده است که بازخوردهای اقلیمی برای تمام کشورها یکسان در نظر گرفته شده است.

۲. مرور بر ادبیات

پژوهش‌های متنوعی در زمینه ارزیابی مسئولیت تاریخی کشورها در قبال تغییرات اقلیمی و افزایش غلظت کربن‌دی‌اکسید موجود در هوا و درنتیجه آن افزایش دمای سطح کره زمین صورت‌گرفته است. اشمیت در مقاله خود با درنظرگرفتن معادلات دیفرانسیل چرخه کربن در کره زمین، میزان کربن موجود در اتمسفر را محاسبه نمود. وی در محاسبات خود انتشار ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی و تغییر کاربری اراضی را به‌صورت یک رابطه خطی فرض کرده است و همچنین مسئله را به‌صورت منطقه‌ای و کشوری بررسی نکرده است (Schmitz ۲۰۰۲). الزن و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهش خود به ارزیابی انتخاب‌های سیاستی و علمی به‌منظور بررسی مشارکت منطقه‌ای در تغییرات اقلیمی پرداختند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]

این پژوهش بیشتر به صورت قاره‌ای و کلی صورت‌گرفته است و همچنین در محاسبات خود چرخه کربن بین اتمسفر و اقیانوس‌ها و سطح زمین را درنظر نگرفته است (den Elzen, Fuglestvedt et al. ۲۰۰۵). هون و همکاران (۲۰۱۱) نیز مشارکت کشورها در انتشار انباشته کربن‌دی‌اکسید و اثر آن بر افزایش دمای کره زمین را ارزیابی کردند. آن‌ها در این تحقیق کشورهای محدودی را مورد بررسی قرار دادند و همچنین در محاسبات خود چرخه کربن را نظر نگرفتند(Höhne, Blum et al. ۲۰۱۱) . الزن و همکاران (۲۰۱۳) در مقاله دیگر خود به محاسبات تاریخی میزان انتشار انباشته گازهای گلخانه‌ای و مشارکت کشورها در میزان انتشار از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ پرداختند. آن‌ها نیز در محاسبات خود چرخه کربن را لحاظ نکردند و ارزیابی خود را برای زمان محدود انجام دادند. (Den Elzen, Olivier et al. ۲۰۱۳). مولر و همکاران (۲۰۰۸) با ارائه روش‌هایی به منظور کمی‌سازی مسئولیت تاریخی در بحث تغییرات اقلیمی و مشارکت کشورها در آن پرداختند. این مقاله بیشتر به‌صورت کیفی و بر جنبه سیاستی موضوع تمرکز کرده است. وبر و همکاران با ارزیابی سهم انتشارات ناشی از صادرات در کشور چین تأثیر آن را بر بروز تغییرات اقلیمی و افزایش میزان انتشارات آن کشور بررسی کردند (Müller, Höhne et al. ۲۰۰۹). در تمام این مقالات نیز تمرکز اصلی بر محاسبه میزان افزایش غلظت کربن دی اکسید بوده است و بر ارتباط بین افزایش میزان انتشارات و دمای سطح کره زمین نپرداخته اند.

برخی مقالات نیز بصورت کلی‌تر بحث عدالت اقلیمی را مورد بررسی و تحلیل قرار دادند. اسکولزبرگ و همکاران (۲۰۱۴) در مقاله خود ابعاد مختلف عدالت اقلیمی شامل آسیب پذیری کشورهای مختلف، تاثیرات کشورها و میزان اهمیت این موضوع را مورد ارزیابی قرار داده است (Schlosberg and Collins ۲۰۱٤). گاردینر (۲۰۱۱) نیز به نگرانی های پیرامون بحث تغییر اقلیم پرداخته است و بر اهمیت سیاست های درست در این زمینه و همچنین نقش این موضوع در موفقیت اقدامات در حوزه تغییر اقلیم تاکید کرده است (Gardiner ۲۰۱۱). سالتونا (۲۰۲۲) در مقاله خود به موضوع مسئولیت مشترک اما متفاوت پرداخته است و بررسی می کند که چگونه تغییرات اقلیمی بر کشورها و افراد مختلف تاثیرات متفاوتی می‌گذارد (Sultana ۲۰۲۲). رابینسون و همکاران (۲۰۱۸) نیز با تمرکز بر مسیر محدود کردن افزایش دمای تا کمتر از ۱.۵ درجه سانتیگراد، چالش ها و سهم

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]

کشورها و میزان آسیب پذیری کشورها در طی این مسیر را مورد بررسی قرار میدهد (Robinson and Shine ۲۰۱۸).

باتوجه‌به تحقیقاتی که در این زمینه انجام شده به اهمیت چرخه کربن در میزان نهایی کربن‌دی‌اکسید موجود در اتمسفر و همچنین ارتباط میزان کربن در اتمسفر و افزایش دمای کره زمین کمتر پرداخته شده است که هدف این پژوهش نیز بررسی مسئولیت تاریخی کشورها مبتنی بر همین روش است.

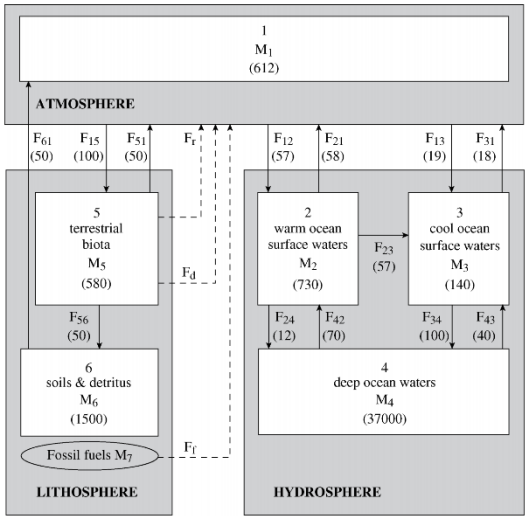
۳. روش تحقیق

معادلات زیر یک مدل شش بخشی از چرخه کربن است که توسط اشمیت در سال ۲۰۰۳ توسعه داده شده است. مقادیر نشان داده شده در پرانتز در هر محفظه تخمینی از مقدار کربن قبل از انقلاب صنعتی (تقریباً سال ۱۸۵۰) است که با نمادهای M_i نشان داده‌شده است که در هر سال با پتاگرم کربن[۱] اندازه‌گیری می‌شود. ازآنجایی‌که میزان کربن موجود در بیوسفر آبزیان، رودخانه‌ها، نهرها و دریاچه‌ها در مقایسه با سایر مخازن موجود ناچیز است، این موارد حذف شده‌اند. منابع انتشار سوخت فسیلی تنها به‌عنوان منبع کربن بر چرخه جهانی کربن تأثیر می‌گذارد. رسوبات در واقع بزرگ‌ترین مخزن کربن هستند، اما شار کربن به داخل و خارج از رسوبات آن قدر کوچک است که رسوبات را می‌توان به عنوان یک محفظه در هر مقیاس زمانی واقعی نادیده گرفت. F_{ij} نشان‌دهنده شار آورده شده است. در مدل فوق فرض شده است که قبل از انقلاب صنعتی، جریان خالص کربن به داخل یا خارج از هر محفظه صفر بوده است.

مطابق با شکل ۴، F_f شار کربن در اتمسفر ناشی از مصرف انرژی‌های فسیلی است و F_r و F_d به ترتیب شار کربن در اتمسفر ناشی از جنگل‌زایی و جنگل‌زدایی خواهد بود.

[۱] Pg C

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]



شکل ۴ - چرخه شش گانه محاسبه کربن اشمیت

$$\frac{dM_1}{dt} = -(k_{12}+k_{13})M_1 - k_{15}G\frac{M_1-\gamma}{M_1-\Gamma} + k_{21}M_2^{\beta_2} + k_{31}M_3^{\beta_3} + k_{51}M_5 + k_{61}M_6 + F_f(t) - F_r(t) \quad (۱)$$

$$\frac{dM_2}{dt} = k_{12}M_1 - (k_{23}-k_{24})M_2 - k_{21}M_2^{\beta_2} + k_{42}M_4 \quad (۲)$$

$$\frac{dM_3}{dt} = k_{13}M_1 + k_{23}M_2 - k_{34}M_3 - k_{31}M_3^{\beta_3} + k_{43}M_4 \quad (۳)$$

$$\frac{dM_4}{dt} = k_{24}M_2 + k_{34}M_3 - (k_{42}+k_{43})M_4 \quad (۴)$$

$$\frac{dM_5}{dt} = k_{15}G\frac{M_1-\gamma}{M_1+\Gamma} - (k_{51}+k_{56})M_5 - F_d(t) + F_r(t) \quad (۵)$$

$$\frac{dM_6}{dt} = k_{56}M_5 - k_{61}M_6 \quad (۶)$$

$$\frac{dM_7}{dt} = -F_f(t) \quad (۷)$$

$$\frac{dG}{dt} = -\left[\frac{\alpha_d F_d(t) - \alpha_r F_r(t)}{M_5(0)}\right] \quad (۸)$$

مقادیر $F_r(t)$، $F_f(t)$ از بانک‌های داده‌ای معتبر و برای هر کشور استخراج شده است. همچنین جهت بدست آوردن اجبار تابشی که ناشی از افزایش کربن موجود در اتمسفر ناشی از هر کشور مورد نظر است، از رابطه ۹ استفاده شده است. در این رابطه ppm $CO_{۲}$۱ و ppm $CO_{۲}$۲ به ترتیب

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]

غلظت دی‌اکسید کربن در سال ۱۸۵۰ و ۲۰۲۱ برای هر کشور خواهد بود. جهت محاسبه تغییرات دمایی از رابطه ۱۰ استفاده شده است. در این رابطه $\boldsymbol{\lambda_0}$ میزان تغییرات دما در اثر تغییرات اجبار تابشی $(\frac{℃}{w/m^2})$ و $\mathbf{C_i}$ میزان بازخوردهای اقلیمی $(\frac{w}{m^2 k})$ است. لازم به ذکر است که کشورهای مورد بررسی در این پژوهش به تفکیک، کشورهای پیشرفته[1] همراه با چین، هند و ایران است و سایر کشورها به صورت تجمعی در یک گروه در نظر گرفته شده است. در رابطه ۱۰، $\boldsymbol{\lambda_0} = ۰/۳۱$ و $\mathbf{C_i} = ۱/۲$ در نظر گرفته شده است.

$$\Delta F = 5.3 \times Ln\frac{ppm\ CO_2 2}{ppm\ CO_2 1} \quad (۹)$$

$$\Delta T = \frac{\lambda_0 \Delta F}{1 - \lambda_0 \sum_1^4 C_i} \quad (۱۰)$$

٤. نتایج

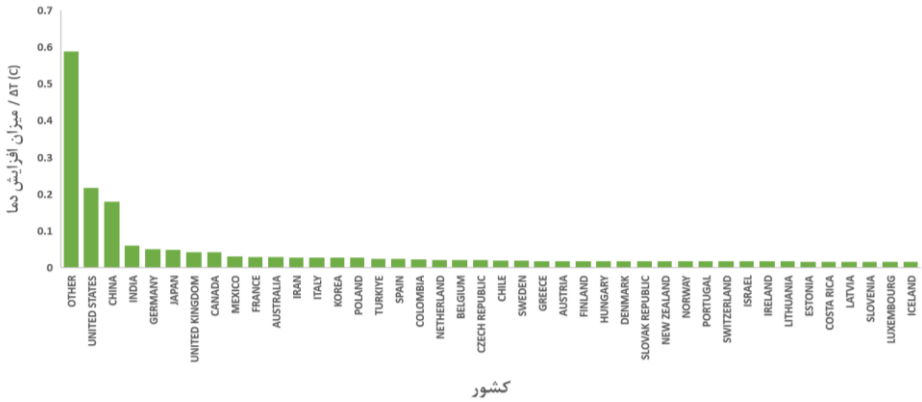
در این پژوهش فرض شده است که میزان کربن موجود در اتمسفر در سال ۱۸۵۰ برای تمام کشورها برابر با ۶۱۲ پتاگرم خواهد بود. پس از حل معادلات فوق برای کشورهای مورد نظر مطابق با شکل ۵ جرم کربن به وجود آمده در اتمسفر که در طول ۱۷۱ سال توسط هر یک از کشورهای مورد نظر تولید شده است بدست خواهد آمد.

همچنین با توجه به رابطه ۱۰ می‌توان سهم هر کشور در افزایش دمای کره زمین از سال ۱۸۵۰ تا ۲۰۲۱ را محاسبه کرد. شکل ۵، میزان افزایش غلظت کربن در اتمسفر و شکل ۶ میزان افزایش دمای کره زمین به تفکیک هر یک از کشورها را نشان می‌دهد.



شکل ۵-اختلاف غلظت کربن تولیدی در اتمسفر به تفکیک هر کشور از سال۱۸۵۰ الی۲۰۲۱

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]



شکل ۶- میزان افزایش دمای کره زمین توسط هر کشور از سال ۱۸۵۰ الی۲۰۲۱

اگر مدل فوق مطابق با داده‌های جهانی اجرا شـود، میزان افزایش دمای کره زمبن برابر با ۱/۲ درجه سانتی‌گراد خواهد شد. ولی اگر مجموع مقادیر افزایش دما برای کشورهای مورد نظر محاسبه شود، این عدد برابر با ۱/۹۱۵۵ درجه سانتی‌گراد خواهد شد (شکل۷). این اختلاف می‌تواند علت‌های گوناگونی داشته باشد که عبارت است از:

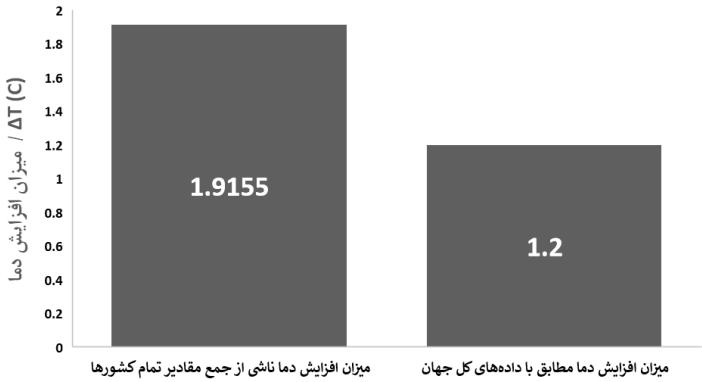
۱) ضرایب ثابت استفاده شده در مدل ذکر شده مطابق با مدل اسمیت است و این مدل مطابق با چرخه کل کره زمین توسعه داده شده و طبیعی است که این ضرایب برای تمام کشورهای مورد نظر صادق نباشد.

۲) عدم قطعیت بازخوردهای اقلیمی ممکن است برای برخی از کشورها بیشتر یا کمتر باشد و در نظر گرفتن یک مقدار ثابت برای تمام آن‌ها، خطای محاسبات را بالا می‌برد.

۳) هنگامی که مدل به صورت جداگانه برای هر کشور اجراء می‌شود، برهم کنش موجود در چرخه کربن در جهان را نخواهد دید و این مسئله موجب اختلاف بین نتایج مجموع کشورها و مقدار جهانی خواهد شد.

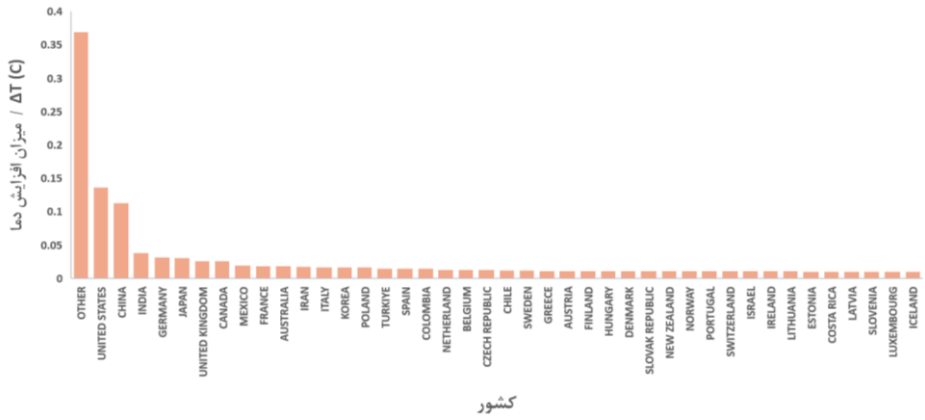
۴) گردآوری داده‌های مربوط به جنگل‌زایی و جنگل زدایی به صورت مستقل در منابع معتبر داده‌ها وجود ندارد و تنها تاثیر برایند آن‌ها(تغییر کاربری اراضی) در مدل وارد شده است.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]



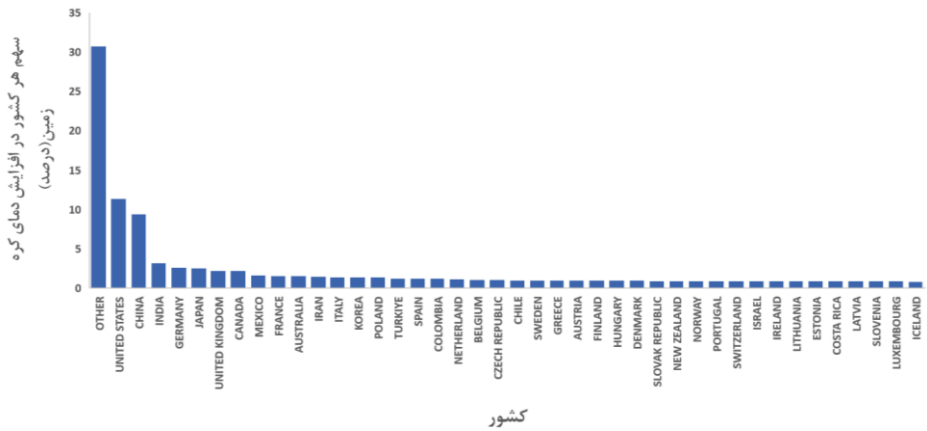
شکل ۷- مقایسه نتایج اجرای مدل فوق با داده‌های کل جهان و مجموع کشورهای مورد محاسبه

مطابق با شکل ۸، با توجه به مقادیر افزایش دما که به تفکیک برای هر کشور محاسبه شده است، می‌توان درصد سهم هر کشور در افزایش دما کره زمین را محاسبه کرد. همچنین مطابق با پژوهش‌های و مرور بر ادبیات انجام شده، مشخص شده است که دمای کره زمین از انقلاب صنعتی تا به امروز حدود ۱/۲ درجه افزایش پیدا کرده است. مطابق با شکل ۹ می‌توان با در نظر گرفتن درصد سهم هر کشور در افزایش دمای کره زمین، مقدار افزایش دما هر کشور در افزایش دمای کره زمین را به صورت نرمال شده بدست آورد.



شکل ۸ - میزان افزایش دمای کره زمین توسط هر کشور از سال ۱۸۵۰ الی۲۰۲۱ به صورت نرمال شده

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]



شکل ۹- درصد سهم هر کشور در افزایش دمای کره زمین از سال ۱۸۵۰ الی۲۰۲۱ به صورت نرمال شده

۵. نتیجه‌گیری

در این پژوهش ابتدا مقدار غلظت کربن تولید شده توسط هر کشور به کمک مدل اشمیت از سال ۱۸۵۰ تا ۲۰۲۱ محاسبه و سپس سهم هر کدام در افزایش دمای کره زمین مشخص شد. همچنین مدل فوق یکبار برای تمام جهان اجرا و مقادیر بدست آمده برای هر کشور با نتایج جهانی نرمالایز گردید. با استناد به نتایج این پژوهش می‌توان سهم هر کشور در افزایش دما را محاسبه و به دنبال آن با استفاده از رویکردهای بین‌المللی مسئولیت هر کشور نسبت به بروز آسیب‌های تغییرات اقلیمی را ارزیابی کرد. مطابق با نتایج بدست آمده آمریکا بیشترین سهم در افزایش دمای کره زمین را دارد(حدود ۱۱ درصد) و بعد از آن به ترتیب چین(حدود ۹/۴ درصد)، هند(حدود ۳/۱ درصد)، آلمان(حدود ۲/۶ درصد)، ژاپن(حدود ۲/۵۳ درصد)، بریتانیا(حدود ۲/۱۶ درصد) در افزایش دمای کره زمین سهیم بودند.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]

این در حالی است که مطابق با شکل ۳، کشورهای چین و هند سهم قابل توجهی از بودجه کنوانسیون تغییرات اقلیمی پرداخت نکرده و بعضی از کشورها مانند آمریکا، ژاپن، بریتانیا و ... سهم بیشتری نسبت به آنچه در افزایش دمای کره زمین و آسیب‌های ناشی از تغییزات اقلیمی داشتند، پرداخت می‌کنند. در مطلعات آینده می‌توان با دقیق‌تر کردن ضرایب Ci برای هر کشور، عدم قطعیت‌های بازخوردهای اقلیمی را کاهش داد.

همان طور که مشخص است، این پژوهش تاثیر کشورها در افزایش دمای کره زمین را به عنوان مهم‌ترین عامل در مسئله بروز تغییرات اقلیمی فرض کرده است و این مسئله را به عنوان معیار جهت تعیین سهم هر کشور از بودجه کنوانسون تغییرات اقلیمی در نظر گرفته است. لازم است که ساز و کار تخصیص درصد پرداخت کشورهای عضو از بودجه کنوانسیون تغییر کرده و کشورهایی مانند چین و هند بخش قابل توجه‌ای از این منبع مالی را تامین کنند. همچنین با در نظر گرفتن نتایج فوق اصلاح و افزایش بودجه کنوانسون جهانی تغییرات اقلیمی صورت گرفته و منجر به مقابله و پیشگیری هر چه بهتر با آسیب‌های ناشی از تغییرات اقلیمی خواهد شد.

در این پژوهش به کمک یک مدل چرخه عمر با روابط به نسبت ریاضی، میزان انتشار کربن به اتمسفر برای کشورهای مختلف محاسبه شود. می‌توان گفت که انجام عملیات فوق با مدل‌های پیچیده‌تر که می‌توانند چرخه کربن را دقیق‌تر مدل‌سازی کنند، کمک خواهد کرد که سهم کشورها در افزایش دما با اطمینان بیشتری ارزیابی و درک بهتری از مسئولیت کشورهای مختلف ارائه شود.

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]

۶. مراجع

Bos, J. and J. Thwaites (۲۰۲۱). "A breakdown of developed countries' public climate finance contributions towards the $۱۰۰ billion goal." Technical Note. Washington DC: World Resources Institute (https://www. wri. org/research/breakdown-developed-countries-public-climate-financecontributions-towards-۱۰۰-billion).

Cozzi, L., T. Gould, S. Bouckart, D. Crow, T. Kim, C. Mcglade, P. Olejarnik, B. Wanner and D. Wetzel (۲۰۲۰). "World energy outlook ۲۰۲۰." International Energy Agency: Paris, France: ۱-٤٦١.

den Elzen, M., J. Fuglestvedt, N. Höhne, C. Trudinger, J. Lowe, B. Matthews, B. Romstad, C. P. de Campos and N. Andronova (۲۰۰۵). "Analysing countries' contribution to climate change: scientific and policy-related choices." Environmental Science & Policy ۸(٦): ٦١٤-٦٣٦.

Den Elzen, M. G., J. G. Olivier, N. Höhne and G. Janssens-Maenhout (۲۰۱۳). "Countries' contributions to climate change: effect of accounting for all greenhouse gases, recent trends, basic needs and technological progress." Climatic Change ۱۲۱: ۳۹۷-٤۱۲.

Gardiner, S. M. (۲۰۱۱). "Climate justice." The Oxford handbook of climate change and society: ۳۰۹-۳۲۲.

Hansis, E., S. J. Davis and J. Pongratz (۲۰۱۵). "Relevance of methodological choices for accounting of land use change carbon fluxes." Global Biogeochemical Cycles ۲۹(۸): ۱۲۳۰-۱۲٤٦.

Höhne, N., H. Blum, J. Fuglestvedt, R. B. Skeie, A. Kurosawa, G. Hu, J. Lowe, L. Gohar, B. Matthews and A. C. Nioac de Salles (۲۰۱۱). "Contributions of individual countries' emissions to climate change and their uncertainty." Climatic change ۱۰٦: ۳٥۹-۳۹۱.

Müller, B., N. Höhne and C. Ellermann (۲۰۰۹). "Differentiating (historic) responsibilities for climate change." Climate Policy ۹(٦): ٥۹۳-٦۱۱.

Pachauri, R. K. and A. Reisinger (۲۰۰۷). "IPCC fourth assessment report." IPCC, Geneva ۲۰۰۷.

Robinson, M. and T. Shine (۲۰۱۸). "Achieving a climate justice pathway to ۱٫٥ C." Nature Climate Change ۸(۷): ٥٦٤-٥٦۹.

Schlosberg, D. and L. B. Collins (۲۰۱٤). "From environmental to climate justice: climate change and the discourse of environmental justice." Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change ٥(۳): ۳٥۹-۳۷٤.

Schmitz, R. A. (۲۰۰۲). "The Earth's carbon cycle: Chemical engineering course material." Chemical Engineering Education ۳٦(٤): ۲۹٦-۳۰۹.

Stroebel, J. (۲۰۲۱). "Climate Finance." Annu. Rev. Financ. Econ ۱۳: ۱٥-۳٦.

Sultana, F. (۲۰۲۲). "Critical climate justice." The Geographical Journal ۱۸۸(۱): ۱۱۸-۱۲٤.

Zhou, T. (۲۰۲۱). "New physical science behind climate change: What does IPCC AR٦ tell us?" The Innovation ۲(٤).

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]

۷. پیوست

جدول ۱- مقایسه مقدار کربن موجود در مدل توسعه داده شده با مقادیر محاسبه شده توسط اشمیت در سال ۱۹۹۰ (اعتبارسنجی مدل)

	غلظت کربن در سال ۱۸۵۰	غلظت کربن در سال ۱۹۹۰ (محاسبه شده توسط اشمیت)	غلظت کربن در سال ۱۹۹۰ (محاسبه شده توسط مدل توسعه داده شده)	میزان خطای غلظت کربن محاسبه شده توسط مدل و مقادیر بدست آمده توسط اشمیت
M_1	۶۱۲	۷۵۳	۷۵۹/۵۴۵	۰/۸۶۹
M_2	۷۳۰	۷۴۴	۷۴۴/۸۴۳	۰/۱۱۳
M_3	۱۴۰	۱۴۳	۱۴۲/۸۰۶	۰/۱۳۶
M_4	۳۷۰۰۰	۳۷۰۷۱	۳۷۰۷۴/۴۲۵	۰/۰۰۹
M_5	۵۸۰	۵۷۷	۵۷۵/۳۰۷	۰/۲۹۳
M_6	۱۵۰۰	۱۴۸۹	۱۴۸۳/۰۷۳	۰/۳۹۸
M_7	۵۳۰۰	۵۰۸۶	۵۰۸۲	۰/۰۷۹
G	۱	۰/۹۵۲	۰/۹۴۵	۰/۷۹۰

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]

جدول ۲-سهم هر کشور در افزایش دمای کره زمین به صورت درصد، درجه و نرمال شده

کشور	اختلاف غلظت کربن تولیدی در اتمسفر توسط هر کشور(پتاگرم)	میزان افزایش دمای کره زمین توسط هر کشور(سانتی‌گراد)	میزان افزایش دمای کره زمین توسط هر کشور به صورت نرمال شده (سانتی‌گراد)	سهم هر کشور در افزایش دمای کره زمین(درصد)
AUSTRALIA	۶/۸۴۴۸	۰/۰۲۹۱	۰/۰۱۸۲	۱/۵۱۹۹
AUSTRIA	۴/۲۲۳۷	۰/۰۱۸۰	۰/۰۱۱۳	۰/۹۳۹۹
BELGIUM	۴/۸	۰/۰۲۰۵	۰/۰۱۲۸	۱/۰۶۷۶
CANADA	۹/۶۹۷۵	۰/۰۴۱۱	۰/۰۲۵۸	۲/۱۴۸۴
CHILE	۴/۳۶۱۴	۰/۰۱۸۶	۰/۰۱۱۶	۰/۹۷۰۴
COLOMBIA	۵/۳۴۰۶	۰/۰۲۲۷	۰/۰۱۴۲	۱/۱۸۷۳
COSTA RICA	۳/۸۴۵۴	۰/۰۱۶۴	۰/۰۱۰۳	۰/۸۵۵۹
CZECH REPUBLIC	۴/۷۶۴۱	۰/۰۲۰۳	۰/۰۱۲۷	۱/۰۵۹۶
DENMARK	۴/۱۴۳۷	۰/۰۱۷۷	۰/۰۱۱۱	۰/۹۲۲۱
ESTONIA	۳/۸۴۶۳	۰/۰۱۶۴	۰/۰۱۰۳	۰/۸۵۶۱
FINLAND	۴/۲۲۳۵	۰/۰۱۸۰	۰/۰۱۱۳	۰/۹۳۹۸
FRANCE	۶/۸۷۲۳	۰/۰۲۹۲	۰/۰۱۸۳	۱/۵۲۵۹
GERMANY	۱۱/۸۶۱۹	۰/۰۵۰۳	۰/۰۳۱۵	۲/۶۲۳۳
GREECE	۴/۲۳۷۸	۰/۰۱۸۱	۰/۰۱۱۳	۰/۹۴۳۰
HUNGARY	۴/۱۸۵۷	۰/۰۱۷۸	۰/۰۱۱۲	۰/۹۳۱۴
ICELAND	۳/۷۱۹۵	۰/۰۱۵۹	۰/۰۰۹۹	۰/۸۲۸۰
IRELAND	۳/۹۱۷۸	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۰۵	۰/۸۷۲۰
ISRAEL	۴/۰۰۱۲	۰/۰۱۷۱	۰/۰۱۰۷	۰/۸۹۰۵
ITALY	۶/۲۷۰۹	۰/۰۲۶۷	۰/۰۱۶۷	۱/۳۹۳۱
JAPAN	۱۱/۴۵۱۲	۰/۰۴۸۶	۰/۰۳۰۴	۲/۵۳۴۸
KOREA	۶/۲۳۶۸	۰/۰۲۶۵	۰/۰۱۶۶	۱/۳۸۵۶
LATVIA	۳/۸۱۷۸	۰/۰۱۶۳	۰/۰۱۰۲	۰/۸۴۹۸
LITHUANIA	۳/۹۱۵۷	۰/۰۱۶۷	۰/۰۱۰۴	۰/۸۷۱۵
LUXEMBOURG	۳/۷۶۹۹	۰/۰۱۶۱	۰/۰۱۰۱	۰/۸۳۹۲
MEXICO	۷/۳۱۱	۰/۰۳۱۱	۰/۰۱۹۵	۱/۶۲۲۸
NETHERLAND	۴/۹۳۴۸	۰/۰۲۱۰	۰/۰۱۳۲	۱/۰۹۷۴
NEW ZEALAND	۴/۰۵۹۶	۰/۰۱۷۳	۰/۰۱۰۸	۰/۹۰۳۵
NORWAY	۴/۰۴۶۸	۰/۰۱۷۲	۰/۰۱۰۸	۰/۹۰۰۶
POLAND	۶/۲۱۳۳	۰/۰۲۶۴	۰/۰۱۶۶	۱/۳۸۰۴
PORTUGAL	۴/۰۱۱۴	۰/۰۱۷۱	۰/۰۱۰۷	۰/۸۹۲۸
SLOVAK REPUBLIC	۴/۰۸۲۹	۰/۰۱۷۴	۰/۰۱۰۹	۰/۹۰۸۶
SLOVENIA	۳/۸۱۱۴	۰/۰۱۶۳	۰/۰۱۰۲	۰/۸۴۸۳
SPAIN	۵/۴۴۹۳	۰/۰۲۳۲	۰/۰۱۴۵	۱/۲۱۱۴
SWEDEN	۴/۳۱۴۸	۰/۰۱۸۴	۰/۰۱۱۵	۰/۹۶۰۰
SWITZERLAND	۴/۰۱۱۲	۰/۰۱۷۱	۰/۰۱۰۷	۰/۸۹۲۷
TURKIYE	۵/۵۴۲۴	۰/۰۲۳۶	۰/۰۱۴۸	۱/۲۳۲۰
UNITED KINGDOM	۹/۷۲۵۳	۰/۰۴۱۳	۰/۰۲۵۹	۲/۱۵۶۷
UNITED STATES	۵۲/۸۸۲۲	۰/۲۱۶۹	۰/۱۳۵۹	۱۱/۳۲۵۴
INDIA	۱۴/۳۶۱۲	۰/۰۶۰۷	۰/۰۳۸۰	۳/۱۶۹۶
CHINA	۴۳/۵۶۹۳	۰/۱۸۰۰	۰/۱۱۲۸	۹/۳۹۷۸
IRAN	۶/۳۶۹۲	۰/۰۲۷۱	۰/۰۱۷۰	۱/۴۱۴۸
OTHER	۱۵۴/۳۲۶۰	۰/۵۸۸۶	۰/۳۶۸۸	۳۰/۷۲۹۷
WORLD	۳۵۵/۹۴۹۴	۱/۲		

[Downloaded from epprjournal.ir on 2026-11-07]