



جغرافیا و روابط انسانی، پاییز ۱۳۹۸، دوره ۲، شماره ۲، پیاپی ۶

ردپای بوم شناختی انرژی و کربن شاخصی برای محافظت از محیط زیست

حسن حذرخانی^۱، فاطمه پرک^{۲*}

^۱دکتری شیمی، استادیار گروه شیمی، سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی، حوزه تربیت و یادگیری علوم

^۲دکتری آب و هواشناسی، گروه شیمی، سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی، حوزه تربیت و یادگیری علوم

f.parak@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۸/۱۱

چکیده

در دو دهه اخیر حجم قابل توجهی از کتاب ها و مقاله های علمی در دنیا در شاخه های مختلف علوم در زمینه ردپای بوم شناختی با تمرکز بر ردپای انرژی و کربن انتشار یافته است، هرچند در کشور ایران هنوز ادبیات این قلمرو علمی شناخته شده نیست. اغلب این نوشته ها از دیدگاه متفاوتی به تبیین مفهوم ردپای انرژی و کربن پرداخته اند، هر چند به ندرت حاوی مطالبی درباره شرح و تبیین انواع مفاهیم و اصطلاحات مرتبط بوده اند. افزون بر این، مفهوم ردپای انرژی و کربن به طور گسترده ای مورد بررسی قرار گرفته است و هرکسی از دیدگاه خود این مفاهیم را تعریف و تبیین کرده است. در نگاه اول به نظر می رسد توافق جامعی در خصوص اصطلاح ردپای انرژی و کربن وجود دارد. اما در واقع در خصوص معنی و مفهوم دقیق آن، چگونگی اندازه گیری و بکارگیری یکای اندازه گیری آن هنوز سردرگمی زیادی وجود دارد. از سوی دیگر تنها مبحث مشترک در بین نظریات مختلف در زمینه ردپای انرژی و کربن انتشار گازهای گلخانه ای حاصل از مصرف سوخت های فسیلی و فعالیت های تولیدی بشر است و در ورای این مفهوم که به عنوان مرز مشترک علوم شناخته می شود، در خصوص سایر مفاهیم پنهان در اصطلاح ردپای انرژی و کربن اتفاق نظر لازم وجود ندارد. غالب ترین وجه اختلاف در نظریات موجود در زمینه چگونگی اندازه گیری یکای آن است. این مقاله حاصل یک مطالعه مروری است که هدف اصلی آن تلاش برای شرح و تبیین مفاهیم کلیدی مطرح در مباحث مربوط به ردپای انرژی و کربن و دستیابی به دیدگاهی یکپارچه و همسو در چارچوب ردپای بوم شناختی است.

واژگان کلیدی: رد پای بوم شناختی، رد پای انرژی، رد پای کربن، محیط زیست، گاز گلخانه ای

مقدمه

ظهور صنعت و پیشرفت فناوری سبب تغییر رابطه انسان با طبیعت و تسلط بر آن برای رسیدن به رفاه بیشتر شده است. پیامد این پیشرفت گرمایش جهانی، کاهش تنوع زیستی، تخریب منابع آب و خاک، بیابان زایی و جنگل زدایی، آلودگی آب و هوا، انتشار گازهای سمی و افزایش زباله های خطرناک بوده است (ارجمندنی، ۱۳۸۰).

در دهه های اخیر کنش های متقابل اجتماعات انسانی و محیط زیست مورد توجه قرار گرفته است که منجر به طراحی و ارائه معیار ها و ضوابط مختلف برای بررسی و ارزیابی موقعیت محیط زیست کشور ها شده است. از سوی دیگر، رشد روزافزون شهر نشینی را سبب شده است که شهرهای جهان در حدود سه چهارم منابع طبیعی مورد نیاز جهانیان را به مصرف برسانند (Zhang, 2005). این مسائل موجب شد که رهیافت توسعه پایدار از سوی سازمان ملل در اواسط دهه ۱۹۷۰ مطرح شود.

واژه "پایداری" اولین بار توسط خانم باربارا وارد در دهه ۱۹۷۰ در کتاب معروفش "تنها یک زمین" مطرح شد (سرایی، ۱۵: ۱۳۸۸)، اما بطور رسمی در ۱۹۸۷ توسط "برونت لند" در گزارشی تحت عنوان "آینده مشترک" در کمیسیون بین المللی که به رابطه بین توسعه و موضوعات محیط زیستی می پرداخت بکار رفته است. عدم توافق در خصوص پارادایم توسعه پایدار (Parkin, 2000) سبب شد تا سازمان بین المللی محیط زیست و توسعه در سال ۱۹۸۷ جامع ترین تعریف را ارائه دهد: توسعه ای که نیازهای فعلی را بدون خدشه دار کردن توانایی نسل آینده در تامین ساختن نیازهای خود برآورده نماید و در بر گیرنده کیفیت زندگی انسان ها باشد (کیانی ۱۳۸۳ و کهیل، ۱۳۸۷). در اوایل دهه ۱۹۹۰ "لستر براون" اصطلاح جامعه پایدار را با رویکرد عدم تضییع حقوق نسل های آینده در تامین نیازهای خود بکار برد (کاپرا، ۱۳۸۶). بنابراین، ارزیابی و محاسبه توسعه پایدار براساس شاخص ها و روش های مختلف مورد توجه محققان قرار گرفته است. یکی از کاربردی ترین شاخص ها برای سنجش پایداری در سطوح مختلف، شاخص ردپای بوم شناختی است که توسط وکرناگل (۱۹۹۱)، ریز (۱۹۹۲) و کرناگل و ریز (۱۹۹۶) و فولک و همکاران (۱۹۹۷) مطرح و امروزه به عنوان یک معیار برای ارزیابی ظرفیت بوم شناختی، ظرفیت نهایی اکولوژیکی و همچنین توسعه پایدار شناخته شده و مورد پذیرش قرار گرفت است (Barrett et al, 2001 و Wackernagel and Ress, 1995، سرایی، ۱۳۸۸ و زانگ، ۲۰۰۵).

با توجه به نگرانی های همه جانبه ای که نسبت به وضعیت سه منبع مهم و حیاتی (آب شیرین، تولید بیولوژیکی زمین و منابع انرژی) در تمام مراحل زندگی بشر به وجود آمده است، گالی و همکاران (۲۰۱۲)، برای ارزیابی میزان فشار وارد شده بر محیط زیست، خانواده رد پا را معرفی کردند. این خانواده شامل ردپای آب، رد پای زمین و ردپای کربن می شود. این سه مورد اگر چه در اساس با هم متفاوت هستند، اما همواره به هم متصل و به طور متقابل از هم تاثیر می پذیرند. ردپای آب و زمین به ترتیب نیاز مستقیم و غیر مستقیم آب و زمین بکار رفته در تولید کالا و خدمات جهت تامین تقاضای داخلی

و ردپای کربن، میزان کربن مستقیم و غیر مستقیم انتشار یافته در اثر مصرف انرژی بخش های اقتصادی و در راستای تامین نیاز داخلی افراد را محاسبه می کند.

ریز و وکرناگل (۱۹۹۶) به جای اینکه بپرسند یک منطقه خاص، زندگی چند نفر را به صورت پایدار می تواند تامین کند؟ سؤال انتقادی دیگری را مطرح کردند: چه مقدار از یک منطقه حاصلخیز برای تداوم نامحدود جمعیتی لازم است؟ از این دیدگاه، طرح این رهیافت ایرادات وارد بر مفهوم ظرفیت انسانی مبتنی بر عوامل تجاری و تکنولوژیکی را برطرف می کند (Wackernagel et al ۱۹۹۷). به عبارت دیگر، از آنجا که بیشتر منابع و خدمات تجاری از طریق استفاده از منابع بوم سامانه ها تولید می شوند، این امر باید امکان پذیر باشد که بتوان نواحی زمینی / آبی مورد نیاز برای تولید پایدار مقدار زیادی از هر نوع منبع یا خدمات اکولوژیکی مورد استفاده جمعیت یا اقتصاد محدود در سطح خاصی از فناوری را پیش بینی کرد. بنابراین، چنین محاسباتی برای مصرف، برآورد ناحیه-محور سرمایه طبیعی مورد نیاز برای جمعیت یا اقتصاد را ایجاد خواهد کرد. (Rees and Wackernagel, ۱۹۹۶).

مفهوم ردپای بوم شناختی بسیار ساده، اما جامع است، این مفهوم با تداوم وابستگی انسان به طبیعت و آنچه می تواند از فشار بار جمعیت به محیط زیست بکاهد، ارتباط دارد گرچه پژوهشگران در تلاش برای تشریح دقیق آثار برای بعضی شهرها و حتی کشورها هستند، اما این تلاش ها اغلب با مشکلاتی روبه رو می شوند، یکی از این مشکلات، چگونگی تبدیل ارزش هزینه های زیست محیطی یا اجتماعی به مواردی همچون، پول یا سطح زمین است، برای این کار لازم است که ابتدا فرضیه هایی را برای چگونگی تفسیر استفاده از منابع و آلودگی آنها توسط این متغیرها ایجاد کرد. این روش همچنین نشان می دهد که در دراز مدت، انسان نمی تواند با مصرف بی نهایت از منابع زیستی به زندگی ادامه دهد (ارجمندنیا، ۱۳۷۹).

بر این اساس، ردپای بوم شناختی ابزار مناسبی برای اندازه گیری پیشرفت جوامع به سوی پایداری به معنای دستیابی به سطحی از رضایت از زندگی بدون کاهش ظرفیت باز تولید کره زمین است؛ به عبارتی دیگر نباید میزان مصرف، از ظرفیت بازتولید زمین فراتر رود (شکور و دیگران، ۱۳۹۰ و رضوانی و دیگران، ۱۳۸۹). روش ردپای بوم شناختی در سطوح مختلف ملی، منطقه ای و شهری بکار می رود و برای مقایسه نواحی مورد مطالعه با سایر نواحی از یکای معینی تحت عنوان هکتار استفاده می کند.

اساس کار شاخص ردپای بوم شناختی کاربردهای ویژه آن در نواحی تولید زیستی مانند: زمین کشاورزی، جنگل (هم برای تولیدات چوبی و هم برای جذب کربن)، مرتع، زمین ساخته شده و پهنه های آبی است و با تجزیه و تحلیل آن، می توان وسعتی از زمین برای تأمین نیاز جمعیت در آن ناحیه را برآورد کرد (Wilson and Anielski, ۲۰۰۵). از این رو ردپای بوم شناختی از دو دیدگاه می تواند شاخص پایداری به شمار رود؛ نخست اینکه ردپای بوم شناختی هزینه های بوم شناسی تأمین تمام کالاها و خدمات جمعیت مصرفی انسان را محاسبه می کند و نشان می دهد که مردم، نه تنها به

طور مستقیم برای تولیدات کشاورزی، احداث جاده ها، ساختمان سازی و غیره به زمین نیاز دارند، بلکه به طور غیر مستقیم نیز کالا و خدمات مورد نیاز انسان ها از زمین تأمین می شود. دوم اینکه، تعبیر ردپای بوم شناختی به عنوان شاخص پایداری، به معرفی ایده "ظرفیت تحمل" یا "ظرفیت برد" منجر شده است. ظرفیت برد در بوم شناختی عبارت است از "حداکثر جمعیتی که زمین می تواند نیازهای آنها را به طور نامحدود تأمین کند. این موضوع زمانی که برای توزیع جمعیت بر حسب منابع بوم شناختی استفاده شود، صحیح و دقیق است (McDonald et al, ۲۰۰۴: ۵۰).

نکته ای که باید مورد توجه قرار گیرد این است که ردپای بوم شناختی با ردپای زیستی یا زیست نشان تفاوت دارد. رد پای زیستی یا زیست نشان (Biosignature) عبارت است از هر ماده ای مانند عنصر، ایزوتوپ یا پدیده ای که مدرک علمی از وجود حیات یا پیشینه و حال زیستن در محلی را فراهم کند که شامل ویژگی های قابل اندازه گیری زندگی شامل ساختارهای پیچیده فیزیکی و شیمیایی آن و همچنین مصرف انرژی و تولید زیست توده و ضایعات است (Steele; Beaty; et al. 2006, Science Dictionary. 2011 و Carol, Summons Roger E.; et al. 2011). Zimmer, Carl و Cleland; et al. 2003 (۲۰۱۵).

بطور کلی، ردپای بوم شناختی از سه منظر مفید هستند:

- (۱) برای وارد کردن شوک و ایجاد آگاهی: با تأکید بر شیوه های زندگی شهری، بهره برداری از منابع و غیره.
 - (۲) برای ساخت سناریوها: محقق با طرح سؤالات مختلف و ساخت موقعیت های فرضی و بررسی پیامدهای هر کدام از این موقعیت ها به تعریف جدیدی از ردپای بوم شناختی دست پیدا می کند.
 - (۳) برای ارزیابی و کنترل سیاست ها و برنامه ها: در اینجا نیز محقق به دنبال پاسخ به چنین سؤالاتی است: چه ردپاهایی سیاست ها و برنامه های خاصی را ایجاد می کند؟ اگر ساختار آنها تغییر یابد/ تعدیل شود، یا سیاستهای جدیدی جایگزین گردد، ردپاها چه تأثیری می پذیرند؟
- اما با همه فوایدی که بر ردپای بوم شناختی مرتبط است، انتقاداتی نیز بر نحوه ساخت و استفاده از آن وارد شده است. از جمله اینکه، ردپاهای اکولوژیکی یک علم دقیق نیستند. زیرا تعاریف متفاوت، باعث شکل گیری ردپاهای گوناگون می شوند، همچنین میزان ردپای بوم شناختی بستگی به مقیاسی که ردپا با آن سنجیده می شود (شهر، کشور، یا منطقه) نیز دارد، و با تغییر محدوده مطالعاتی، میزان ردپا نیز تغییر می کند، چون ردپای کل در واقع میانگین ردپاهای واحدهای کوچکتر درونی است و این مقدار شامل انحراف معیار و تفاوت های بین واحدها نمی شود. همچنین، ردپاهای بزرگتر برای کشورهای کوچک و توسعه یافته (مثل ژاپن) گریزناپذیر است. یکی از انتقادات اساسی به این مفهوم، توصیفی بودن آن است، به این معنا که تحلیل ردپا یک الگوی دینامیک نیست و قابلیت پیش بینی پذیری ندارد. یکی دیگر از انتقادات

^۱ - Biosignature

ذاتی مهم به ردپای بوم شناختی این است که بسیاری از عوامل دیگر را که در قلب پایداری هستند نادیده می گیرد. به بیان دیگر، ردپای بوم شناختی کل روایت پایداری را بیان نمی کند، زیرا یک شاخص منفرد است و در واقع، هر شاخص منفردی می تواند گمراه کننده باشد. همچنین محاسبات ردپای بوم شناختی، حتی تمام مسائل مرتبط با مصرف را نیز بیان نمی کند، بلکه ردپای بوم شناختی، تنها شامل طبقات عمده می شود، برای مثال مبحث مورد نظر، به جای توجه به کربن دی اکسید، صرفاً به بررسی دلالت های سرزمینی دفع زباله ها می پردازد. این بدان معناست که محاسبات اخیر در مورد ردپا تقریباً برآورد کمتری از مناسبات زیستگاه واقعی به دست می دهند و بهبود محاسبات اساسی باعث برآورد ردپای بزرگتری خواهد شد.

انتقاد اساسی دیگر بر ردپای بوم شناختی این است که این مفهوم با اینکه شاخص اثرات بیوفیزیکی را فراهم می سازد، اما در مورد ابعاد اجتماعی سیاسی بحران تغییرات جهانی، اطلاعات اندکی را ارائه می نماید.

تحلیل های ردپای بوم شناختی در تهیه اطلاعات قابل توجه از سطح فعلی تاثیر انسان بر بوم سامانه ها بسیار مفید است (Rapport, 2000). به صورت ساده، ردپای بوم شناختی به عنوان یک شاخص عملیاتی ساده، با هدف کمک به حفاظت در مقابل پایداری و ناپایداری تعریف می شود (Vandenbergh & Verburggen 1999). از آنجا که تغییر و تحول ساختاری و بنیادی در جوامع، در گرو تغییر رویکرد همسو با ملاحظات بوم شناختی است (حسین زاده دلیر و ساسان پور، ۱۳۸۷)، این شاخص به طور روشنی نشان می دهد که در کدام ناحیه و کجا، بر منابع طبیعی فشار وارد می شود (سرای و همکار، ۱۳۸۸). این روش ابزاری است که به تدوین برنامه های دراز مدت و پایداری زندگی یاری می رساند و نه تنها اهداف و راهبردهای آینده را در جلوگیری از تخریب ها و نابرابری های مادی بیان می کند، بلکه تصمیم گیری های نهادی را در مسیر و مجرای درستی هدایت می کند (ارجمند نیا، ۱۳۸۰: ۹۶). بدین ترتیب ردپای بوم شناختی ابزاری است که به ما کمک می کند تا به طور روشن، در زمینه رابطه بین انسان و کره زمین و نیز تولید آینده تفکر نماییم و در نتیجه ابزار مناسبی برای اندازه گیری پیشرفت جوامع به سوی پایداری است (شکور و دیگران، ۱۳۹۰).

دیدگاه های غالب در اندازه گیری ردپای بوم شناختی

روش هایی مورد استفاده در تحلیل رد پای بوم شناختی، غالباً بر اساس دیدگاه های زیر استوار است.

روش قیاسی یا ترکیبی:

این دیدگاه یک روش متمرکز بالا به پایین است و با استفاده از کل داده های اقتصادی کشور در مقیاس ملی برای محاسبه ردپای بوم شناختی ارائه شده است. هدف از این روش، استفاده از داده های استاندارد شده بین المللی برای رسیدن به

برآورد دقیقی از ردپای بوم شناختی است. این روش توسط WWF و با استفاده از اطلاعات سازمان ملل در مورد تولیدات کشاورزی، تولیدات جنگلی، مساحت زمین ساخته شده و تجارت، برای کلیه کشورها استفاده شده است. در روش قیاسی به دلیل اینکه سازمان ها و مناطق از طریق داده های تجارت ملی محاسبه می شوند، از آن به عنوان روش بالا به پایین نام می برند.

روش ترکیبی بر اساس داده های مصرف ملی قرار دارد و لذا برای محاسبات رد پای بوم شناختی در مقیاس ملی بسیار مناسب است. این روش بیش از پنجاه منبع حیاتی را بر حسب مصرف تحلیل می کند و همچنین انرژی کلی را نیز محاسبه می کند، روش ترکیبی همچنین از ارقام کشاورزی یا بیولوژیکی برای تبدیل مقادیر مصرف به مقادیر زمین مولد

زیستی استفاده می کند. این روش بیشتر در سطح جهانی و ملی کاربرد دارد. در این روش منابع مورد مطالعه در پنج گروه اصلی طبقه بندی می شود که شامل زمین های تولیدی کشاورزی، مرتع و جنگل (تولید زیستی دریا (پهنه های آبی)، زمین مورد نیاز برای انرژی و زمین ساخته شده (ساختمان ها، جاده ها و غیره) است.

در این روش نیازی به شناسایی اینکه کدام یک از بخش ها، کارخانه ها، یا مناطق دارای منابع ویژه، چه مقدار مساحت دارند و یا آلودگی ایجاد کرده اند، نبوده و همچنین نیازی به آگاهی داشتن از کاربرد موردی مطالعاتی نیست. برای مثال محققان برای تخمین ردپای بوم شناختی جامعه یا محل، با تخمین ردپای بوم شناختی ملی شروع می کنند و سپس آن را با شاخص های موجود و مناسب محلی مانند: جمعیت، درآمد خانوار، هزینه های خانواده، میانگین مساحت خانه، استفاده از برق و تولید مواد زاید تطبیق می دهند (Ecotec-uk, 2001).

روش استقرایی یا تفضیلی

این روش ردپای بوم شناختی جمعیت، تولید، کارخانه ها و خانواده ها را در مقیاس منطقه ای محاسبه می کند و طبقه بندی های مصرف در آن به ترتیب اجزا تفکیک شده اند. این روش اجازه می دهد تا فعالیت هایی مانند مسافرت با ماشین و غیره توسط ردپای بوم شناختی محاسبه شود. در این روش داده های بیشتری نسبت به روش ترکیبی لازم است و معمولاً مجموعه آمارهای ملی برای جریان های مواد و انرژی در سطح منطقه ای وجود ندارد. روش استقرایی به مقدار زیادی به اطلاعات تجاری و تبدیل تولیدات جمعیت به مصرف متکی است. اما اطلاعات مربوط به تولید، مصرف یا تجارت در سطح منطقه ای به آسانی موجود نیست. اما این امکان وجود دارد که شهرداری ها بتوانند شروع به جمع آوری اطلاعات مربوط به کالاها و خدمات تولیدی و همچنین داده های تجاری در قلمرو تحت نفوذشان در مقایسه با سطح ملی کنند. اساس روش استقرایی، تحلیل چرخه زندگی با موردهای مصرفی و غیره در آن است. این روش، روش شناسی پایین به

² - World Wild Fund for Nature

بالا دارد، بدین صورت که ابتدا مقدار فعالیت انجام شده به واسطه جمعیت تعیین می شود. سپس این فعالیت ها به انرژی و کاربردهای اراضی اصلی تبدیل می شوند و سرانجام به واحد مساحت جهانی تبدیل می شوند، تا اجازه مقایسه با سایر بخش ها، سازمان ها و مناطق را بدهد. این روش تصویر کامل تری از مولفه های مربوط به تولید مواد و نیز تفاوت معنی داری بین تولیدات اولیه (تولیدات کشاورزی و معدنی) و تولیدات ثانویه (تولیدات صنعتی) را می دهد. این دیدگاه بیشتر برای محاسبه ردپای بوم شناختی مناطق و شهرها مناسب است. بنابراین تصویر کاملتری از تولید مواد و نیز تفاوت معنا دار بین تولیدات اولیه (تولیدات کشاورزی و معدنی) و تولیدات ثانویه (تولیدات صنعتی) ارائه میدهد (سرای و زارعی افشار، ۱۳۸۸). روش استقرایی، نباید به عنوان مدل کامل و جایگزینی برای روش قیاسی، یا ترکیبی تصور شود. بلکه هر دو دارای مزایا و معایبی هستند. بدین ترتیب با ترکیب کاربرد (از ویژگی های روش استقرایی) و دقت (از ویژگی های روش قیاسی) به روش تلفیقی می رسیم. اما باید توجه داشت که اصل مهم در این تلفیق، درجه اهمیت روش استقرایی در مقابل روش قیاسی است (*ECOTEC_UK*, ۲۰۰۰).

دیدگاه مکان محور

در سال های اخیر و به ویژه با معطوف شدن توجهات بیشتر به پایداری، روشی جدید برای محاسبه ردپای بوم شناختی توسط اندیشمندان ارائه شده است که در واقع برگرفته از دو روش قبلی و تکمیل کننده آنها است. این روش که توسط اندیشمندانی مانند: دن گوتلیب، میادکیسنکر و دن موران ارائه شده است، به روش مکان محور معروف است. در این روش آزادی عمل بیشتری در اختیار محقق قرار می دهد تا بتواند بر اساس شرایطی که بر محیط مورد مطالعه اش حاکم است به ارائه روشی نوین پردازد (گوتلیب، ۲۰۱۰ و گوزمن ۲۰۱۳).

تاثیر گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی بر دیدگاه های ردپای بوم شناختی

در دهه های اخیر دیدگاه های غالب بر ردپای بوم شناختی تحت تاثیر موارد مربوط به مفاهیم گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی، قرار گرفته اند. تغییرات آب و هوایی به واسطه تغییرات در تعادل انرژی سامانه آب و هوایی، از تغییرات غلظت گازهای گلخانه ای (*GHGs*)، پوشش زمین و تابش خورشید (*IPCC*, ۲۰۰۷) ناشی می شود. گرمایش جهانی پدیده ای است که به موجب آن پدیده کربن دی اکسید در اطراف سطح زمین افزایش می یابد و باعث می شود که این سیاره گرم تر شود (*Houghton*, ۲۰۰۹). این افزایش درجه حرارت باعث می شود مقدار بخار آب بیشتری در جو جمع آوری شود که به عنوان عامل گرم شدن عمل می کند. افزون بر این انتشار گاز های دیگر مانند متان و اوزون نیز سبب گرم تر شدن کره زمین می شود. دمای رو به رشد کره زمین تاثیرات منفی زیادی دارد که منجر به تغییرات آب و هوایی گسترده و نامنظم و اثرات قابل توجه در سرتاسر جهان می شود.

مفهوم ردپای انرژی و کربن

در دهه های اخیر مفهوم "ردپای انرژی و کربن" به طور گسترده ای در مورد مسئولیت و کاهش اقدامات علیه تهدید تغییر جهانی آب و هوا بکار رفته است. اما دقیقا هیچ تعریف واضحی از این مفهوم وجود ندارد و هنوز سردرگمی در این باره وجود دارد که معنی، اندازه و یکای اندازه گیری آن چیست؟ وجه مشترک در مورد مفهوم ردپای انرژی و کربن، مقدار انتشار گازهای گلخانه ای مرتبط با فعالیت های تولیدی یا مصرفی انسان است. پرسش های بسیاری در این زمینه وجود دارد. بعنوان نمونه: آیا ردپای کربن فقط باید به گازهای مبتنی بر کربن محدود شود یا می تواند شامل موادی باشد که در مولکول آنها کربن وجود ندارد. همچنین، باید این اندازه گیری شامل همه منابع انتشار، از جمله آنهایی که از سوخت های فسیلی تولید نمی شوند، هم باشد. آیا ردپای کربن باید شامل انتشار گازهای گلخانه ای غیرمستقیم باشد که در فرآیند تولید بالادست وجود دارد و یا اینکه فقط بررسی انتشار مستقیم محصول، یا فرآیند مورد نظر کافی است. به عبارت دیگر، آیا اثر انرژی و کربن باید تمام تأثیرات کالا و خدمات مورد استفاده در زندگی را منعکس کند؟ اگر پاسخ مثبت است، مرزبندی آن کجا است و چگونه می توان این تأثیرات را کم کرد؟ آیا رد پای کربن بیانگر میزان انتشار کربن اندازه گیری شده بر حسب تن است، یا اگر تحت تأثیر "تخصیص زمین" باشد، بر مبنای واحد مساحت و منطقه است.

منظور از ردپای کربن، میزان CO_2 است که توسط بخش های اقتصادی و در راستای تامین تقاضای نهایی داخلی، در سطح جهان (خواه تولید داخلی باشد، خواه وارداتی) منتشر می شود.

"ردپای کربن اندازه گیری کل مقدار منحصر به فرد انتشار گازهای گلخانه ای کربن دی اکسید است که به طور مستقیم و غیر مستقیم بوسیله یک فعالیت ایجاد می شود یا در طول مراحل زندگی یک محصول انباشته می شود." این ها شامل فعالیت های افراد، جمعیت ها، دولت ها، شرکت ها، سازمانها، فرآیندها، بخش های صنعتی و محصولات شامل کالاها و خدمات هستند. در هر صورت، همه انتشارهای مستقیم (در سایت، داخلی) و غیر مستقیم (خارج از سایت، خارجی، تجسم یافته، بالادست، پایین دست) باید در نظر گرفته شود.

شاخص کل گازهای گلخانه ای باید تمام این گازها را شامل شود و می تواند به عنوان مثال "اثرات آب و هوایی" نامیده شود. در مورد "رد پای کربن" ما راه حل عملی و روشن را انتخاب می کنیم که تنها شامل CO_2 می شود. مقدار کل CO_2 به صورت فیزیکی در یکا های بزرگ (کیلوگرم، تن و غیره) اندازه گیری می شود و در نتیجه هیچ تغییری در واحد سطح (هکتار، متر مربع، کیلومتر مربع و غیره) رخ نمی دهد (به عنوان مثال *Stahmer 2000, Keuning 1994*).

در جدیدترین گزارش از شبکه جهانی ردپا (۲۰۱۵)، در سال ۲۰۱۲ و در راستای تامین تقاضا بیش از ۳۶ هزار میلیون تن کربن در سطح جهان و به ازای هر نفر ۵/۷ تن کربن منتشر شده است (استین السن و همکاران ۲۰۱۲) جفری هاموند (۲۰۰۷) مینویسد شاخصی که اغلب به عنوان ردپای کربن معرفی می شود در واقع وزن کربن انتشار یافته بر اساس کیلوگرم یا تن به ازای هر فرد است. هاون (۲۰۰۷) یادآوری می کند که تجزیه و تحلیل ردپای کربن صندلی یک اداره به عنوان ارزیابی

چرخه عمر محصول؛ تمام مواد اولیه، مراحل تولید، حمل و نقل، استفاده و مصرف در هر مرحله از رشد و توسعه به حساب می‌آورد. اکل (۲۰۰۷) اشاره میکند که ارزیابی ردپای کربن یک کسب و کار، فقط محاسبه انرژی مصرف شده نیست بلکه افزایش ضایعات در شیوه کسب و کار را هم در نظر می‌گیرد.

مفهوم "رد پای کربن" و اندازه‌گیری صحیح آن بسیار مهم است. محاسبه پدیده‌های کربن می‌تواند به روش شناختی از دو جهت مختلف به دست آید: پایین به بالا، بر اساس تجزیه و تحلیل فرایند (PA) یا از بالا به پایین، بر اساس تجزیه و تحلیل ورودی-خروجی محیط زیست (EIO). هر دو روش تلاش می‌کنند تا اثرات چرخه عمر کامل را بدست آورند، به عنوان مثال، تجزیه و تحلیل / ارزیابی چرخه حیات (LCA) را کامل می‌کنند.

فرایند تجزیه و تحلیل (PA) یک روش پایین به بالا است که برای درک اثرات زیست محیطی محصولات منحصر به فردی از تولید تا مصرف ساخته شده است. طبیعت پایین به بالا PA-LCA ها (فرایند‌های مبتنی بر LCA) به این معنی است که آنها از یک مشکل مرزی رنج می‌برند - تنها در محل، بیشترین درجه اول و برخی از تأثیرات ثانویه در نظر گرفته می‌شود (Lenzen 2001). اگر PA-LCA ها برای ارزیابی برآوردهای ردپای کربن مورد استفاده قرار گیرند، بنابراین باید به شناسایی مرزهای مناسب توجه جدی شود. LCA های مبتنی بر PA با مشکلات بیشتری روبرو می‌شوند، هنگامی که یک رد پای کربن برای بخش‌های بزرگتر مانند دولت، خانوارها یا بخش‌های صنعتی خاص ایجاد شود.

تجزیه و تحلیل ورودی / خروجی محیط زیست (EIO) یک رویکرد جایگزین بالا به پایین را برای ردگیری کربن فراهم می‌کند (به عنوان مثال Wiedmann و همکاران ۲۰۰۶). در ترکیب با داده‌های سازگار حساب‌های محیطی، می‌توان آنها را برای ارزیابی اثرات کربن ردپایی در یک روش جامع و قوی با توجه به تأثیرات نظم بالاتر و تعیین کل سیستم اقتصادی به عنوان مرز استفاده کرد. مناسب بودن تجزیه و تحلیل ورودی-خروجی محیطی برای ارزیابی سیستم‌های میکرو مانند محصولات یا فرایندها محدود است، زیرا همگنی قیمت‌ها، خروجی‌ها و انتشار کربن آنها را در سطح بخش فرض می‌کند. اگر چه بخش‌ها را می‌توان برای تجزیه و تحلیل بیشتر بررسی کرد، و آن را به سیستم میکرو نزدیک‌تر کرد، این احتمال محدود است، حداقل در مقیاس بزرگتر. با این وجود، مزیت بزرگی از رویکرد مبتنی بر ورودی / خروجی، نیاز به زمان و نیروی انسانی بسیار کمتری است. بهترین گزینه برای تجزیه و تحلیل دقیق، در عین حال جامع و قوی، ترکیب قدرت از هر دو روش با استفاده از رویکرد ترکیبی (Bullard و همکاران ۱۹۷۸، Suh و همکاران، ۲۰۰۴، Heijungs و Suh 2006)، که در آن PA و ورودی-خروجی یکپارچه می‌شوند. چنین رویکردی اجازه می‌دهد تا جزئیات و دقت رویکردهای پایین به بالا را در مراحل پایین‌تر حفظ کند، در حالی که الزامات بالاتر از بخش ورودی-خروجی مدل پوشش داده می‌شود. چنین روش Hybrid-EIO-LCA، تعبیه سیستم‌های پردازش درون ورودی-خروجی جداول، وضعیت فعلی در مدل سازی اقتصادی اکولوژیکی می‌باشد (Heijungs و Suh 2002، Heijungs و همکاران ۲۰۰۶، Suh 2006). در این زمینه منابعی ارائه شده‌اند و محققین تا کنون مهارت

هایی را برای انجام چنین ارزشیابی ترکیبی به دست آورده اند. با این حال، پیشرفت سریع و مدل های بسیار بهبود یافته می تواند در چند سال آینده مورد انتظار باشد.

روش های محاسبه رد پای انرژی و کربن

مفهوم رد پای بوم شناختی بر سه فرض استوار است:

- میزان مصرف، غذا، مسکن، حمل و نقل، کالا و خدمات از سوی جمعیت قابل سنجش است
- مقدار مصرف جمعیت قابل تبدیل به زمین هم ارزی است که برای تولید کالاهای مصرفی، خدمات و حمل و نقل بکار می رود
- رد پای بوم شناختی جمعیت برابر با مقدار زمین مورد استفاده برای تولید مناسب کالاهای مصرف شده توسط جمعیت است (سیتل، ۲۰۰۴)

براساس سه فرض بالا محاسبات برای برآورد رد پای بوم شناختی چنین است که ابتدا مصرف اقلام عمده (انرژی، غذا، آب و ...) از طریق تقسیم کل مصرف بر تعداد جمعیت برآورد می شود، سپس سرانه زمین های تخصیص داده شده جهت تولید هر کدام از این اقلام مصرفی مشخص می گردد و بعد از آن میانگین کل سرانه رد پای بوم شناختی با جمع کردن کل مناطق اکوسیستم تخصیص داده برای هر فرد به منظور تعیین سالانه مصرف کالا و خدمات محاسبه می شود (ریزو واکرناگل، ۱۹۹۶). این شاخص میزان مصرف فرد را از منابع محدود زمین محاسبه می نماید و معیار مناسبی برای ارزیابی و برنامه ریزی رفتار افراد در حفظ محیط زیست است (گریگوریوال، ۲۰۱۰). روش شناسی رد پای کربن مبتنی بر یکپارچه سازی داده های بسیار جزیی و مناسب است. دو رویکرد اصلی برای محاسبه رد پای کربن وجود دارد:

روش ارزیابی چرخه عمر

ارزیابی چرخه عمر روشی است که در آن بار و آثار زیست محیطی ناشی از یک کالا، خدمات، مواد اولیه یا پروسه تولید در طول عمر آن محاسبه، ارزیابی و پیش بینی می شود. منظور از بار زیست محیطی مواد اولیه و انرژی برای تولید یک محصول و به موازات آن پسماند و آلاینده های زیستی ناشی از تولید آن محصول است. بررسی چرخه تولید از این روش برای درک بهتر مکان هایی که آلاینده های محیط زیستی فراوانی دارند و همچنین برای بهبود در چرخه تولید محصولات مختلف بسیار موثر و مفید است. با شناخت مراحل مختلف و میزان آلاینده های تولید شده در آنها می توان مخرب ترین چرخه را پیدا کرد و با اجرای سیاست های مناسب میزان آلودگی آن را کاهش داد. در محاسبه میزان بار زیست محیطی، از روش *LCA* (Life Cycle Analysis) مبتنی بر فرایند استفاده می شود. در این روش مواد اولیه و انرژی مصرفی به عنوان داده و آلاینده ها و پسماندها به عنوان ستانده در هر یک از مراحل شش گانه مذکور جزء به جزء مورد بررسی قرار می گیرند. فرایند فوق اگرچه ساده به نظر می رسد اما می بایست در تمام مراحل تولید، استفاده و بازیافت یک کالا لحاظ شود. دو مشکل اساسی در استفاده از این روش وجود دارد که شامل موارد زیر است:

- تعیین حد و حدود آنالیز هر کدام از مراحل تولید، کار دشواری است و از دقت محاسبه می کاهد. زیرا باید توجه داشت که برخی از کالاها همانند خودرو از نزدیک به ۲۰ هزار قطعه تشکیل شده اند و باید مشخص نمود که کدام یک از قطعات در محاسبه منظور می شود و کدام یک محاسبه نمی شود.
- تکمیل یک چرخه زندگی به روشی مبتنی بر فرایند، تصمیمات و مفروضات فراوانی را می طلبد و این امر باعث شده تا استفاده از این روش در مطالعات کلان اقتصادی بسیار پیچیده و وقت گیر شود.

الف- روش مولفه ای یا تحلیل چرخه حیات (LCA) که یک رویکرد گهواره تا گور برای ارزیابی سیستم های اقتصادی است، به این معنی که به تجزیه و تحلیل اثرات محیط زیستی محصولات در همه مراحل چرخه عمر آنها از استخراج منابع تا تولید مواد، تولید قطعات و تولید نهایی محصول و استفاده از محصول تا پس از دور انداختن آن شامل بازیافت، استفاده مجدد و دفع نهایی (به عبارت دیگر از گهواره تا گور) می پردازد. انجام LCA کاری بسیار طولانی و دقیق است، اما هنوز روش قابل اعتمادی برای جمع آوری داده های مورد استفاده در LCA (تأمین مراحل تولید تا دفع نهایی) و استفاده از آنها برای مقایسه اثرات چرخه زندگی محصولات مختلف، وجود ندارد با این حال اگر مرحله جمع آوری داده بدون عارضه و با کیفیت بالا در دسترس باشد، مشروط بر اینکه مرز مطالعه شده به روشنی تعریف شده باشد، روشی با دقت تمام و قابل اعتماد خواهد بود (استین و همکاران ۲۰۱۲).

با توجه به مشکلات مذکور، روش جدید در مطالعات اقتصادی با ترکیب جدول داده- ستانده اقتصادی و روش ارزیابی چرخه زندگی به وجود آمده است.

روش ترکیبی جدول داده-ستانده و ارزیابی چرخه عمر

جدول داده- ستانده به عنوان ابزار کاربردی اقتصادی در برنامه ریزی ها و تحلیل های اقتصادی جایگاه ویژه ای دارد. اهمیت جدول داده-ستانده و کاربردهای آن در حدی است که در حال حاضر کمتر کشوری را می توان یافت که حداقل یک بار مبادرت به تهیه آن نکرده باشد. جدول داده - ستانده علاوه بر این که ساختار تولید و مصرف اقتصاد کشور را نشان می دهد، ابزاری را فراهم می کند که روابط متقابل بین بخش های مختلف اقتصادی را در تفصیلی ترین حد ممکن نشان می دهد و به همین دلیل می تواند به پرسش های بسیاری درباره ساختار اقتصادی یک کشور پاسخ دهد که به عنوان نمونه این جدول بیان می کند چه فراورده هایی در کشور تولید می شود، چه رشته فعالیت هایی تولید کننده آنها هستند، هر یک از نهادهای مصرف کننده چه فراورده هایی هستند، ساختار تولید و مصرف رشته فعالیت ها چگونه است.

جدول داده - ستانده در زمینه انواع تجزیه و تحلیل های اقتصادی از جمله ارتباط بین اجزای تقاضای نهایی و ستانده رشته فعالیت های مختلف، ساختار تقاضا، تحلیل های قیمتی، تحلیل های ساختاری، تحلیل های انرژی، تحلیل های محیط زیست، تحلیل های بخش گردشگری و امثال آن ابزاری قوی به شمار می رود. در این روش نیز مشکلاتی وجود دارد که می توان به محدودیت به روز نبودن داده ها اشاره کرد. با توجه به پرهزینه بودن تهیه جدول داده- ستانده، در تمامی کشورها این جدول به صورت ۵ سال یک بار یا حتی ۱۰ سال یکبار تهیه می شود. که یکی دیگر از مشکلات مربوط به

جمع آوری داده در این جدول است. تمامی داده های این جدول از روش خوداظهاری واحدهای تولیدی به دولت (جمع آوری داده های مورد نیاز برای تهیه حساب های ملی) به دست می آیند. از این حیث امکان اینکه تولید کنندگان به دلیل فرار مالیات و یا دلایل اقتصادی دیگر، داده های نادرستی را اعلام کنند وجود دارد. البته لازم به ذکر است که بروز چنین مشکلی در اکثر روش های آمارگیری مبتنی بر پرس و جو مورد انتظار است. استفاده از این روش برای برآورد ردپای کربن مزایای فراوانی از جمله: تفکیک بخش های مختلف در محاسبه دارد.

تحلیل داده-ستانده ابزاری ریاضی است که با مصرف نهایی جامعه مرتبط است و به طور گسترده در تحلیل های اقتصادی مربوط به جریان کالا و خدمات بین بخش های مختلف بکار گرفته می شود. این تحلیل بر این فرض استوار است که هر چیزی که توسط یک بخش تولید می شود در نهایت به مصرف نهایی جامعه می رسد. جدول داده-ستانده، جریان های تولید کالا و خدمات را به صورت مبدا و مقصد در سطح بخش های مختلف اقتصادی به تفصیلی ترین شکل ممکن نشان میدهد.

علاوه بر تحلیل های اقتصادی، رویکرد داده-ستانده اثرات مستقیم و غیر مستقیم محیط زیستی ناشی از فعالیت های اقتصادی را که در جهت تامین تقاضا صورت میگیرد نیز بررسی می کند و بینش مهمی را در ارتباط با تاصیرات نحیز زیستی ناشی از مصرف در اختیار سیاستگذاران قرار می دهد. بنابراین با اضافه کردن میزان انتشار CO₂ به جدول داده-ستانده، می توان ردپای کربن را بیشتر و به صورت بخشی محاسبه کرد. الگوی تحلیلی مختلفی برای بررسی روابط متقابل اقتصادی و انتشار آلاینده ها ایجاد شده که تحلیل داده-ستانده زیست محیطی یکی از کاراترین این الگوها در سطح بررسی روابط بین بخشی است.

چهارچوب تحلیل داده - ستانده

بر اساس تحلیل داده-ستانده، فرایند تولید در هر بخش به وسیله برداری از ضرایب ساختاری نشان داده می شود که بیان کننده رابطه بین نهاد جذب شده و ستانده تولید است. اگر کل ستانده (تولید) بخش فرض i میتواند برای تقاضای واسطه ای و نهایی را با X_i نشان دهیم در آن صورت معادله ستانده یا تراز تولیدی به شکل زیر تعریف می شود.

$$x_i = \sum x_{ij} + Y_i \quad \text{معادله ۱}$$

که عنصر x_{ij} نهاد ای است که از بخش i به بخش j واگذار می شود و y_i کل تقاضای نهایی برای بخش i است که شامل تولید برای مصرف خانوارها، دولت، سرمایه گذاری و صادرات است. بنا به فرض تابع تولید خطی، اگر a_{ij} را ماتریس ضرایب فنی بنامیم میتوان رابطه $ij = a_{ij}X_j$ را تعریف کرد، با جاگذاری آن در معادله ۱، خواهیم داشت

$$(I - A)X = Y$$

$$X = (I - A)^{-1}Y$$

که در آن I ماتریس واحد، A ماتریس ضرایب فنی، Y بردار تقاضای نهایی و X بردار تولید کل است. این عبارت ماتریس بنیادی تحلیل داده-ستانده است و $(I-A)^{-1}$ ، ماتریس معکوس لئونتیف (ماتریس ضرایب فزاینده تولید) نامیده می شود.

متغیرهای کاربردی در اندازه گیری ردپای انرژی و کربن

جفری هاموند (۲۰۰۷) بیان می کند، شاخصی که اغلب به عنوان ردپای کربن معرفی می شود در واقع مقدار کربن انتشار یافته بر اساس کیلوگرم یا تن به ازای هر فرد است. هاون (۲۰۰۷) یادآوری می کند که تجزیه و تحلیل ردپای کربن صندلی یک اداره به عنوان ارزیابی چرخه عمر محصول؛ تمام مواد اولیه، مراحل تولید، حمل و نقل، استفاده و مصرف در هر مرحله از رشد و توسعه به حساب می آورد. اکل (۲۰۰۷) اشاره میکند که ارزیابی ردپای کربن یک کسب و کار، فقط محاسبه انرژی مصرف شده نیست بلکه افزایش ضایعات در شیوه کسب و کار را هم باید در نظر گرفت.

مجموعه ای از توصیف ها و واژگان درباره ادبیات ردپای کربن وجود دارد که برخی از آن ها را با ذکر منبع و مآخذ در جدول ۱ ارائه شده است

جدول ۱. تعریف های گوناگون اصطلاحات ردپای بوم شناختی

تعریف	مآخذ
رد پای کربن مقدار کربن دی اکسید منتشر شده ناشی از فعالیت های روزانه می باشد مانند شستن لباس یا استفاده از وسایل حمل و نقل	<i>British Petroleum</i> (۲۰۰۷)
ردپای کربن معادل مقدار کربن دی اکسید منتشر شده از وسایل نقلیه متعلق به شرکت ها، کسب و کار تجارتي و سایر ضایعات می باشد.	<i>Patel</i> (۲۰۰۶)
یک روش برای تخمین کل انتشار گازهای گلخانه ای، معادل کربن تولید شده در سرتا سر چرخه عمر یک محصول از تولید مواد اولیه استفاده شده در تولید آن تا دفع محصول نهایی می باشد	<i>Carbon Trust</i> (۲۰۰۷)
رد پای کربن به میزان انتشار گازهای گلخانه ای به صورت مستقیم و غیر مستقیم ناشی از فعالیت های کسب و کار گفته می شود	<i>Energetics</i> (۲۰۰۷)
ردپای کربن در واقع اندازه گیری تاثیر فعالیت های انسانی در محیط زیست از نظر انتشار گازهای گلخانه ای همچون اندازه گیری میزان کربن دی اکسید است	<i>ETAP</i> (۲۰۰۷)
ردپای کربن اندازه گیری مقدار کربن دی اکسید منتشر شده از طریق احتراق سوخت های فسیلی است. به طور مثال در مورد یک بنگاه تولیدی، ردپای کربن، مقدار کربن دی اکسید منتشر شده به صورت مستقیم و غیر مستقیم ناشی از فعالیت های روزانه می باشد. همچنین ممکن است بازتاب انرژی های فسیلی در تولید یک محصول یا محصولات یک بازار باشد.	<i>Grub & Ellis</i> (۲۰۰۷)
ردپای کربن مقدار کل کربن دی اکسید و سایر گازهای گلخانه ای منتشر شده در طول چرخه کامل عمر یک محصول است	<i>Parliamentary Office and Technology (POST) 2006</i>

در تعریفی ساده و جامع ردپای انرژی در واقع نوعی روش اندازه گیری میزان زمین مورد نیاز در راستای جذب CO_2 منتشر شده از مصرف سوخت های فسیلی یا میزان CO_2 مستقیم و غیر مستقیم تولید شده از فعالیت اقتصادی است. رد پای انرژی از آثاری بوجود می آید که مردم هنگام مصرف انرژی بر محیط زیست از خود بر جای می گذارند. این انرژی، شامل میزان انرژی مصرفی افراد برای روشن کردن لوازم برقی، تولید کالا، رشد و تولید مواد غذایی می باشد. مصرف زیاد انرژی، رد پای انرژی بزرگی بر جای می گذارد. با مصرف کمتر انرژی و تولید آن با روش هایی که آسیب کمتری به محیط زیست وارد می کند، می توان رد پای انرژی کوچکتری بر جای گذاشت.

در ابتدا سوزاندن چوب برای تامین گرما و نور بود. اما امروزه بیشترین انرژی مصرفی در جهان از سوخت های فسیلی تامین می شود. منابع انرژی جایگزین سوخت های فسیلی شامل: انرژی خورشیدی، نیروی حاصل از جریان آب، انرژی باد و انرژی گرمایی موجود در درون زمین است. از این منابع انرژی اغلب در نقاط مختلف جهان برای تولید انرژی و بیشتر به شکل انرژی الکتریکی استفاده می شود. از دیگر منابع جایگزین سوخت های فسیلی، می توان انرژی هسته ای را نام برد. انرژی هسته ای با استفاده از اورانیوم تولید می شود. دانشمندان از اورانیوم برای تولید مقدار زیادی گرما استفاده می کنند که این گرما برای تولید الکتریسیته مصرف می شود.

مردم در زندگی روزمره خود انرژی را به شکل های گوناگونی مصرف می کنند. نحوه مصرف آنها تاثیر زیادی بر رد پای انرژی آنها دارد. استفاده از انرژی هنگامی که به آن نیاز ندارید، رد پای بزرگتری بر جای می گذارد. ذخیره انرژی رد پای کوچکتری به همراه دارد. انرژی گرفته شده از منابعی که به محیط زیست آسیب کم یا به هیچ عنوان آسیب نمی رسانند، رد پای کوچکی دارد. تولید انرژی با ردپای کوچک، گازهای گلخانه ای در هواکره آزاد نمی کند. انرژی خورشیدی، انرژی باد، نیروی آب، و انرژی زمین گرمایی جزء منابع انرژی پاک محسوب می شوند. انرژی هسته ای کربن دی اکسید تولید نمی کند، اما موارد امنیتی نگران کننده ای راجع به حوادث هسته ای و پسماند هسته ای وجود دارد. بین مصرف سوخت های فسیلی و گرمایش جهانی ارتباط مستقیم وجود دارد، که امروزه خود بزرگترین تهدید برای محیط زیست می باشد. گرمایش جهانی به معنی افزایش میانگین دمای زمین است. گرمایش جهانی هم اکنون در حال رخ دادن است. با افزایش دمای زمین، وضعیت آب و هوای جهان ممکن است وخیم تر شود و خشکسالی، طوفان، سیل و دیگر حوادث طبیعی را به همراه داشته باشد. تقریباً همه دانشمندان بر این باورند که انسانها در گرمایش جهانی سهم هستند. انسانها با سوزاندن سوخت های فسیلی باعث آزادسازی گاز های گلخانه ای شده و این گازها گرما را درون هواکره به دام می اندازند.

برای محاسبه ردپاهای بوم شناختی، تارنماهای گوناگونی طراحی شده اند. نمونه هایی از این تارنماهای در زیر آورده شده است:

<http://www.carbonfund.org>

این تارنما در خصوص میزان رد پای انرژی است.

<http://www.caboncounter.org/about-offsets/what-is-an-offset.aspx>

این تارنما شامل راهنمایی های زیادی برای کاهش رد پای گاز گلخانه ای شما است.

<http://managemyemissions.com/carbonCalculator.php>

در این تارنما توضیح داده شده است که چگونه "جبران کربن" کمک به کوچک کردن رد پای زیست محیطی افراد می شود.

<https://www.epa.gov/greenvehicles>

این سایت با برخورداری از شمارشگر کربن، این امکان را به شما می دهد که در منزل خود بزرگی رد پای زیست محیطی خود را از طریق سفری های موتوری، سفرهای هوایی و از طریق حمل و نقل عمومی حساب کنید.

<http://www.greencycling.blogspot.com>

این تارنما امکان مقایسه ی میزان آلودگی حاصل از ماشین های گوناگون و همچنین دیگر وسایل نقلیه را به شما می دهد.

نتیجه گیری

رد پای بوم شناختی در دهه اخیر با تمرکز بر رد پای انرژی و کربن در بسیاری از کتاب ها و مقاله های علمی در دنیا در شاخه های مختلف علوم مورد توجه قرار گرفته است. مفهوم رد پای انرژی و کربن از دیدگاه های متفاوتی شرح و تبیین شده است. در این مقاله کوشش شده است تا مفاهیم کلیدی مطرح در مباحث مربوط به رد پای انرژی و کربن و دستیابی به دیدگاهی یکپارچه و همسو در چارچوب رد پای بوم شناختی بیان شود.

رد پای انرژی و کربن از آثاری به وجود می آید که مردم هنگام مصرف انرژی بر محیط زیست از خود بر جای می گذارند. این انرژی، شامل میزان انرژی مصرفی افراد می باشد. مقدار زیادی از این انرژی ها به گونه ای تولید می شوند که آسیب جدی به محیط زیست وارد می کند. مصرف زیاد انرژی، رد پای بزرگتری بر جای می گذارد. مصرف کمتر انرژی و تولید انرژی با روش هایی که آسیب کمتری به محیط زیست وارد می کند، می توان رد پای کوچکتری بر جای بگذارد. انرژی های جایگزین سوخت های فسیلی از جمله: انرژی خورشیدی، نیروی حاصل از جریان آب، انرژی باد و انرژی گرمایی درون زمین رد پای کوچکتری دارند. ردیابی کربن در واقع اندازه گیری کل انتشار گازهای گلخانه ای دی اکسید کربن است که به طور مستقیم و غیر مستقیم بوسیله یک فعالیت یا تولید و استفاده یک محصول انباشته می شود. بطور معمول، مقدار کل CO_2 به صورت

فیزیکی در واحدهای کیلوگرم، تن، و غیره اندازه گیری می شود و در روش ردپای زیست محیطی مقدار آن در واحد سطح از جمله هکتار، متر مربع، کیلومتر مربع و غیره بیان می شود.

میزان انرژی مصرفی افراد برای استفاده از لوازم برقی، تولید کالا، رشد و تولید مواد غذایی و ارائه خدمات، سوخت های فسیلی، منابع انرژی جایگزین، انرژی هسته ای، آلودگی حاصل از استخراج معادن و چاه های نفت و مصرف سوخت، انرژی لازم برای ساخت وسایل نقلیه و زیرساخت ها، انتشار گازهای گلخانه ای و گرمایش جهانی، رد پای حمل و نقل، رد پای مسافرت و ترویج و میزان مصرف سوخت های جایگزین بویژه بیو دیزل و اتانول از جمله متغیرهایی هستند که باید در محاسبه ردپای کربن مورد توجه قرار گیرند. دیدگاه قیاسی، استقرایی، مکان محور از جمله دیدگاه های حاکم بر ردپای بوم شناختی هستند. در دهه های اخیر مفاهیم گرمایش جهانی و تغییرات آب و هوایی، این دیدگاه های غالب را تحت تاثیر قرار داده است. روش های ارزیابی چرخه زندگی و رویکرد ترکیبی داده-ستانده و ارزیابی چرخه عمر از جمله روش های اندازه گیری ردپای زیست محیطی هستند.

با توجه به اینکه محیط زیست طبیعی و انسانی تنها قلمرو موجود برای تحقق اهداف توسعه است، بنابراین نیازمند توجه و حفاظت جدی از این محیط برای پایدار ساختن توسعه هر کشور، منطقه و محل است. بنابراین برای به پایدار رساندن مصرف منابع طبیعی و بوم شناختی در دسترس در کشور، باید سیاست گذاری ها و برنامه ریزی های صحیح و متعادل در عرصه زیست محیطی داشته باشیم، تا مصرف این منابع با انجام سیاست ها و ابزار های آگاهی دهنده در این زمینه، در جهت تغییر الگوهای زندگی، مصرف، نحوه استفاده از حمل و نقل، انرژی و غیره به پایداری برسد.

البته ممکن است در سطح ملی و منطقه ای، ناپایداری اکولوژیک و کمبود ظرفیت زیستی را با مصادره منابع از مناطق پشتیبان جبران کرد. اما در سطح جهانی از آنجا که منابع سیاره محدود و مشخص است، نمی توان بیش از ظرفیت زیستی زمین مصرف کرد، و در صورت فشار بیش از حد بر منابع، امکان تجدید منابع از بین می رود و از آنجا که حیات انسان به منابع زیستی کره زمین وابسته است، زندگی و محیط زیست انسان در معرض خطر جدی قرار می گیرد. توجه به این موضوع، لزوم نگرش دقیق تر به مسائل زیست محیطی و مدیریت صحیح مصرف منابع و لزوم برنامه ریزی در حوزه های زیست محیطی را برای تمام جهان و به خصوص کشور ایران خاطر نشان می سازد. برنامه ریزی و سیاست هایی که در برنامه های توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی، در زمینه حفاظت و مصرف متعادل منابع طبیعی و بوم شناختی اتخاذ شده است تا رسیدن به نقطه مطلوب و مصرف پایدار منابع فاصله دارد. بدین ترتیب، تلاش بیش از پیش محافظت از منابع ضروری است.

منابع و مأخذ:

- ارجمندنيا,, (۱۳۸۰) جای پای بوم شناسی رهیافتی نو در ارزیابی تاثیر انسان بر محیط زیست: فصلنامه مدیریت شهری، سال دوم(۶) ۹۲-۹۹.
- سرایی، محمدحسین و زراعی فرشاد، عبد الحمید(۱۳۸۸) جای پای بوم شناختی بعنوان شاخص سنجش پایداری اجتماعات مجله محیط شناسی سال ۳۵ شماره ۵۰ ص ۱۵-۲۶.
- سرایی، محمدحسین و زراعی فرشاد. عبد الحمید (۱۳۸۹) ارزیابی توسعه پایدار بو شهر از منظر اقتصادی و اجتماعی با استفاده از شاخص *EF* مجله علوم اجتماعی، شماره ۵۰ صص ۳۷-۶۱
- سرایی، محمدحسین و زراعی فرشاد. عبد الحمید (۱۳۹۰) بررسی پایداری منابع با استفاده از شاخص جای پای بوم شناسی در ایران، فصلنامه جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، شماره ۴۱، صص ۱۰۶
- شکور، علی و همکاران (۱۳۹۰) ارزیابی و سنجش چگونگی پایداری گردشگری در بهشت گمشده بوان ممسنی با استفاده از مدل ردپای اکولوژیک. فصلنامه نگرش های نو در جغرافیای انسانی، سال سوم، شماره ۳، صص ۵۷-۶۷
- کهیل، مایکل (۱۳۸۷) سباست اجتماعی و محیط زیست، ترجمه حائمی نژاد و امربان تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۱۱۸ - ۸۶
- کیانی، م. (۱۳۸۳). توسعه پایدار و بازسازی بمه آبادی، مرکز مطالعات و تحقیقات شهر سازی و معماری، سال چهاردهم، شماره ۴۲
- Carol Cleland; Gamelyn Dykstra; Ben Pageler (2003). "Philosophical Issues in Astrobiology". NASA Astrobiology Institute. Retrieved 2011-04-15.
- Carbon Trust(2007)Carbon Foot print Measurment Methodology, Version Trust, London. UK.
- Eckel.A.(2007)The Reality Of Carbon Neutrality Energetic London, Gravure, 21(2), 35-36.
- ETAP (2007), The Carbon Trust Help UK Businesses Reduce Their Enviromental Impact. Release Press, UK
- McDonald, G, W., Patterson, M. G., 2004, Ecological Footprints and Interdependencies of New Zealand Regions, Ecological Economics, Vol. 50, No. 1-2, PP. 49-07.
- McDonald G Patterson M . Ecological Footprints and Interdependencies of New Zealand Regions, Ecological Economics... 2004,501-2): 49-67

- Wackernagel, Mathis, Larry Onisto, Alejandro Callejas Linares, Ina Susana Lopez Falfn, Jesus Mndez Garca, Ana Isabel Suarez Guerrero, and Ma. Guadalupe Suarez Guerrero (۱۹۹۷) *Ecological Footprints of Nations*,
- Guzman, J.S & others (2013) *Methodology for determining the ecological footprint of the construction residential building in Andalusia(Spain). Ecological Indicators, Vol 25 pp 239-249.*
- Galli,A. Wiedmann,T. Ercein,e. Knoblanck,D. Ewing,B. Glljun,S.(2012), *Integrating Ecological, Carbon and Water Footprint Human Pressure Family, Of Indicators, Definition Tracking Human Peressure on The Plant, Ecologycal Indicators. NO16,pp 100-112*
- Ferguson, Andrew R. B. (۱۹۹۹), *The Logical Foundations of Ecological Footprints, Environment, Development and Sustainability*, ۱: ۱۴۹-۱۵۶.
- Zhang, Ying. (2005). *the Change of Ecological Footprint and Its Effect on Sustainable Development in Beijing of China. Chinese Business Review*, 4No.10, 3 1-1.