فصلنامه انسان و محیط زیست، شماره ۴۷، زمستان ۹۷

کاربرد ارزیابی چرخه‌ی حیات در بررسی آثار محیط زیستی محصولات

الما محمدی[۱]

سید حامد میرکریمی [۲]

مرجان محمدزاده [۳*]

marjan.mohammadzadeh@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۲/۰۵ **تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۳/۰۴**

چکیده

گسترش مشکلات محیط زیستی جوامع را به سوی استفاده صحیح و آگاهانه از منابع سوق می‌دهد. ارزش واژه‌هایی چون محصولات دوست‌دار محیط زیست و تکنولوژی‌های سبز در بین مصرف‌کنندگان و مدیران روز به روز در حال افزایش است. در این راستا روش ارزیابی چرخه‌ی حیات با هدف بررسی آثار محیط زیستی یک محصول تمام فرآیندها و مواد مورد استفاده برای ایجاد و استفاده و مرحله‌ی بعد از استفاده آن را در نظر می‌گیرد. با توجه به افزایش میزان استفاده از این روش در جامعه علمی و صنعتی جهانی و عدم توجه کافی به آن در کشور، این مجموعه با هدف معرفی بیش‌تر این روش گردآوری شده است. در بخش‌های مختلف این مقاله ابتدا مراحل تکوین و تکمیل این روش، برخی از کاربردهای آن در بخش‌های مختلف اقتصادی و نحوه‌ی انجام ۴ مرحله‌ی انجام آن شرح داده شده است. سپس برخی نرم‌افزارهای مورد استفاده در این روش با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در نهایت چشم‌انداز آینده‌ی روش ارزیابی چرخه‌ی حیات شرح داده شده است که طبق آن به نظر می‌رسد ارزیابی چرخه‌ی حیات به سوی در نظر گرفتن مولفه‌های توسعه پایدار (مردم، سیاره زمین و رشد) پیش می‌رود.

کلمات کلیدی: ارزیابی چرخه‌ی حیات، توسعه پایدار، استانداردهای ایزو، مشکلات محیط زیستی.

۱-کارشناسی ارشد علوم محیط زیست ، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۲- دانشیار گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران.

۳- استادیار گروه محیط زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان، ایران. *(مسوول مکاتبات)

Human & Environment., No. 47, Winter 2019

Using of Life Cycle Assessment to survey environmental impacts of products

Elma Mohammadi [1]
Seyed hamed Mirkarimi [2]
Marjan Mohammadzadeh [3] *(Corresponding Author)
marjan.mohammadzadeh@gmail.com

Abstract

Societies are going toward informed and proper usage of resources in respond to the widespread environmental problems. Value of terms like environmental friendly products and green technologies are increased among managers and users day by day. In this regard, Life Cycle Assessment method with the goal of surveying environmental impacts of products, considers all of the processes and materials used for building, using and after using phases of a product. The application of this method is increasing in the global scientific and industrial community, but in our country there has not been sufficient attention to this subject, thus this paper was written in order to introduce this method. In different parts of this research, first the development and completion of this method, some of its usages in different economic sectors, and the way of accomplishing its 4 stages were explained. Then some available software to accomplish this method was compared with each other. Finally, future prospect of Life Cycle Assessment was described, and it seems that this method is going toward considering component of sustainable development (People, Planet, and Prosperity).

Key Words: Life Cycle Assessment, Sustainable Development, ISO Standards, Environmental Problems.

1- MSc in of Environmental Science, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
2- Assosiate professor, Department of Environment, University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.
3- Assistant professor, College of Fisheries and Environmental Science, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran. *(Corresponding Author)*

مقدمه

مشکلات محیط زیستی جهانی مانند گرم شدن زمین، از بین رفتن اکوسیستم‌ها و کاهش منابع بشر را به چاره‌اندیشی واداشته است. سعی در استفاده از تکنولوژی‌های سبز و تولید محصولات دوست‌دار محیط زیست از جمله اقداماتی است که برای بهبود این مشکلات صورت می‌پذیرد و بر این اساس تلاش‌ها در جهت کم کردن آثار منفی محصولات[۱] بر محیط زیست است. نکته اینجاست که آلودگی‌ای که یک محصول به محیط زیست وارد می‌کند فقط مربوط به مرحله‌ی استفاده از آن نیست و سهم زیادی از انتشار آلاینده‌ها در بسیاری از محصولات مربوط به مراحل تولید محصول، حمل و نقل و یا دفع آن‌هاست (۱). روش ارزیابی چرخه‌ی حیات یا LCA (Life Cycle Assessment) عمدتا با هدف یافتن فرآیند یا ماده‌ای با بیش‌ترین میزان تولید آلاینده در چرخه‌ی حیات یک محصول خاص بکار می‌رود. منظور از چرخه‌ی حیات در این اصطلاح تمام مراحلی است که یک محصول طی می‌کند؛ از تولید مواد اولیه و انتقال مواد به کارخانه تا ساخت و سرهم بندی محصول، انتقال به محل استفاده، استفاده از محصول و در نهایت مراحل بعد از استفاده از محصول همچنین می‌توان از این روش برای بررسی آثار محیط زیستی چند محصول در جهت معرفی محصول با آثار محیط زیستی منفی کم‌تر استفاده نمود. اصول و چارچوب ارزیابی چرخه‌ی حیات و الزامات و راهنمایی‌های آن در استانداردهای ایزو ۱۴۰۴۰ و ۱۴۰۴۴ تعریف شده‌اند (۲، ۳)، اما برخی اصطلاحات موجود در این استانداردها به اندازه کافی شرح داده نشده‌اند و یا جزئیات به خوبی مطرح نشده است همچنین تاکنون در کشور ما به این استاندارد و جزئیات آن در بخش تولید و صنعت توجه زیادی نشده است. از این‌رو تحقیق حاضر جهت معرفی این روش و نحوه‌ی استفاده از آن گردآوری شده است. در بخش‌های مختلف این تحقیق ابتدا روش ارزیابی چرخه‌ی حیات تعریف شده، سپس نحوه‌ی تکامل این روش و برخی از کاربردهای آن در بخش‌های مختلف اقتصادی شرح داده شده است. سپس مراحل مختلف ارزیابی چرخه‌ی حیات شرح داده شده و برخی نرم‌افزارهای انجام آن بررسی شده است. در نهایت چشم‌انداز آینده‌ی این روش ارایه گردیده است.

تعریف ارزیابی چرخه‌ی حیات

بر اساس تعریف موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، ارزیابی چرخه‌ی حیات (LCA) عبارت است از "گردآوری و ارزیابی درون‌دادها (Inputs)، برون‌دادها (Outputs) و پیامدهای بالقوه محیط زیستی سیستم محصول (Product System) در سراسر چرخه‌ی حیات آن" (۲). در تعریفی دیگر ارزیابی چرخه‌ی حیات ابزاری برای ارزیابی اثرات محیط-زیستی یک محصول در طی چرخه‌ی حیات آن، از تهیه‌ی مواد اولیه، تولید و مرحله‌ی استفاده از محصول تا مدیریت پسماند است (۴). کلاپفر[۲](۵)، ارزیابی چرخه‌ی حیات را یک آنالیز علمی مقایسه‌ای و ارزیابی اثرات محیط زیستی سیستم‌های تولید معرفی کرده است. در مجموع با فرآیند ارزیابی چرخه‌ی حیات می‌توان اثرات محیط زیستی بالقوه‌ی یک محصول را محاسبه و میزان تفاوت در اثرات در نتیجه‌ی اعمال تغییرات مانند تغییر در مواد اولیه یا مراحل و نحوه‌ی ساخت و یا طراحی محصول را بررسی کرد، همچنین می‌توان اثرات محیط زیستی یک محصول را با محصولات مشابه مقایسه نمود.

نحوه‌ی تکامل روش ارزیابی چرخه‌ی حیات

این روش در دهه‌ی ۱۹۶۰ میلادی و با هدف ارزیابی مشکلات مربوط به مواد خام و نیاز انرژی در بخش صنعت مطرح شد (۶). گوئینی[۳] و همکاران (۱)، تغییر و تکامل LCA بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۲۰۱۰ را در سه مرحله دسته‌بندی کرده‌اند؛ ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰: دوره‌ی فهم و ادراک LCA، ۱۹۹۰ تا ۲۰۰۰: دوره‌ی استانداردسازی و ایجاد چارچوب و قوانین برای آن، و ۲۰۰۰ تا

۱- واژه‌ی محصول شامل هرگونه کالا و خدمات است.

2-Klopffer
3-Guinee

۲۰۱۰: دوره‌ی پرداختن به جزئیات. کلاپفر (۵، ۷)، مطالعات بین سال‌های ۱۹۷۰ تا ۱۹۹۰ را ارزیابی چرخه‌ی حیات اولیه (Proto-LCA) خوانده و بیان می‌کند که در ارزیابی چرخه‌ی حیات در آن دوره نیز مقایسه سیستم‌ها به وسیله واحد کارکردی (Functional Unit) و از گهواره تا گور (Cradle-to-Grave) بوده و فهرست‌نویسی چرخه‌ی حیات یا LCI (Life Cycle Inventory) و حتی ارزیابی اثرات (به طور ابتدایی) انجام می‌شده است. اما تا اواخر آن دوره هنوز تاکید بیش‌تر روی ذخیره‌ی انرژی و حفظ مواد بوده تا آلودگی‌ها (۵). یکی از اولین مطالعاتی که در آن‌ها از روش LCA استفاده گردید مقایسه‌ی فواید و مضرات استفاده از بطری شیشه‌ای و پلاستیکی در شرکت کوکاکولا بود (۱). در این مطالعه که ظاهرا هری تزلی[1]مدیر مطالعات این پروژه روش آن را ابداع کرده است (۵)، میزان مواد خام و سوخت مورد نیاز و بار محیط زیستی ناشی از فرآیند ساخت هر دو نوع بطری اندازه‌گیری شده‌است (۶). پس از این مطالعه فرآیند اندازه‌گیری مواد اولیه و میزان رهاسازی مواد در محیط طی فرآیندهای تولید با نام آنالیز منابع و نیم‌رخ محیط زیستی (Resource and Environmental Profile Analysis) در آمریکا و تراز اکولوژیکی (Ecobalance) در اروپا شناخته شد (۶).

نقش انجمن سم‌شناسی محیط زیست و شیمی یا SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry) در ایجاد و تنظیم LCA بسیار پایه‌ای شمرده شده و بیان شده است که این انجمن در کارگاه سسیمبرا (Sesimbra workshop) در سال ۱۹۹۳ چارچوب LCA را بازبینی و ساختار آن را شامل ۴ بخش: تعریف هدف و دامنه، تجزیه و تحلیل فهرست (Inventory Analysis)، ارزیابی اثرات و ارزیابی بهسازی (Improvement Assessment) معرفی کرده است، که عنصر چهارم بعداً توسط موسسه استاندارد با تفسیر (Interpretation) جایگزین شده است (۵). همچنین در استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ اصول و چارچوب ارزیابی چرخه‌ی حیات و در استاندارد ایزو ۱۴۰۴۴ الزامات و راهنمایی‌های آن بیان شده‌اند (۲، ۳). در سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۰ اصطلاحاتی مانند تفکر چرخه‌ی حیاتی (Life Cycle Thinking) ارزیابی چرخه‌ی حیات خطر محور(Risk-based LCA) و ارزیابی چرخه‌ی حیات هیبرید (Hybrid LCA) و روش‌های هزینه‌ی چرخه‌ی حیات (Life Cycle Costing) و چرخه‌ی حیات اجتماعی (Social Life Cycle) معرفی و توسعه پیدا کردند (۱). تغییرات حاصل شده یا احتمالی این روش در بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ در بخش آخر مقاله شرح داده شده است.

کاربردهای روش ارزیابی چرخه‌ی حیات

از جمله کاربردهای روش ارزیابی چرخه‌ی حیات می‌توان به توسعه و بهبود محصول، طرح‌ریزی راهبردی، تهیه خط مشی عمومی و بازاریابی اشاره کرد (۲). استفاده از سوخت‌های فسیلی (۸)، محصولات پلیمری و نانوتکنولوژی (۹)، صنعت ساختمان (۱۰)، محصولات غذایی (۱۱) و مدیریت پسماندها (۱۲) از جمله بخش‌هایی هستند که در سطح جهانی ارزیابی چرخه‌ی حیات در آن‌ها استفاده گسترده‌ای پیدا کرده است. از جمله مطالعات صورت گرفته در کشور نیز عبارتند از: مطالعاتی که برای مقایسه روش‌های مختلف مدیریت پسماند انجام شده است (۱۳، ۱۴، ۱۵). مقایسه انواع نیروگاه‌های برق (۱۶) و ارزیابی چرخه‌ی حیات محصولات زراعی (۱۷، ۱۸، ۱۹). یکی از کاربردهای ارزش‌مند این روش برای مدیران کمک به تصمیم-گیری در مورد انتخاب بهترین گزینه بین چند تکنولوژی سبز است، برای مثال فلین (۲۰)، آثار محیط زیستی ایجاد بام سبز و باغ بام- که هردو از بهترین گزینه‌های مدیریت رواناب‌ها هستند- را با استفاده از روش ارزیابی چرخه‌ی حیات انجام داد. بدیهی است که برای تصمیم‌گیری در کنار آثار محیط زیستی باید به جوانب اقتصادی و اجتماعی هر محصول نیز توجه کرد. از این‌رو تحقیقات جدید ارزیابی‌چرخه‌ی حیات سعی در گنجاندن این جوانب در چرخه‌ی حیات محصولات دارند.

مراحل ارزیابی چرخه‌ی حیات

طبق استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ (تصویب شده در سال ۲۰۰۶)، ارزیابی چرخه‌ی حیات از ایجاد محصول تا مرحله‌ی بعد از

1-Harry Teasly

استفاده در ۴ مرحله شامل: تعریف هدف و دامنه، تجزیه و تحلیل فهرست، ارزیابی اثرات و تفسیر انجام می‌شود (۲). مفهوم این مراحل و نحوه‌ی اجرای LCA در این تحقیق به ترتیب شرح داده شده است:

تعریف هدف و دامنه

در این بخش فرآیند یا محصول مورد بررسی تعریف و توصیف شده و مرز سیستم (System boundaries) و واحد کارکردی آن مشخص می‌گردد (۱۷). در مرحله‌ی اول باید بر اساس هدف از انجام ارزیابی چرخه‌ی حیات محدوده‌ی کار یا مرز سیستم مشخص گردد. انتخاب محدوده به صورت تقریبی است و طی مراحل بعدی امکان افزایش و یا کاهش محدوده‌ی کار وجود دارد، این امر می‌تواند به دلیل بهینه‌سازی عمل ارزیابی و یا عملی نبودن اندازه‌گیری بخش‌هایی از آن صورت پذیرد. برای مثال حمل و نقل مواد از فرآیندهایی است که در اکثر ارزیابی‌ها وجود دارد. اگر چرخه‌ی حیات وسیله‌ی باربری و به دنبال آن چرخه‌ی حیات تک تک اجزا و وسیله‌های نقلیه‌ای که خود اجزا را جابجا کرده‌اند را در نظر بگیریم زنجیره‌ای تو در تو و ناپایان خواهیم داشت، همچنین برای مثال سهم اثر محیط زیستی‌ای ساخت پیچ موجود در وسیله‌ی نقلیه در ارزیابی چرخه‌ی حیات یک محصول بسیار ناچیز است و چشم پوشی از آن تاثیری روی نتایج نخواهد داشت. در واقع هدف مدل‌سازی چرخه‌ی حیات یک محصول یا فرآیند است و مدل، ساده‌شده‌ی حقیقت است و ساده‌سازی یعنی حذف بخش‌هایی از آن (۲۱). در نتیجه برای مرزبندی سیستم برخی مواد و فرآیندها را می‌توان نادیده گرفت، تا جایی که تغییر زیادی در نتایج ایجاد نکند. واحد کارکردی واحدی است (برای مثال جرم یا حجم) که اندازه‌گیری‌ها بر اساس آن صورت می‌گیرد و انتخاب آن مخصوصا برای مقایسه‌ی چند نوع محصول (۲۲) بسیار مهم است. برای مثال برای مقایسه‌ی اثر محیط زیستی بسته‌بندی شیر پاستوریزه در شیشه و یا کارتون مقوایی واحد کارکردی را می‌توان بسته‌بندی و نقل و انتقال ۱۰۰۰ لیتر شیر در نظر گرفت (۲۲). نتایج LCA وابسته به واحد کارکردی انتخاب شده است (۲۱)، برای مثال فلین[1](۲۰)، ارزیابی چرخه‌ی حیات را برای مقایسه‌ی فواید و اثرات منفی بام سبز و باغ باران[2] با سه واحد کارکردی متفاوت شامل یک ایکر از صفحه‌ی زهکش، هزینه و ردپای تکنیکی (Practice Footprint) انجام داد و به نتایجی بسیار متفاوت دست یافت.

تجزیه و تحلیل فهرست (سیاهه‌ی) چرخه‌ی حیات

تجزیه و تحلیل سیاهه عبارت از گردآوری و کمی‌سازی درون دادها و برون‌دادها برای یک سیستم محصول در طول چرخه‌ی حیات آن است (۲). گردآوری اطلاعات باید بر اساس هدف و مرز مطالعه صورت پذیرد. البته به علت ماهیت چرخه‌ای ارزیابی چرخه‌ی حیات امکان تصحیح دامنه در حین مطالعه وجود دارد. این بخش زمان‌بر ترین بخش ارزیابی چرخه‌ی حیات است. البته فهرستی که توسط یک فرد یا گروه برای محصولی خاص تهیه می‌شود، روند کار را برای تحقیقات بعدی تسهیل می‌کند. نرم‌افزارهایی که ارزیابی چرخه‌ی حیات را انجام می‌دهند اکثر فرآیندها و مواد مورد نیاز برای مدل‌سازی چرخه‌ی حیات محصولات و فرآیندها را به صورت آماده دارند. در واقع یکی از خصوصیاتی که یک نرم‌افزار ارزیابی چرخه‌ی حیات را نسبت به دیگری برجسته می‌کند پایگاه داده‌ای فهرست‌نویسی غنی است. هرچه پایگاه‌های داده در یک بخش غنی‌تر باشند روند انجام ارزیابی چرخه‌ی حیات سریع‌تر خواهد بود. اکواینونت (Ecoinvent) یکی از پایگاه‌های داده شناخته شده و غنی است که توسط شرکت‌هایATH Domain و دفاتر فدرال سوئیس تاسیس شده است (۲۳) و شامل فهرست چرخه‌ی حیات صنعتی در سطح بین‌المللی در بخش‌های تامین انرژی، استخراج منابع، تامین مواد، مواد شیمیایی، فلزات، کشاورزی، خدمات مدیریت پسماند و خدمات حمل و نقل است (۲۴). برخی پایگاه‌های داده نیز برای موضوع و مکان خاصی تهیه شده‌اند، برای مثال AGRIBALISE ، که توسط آژانس

1-Flynn

۲- Rain Garden، حوضچه‌های کوچکی که برای جمع‌آوری و مدیریت آب باران کاربرد دارند

محیط زیست و مدیریت انرژی فرانسه تهیه شده و شامل محصولات کشاورزی اصلی این کشور است (۲۴). این پایگاه داده در نتیجه‌ی برنامه‌ی AGRIBALISE با همکاری ۱۴ موسسه‌ی صنعتی و تحقیقی انجام شده است و با هدف تولید فهرست چرخه‌ی حیات محصولات کشاورزی و از گهواره تا دروازه مزرعه[۱]است (۲۵). اخیرا نیز پایگاه‌های داده‌ای برای ارزیابی چرخه‌ی حیات اجتماعی ایجاد شده‌اند که Social Hotspots و PSILCA از جمله‌ی آن‌ها هستند. می‌توان در صورت کمبود زمان، بودجه، امکانات و اطلاعات، از برخی و یا تمام داده‌های موجود در پایگاه‌های داده‌ی آماده استفاده کرد. همچنین کاربر می‌تواند بدون استفاده از فرآیندهای از پیش فهرست نویسی شده در نرم‌افزار، ورودی‌ها از منابع طبیعی (مانند خاک) و منابع انسان‌ساخت (مانند پلیمرها)، خروجی یا خروجی‌ها (محصول مورد نظر و محصولات فرعی) و مواد منتشره به محیط زیست (مانند دی‌اکسید کربن) را به طور دقیق و با جزئیات کامل فهرست‌نویسی کند، که در این صورت احتمالا میزان دقت و صحت در داده‌ها و نتایج LCA بیش‌تر خواهد بود.

ارزیابی اثرات

ارزیابی اثرات عبارت از ارزش‌گذاری بزرگی و اهمیت پیامدهای بالقوه محیط زیستی برای یک سیستم محصول در سراسر چرخه‌ی حیات آن است (۲). در واقع این مرحله به اطلاعات جمع‌آوری شده در مرحله‌ی قبل مفهوم و ارزش می‌بخشد. برای مثال در مرحله‌ی فهرست‌نویسی مشخص می‌شود که تولید یک محصول مقدار مشخصی از یک آلاینده‌ی خاص تولید می‌کند، سپس در مرحله‌ی ارزیابی اثرات چرخه‌ی حیات یا LCIA (Life Cycle Impact Assessment) اهمیت این مقدار آلاینده با بیان تاثیر آن در رده پیامدها (Impact Categories) یا طبقات اثر تعیین می‌گردد. از جمله طبقه پیامد یا اثراتی که در یک ارزیابی چرخه‌ی حیات می‌توان اندازه‌گیری کرد عبارتند از: تغییر آب و هوا، کاهش لایه‌ی اوزون، اسیدی شدن و ساخت اوزون فتوشیمیایی (۳). استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ و ۱۴۰۴۴ عناصر یا زیرمرحله‌های ارزیابی اثرات بالقوه‌ی محیط زیستی یک محصول را در دو دسته‌ی اجباری و اختیاری بیان می‌کنند؛ عناصر اجباری شامل رده‌بندی (Classification) یا طبقه‌بندی و ویژه‌سازی (Characterization) یا تعیین خصوصیت و عناصر اختیاری شامل نرمال‌سازی، گروه‌بندی و رتبه‌دهی، و وزن‌دهی هستند (۲، ۳). بعد از فهرست‌نویسی حجم بزرگی از آلوده‌کننده‌های مختلف بدست می‌آید. در زیرمرحله‌ی طبقه‌بندی اطلاعات بدست آمده از فهرست‌نویسی چرخه‌ی حیات در طبقات اثر متفاوت قرار می‌گیرند. برای مثال گازهایی مانند CO_2 و CH_4 در طبقه اثر تغییر آب و هوا جای می‌گیرند. این گازها در طبقات اثر دیگر نیز می‌توانند قرار بگیرند، زیرا یک آلوده‌کننده امکان مشارکت در چند اثر نامطلوب محیط زیستی را دارد. برای بررسی میزان کل پیامد محیط زیستی محصول در یک طبقه‌ای اثر نمی‌توان صرفا اعداد آن را با هم جمع کرد، این امر به دلیل نابرابر بودن میزان اهمیت و اثر عوامل مختلف در یک پیامد است، برای مثال نقش و پتانسیل CO_2 و CH_4 در تغییر آب و هوا یکی نیست. در نتیجه تعیین خصوصیت انجام می‌گیرد که طبق آن در هر دسته‌اثر مقدار هر عامل آلوده‌کننده در عامل ویژه‌سازی (Characterization Factor) یا ضریب توصیفی خود ضرب می‌شود. ضریب‌های توصیفی بر اساس عامل معادل[۲]بیان می‌شوند و در روش‌های ارزیابی اثر مختلف متفاوتند، برای مثال در روش ارزیابی اثرات ReCiPe متان ۲۵ برابر دی‌اکسید کربن در تغییر آب و هوا نقش دارد و در نتیجه ضریب مشخص‌سازی دی اکسید کربن ۱ و متان ۲۵ خواهد بود (۲۲)، همین نسبت در سلطانی و همکاران (۱۷)،

۱- Cradle to farm gate، یعنی مراحل تولید بذر تا خروج محصول از مزرعه را در بر می‌گیرد و مراحل دیگر شامل انتقال به محل مصرف، استفاده و بعد از استفاده در این پایگاه داده بررسی نشده‌اند.

۲- Equivalent Factor، در مثال مربوط به تغییر آب و هوا CO2 عامل معادل در نظر گرفته می‌شود، ضریب مشخص‌سازی برای عامل معادل یک و برای بقیه‌ی مواد بر اساس آن (عامل معادل) بیان می گردد.

۲۱ به ۱ بیان شده‌است. به این صورت تمامی آلوده‌کننده‌ها به واحد عامل معادل در می‌آیند و مجموع آن‌ها شاخص طبقه‌ی اثر (Impact Category Indicator) خواهد بود. نتایج حاصل از طبقه اثرهای مختلف با توجه به عامل معادل‌های متفاوتی بیان شده و در نتیجه واحدهای متفاوتی دارند و قابل مقایسه با یکدیگر نیستند. با نرمال‌سازی، عدد نهایی هر طبقه اثر با یک عدد مرجع مقایسه می‌شود (با تقسیم شدن عدد نهایی طبقه اثر بر عدد مرجع)، این عدد می‌تواند میزان متوسط سالانه‌ی آلودگی در سطح یک منطقه باشد. به این صورت اعداد فقط یک واحد زمانی یکسان داشته و مقایسه طبقات اثر مختلف بهتر انجام می‌گیرد (جدول ۱). در جدول ۱ مفهوم رده‌ی اثر، عامل معادل و نرمال سازی نشان داده شده است. در این جدول اثر CFC142b، CO_2 و CH_4 در رده‌اثر تغییر آب و هوا و اثر CFC142b در رده‌اثر کاهش لایه‌ی اوزون بررسی شده‌است. عامل معادل در رده‌اثر تغییر آب و هوا، یک کیلوگرم CO_2 و در رده‌اثر کاهش لایه‌ی اوزون یک کیلوگرم CFC11 است. واحد نتایج شاخص رده‌اثر در دو طبقه اثر برابر نیست و بر عدد نرمال سازی تقسیم شده‌است. نتایج نرمال شده قابل قیاس‌اند و طبق آن تاثیر محصول فرضی در کاهش لایه‌ی اوزون بیش‌تر از تاثیر آن در تغییر آب و هوا است (۲۲). در زیرمرحله‌ی گروه‌بندی رده‌های پیامدها به یک یا چند مجموعه اختصاص پیدا می‌کنند (۳). شاخص‌های رده اثراتی که ویژگی‌های مشترک دارند را می‌توان در یک گروه قرارداد، همچنین رده‌های اثر را می‌توان بر اساس اهمیت به صورت نزولی رتبه‌بندی کرد (۲۶). در بسیاری از روش‌های ارزیابی اثرات چند رده اثر زیرگروه یک اثر نهایی در نظر گرفته می‌شوند. این اثر نهایی را نقطه پایانی (Endpoint Categories) می‌نامند. کلمه‌ی نقطه‌پایانی در استاندارد ایزو ۱۴۰۴۴ معرفی شده ولی تعریف نشده و عبارت است از نتیجه‌ی نهایی یک ساز وکار محیط زیستی، برای مثال نتیجه‌ی نهایی تغییر آب و هوا بالا رفتن سطح آب اقیانوس‌ها است (۲۲) و یا دو دسته اثر "تخریب لایه‌ی اوزون" و "اکسیدکننده‌های فتوشیمیایی" جزو زیر دسته‌های طبقه اثر نهایی "سلامت انسان"اند. رده‌های اثر نقطه پایانی مقوله اصلی نگرانی محیط زیستی‌اند (۲۱). به این صورت رده‌های اثر را رده‌های نقطه میانی (Midpoint Categories) و جمع چند رده اثر در قالب یک اثر بزرگ‌تر را اثرات انتهای رده یا نقطه‌ی پایانی می‌نامند. عموما شاخص‌هایی که به نتایج فهرست‌نویسی (مرحله‌ی دوم ارزیابی چرخه‌ی حیات) نزدیک‌ترند عدم قطعیت کم‌تری دارند، زیرا که در آن‌ها بخش کوچک‌تری از محیط مدل‌سازی شده است، درحالی که شاخص‌های نزدیک به نقطه نهایی در کنار سهولت بیش‌تر در فهم و تفسیر توسط تصمیم‌گیران، عدم قطعیت بیش‌تری را به دنبال دارند (۲۶). وزن‌دهی یکی دیگر از زیرمرحله‌های اختیاری ارزیابی اثرات است که در طی آن به نتایج شاخص رده یا نتایج نرمال‌شده وزنی اختصاص می‌یابد. این زیرمرحله بحث‌برانگیزترین زیرمرحله در ارزیابی اثرات است، زیرا ذهن‌گرایی در آن بسیار دخیل است. تعیین وزن‌ها با در نظر گرفتن اولویت‌های افراد ذی‌نفع انجام می‌گیرد. در این خصوص استاندارد ایزو ۱۴۰۴۰ پایه‌ی آن را علمی ندانسته است (۳).

جدول ۱- معرفی رده‌ی اثر، عامل معادل و نرمال‌سازی (۲۲)

طبقات اثر / جریان اولیه	تغییر آب و هوا		کاهش لایه‌ی اوزون	
	ضریب توصیفی	نتیجه	ضریب توصیفی	نتیجه
۱ کیلوگرم CO_2	۱	۱	-	-
۱۰ گرم CH_4	۲۵	۰/۲۵	-	-
۱ گرم CFC142b	۲۳۱۰	۲/۳۱	۰/۰۷	۷/۰۰e-۵
نتایج شاخص رده‌اثر	-	۳/۵۶	-	۷/۰۰ e-۵

ادامه‌ی جدول ۱- معرفی رده‌ی اثر، عامل معادل و نرمال‌سازی (۲۲)

طبقات اثر / جریان اولیه	تغییر آب و هوا	کاهش لایه‌ی اوزون
واحد نتایج	کیلوگرم معادل CO_2	کیلوگرم معادل CFC11
عدد نرمال‌سازی	۱,۱۲e+۴ کیلوگرم CO_2 در سال	۲,۲۰e-۲ کیلوگرم CFC11 در سال
نتایج نرمال‌شده (در سال)	۳,۱۷e-۴	۳,۱۸e-۳

برای ارزیابی اثرات روش‌های متعددی بصورت آماده ایجاد شده‌اند. برخی از این روش‌ها عبارت‌اند از: EDIP97 و TRACI، IMPACT 2002+، CML و Eco-indicator. هرکدام از روش‌های ارزیابی اثرات محیط زیستی موجود خصوصیات مختلفی دارند، برای مثال اعداد نرمال‌سازی در روش‌های مختلف می‌تواند متفاوت باشد و یا برخی از این روش‌ها نتایج ارزیابی اثرات را هم به صورت نقطه پایانی و هم نقطه میانی برآورد می‌کنند. برخی از این روش‌ها به صورت نرم افزار مجزا نیز در آمده‌اند، مانند CMLCA، که برای اجرای روش CML تهیه شده است. هیچ‌کدام از روش‌های ارزیابی اثرات محیط زیست به عنوان بهترین معرفی نشده‌اند. برای انتخاب روش ارزیابی اثر متناسب با یک مطالعه، استفاده از پرکاربردترین و یا قبول فرض نرم‌افزار توصیه نمی‌شود، اما اگر شخص دیگر در مورد مشابه به روش ارزیابی اثر مناسب رسیده می‌توان از آن استفاده کرد (۲۲). در نرم افزار openLCA کاربران بسته به نیاز خود می‌توانند از روش‌های مختلف ارزیابی اثرات استفاده کنند و یا می‌توانند طبقات اثر مورد نیاز از یک روش ارزیابی اثرات را در نظر بگیرند.

در برخی موارد مرحله‌ی سوم LCA (ارزیابی اثرات) انجام نمی‌گیرد و بلافاصله بعد از سیاهه‌نویسی تفسیر انجام می‌گیرد، که در این صورت آن را مطالعه‌ی LCI می‌نامند (۲).

تفسیر

عبارت است از، ارزیابی یافته‌های مرحله دو (در مطالعه‌ی LCI) و یا مراحل ۲ و ۳ (در مطالعه‌ی LCA)، در ارتباط با هدف و حوزه، برای رسیدن به نتایج و توصیه‌ها و تصمیم‌گیری‌ها (۲). طبق استاندارد ایزو ۱۴۰۴۴ عناصر تفسیر عبارت‌اند از: شناسایی مسایل مهم، بررسی کامل بودن (تصدیق کافی بودن اطلاعات)، حساسیت (ارزیابی قابلیت اطمینان از نتایج)، سازگاری یا هم‌سانی (Consistency) (تعیین سازگاری فرضیه‌ها، روش‌ها و داده‌ها با هدف و دامنه)، نتیجه‌گیری‌ها، محدودیت‌ها و توصیه‌ها، و آنالیز عدم قطعیت (۳). در آخرین مرحله از ارزیابی چرخه‌ی حیات محدودیت‌های تحقیق و نکات مهم در آن شرح داده شده و نتیجه‌گیری و توصیه‌های لازم بیان می‌گردد.

نرم‌افزارهای ارزیابی چرخه‌ی حیات

ارزیابی چرخه‌ی حیات با اهداف تجاری برای بررسی اثرات محیط زیستی احتمالی محصولات، معرفی محصولات دوستدار محیط زیست و همچنین با اهداف آموزشی کاربرد بسیاری پیدا کرده است و برای انجام آن نرم‌افزارهای متعددی ایجاد شده و توسعه یافته‌اند. درجدول (۲) خصوصیات برخی از نرم‌افزارهای ارزیابی چرخه‌ی حیات گردآوری شده است. برخی از نرم‌افزارهای ارزیابی چرخه‌ی حیات نیز به طور تخصصی برای یک محصول خاص طراحی شده‌اند. مانند Athena Impact Estimator for Building که به طور تخصصی برای ارزیابی چرخه‌ی حیات ساختمان بکار می‌رود. همه‌ی نرم‌افزارها نقاط قوت و ضعف دارند، برای مثال نرم افزار اخیر برای شمال آمریکا طراحی شده و در خارج از این قاره تنها می‌توانند با اهداف آموزشی و برای مقایسه تفاوت ایجاد شده در تاثیر بر محیط با تغییر در طراحی ساختمان بکار رود (مکاتبه شخصی با مدیر ارتباطات موسسه مواد پایدار آتنا (Athena Sustainable Materials Institute) در تاریخ ۱۳۹۳/۰۵/۱۴ و از طریق پست الکترونیکی). ایزو ۱۴۰۴۰ اصول

و چارچوب ارزیابی چرخه‌ی حیات و ایزو ۱۴۰۴۴ الزامات و راهنمایی‌های مربوط به آن را بیان می‌کنند، اما هیچکدام از نرم‌افزارهای LCA به صورت کامل استانداردهای ایزو را اجرا نمی‌کنند (۲۲). برای مثال طبق استاندارد ایزو ۱۴۰۴۴ وزن-دهی برای مقایسه‌ی محصولات متفاوت نباید انجام شود، ولی اکثر نرم‌افزارها امکان وزن‌دهی را در اختیار کاربر قرار می‌دهند؛ این بدان معنی است که مسیولیت وزن‌دهی بر عهده‌ی کاربر است (۲۲).

جدول ۲- خصوصیات برخی از نرم‌افزارهای ارزیابی چرخه‌ی حیات

نام نرم‌افزار	پایگاه‌های داده	روش‌های ارزیابی اثرات	مزایا و برخی خصوصیات	معایب	منبع
SimaPro	ecoinvent v.3, Agri-Footprint, US LCI, ELCD, US Input Output, EU and Danish Input Output, Swiss Input Output, LCA Food, Industry data v.2. IVAM, Japanese input-output	ReCiPe, ILCD 2011, SEtox, IPCC 2007, EPD (2013), Impact 2002+, CML-IA, Traci 2.1, BEES+, Ecological Footprint, EDIP 2003, Ecological scarcity 2013, EPS 2000, Greenhouse Gas Protocol and others, including 9 Water Footprint Methods	از نمونه‌های برجسته و پرکاربرد با پایگاه داده‌ی غنی و گسترده. کاملا تست شده و قوی با قابلیت مدلسازی تعداد زیادی از متغیرها، ازجمله کاربردها: محاسبه ردپای کربن (Eco-design)، طراحی محصولات و طراحی اکولوژیکی (EnvironmentalProduct Declarations) و اظهارنامه محصول محیط زیستی (Environmental Product Declarations) هستند.	فقط در سیستم عامل وینـدوز قابل اجرا است.	(۲۷) و (۲۸)
openLCA	پایگاه‌های داده مورد نیاز باید از سایت https://nexus.openlca.org/ که در آن بسیاری از پایگاه‌های داده وجود دارند بارگیری شوند. برخی از این پایگاه‌های داده رایگان هستند.	CML 2001,Eco-indicator 99, Ecological Scarcity Method, EDIP 2003, ILCD 2011, ReCiPe 8, TRACI 2.1, US EPA-default LCIA methods, USEtox	رایگان است، ازجمله کاربردها: محاسبه ردپای آب و کربن، هزینه‌ی چرخه‌ی حیات، طراحی برای محیط زیست و اظهارنامه محصول محیط زیستی هستند.	در حال تکامل و یادگیری آن تا حدودی دشوار است. پایگاه داده‌ی این نرم‌افزار بسیار ابتدایی است و داده‌های مورد نیاز را باید از پایگاه های داده‌ای متناسب با موضوع تهیه نمود.	(۲۹) و (۳۰)
Earth Smart	ecoinvent and US-EI	ReCiPe	به کاربر اجازه می‌دهد که بعد از پرداخت هزینه اولیه از تمام داده‌ها و روش‌های ارزیابی اثرات simapro استفاده کند. مدل سازی آسان‌شده که نتیجه‌ی ایجاد تغییرات کوچک در آن سریع قابل مشاهده است. این نرم‌افزار مبتنی بر وب است.	در حال تکامل است و گاها خطاهای سرور دارد و کار با برخی از بخش‌های آن هنوز دشوار است. بر خلاف بسیاری از نرم‌افزارها نمودار شبکه‌ای یا شمای کلی مدل را نشان نمی‌دهد و آنالیز عدم قطعیت نیز ندارد.	(۲۸) و (۳۱)

ادامه‌ی جدول ۲- خصوصیات برخی از نرم‌افزارهای ارزیابی چرخه‌ی حیات

نام نرم-افزار	پایگاه‌های داده	روش‌های ارزیابی اثرات	مزایا و برخی خصوصیات	معایب	منبع
GaBi	GaBi databases, ecoinvent, U.S. LCA	TRACI 2.0, CML (1996, 2001, and 2007), Ecoindicator 95 and 99, Ecological Scarcity Method (UBP), Impct 2002, EDIP, USEtox and ReCiPe	بسیار قوی و شناخته‌شده، در طراحی محصولات کاربر را در کمتر کردن یک اثر محیطی خاص برای مثال گازهای گلخانه‌ای راهنمایی می‌کند. ازجمله کاربردها: طراحی محصول پایدار و نو ، بهینه‌سازی انرژی وکارایی منبع برای کاهش هزینه و نیز مشخص کردن اثرات اجتماعی در چرخه‌ی حیات محصول هستند.	تا حدودی سنگین و یادگیری آن زمانبر است. بصورت کدنویسی شده است و کار با آن دشوار است. با گذشت یک دهه هنوز بروزرسانی نشده است.	(۲۸) و (۳۲)
Umberto	ecoinvent and GaBi databases	ReCiPe, Impact 2002+, Eco-Indicator 99, IPCC, TRACI, USeTox	برای چند دهه در صنعت استفاده شده است. دارای رابط کاربر گرافیکی مدرن است که استفاده از آن را تسهیل می دهد. ازجمله کاربردها: محاسبه ردپای کربن و اظهارنامه محصول محیط زیستی هستند.	برای سیستم عامل های غیر از ویندوز نیاز به نمونه‌ساز دارد که سرعت آن را کم خواهد کرد. یادگیری آن زمانبر است.	(۲۸) و (۳۳)

جمع‌بندی و چشم انداز آینده

دستیابی به توسعه پایدار نیازمند روش‌ها و ابزارهایی برای کمک به اندازه‌گیری و مقایسه آثار محیط زیستی محصولات مورد استفاده در جوامع بشری است (۳۴). ارزیابی چرخه‌ی حیات یکی از این روش‌هاست که در آن سعی می‌شود که تمام آثار محیط زیستی یک محصول در چرخه‌ی حیاتش به صورت کامل بررسی شود. این تحقیق به‌عنوان مقدمه‌ای برای آشنایی بیش‌تر جامعه علمی کشور با روش ارزیابی چرخه‌ی حیات گردآوری و تنظیم گردیده است. با وجود گذشت حدود ۴ دهه، این روش هنوز روشی جدید و در حال تکامل محسوب می‌شود و جزئیاتی مانند محدوده کار و آنالیز عدم قطعیت و جنبه‌های مختلف آن از جمله پایگاه‌های داده و روش‌های ارزیابی اثرات روز به روز در حال تکوین و تکمیل‌اند. چنان‌که روش ارزیابی چرخه-ی حیات بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ به روش تحلیل پایداری چرخه‌ی حیاتی یا LCSA (Life Cycle Sustainability Analysis) ارتقا پیدا خواهد کرد که در آن چارچوب ارزیابی چرخه‌ی حیات کنونی از اثرات محیط زیستی به ۳ مولفه‌ی توسعه پایدار شامل مردم، سیاره زمین و رشد (People, Planet, and Prosperity) گسترش خواهد یافت (۱). همچنین گسترش محدوده کار از سطح محصول به سطح یک بخش اقتصادی (Sector) همراه با عمق بخشی به ارزیابی چرخه‌ی حیات کنونی با در نظر گرفتن روابط فیزیکی، اقتصادی و رفتاری علاوه بر روابط تکنولوژیکی از دیگر تفاوت‌های تحلیل پایداری چرخه‌ی حیاتی با ارزیابی چرخه‌ی حیات کنونی خواهد بود (۱).

منابع

1. Guinee, J. B., Heijungs, R., Huppes, G., Zamagni, A., Masoni, P., Buonamici, R., Ekvall, T. and Rydberg, T. Life cycle assessment: past, present, and future. Environmental science & technology, 2011. 45(1): 90-96.

۲. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (الف). ۱۳۸۶. ایزو ۱۴۰۴۰ (مدیریت زیست محیطی- ارزیابی چرخه‌ی حیات- اصول و چارچوب). تهران.

۳. موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (ب). ۱۳۸۶. ایزو ۱۴۰۴۴ (مدیریت زیست محیطی- ارزیابی چرخه‌ی حیات- الزامات و راهنمایی‌ها). تهران.

4. Finnveden, G., Hauschild, M.Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S., Koehler, A., Pennington, D. and Suh, S. Recent developments in Life Cycle Assessment. Journal of Environmental Management, 2009. 91(1): 1-21.
5. Klöpffer, W. Introducing Life Cycle Assessment and its Presentation in 'LCA Compendium'. In Klöpffer, W. and Curran, M. N. (editors). Background and Future Prospects in Life Cycle Assessment. Springer Netherlands. 2014. P: 1-37.
6. Recchia, L., Boncinelli, P., Cini, E., Vieri, M., Pegna, F. G. and Sarri, D. Multicriteria Analysis and LCA Techniques. Springer. 2011, 5-26
7. Klöpffer, W. The role of SETAC in the development of LCA. The International Journal of Life Cycle Assessment, 2006. 11(1): 116-122.
8. Menten, F., Chèze, B., Patouillard, L. and Bouvart, F. A review of LCA greenhouse gas emissions results for advanced biofuels: the use of meta-regression analysis. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2013. 26: 108-134.
9. O'neill, T.J. Life cycle assessment and environmental impact of polymeric products iSmithers Rapra Publishing. 2003. 13 (12). P: 148
10. Ortiz, O., Castells, F. and Sonnemann, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. Construction and Building Materials, 2009. 23(1): 28-39.
11. Cellura, M., Ardente, F. and Longo, S. From the LCA of food products to the environmental assessment of protected crops districts: a case-study in the south of Italy. Journal of environmental management, 2012. 93(1): 194-208.
12. Clavreul, J., Guyonnet, D. and Christensen, T. H. Quantifying uncertainty in LCA-modelling of waste management systems. Waste management, 2012. 32(12): 2482-2495.

۱۳. رفیعی، رضا؛ سلمان ماهینی، عبدالرسول؛ خراسانی، نعمت الله. "ارزیابی محیط زیستی چرخه حیات سامانه مدیریت پسماند شهری (مطالعه موردی: شهر مشهد"، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ۱۳۸۸ ، ۱۶(ویژه‌نامه ۲): ۲۲۰-۲۰۸.

۱۴. خراسانی، نعمت الله؛ منوری، سید مسعود؛ سروش، مژده. "ارزیابی چرخه حیات بیولوژی- مکانیکی مدیریت پسماند شهر تهران"، چهارمین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست، آبان ۱۳۸۹ ، تهران ، ایران.

۱۵. قنبرزاده لک ، مهدی و صبور، محمدرضا. "ارزیابی چرخه‌ی عمر سناریوهای دفع پسماند جامد شهری از نظر انتشار گازهای گلخانه‌ای و مصرف انرژی- مطالعه موردی: جزیره سیری"، محیط شناسی،۱۳۸۹ ، ۳۶(۵۵): ۶۷-۷۸.

۱۶. کارگری، نرگس و مستوری، رضا، "مقایسه انتشار گازهای گلخانه‌ای در انواع نیروگاه‌های برق با استفاده از رویکرد LCA"، نشریه انرژی ایران، ۱۳۸۹، ۱۳(۲): ۶۷- ۷۸.

۱۷. سلطانی، افشین؛ رجبی، محمدحسین؛ زینلی، ابراهیم؛ سلطانی، الیاس. "ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید گیاهان زراعی با روش LCA: گندم در گرگان"، مجله الکترونیک تولید گیاهان زراعی، ۱۳۸۹، ۳(۳): ۲۰۱-۲۱۸.

۱۸. میر حاجی، حمزه؛ خجسته پور، مهدی؛ عباسپور فرد، محمدحسین؛ مهدوی شهری، سید محمد. "ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید چغندر (Beta vulgaris L.) با روش ارزیابی چرخه حیات (مطالعه موردی: مزارع استان خراسان جنوبی)"، نشریه بوم شناسی کشاورزی، ۱۳۹۱، ۴(۲): ۱۲۰-۱۱۲.

۱۹. خرم‌دل، سرور؛ رضوانی مقدم، پرویز؛ امین غفوری، افسانه. "بررسی آثار زیست محیطی نظام‌های تولید گندم در کشور با استفاده از ارزیابی چرخه حیات"، مجله تحقیقات غلات،۱۳۹۳ ، ۴(۱): ۴۴-۲۷.

20. Flynn, K.M. Evaluation of Green Infrastructure Practices Using Life Cycle Assessment. A thesis for the degree of Master of Science in Sustainable Engineering. 2011. P: 196

۲۱. بذرگر، امیر بهزاد. ارزیابی زیست محیطی نظام‌های تولید چغندر قند در خراسان به روش LCA. رساله‌ی دکتری رشته زراعت. دانشگاه علوم کشاورژی و منابع طبیعی گرگان، ۱۳۹۰، ص: ۲۷۰

22. Goedkoop, M., Oele, M., Leijting, J., Ponisioen, T. and Meijer, M. Introduction to LCA with SimaPro. PRé. 2013. P: 80.
23. Available from: http://www.ecoinvent.org (accessed: June 26, 2015).
24. Available from: https://nexus.openlca.org (accessed: June 26, 2015).
25. Colomb, V., Ait Amar, S., Basset Mens, C., Gac, A., Gaillard, G, Koch, P., Mousset, J., Salou, T., Tailleur, A., van der Werf, H. M. G. AGRIBALYSE®, the French LCI Database for agricultural products: high quality data for producers and environmental labelling. Oliseeds & fats Crops and Lipids, 2015. 22(1) D104.
26. Goedkoop, M., De Schryver, A. and Oele, M. 2008. Introduction to LCA with SimaPro 7. PRé. P: 88.
27. Available from: http://simapro.co.za (accessed: July 26, 2015).
28. Available from: http://www.linkcycle.com (accessed: July 23, 2015).
29. Available from: http://www.openlca.org (accessed: July 23, 2015).
30. Available from: https://www.yumpu.com (accessed: April 19, 2016).
31. Available from: http://www.gabi-software.com (accessed: April 19, 2016).
32. Available from:https://www.earthshiftglobal.com (accessed: April 19, 2016).
33. Available from: http://www.umberto.de (accessed: April 19, 2016).
34. Rebitzer, G., Tomas, E., Rolf, F., Davis, H., Norris, G., Rydberg, T., Schmidt, W. P., Suh, S., Weidema, B. P. and Pennington, D. W. Life cycle assessment: Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis, and applications. Environment international, 2004. 30(5): 701-720.