

مطالعه وضعیت تراز تجاری رد پای کربن بخش‌های اقتصادی در ایران با رهیافت ماتریس حسابداری اجتماعی (SAM)

سید کمال صادقی، زهرا کریمی تکانلو، محمد علی متفکر آزاد، حسین اصغر
پور قورچی و یعقوب اندایش *

تاریخ وصول: ۱۳۹۴/۶/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۳/۳۰

چکیده:

در چند دهه اخیر انتشار بیشتر آلاینده‌های کربن ناشی از مصرف انرژی، اثرات مخرب بیشتری بر محیط زیست گذاشته است. سهم برخی صنایع و بخش‌های تولیدی نسبت به سایر بخش‌ها بیشتر بوده و از کشوری به کشور دیگر ممکن است متفاوت باشد. برخی کشورها با انتقال صنایع آلاینده به کشورهای دیگر جنگ کربن را شروع نموده‌اند. این در حالی است که هر کشور با توجه به موقعیت زیستی اش ظرفیتی در جذب آلاینده‌ها دارد. اگر رد پای کربن بیشتر از این ظرفیت باشد اثرات مخرب بر محیط زیست پیرامون وارد می‌شود. از این‌رو کشورها سعی در صادرات کالاهایی دارند که کربن کمتری انتشار دهد و از تولید مازاد کالاهایی که انتشار کربن بالایی دارد می‌پرهیزند از این‌رو تمایل دارند کالاهای آلاینده را بیشتر وارد نمایند به طوریکه تراز تجاری رد پای کربن آن کالا منفی شود. در این پژوهش تراز تجاری رد پای کربن ۸۶ بخش اقتصادی با استفاده از روش ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج حاکی از این است که کل تراز تجاری رد پای کربن کشور منفی ۴/۵ تن است که این تراز منفی نسبت ناچیزی از کل رد پای کربن بخش‌های اقتصادی است. بخش‌های نفت، توزیع گاز طبیعی، ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی، حمل و نقل جاده‌ای به ترتیب بیشترین تراز تجاری رد پای کربن مثبت و بخش‌های ساخت محصولات غذایی، ساخت وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیم تریلر، ساخت فلزات اساسی به ترتیب منفی‌ترین تراز تجاری کربن دارند. طبقه‌بندی JEL: P28، Q25، Q53، Q56، Q57

واژه‌های کلیدی: توسعه پایدار، تراز تجاری رد پای کربن، ماتریس حسابداری اجتماعی و بخش‌های اقتصادی

* به ترتیب، دانشیار، استادیار، استاد و دانشیار دانشگاه تبریز و استادیار (نویسنده مسول) گروه اقتصاد دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.
(andayesh230@gmail.com)

۱- مقدمه

با اهمیت یافتن مسائل زیست محیطی در سطح بین الملل، اکثر کشورها سعی در پیاده سازی سیاست‌هایی در این مورد کردند اگر چه سرعت آن در برخی کشورها بیشتر و در برخی پایین بود. انتشار بیشتر گازهای گلخانه‌ای در ایران نیز شرایط زندگی را برای انسان‌ها و جانداران بیش از پیش با مشکل مواجهه می‌نماید و بیش از پیش نیازمند کنترل آنها و رعایت استانداردها در این زمینه می‌باشد. بدین منظور ابتدا باید جریان انتشار این آلاینده‌ها مشخص شود و سپس با اتخاذ سیاست‌های مناسب تلاش برای کنترل و کاهش آنها نمود. یکی از راه‌های بررسی اثرات تولید و مصرف کالاها و خدمات بر انتشار کربن و یا سایر گازهای گلخانه‌ای محاسبه رد پای کربن بخش‌های تولیدی و افراد ساکن آن کشور است. با معلوم شدن رد پا و سهم آلاینده‌گی تولید کالاها و خدمات می‌توان ترتیباتی جهت کنترل آن اتخاذ نمود. اما وقتی با یک اقتصاد باز روبه رو باشیم، تجارت بین الملل به شکل واردات و صادرات برای تمام جوامع این امکان را فراهم می‌کند تا کالایی مصرف کنند که با استفاده از منابع خارج از کشور تولید شده است. با جریان کالا و خدمات بین کشورها، آلاینده‌های کربن نیز به صورت مجازی جریان می‌یابند. این جریان کالاها بین کشورهای مختلف حامل کربن نهفته است که با مفهوم کربن مجازی شناخته می‌شود، که در راستای سیاست گذاری‌ها و مدیریت آلاینده‌ها در سطح کشور و جهان نقش بسزایی ایفا خواهد نمود. از این رو کشورها تمایل دارند کالاها و خدماتی که تولید آنها آلودگی بیشتری را انتشار می‌دهد وارد کنند و روی صادرات کالا و خدماتی سرمایه گذاری کنند که رد پای کربن پایین تری دارد.

کانون اصلی مقاله حاضر، سنجش تراز تجاری ردپای کربن فعالیت‌های تولیدی با رویکرد ماتریس حسابداری اجتماعی می‌باشد. که نیاز است توضیح بیشتری از رد پای کربن در ادامه بیان شود.

در ردپای اکولوژیکی کربن، به طور مستقیم میزان خروجی گازهای عامل تغییرات آب و هوایی به جو را اندازه‌گیری می‌کنند که مقیاسی از مقدار کل خروجی دی اکسید کربن^۱ و سایر گازهای گلخانه‌ای مربوط به یک جمعیت، سیستم یا فعالیت معین با در نظر گرفتن همه منابع، فزونشین‌ها، ذخیره‌شدن‌ها در محدود

^۱ CO₂

زمانی و مکانی آن جمعیت، آن سیستم یا فعالیت است. به عبارت دیگر رد پای کربن اندازه‌گیری کل مقدار دی‌اکسید کربن است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم از فعالیت‌ها یا در طول چرخه عمر یک محصول انتشار می‌یابد. این فعالیت‌ها شامل فعالیت افراد، جمعیت‌ها، دولت‌ها، شرکت‌ها، سازمان‌ها، فرآیندهای تبدیل و بخش‌های صنعتی و غیره است. محصولات شامل کالاها و خدمات می‌شود. در هر صورت انتشار هم به صورت مستقیم (در محل داخلی) و هم به صورت غیرمستقیم (خارج از محل اصلی، خارجی، بالادست، پایین دست) باید در نظر گرفته شود. با این محاسبه مشخص می‌شود آیا تولید این گازها به تناسب ظرفیت جذب محیط پیرامون است یا اینکه بیش از حد تولید می‌شود. گازهای گلخانه‌ای از طریق فعالیت‌های مربوط حمل و نقل، تولید مواد غذایی، سوخت، کالاهای ساخته شده، مواد، چوب، جاده‌ها، ساختمان‌ها و خدمات وارد جو زمین می‌شوند. برای سادگی اغلب بر حسب میزان دی‌اکسید کربن یا معادل دی‌اکسید کربن سایر گازهای گلخانه‌ای گزارش می‌شوند.

ردپای کربنی بخش‌های تولیدی را می‌توان به دو بخش مستقیم و غیرمستقیم تقسیم کرد: انتشار مستقیم کربن ناشی از تولید کالاها و خدمات آن بخش تولیدی است در حالیکه رد پای "غیرمستقیم" مربوط به مصرف کالاها و خدمات واسطه‌ای است که خود کربن انتشار داده‌اند و بخش‌های تولیدی در فرایند تولید خود از آنها استفاده می‌نمایند. کشورهای پیشرفته با محاسبه رد پای کربن در تولیدات صنایع سعی می‌کنند صنایعی که رد پای کربن بالاتری دارند را به سمت کشورهای در حال توسعه سوق دهند.

ادبیات موجود نشان می‌دهد که پژوهشگران از دو روش در سنجش ردپای کربن که زیر مجموعه‌ی رد پای اکولوژیک است، استفاده می‌کنند. روش اول ماهیت کلان دارد و بر مبنای مصرف آشکار منابع موردنظر بکار رفته در تولید کالاها و خدمات داخلی بعلاوه منابع بکار رفته در تولید کالاها و خدمات واردات منهای منابع بکار رفته در تولید کالاها و خدمات صادرات محاسبه می‌گردد که اولین بار توسط واکرناگل و ریس^۲ در سال ۱۹۹۶ مطرح شد. اما بکارگیری روش مذکور نمی‌تواند وضعیت ردپای اکولوژیک را در جهت مدیریت منابع در سطح بخش‌های مختلف اقتصادی آشکار نماید. برای برون رفت از این مسأله، طیف وسیعی از پژوهشگران

² Wackernagel and Rees

مثل هابک^۳، لنزن^۴، موری^۵، فرنگ^۶، بیکنل^۷ و گیلجوم^۸، روش دومی را در قالب نظام حسابداری بخشی به شکل جدول داده-ستانده مبنای محاسبه این شاخص قرار داده‌اند که روش بکار گرفته در این پژوهش نیز بر این مبنا است.

هدف این مقاله بررسی تراز تجاری رد پای کربن بخش‌های اقتصادی است که در تلاش است به این پرسش پاسخ دهد که تراز تجاری رد پای کربن در هر کدام از بخش‌های اقتصادی به چه صورت است. کدام بخش‌ها تراز تجاری کربن منفی و کدام یک تراز مثبت دارند. چه معیاری برای انتخاب کالاها و خدماتی که با توجه به شاخص رد پای کربن باید بیشتر صادر یا وارد شوند وجود دارد. بدین منظور ابتدا بر پیشینه مطالعات خارجی و داخلی در زمینه رد پای کربن مروری صورت می‌گیرد. سپس روش ماتریس حسابداری اجتماعی و چگونگی بکارگیری آن در محاسبه رد پای کربن و تراز تجاری کربن و پایه‌های آماری تشریح می‌گردد. در ادامه یافته‌های تراز تجاری رد پای کربن بخش‌های تولیدی تحلیل و سرانجام به نتیجه گیری پرداخته می‌شود.

۲- مروری بر پیشینه موضوع

رد پای کربن زیر مجموعه رد پای اکولوژیک است که طی چند سال گذشته به طور گسترده‌ای رایج شده است و در حال حاضر به طور گسترده‌ای در سراسر رسانه‌ها استفاده می‌شود. با تغییرات آب و هوایی محاسبه رد پای کربن در دستور کار و سیاست‌های شرکت‌های کشورهای اروپایی و آمریکا قرار گرفته است. با جستجوی ادبیات در سال ۲۰۱۵ برای اصطلاح رد پای کربن در همه مجلات علمی و تمام سایت‌های جستجو از سال ۱۹۶۰ تا کنون تعدادی از مقالات مرتبط وجود دارد. به طوریکه تا قبل از ۲۰۰۵ هیچ مقاله‌ای در این زمینه نوشته نشده و در سال ۲۰۰۵ سه مقاله، ۸ مقاله در سال ۲۰۰۶ و ۳۱ مقاله مربوط به سال ۲۰۰۷ و همینطور برای سال‌های اخیر به مقدار بیشتری موجود است.

³ Hubacek

⁴ Lenzen

⁵ Murray

⁶ Freng

⁷ Bicknell

⁸ Giljum

بیشترین مقالات با این سوال مرتبطند که چگونه انتشار دی اکسید کربن را می‌توان به یک محصول خاص، شرکت (بنگاه) یا سازمان نسبت داد؟ جفری هاموند^۹ (۲۰۰۷) می‌نویسد شاخصی که اغلب به عنوان رد پای کربن معرفی می‌شود در واقع وزن کربن انتشار یافته بر اساس کیلوگرم یا تن به ازای هر فرد یا فعالیت است.

هاون^{۱۰} (۲۰۰۷) یادآوری می‌کند که تجزیه و تحلیل رد پای 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 را به حساب می‌آورد. اکل^{۱۱} (۲۰۰۷) اشاره می‌کند که ارزیابی رد پای کربن یک کسب و کار، فقط محاسبه انرژی مصرف شده نیست بلکه افزایش ضایعات در شیوه‌های کسب و کار را هم در نظر می‌گیرد. از طرف دیگر هیچ دامنه واضح و روشن تجزیه و تحلیل را فراهم نمی‌کند.

مجموعه‌ای از توصیف‌ها درباره ادبیات ردپای کربن وجود دارد که در جدول ۱ ارائه شده است.

در انگلستان تراست کربن وجود دارد که هدف کلی آن توسعه درک مشترک رد پای کربن ناشی از یک محصول است (تراست کربن ۲۰۰۷، تعاریف جدول ۱ مطالعه شود). در اینجا تأکید شده که در محاسبه ردپای کربن نه تنها واحد ورودی، خروجی و پردازش که مستقیماً با محصولاتی مرتبط هستند بلکه باید بعضی از انتشارات غیر مستقیم گازهای گلخانه‌ای را هم در نظر بگیرد. تفکر چرخه عمر را می‌توان در بسیاری از اسناد و مدارک یافت و به نظر می‌رسد با ویژگی یکسان برای تخمین رد پای کربن توسعه یافته باشد.

فرایند استاندارد سازی به وسیله تراست کربن و اهدافی که در نظر گرفته است برای همه محصولات اعمال و استاندارد گازهای گلخانه‌ای سطح از آنها را گوشزد می‌نماید (دفر^{۱۲}، ۲۰۰۷).

⁹ Hammond

¹⁰ Haven

¹¹ Eckel

¹² Defra

جدول ۱: تعاریف کربن در ادبیات

مأخذ	تعریف
BP (2007)	رد پای کربن مقدار دی اکسید کربن منتشره ناشی از فعالیت‌های روزانه است. مانند شستن لباس یا استفاده از وسایل حمل و نقل.
British Sky Broadcasting (Sky) (Patel 2006)	رد پای کربن معادل نشر دی اکسید کربن از وسایل نقلیه متعلق به شرکت‌ها، کسب و کار تجاری و سایر ضایعات است.
Carbon Trust (2007)	- یک روش برای تخمین کل انتشار گازهای گلخانه‌ای، معادل کربن تولید شده در سراسر چرخه عمر یک محصول از تولید مواد اولیه استفاده شده در تولید آن تا دفع محصول نهایی است - همچنین یک روش برای برای شناسایی و اندازه‌گیری گازهای گلخانه‌ای منحصر به فرد، اندازه‌گیری میزان انتشار این گازها در هر فعالیتی و در همه مراحل (تهیه مواد اولیه، تخصیص مواد برای هر محصول) است.
Energetics (2007)	رد پای کربن به میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به صورت مستقیم و غیرمستقیم ناشی از فعالیت‌های کسب و کار گفته می‌شود.
ETAP (2007)	رد پای کربن در واقع اندازه‌گیری تاثیر فعالیت‌های انسانی در محیط زیست از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای همچون اندازه‌گیری میزان دی اکسید کربن است.
Grub & Ellis (2007)	رد پای کربن اندازه‌گیری مقدار دی اکسید منتشر شده از طریق احتراق سوخت‌های فسیلی می‌باشد. به طور مثال در مورد یک بنگاه تولیدی، رد پای کربن مقدار دی اکسید کربن منتشره به صورت مستقیم و غیر مستقیم ناشی از فعالیت‌های روزانه می‌باشد، همچنین ممکن است بازتاب انرژی‌های فسیلی در تولید یک محصول یا محصولات یک بازار را نشان دهد.
Paliamentary Office of Science and Technology (POST 2006)	رد پای کربن مقدار کل دی اکسید کربن و سایر گازهای گلخانه‌ای ساطع شده در طول چرخه کامل عمر یک محصول است.

همچنین در سطح جهانی شبکه رد پای جهانی وجود دارد که سازمانی است که حساب‌های رد پای ملی در هر سال جمع آوری می‌کند که در این محاسبات دیده می‌شود رد پای کربن قسمتی از رد پای اکولوژی است (واکرناگل و همکاران، ۲۰۰۵).

تینگ و وو^{۱۳} (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای رد پای اکولوژیکی را با توجه به سبک زندگی برای ارزیابی پروژه‌های ساختمانی بررسی کردند. در این مطالعه بیان شده است که با توجه به سرعت رشد پروژه‌های ساختمانی و تخریب محیط زیست به ارزیابی درست اثرات سبک زندگی بر اکولوژی نیاز است. در ادامه این مطالعه استفاده

¹³ Teng and Wu

از محاسبه رد پای اکولوژیک را در مراحل ساخت پروژه‌های ساختمانی و فعالیت‌های افراد و همچنین برای کاهش اثرات زیست محیطی پروژه‌های در حال ساخت و توسعه پایدار در سبک زندگی افراد توصیه می‌کند.

لی^{۱۴} و همکاران (۲۰۱۴) در مقاله‌ای تحت عنوان "توسعه روش‌های حفاظت زیست محیطی براساس ردپای اکولوژیک در ناحیه‌ی جلگه‌ای چین" شاخص‌های فشار ردپای مصرف و فشار ردپای آلودگی را بر اساس ردپای اکولوژی محاسبه نموده‌اند. نتایج نشان داد که شاخص فشار ردپای مصرف و شاخص فشار ردپای تولید به طور کلی در طول دوره مطالعه در تمام مناطق مذکور افزایش یافته‌اند. بعلاوه شاخص جبران ردپای اکولوژیک معمولاً مثبت بوده است که این امر نمایانگر امنیت اکولوژیکی منطقه است.

سانی منگال^{۱۵} و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای، طراحی روش و نقش رد پای کربن در محصولات را بررسی می‌کنند. در این مطالعه هدف نشان دادن یک طرح ترکیبی برای محیط زیست و ارزیابی روش چرخه زندگی برای اجرای طرح‌های اقتصادی است. یافته‌ها نشان داد رد پای کربن محصولات دو نقش مهم ایفا می‌کند: اول، رد پای کربن محصولات یکی از شاخص‌هایی است که می‌تواند با ارزیابی چرخه عمر برآورد شود. دوم، رد پای کربن محصولات به عنوان یک استراتژی برای ارتباط محیط زیست با مصرف‌کنندگان برچسب می‌خورد.

پندی و اگراول^{۱۶} (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای رد پای کربن در بخش کشاورزی را با استفاده از روش رد پای کربن برآورد کردند. در این مطالعه بیان شد که رد پای کربن به عنوان یک شاخص قوی برای سنجش شدت گازهای گلخانه‌ای در اثر فعالیت‌های تولیدی است. با توجه به اینکه بخش کشاورزی از انتشارکننده‌های مهم گازهای گلخانه‌ای است، بنابراین شناسایی شیوه‌های پایدارتر کشاورزی ضروری است. مطالعات موردی در استفاده از رد پای کربن افزایش یافته است اما اکثر مطالعات انجام شده با روش سه ردیف استاندارد منطبق نیست. از این رو نتایج نشان داد رد پای کربن به عنوان یک روش استاندارد برای بخش کشاورزی ضروری است

¹⁴ Li

¹⁵ Sanyé-Mengual

¹⁶ Pandey and Agrawal

و کاربرد مؤثر این ابزار در سنجش شدت گازهای گلخانه‌ای و ارائه سناریوها و سیاست‌هایی برای جلوگیری از گرم شدن کره زمین و تغییر آب و هوا مؤثر است. سولیس گازمن^{۱۷} و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای میزان رد پای کربن ناشی از ساخت و ساز ساختمان‌های مسکونی در اسپانیا را بررسی کردند. در این مطالعه ابتدا روش بررسی چرخه عمر محصولات برای تعیین میزان رد پای کربن به منظور سنجش گازهای گلخانه‌ای تولید شده در اثر یک پروژه ساختمانی پیشنهاد شد. این روش میزان رد پای کربن را در منابع استفاده شده و ضایعات ایجاد شده محاسبه می‌کند، بعد از انتخاب روش، رد پای کربن هر کدام از عناصر به صورت جدا در نظر گرفته شد (مثلا آب، انرژی، غذا، حمل و نقل، مواد ساخت و ساز و ضایعات). یافته‌ها نشان می‌دهد رد پای کربن در هر متر مکعب به ترتیب در عوامل انرژی، آب، غذا، تحرک، مواد ساخت و ساز و ضایعات به میزان ۳۸۴/۷۹، ۰/۰۷، ۳۲/۳۵، ۰/۰۳، ۶۶۷/۲۲، ۴۹/۸۳ کیلوگرم است. مواد ساخت و ساز در میزان کربن نقش بسیار قابل توجهی دارند. منابع دیگر ایجاد کننده رد پای کربن ماشین‌آلات، برق و مواد غذایی هستند. در این پروژه ساختمانی نقل و انتقال منابع هیچ تأثیر تعیین کننده‌ای بر میزان رد پای کربن ندارد.

روس^{۱۸} و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای میزان رد پای کربن در محصولاتی غذایی را بررسی کردند. در این مطالعه رد پای کربن در محصولات تولیدی با استفاده از روش تغییرات استفاده از زمین^{۱۹} صورت گرفت. یافته‌ها نشان داد که سیستم غذایی به عنوان یک عامل در تغییرات آب و هوایی است. منابع اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای؛ نیترو اکسید از خاک، متان از تخمیر روده حیوانات و دی اکسید کربن از تغییرات در استفاده از زمین مانند جنگل زدایی هستند. در چرخه زندگی محصولات غذایی، گازهای گلخانه‌ای از عوامل همچون تولید کود معدنی، کشت برنج، استفاده از منابع انرژی در مزارع و فعالیت‌هایی همچون پردازش، بسته‌بندی، ذخیره و توزیع محصولات ایجاد می‌شوند.

¹⁷ Solís-Guzmán

¹⁸ Roos

¹⁹ LUC

در مطالعه دیگری کوئینتیرو^{۲۰} و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی رد پای کربن در محصولات سرامیکی در پرتقال پرداختند. در این مطالعه به تجزیه و تحلیل انتشار گازهای گلخانه‌ای هر یک از محصولات سرامیکی با توجه به رویکرد چرخش به داخل^{۲۱} و چرخش به بیرون^{۲۲} پرداخته شد و بیان شد که فعالیت‌های انسانی منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای و تغییر آب و هوا به دلیل افزایش در درجه حرارت می‌شود. مهمترین نتایج این مطالعه به شرح زیر است:

- رد پای کربن محصولات سرامیکی یک ابزار مهم برای شناسایی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و انجام اقدامات به منظور کاهش انتشار کربن از محصولات سرامیکی است که باعث ارتقاء بهره‌وری انرژی و رقابت کارخانه‌های تولیدکننده سرامیک می‌شود.

- قطعات سفالی زینتی دارای بالاترین (۲۲ / ۱ کیلوگرم در هر قطعه) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و آجر دارای کمترین (۰/۵۳ کیلوگرم در هر قطعه آجر) میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در تمام مراحل پخت هستند.

- میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای به ترتیب در تولید کاشی‌های سقف، تولید کاشی دیوار و کف، تولید کاشی سرویس بهداشتی به میزان (۷۸ / ۰ کیلوگرم) در هر کاشی سقف، (۱۱/۲۹ کیلوگرم) در هر متر مکعب و (۱/۵ کیلوگرم) در هر کیلوگرم است.

همه اقدامات و تکنولوژی‌های مناسب و پیشرفته برای بهبود محیط زیست باید از نقطه نظر فنی و اقتصادی مورد بررسی قرار گیرد.

متیلا^{۲۳} و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با عنوان "مباحثی روشن در رد پای کربن ناشی از فناوری اطلاعات موبایل" به بررسی رد پای کربن در دستگاه‌های تلفن پرداختند. این مطالعه با استفاده از بررسی کیفی داده‌های میزان رد پای کربن سه نمونه گوشی همراه در ۲۰۱۲ در مراحل مختلف تولید، مصرف، بازسازی و انتقال انجام شد. به طور کلی نتایج ارزیابی میزان انتشار کربن از گوشی‌های هوشمند نشان داد که انتشار این گازها به طور گسترده‌ای در محیط زیست صورت می‌گیرد.

²⁰ Quinteiro

²¹ Cradle-to-gate

²² Cradle-to-grave

²³ Mattila

جاکوبسن^{۲۴} و همکاران (۲۰۱۴) رد پای کربن در تولید گوشت خوک را در فلاندر بررسی کردند. در این مطالعه برای ارزیابی چرخه عمر انتشار گازهای گلخانه‌ای برای تولید گوشت خوک در فلاندر از روش مشخصات در دسترس عموم^{۲۵} که توسعه یافته‌ترین روش در بخش باغبانی و کشاورزی است استفاده شد. در مدل سیستم گوشت خوک، از طریق یک سیستم زنجیره‌ای از هر دو داده‌های اولیه و ثانویه استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد به ازای هر کیلوگرم گوشت خوک بدون استخوان، کربن به میزان ۴٫۸-۶٫۴ کیلوگرم آزاد می‌شود.

ژائو^{۲۶} و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای انتشار کربن و رد پای کربن را مکان‌های صنعتی مناطق مختلف چین با استفاده از داده‌های مصرف انرژی و زمین هر منطقه طی دوره ۲۰۰۸-۱۹۹۹ بررسی کردند. در این مطالعه ابتدا مدلی برای انتشار کربن در اثر استفاده از سوخت‌های فسیلی در مناطق مختلف چین برآورد و با استفاده از شاخص‌های رد پای اکولوژیک، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای بررسی شد. فضاهای صنعتی به پنج نوع: فضاهای کشاورزی، فضاهای صنعتی حمل و نقل، فضای مسکونی و تجاری، شیلات و فضاهای نگهداری آب‌ها و دیگر فضاهای صنعتی تقسیم شدند. یافته‌ها نشان داد مقدار کل انتشار کربن ناشی از سوخت‌های فسیلی و مصرف انرژی به ترتیب در مناطق مختلف کشاورزی، مسکونی-تجاری، فضاهای صنعتی حمل و نقل، فضاهای آبی و شیلات و دیگر فضاها به میزان ۱/۸۷٪، ۸۹/۱۲٪، ۷/۳۰٪، ۰/۱۹٪ و ۱/۵۲٪ از کل انتشار کربن صنعت است.

لنزن و مورای^{۲۷} (۲۰۰۱)، ضمن محاسبه ردپای اکولوژیک استرالیا براساس کاربری واقعی زمین در چارچوب داده-ستانده، روش بیکنل و همکارانش اصلاح و روش جدیدی برای محاسبه این شاخص ارائه دادند.

همچنین لنزن و مورای (۲۰۰۳) در پژوهش دیگری نشان می‌دهند چگونه می‌توان تحلیل داده-ستانده را برای محاسبه ردپای اکولوژیک ملی و ناحیه‌ای به منظور تجزیه حساب ردپا در لایه‌های تولید و تبیین کمی رابطه بین عوامل اجتماعی-اقتصادی (مانند مخارج خانوار) و جمعیتی و سنجش ردپای اکولوژیک بسط داد.

²⁴ Jacobsen

²⁵ Available Specification Methodology

²⁶ Zhao

²⁷ Lenzen and Murray

واژکوئز رو^{۲۸} و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای استفاده از انرژی و میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در زمینه ماهیگیری را بررسی کردند. در این مطالعه از روش ارزیابی چرخه عمر^{۲۹} و آنالیز داده‌های محیطی^{۳۰} استفاده شد. اطلاعات از شش ناوگان ماهیگیری مختلف در اسپانیا طی دوره ۲۰۱۱-۲۰۰۷ بدست آمد. نتایج نشان داد در سراسر جهان حدود ۱/۲٪ از انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از صنعت شیلات است.

وارون و مانیش کومار^{۳۱} (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای در هند رد پای کربن و انرژی را در صنعت قند بررسی کردند. در این بررسی برای تخمین رد پای کربن از روش ارزیابی چرخه عمر کامل عمر محصول که یک ابزار قدرتمند برای ارزیابی تأثیرات یک محصول در سراسر طول عمر خود است، استفاده شد و مصرف انرژی و انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق یک مدل داده-ستانده بدست آمد. نتایج نشان داد صنعت قند به طور مستقیم و غیرمستقیم بر محیط زیست اثر گذار است.

ناکامورا و کوندو^{۳۲} (۲۰۰۹) در کتابی با عنوان آنالیز داده ستانده ضایعات، مدل داده-ستانده را برای اندازه‌گیری میزان ضایعات بکار بردند. هدف اصلی این کتاب فراهم کردن مدل داده ستانده ضایعات^{۳۳} برای دستیابی به اطلاعاتی در زمینه اکولوژی صنعتی و مسائل مرتبط با آن است. به طوری که بتواند با استفاده از این مدل عوامل محیطی را به آلودگی‌های ناشی از فعالیت انسان‌ها سوق دهد.

ویدمن^{۳۴} و همکاران (۲۰۰۵) در پژوهشی، اختصاص رد پای اکولوژی به مصرف نهایی با استفاده از تجزیه و تحلیل داده-ستانده را مورد مطالعه قرار دادند. روش ارائه شده در این مقاله یک تجزیه و تحلیل ترکیبی با ترکیب رد پای اکولوژی و آنالیز داده-ستانده است. با استفاده از این روش طیف وسیعی از برنامه‌های کاربردی با نتایج ردپا، سازگار و قابل مقایسه است. محاسبات در بخش تجربی برای انگلستان در سال ۲۰۰۰ انجام گرفت. با استفاده از این روش نتایج نشان داد رد پای اکولوژیک فعالیت صادراتی انگلستان در مقایسه با روش رد پای حساب ملی بیشتر است.

²⁸ Vázquez-Rowe

²⁹ LAC

³⁰ DEA

³¹ Varun and Manish Kumar

³² Nakamura and Kondo

³³ WIO

³⁴ Wiedmann

بررسی اجمالی مطالعات خارجی حاکی از اهمیت سنجش ردپای کربن در سطح بخش‌های مختلف اقتصادی است که تاکنون نه تنها در ایران مورد توجه پژوهشگران قرار نگرفته بلکه مطالعه خاصی در مورد رد پای کربن در ایران انجام نشده است اگر چه مطالعاتی که در مورد انتشار کربن صورت گرفته جنبه انشار کربن به صورت مستقیم و کلان یا در سطح یک بنگاه و صنعت یا شهر و منطقه خاص را بررسی کرده‌اند. اما اینکه هر کدام از افراد در دهک‌های خانوارها چه رد پای کربنی در ایران دارند تا به حال مطالعه نشده است از این رو پژوهش حاضر برای اولین بار به این موضوع می‌پردازد. در این مقاله تلاش می‌شود، فصل جدیدی از کاربرد ماتریس حسابداری اجتماعی در سنجش ردپای کربن و همچنین سرانه ردپای کربن خانوارها و به تبع آن در کل اقتصاد در ایران باز شود.

۳- روش شناسی سنجش ردپای اکولوژیک کربن در چارچوب ماتریس حسابداری اجتماعی و پایه‌های آماری

روش‌های متعددی برای برآورد رد پای کربن همچون استفاده از ماشین حساب‌های آنالیز برای آنالیز چرخه عمر یا روش‌ها و ابزارهای داده- ستانده و ماتریس حسابداری اجتماعی پیشنهاد شده است.

در مقاله حاضر به دلیل استفاده از روش ماتریس حسابداری اجتماعی کل چرخه عمر محصولات در نظر گرفته نشده است، به طوریکه یک محصول نیاز به مواد و انرژی برای تولید دارد و فرایندهای تبدیلی روی آن انجام می‌شود و در اختیار خانوارها و یا نهادها که مصرف کننده نهایی هستند قرار می‌گیرد و در نهایت با مصرف آنها ضایعات تولید می‌گردد که بازیافت یا عدم بازیافت آن می‌تواند اندازه رد پای کربن را کم یا زیاد نماید. این قسمت آخر که مربوط به ضایعات است در ماتریس حسابداری اجتماعی نمی‌گنجد، بنابراین محاسبات کمتر از حد برآورد خواهند شد و کشوری که دارای بازیافت کامل است مقدار کمی بر این ردپای کربن آن افزوده می‌شود و برعکس کشوری که بازیافت کمتری دارد به نسبت بیشتر به ردپای کربن آن افزوده می‌گردد.

در ادبیات رایج که از چرخه عمر استفاده شده است محاسبه رد پای کربن می‌تواند با دو دستورالعمل مختلف بیان کرد:

فرایند تجزیه و تحلیل از پایین به بالا (PA) و فرایند تجزیه و تحلیل داده - ستانده محیط زیستی (EIO).

در هر دو روش چالش‌های مشخص شده ذکر شده وجود دارد و اثرات کامل چرخه زندگی یعنی اطلاعات کامل تجزیه و تحلیل چرخه زندگی (LCA) باید مورد توجه قرار گیرد.

در اینجا تنها یک تصویر مختصر از برخی مزایا و معایب را می‌توان ارائه کرد: فرآیند تجزیه و تحلیل این دو روش ذکر شده، یک روش از پایین به بالا است، که برای سنجش اثرات زیست محیطی محصولات منحصر به فرد از مراحل اولیه تولید تا مرحله نهایی آن را در بر می‌گیرد.

اگر از روش PA-LCAs برای تخمین رد پای کربن استفاده می‌شود بسیار تاکید شده است که نیاز به تعاریف معینی از مرزهای سیستمی مناسب که خطاهای برشی را حداقل می‌سازد، می‌باشد. (لنزن، ۲۰۰۱).

بر اساس فرآیند تجزیه و تحلیل ارزیابی چرخه عمر محصول و رد پای کربن برای موسسات بزرگتر مانند دولت، خانواده‌ها یا بخش‌های صنعتی خاص با مشکلات بیشتری رو به رو می‌شود.

تجزیه و تحلیل داده-ستانده و ماتریس حسابداری اجتماعی زیست محیطی برای ارزیابی سیستم‌های بزرگتر مثل بخش‌های تولیدی، خانوارها و دولت مناسب تر است.

با این روش بخش‌های تولیدی می‌توانند برای تجزیه و تحلیل بیشتر تفکیک شوند تا ردپای کربن هر بخش خاص مورد محاسبه قرار گیرد.

بهترین گزینه و در عین حال تجزیه و تحلیل جامع و قوی ترکیب هر دو روش بوسیله استفاده از یک رویکرد پیوندی است (هیجونگز^{۳۵} و سا^{۳۶} ۲۰۰۴، بالارد^{۳۷} و همکاران ۱۹۷۸ و سا و همکاران ۲۰۰۴) که در آن تجزیه و تحلیل فرآیند و روش داده-ستانده یا ماتریس حسابداری اجتماعی ادغام شده‌اند. چنین رویکردی اجازه می‌دهد که همه جزئیات چرخه عمر مثل ضایعات و بازیافت نیز در نظر گرفته شود. روش انتخابی اغلب بستگی به هدف، در دسترس بودن داده‌ها و منابع دارد. می‌توان گفت تجزیه و تحلیل داده-ستانده یا ماتریس حسابداری اجتماعی زیست

³⁵ Heijungs

³⁶ Suh

³⁷ Bullard

محیطی برای محاسبه رد پای کربن در سیستم‌های کلان یا بخشی است. در این زمینه رد پای کربن از بخش‌های صنعتی، کسب و کارهای فردی، گروه‌های تولیدی بزرگتر، خانوارها، دولت، سرانه شهروندان یا سرانه اعضای یک گروه اقتصادی-اجتماعی خاص بوسیله تجزیه و تحلیل داده-ستانده و ماتریس حسابداری اجتماعی می‌تواند انجام شود، اما این روش نمی‌تواند همه محصولات موجود در اقتصاد را به صورت جزئی مورد تحلیل رد پای کربنی قرار دهد چرا که این مورد با وجود تعداد محصولات زیاد در اقتصاد، امکانپذیر نیست. (فارن^{۳۸} و همکاران ۲۰۰۵، سای^{۳۹} و همکاران ۲۰۰۶ و وایدمن^{۴۰} و همکاران ۲۰۰۷)

بنابراین ما استدلال می‌کنیم که رد پای کربن شامل تمام انتشارات مستقیم و غیرمستقیم گاز دی اکسید کربن است که با واحد جرم اندازه‌گیری می‌شود. و شامل گازهای دیگر نمی‌شود و اگر اثرات گازهای دیگر لحاظ شود باید به آن رد پای آب و هوا گفت.

در این پژوهش از روش ماتریس حسابداری اجتماعی برای سنجش رد پای کربن خانوارها استفاده شده است که در ذیل توضیحاتی از این روش و چگونگی فرایند محاسبه رد پای کربن آورده می‌شود.

الگوی ماتریس حسابداری اجتماعی مانند سایر الگوهای اقتصادی دارای فروض متعددی است. مهمتر از همه، کاربرد این الگو در تحلیل تجارت بین الملل و همچنین در سنجش ردپای اکولوژیک کربن نیاز به دو فرض اساسی دیگر نیز دارد که عبارتند از:

در ماتریس حسابداری اجتماعی متعارف فرض می‌شود، کلیه نهاده‌های واسطه‌ای (تولید داخلی و واردات) بر مبنای فرض رقابتی بودن واردات، توسط بخش‌های داخلی (بومی) تولید می‌شود. تحت این وضعیت امکان تفکیک سهم ارزش افزوده و اشتغال بین تولید داخلی و واردات واسطه‌ای وجود ندارد.

همچنین فرض می‌شود، کل واردات یک متغیر برونزاست و مقدار آن بستگی به اندازه تقاضای واسطه‌ای و تقاضای نهایی داخلی ندارد. در این حالت، واردات خنثی

³⁸ Foran

³⁹ SEI

⁴⁰ Wiedmann

بوده و هیچ نقشی را در ارزش افزوده و اشتغال ایفا نمی‌کند (وی^{۴۱} و همکاران، ۲۰۱۲ ص ۱۳۴۲).

بر اساس فروض فوق، کاربرد ماتریس حسابداری اجتماعی متعارف در حوزه‌های تجارت بین الملل و همچنین در ردپای اکولوژیک به دو علت اصلی نامناسب است. نخست آنکه، سنجش ردپای اکولوژیک هم منشأ داخلی دارد و هم منشأ خارجی. منشأ داخلی، مقدار کربن انتشار یافته ناشی از تولید کالاها و خدمات داخلی است که بخشی از آن توسط جمعیت آن کشور مصرف می‌شود و بخشی دیگر به صورت صادرات در سایر کشورها مصرف می‌گردد. دوم آنکه، کلیه بخش‌های اقتصادی خودکفا نیستند. یعنی برای تأمین نیازهای مصرف داخلی، بخش‌ها در فرایند تولید خود نیاز به واردات دارند. واردات کالاها و خدمات خارج از کشور مورد بررسی تولید شده و در فرایند این تولید، کربن نیز انتشار یافته است. بنابراین در سنجش ردپای اکولوژیک باید منشأ داخلی و خارجی را به طور همزمان مورد توجه قرار داد.

با توجه به توضیحات فوق، بررسی کمی سنجش ردپای اکولوژیک کربن منوط به شناخت کافی ماتریس حسابداری اجتماعی است. با توجه به جایگاه واردات در ماتریس حسابداری اجتماعی، سه نوع جدول وجود دارند:

نوع اول: در سطر آخر واردات و ستون آخر صادرات آورده می‌شود اما این صادرات و واردات شامل کالاها و خدمات واسطه‌ای و نهایی با هم است که معلوم نمی‌کند چه میزان از آن به صورت واسطه‌ای و چه اندازه مصرف نهایی است.

نوع دوم: که ماتریس داخلی گویند در قسمت ماتریس واسطه بین بخشی فقط داده ستانده داخلی بین بخش‌ها را نشان می‌دهد و در سطر واردات، واردات واسطه‌ای گزارش می‌شود.

نوع سوم: که ماتریس واردات می‌نامند در قسمت ماتریس واسطه بین بخشی فقط داده ستانده وارداتی بین بخش‌ها را نشان می‌دهد و در سطر واردات، واردات نهایی گزارش می‌شود.

در ماتریس حسابداری اجتماعی نوع اول (متعارف)، واردات واسطه‌ای و واردات نهایی با ارقام متناظر داخلی ادغام شده و با توجه به دو فرض اساسی این نوع جدول، سنجش ردپای اکولوژیک کربن با منشأ داخلی و خارجی در تأمین مصرف

⁴¹ Wei

نهایی جامعه انسانی مشخص امکانپذیر نیست. بنابراین، باید همزمان از جدول نوع دوم و سوم که در آن واردات به واردات واسطه‌ای و واردات نهایی تفکیک شده استفاده نمود. از این‌رو در این مقاله با بهره‌گیری از ماتریس حسابداری اجتماعی تدوین شده توسط مرکز پژوهش‌های مجلس ابتدا واردات واسطه و نهایی در این پژوهش تفکیک شده تا زمینه استفاده آن فراهم گردد.

اما ساختار کلی الگوی ماتریس حسابداری اجتماعی از چهار ناحیه مشخص زیر تشکیل شده است. ناحیه I، سیکل کامل تولید، توزیع، مصرف را بین تولیدکنندگان، عوامل تولیدی، مصرف‌کنندگان نشان می‌دهد. در ناحیه II، اقلامی نظیر مصرف سایر نهادها، انباشت، صادرات و واردات، درآمد عوامل نیروی کار از دنیای خارج و درآمد نهادها از سایر نهادها و درآمد نهادها از دنیای خارج منظور شده‌اند که به اقلام تزریق‌ها معروفند. در ناحیه III نیز، اقلامی همچون پرداخت تولیدکنندگان به سایر نهادها و دنیای خارج، پرداخت عوامل تولید نیروی کار به دنیای خارج و پرداخت‌های نهادهای داخلی به سایر نهادها و دنیای خارج در نظر گرفته شده‌اند. این اقلام به اقلام نشتی‌ها معروفند. اقلام تزریقی‌ها و اقلام نشتی‌ها در کل و یا به تنهایی طیف وسیعی از سیاستهای تصمیم‌گیری در قلمرو صادرات، توزیع درآمد ساختاری، توزیع درآمد نهادی، واردات، مالیات‌ها و یارانه‌ها را بیان می‌کنند. اقلام مربوطه به ناحیه (IV) که در واقع پیوند سایر حساب‌ها با سایر حساب‌ها را نشان می‌دهد.

مبنای محاسبه ماتریس فوق بر اساس ساختار جدول داده ستانده می‌باشد. می‌توان ماتریس واسطه بین بخشی، ماتریس مصرف و ارزش افزوده و بردار صادرات و واردات را با توجه به رویکرد تفکیک واردات بر اساس جدول ۲ ارائه داد. تراز این جدول برحسب عرضه داخلی و ستانده داخلی است. ماتریس مبادلات واسطه‌ای و تقاضای نهایی در این جدول، ماهیت بومی داشته و به آسانی می‌تواند مبنای سنجش ردپای اکولوژیک کربن داخلی و خارجی قرار گیرد. روابط ریاضی جدول فوق در سنجش ردپای اکولوژیک به صورت زیر بیان می‌گردند (فرنگ، ۲۰۰۱ ص ۱۶۲).

جدول ۲: ساختار کلی جدول داده ستانده با تفکیک واردات

بخش j	بخش‌ها			مصرف نهایی		ستانده (تقاضای داخلی)
	بخش ۱	بخش ۲	بخش ۳	تقاضای داخلی	صادرات	
بخش ۱	D_{11}	D_{12}	D_{13}	DF_1	E_1	X_1
بخش ۲	D_{21}	D_{22}	D_{23}	DF_2	E_2	X_2
بخش ۳	D_{31}	D_{32}	D_{33}	DF_3	E_3	X_3
ارزش افزوده (عوامل تولید)	V_1	V_2	V_3			V
واردات	M_1	M_2	M_3	M_f	۰	M
ستانده (عرضه داخلی)	X_1	X_2	X_3			
مصرف فیزیکی آب (متر مکعب)	L_{11}	L_{12}	L_{13}			
انتشار کربن (تن)	L_{21}	L_{22}	L_{23}			

مأخذ: پژوهش حاضر

۳-۱- محاسبه ضرایب داده-ستانده مستقیم داخلی

ضرایب داده-ستانده مستقیم داخلی که با نماد d_{ij} بیان شده، به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$d_{ij} = D = \begin{matrix} \frac{D_{11}}{X_1} & \dots & \frac{D_{13}}{X_3} & d_{11} & \dots & d_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{D_{31}}{X_1} & \dots & \frac{D_{33}}{X_3} & d_{31} & \dots & d_{33} \end{matrix} \quad (1)$$

۳-۲- محاسبه ماتریس ضرایب فزاینده تولید

ماتریس فوق مبنای محاسبه ماتریس ضریب فزاینده تولید داخلی و یا ماتریس معکوس لئونتیف $(I-D)^{-1}$ قرار می‌گیرد.

$$(I - D)^{-1} = a_{ij} = \begin{matrix} 1 & \dots & 0 & d_{11} & \dots & d_{13} & -1 & a_{11} & \dots & a_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 1 & d_{31} & \dots & d_{33} & & a_{31} & \dots & a_{33} \end{matrix} \quad (2)$$

ماتریس فوق ضرایب فزاینده تولید داخلی را نشان می‌دهد. جمع ستونی ماتریس مذکور بیان می‌کند، افزایش یک واحد تقاضای نهایی یک بخش به چه میزان منجر به افزایش تولید آن بخش در کل اقتصاد می‌گردد.

۳-۳- محاسبه بردار انتشار مستقیم کربن ناشی از تولید

گام بعدی محاسبه انتشار مستقیم کربن ناشی از افزایش تولید است. برای این منظور لازم است که ضرایب مستقیم کربن محاسبه گردد. در این قسمت ضرایب مستقیم کربن بخش‌ها که از داده‌های ترازنامه انرژی و ماتریس حسابداری اجتماعی جمع‌آوری و طبق معادلاتی استخراج شده‌اند. این ضرایب مستقیم را می‌توان به صورت زیر محاسبه نمود:

$$\Phi_j = L_1 \quad \dots \quad L_3 \begin{matrix} \frac{1}{X_1} & \dots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \frac{1}{X_3} \end{matrix} = \Phi_1 \quad \dots \quad \Phi_3 \quad (3)$$

عناصر z نشان می‌دهد، به ازای ارزش یک واحد تولید در بخش z ام به صورت مستقیم چه میزان کربن منتشر می‌شود. L_i مقدار کربن انتشار یافته هر بخش اقتصادی و X_j تولید هر بخش است.

۳-۴- محاسبه ضرایب فزاینده کربن

سپس با ضرب ضرایب مستقیم کربن در ماتریس ضرایب فزاینده تولید داخلی، انتشار مستقیم و غیرمستقیم کربن یا ماتریس ضرایب فزاینده کربن بدست می‌آید:

$$\beta_{ij} = \begin{matrix} \Phi_1 & \dots & 0 & a_{11} & \dots & a_{13} & \beta_{11} & \dots & \beta_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & \Phi_3 & a_{31} & \dots & a_{33} & \beta_{31} & \dots & \beta_{33} \end{matrix} = \begin{matrix} \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \vdots \end{matrix} \quad (4)$$

β_{ij} در رابطه (۴)، ماتریس ضریب فزاینده کربن هر بخش را نشان می‌دهد، یعنی هر بخش به ازای ارزش یک واحد تقاضای نهایی محصولات داخلی خود چه میزان کربن به صورت مستقیم و غیرمستقیم انتشار می‌یابد.

در این رابطه $\hat{\Phi}_j$ ماتریسی قطری است که قطر اصلی آن بردار ضرایب مستقیم کربن محاسبه شده در رابطه (۳) است. بیکنل با جمع ستونی ماتریس ضرایب فزاینده کربن، به ماتریس سطری می‌رسد که ردپای کربن را با پیش ضرب نمودن آن در ماتریس‌های متناظر با نوع ردپای کربن، بدست می‌آورد. این امر منجر به خطا در محاسبه مقدار سرمایه طبیعی به کار رفته در تولید بخش‌ها می‌شود. در این روش محاسبه، مثلاً سرمایه طبیعی استفاده شده در بخش کشاورزی، در بخش صنعت محاسبه می‌شود، هرچند ممکن است مجموع ارقام ردپاهای سرمایه طبیعی با کل

مقدار مصرف شده آن برابر باشد. همانطور که قبلاً ذکر شد فرنگ برای رفع نارسایی این روش، پیشنهاد کرد ماتریس رابطه (۴) تحت عنوان ماتریس ترکیب ضرایب فزاینده سرمایه طبیعی برای محاسبه ردپا به کار گرفته شود.

۳-۵- محاسبه ردپای کربن در تأمین مصرف داخلی بخش‌های اقتصادی و خانوارها

با پیش ضرب ماتریس ضرایب فزاینده کربن محاسبه شده در رابطه (۴) در ماتریس قطری تقاضای نهایی دهک‌های خانوارها و دولت، ماتریس y_{ij} بدست می‌آید. جمع سطری عناصر آن، مقدار کربن مستقیم و غیرمستقیم انتشار یافته برای تأمین تقاضای نهایی داخلی دهک‌های خانوارها را نشان می‌دهد. در واقع، ردپای اکولوژیک کربن را در تأمین مصرف نهایی داخلی هر بخش اقتصادی آشکار می‌کند:

$$\eta_{ij} = \begin{pmatrix} \beta_{11} & \dots & \beta_{13} & DF_1 & \dots & 0 & \eta_{11} & \dots & \eta_{13} & 1 & \xi_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{31} & \dots & \beta_{33} & 0 & \dots & DF_3 & \eta_{31} & \dots & \eta_{33} & 1 & \xi_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{pmatrix} \quad (5)$$

۳-۶- پیوند ردپای اکولوژیک با تجارت بین الملل

مطالب بخش پیشین فقط محاسبه کربن انتشار یافته در تأمین مصرف نهایی داخلی را نشان می‌دهد و بدین ترتیب ماهیت ردپای اکولوژیک کربن محاسبه شده منشأ داخلی دارد. در یک اقتصاد باز، تجارت بین الملل به شکل واردات و صادرات نقش کلیدی در منابع بری تولید کالاها و خدمات صادرات و واردات ایفا می‌کنند. بنابراین لازم است، کربن انتشار یافته در تولید کالا و خدمات صادرات و واردات در ردپای اکولوژیک منظور گردند.

۳-۶-۱- محاسبه ردپای آب و کربن در تولید کالاها و خدمات صادراتی

رابطه (۶)، مقدار کربن انتشار یافته ناشی از تولید داخلی کالا و خدمات صادرات جهت تأمین تقاضای خارجی را با نماد e_i نشان می‌دهد. برای این منظور با پیش ضرب ماتریس ضرایب فزاینده کربن در ماتریس قطری صادرات، مقدار مستقیم و غیرمستقیم کربن انتشار یافته ناشی از تولید کالاها و خدمات صادرات جهت تأمین نیازهای سایر اقتصاد جهان به صورت زیر بدست می‌آید:

$$e_i = \begin{pmatrix} \beta_{11} & \dots & \beta_{13} & E_1 & \dots & 0 & 1 & e_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{31} & \dots & \beta_{33} & 0 & \dots & E_3 & 1 & e_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix} \quad (۶)$$

e_i در رابطه (۶) مشخص می‌کند که بخش i ام به منظور تولید صادرات کالاها و خدمات چه میزان به طور مستقیم و غیرمستقیم کربن انتشار یافته است.

۳-۶-۲- محاسبه ردپای آب و کربن برای کالاها و خدمات وارداتی

در مقایسه با سنجش تقاضای خارجی کربن در چارچوب ماتریس حسابداری اجتماعی، سنجش کربن منتشر شده مستقیم و غیرمستقیم ناشی از تولید کالاها و خدمات واردات به دلایل زیر پیچیده‌تر است: نخست آنکه ماهیت و جایگاه واردات در نظام حسابداری بخشی به شکل داده- ستانده بایستی مشخص گردد. واردات کالاها از نظر ماهیت به دو نوع واردات رقابتی و واردات غیررقابتی تقسیم می‌شود که در سنجش ردپای اکولوژیک کربن در واردات، فرض واردات رقابتی بودن مبنای اندازه‌گیری قرار می‌گیرد. فقط در چارچوب این فرض، کربن منتشر شده در واردات قابل سنجش است. چراکه در چارچوب این فرض، فرض برابری تکنولوژی موجود در کشور واردکننده را با سایر کشورهای صادرکننده که ریشه در نظریه‌های تجارت بین‌الملل دارد، فراهم می‌کند. دوم، با توجه به تمرکز در نظام حسابداری ماتریس حسابداری اجتماعی، تفکیک واردات به دو گروه واردات واسطه‌ای و سایر واردات امکان‌پذیر است. تحت این شرایط کربن منتشر شده در هر گروه از واردات قابل سنجش بوده و بدین ترتیب مفهوم ردپای اکولوژیک کربن را برجسته‌تر می‌کند.

به عبارت دیگر، در ماتریس با تفکیک واردات به واردات واسطه‌ای و سایر واردات، سنجش مقدار کربن منتشر شده مستقیم و غیرمستقیم ناشی از تولید این کالاها و خدمات به آسانی امکان‌پذیر نیست. سنجش ردپای اکولوژیک کربن در خصوص واردات بر دو نوع است. نوع اول مقدار کربن منتشر یافته‌ای است که در تولید کالاها و خدمات سایر کشورها به کار رفته و به عنوان واردات مصرفی در داخل کشور توسط جمعیت آن کشور مصرف می‌شود. نوع دوم مقدار کربن منتشر شده در تولید کالاها و خدمات واردات است که به صورت واسطه‌ای در فرایند تولید بخش‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

با پیش ضرب ماتریس ضرایب فزاینده کربن در ماتریس قطری واردات مصرفی، کربن منتشر شده مستقیم و غیرمستقیم در تولید این نوع کالاها و خدمات به صورت زیر بدست می‌آید:

$$M_1^f = \begin{pmatrix} \beta_{11} & \dots & \beta_{13} & m_1^* & \dots & 0 & 1 & m_1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{31} & \dots & \beta_{33} & 0 & \dots & m_3^* & 1 & m_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix} \quad (7)$$

m_i^f در رابطه (7)، مقدار کربن منتشر شده مستقیم و غیرمستقیم در تولید واردات مصرفی بخش i ام را نشان می‌دهد که در تأمین مصرف داخلی استفاده می‌گردد.

علاوه بر کربن منتشر شده در تولید واردات مصرفی، هر بخش اقتصادی در فرآیند تولید خود نه فقط از نهاده‌های واسطه‌ای داخلی، بلکه از واردات واسطه‌ای نیز استفاده می‌کند، تولید واردات واسطه‌ای نیز موجب انتشار کربن می‌شود که بایستی منظور گردد. ماتریس مبادلات واردات واسطه‌ای بین بخشی مبنای محاسبه قرار می‌گیرد، در این ماتریس سطرها منشأ خارجی و ستون‌ها منشأ داخلی دارد. برای مثال، درایه m_{ij} نشان می‌دهد، بخش یک داخلی معادل ارزش m_{ij} از بخش یک متناظر خارجی، کالا و خدمات واسطه‌ای را در فرآیند تولید استفاده می‌کند.

$$m = \begin{pmatrix} m_{11} & \dots & m_{13} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ m_{31} & \dots & m_{33} \end{pmatrix}$$

با پیش ضرب ماتریس ضرایب فزاینده آب (یا کربن) در ماتریس قطری، واردات واسطه‌ای بین بخشی تمام بخش‌های داخلی از هر بخش خارجی بدست می‌آید:

$$m_i^j = \begin{pmatrix} \beta_{11} & \dots & \beta_{13} & m_{11} & \dots & 0 & 1 & m_1^j \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{31} & \dots & \beta_{33} & 0 & \dots & m_{31} & 1 & m_3^j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \vdots \\ \vdots \\ \vdots \end{pmatrix} \quad (8)$$

مقادیر m_i^j شامل مقدار کربن منتشر شده در تولید کالا و خدمات واردات واسطه‌ای است که در فرآیند تولیدی توسط بخش‌های داخلی مورد استفاده قرار گرفته است. این تولید یا در داخل مصرف شده و یا اینکه صادر می‌شود. نسبت تقاضای نهایی داخلی به تولید هر بخش معیاری برای کربن ناشی از واردات واسطه‌ای در تأمین مصرف داخلی در نظر گرفته می‌شود. سپس با پیش ضرب این ماتریس در ماتریس قطری نسبت تقاضای نهایی داخلی به تولید، مقدار کربن منتشر شده خارجی در فرآیند کالاها و خدماتی بدست می‌آید که در داخل مصرف شده است.

در رابطه (۹)، $\frac{DF_i}{X_i}$ نشان می‌دهد که به ازای ارزش یک واحد تولید داخلی سهم مصرف داخلی چقدر است. نسبت مذکور از تفاضل بین نسبت صادرات به تولید و واحد یعنی $\frac{DF_i}{X_i} = 1 - \frac{EX_i}{X_i}$ بدست می‌آید.

$$m_i^d = \begin{matrix} m_1^1 & \dots & m_3^1 & \frac{DF_1}{X_1} & \dots & 0 & 1 & m_1 \\ & & & & & & & \\ & & & & & & & \\ m_1^3 & \dots & m_3^3 & 0 & \dots & \frac{DF_3}{X_3} & 1 & m_3 \end{matrix} = \quad (9)$$

m_i^d نشان می‌دهد که چه میزان کربن منتشر شده مستقیم و غیرمستقیم در واردات واسطه‌ای در جهت تأمین مصرف داخلی موردنیاز است.

۳-۶-۳- تراز تجاری ردپای آب و کربن

تفاوت بین میزان رد پای کربن واردات متشکل از واردات نهایی و واسطه‌ای و مقدار رد پای کربن صادر شده، وضعیت تراز تجاری اکولوژیک کربن را در سطح بخش‌های مختلف کشور نشان می‌دهد، در صورتی که مقدار کربن ناشی از کالا و خدمات واردات بیشتر از مقدار کربن ناشی از کالا و خدمات صادرات باشد؛ کسری تراز تجاری اکولوژیک کربن در سطح بخش آشکار می‌گردد. عکس آن، مازاد تجاری اکولوژیک کربن را نشان می‌دهد. رابطه (۱۰)، تراز تجاری اکولوژیک کربن را نشان می‌دهد:

$$EF_i = \begin{matrix} e_1 & m_1^f & m_1^d & EF_1 \\ - & & + & \\ e_3 & m_3^f & m_3^d & EF_3 \end{matrix} = \quad (10)$$

EF_i در رابطه (۱۰) تراز تجاری کربن بخش نام را نشان می‌دهد، بر مبنای رابطه فوق می‌توان مازاد تجاری و کمبود تجاری اکولوژیک کربن را در سطح بخش‌های اقتصادی محاسبه کرد. حال اگر مقدار کربن منتشر شده داخلی را با کربن منتشر شده وارداتی جمع کنیم، حاصل آن ردپای اکولوژیک کل کربن در سطح بخش‌ها به صورت زیر بدست می‌آید:

$$TEF = \frac{\xi_1}{\xi_3} + \frac{m_1^f}{m_3^f} + \frac{m_1^d}{m_3^d} = \frac{TEF_1}{TEF_3} \quad (11)$$

رابطه فوق TEF_i رد پای اکولوژیک کل کربن در بخش i ام را نشان می‌دهد.

۳-۷- پایه‌های آماری

مبنای پایه‌های آماری مورد استفاده ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ تدوین شده از سوی مرکز پژوهش‌های مجلس در سال ۱۳۹۴ است که عملیاتی روی آن انجام شده است. بعد از الگوسازی این ماتریس باید انتشار کربن در سطح بخش‌های اقتصادی و دهک‌های خانوارهای شهری و روستایی محاسبه می‌شد که در ادامه به صورت اختصار این دو مورد توضیح داده می‌شود.

۳-۷-۱- تفکیک بخش‌های اقتصادی و تفکیک واردات توسط محقق

جهت پاسخگویی به سوالات تحقیق دو عملیات باید روی ماتریس سال ۱۳۹۰ انجام می‌گرفت. ابتدا بخش کشاورزی از ۴ زیر بخش به ۱۲ زیر بخش تفکیک شد و از آنجا که محاسبه رد پای کربن نیاز به تفکیک حامل‌های انرژی است باید این بخش‌ها نیز تفکیک می‌شدند. دوم اینکه برای محاسبه تراز تجاری کربن باید واردات واسطه‌ای و نهایی از همدیگر تفکیک می‌شدند که نتیجه آن تفکیک ماتریس حسابداری اجتماعی داخلی و وارداتی برای سال ۱۳۹۰ است. در ادامه این دو عملیات توضیح داده می‌شود.

در ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ کشاورزی شامل ۴ بخش است که خصوصاً زراعت و باغداری باید بیشتر تفکیک شوند از این رو زیر بخش زراعت و باغداری به ۶ زیر بخش گندم، شلتوک و برنج، چغندر قند و نیشکر، سایر نباتات صنعتی، سایر محصولات حاصل از زراعت و محصولات باغداری تفکیک شده‌اند. زیر بخش دامداری و مرغداری نیز به ۴ زیر بخش گاو و گاو میش، گوسفند، بز و سایر حیوانات زنده بجز ماکیان، مرغ، جوجه و سایر ماکیان زنده، محصولات دامی و طیور و عسل، پیله‌تر، تخم نوغان و سایر تولیدات زنبور عسل و کرم ابریشم تفکیک شده است و جنگلداری و ماهیگیری به همان صورت قبل در جای خود باقی مانده است. بنابراین زیر بخش‌های کشاورزی از ۴ زیر بخش به ۱۲ زیر بخش تفکیک شده‌اند.

تفکیک‌هایی نیز در زیر بخش‌های انرژی گاز طبیعی، زغال‌سنگ، بنزین، نفت سفید، گازوئیل، نفت سیاه و کوره، گاز مایع و سایر سوخت‌های طبقه بندی نشده صورت گرفت. نفت خام و گاز طبیعی یکجا جمع شده بود که این دو باید از هم تفکیک شدند. زغال‌سنگ نیز در دل زیر بخش سایر معادن وجود داشت که این دو نیز از هم تفکیک شد. سرانجام فراورده‌های نفتی به صورت یکجا و جمع شده در ماتریس مذکور اعمال شده بود که به ۶ زیر بخش بنزین، نفت سفید، گازوئیل، نفت سیاه و کوره، گاز مایع و سایر سوخت‌های طبقه بندی نشده تفکیک گردید.

برای عملیات تفکیک سازی از جداول ساخت و جذب ۱۴۷ محصولی سال ۱۳۸۰ مرکز آمار ایران استفاده شده است. با توجه به اینکه برای تهیه ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ مرکز پژوهش‌های مجلس نیز با یک سری مفروضات از این جداول استفاده کرده است، نگارنده نیز با همان مفروضات (مرکز پژوهش‌های مجلس، ۱۳۹۴) از جداول مذکور برای تفکیک زیر بخش‌هایی که گفته شد استفاده کرده است.

از این رو باید در ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ جمع سطر و ستون هر کدام از بخش‌های کلی موجود با جمع سطر و ستون زیر بخش‌هایی که تفکیک شده‌اند همخوانی داشته باشد و با فرض ثابت بودن ضرایب فنی، بخش‌های کلی به زیربخش‌های مربوطه تفکیک شده است. از این رو هیچ تفاوتی در جمع عرضه و تقاضای کل بخش‌های اقتصادی ماتریس اولیه و ماتریس تفکیک شده نباید وجود داشته باشد و تنها بخش‌های اقتصادی از ۷۱ بخش به ۸۶ بخش تفکیک شده باشد تا با بکارگیری این ماتریس به سوالات تحقیق پاسخ داده شود.

زیر بخش‌های اقتصادی در ماتریس حسابداری اجتماعی از ۷۱ بخش^{۴۲} به ۸۶ بخش تبدیل شده است.

در ادامه برای تفکیک واردات واسطه و نهایی، همانطور که قبلاً گفته شد ماتریس حسابداری اجتماعی متعارف سال ۱۳۹۰ مرکز پژوهش‌های مجلس به دلایل متعددی نمی‌تواند مبنای سنجش ردپای کربن بخش‌های مختلف اقتصاد قرار گیرد. یکی از علل مهم این است، که جدول مذکور یک ماتریس حسابداری اجتماعی متعارف و حاوی واردات به صورت سر جمع واردات واسطه و نهایی است. این نوع

^{۴۲} برای اطلاع از نام بخش‌های اقتصادی به مرکز پژوهش‌های مجلس، پایه‌های آماری ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ مراجعه شود.

پایه آماری با آمار و اطلاعات مقدار کربن در بخش‌های مختلف اقتصادی که ماهیتی داخلی دارند، ناسازگار است. بنابراین به منظور سازگاری و هماهنگی رویکرد ما در این مقاله لازم است، جدول متعارف از حالت یک ماتریس حسابداری اجتماعی به یک ماتریس حسابداری اجتماعی داخلی و یک ماتریس حسابداری واردات تبدیل گردد. بدین منظور تفکیک بردار واردات به انواع واردات واسطه‌ای و نهایی (مصرفی و سرمایه‌ای) می‌تواند مبنای محاسبه جدول داخلی قرار گیرد. برای تفکیک واردات نیاز به طی کردن گام‌های زیر دارد:

در اولین مرحله محاسبه نسبت عرضه داخلی بخش‌ها یا ضریب خودکفایی هر بخش است. ضریب خودکفایی منشأ داخلی دارد و ضرب آن در هر متغیری ماهیت داخلی آن متغیر را بدست می‌دهد. در مرحله بعد باید ماتریس مبادلات واسطه‌ای داخلی بین بخشی محاسبه گردد، این ماتریس نشان دهنده مبادلات بین بخشی بدون واردات است. به وسیله کسر این ماتریس از ماتریس مبادلات واسطه‌ای بین بخشی در مرحله بعد ما می‌توانیم ماتریس مبادلات واردات واسطه‌ای که خود مبنای محاسبه ردپای کربن وارداتی از بخش‌های خارجی است را محاسبه نماییم. جمع ستونی این ماتریس مذکور بیانگر میزان واردات واسطه‌ای بخش i ام برای تولید خود از کالاها و خدمات واسطه‌ای خود و سایر بخش‌ها است و جمع سطری آن بیانگر این است که بخش i ام چه میزان از تقاضای وارداتی واسطه‌ای خود و سایر بخش‌ها را تامین می‌کند. بخشی i ام ماهیت بومی دارد و بخش i ام هم ماهیت بومی و هم غیربومی دارد. در مرحله بعد می‌توان بردار تقاضای نهایی داخلی بدون واردات را محاسبه نمود. این بردار از پیش ضرب نمودن ماتریس قطری ضرایب خودکفایی در بردار تقاضای نهایی داخلی بدست می‌آید. در مرحله پایانی به وسیله بردار تقاضای داخلی بدون واردات و کسر آن از بردار اولیه تقاضای داخلی، تقاضای واردات کالاها و خدمات نهایی قابل محاسبه است. پس از طی کردن این مراحل در نهایت توانستیم ماتریس حسابداری اجتماعی داخلی که مبنای محاسبه شاخص ردپای کربن قرار گیرد را با جزئیات لازم استخراج نماییم.

۳-۷-۲- محاسبه انتشار مستقیم کربن در سطح ۸۶ بخش اقتصادی و دهک‌های خانوارها به تفکیک منبع انتشار

حال باید دید مصرف ۸۶ بخش اقتصادی و دهک‌های خانوارهای شهری و روستایی از این نوع ۸ سوخت به چه صورت است. انرژی‌های مختلفی که مصرف آنها موجب انتشار کربن می‌شوند عبارتند از: زغال‌سنگ، بنزین، نفت سفید، گازوئیل، نفت سیاه و کوره، گاز مایع، سوخت‌های نفتی طبقه بندی نشده در جای دیگر و گاز طبیعی. در ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰ مقدار کلی انتشار کربن از این نوع ۸ منبع انرژی بر حسب تن ارائه شده است. باید این مقدار را بین ۸۶ بخش اقتصادی و ده دهک خانوار شهری و روستایی توزیع نمود که با استفاده از ماتریس حسابداری اجتماعی این مورد انجام شد. با استفاده از ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ می‌توان مصرف این اقلام را به صورت ارزش ریالی استخراج و همچنین سهم مصرف هر بخش یا نهاد را از هر کدام از این سوخت‌ها بدست آورد. با بدست آوردن این نسبت و ضرب در کل مصرف هر کدام از این سوخت‌ها و مقدار کل آلاینده کربن هر کدام از آنها می‌توان مقدار آلاینده مستقیم کربن در هر کدام از بخش‌های اقتصادی و دهک‌های خانوارها به تفکیک منبع انتشار بدست آورد. با جمع کردن کربن انتشار یافته در هر بخش ناشی از مصرف انرژی‌های مختلف کل انتشار مستقیم کربن در آن بخش بدست می‌آید.^{۴۳} ارقام مذکور داده‌های اولیه برای محاسبه رد پای کربن در قسمت بعد به شمار می‌رود.

۴- تحلیل یافته‌ها

با توجه به پایه‌های آماری و تشریح مدل در قسمت‌های قبلی می‌توان یافته‌های سنجش تراز تجاری رد پای کربن بخش‌های اقتصادی را به ترتیب زیر سازماندهی نمود. ابتدا رد پای کربن صادراتی بخش‌های اقتصادی تشریح، سپس رد پای کربن وارداتی و در نهایت تراز تجاری رد پای کربن بخش‌های اقتصادی تحلیل می‌شود.

^{۴۳} برای اطلاع از چگونگی محاسبه انتشار کربن مستقیم بخش‌های تولیدی و خانوارها ناشی از مصرف انرژی به رساله دکتری اندایش (۱۳۹۴) دانشگاه تبریز مراجعه فرمایید.

۴-۱- رد پای کربن ناشی از تولید کالاها و خدمات صادراتی به تفکیک بخش‌های اقتصادی

کل رد پای کربن کالاها و خدمات صادراتی سال ۱۳۹۰ اقتصاد ایران حدوداً ۱۸۴ میلیون تن بوده است. که با توجه به ارزش صادراتی کالاها و خدمات بخش‌های اقتصادی و ضرایب فزاینده کربن در آن بخشها، رد پای کربن صادراتی تعیین می‌گردد. نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است. یافته‌ها حاکی از این است که در کل بخش ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی بیشترین ردپای کربن صادراتی را دارد. به طوریکه رد پای کربن صادراتی بخش ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی تقریباً ۴۸/۵ میلیون تن است که ۲۶ درصد از کل رد پای کربن صادراتی را به خود اختصاص داده است. نفت در جایگاه دوم با سهم ۱۹ درصدی از کل رد پای کربن صادراتی و حمل و نقل آبی ۱۸/۵ درصد در جایگاه سوم قرار گرفته است. ۳۶/۶ درصد رد پای کربن صادراتی مربوط به سایر بخش‌های اقتصادی است. بعد از بخش حمل و نقل آبی به ترتیب بخش‌های توزیع گاز طبیعی، محصولات باغداری، ساخت سایر محصولات کانی غیر فلزی، حمل و نقل جاده‌ای، ساخت فلزات اساسی، نفت کوره و سیاه، ساخت محصولات غذایی و انواع آشامیدنی‌ها و گاز مایع بیشتر از سایر بخش‌ها دارای رد پای کربن صادراتی هستند. بخش‌های خدماتی هم به دلیل ارزش صادراتی پایین و هم ضریب فزاینده کربن پایین در رتبه‌های آخر رد پای کربن صادراتی قرار گرفته‌اند.

۴-۲- رد پای کربن ناشی از مصرف کالاها و خدمات وارداتی

اگر رد پای کربن کالاهای وارداتی واسطه‌ای و نهایی با هم جمع زده شوند، کل رد پای کربن کالاها و خدمات وارداتی حاصل می‌شود. در جدول ۳ یافته‌های حاصل از کل رد پای کربن وارداتی گزارش شده است. کل رد پای کربن وارداتی در کشور در سطح بخش‌های اقتصادی در سال ۱۳۹۰ معادل ۱۸۸/۵ میلیون تن بوده که ۴۴ درصد آن مربوط به رد پای کربن واردات واسطه‌ای و ۵۶ درصد مربوط به رد پای کربن واردات نهایی است. به ترتیب کل رد پای کربن وارداتی بخش‌های اقتصادی ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی، حمل و نقل آبی، ساخت فلزات اساسی، ساخت محصولات غذایی و انواع آشامیدنی‌ها، ساخت وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیم تریلر، گازوئیل، ساخت ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر

و محصولات باغداری بیشتر از سایر بخش‌ها است به طوریکه ۳۷/۷ درصد از کل رد پای کربن وارداتی به بخش‌های مذکور اختصاص دارد. بخش‌های خدماتی به دلیل ارزش وارداتی کمتر و ضرایب فزاینده کربن کمتر در رتبه‌های آخر قرار گرفته‌اند.

۴-۳- تراز تجاری ردپای کربن به تفکیک بخش‌های اقتصادی

اگر در یک اقتصاد کالاها و خدمات با رد پای کربن بیشتر وارد شوند، آن اقتصاد بار انتشار آلاینده کربن خود را بر دوش دنیای خارج می‌اندازد و کربن کمتری را در محیط داخلی مرزهای خود انتشار می‌دهد. اگر چه کلا جدا از مرزهای داخلی و دنیای خارج وضعیت مطلوب وضعیتی است که بخش‌های اقتصادی رد پای کربن کمتر داشته باشند. اما اگر استاندارد آلاینده زایی کربن در کشور در حد بهینه نباشد وضعیت مطلوب این است که رد پای کربن وارداتی بیشتر و معنی داری نسبت به رد پای کربن صادراتی داشته باشد. جنگ کربن که از سوی کشورهای توسعه یافته در دهه‌های اخیر مطرح شده بیانگر این موضوع است که صنایع آلاینده را به کشورهای در حال توسعه انتقال دهند و خود تنها کالای ساخته شده آنها را وارد نمایند تا از آلاینده‌های کربن درون مرزی خود بکاهند. واضح است که هر کشور یا منطقه بنا به ظرفیت‌هایی که برای جذب آلاینده‌های کربن دارد می‌تواند انتشار آلاینده‌ها را کند و گرنه خطرات جدی محیط زیست را تهدید می‌کند و حیات اکوسیستم به خطر می‌افتد. همچنین اگر چه برخی کشورها سعی می‌کنند ردپای کربن وارداتی بالایی داشته باشند، اما انتشار این کربن در هر کجا از کره خاکی می‌تواند تعادل گازهای گلخانه‌ای کره زمین را بهم بزند و تخریبی برای محیط زیست و اکوسیستم باشد.

تراز تجاری رد پای کربن بیانگر این است که یک کشور چقدر کربن مجازی را صادر و چقدر وارد کرده است که ما به التفاوت این دو تراز تجاری رد پای کربن در سطح بخش‌های اقتصادی را تشکیل می‌دهند. اگر چه در امر صادرات و واردات باید مزیت‌های نسبی و رقابتی در نظر گرفته شوند اما تا به حال در کشور اهمیت کربن مجازی در مزیت‌های رقابتی نادیده گرفته شده است و مطلوب آن است که کربن مجازی در تولید کالاها و خدمات برای تشخیص مزیت‌های رقابتی آنها با دنیای خارج مد نظر قرار گیرد. در نظر گرفتن کربن مجازی در مزیت‌های رقابتی موجب می‌شود که رتبه بندی مزیت‌های رقابتی کالاها و خدمات به هم بخورد و برخی از

کالاهایی که قبلاً برای آنها مزیت رقابتی تشخیص داده شده است در زمره کالاهای با مزیت رقابتی قرار نگیرند. بنابراین با در نظر گرفتن معیار رد پای کربن کالاها و خدمات در شاخص مزیت رقابتی مقدار آلاینده کربن کمتری وارد محیط کشور می‌شود، از محیط زیست بهتر محافظت می‌گردد و خطرات احتمالی مخرب آن به محیط زیست کاسته می‌شود.

با این اوصاف برای کشور ایران تراز تجاری رد پای کربن منفی مطلوب تر است. بدین معنی که واردات کربن مجازی بیشتر از صادرات کربن مجازی باشد. در سطح بخش‌های اقتصادی نیز تراز تجاری رد پای کربن منفی مطلوب خواهد بود.

یافته‌ها تحقیق با توجه به جدول ۳ حاکی از آن است که در سال ۱۳۹۰ اقتصاد ایران دارای تراز تجاری رد پای کربن منفی معادل ۴,۵ میلیون تن بوده است. اگر چه ممکن است بحث شود هر چه این مقدار منفی بیشتر باشد مطلوب تر خواهد. چرا که فقط ۸ هزارم کل رد پای کربن در ایران را تشکیل می‌دهد.

اگر بخش نفت را از کل اقتصاد جدا کنیم این تراز تجاری منفی تقویت می‌شود. تراز تجاری رد پای کربن در بخش نفت معادل ۳۶ میلیون تن مثبت بوده است که اگر اقتصاد بدون نفت در نظر گرفته شود تراز تجاری رد پای کربن بخش‌های اقتصادی غیر نفتی به منفی ۴۰/۵ میلیون تن کربن می‌رسد.

۱۸ بخش اقتصادی دیگر نیز دارای تراز تجاری رد پای کربن مثبت هستند که به ترتیب عبارتند از: توزیع گاز طبیعی، ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی، حمل و نقل جاده‌ای، نفت کوره و سیاه، گاز مایع، محصولات باغداری، برق، ساخت سایر محصولات کانی غیر فلزی، سایر معادن، محصولات دامی و طیور، کرایه و خدمات کسب و کار، ماهیگیری، راه آهن، جنگلداری، بیمه، زغال سنگ، عسل، پيله تر، تخم نوغان و سایر تولیدات زنبور عسل و کرم ابریشم و آب. وضعیت این بخش‌ها با توجه به تراز تجاری رد پای کربن به ترتیب بیشتر نامطلوب است

اما بخش‌هایی که به لحاظ تراز تجاری رد پای کربن وضعیت مطلوبی دارند و دارای تراز تجاری رد پای کربن منفی هستند به ترتیب عبارتند از: ساخت محصولات غذایی، ساخت وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیم تریلر، ساخت فلزات اساسی، حمل و نقل آبی، ساخت ماشین‌آلات و تجهیزات طبقه‌بندی نشده در جای دیگر، گازوئیل، بنزین، هتل و خوابگاه، ساخت ماشین‌آلات و دستگاه‌های برقی طبقه بندی نشده در جای دیگر، گندم، ساخت کاغذ و محصولات کاغذی، حمل و نقل هوایی، سایر

محصولات حاصل از زراعت، آموزش عالی خصوصی، ساخت منسوجات، ساخت محصولات از لاستیک و پلاستیک، سایر نباتات صنعتی، سایر نباتات صنعتی، ساخت سایر تجهیزات حمل و نقل، ساخت ابزار پزشکی، ابزار اپتیکی، ابزار دقیق و انواع ساعت، رستوران، ساخت چوب و محصولات چوبی، ساخت محصولات فلزی فابریکی بجز ماشین آلات و تجهیزات، ساخت پوشاک، عمل آوری و رنگ کردن خز، ساخت رادیو و تلویزیون، دستگاه‌ها و وسایل ارتباطی، ساخت رادیو و تلویزیون، دستگاه‌ها و وسایل ارتباطی، بانک، شلتوک و برنج، ساخت مبلمان، مصنوعات طبقه بندی نشده در جای دیگر و بازیافت، امور عمومی، تفریحی، فرهنگی، ورزشی، ساخت ماشین آلات دفتری، حسابداری و محاسباتی، ساخت محصولات از توتون و تنباکو، بهداشت درمان خصوصی، پست و مخابرات، نفت سفید، چغندر قند و نیشکر، گاو و گاو میش، گوسفند، بز و سایر حیوانات زنده بجز ماکیان، مرغ، جوجه و سایر ماکیان زنده، دباغی و پرداخت چرم و سایر محصولات چرمی و انتشار، چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده.

تراز تجاری رد پای کربن یک بخش متأثر از دو عامل می‌تواند مثبت و بیشتر شود: اول اینکه اگر ارزش صادرات کالاها و خدمات بیشتر از ارزش واردات در آن بخش باشد. دوم اینکه ضرایب فزاینده کربن بخش هر چه بالاتر باشد قدر مطلق تراز تجاری رد پای کربن آن بخش بیشتر می‌شود.

با این اوصاف اگر خالص صادرات یک بخش مثبت باشد حتما تراز تجاری رد پای کربن آن نیز مثبت می‌گردد.

جدول ۳: تراز تجاری رد پای کربن بخش‌های اقتصادی سال ۱۳۹۰ (هزار تن)

نام بخش	رد پای کربن صادراتی	رد پای کربن وارداتی	تراز تجاری رد پای کربن	نام بخش	رد پای کربن صادراتی	رد پای کربن وارداتی	تراز تجاری رد پای کربن
گندم	۱	۱۸۶۰	-۱۸۵۹	برق	۲۵۰۴	۰	۲۵۰۴
شلتوک و برنج	۰	۷۲۳	-۷۲۳	توزیع گاز طبیعی	۷۴۶۷	۰	۷۴۶۷
چغندر قند و نیشکر	۰	۱۶۹	-۱۶۹	آب	۰	۰	۰
سایر نباتات صنعتی	۱۰۳	۱۲۷۴	-۱۱۷۱	ساختمان‌های مسکونی	۰	۰	۰
سایر محصولات حاصل از زراعت	۸۲۳	۲۲۷۱	-۱۴۴۸	سایر ساختمان‌ها	۰	۰	۰
محصولات باغداری	۶۸۷۳	۳۹۸۵	۲۸۸۸	عمده فروشی، خرده فروشی، تعمیر وسایل نقلیه و کالاها	۰	۰	۰
گاو و گاو میش، گوسفند...	۹	۱۶۰	-۱۵۱	هتل و خوابگاه	۶۰۳	۲۸۰۶	-۲۲۰۳

جدول ۳: تراز تجاری رد پای کربن بخش‌های اقتصادی سال ۱۳۹۰ (هزار تن)

ترتیب	رد پای کربن صادراتی	رد پای کربن وارداتی	نام بخش	ترتیب	رد پای کربن صادراتی	رد پای کربن وارداتی	نام بخش
	۱۷	۸۶	مرغ، جوجه و سایر ماکیان زنده		-۶۹	۱۱۷۱	رستوران
	۹۵۲	۱۲۵	محصولات دامی و طیور		۸۲۶	۲۶۰	راه آهن
	۵۶	۴۹	عسل، بیله تر، تخم نوغان و سایر تولیدات زنبور عسل و کرم ابریشم		۸	۱۰۴۳	حمل و نقل جاده ای
	۱۹۵	۱۱۷	جنگلداری		۷۸	۰	حمل و نقل لوله ای
	۵۸۷	۴۵	ماهگیری		۵۴۱	۳۳۹۹	حمل و نقل آبی
	۵	۰	نفت		۳۵۶۲۴	۷۵۲	حمل و نقل هوایی
	۰	۰	گاز طبیعی		۰	۰	خدمات پشتیبانی و انبارداری
	۳۸	۲۷	زغال سنگ		۱۱	۲۹۳	پست و مخابرات
	۱۹۴۴	۲۷۹	سایر معادن		۱۶۶۵	۱۹۳	بانک
	۳۸۸۱	۱۳۳۱۵	ساخت محصولات غذایی و انواع آشامیدنی‌ها		-۹۴۳۴	۰	سایر واسطه گری‌های مالی و فعالیت‌های جنبی آنها
	۳۶	۳۶۱	ساخت محصولات از توتون و تنباکو		-۳۲۵	۶۹	بیمه
	۱۷۰۴	۲۰۲۲	ساخت منسوجات		-۱۳۱۸	۰	خدمات واحدهای مسکونی شخصی
	۲۱	۸۱۵	ساخت پوشاک، عمل آوری و رنگ کردن خز		-۷۹۴	۰	خدمات واحدهای مسکونی اجاری
	۳۸۷	۴۳۱	دبافی و پرداخت چرم و سایر محصولات چرمی		-۴۴	۰	خدمات واحدهای غیر مسکونی
	۱۶	۸۶۰	ساخت چوب و محصولات چوبی		-۸۴۴	۰	خدمات دلان مستغلات
	۲۷	۱۷۹۷	ساخت کاغذ و محصولات کاغذی		-۱۷۷۰	۳۰۶۹	کرایه و خدمات کسب و کار
	۵۵	۷۴	انتشار، چاپ و تکثیر رسانه‌های ضبط شده		-۱۹	۹۵۹	امور عمومی
	۱۰۸۹	۳۸۷۴	بنزین		-۲۷۸۴	۰	خدمات شهری
	۳۵۷	۵۳۴	نفت سفید		-۱۷۷	۰	امور دفاعی
	۱۹۳۶	۷۱۲۳	گازوئیل		-۱۸۷	۰	امور انتظامی
	۴۰۷۷	۱۹۸	نفت کوره و سیاه		۸۷۸	۰	تأمین اجتماعی اجباری
	۳۴۶۸	۷۲	گاز مایع		-	۰	آموزش ابتدایی دولتی
	۲۳۱	۲۶۵	سوخت‌های نفتی طبقه بندی نشده در جای دیگر		-	۰	آموزش ابتدایی خصوصی

جدول ۳: تراز تجاری رد پای کربن بخش‌های اقتصادی سال ۱۳۹۰ (هزار تن)

نام بخش	رد پای کربن صادراتی	رد پای کربن وارداتی	تراز تجاری کربن	نام بخش	رد پای کربن صادراتی	رد پای کربن وارداتی	تراز تجاری کربن	
ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی	۴۸۴۹	۰	۴۳۸۸۷	آموزش متوسطه عمومی و متوسطه فنی و حرفه ای دولتی	۴۰	۰	۰	
ساخت محصولات از لاستیک و پلاستیک	۱۷۱۱	۰	۲۹۲۸	آموزش متوسطه عمومی و متوسطه فنی و حرفه ای خصوصی	-۱۱	۰	۰	
ساخت سایر محصولات کانی غیر فلزی	۵۳۰۵	۰	۳۱۰۶	آموزش عالی دولتی	۲۱	۰	۰	
ساخت فلزات اساسی	۴۶۲۸	۰	۱۳۴۶۲	آموزش عالی خصوصی	-۸۸	۱۹۳۷	-۱۴۴۸	
ساخت محصولات فلزی فابریکی بجز ماشین آلات و تجهیزات	۵۹۴	۰	۱۴۱۳	آموزش بزرگسالان دولتی	-۸۰	۰	۰	
ساخت ماشین آلات و تجهیزات طبقه بندی نشده در جای دیگر	۴۵۴	۰	۶۴۱۹	آموزش بزرگسالان خصوصی	-	۰	۰	
ساخت ماشین آلات دفتری، حسابداری و محاسباتی	۱	۰	۳۸۲	بهداشت و درمان دولتی	-۸	۰	۰	
ساخت ماشین آلات و دستگاه‌های برقی طبقه بندی نشده در جای دیگر	۴۲۶	۰	۲۳۷۰	بهداشت و درمان خصوصی	-۱	۴۱۶	-۳۰۰	
ساخت رادیو و تلویزیون، دستگاه‌ها و وسایل ارتباطی	۱۸	۰	۷۷۳	دامپزشکی	-۷۵۶	۰	۰	
ساخت ابزار پزشکی، ابزار اپتیکی، ابزار دقیق و انواع ساعت	۱۴	۰	۹۱۹	مددکاری اجتماعی	-۹۰۵	۰	۰	
ساخت وسایل نقلیه موتوری، تریلر و نیم تریلر	۴۶۱	۰	۹۷۹۳	تفریحی، فرهنگی، و ورزشی	-۹۳۳۲	۱۰۴۷	-۵۷۸	
ساخت سایر تجهیزات حمل و نقل	۱۶	۰	۹۳۸	مذهبی و سیاسی	-۹۲۲	۰	۰	
ساخت مبلمان، مصنوعات طبقه بندی نشده در جای دیگر و بازیافت	۱۳۲۹	۰	۱۹۵۲	سایر خدمات	-۶۲۲	۰	۰	
جمع						۱۸۳۷۷۹	۱۸۸۲۹۲	-۴۵۱۳

۵- نتیجه گیری و ارائه پیشنهادات سیاستی

اگر در یک اقتصاد کالاها و خدمات با رد پای کربن بیشتر وارد شوند، آن اقتصاد بار انتشار آلاینده کربن خود را بر دوش دنیای خارج می‌اندازد و کربن کمتری را در محیط داخلی مرزهای خود انتشار می‌دهد. اگر چه کلا جدا از مرزهای داخلی و

دنیای خارج وضعیت مطلوب وضعیتی است که بخش‌های اقتصادی رد پای کربن کمتر داشته باشند.

در سال ۱۳۹۰ اقتصاد ایران دارای تراز تجاری رد پای کربن منفی معادل ۴/۵ میلیون تن بوده است که فقط ۸ هزارم از کل رد پای کربن را تشکیل می‌دهد. ۱۸ بخش اقتصادی غیر از نفت دارای تراز تجاری رد پای کربن مثبت و ۷۰ بخش دیگر دارای تراز منفی هستند.

اگر رد پای کربن به ازای هر یک میلیون ریال تولید بخش‌های اقتصادی محاسبه گردد با این شاخص می‌توان گفت که چه بخش‌هایی با توجه به معیار رد پای کربن در اولویت واردات باشند که عبارتند از: خدمات حمل و نقل آبی، گازوئیل، راه آهن، حمل و نقل لوله ای، ساخت مواد شیمیایی و محصولات شیمیایی و آب. با توجه به یافته‌های تحقیق می‌توان چند توصیه سیاستی را برای سیاستگذاران جهت برنامه ریزی در سطح کشور پیشنهاد نمود:

- توجه جدی سیاستگذاران به در نظر گرفتن رد پاهای کربن، در مزیت‌های نسبی و رقابتی و امتناع از بی اهمیت دانستن آنها در تجارت خارجی.
- برنامه ریزی میان مدت و بلند مدت برای کاهش انتشار مستقیم و غیر مستقیم کربن بخش‌های اقتصادی بیشتر آلاینده را با استفاده از تسهیلات تکنولوژیکی و رعایت استانداردهای بالاتر، مشارکت تولیدکنندگان، و سایر ابزارهای سیاستی.
- برنامه ریزی‌های دقیق منطقه‌ای برای توزیع صنایع آلاینده را بر اساس معیارهای منطقی و صحیح.
- مالیات گیری از مصرف کالاها و خدمات و عوارض گیری از تولید بخش‌هایی که ضریب فزاینده انتشار کربن بیشتری نسبت به سایر بخش‌ها دارند. و یا اینکه ابزار متناسب سیاستی برای کاهش انتشار گازهای این بخش‌ها بکار گرفته شود.

فهرست منابع:

بانویی، علی اصغر و سیمین عزیزمحمدی. (۱۳۹۲). سنجش ردپای بوم شناختی زمین در بخش‌های مختلف اقتصادی ایران با استفاده از رویکرد جدول داده- ستانده، فصلنامه سیاست گذاری پیشرفت اقتصادی، شماره ۱، صص ۳۵-۶۶.

تراز نامه انرژی. (۱۳۹۰). ترازنامه انرژی سال ۱۳۹۰، وزارت نیرو.

مرکز پژوهش‌های مجلس. (۱۳۹۴). بهنگام سازی جدول داده- ستانده و ماتریس حسابداری اجتماعی و طراحی الگوی CGE و کاربردهای آنها در سیاستگذاری اقتصادی - اجتماعی. دفتر مطالعات اقتصادی، شماره مسلسل ۱۲۴۵۳.

مرکز پژوهش‌های مجلس. دفتر مطالعات اقتصادی. (۱۳۹۴). گزارش پایه‌های آماری ماتریس حسابداری اجتماعی سال ۱۳۹۰ مرکز پژوهش‌های مجلس (بهار ۱۳۹۴).

Bicknell, K. B., R. J. Ball, R. Cullen & H.R. Bigsby. (1998). New Methodology for the Ecological Footprint with an Application to the New Zealand Economy. *Ecological Economics* 27: 149-160.

BP. (2007). What is a Carbon Footprint?, Internet Site: http://www.bp.com/liveassets/bp_internet/globalbp/STAGING/global_assets/downloads/A/ABP_ADV_what_on_earth_is_a_carbon_footprint.pdf

Bullard, C.W., P.S. Penner & D.A. Pilati. (1978). Net Energy Analysis: Handbook for Combining Process and Input-Output Analysis. *Resources and Energy* 1(3): 267-313. [http://dx.doi.org/10.1016/0165-0572\(78\)90008-7](http://dx.doi.org/10.1016/0165-0572(78)90008-7).

Carbon Trust. (2007). Carbon Footprint Measurement Methodology, Version 1.1. 27 February 2007, The Carbon Trust, London, UK. <http://www.carbontrust.co.uk..>

DEFRA. (2007). Step Forward on Reducing Climate Change Impacts from Products. DEFRA press release, 30 May 2007, from <http://www.defra.gov.uk/news/2007/070530a.htm>.

Eckel, A. (2007). The Reality of Carbon Neutrality Energetics London, *Gravure* 21(2): 35-36.

www.energetics.com.au/file?node_id=21228 Energetics 2007. The Reality of Carbon Neutrality, London. www.energetics.com.au/file?node_id=21228

ETAP. (2007). The Carbon Trust Helps UK Businesses Reduce their Environmental Impact, Press Release,

http://ec.europa.eu/environment/etap/pdfs/jan07_carbon_trust_initiative.pdf

Ferng, J. (2001). Using Composition of Land Multiplier to Estimate Ecological Footprints Associated with Production Activity. *Ecological Economics* No 37: 159–172.

Foran, B., M. Lenzen & C. Dey. (2005). *Balancing Act: A Triple Bottom Line Analysis of the 135 Sectors of the Australian Economy*. CSIRO Resource Futures and The University of Sydney, Canberra, ACT, Australia. www.cse.csiro.au/research/balancingact

Grub & Ellis. (2007). *Meeting the Carbon Challenge: The Role of Commercial Real Estate Owners, Users & Managers*, Chicago.

Hammond, G. (2007). Time to Give Due Weight to the 'Carbon Footprint' Issue. *Nature* 445(7125): 256. <http://dx.doi.org/10.1038/445256b>.

Haven, J. (2007). A Definition of 'Carbon Footprint, *Environment Business* 129: 27.

Heijungs, R. & S. Suh. (2002). *The Computational Structure of life Cycle Assessment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Hubacek, K., D. Guan, J. Barrett & T. Wiedmann. (2009). Environmental Implications of Urbanization and Lifestyle Change in China: Ecological and Water Footprints. *Journal of Cleaner Production* 17: 1241–1248.

Jacobsen, R., V. Vandermeulen, G. Vanhuylenbroeck & X. Gellynck. (2014). *A Life Cycle Assessment Application: The Carbon Footprint of Beef in Flanders (Belgium), Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Vol. 2*, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu, Springer.

Lenzen, M. & S.A. Murray. (2001). A Modified Ecological Footprint Method and Its Application to Australia. *Ecological Economics* No 37: 229–255.

Lenzen, M. & S.A. Murray. (2003). *The Ecological Footprint-Issues and Trends*. ISA Research Paper 01-03. The University of Sydney.

Lenzen, M. (2001). Errors in Conventional and Input- Output-based Life-Cycle Inventories. *Journal of Industrial Ecology* 4(4): 127-148. <http://dx.doi.org/10.1162/10881980052541981>.

Mattila, T., J. Judl & J. Seppälä. (2014). *Carbon Footprint of Mobile Devices: Open Questions in Carbon Footprinting of Emerging Mobile ICT Technologies, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Vol. 1*, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu, Springer.

Nakamura, Sh. & Y. Kondo. (2009). Waste Input-Output Analysis, Eco-Efficiency in Industry and Science, vol.6 , Springer.

Pandey, D. & M. Agrawal. (2014). Carbon Footprint Estimation in the Agriculture Sector, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Vol. 1, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu , Springer.

Patel, J. (2006). Green Sky Thinking. Environment Business (122): 32.

Patz Jonathan A., Diarmid Campbell-Lendrum, Tracey Holloway & Jonathan A. Foley. (2005). Impact of Regional Climate Change on Human Health, Nature, Vol 438|17 November 2005| doi: 10.1038/ nature 04188.

POST. (2006). Carbon Footprint of Electricity Generation. POSTnote 268, October 2006, Parliamentary Office of Science and Technology, London, UK. <http://www.parliament.uk/documents/upload/postpn268.pdf>.

Quinteiro, P., M. Almeida, A. Cláudia Dias, A. Araújo & L. Arroja. (2014). The Carbon Footprint of Ceramic Products, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu, Vol. 1, Springer.

Röös, E., C. Sundberg & P. A. Hansson. (2014). Carbon Footprint of Food Products, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Vol. 1, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu, Springer.

Santa Barbra. (2011). County Air Pollution Control District status of Santa Barbara, County Air Quality and Air Pollution Control District (APCD) ,2011

Sanyé-Mengual, E., R.G. Lozano, J. Oliver-Solà, C.M. Gasol & J. Rieradevall. (2014). Eco-Design and Product Carbon Footprint Use in the Packaging Sector, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Vol. 1, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu, Springer.

Sanyé-Mengual, E., R.G. Lozano, R. Farreny, J. Oliver-Solà, C.M. Gasol & J. Rieradevall. (2014). Introduction to the Eco-Design Methodology and the Role of Product Carbon Footprint, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Vol. 1, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu, Springer.

Sei, Wwf & Cure. (2006). Counting Consumption - CO2 emissions, material flows and Ecological Footprint of the UK by region and devolved country. Published by WWF-UK, Godalming, Surrey, UK, 2006. <http://www.ecologicalbudget.org.uk>.

- Solís-Guzmán, J., A. Martínez-Rocamora & M. Marrero. (2014). Methodology for Determining the Carbon Footprint of the Construction of Residential Buildings, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu, Vol. 1, Springer.
- Suh, S., M. Lenzen, G.J. Treloar, H. Hondo, A. Horvath, G. Huppes, O. Jolliet, U. Klann, W. Krewitt, Y. Moriguchi, J. Munksgaard & G. Norris. (2004). System boundary selection in life-cycle inventories using hybrid approaches. *Environmental Science & Technology* 38(3): 657-664.
- Teng, J. & X. Wu. (2014). Eco-Footprint-Based Life-Cycle Eco-Efficiency Assessment of Building Projects. *Ecological Indicators* 39: 160 – 168.
- Varun & Manish Kumar Chauhan. (2014). Carbon Footprint and Energy Estimation of the Sugar Industry: An Indian Case Study, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Vol. 2, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu, Springer.
- Vázquez-Rowe, I., P. Villanueva-Rey, M.T. Moreira & G. Feijoo. (2014). A Review of Energy Use and Greenhouse Gas Emissions from Worldwide Hake Fishing, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Vol. 2, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu, Springer.
- Wackernagel M. & W. Rees. (1996). Our ecological footprint: reducing human impact on the earth. New Society Publishers, Gabriola Island, B. C., Canada.
- Wackernagel, M. (1994). Ecological Footprint and Appropriated Carrying Capacity: A Tool for Planning Toward Sustainability. PhD thesis. Vancouver, Canada: School of Community and Regional Planning. The University of British Columbia. OCLC 41839429.
- Wei, X.Y. & J.X. Xia. (2012). Ecological Compensation for Large Water Projects Based on Ecological Footprint Theory – A Case Study in China. *Procedia Environmental Sciences*, 13: 1338-1345.
- Wiedmann, T., Barrett, J. & M. Lenzen. (2007). Companies on the Scale-Comparing and Benchmarking the Footprints of Businesses. International Ecological Footprint Conference, May 8-10, 2007, Cardiff, UK. http://www.brass.cf.ac.uk/uploads/Wiedmann_et_al_P36.pdf; http://www.isaresearch.co.uk/docs/Wiedmann_et_al_2007_Cardiff_Companies_EF.pdf.
- Wiedmann, T., J. Minx, J. Barrett & M. Wackernagel. (2005). Allocating Ecological Footprints to Final Consumption Categories With Input-Output Analysis, *Ecological Economics*, 56: 28–48.

Zhao, R., X. Chuai, X. Huang, L. Lai & J. Peng. (2014). Carbon Emission and Carbon Footprint of Different Industrial Spaces in Different Regions of China, Assessment of Carbon Footprint in Different Industrial Sectors, Vol. 1, Edited by Subramanian Senthilkannan Muthu, Springer.

