

**جزوات آموزشی**  
**صنایع ایمن فراز ارک**  
**ارزیابی چرخه عمر**  
**(LCA)**

**تهیه و تدوین: گروه تولید محتوای صنایع ایمن فراز ارک**

**کد محتوا: ARK-FO-159-030**

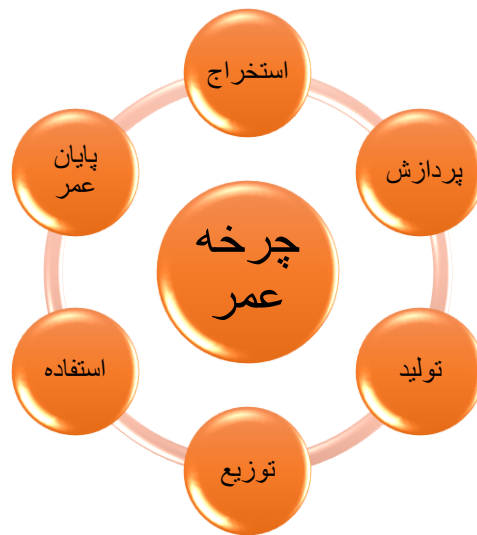
## ارزیابی چرخه عمر

### ۱. مقدمه

به مراحل متوالی و به هم پیوسته یک محصول یا سیستم خدمات، از استخراج منابع طبیعی تا دفع نهایی چرخه عمر<sup>۱</sup> گویند. ارزیابی چرخه عمر<sup>۲</sup> به عنوان ابزاری برای ارزیابی اثرات زیست محیطی یک محصول، فرآیند یا فعالیت در طول چرخه عمر آن از استخراج مواد خام تا پردازش، حمل و نقل و دفع استفاده می شود. در روزهای اولیه آن عمدتاً برای مقایسه محصولات استفاده می شد، به عنوان مثال برای مقایسه اثرات زیست محیطی محصولات یکبار مصرف و قابل استفاده مجدد. امروزه کاربردهای آن شامل سیاست های دولتی، برنامه ریزی استراتژیک، بازاریابی، آموزش مصرف کننده، بهبود فرآیند و طراحی محصول است. همچنین به عنوان پایه ای برای برچسب زدن محیط زیست و برنامه های آموزش مصرف کننده در سراسر جهان استفاده می شود.

LCA تکنیکی برای ارزیابی جنبه های بالقوه محیطی و جنبه های بالقوه مرتبط با یک محصول (یا خدمات)، توسط موارد زیر می باشد:

- تهیه فهرستی از ورودی ها و خروجی های مربوطه
- ارزیابی اثرات بالقوه زیست محیطی مرتبط با آن ورودی ها و خروجی ها
- تفسیر نتایج و تاثیر آن ها در رابطه با اهداف مطالعه



شکل ۱. چرخه عمر

<sup>1</sup> Life Cycle

<sup>2</sup> LCA

مفهوم ارزیابی چرخه عمر برای اولین بار در اواخر دهه ۱۹۶۰ ظهور کرد اما تا اواسط دهه ۱۱۹۸۰ توجه زیادی به آن نشد. در سال ۱۹۸۹، انجمن سم شناسی و شیمی محیطی<sup>۳</sup> اولین سازمان بین المللی شد که نظارت بر پیشرفت LCA را آغاز کرد.

در سال ۱۹۹۴، سازمان بین المللی استاندارد<sup>۴</sup> شروع به توسعه استانداردهایی برای LCA به عنوان بخشی از استانداردهای سری ۱۴۰۰۰ خود در زمینه مدیریت زیست محیطی کرد:

- استاندارد ISO 14040-A در مورد اصول و چارچوب
- استاندارد ISO 14041 در تعریف هدف و محدوده و تجزیه و تحلیل موجودی
- استاندارد ISO 14042 در ارزیابی تأثیر چرخه عمر
- استاندارد ISO 14043 در مورد تفسیر چرخه عمر

LCA به عنوان یک ابزار با ارزش برای حمایت از تصمیم گیری برای سیاست گذاران و صنعت در ارزیابی تأثیرات گهواره تا گور یک محصول یا فرآیند ظاهر شده است. به طوری که مقررات دولتی در جهت «پاسخگویی چرخه عمر» حرکت می کند. با این مفهوم که یک تولید کننده نه تنها مسئول اثرات مستقیم تولید است، بلکه مسئول اثرات مرتبط با ورودی، استفاده، حمل و نقل و دفع محصول نیز می باشد.

چهار جزء مرتبط با LCA وجود دارد:

- تعریف هدف و محدوده: شناسایی هدف LCA و محصولات مورد انتظار از مطالعه و تعیین مرزها و مفروضات مبتنی بر تعریف هدف.
- موجودی چرخه عمر: تعیین کمیت انرژی و مواد اولیه و انتشارات محیطی مرتبط با هر مرحله از تولید.
- تجزیه و تحلیل تأثیر: ارزیابی تأثیرات بر سلامت انسان و محیط زیست مرتبط با انرژی و مواد اولیه ورودی و انتشارات زیست محیطی.
- تجزیه و تحلیل بهبود: ارزیابی فرصت ها برای کاهش انرژی، ورودی مواد، یا اثرات زیست محیطی در هر مرحله از چرخه عمر محصول.

<sup>3</sup> SETAC

<sup>4</sup> ISO

مطابق با دیدگاه چرخه عمر، سازمان باید:

- ایجاد کنترل های مناسب برای اطمینان از اینکه نیاز(های) زیست محیطی آن در فرآیند طراحی و توسعه برای محصول یا خدمات، با در نظر گرفتن هر مرحله از چرخه عمر آن، مورد توجه قرار می گیرد
- تعیین نیاز(های) زیست محیطی آن برای تهیه محصولات و خدمات در صورت لزوم
- ابلاغ الزام(های) زیست محیطی مربوطه به ارائه دهندگان خارجی، از جمله پیمانکاران
- تنظیم کنترل ها به صورت مناسب برای اطمینان حاصل کردن از نیازهای زیست محیطی در فرآیند طراحی و توسعه محصول یا خدمات مطرح شده، با در نظر گرفتن هر مرحله از چرخه حیات آن
- تعیین الزامات زیست محیطی آن برای تهیه محصولات و خدمات به صورت مناسب
- به اشتراک گذاری اطلاعات زیست محیطی مربوط به صنعت با تامین کنندگان خارجی، از جمله پیمانکاران

ارزیابی های چرخه عمر شامل تحلیل های گهواره تا گور سیستم های تولید است و ارزیابی های جامعی از تمام ورودی های انرژی بالادستی و پایین دستی و انتشارات محیطی چندرسانه ای ارائه می دهد.

LCA ها می توانند پرهزینه و زمان بر باشند، بنابراین استفاده از آن ها به عنوان تکنیک های تجزیه و تحلیل در هر دو بخش عمومی و خصوصی محدود می شود. تکنیک های ساده سازی شده برای اجرای LCA برای کاهش هزینه و زمان و تشویق مخاطبان برای شروع استفاده از LCA مورد نیاز است.

## ۲. چرا دیدگاه چرخه عمر را در نظر می گیریم؟

بر اساس استاندارد ISO 14001 "برخی از اثرات زیست محیطی قابل توجه سازمان، می تواند در طول حمل و نقل، تحویل، استفاده، در زمان پایان عمر یا دفع نهایی محصول یا خدمات آن رخ دهد." با ارائه اطلاعات، یک سازمان به طور بالقوه می تواند از اثرات نامطلوب زیست محیطی در طول این مراحل چرخه عمر جلوگیری کند یا آن ها را کاهش دهد. سازمان میزان کنترل یا نفوذی را که می تواند بر فعالیت ها، محصولات و خدمات اعمال کند با در نظر گرفتن چشم انداز چرخه عمر در نظر می گیرد. بر اساس ISO 14001 سازمان هنگام اعمال دیدگاه چرخه عمر برای محصولات و خدمات خود، باید موارد زیر را در نظر بگیرد:

- مرحله در چرخه عمر محصول یا خدمات
- درجه کنترلی که بر مراحل چرخه عمر دارد
- درجه تأثیری که بر چرخه عمر دارد
- عمر محصول
- تأثیر سازمان بر زنجیره تأمین
- طول زنجیره تأمین
- پیچیدگی تکنولوژیکی محصول

سازمان می تواند آن مراحل را در چرخه زندگی که بیشترین کنترل یا نفوذ را بر روی آن ها دارد، در نظر بگیرد، زیرا این مراحل ممکن است بیشترین فرصت را برای کاهش استفاده از منابع و به حداقل رساندن آلودگی یا ضایعات ارائه دهد.

### ۲.۱. الزامات کلیدی ISO 14001 که به چشم انداز چرخه حیات اشاره دارد

- ۶.۱.۲ جنبه های زیست محیطی
- ۸.۱ برنامه ریزی و کنترل عملیاتی

### ۳. الزام انجام ارزیابی چرخه عمر

تغییراتی در استاندارد ISO 14001, 2015 نسبت به نسخه های قبلی اعمال شده است که نشان دهنده الزام اجرای ارزیابی چرخه عمر در صنایع و توجه به شناسایی اثرات زیست محیطی در چرخه عمر می باشد. به عبارت دیگر شرکت ها به منظور تمدید گواهی ISO 14001 ملزم به اجرای ارزیابی چرخه حیات می باشند. در ضمن باید تاکید داشت که ارزیابی چرخه حیات بخشی از استانداردهای زیست محیطی خانواده 14000 می باشد و تحت شماره ISO 14040 مطرح گردیده است.

مطابق با استاندارد ISO 14001 یک رویکرد سیستماتیک مدیریت زیست محیطی می تواند موفقیت در طولانی مدت برای سازمان به عمل آورد همچنین می تواند گزینه هایی برای کمک به توسعه پایدار بوسیله کنترل یا تأثیر بر شیوه طراحی، تولید و توزیع محصولات و خدمات سازمان ایجاد کند و با استفاده از چشم انداز چرخه حیات می تواند از تأثیرات محیطی ناخواسته در جای دیگر در طول چرخه حیات جلوگیری کند.

### ۴. طراحی یک پروژه ارزیابی چرخه حیات

اجرای یک پروژه LCA تنها اجرای یک پروژه مطالعاتی نیست. نتایج LCA می تواند در تصمیم گیری های صنعت، دولت و سازمان های غیر دولتی استفاده شود. این نتایج می تواند تصمیمات را بر اساس سرمایه، مسائل سیاسی یا برآوردهای استراتژیک مشخص کند. بنابراین بهتر است پروژه LCA به عنوان یک فرایند سازمانی که می تواند به روش های متفاوتی انجام شود، مورد توجه قرار گیرد.

#### ۴.۱. طرح فرایند LCA موارد زیر را در بر می گیرد:

- اعضاء و افرادی که در یک پروژه LCA در نظر گرفته می شوند
- وظایف و مسئولیت های اعضاء
- مواردی که اعضاء می توانند در آن ها اثرگذار باشند (موارد تصمیم گیری)
- نحوه تصمیم گیری در این موارد
- مقدمات مقابله با تنگنا در طول فرآیند
- برنامه ریزی واقعی و مدیریت فرآیند

اجرای LCA باید به دقت مطابق با هدف نهایی باشد که در این راستا لازم است صاحب LCA و سایر افراد ذینفع نیز بر هدف نهایی تمرکز داشته باشند. در ضمن، محققان LCA نیز باید هدف را در ذهن خود داشته باشند، با توجه به اینکه چگونه این هدف شرایط پروژه را تحت تاثیر قرار خواهد داد. همچنین، صاحب LCA باید به طرح، سازماندهی و مدیریت فرآیند توجه کند.

#### ۵. مراحل اجرای ارزیابی چرخه عمر

ارزیابی چرخه عمر یک تکنیک برای ارزیابی جنبه های زیست محیطی و اثرات بالقوه همراه با محصول، فرآیند یا خدمات از طریق:

- گردآوری یک فهرست موجودی از ورودی های انرژی و مواد و انتشار به محیط زیست
- ارزیابی اثرات بالقوه زیست محیطی همراه با ورودی های تعریف شده و انتشار به محیط زیست
- تفسیر نتایج برای کمک به تصمیم گیری

می باشد و طبق استانداردهای ایزو ۱۴۰۴۰ و ایزو ۱۴۰۴۴، ارزیابی چرخه عمر در چهار مرحله انجام می شود:

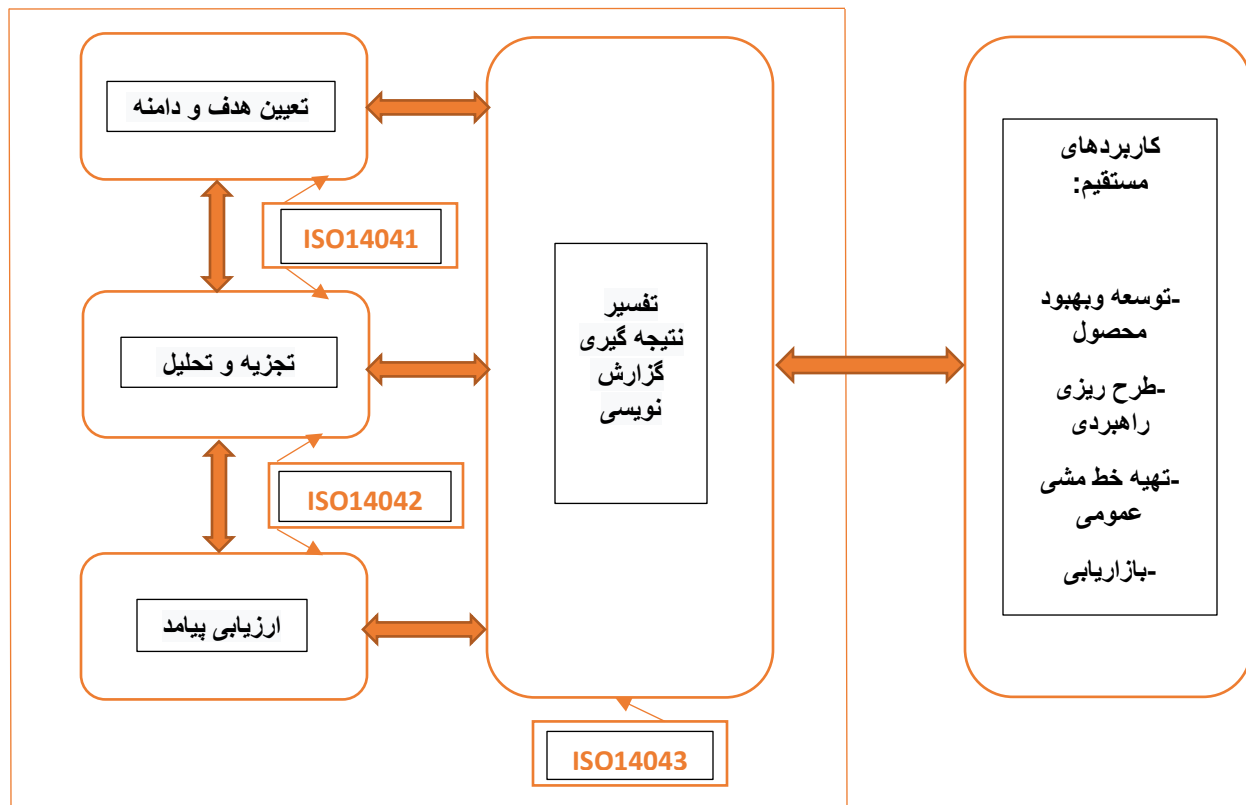
۱. تعیین هدف و دامنه کاربرد<sup>۵</sup>
۲. تجزیه و تحلیل لیست موجودی<sup>۶</sup>
۳. ارزیابی پیامد<sup>۷</sup>
۴. تفسیر<sup>۸</sup>

<sup>5</sup> Goal and scope definition

<sup>6</sup> Inventory analysis

<sup>7</sup> Impact assessment

<sup>8</sup> Interpretation



شکل ۲. مراحل ارزیابی چرخه عمر

## ۵/۱. هدف و دامنه کاربرد

این اولین مرحله مطالعه و احتمالاً مهمترین آن است، زیرا عناصر تعریف شده در اینجا، مانند هدف، دامنه و فرضیه اصلی در نظر گرفته شده، کلید مطالعه هستند. دامنه مطالعه معمولاً شامل تعریف سیستم، مرزهای آن (مفهومی، جغرافیایی و زمانی)، کیفیت داده‌های مورد استفاده، فرضیه اصلی و محدودیت‌های پیشینی است. در فرآیند تعریف هدف، موارد زیر باید در نظر گرفته شود:

- چرا مطالعه انجام می شود
- چرا LCA برای این تصمیم، اقدام یا فعالیت مورد نیاز است
- چه ابزارهای تحلیلی اضافی مورد نیاز است و از آن ها انتظار می رود چه کمکی داشته باشند
- مخاطب اصلی مطالعه چه کسی است و چه مخاطبان دیگری به نتایج مطالعه دسترسی خواهند داشت
- اهداف کلی محیطی، ارزش ها و اصول سازمان حامی چیست
- کاربرد مورد نظر مطالعه چگونه با این اهداف، ارزش ها و اصول مرتبط است

## ۵/۲. تجزیه و تحلیل لیست موجودی

تجزیه و تحلیل موجودی یک فرآیند فنی جمع آوری داده ها به منظور تعیین کمیت ورودی ها و خروجی های سیستم است که در محدوده تعریف شده است. انرژی و مواد خام مصرفی، انتشار در هوا، آب، خاک و زباله های جامد تولید شده توسط سیستم برای کل چرخه عمر محصول یا خدمات محاسبه می شود. به منظور سهولت این تجزیه و تحلیل، سیستم مورد مطالعه در چندین زیرسیستم یا فرآیند تقسیم شده و داده های به دست آمده در دسته های مختلف در جدول LCI دسته بندی می شوند.

## ۵/۳. ارزیابی پیامد

ارزیابی تاثیر چرخه عمر<sup>۹</sup> فرآیندی برای شناسایی و مشخص کردن اثرات بالقوه تولید شده در محیط توسط سیستم مورد مطالعه است. نقطه شروع LCIA اطلاعات به دست آمده در مرحله موجودی است، بنابراین کیفیت داده های به دست آمده یک موضوع کلیدی برای این ارزیابی است. در نظر گرفته می شود که LCIA شامل چهار مرحله است که در زیر به اختصار توضیح داده شده است.

### ۵/۳/۱. مرحله اول: طبقه بندی

در آن داده های حاصل از تجزیه و تحلیل موجودی در دسته های مختلف با توجه به اثرات زیست محیطی که انتظار می رود در آن ها نقش داشته باشند، گروه بندی می شوند. شاخص های دسته بندی تأثیر عبارتند از:

- تغییر آب و هوا
- اسیدی شدن
- اوتروفیکاسیون
- مه دود فتوشیمیایی
- کاهش سوخت فسیلی
- سمیت زیست محیطی
- تخریب لایه ازن
- سمیت انسانی

### ۵/۳/۲. مرحله دوم: مشخصه سازی

شامل وزن دادن به مواد مختلف است که در تأثیرات زیست محیطی یکسان نقش دارند. بنابراین، برای هر دسته تأثیری که در LCIA گنجانده شده است، یک نتیجه جمع آوری شده در یک واحد اندازه گیری معین به دست می آید.

<sup>9</sup> life cycle impact analysis



### ۵/۳/۳. مرحله سوم: عادی سازی

شامل ارتباط دادن داده های مشخص شده به مجموعه داده یا موقعیت وسیع تری است، برای مثال، ارتباط انتشار SOX به کل انتشار SOX یک کشور.

### ۵/۳/۴. مرحله چهارم: وزن دهی

در آن نتایج برای دسته های تاثیر مختلف با استفاده از فاکتورهای عددی بر اساس مقادیر به امتیاز تبدیل می شوند. این ذهنی ترین مرحله LCA است و بر اساس قضاوت های ارزشی است و علمی نیست. به عنوان مثال، یک هیئت از کارشناسان یا مردم می تواند برای وزن دادن به دسته بندی های تاثیر تشکیل شود. مزیت این مرحله این است که معیارهای مختلف (دسته های تاثیر) به نمره عددی تأثیرات زیست محیطی تبدیل می شوند و بنابراین تصمیم گیری آسان تر می شود.

### ۵،۴. تفسیر

این آخرین مرحله LCA است که در آن نتایج به دست آمده به روش مصنوعی ارائه می شوند و منابع مهم تاثیر و گزینه های کاهش این تأثیرات را ارائه می دهند. تفسیر شامل بررسی تمام مراحل در فرآیند LCA، به منظور بررسی سازگاری مفروضات و کیفیت داده ها، در رابطه با هدف و دامنه مطالعه است.

## ۶. معایب، مزایا و کاربردهای LCA

### ۶،۱. از LCA می توان جهت رسیدن به اهداف زیر بهره برد:

- فراهم کردن کامل ترین تصویر ممکن از اثرات متقابل فعالیت ها با محیط زیست
- شناسایی پیامدهای زیست محیطی و مراحل چرخه حیات اصلی یا نقاط حساس سهم در این پیامدها
- مقایسه پیامدهای زیست محیطی محصولات، فرآیندها یا فعالیت های جایگزین
- درک ماهیت کلی و به هم پیوسته پیامدهای زیست محیطی حاصله از فعالیت های انسانی
- شناسایی فرصت ها به منظور بهبود عملکرد زیست محیطی محصولات در نقاط مختلف چرخه حیات آن ها
- آگاهی دادن به تصمیم گیرندگان در صنایع و سازمان ها
- کمک به تصمیم گیران در انتخاب محصول یا فرآیند با کمترین اثرات زیست محیطی
- بررسی اثرات زیست محیطی همراه با یک یا چند محصول یا فرآیند
- کمک به دریافت پذیرش افراد ذینفع (جامعه و غیره) برای یک برنامه طرح ریزی شده
- ارزیابی سیستماتیک پیامدهای محیط زیستی یک محصول
- شناسایی اثرات بر یک یا چند حوزه محیط زیستی ویژه (هوا، آب، زمین)

## ۶,۲. محدودیت‌های خاص LCA را می‌توان به شکل زیر خلاصه کرد:

- LCA پیامدهای بالقوه را به جای پیامدهای واقعی لحاظ می‌کند. این بدان علت است که در LCA، پیامدها به زمان و مکان بخصوصی اختصاص ندارد.
- عموماً LCA همه فرآیندها را خطی در نظر می‌گیرد.
- در دسترس نبودن داده‌ها محدودیت دیگری است. اگرچه پایگاه داده‌هایی در کشورهای مختلف توسعه داده شده است، اما در برخی موارد، دستیابی به داده‌های موردنیاز به دلیل وجود بعضی محدودیت‌ها کار ساده‌ای نخواهد بود.
- متأسفانه LCA قادر به ارزیابی اثرات زیست محیطی واقعی سیستم نیست. استاندارد ISO 14.042 که با ارزیابی تأثیر چرخه عمر سروکار دارد، به ویژه هشدار می‌دهد که LCA اثرات واقعی را پیش بینی نمی‌کند یا ایمنی، خطرات، یا تجاوز از آستانه‌ها را ارزیابی نمی‌کند.

## ۶,۳. کاربردهای اصلی ارزیابی چرخه عمر شامل موارد زیر می‌باشند:

- تجزیه و تحلیل منشأ مشکلات مرتبط با یک محصول خاص
- مقایسه پیشرفت متغیرهای یک محصول
- طراحی محصولات جدید
- انتخاب بین چند محصول قابل مقایسه

## ۷. نرم افزارهای LCA

### ۷,۱. گابی<sup>۱۰</sup>

گابی، یک نرم افزار اقتصادی LCA می‌باشد که توسط شرکت بین المللی آلمانی<sup>۱۱</sup> توزیع می‌شود. گابی ابزارهایی را برای ایجاد توازن های چرخه حیات با توجه به استانداردهای ایزو ۱۴۰۴۰/۴۴ فراهم می‌نماید. گابی پایگاه های داده فراوانی جهت ایجاد مدل های چرخه عمر دارد. گابی از الگوریتم محاسباتی ترتیبی<sup>۱۲</sup> استفاده می‌کند که به معنای واقعی کلمه از یک فرآیند به فرآیند دیگر می‌رود تا هر فرآیند را طبق ورودی های خود نسبت به کل سامانه درجه بندی کند.

### ۷,۲. سیماپرو<sup>۱۳</sup>

سیماپرو یک نرم افزار اقتصادی است که توسط مشاوران شرکت پری<sup>۱۴</sup> هلند ارائه شده است. این نرم افزار ابزارهای حرفه ای را برای جمع آوری، ارزیابی و پایش کارایی زیست محیطی محصولات، فرآیندها و خدمات مهیا می‌کند. این نرم افزار شامل گستره نامحدودی

<sup>10</sup> GaB

<sup>11</sup> PE (Profit Earth)

<sup>12</sup> Sequential calculation algorithm

<sup>13</sup> Sima Pro

<sup>14</sup> Pre (Product Ecology Consultants)

از داده های فراوان، شفاف و با کیفیتی از اکثر مواد مورد استفاده معمول و فرآیندهای آن ها می باشد. سیماپرو جدیدترین نسل از نرم افزارهای ارزیابی چرخه حیات است که به طور گسترده در جهان استفاده می گردد. این نرم افزار می تواند اثرات زیست محیطی محصولات و خدمات را در سراسر مراحل چرخه زندگی شان اندازه گیری کرده و همچنین اثرات همه مراحل از استخراج مواد خام تا تولید، توزیع، استفاده و دفع را شناسایی نماید. سیماپرو امکان لینک به نرم افزار اکسل را دارد.



شکل ۳. مثال تصویری از چرخه عمر

- ISO 14040.2 Draft: Life Cycle Assessment - Principles and Guidelines
- Research Triangle Institute (RTI)
- <https://grimstad.uia.no/puls/climatechange/nns05/13nns05a.htm>
- <https://www.cem-wave.eu/blog/life-cycle-analysis-great-tool-greener-future>
- <https://www.oneclicklca.com/life-cycle-assessment-explained/>
- <https://committee.iso.org/sites/tc207sc1/home/projects/published/iso-14001---environmental-manage/life-cycle.html>
- <https://www.gdrc.org/uem/waste/life-cycle.html>
- <https://www.gdrc.org/uem/eia/lca-define.html>
- <http://www.abpsoil.com/15-water-treatment>
- The international reference Life Cycle Data system (ILCD) handbook
- Life cycle perspective - what ISO14001 includes