

مدیریت حسابداری کربن در زنجیره تامین تولید

علی لعل بار^{۱*}

نازنین شاملو^۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۸/۱۵ تاریخ چاپ: ۱۴۰۳/۱۱/۳۰

چکیده

سال‌های اخیر، تغییرات اقلیمی و نگرانی‌های زیست‌محیطی، توجه سازمان‌ها را به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای جلب کرده است. حسابداری کربن به عنوان ابزاری قدرتمند برای اندازه‌گیری، تحلیل و مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول زنجیره تامین مطرح شده است. این پژوهش با هدف بررسی جامع مدیریت حسابداری کربن، چارچوب‌های مختلف حسابداری کربن، جایگاه آن در مدیریت زنجیره تامین، چالش‌ها و فرصت‌های پیش رو، انجام شده است. یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد که حسابداری کربن می‌تواند در تمام مراحل زنجیره تامین، از تامین مواد اولیه تا توزیع نهایی محصولات، به کار گرفته شود. با استفاده از این ابزار، سازمان‌ها قادر خواهند بود تا نقاط بحرانی انتشار کربن را شناسایی کرده و اقدامات اصلاحی لازم را انجام دهند. همچنین، حسابداری کربن می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری‌های استراتژیک، افزایش شفافیت و پاسخگویی سازمان‌ها و تقویت روابط با ذینفعان کمک کند. با این حال، پیاده‌سازی حسابداری کربن در زنجیره تامین با چالش‌هایی همچون پیچیدگی زنجیره‌های تامین، عدم وجود استانداردهای جهانی و کمبود داده‌های دقیق مواجه است. علاوه بر این، هزینه‌های پیاده‌سازی، مقاومت در برابر تغییر و کمبود نیروی کار متخصص از دیگر موانع اجرای این سیستم به شمار می‌روند. در نهایت، این پژوهش نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در توسعه و پیاده‌سازی سیستم‌های حسابداری کربن می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا به مزایای رقابتی دست یابند و به عنوان رهبران در زمینه پایداری شناخته شوند. با توجه به روندهای آینده در این حوزه، مانند توسعه استانداردهای جهانی و افزایش تقاضا برای محصولات با ردپای کربن پایین، اهمیت حسابداری کربن در سال‌های آینده بیش از پیش احساس خواهد شد.

واژگان کلیدی

حسابداری کربن، زنجیره تامین، انتشار گازهای گلخانه‌ای، مدیریت محیط زیست.

^۱ استادیار گروه حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران. (نویسنده مسئول: for_lalbar@yahoo.com)

^۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، حسابداری، دانشگاه آزاد اسلامی، اراک، ایران.

مقدمه

اهمیت رو به افزایشی که تغییر اقلیم برای کسب و کارها و جوامع ایجاد کرده است، ضرورت توجه به ردپای کربن در کل زنجیره تامین را بیش از پیش آشکار ساخته است. مدیریت حسابداری کربن به عنوان ابزاری قدرتمند، امکان اندازه گیری، تحلیل و کاهش انتشار گازهای گلخانه ای در طول چرخه عمر محصولات و خدمات را فراهم می آورد (بورگی^۱، ۲۰۲۱).

با توجه به پیچیدگی روزافزون زنجیره های تامین جهانی و فشارهای قانونی و اجتماعی رو به رشد برای کاهش انتشار کربن، بررسی جامع مدیریت حسابداری کربن در زنجیره تامین، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (چن و همکاران^۲، ۲۰۱۹).

مدیریت حسابداری کربن در زنجیره تامین، یک رویکرد استراتژیک برای درک، اندازه گیری و کاهش اثرات زیست محیطی ناشی از فعالیت های یک سازمان است. این رویکرد، با تمرکز بر انتشار گازهای گلخانه ای در طول کل زنجیره تامین از تامین مواد اولیه تا رسیدن محصول نهایی به دست مصرف کننده، به سازمان ها کمک می کند تا به اهداف پایداری خود دست یابند. حسابداری کربن، به سازمان ها امکان می دهد تا به صورت شفاف، میزان انتشار گازهای گلخانه ای خود را گزارش کنند و در مقابل ذینفعان، از جمله سرمایه گذاران، مشتریان و تنظیم گران، پاسخگو باشند. این شفافیت، اعتماد و اعتبار سازمان را افزایش می دهد (اسکوی^۳، ۲۰۱۴).

با شناسایی نقاط انتشار کربن بالا در زنجیره تامین، می توان اقدامات لازم برای کاهش مصرف انرژی، بهبود بهره وری و انتخاب تامین کنندگان با عملکرد محیطی بهتر را انجام داد. این اقدامات به کاهش هزینه های عملیاتی و افزایش رقابتی بودن سازمان کمک می کنند.

حسابداری کربن

حسابداری کربن^۴ فرآیندی است که در آن انتشار گازهای گلخانه ای، به ویژه دی اکسید کربن^۵ در فعالیت های مختلف اندازه گیری، ثبت و تحلیل می شود. هدف اصلی این فرآیند، ارزیابی تأثیر فعالیت های انسانی یا سازمانی بر محیط زیست و کمک به مدیریت کاهش انتشار این گازها است (چن و همکاران^۶، ۲۰۱۹). مراحل اصلی حسابداری کربن به شرح زیر است:

- تعیین مرزهای سیستم: در این مرحله، مشخص می شود که چه فعالیت ها و فرآیندهایی در محاسبات کربن لحاظ خواهند شد. این مرزها می توانند شامل تمام فعالیت های مستقیم و غیرمستقیم سازمان باشند.
- جمع آوری داده ها: داده های مورد نیاز برای محاسبه انتشار کربن شامل مصرف انرژی، مصرف سوخت، تولید زباله و سایر فعالیت هایی است که منجر به انتشار گازهای گلخانه ای می شوند.
- انتخاب روش محاسبه: روش های مختلفی برای محاسبه انتشار کربن وجود دارد که از جمله آنها می توان به روش مستقیم و غیرمستقیم اشاره کرد. روش مستقیم به اندازه گیری مستقیم انتشار گازهای گلخانه ای از منابع مختلف

¹ Borghei

² Chen, et al

³ Ascui

⁴ Carbon Accounting

⁵ CO₂

⁶ Chen, et al

می‌پردازد، در حالی که روش غیرمستقیم از ضرایب انتشار برای تخمین انتشار استفاده می‌کند (هیس و همکاران^۱، ۲۰۲۳).

- محاسبه انتشار: با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده و روش محاسبه انتخاب شده، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای برای هر یک از منابع مشخص می‌شود.
- تحلیل و ارزیابی: پس از محاسبه انتشار، نتایج به دقت تحلیل و ارزیابی می‌شوند تا منابع اصلی انتشار شناسایی شوند.
- گزارش‌دهی: نتایج محاسبات کربن به صورت گزارش تهیه و ارائه می‌شود. این گزارش می‌تواند شامل اطلاعاتی در مورد میزان انتشار، روند تغییرات انتشار، مقایسه با سایر سازمان‌ها و همچنین برنامه‌های کاهش انتشار باشد (هی و همکاران^۲، ۲۰۲۲).

چارچوب‌های مختلف حسابداری کربن

حسابداری کربن، روشی برای اندازه‌گیری، نظارت و گزارش‌دهی انتشار گازهای گلخانه‌ای است. این روش به سازمان‌ها کمک می‌کند تا اثرات زیست‌محیطی خود را بهتر درک کنند و برای کاهش انتشار کربن اقدامات لازم را انجام دهند. در ادامه، برخی از مهم‌ترین چارچوب‌های حسابداری کربن معرفی می‌شوند (مولرو و همکاران^۳، ۲۰۱۹):

پروتکل گازهای گلخانه‌ای: این پروتکل، یک استاندارد جهانی برای اندازه‌گیری و گزارش‌دهی انتشار گازهای گلخانه‌ای است که توسط موسسه جهانی منابع طبیعی و سازمان جهانی محیط زیست توسعه یافته است. پروتکل گازهای گلخانه‌ای شامل سه بخش اصلی است: حسابداری انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح سازمان، حسابداری انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره تامین و حسابداری پروژه‌های کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای (بورگی^۴، ۲۰۲۱).

استاندارد ISO 14064: این استاندارد بین‌المللی، یک چارچوب فنی برای طراحی، توسعه، اجرا و گزارش‌دهی سیستم‌های مدیریت گازهای گلخانه‌ای است. این استاندارد به سازمان‌ها کمک می‌کند تا انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را اندازه‌گیری کنند، اهداف کاهش انتشار را تعیین کنند و پیشرفت خود را در راستای دستیابی به این اهداف ارزیابی کنند (ترنهایت و همکاران^۵، ۲۰۱۵).

استاندارد PAS 2050: این استاندارد بریتانیایی، یک چارچوب برای ارزیابی چرخه عمر کربن محصولات است. این استاندارد به سازمان‌ها کمک می‌کند تا انتشار گازهای گلخانه‌ای مرتبط با محصولات خود را از مرحله استخراج مواد اولیه تا پایان عمر محصول محاسبه کنند.

چارچوب گزارش‌گری مالی: این چارچوب، استانداردهای گزارش‌گری مالی را برای مسائل زیست‌محیطی، اجتماعی و حاکمیتی (ESG) توسعه داده است. چارچوب گزارش‌گری مالی استانداردهایی را برای صنعت انرژی، تولید، حمل‌ونقل و سایر صنایع ارائه می‌دهد که به شرکت‌ها کمک می‌کند تا اطلاعات مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را به صورت شفاف و قابل مقایسه گزارش کنند (هیس و همکاران، ۲۰۲۳).

¹ Heiss, et al

² He, et al

³ Mulrow, et al

⁴ Borghei

⁵ Turnhout, et al

کارگروه افشای مالی مرتبط با آب و هوا (TCFD): این گروه کاری، توصیه‌هایی را برای افشای اطلاعات مرتبط با تغییرات آب و هوا ارائه می‌دهد که به سرمایه‌گذاران و سایر ذینفعان کمک می‌کند تا ریسک‌های و فرصت‌های ناشی از تغییرات آب و هوا را بهتر درک کنند.

هر یک از این چارچوب‌ها، ابزارها و روش‌های خاصی را برای اندازه‌گیری و گزارش‌دهی انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه می‌دهند. انتخاب چارچوب مناسب به عوامل مختلفی مانند اندازه سازمان، نوع فعالیت، الزامات قانونی و اهداف کسب‌وکار بستگی دارد. استفاده از یک چارچوب حسابداری کربن، به سازمان‌ها کمک می‌کند تا به اهداف کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای خود دست یابند، ریسک‌های مرتبط با تغییرات آب و هوا را مدیریت کنند و به بهبود عملکرد زیست‌محیطی خود کمک کنند (ین و همکاران^۱، ۲۰۲۲).

جایگاه حسابداری کربن در مدیریت زنجیره تامین

حسابداری کربن، به عنوان ابزاری مهم در مدیریت زیست‌محیطی، به ارزیابی و مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای در مراحل مختلف زنجیره تامین کمک می‌کند. با توجه به افزایش نگرانی‌ها در مورد تغییرات اقلیمی و الزامات قانونی و اجتماعی، جایگاه حسابداری کربن در مدیریت زنجیره تامین به طور فزاینده‌ای اهمیت یافته است (مولرو و همکاران^۲، ۲۰۱۹). جایگاه حسابداری کربن در مدیریت زنجیره تامین:

- اندازه‌گیری و گزارش‌دهی انتشار گازهای گلخانه‌ای حسابداری کربن به شرکت‌ها این امکان را می‌دهد که انتشار کربن در طول زنجیره تامین را از مرحله تولید مواد اولیه تا تحویل محصول به مشتری نهایی اندازه‌گیری و گزارش کنند. این فرآیند شفافیت بیشتری ایجاد کرده و اعتماد ذینفعان را جلب می‌کند.
- شناسایی منابع اصلی انتشار با تحلیل داده‌های کربن در زنجیره تامین، سازمان‌ها می‌توانند نقاط اصلی انتشار گازهای گلخانه‌ای را شناسایی کرده و برنامه‌هایی برای کاهش آن طراحی کنند. برای مثال، بهینه‌سازی حمل‌ونقل، کاهش مصرف انرژی در فرآیندهای تولید، و انتخاب تامین‌کنندگان پایدار.
- پاسخ به الزامات قانونی و استانداردها در بسیاری از کشورها، مقررات سختگیرانه‌ای در مورد انتشار کربن اعمال می‌شود. حسابداری کربن به سازمان‌ها کمک می‌کند تا الزامات مربوط به استانداردهایی مانند ISO 14064 یا طرح‌های کربن‌زدایی ملی و بین‌المللی را برآورده کنند.
- بهبود کارایی و کاهش هزینه‌ها شناسایی منابع غیرضروری انتشار گازهای گلخانه‌ای اغلب با شناسایی منابع اتلاف منابع مالی نیز همراه است. به عنوان مثال، کاهش مصرف انرژی یا استفاده از فناوری‌های کارآمدتر می‌تواند هزینه‌ها را کاهش دهد.
- مدیریت ریسک و ایجاد فرصت‌های رقابتی سازمان‌هایی که انتشار کربن خود را مدیریت می‌کنند، کمتر در معرض ریسک‌های مرتبط با تغییرات اقلیمی مانند افزایش هزینه انرژی، محدودیت‌های قانونی یا نارضایتی مشتریان قرار می‌گیرند. علاوه بر این، با نشان دادن تعهد به پایداری، می‌توانند مزیت رقابتی در بازار به دست آورند.

¹ Yin, et al

² Mulrow, et al

— توسعه زنجیره تامین سبز حسابداری کربن به سازمان‌ها کمک می‌کند تا با شناسایی و همکاری با تامین‌کنندگان پایدار و اتخاذ سیاست‌های زیست‌محیطی، زنجیره تامین سبزتری ایجاد کنند (باربوسا^۱، ۲۰۱۸).

پیشرفت فناوری، مانند هوش مصنوعی، اینترنت اشیا (IoT) و بلاکچین، ابزارهای دقیق‌تری برای جمع‌آوری، تحلیل و گزارش‌دهی داده‌های کربنی فراهم کرده است. این فناوری‌ها به شرکت‌ها کمک می‌کنند تا فرآیندهای زنجیره تامین خود را به صورت لحظه‌ای مانیتور کرده و عملکرد زیست‌محیطی را بهبود بخشند. حسابداری کربن نه تنها به سازمان‌ها در کاهش اثرات زیست‌محیطی کمک می‌کند، بلکه نقش کلیدی در بهبود بهره‌وری، مدیریت ریسک و توسعه پایدار دارد. این رویکرد به شرکت‌ها اجازه می‌دهد تا در بازارهای رقابتی به عنوان پیشرو در پایداری زیست‌محیطی شناخته شوند (هی و همکاران^۲، ۲۰۲۱).

دلایل اهمیت مدیریت کربن در زنجیره تامین

مدیریت کربن در زنجیره تامین، به ویژه در صنایع پیچیده، از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. دلایل این اهمیت را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد: کاهش انتشار کربن اغلب منجر به کاهش مصرف انرژی و مواد اولیه می‌شود که به نوبه خود هزینه‌های تولید را کاهش می‌دهد. همچنین، شرکت‌هایی که به مدیریت کربن اهمیت می‌دهند، می‌توانند از مزایای مالیاتی و سایر مشوق‌های دولتی بهره‌مند شوند. مصرف‌کنندگان و سرمایه‌گذاران به طور فزاینده‌ای به شرکت‌هایی که به مسائل زیست‌محیطی اهمیت می‌دهند، اعتماد می‌کنند. شرکت‌هایی که موفق به کاهش ردپای کربنی خود شوند، می‌توانند از مزیت رقابتی برخوردار شده و سهم بیشتری از بازار را به خود اختصاص دهند (ژائو و همکاران^۳، ۲۰۲۰).

با تشدید قوانین زیست‌محیطی در سراسر جهان، شرکت‌هایی که به مدیریت کربن توجه کافی نداشته باشند، با خطر جریمه‌های سنگین و آسیب به وجهه برند خود مواجه خواهند شد. همچنین، تغییرات آب و هوایی می‌تواند به اختلال در زنجیره تامین و افزایش هزینه‌های عملیاتی منجر شود. شرکت‌ها به عنوان بخشی از جامعه، مسئولیت دارند تا به حفظ محیط زیست کمک کنند. مدیریت کربن، نشان‌دهنده تعهد شرکت به توسعه پایدار و مسئولیت‌پذیری اجتماعی است. در صنایع پیچیده با زنجیره‌های تامین طولانی و متنوع، مدیریت کربن چالش‌های بیشتری را ایجاد می‌کند. شناسایی و کنترل انتشارات کربن در تمام مراحل زنجیره تامین، نیازمند همکاری نزدیک بین همه بازیگران این زنجیره است. به طور خلاصه، مدیریت کربن در زنجیره تامین، نه تنها به حفظ محیط زیست کمک می‌کند، بلکه به بهبود عملکرد مالی و رقابتی شرکت‌ها نیز منجر می‌شود. در صنایع پیچیده، این اهمیت دوچندان می‌شود، زیرا مدیریت موثر کربن نیازمند درک عمیق از پیچیدگی‌های زنجیره تامین و همکاری تنگاتنگ با تمامی شرکای تجاری است (گیباسیر و همکاران^۴، ۲۰۲۰).

¹ Barbosa, et al

² He, et al

³ Zhao, et al

⁴ Gibassier, et al

چالش‌های اندازه‌گیری و کاهش انتشار کربن در زنجیره‌های تامین

اندازه‌گیری و کاهش انتشار کربن در زنجیره‌های تامین یکی از چالش‌های اصلی در مسیر دستیابی به پایداری محیط‌زیستی است. این موضوع به دلیل پیچیدگی‌های فنی، مدیریتی و فرهنگی با مشکلاتی مواجه است. در ادامه به مهم‌ترین چالش‌ها در این زمینه اشاره می‌شود (کائور و همکاران^۱، ۲۰۲۲):

۱. پیچیدگی زنجیره تامین: زنجیره‌های تامین اغلب چندلایه و شامل تامین‌کنندگان متعددی در مناطق جغرافیایی مختلف هستند. این پیچیدگی‌ها:

— ردیابی انتشارات غیرمستقیم را دشوار می‌کند (انتشارهای Scope 3 مانند انتشارات ناشی از حمل‌ونقل، تامین مواد اولیه یا مصرف محصولات توسط مشتریان).

— داده‌های مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای در سطح تامین‌کنندگان مختلف غیرشفاف و ناهماهنگ هستند.

۲. نبود استانداردهای یکپارچه: استانداردها و روش‌های مختلف برای اندازه‌گیری کربن (مانند پروتکل GHG یا استانداردهای ISO) ممکن است توسط شرکت‌ها به صورت ناهماهنگ به کار گرفته شوند. این مسئله:

— مقایسه بین شرکت‌ها یا بخش‌های مختلف زنجیره را سخت می‌کند.

— اعتماد به داده‌های ارائه‌شده را کاهش می‌دهد.

۳. هزینه‌های اجرایی بالا

— پیاده‌سازی فناوری‌های پایش و اندازه‌گیری دقیق انتشار کربن به تجهیزات پیشرفته و سرمایه‌گذاری قابل توجه نیاز دارد.

— کاهش انتشار کربن نیز مستلزم بازنگری در فرآیندهای تولید، تغییر منابع تامین مواد اولیه، یا استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر است که اغلب پرهزینه هستند.

۴. محدودیت در دسترسی به داده‌ها: بسیاری از شرکت‌ها، به‌ویژه تامین‌کنندگان کوچک‌تر، ممکن است ابزارها و فناوری‌های لازم برای اندازه‌گیری دقیق انتشار کربن را نداشته باشند یا تمایلی به ارائه اطلاعات نشان ندهند.

۵. فشارهای رقابتی و اقتصادی: شرکت‌ها ممکن است در کوتاه‌مدت کاهش انتشار کربن را به دلیل هزینه‌های بالا یا نگرانی از تأثیر آن بر قیمت تمام‌شده کالاها به تعویق بیندازند.

۶. مقاومت فرهنگی و عدم آگاهی: بسیاری از شرکت‌ها، به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه، ممکن است به دلایل زیر تمایلی به اقدامات زیست‌محیطی نداشته باشند:

— کمبود آگاهی نسبت به اهمیت کاهش انتشار کربن.

— نبود قوانین و مشوق‌های کافی از سوی دولت‌ها (کائور و همکاران^۲، ۲۰۲۲).

مزایا و معایب چارچوب‌های حسابداری کربن در زنجیره تامین

هر یک از چارچوب‌های حسابداری کربن که در بحث‌های قبلی به آن‌ها اشاره شد، مزایا و معایب خاص خود را در زمینه زنجیره تامین دارند. در ادامه، به بررسی اجمالی این مزایا و معایب می‌پردازیم (پفیفر و چن^۳، ۲۰۲۴):

¹ Kaur, et al

² Kaur, et al

³ Pfeiffer & Chen

پروتکل گازهای گلخانه‌ای^۱: این پروتکل به دلیل جامعیت و پذیرش گسترده در سطح جهانی، به عنوان یک استاندارد طلایی در حسابداری کربن شناخته می‌شود. مزیت اصلی آن، ارائه یک رویکرد ساختارمند و قابل تطبیق با انواع مختلف کسب و کارها است. با این حال، پیچیدگی این پروتکل و نیاز به جمع‌آوری داده‌های زیاد از تمامی مراحل زنجیره تامین، می‌تواند اجرای آن را دشوار سازد.

استاندارد ISO 14064: این استاندارد به سازمان‌ها کمک می‌کند تا یک سیستم مدیریت گازهای گلخانه‌ای را پیاده‌سازی کنند که منجر به بهبود مستمر عملکرد زیست‌محیطی می‌شود. مزیت دیگر آن، قابلیت یکپارچه‌سازی با سایر سیستم‌های مدیریت مانند ISO 9001 و ISO 14001 است. اما این استاندارد به اندازه پروتکل GHG Protocol به طور خاص بر زنجیره تامین تمرکز ندارد.

استاندارد PAS 2050: این استاندارد برای ارزیابی چرخه عمر کربن محصولات بسیار مناسب است و به سازمان‌ها کمک می‌کند تا اثرات زیست‌محیطی محصولات خود را در طول کل چرخه عمر آن‌ها درک کنند. با این حال، پیچیدگی محاسبات چرخه عمر و نیاز به داده‌های دقیق، می‌تواند اجرای این استاندارد را چالش‌برانگیز کند.

چارچوب گزارشگری مالی پایدار^۲: این چارچوب به شرکت‌ها کمک می‌کند تا اطلاعات مربوط به انتشار گازهای گلخانه‌ای خود را به صورت شفاف و قابل مقایسه گزارش کنند و از این طریق، اعتماد سرمایه‌گذاران را جلب کنند. با این حال، تمرکز اصلی این چارچوب بر گزارشگری مالی است و ممکن است برای مدیریت عملیاتی انتشار گازهای گلخانه‌ای در زنجیره تامین، ابزار کافی نباشد.

کارگروه افشای مالی مرتبط با آب و هوا^۳: این گروه کاری، توصیه‌هایی را برای افشای اطلاعات مرتبط با تغییرات آب و هوا ارائه می‌دهد که به سرمایه‌گذاران کمک می‌کند تا ریسک‌های مرتبط با تغییرات آب و هوا را بهتر ارزیابی کنند. با این حال، کارگروه افشای مالی مرتبط با آب و هوا یک چارچوب الزامی نیست و شرکت‌ها ممکن است در اجرای توصیه‌های آن انعطاف‌پذیری بیشتری داشته باشند (لی^۴، ۲۰۱۲).

به طور کلی، انتخاب بهترین چارچوب حسابداری کربن برای زنجیره تامین به عوامل مختلفی بستگی دارد، از جمله:

– اندازه و پیچیدگی زنجیره تامین: برای زنجیره‌های تامین پیچیده، پروتکل GHG Protocol یا استاندارد ISO 14064 ممکن است مناسب‌تر باشد.

– نوع محصولات و خدمات: برای ارزیابی چرخه عمر کربن محصولات، استاندارد PAS 2050 مناسب‌تر است.

– الزامات قانونی و بازار: برخی از صنایع ممکن است ملزم به رعایت استانداردهای خاصی باشند.

– اهداف سازمان: هر سازمان ممکن است اهداف متفاوتی در زمینه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای داشته باشد و باید چارچوبی را انتخاب کند که به بهترین نحو به این اهداف کمک کند.

در نهایت، توصیه می‌شود که سازمان‌ها برای انتخاب بهترین چارچوب، با مشاوران متخصص در زمینه حسابداری کربن مشورت کنند (ترانت و همکاران^۵، ۲۰۲۴).

¹ GHG Protocol

² SASB

³ TCFD

⁴ Lee

⁵ Truant, et al

مدیریت حسابداری کربن در مراحل مختلف زنجیره تامین

مدیریت حسابداری کربن، فرآیندی است که طی آن، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در هر مرحله از چرخه عمر یک محصول یا خدمت، از تولید تا مصرف، اندازه‌گیری و مدیریت می‌شود. این فرآیند به سازمان‌ها کمک می‌کند تا اثرات زیست‌محیطی خود را کاهش دهند، به اهداف پایداری دست یابند و در بازار رقابتی امروز، موقعیت بهتری کسب کنند. در ادامه، مدیریت حسابداری کربن در مراحل مختلف زنجیره تامین توضیح داده می‌شود (پفیفر و چن^۱، ۲۰۲۴):

- مرحله تامین مواد اولیه: در این مرحله، حسابداری کربن به بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از استخراج، پردازش و حمل‌ونقل مواد اولیه می‌پردازد. عوامل مختلفی مانند منشأ مواد اولیه، روش‌های استخراج، فاصله حمل‌ونقل و نوع سوخت مصرفی در این مرحله، بر میزان انتشار کربن تاثیرگذار هستند.
 - مرحله تولید: در مرحله تولید، حسابداری کربن به اندازه‌گیری انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از فرآیندهای تولید، مصرف انرژی، تولید پسماند و سایر فعالیت‌های مرتبط می‌پردازد. انتخاب تکنولوژی‌های تولید، بهره‌وری انرژی، استفاده از منابع تجدیدپذیر و مدیریت پسماند، از جمله عواملی هستند که در کاهش انتشار کربن در این مرحله موثرند.
 - مرحله توزیع: در مرحله توزیع، حسابداری کربن به بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از حمل‌ونقل محصولات، انبارداری و بسته‌بندی می‌پردازد. انتخاب روش‌های حمل‌ونقل مناسب، بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل، استفاده از بسته‌بندی‌های سبک و قابل بازیافت، از جمله راهکارهایی هستند که برای کاهش انتشار کربن در این مرحله می‌توان اتخاذ کرد.
 - مرحله مصرف: در مرحله مصرف، حسابداری کربن به بررسی انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از استفاده از محصول و دفع آن می‌پردازد. عمر مفید محصول، نحوه استفاده از آن، امکان بازیافت و دفع صحیح آن، از جمله عواملی هستند که بر میزان انتشار کربن در این مرحله تاثیرگذار هستند (کائور و همکاران^۲، ۲۰۲۳).
- در کل، مدیریت حسابداری کربن در زنجیره تامین، یک رویکرد جامع و سیستمی است که به سازمان‌ها کمک می‌کند تا به صورت دقیق و کمی، اثرات زیست‌محیطی خود را شناسایی کرده و برای کاهش آن اقدام کنند. با استفاده از اطلاعات حاصل از حسابداری کربن، سازمان‌ها می‌توانند اهداف کاهش کربن خود را تعیین کنند، عملکرد خود را بهبود بخشند و در نهایت به یک زنجیره تامین پایدار دست یابند. موارد دیگری که می‌توان به آن اشاره کرد:
- اهمیت همکاری بین شرکای زنجیره تامین: برای اجرای موفق مدیریت حسابداری کربن، همکاری بین تمام شرکای زنجیره تامین ضروری است.
 - استفاده از ابزارها و نرم‌افزارهای تخصصی: برای جمع‌آوری، تحلیل و گزارش‌دهی داده‌های مربوط به انتشار کربن، می‌توان از ابزارها و نرم‌افزارهای تخصصی استفاده کرد.
 - اهمیت شفافیت و گزارش‌دهی: گزارش‌دهی شفاف در مورد عملکرد کربن، به افزایش اعتماد ذینفعان و بهبود وجهه سازمان کمک می‌کند.
- با توجه به اهمیت روزافزون مسائل زیست‌محیطی، مدیریت حسابداری کربن به عنوان یک ابزار قدرتمند برای دستیابی به توسعه پایدار مطرح می‌شود (داس و همکاران^۱، ۲۰۱۸).

¹ Pfeiffer & Chen

² Kaur, et al

استراتژی‌های کاهش انتشار کربن در مراحل مختلف زنجیره تامین

مدیریت حسابداری کربن قدم اول برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. اما برای رسیدن به این هدف، استراتژی‌های عملیاتی نیز نیاز است (پفیفر و چن، ۲۰۲۴): در ادامه، استراتژی‌های کاهش انتشار کربن در هر مرحله از زنجیره تامین ارائه داده می‌شود:

- مرحله تامین مواد اولیه: انتخاب تامین‌کنندگانی که از روش‌های تولید پایدار و مواد اولیه تجدیدپذیر استفاده می‌کنند، کاهش فاصله حمل‌ونقل، استفاده از حمل‌ونقل ترکیبی و بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل، از جمله استراتژی‌های کاهش انتشار کربن در این مرحله هستند. همچنین، می‌توان با سرمایه‌گذاری در فناوری‌های جدید و بهبود فرآیندهای تولید مواد اولیه، به کاهش انتشار کربن کمک کرد.

- مرحله تولید: استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، بهبود بهره‌وری انرژی در فرآیندهای تولید، کاهش مصرف آب، مدیریت پسماند و بازیافت مواد، استفاده از مواد اولیه بازیافتی و انتخاب تجهیزات و ماشین‌آلات با کارایی انرژی بالا، از جمله استراتژی‌های کاهش انتشار کربن در مرحله تولید هستند. همچنین، می‌توان با پیاده‌سازی سیستم‌های مدیریت انرژی، به کاهش مصرف انرژی و در نتیجه کاهش انتشار کربن کمک کرد (وتون و همکاران^۱، ۲۰۱۵).

- مرحله توزیع: استفاده از حمل‌ونقل برقی یا هیبریدی، بهینه‌سازی مسیرهای حمل‌ونقل با استفاده از نرم‌افزارهای تخصصی، کاهش وزن بسته‌بندی، استفاده از بسته‌بندی‌های قابل بازیافت و تجدیدپذیر، ایجاد مراکز توزیع منطقه‌ای، از جمله استراتژی‌های کاهش انتشار کربن در مرحله توزیع هستند. همچنین، می‌توان با همکاری با شرکت‌های حمل‌ونقل که به مسائل زیست‌محیطی اهمیت می‌دهند، به کاهش انتشار کربن کمک کرد.

- مرحله مصرف: طراحی محصولات با عمر طولانی‌تر، قابلیت تعمیر و ارتقا، استفاده از مواد قابل بازیافت، تشویق مصرف‌کنندگان به بازیافت محصولات، ارائه خدمات تعمیر و نگهداری، از جمله استراتژی‌های کاهش انتشار کربن در مرحله مصرف هستند. همچنین، می‌توان با آموزش مصرف‌کنندگان در مورد اهمیت کاهش مصرف انرژی و انتخاب محصولات با برچسب انرژی بالا، به کاهش انتشار کربن کمک کرد (بنجافار و همکاران^۲، ۲۰۱۲).

علاوه بر استراتژی‌های ذکر شده، برخی استراتژی‌های کلی نیز می‌توانند در کاهش انتشار کربن در کل زنجیره تامین موثر باشند:

- همکاری با شرکای زنجیره تامین: ایجاد یک شبکه از تامین‌کنندگان و مشتریانی که به مسائل زیست‌محیطی اهمیت می‌دهند، می‌تواند به کاهش انتشار کربن در کل زنجیره تامین کمک کند.

- سرمایه‌گذاری در فناوری‌های نوین: استفاده از فناوری‌های نوین مانند اینترنت اشیا، هوش مصنوعی و بلاکچین می‌تواند به بهبود مدیریت زنجیره تامین و کاهش انتشار کربن کمک کند.

- اندازه‌گیری و گزارش‌دهی: اندازه‌گیری دقیق میزان انتشار کربن در هر مرحله از زنجیره تامین و گزارش‌دهی شفاف آن، به ارزیابی عملکرد و بهبود مستمر کمک می‌کند.

¹ Das, et al

² Vetóné, et al

³ Benjaafar, et al

- جذب سرمایه برای پروژه‌های کاهش کربن: جذب سرمایه از منابع مختلف برای اجرای پروژه‌های کاهش کربن، می‌تواند به تسریع این فرآیند کمک کند.

در نهایت، کاهش انتشار کربن در زنجیره تامین، یک فرآیند پیچیده و چندجانبه است که نیازمند همکاری همه ذینفعان است. با اجرای این استراتژی‌ها، سازمان‌ها می‌توانند به کاهش اثرات مخرب تغییرات اقلیمی کمک کنند و به یک آینده پایدار دست یابند (هیس و همکاران^۱، ۲۰۲۳).

چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی حسابداری کربن در زنجیره تامین

حسابداری کربن در زنجیره تامین، با وجود اهمیت روزافزون آن، با چالش‌های متعددی روبرو است. یکی از چالش‌های اصلی، پیچیدگی و گستردگی زنجیره تامین است. زنجیره تامین شامل طیف وسیعی از فعالیت‌ها، شرکت‌ها و مناطق جغرافیایی است که ردیابی دقیق انتشار کربن در تمام مراحل آن را دشوار می‌کند. همچنین، عدم وجود استانداردهای جهانی یکپارچه برای اندازه‌گیری و گزارش‌دهی انتشار کربن، مقایسه نتایج بین شرکت‌ها و صنایع مختلف را با مشکل مواجه می‌کند. از دیگر چالش‌ها می‌توان به کمبود داده‌های دقیق و قابل اعتماد اشاره کرد. بسیاری از شرکت‌ها به داده‌های کافی در مورد انتشار کربن تامین‌کنندگان خود دسترسی ندارند و این امر محاسبات دقیق را با مشکل مواجه می‌کند. تغییرات مداوم در فناوری‌ها و فرآیندهای تولید نیز بر پیچیدگی حسابداری کربن می‌افزاید (داس و همکاران^۲، ۲۰۱۸).

علاوه بر این، مقاومت در برابر تغییر و هزینه‌های بالای پیاده‌سازی سیستم‌های حسابداری کربن، از دیگر موانع پیش روی این حوزه محسوب می‌شوند. عدم شفافیت در زنجیره تامین نیز چالش دیگری است. بسیاری از شرکت‌ها اطلاعات کافی در مورد تامین‌کنندگان خود و فرآیندهای تولید آن‌ها ندارند، که این امر محاسبه دقیق انتشار کربن را دشوار می‌کند. همچنین، تغییرات در قوانین و مقررات زیست‌محیطی نیز بر پیچیدگی حسابداری کربن می‌افزاید. در نهایت، تعیین مرزهای حسابداری کربن نیز یک چالش مهم است. تعیین اینکه کدام فعالیت‌ها و انتشارات کربن باید در حسابداری کربن یک شرکت گنجانده شود، می‌تواند پیچیده و بحث‌برانگیز باشد. به طور خلاصه، حسابداری کربن در زنجیره تامین با چالش‌هایی مانند پیچیدگی زنجیره تامین، عدم وجود استانداردهای جهانی، کمبود داده‌ها، تغییرات فناوری، مقاومت در برابر تغییر، هزینه‌ها، عدم شفافیت، تغییرات قوانین و مقررات و تعیین مرزهای حسابداری روبرو است. غلبه بر این چالش‌ها نیازمند همکاری بین‌المللی، توسعه استانداردهای جهانی، سرمایه‌گذاری در فناوری اطلاعات و ایجاد انگیزه‌های مناسب برای شرکت‌ها است (کائور و همکاران^۳، ۲۰۲۳).

فرصت‌های پیش روی حسابداری کربن در زنجیره تامین را می‌توان این گونه عنوان نمود:

- کاهش ریسک‌های محیطی و بهبود شهرت برند: شرکت‌هایی که به حسابداری کربن و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای اهمیت می‌دهند، می‌توانند ریسک‌های ناشی از تغییرات اقلیمی، مانند رویدادهای آب و هوایی شدید و تغییرات در مقررات زیست‌محیطی، را کاهش دهند. همچنین، این شرکت‌ها می‌توانند تصویر مثبتی از خود به عنوان سازمان‌های مسئول و پایدار ارائه دهند و به جذب مشتریان و سرمایه‌گذاران بیشتر کمک کنند.

¹ Heiss, et al

² Das, et al

³ Kaur, et al

- مزیت رقابتی: با توجه به افزایش تقاضا برای محصولات و خدمات پایدار، شرکت‌هایی که در زمینه حسابداری کربن پیشرو هستند، می‌توانند مزیت رقابتی قابل توجهی نسبت به رقبای کسب کنند. این شرکت‌ها می‌توانند محصولات و خدمات خود را به عنوان محصولات سبز و پایدار به بازار عرضه کنند و از قیمت‌های بالاتر و تقاضای بیشتر بهره‌مند شوند (هیس و همکاران^۱، ۲۰۲۳).
 - نوآوری و توسعه فناوری: حسابداری کربن نیازمند توسعه ابزارها و فناوری‌های جدید برای اندازه‌گیری دقیق و مدیریت انتشار گازهای گلخانه‌ای است. شرکت‌هایی که در این زمینه سرمایه‌گذاری می‌کنند، می‌توانند به توسعه فناوری‌های نوآورانه کمک کنند و از مزایای این نوآوری‌ها بهره‌مند شوند.
 - ایجاد فرصت‌های شغلی جدید: رشد صنعت حسابداری کربن منجر به ایجاد فرصت‌های شغلی جدید در زمینه‌های مختلفی مانند حسابداری، مهندسی، مشاوره و فناوری اطلاعات می‌شود.
 - همکاری با دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی: شرکت‌هایی که در زمینه حسابداری کربن فعالیت می‌کنند، می‌توانند با دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی همکاری کنند تا در تدوین سیاست‌های زیست‌محیطی و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای مشارکت داشته باشند.
 - توسعه بازارهای جدید: حسابداری کربن می‌تواند به ایجاد بازارهای جدید برای محصولات و خدمات مرتبط با کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک کند. به عنوان مثال، بازارهای کربن و معاملات انتشار می‌توانند فرصت‌های جدیدی برای کسب درآمد ایجاد کنند.
- به طور خلاصه، حسابداری کربن در زنجیره تامین فرصت‌های بسیار بزرگی را برای سازمان‌ها، جوامع و محیط زیست فراهم می‌کند. با توجه به اهمیت روزافزون پایداری و کاهش تغییرات اقلیمی، این حوزه به یکی از مهم‌ترین حوزه‌های فعالیت در دنیای امروز تبدیل شده است (ترانت و همکاران^۲، ۲۰۲۴).

آینده مدیریت حسابداری کربن در زنجیره تامین

- مدیریت حسابداری کربن در زنجیره تامین، به عنوان ابزاری قدرتمند برای اندازه‌گیری، کاهش و گزارش‌دهی انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول چرخه عمر محصولات، به سرعت در حال تکامل است. با افزایش آگاهی در مورد تغییرات آب و هوایی و فشارهای قانونی و اجتماعی، تقاضا برای محصولات و خدمات با ردپای کربنی کمتر رو به افزایش است. در آینده نزدیک، می‌توان انتظار داشت که مدیریت حسابداری کربن در زنجیره تامین تحولات زیر را تجربه کند:
- یکپارچگی بیشتر با فناوری‌های نوین: هوش مصنوعی، بلاکچین و اینترنت اشیا می‌توانند به جمع‌آوری داده‌های دقیق‌تر و سریع‌تر در مورد انتشار کربن کمک کنند و امکان اتوماسیون بسیاری از فرآیندهای حسابداری کربن را فراهم آورند. این فناوری‌ها همچنین می‌توانند به شرکت‌ها کمک کنند تا ردپای کربنی خود را در سطح محصول و حتی در سطح جزء به جزء محصول ردیابی کنند.
 - استانداردسازی جهانی: با افزایش اهمیت حسابداری کربن، تقاضا برای استانداردهای جهانی و قابل مقایسه نیز افزایش یافته است. در آینده، می‌توان انتظار داشت که استانداردهای حسابداری کربن بیشتر توسعه یافته و به طور

¹ Heiss, et al

² Truant, et al

گسترده‌تری پذیرفته شوند. این امر به شرکت‌ها کمک می‌کند تا داده‌های خود را به طور دقیق‌تر و قابل مقایسه‌تری گزارش دهند و به مقایسه عملکرد خود با سایر شرکت‌ها بپردازند.

- گسترش به زنجیره‌های تامین پیچیده‌تر: حسابداری کربن در حال حاضر عمدتاً در زنجیره‌های تامین ساده‌تر مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، در آینده، این ابزار به زنجیره‌های تامین پیچیده‌تر و بین‌المللی نیز گسترش خواهد یافت. این امر مستلزم توسعه روش‌های جدید برای اندازه‌گیری و کاهش انتشار کربن در سراسر زنجیره تامین خواهد بود.

- توجه بیشتر به انتشار غیرمستقیم: تاکنون، اکثر شرکت‌ها بر روی اندازه‌گیری و کاهش انتشار مستقیم کربن تمرکز کرده‌اند. اما در آینده، توجه بیشتری به انتشار غیرمستقیم کربن، مانند انتشار کربن ناشی از تولید برق یا حمل و نقل، معطوف خواهد شد.

- ارتباط بیشتر با تصمیم‌گیری‌های استراتژیک: حسابداری کربن از ابزاری برای گزارش‌دهی به ابزاری برای تصمیم‌گیری استراتژیک تبدیل خواهد شد. شرکت‌ها از داده‌های حسابداری کربن برای شناسایی فرصت‌های کاهش هزینه‌ها، افزایش بهره‌وری و توسعه محصولات و خدمات جدید با ردپای کربنی کمتر استفاده خواهند کرد.

- اهمیت بیشتر نقش حسابداران: با افزایش اهمیت حسابداری کربن، نقش حسابداران در سازمان‌ها نیز تغییر خواهد کرد. حسابداران در آینده نه تنها مسئولیت ثبت و گزارش‌دهی داده‌های مالی را بر عهده خواهند داشت، بلکه در زمینه اندازه‌گیری، تحلیل و کاهش انتشار کربن نیز نقش فعالی ایفا خواهند کرد.

به طور کلی، آینده مدیریت حسابداری کربن در زنجیره تامین بسیار روشن است. با توجه به اهمیت روزافزون پایداری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، این ابزار به یکی از مهم‌ترین ابزارهای مدیریت در سازمان‌ها تبدیل خواهد شد.

بحث و نتیجه‌گیری

حسابداری کربن، سازمان‌ها را به سمت توسعه محصولات و خدمات پایدارتر سوق می‌دهد. با در نظر گرفتن اثرات زیست محیطی در طول چرخه عمر محصول، می‌توان محصولات با ردپای کربن کمتر را طراحی و تولید کرد. سازمان‌هایی که به مدیریت حسابداری کربن اهمیت می‌دهند، می‌توانند از مزایای رقابتی متعددی بهره‌مند شوند. این مزایا شامل بهبود تصویر برند، جذب مشتریان آگاه از محیط زیست، دسترسی به بازارهای جدید و کاهش ریسک‌های مرتبط با تغییرات آب و هوایی است. با توجه به افزایش توجه جهانی به تغییرات آب و هوایی، بسیاری از کشورها و سازمان‌های بین‌المللی، قوانین و مقرراتی را برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای وضع کرده‌اند. حسابداری کربن، به سازمان‌ها کمک می‌کند تا با این قوانین و مقررات تطابق پیدا کنند و از جریمه‌های احتمالی جلوگیری کنند. در نهایت، مدیریت حسابداری کربن در زنجیره تامین، یک ابزار قدرتمند برای سازمان‌هایی است که می‌خواهند به مسئولیت اجتماعی خود عمل کنند و به آینده پایدار کمک کنند. با پیاده‌سازی این رویکرد، سازمان‌ها می‌توانند به بهبود عملکرد محیطی خود، کاهش هزینه‌ها، افزایش نوآوری و کسب مزیت رقابتی دست یابند.

در این پژوهش مروری، چارچوب‌های مختلف حسابداری کربن و جایگاه آن‌ها در مدیریت زنجیره تامین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که حسابداری کربن به عنوان ابزاری قدرتمند برای اندازه‌گیری، تحلیل و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در طول زنجیره تامین عمل می‌کند. با این حال، چالش‌هایی همچون پیچیدگی زنجیره‌های تامین، عدم وجود استانداردهای جهانی و کمبود داده‌های دقیق، اجرای این سیستم را با موانعی مواجه ساخته است. بررسی‌های

انجام شده نشان می‌دهند که حسابداری کربن می‌تواند در تمام مراحل زنجیره تامین، از تامین مواد اولیه تا توزیع نهایی محصولات، به کار گرفته شود. با استفاده از این ابزار، سازمان‌ها قادر خواهند بود تا نقاط بحرانی انتشار کربن را شناسایی کرده و اقدامات اصلاحی لازم را انجام دهند. همچنین، حسابداری کربن می‌تواند به بهبود تصمیم‌گیری‌های استراتژیک، افزایش شفافیت و پاسخگویی سازمان‌ها و تقویت روابط با ذینفعان کمک کند. چارچوب‌های مختلف حسابداری کربن هر کدام مزایا و معایب خاص خود را دارند. برخی از این چارچوب‌ها بر روی اندازه‌گیری مستقیم انتشار کربن تمرکز دارند، در حالی که برخی دیگر از رویکردهای مبتنی بر فعالیت برای محاسبه انتشار استفاده می‌کنند. انتخاب چارچوب مناسب به عوامل مختلفی از جمله نوع محصول، ساختار زنجیره تامین و اهداف سازمان بستگی دارد. در مجموع، می‌توان نتیجه گرفت که حسابداری کربن نقش بسیار مهمی در دستیابی به اهداف پایداری و کاهش اثرات تغییر اقلیم ایفا می‌کند. با وجود چالش‌های موجود، سرمایه‌گذاری در توسعه و پیاده‌سازی سیستم‌های حسابداری کربن می‌تواند به سازمان‌ها کمک کند تا به مزایای رقابتی دست یابند و به عنوان رهبران در زمینه پایداری شناخته شوند.

منابع و مأخذ

- Afionis, S., Sakai, M., Scott, K., Barrett, J., & Gouldson, A. (2017). Consumption-based carbon accounting: does it have a future?. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 8(1), e438.
- Ascui, F. (2014). A review of carbon accounting in the social and environmental accounting literature: what can it contribute to the debate?. *Social and Environmental Accountability Journal*, 34(1), 6-28.
- Benjaafar, S., Li, Y., & Daskin, M. (2012). Carbon footprint and the management of supply chains: Insights from simple models. *IEEE transactions on automation science and engineering*, 10(1), 99-116.
- Borghei "Carbon disclosure: a systematic literature review" *Accounting & Finance*, 61 (4) (2021), pp. 5255-5280.
- Chen, G., Shan, Y., Hu, Y., Tong, K., Wiedmann, T., Ramaswami, A., ... & Wang, Y. (2019). Review on city-level carbon accounting. *Environmental science & technology*, 53(10), 5545-5558.
- Das, C., & Jharkharia, S. (2018). Low carbon supply chain: A state-of-the-art literature review. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 29(2), 398-428.
- Fan, Q. Tang, L. Pan "An international study of carbon information asymmetry and independent carbon assurance" *British Accounting Review*, 53 (1) (2021) Jan., doi: 10.1016/J.BAR.2020.100971.
- Gibassier, G. Michelon, M. Cartel "The future of carbon accounting research: 'we've pissed mother nature off, big time,'" *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*, 11 (3) (2020), pp. 477-485.
- He, L. Luo, A. Shamsuddin, Q. Tang "Corporate carbon accounting: a literature review of carbon accounting research from the Kyoto Protocol to the Paris Agreement" *Accounting & Finance* (2021) doi: 10.1111/ACFI.12789
- He, R., Luo, L., Shamsuddin, A., & Tang, Q. (2022). Corporate carbon accounting: a literature review of carbon accounting research from the Kyoto Protocol to the Paris Agreement. *Accounting & Finance*, 62(1), 261-298.
- Heiss, J., Oegel, T., Shakeri, M., & Tai, S. (2023). Verifiable carbon accounting in supply chains. *IEEE Transactions on Services Computing*.
- Kaur, R., Patsavellas, J., Haddad, Y., & Salonitis, K. (2022). Carbon accounting management in complex manufacturing supply chains: A structured framework approach. *Procedia CIRP*, 107, 869-875.

- Kaur, R., Patsavellas, J., Haddad, Y., & Salonitis, K. (2023). The concept of carbon accounting in manufacturing systems and supply chains. *Energies*, 17(1), 10.
- Lee, K. H. (2012). Carbon accounting for supply chain management in the automobile industry. *Journal of Cleaner Production*, 36, 83-93.
- Maury, P. Loubet, S.M. Serrano, A. Gallice, G. Sonnemann "Application of environmental life cycle assessment (LCA) within the space sector: A state of the art" *Acta Astronautica*, 170 (2020), pp. 122-135.
- Mulrow, K. Machaj, J. Deanes, S. Derrible "The state of carbon footprint calculators: An evaluation of calculator design and user interaction features" *Sustainable Production and Consumption*, 18 (2019), pp. 33-40.
- Pfeiffer, T., & Chen, H. (2024). Carbon Accounting Methods and Supply Chain Efficiency.
- Sial, M. S., Cherian, J., Salman, A., Comite, U., Anh Thu, P., & Brugni, T. V. (2022). The role of carbon accounting in carbon management system: Empirical evidence from the coastal areas of the world. *Journal of Public Affairs*, 22(4), e2705.
- Truant, E., Crocco, E., Corazza, L., & Borlatto, E. (2024). Life cycle thinking and carbon accounting in sustainable supply chains: a structured literature review and research agenda. *Sustainability Accounting, Management and Policy Journal*.
- Turnhout, E., Skutsch, M. M., & de Koning, J. (2015). Carbon accounting. In *Research handbook on climate governance* (pp. 366-376). Edward Elgar Publishing.
- Vetőné Móznér, Z. (2015). Carbon accounting in long supply chain industries. *Corporate carbon and climate accounting*, 143-162.
- Yin, L., Sharifi, A., Liqiao, H., & Jinyu, C. (2022). Urban carbon accounting: An overview. *Urban Climate*, 44, 101195.
- Zhao-Hui, Z. Wei-Min, X. Zhong-Yue, S. Jia-Bin, L. Dongdong "Research on Extended Carbon Emissions Accounting Method and Its Application in Sustainable Manufacturing" *Procedia Manufacturing*, 43 (2020), pp. 175-182.