

رده‌بندی و معیارهای فن‌آوری زیست‌محیطی

مهناز فرمهینی فراهانی*^۱، عباس ترکاشوند^۲، محمد رضا فاروقی^۳

چکیده

با توجه به روند رو به افزایش آسیب‌های زیست‌محیطی ناشی از صنایع، اصطلاح «فن‌آوری زیست‌محیطی» در چند دهه‌ی گذشته به عبارتی کلیدی تبدیل شده است. با این وجود، ارائه تعریف علمی دقیق از معیارها و دسته‌بندی این فن‌آوری، هنوز آسان نیست. در این مقاله، تلاش شده است تا با ارائه‌ی تعریفی شفاف از «فن‌آوری زیست‌محیطی»، امکان مقایسه و ارزیابی زیست‌محیطی فن‌آوری‌ها برای تولیدکنندگان و قانون‌گذاران فراهم شود. براین اساس، هدف از انجام این پژوهش، ارائه دسته‌بندی و تعاریف و معیارهای روشنی برای فن‌آوری زیست‌محیطی است. روش پژوهش، تجزیه و تحلیل کیفی متون و اسناد کتابخانه‌ای بوده است. مطالعات انجام شده در این پژوهش، حاکی از آن است که انتخاب و تعریف فن‌آوری زیست‌محیطی، نسبی است و باید با توجه به شرایط اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و محیطی انجام شود. همچنین، فن‌آوری زیست‌محیطی، با استناد به اجزاء فن‌آوری، روش‌های مقابله با آلودگی، عوامل موثر در آلودگی و روند تولید فن‌آوری به دو دسته‌ی کلی فن‌آوری نرم افزار و سخت افزار زیست‌محیطی تقسیم شده است. در سلسله مراتب زیست‌محیطی، سیستم‌های نرم‌افزاری مشتمل بر مدیریت زیست‌محیطی فن‌آوری بوده و سیستم‌های سخت‌افزاری، شامل فن‌آوری ارزیابی و نظارت، فن‌آوری پیش‌گیرانه‌ی پاک‌تر و پاک‌کننده، فن‌آوری بازیافت، فن‌آوری کنترلی و فن‌آوری اصلاح هستند. در انتها، معیارهای فن‌آوری زیست‌محیطی شامل حفاظت از منابع، کاهش ضایعات، انرژی، کربن و چرخه‌ی بسته ارائه شده است.

واژگان کلیدی: فن‌آوری زیست‌محیطی، فن‌آوری پیشگیری، فن‌آوری کنترلی، فن‌آوری درمان، فن‌آوری ارزیابی زیست‌محیطی.

* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۲۱۲۵۴۳۷۶۱۲۰۴۹۸۹۱۲ (+)، پست الکترونیکی: mahnaz_farmahini@yahoo.com

۱. کارشناس ارشد معماری، دانشگاه گیلان، دانشکده معماری و هنر.

۲. استادیار، دانشگاه گیلان، دانشکده معماری و هنر.

۳. مربی، دانشگاه گیلان، دانشکده معماری و هنر.

مقدمه

آسان‌تر خواهد بود. از این‌رو، هدف از این پژوهش، معرفی و ارائه تعریفی شفاف از فن‌آوری زیست‌محیطی و ابهام‌زدایی از تعاریف و اصطلاحات مشابه است. در راستای این هدف، ابتدا انواع اصطلاحات مشتمل در مفهوم «فن‌آوری دوستدار محیط زیست» معرفی و دسته‌بندی می‌شوند. سپس، تلاش‌های انجام گرفته توسط سایر محققین برای ارائه‌ی تعریفی شفاف از فن‌آوری زیست‌محیطی و معیارهای آن، ارائه شده و ضمن بحث و تحلیل، در نهایت به تعریف این فن‌آوری و معیارهای آن می‌انجامد.

امروزه، طرفداران و قانون‌گذاران حفاظت از محیط زیست، فن‌آوری و محیط زیست را به یکدیگر متصل کرده‌اند. هزینه‌های سنگین زیست‌محیطی (EB) توسط فعالیت‌های انسانی، تابع سه عامل جمعیت (P)، رفاه-مصرف (A) و فن‌آوری (T) است. رابطه‌ی میان این سه عامل، که بار کل محیط زیست را تعیین می‌کنند؛ در فرمول زیر مشخص شده است: [1]

$$EB = P \times A \times T$$

فن‌آوری زیست‌محیطی: مفاهیم و واژگان

قبل از ارائه‌ی تعاریف فن‌آوری زیست‌محیطی، نیاز است واژگان به‌کار گرفته شده برای اشاره به این فن‌آوری، تعریف شوند. در این خصوص، طیف وسیعی از واژگان، استفاده شده است. از جمله: فن‌آوری پایدار^۱، فن‌آوری زیست‌محیطی^۲، فن‌آوری سبز^۳، فن‌آوری پاک^۴ و فن‌آوری اکو^۵. برای این مفاهیم و واژگان، عمدتاً تعاریف شفافی وجود ندارد و هم‌پوشانی بسیاری در تعاریف آن‌ها یافت می‌شود. در عین حال، با هدف یافتن نقاط مشترک و رابطه‌ی میان این مفاهیم، رجوع به تعاریف آن‌ها مفید خواهد بود.

برای اصطلاح فن‌آوری پایدار، تعریف رسمی موجود نیست. این فن‌آوری، در هماهنگی با اصول توسعه‌ی پایدار بر اساس سه عامل اصلی محیط زیست، اجتماع و اقتصاد است. بنابراین، فرآیندهای فن‌آوری پایدار، نه تنها به حفاظت از منابع طبیعی کمک می‌کنند؛ بلکه، باعث افزایش کارایی فرآیند و سود اقتصادی می‌شوند. این فرآیندها، از بعد نظری، فرآیندی بدون زباله با چرخه‌ای بسته تعریف می‌شوند. از این‌رو، راه‌حلی غیرممکن به شمار می‌آیند. چرا که در عمل، امکان متوقف کردن تولید ضایعات وجود ندارد و تنها می‌توان این جریان را کاهش داد [۳].

در تعاریفی دیگر، فن‌آوری پاک، فن‌آوری سبز و فن‌آوری زیست‌محیطی، هم معنی و مترادف و در سطحی پایین‌تر از فن‌آوری پایدار عنوان می‌شوند. اما لازم به ذکر است، فن‌آوری پاک در برخی از پژوهش‌ها، زیر مجموعه‌ای از فن‌آوری زیست‌محیطی عنوان می‌شود. در این میان، واژه‌ی «فن‌آوری سازگار با محیط زیست» دارای مفهومی گسترده‌تر از فن‌آوری زیست‌محیطی است و به ارزش‌ها و جنبه‌های زیست‌محیطی در سطحی کلی‌تر اشاره دارد [۱].

بنابراین، در سطحی بالاتر نسبت به سه مفهوم دیگر قرار می‌گیرد. در ادامه، فن‌آوری اکو، این چنین تعریف می‌شود: علمی کاربردی، برای

بنابراین، تغییرات فن‌آوری بر محیط زیست تاثیر گذار است و رابطه‌ی مستقیمی بین این دو برقرار است. در این راستا، مفاهیمی همچون «فن‌آوری‌های زیست‌محیطی» و واژگان متعارف با آن، در تلاش برای کاهش آسیب‌های فن‌آوری بر محیط زیست، از ترکیب دو اصطلاح «محیط زیست» و «فن‌آوری» با یکدیگر، مطرح شده‌اند.

به رغم ظهور مفهوم فن‌آوری زیست‌محیطی، تعریف شفافی از آن در دست نیست و عوامل ضروری این فن‌آوری نیز تعیین نشده است. لذا، هر مصداقی از فن‌آوری می‌تواند در این دسته جای گیرد و گاهی، نه تنها به کاهش آسیب‌های زیست‌محیطی یاری نرساند؛ بلکه، مشکلاتی را نیز در آینده ایجاد کند. به عنوان نمونه، صفحات سلول خورشیدی، با وجود آن‌که نقطه عطفی در تغییر نگرش از سوخت‌های فسیلی به انرژی‌های تجدیدپذیر شناخته می‌شوند؛ اما به سطح بالایی از انرژی و مواد برای تولید نیاز دارند. درحالی‌که، زمان لازم برای تعادل بین انرژی مصرفی و انرژی تولید شده در صفحات سلول خورشیدی، بین ۵ تا ۹ سال است؛ اما، امکان بازیافت سلول‌های خورشیدی نادیده گرفته شده است. در نتیجه، بازپرداخت انرژی، به دلیل هزینه‌های بالای بازیافت افزایش می‌یابد. ضمن آن‌که، با توجه به طول عمر این سلول‌ها، در سال‌های آینده، حجم قابل توجهی از ضایعات صفحات خورشیدی بر جای خواهد ماند [۲].

در این مورد، یکی از عوامل اصلی در فن‌آوری زیست‌محیطی، یعنی ایجاد چرخه‌ای بسته در محصول نادیده گرفته شده است. لذا، جایگاه این فن‌آوری از دیدگاه زیست‌محیطی، نامشخص است. چرا که مشخص نیست به دلیل مشکلات بازیافت، آیا یک فن‌آوری آلوده‌کننده است؟ یا به دلیل استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، فن‌آوری پاک به شمار می‌آید؟ در حالی‌که، با تعریفی شفاف از فن‌آوری زیست‌محیطی و معیارهایش، جایگاه و مرتبه‌ی زیست‌محیطی هر فن‌آوری مشخص می‌شود و تصمیم‌گیری برای انتخاب فن‌آوری، به مراتب

1. Sustainable Technology
2. Environmental Tech
3. Green Tech

4. Clean Tech
5. EcoTech

تعاریف فن‌آوری زیست محیطی

تعریف واحد و منحصر به فردی برای فن‌آوری زیست محیطی وجود ندارد. در متون تخصصی، بیشتر از یک تعریف برای فن‌آوری زیست محیطی موجود است. چرا که سازمان‌ها، با توجه به اهداف و کاربردهای مورد نظر خود، از این تعاریف در شرایط مختلف بهره‌مند می‌شوند. در این دیدگاه، فن‌آوری زیست محیطی در واقع، مفهومی نسبی است که به سطح دانش، اطلاعات موجود و درک ذی‌نفعان این فن‌آوری بستگی دارد. به طور کلی، فن‌آوری سازگار با محیط زیست، آن دسته از فن‌آوری‌هایی هستند که به بهترین وجه از منابع طبیعی حفاظت کنند. بنابراین، تعریفی متفاوت از فن‌آوری‌های کارآمد ارائه می‌شود و بالاترین بازده را به آن‌هایی اختصاص می‌دهد که کمترین مقدار زباله و گازهای گلخانه‌ای را تولید می‌کنند. کاربرد عملی فن‌آوری زیست محیطی، در درجه اول، مبتنی بر فرایندها و تولید محصولات فن‌آوری با کمترین زباله یا بدون آن است و در انتها، کاهش آلودگی است.

تعاریف متأخر از فن‌آوری زیست محیطی، حاکی از اندک تفاوت‌هایی با رویکردهای پیشین است. فن‌آوری زیست محیطی، به طور کلی به هر نوع فن‌آوری با توانایی کاهش آلودگی‌های زیست محیطی در هر سطحی از چرخه‌ی تولیدات یا فعالیت‌ها اطلاق می‌شود. این تعریف، بسیار گسترده است و تولیدات و خدمات مختلفی که نمی‌توانند به‌عنوان کالاهای زیست محیطی مطرح شوند را نیز پوشش می‌دهد. در همین حال، فن‌آوری زیست محیطی، مفهومی نسبی و وابسته به زمان شناخته می‌شود. بدان معنا که آنچه ممکن است امروزه، به عنوان فن‌آوری سازگار با محیط زیست به نظر بیاید، لزوماً در آینده مناسب نیست. چراکه هر فن‌آوری، در ارتباط با شرایط اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی مفهوم می‌یابد. در نتیجه، لازم است که روش‌ها و فرآیندهای آن، در فرآیندی تعاملی، به طور مداوم مورد بررسی قرار گیرد.[5]. در این راستا، سازمان ملل متحد در دستور کار شماره ۲۱ خود درباره محیط زیست و توسعه، تعریف دقیق‌تری را از فن‌آوری زیست محیطی ارائه می‌دهد. این تعریف در سه سطح ارائه شده است:

۱. فن‌آوری‌های زیست محیطی، آلودگی کمتری دارند، منابع را در روش پایداری به کار می‌گیرند، بسیاری از مواد زائد و محصولات خود را بازیافت می‌کنند و بازیافت‌های باقی‌مانده را با روشی قابل قبول پردازش می‌کنند.
۲. فن‌آوری‌های زیست محیطی، در ارتباط با آلودگی، فن‌آوری‌های پردازش و تولید هستند که به معنی تولید ضایعات به میزان کم یا به میزان صفر است. این فن‌آوری‌ها، همچنین فن‌آوری‌های پایان‌لوله^۱

برآوردن نیازهای انسان با حداقل تاثیر بر محیط زیست. این فن‌آوری، نیازمند درک و شناختی درست از ساختارهای زیست-بوم و جوامع است. لذا به تعبیری، کلیه‌ی مهندسی‌های پایدار، که هدف آن‌ها کاهش آسیب‌های زیست محیطی و توسعه‌ی پایدار است؛ شکلی از فن‌آوری اکو هستند [۴].

بر چسب فن‌آوری اکو و فن‌آوری سبز، به طور معمول به محصولاتی همانند توربین‌های بادی، سلول‌های خورشیدی، پارچه‌هایی از الیاف طبیعی و نظایر آن اطلاق می‌شود که مترادف با فن‌آوری پاک و سبز است. بر این اساس، با توجه به تعاریف ارائه شده، فن‌آوری پایدار در مقایسه با دیگر فن‌آوری‌های زیست محیطی، در جایگاه بالاتری قرار دارد. پس از آن، فن‌آوری‌های سازگار با محیط زیست قرار می‌گیرند. سپس، فن‌آوری زیست محیطی و فن‌آوری اکو در یک سطح و پایین‌تر از فن‌آوری سازگار با محیط زیست جای می‌گیرند. سلسله مراتب فن‌آوری‌های دوست‌دار محیط زیست، در شکل ۱ ارائه شده است.

شکل ۱- سلسله مراتب مفاهیم مرتبط با فن‌آورهای زیست محیطی

با توجه مطالعات انجام شده در زمینه‌ی فن‌آوری‌های محیط زیست، اصطلاح «فن‌آوری زیست محیطی» تبیین جامع‌تری داشته و سایر تعاریف را در برمی‌گیرد. ضمن آن‌که در مطالعه‌ی پیش رو، تاکید بر رابطه‌ی فن‌آوری و محیط زیست است و به عوامل اقتصادی و اجتماعی پرداخته نمی‌شود. بر این اساس، تعاریف، ویژگی‌ها و دسته‌بندی فن‌آوری زیست محیطی، با هدف دست‌یافتن به نظام ارزیابی زیست محیطی فن‌آوری، در ادامه ارائه می‌شود.

است. در طبقه‌بندی دیگر، فن‌آوری زیست‌محیطی به دو دسته‌ی فن‌آوری سخت‌افزاری و نرم‌افزاری طبقه‌بندی شده است. فن‌آوری سخت‌افزاری زیست‌محیطی، شامل فن‌آوری پیشگیری و کنترل آلودگی است. حال آن‌که، فن‌آوری زیست‌محیطی نرم‌افزاری، مشتمل بر سیستم‌های مدیریت زیست‌محیطی است [۷].

کاستا و همکاران^۲، در طبقه‌بندی دیگری، فن‌آوری زیست‌محیطی را به فن‌آوری کنترل آلودگی و فن‌آوری پاک‌کننده تقسیم می‌کنند. فن‌آوری کنترل آلودگی، سیستم تولید را تغییر نمی‌دهد، اما سیستم‌های فن‌آوری اضافه‌شونده‌ای را معرفی می‌کند که آلودگی‌ها را به منظور کاهش اثرات منفی بر محیط زیست، جذب می‌کنند. فن‌آوری پاک‌کننده، در عوض، به دنبال کاهش آلودگی پس از تولید نیست؛ بلکه، به دنبال جلوگیری یا کاهش تولید آلودگی است.

این روش، بر علل تخریب زیست‌محیطی و نه نتایج حاصل از آسیب‌ها متمرکز است. لذا، فن‌آوری پاک‌کننده بر پیش‌گیری تمرکز دارد. در حالی‌که، در فن‌آوری پایان‌لوله بر کنترل آلودگی پس از تولید تاکید می‌شود [۸]. در طبقه‌بندی نسبتاً جامع سازمان ملل متحد، فن‌آوری‌های زیست‌محیطی شامل فن‌آوری پیش‌گیرانه، فن‌آوری کنترلی، فن‌آوری بازیافت، فن‌آوری نظارت و ارزیابی و در نهایت، فن‌آوری اصلاح است [۹].

فن‌آوری، به طور کلی به دو دسته‌ی سخت‌افزار و نرم‌افزار تقسیم می‌شود. فن‌آوری زیست‌محیطی نیز از این امر مستثنی نیست. سخت‌افزار، ساختار فیزیکی و آرایش منطقی تجهیزات یا ماشین‌آلاتی است که قرار است برای انجام وظایف لازم، استفاده شوند. اما نرم‌افزار، شامل دانش نحوه‌ی استفاده از سخت‌افزار، برای انجام وظایف لازم است [۱۰]. در فن‌آوری زیست‌محیطی، عامل دوم، دربرگیرنده‌ی روش‌های مقابله با آلودگی، شامل پیشگیری، کنترل و اصلاح است که در ساختاری سلسله‌مراتبی در کنار هم قرار می‌گیرند. بدین ترتیب که پیشگیری در بالاترین سطح قرار می‌گیرد. در سطح بعدی، اقدامات کنترلی و در انتها، اقدامات اصلاحی، در پایین‌ترین سطح قرار دارند. چهار عامل انرژی، ضایعات، ماده و کربن (آلاینده‌ها)، به عنوان معیارهایی برای میزان آلودگی مطرح می‌شوند. لذا، کاهش یا از میان برداشتن این عوامل، هدف اصلی روش‌های مقابله با آلودگی در چرخه‌ی تولید است.

چرخه‌ی تولید، شامل مواد اولیه، فرآیند، محصول، خدمات، سیستم‌ها و روش‌ها است که از مواد اولیه شروع و طی فرآیندی به محصول ختم می‌شود که در نهایت به مصرف‌کننده تحویل داده شده و استفاده می‌شود.

(منظور، فن‌آوری‌های انتهایی چرخه است) را نیز پوشش می‌دهد. ۳. فن‌آوری‌های زیست‌محیطی، تنها فن‌آوری صرف نیستند؛ بلکه، سیستمی از دانش، کالا و خدمات و همچنین روش‌های مدیریتی به شمار می‌آیند. این بدین معنی است که در هنگام بحث در حیطه‌ی انتقال فن‌آوری، توسعه‌ی منابع انسانی و جنبه‌های ظرفیت‌سازی محلی، گزینه‌های فن‌آوری نیز باید در نظر گرفته شده و با جنبه‌های ملی، اقتصادی-اجتماعی و اولویت‌های فرهنگی و زیست‌محیطی سازگار باشد [۶].

با توجه به تعاریف ارائه شده، فن‌آوری زیست‌محیطی، راهی به سوی توسعه پایدار است. چرا که، در عین حفاظت از محیط زیست، می‌تواند به حفظ شرایط اجتماعی و اقتصادی یاری رساند. انتخاب این نوع از فن‌آوری، نسبی است و باید با توجه به شرایط اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی و محیطی انجام شود. بنابراین، می‌باید تعامل بین فن‌آوری زیست‌محیطی و محیط تاثیرگذار بر آن، مورد توجه قرار گیرد. فن‌آوری زیست‌محیطی، تنها یک فن‌آوری صرف نیست؛ بلکه، طیف گسترده‌ای از سیستم‌ها، شامل دانش، روش، کالا و خدمات، تجهیزات و همچنین روش‌های سازمانی و مدیریتی است. فن‌آوری زیست‌محیطی، به دنبال حفظ منابع (انرژی، ماده، آب)، کاهش کربن و آلاینده‌ها، کاهش و جلوگیری از ضایعات در هر سطحی از چرخه‌ی تولیدات و فعالیت‌ها است و از این طریق، باعث کاهش تاثیر پایدار فعالیت انسانی بر محیط زیست می‌شود. با وجود تاثیرات عوامل متنوع بر فن‌آوری، در این مطالعه، محیط تاثیرگذار بر فن‌آوری زیست‌محیطی بررسی نمی‌شود و تنها به دو عامل فن‌آوری و محیط زیست پرداخته می‌شود. در ادامه، دسته‌بندی فن‌آوری‌های زیست‌محیطی ارائه شده است.

۴. طبقه‌بندی فن‌آوری زیست‌محیطی

فن‌آوری زیست‌محیطی، علاوه بر تنوع در تعاریف پایه، دارای مراتب و طبقه‌بندی‌های متفاوتی است. همان‌گونه که ذکر شد؛ این فن‌آوری در مراحل مختلف تولید و به منظور کاهش آلودگی استفاده می‌شود. اما، بسته به این‌که در چه مرحله و چه میزان از آلودگی را کاهش می‌دهد، جایگاه زیست‌محیطی مشخصی خواهد داشت. کولر^۱ (۲۰۰۷) در طبقه‌بندی نسبتاً کاملی، فن‌آوری زیست‌محیطی را در چهار دسته‌ی فن‌آوری‌های اندازه‌گیری زیست‌محیطی، فن‌آوری‌های تصفیه‌کننده یا پایان‌لوله، فن‌آوری‌های پاک‌کننده (پساک)، فن‌آوری پاک‌تر یا فن‌آوری‌هایی با تاثیر صفر جای داده

1. Kuehr
2. Costa et al

از آلودگی می‌تواند از طریق روش‌های طراحی، تغییر فرآیندها، جای‌گزینی مواد جدید، بهبود شیوه‌های کار و کاهش تولید زباله یا آلاینده‌ها در منبع انجام پذیرد. فن‌آوری‌های پیش‌گیرانه به دو دسته‌ی فن‌آوری بدون اثرات زیست محیطی^۱ و فن‌آوری پاک‌کننده^۲ تقسیم می‌شوند:

■ فن‌آوری پاک‌تر یا فن‌آوری‌های بدون اثرات زیست محیطی، بر خلاف فن‌آوری پاک‌کننده، هیچ‌گونه تاثیر منفی بر محیط زیست ندارد. این‌گونه فن‌آوری، حداقل از نقطه نظر عملی، هنوز وجود ندارد. چون در فن‌آوری‌های کنونی، همیشه انواعی از اثرات زیست محیطی وجود خواهد داشت.

■ فن‌آوری پاک‌کننده، در تعریف، با فن‌آوری پیش‌گیرانه یکسان است. این دو، معمولاً به جای یکدیگر استفاده می‌شوند. اما، آنچه این فن‌آوری‌ها را متفاوت می‌سازد، نحوه‌ی به کارگیری آن‌ها در مراحل مختلف تولید و میزان تأثیر آن‌ها بر محیط زیست است. فن‌آوری پاک‌کننده، در چرخه‌ی تولید و محصول تاثیر گذار است و بدون تاثیر بر محیط زیست هم نیست. از نمونه‌های فن‌آوری پاک‌کننده، می‌توان به فن‌آوری‌های بازیافت، فن‌آوری کم‌کربن، کم‌زباله و انرژی کارا اشاره کرد. اما، قرارگیری فن‌آوری بازیافت در این دسته، با ابهاماتی نیز روبرو است. از این‌رو، این فن‌آوری به طور جداگانه تعریف شده است.

۴.۴. فن‌آوری بازیافت

هدف، فن‌آوری بازیافت، تبدیل زباله‌ها به موادی برای امکان استفاده‌ی مجدد است. لذا، توجه به تعریف پیشگیری از آلودگی به معنای کاهش یا از بین بردن زباله‌ها و آلاینده‌ها در ابتدای چرخه تولید، به معنای آن است که فن‌آوری بازیافت در دسته‌بندی پیشین (فن‌آوری پیش‌گیرانه) جای نمی‌گیرد. اما، رجوع مجدد به همان تعریف، حاکی از آن است که بازیافت در بسیاری از موارد، مزایای استفاده از فرآیندهای پیش‌گیرانه را داراست و می‌تواند ضمن کاهش دورریز، باعث صرفه‌جویی در مصرف انرژی و منابع شود. بنابراین، فن‌آوری بازیافت در فرآیند تولید، ترکیبی از مزایای هر دو فن‌آوری پیشگیری و کنترل را داراست. و می‌تواند در هر یک از این دو دسته، با توجه به روش استفاده، جای گیرد. از این‌رو، زمانی که فن‌آوری بازیافت، خارج از فرآیند تولید به کار گرفته می‌شود؛ فن‌آوری کنترلی است. اما، هنگامی که فن‌آوری بازیافت به عنوان بخشی از فرآیند تولید به کار گرفته می‌شود، فن‌آوری پیش‌گیرانه به شمار می‌آید: مانند استفاده از گازهای گلخانه‌ای ناشی از فرآیند تولید، در بخش دیگری از فرآیند تولید.

فن‌آوری نرم‌افزاری زیست محیطی شامل سیستم‌های مدیریت زیست محیطی است و فن‌آوری سخت‌افزاری زیست محیطی، مشتمل بر فن‌آوری ارزیابی و نظارت، فن‌آوری پیش‌گیرانه، فن‌آوری کنترل آلودگی و فن‌آوری اصلاح است. فن‌آوری پیش‌گیرانه و فن‌آوری کنترلی، هر یک به زیر مجموعه‌هایی تقسیم می‌شوند. فن‌آوری پیشگیری، دربرگیرنده‌ی فن‌آوری پاک‌کننده (شامل فن‌آوری بازیافت، انرژی کارا، کم‌کربن، کم‌زباله) و فن‌آوری بدون اثرات زیست محیطی (شامل بر فن‌آوری بدون کربن، بدون زباله) است. فن‌آوری کنترلی شامل فن‌آوری‌های بازیافت و جذب کربن است. هر زیر مجموعه، با مجموعه‌ای از فن‌آوری‌ها برای کاهش میزان آلودگی نیز شناخته می‌شوند. لازم به ذکر است، مرز شفاف‌ی بین انواع فن‌آوری‌های زیست محیطی وجود ندارد. گاهی، در پژوهش‌هایی این تعاریف و اصطلاح‌ها با توجه به شرایط به جای یکدیگر استفاده می‌شوند. در ادامه این فن‌آوری‌ها تعریف می‌شود.

۴.۱. سیستم‌های مدیریت زیست محیطی، فن‌آوری نرم‌افزار

این سیستم، به یک سازمان اجازه می‌دهد که تاثیرات زیست محیطی فعالیت‌ها، محصولات و خدماتش را کاهش داده، کنترل و تجزیه و تحلیل نماید. این سیستم، شامل تغییرات در شیوه‌های عملیاتی، آموزش کارکنان، روش‌های عملیاتی اصلاح و تغییرات، توسعه‌ی سیستم‌های سنجش و اندازه‌گیری، نظارت بر عملکرد زیست محیطی و صدور گواهینامه برای سیستم‌های مدیریت زیست محیطی مانند ISO ۱۴۰۰۱ است [۷].

۴.۲. فن‌آوری ارزیابی و نظارت

فن‌آوری‌های اندازه‌گیری محیط زیست، ابزار و سیستم‌های پیچیده‌ای هستند که میزان آلودگی محیط زیست را اندازه‌گیری و یا حتی آن را تحت کنترل درمی‌آورند. برخلاف دسته‌های دیگر، تلاش این شاخه از فن‌آوری‌های زیست محیطی، به حداقل رساندن تاثیرات انسانی بر محیط زیست نیست؛ بلکه، درک محیط زیست و محدود کردن اثرات منفی نوع بشر بر آن است [۱۱].

۴.۳. فن‌آوری پیشگیری

مفهوم پیشگیری از آلودگی، همواره ساده بوده است: پیدا کردن منشاء مشکل زیست محیطی و تغییر منشاء یا منبع به منظور کاهش یا از بین بردن مشکل. این فن‌آوری‌ها بر کاهش آلودگی در ابتدای چرخه تولید (مواد اولیه) و در طول چرخه تولید (فرآیند) تاکید دارند. پیشگیری

1. Cleanest
2. Clean/ Cleaner

۴.۵. فن‌آوری کنترل

فن‌آوری کنترل شامل روش‌ها و ابزارها با هدف به حداقل رساندن یا از میان بردن اثرات نامطلوب زیست محیطی، بدون ایجاد تغییر در روش یا فرآیند پایه‌ی فن‌آوری است. در این فن‌آوری، روش‌های تولید تغییر نمی‌کنند؛ بلکه، این فن‌آوری در پایان فرآیند تولید، به منظور کاهش آلودگی به فرآیند تولید اضافه می‌شود. لذا، تغییرات، عمدتاً در پایان فرآیند تولید ایجاد می‌شوند. در این فن‌آوری، مشکلات زیست محیطی به طور موقت به تأخیر انداخته می‌شوند و منشاء تولید کننده‌ی آلودگی از میان برداشته نمی‌شود. این نوع از فن‌آوری، بیشتر با عنوان فن‌آوری پایان‌لوله شناخته می‌شود و نمونه‌هایی از این فن‌آوری، شامل صافی‌ها، ایستگاه‌های تصفیه آب، پاک‌سازی نشت‌ها و غیره می‌شود. چنان‌که، کیمپرستوک معتقد است، فن‌آوری پایان‌لوله، قادر به کاهش اثرات مخرب بر محیط زیست و تغییرات مورد نیاز به دلیل استفاده پس از تولید زباله نیست و در جایگاهی پایین‌تر از فن‌آوری پیش‌گیرانه قرار دارد. [۷]

۴.۶. فن‌آوری اصلاح و بازسازی

فن‌آوری بازسازی، زمانی مورد نیاز است که پیش‌گیری و کنترل نتوانند پاسخگوی حل مشکلات زیست محیطی باشند. این روش بسیار پرهزینه است و به معنای اصلاح، بازسازی و حذف آلاینده‌ها از جایگاه آلوده و بازسازی آن در جهت احیاء پتانسیل‌های موجود است [۹].

۵. تحلیل و بررسی

مطالعات پیش‌گفته، حاکی از آن است که فن‌آوری زیست محیطی، دارای مراتب متفاوتی است و با توجه به تعاریف، انواع آن در ساختاری سلسله مراتبی جای می‌گیرند. در بخش نرم‌افزاری فن‌آوری، روش‌های مدیریت و در بخش سخت‌افزاری فن‌آوری، فرآیندهای ارزیابی به دلیل تأکید بر دانش و درک محیط زیست، بالاترین درجه زیست محیطی را دارا هستند.

در بخش سخت‌افزاری فن‌آوری زیست محیطی، فن‌آوری پیش‌گیرانه، به دلیل مؤثر بودن بر مواد اولیه و فرآیند تولید، در بالاترین جایگاه قرار می‌گیرد. این فن‌آوری، به ترتیب جایگاه زیست محیطی به دو بخش فن‌آوری پاک‌تر و پاک‌کننده تقسیم می‌شود. در ادامه، فن‌آوری بازیافت به دلیل دارا بودن ویژگی‌های هر دو فن‌آوری پیش‌گیرانه و کنترلی، در حد فاصل این دو فن‌آوری و پس از محصول پاک قرار

گرفته است. فن‌آوری کنترلی نیز به دلیل کاهش و بهبود آلودگی پس از تولید و اضافه شدن به روند تولید، پس از فن‌آوری‌های پیش‌گیرانه و بازیافتی پیش‌گیرانه جای می‌گیرد. در انتها نیز، هم فن‌آوری اصلاح قرار می‌گیرد.

در این طبقه‌بندی، همچنان که پیش از این اشاره شد، معیارهای سنجش اصلی عبارتند از کاهش آلودگی، فرآیند تولید و میزان کاهش آلودگی. هر چند که تمامی این معیارها، که پیش از این در تعاریف ذکر شده‌اند؛ نقش مهمی در تعریف فن‌آوری مناسب زیست محیطی دارند؛ اما، عامل آخر، یعنی میزان کاهش آلودگی، نقشی تعیین‌کننده در تشخیص فن‌آوری زیست محیطی داراست. در واقع، هرچه میزان آلوده‌کنندگی فن‌آوری به میزان بیشتری کاهش یابد؛ صرف نظر از دیگر شرایط اجتماعی-فرهنگی و اقتصادی، آن فن‌آوری مرتبه‌ی زیست محیطی بالاتری دارد. حتی انواع فن‌آوری‌های پیش‌گیرانه هم، با وجود جایگاه بالاتر در هرم، رتبه‌های متفاوتی با توجه به این معیار دریافت می‌کنند. بنابراین، عوامل مهمی مانند کاهش انرژی، ماده، ضایعات و کربن، می‌تواند به عنوان شاخص‌های مهمی برای تشخیص مرتبه‌ی فن‌آوری زیست محیطی مطرح شوند. بر این اساس، در ادامه به معرفی معیارهایی برای تشخیص و رتبه‌بندی فن‌آوری زیست محیطی پرداخته می‌شود.

با توجه به مطالعات انجام شده، چهار عامل حفظ منابع (انرژی، ماده، آب)، کاهش کربن، کاهش آلاینده‌ها و کاهش (یا جلوگیری از تولید) ضایعات به عنوان عوامل اصلی در نظر گرفته می‌شوند. اما، این معیارها، همانند مراتب فن‌آوری زیست محیطی، خود دارای تعاریف و زیرمجموعه‌های متفاوتی هستند.

چنانچه اوسول^۱ (۱۹۹۴) برای فن‌آوری‌های زیست محیطی سه معیار اصلی را مطرح کرده است. این معیارها مشتمل بر، اکولوژی صنعتی، کربن زدایی و مواد زدایی است. اکولوژی صنعتی، به چرخه‌ی بسته‌ی تولید اشاره دارد. در سیستم‌های با اکولوژی صنعتی، ضایعات یک واحد، در واحد دیگر استفاده می‌شود. معیار دوم، مواد زدایی، به معنای کاهش مواد یا انرژی ضمنی در محصول نهایی است. مصالح کمتر، منجر به تقاضای کمتر منابع و تولید مقدار کمتری زباله می‌شود. کربن زدایی، به معنای کاهش میزان کربن تولیدی است [۶]. کمیسون اروپا^۲ ویژگی‌ها و معیارهای اصلی فن‌آوری‌های زیست محیطی را شامل، حفاظت از مواد خام، استفاده منطقی از مواد خام، استفاده منطقی از انرژی، استفاده منطقی از آب، بازیافت زباله‌های غیر قابل اجتناب، کاهش یا بازیافت مواد زائد در تمامی بخش‌های تولیدی و به حداقل رساندن ضایعات و آلاینده‌ها و بازسازی پایگاه‌ها پس از

1. Ausubel
2. European Commission

نتیجه‌گیری

فن‌آوری زیست محیطی در این مقاله، به پنج دسته‌ی مدیریت، ارزیابی، پیشگیری، کنترل و اصلاح تقسیم شده است. این پنج دسته، از لحاظ جایگاه زیست محیطی تفاوت‌های معناداری با یکدیگر و هر یک، در سطحی به کاهش و بهبود آلودگی‌های زیست محیطی کمک می‌کنند. در صورتی که فن‌آوری، در دسته‌ی سخت‌افزاری جای گیرد؛ سه عامل مهم فرآیند، معیارها و رتبه‌ی کاهش آلودگی برای بررسی کارکرد زیست محیطی هر فن‌آوری، نیاز است. در ابتدا، فرآیند تولید فن‌آوری، باید به دقت بررسی شود و عوامل موثر بر کاهش آلودگی، یعنی معیارهای حفظ ماده، انرژی، هوا، آب، زمین، تنوع زیستی، تولید حداقل زباله و کربن و بسته بودن چرخه تولید، همگی در هر مرحله از روند تولید (مواد اولیه، فرآیند و محصول) بررسی شوند. همچنین، باید براساس معیارها، میزان کاهش آلودگی مشخص و تعیین شود.

اتمام فعالیت می‌داند [۱۲].

با جمع‌بندی این موارد، معیارهای عمومی فن‌آوری زیست محیطی، به شرح زیر است:

- حفاظت از مواد، هوا، آب، زمین و تنوع زیستی
- به حداقل رساندن تولید مواد سمی و زباله
- حفاظت از انرژی (انرژی در این بخش منظور انرژی طی فرآیند و انرژی ضمنی مواد مصرفی است)
- بسته بودن چرخه تولید (مربوط به حفاظت از ماده و انرژی است)
- به حداقل رساندن میزان کربن تولید شده
- نظر به این که هر یک از موارد فوق، خود مشتمل بر شاخص‌های دیگری هستند؛ مجموعه‌ی آن‌ها در جدول یک ارائه شده است.
- بر اساس این معیارها و شاخص‌های هر یک از آن‌ها، در هر مرحله از فرآیند تولید، می‌توان میزان کاهش آلودگی را به طور کمی و دقیق محاسبه نموده و برای انتخاب فن‌آوری مناسب تصمیم‌گیری کرد.

جدول ۱- معیارهای فن‌آوری زیست محیطی

<ul style="list-style-type: none"> - جلوگیری از آلودگی مواد - استفاده از مواد زیست تخریب پذیر - استفاده مجدد از مواد - کاهش استفاده از مواد با آلودگی زیست محیطی از طریق استفاده از مواد جدید زیست محیطی - بسته بودن چرخه تولید - بهینه سازی چرخه تولید 	حفاظت از مواد، مشتمل بر (مواد، هوا، آب، زمین و تنوع زیستی)	حفاظت از منابع
<ul style="list-style-type: none"> - کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق کاهش میزان کربن استفاده شده در انرژی و مواد - استفاده از مواد و انرژی تجدیدپذیر - کاهش استفاده از انرژی‌های فسیلی 	حفاظت از اتمسفر	
<ul style="list-style-type: none"> - کاهش میزان استفاده از آب از طریق بهبود فرآیند تولید - بازیافت و تصفیه آب 	حفاظت از آب	
<ul style="list-style-type: none"> - احترام به توپوگرافی - در نظر گرفتن پتانسیل‌های سایت - حفاظت از سطوح آب‌ها - جلوگیری از آلودگی و صدمه به خاک 	حفاظت از زیست بوم	
<ul style="list-style-type: none"> - بهسازی و استفاده مجدد از ضایعات - تولید با کمترین زباله یا بدون ضایعات - کاهش و حذف مواد سمی 	کاهش ضایعات	
<ul style="list-style-type: none"> - استفاده از انرژی تجدیدپذیر - کاهش مصرف انرژی‌های ناتجدید ناپذیر (کاهش میزان کربن) - کارایی چرخه تولید به منظور بسته بدون چرخه تولید (اشاره به اکولوژی صنعتی) 	کاهش انرژی و کربن	

- [4]. "Wikipedia," 28 July 2014. [Online]. Available: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ecotechnology>. [Accessed 5 Aug 2014].
- [5]. Hale, M. (1995). "Training for Environmental Technologies and Environmental Management", *Cleaner Production*, Vol.3, No.1-2, pp. 19-23.
- [6]. Weber, K. M. (2005). "Environmental Technologies", the European Commission's High Level Group, pp. pp. 21-22.
- [7]. Gavronski, I., Klassen, R., & Vachon, S. (2012). "A Learning and Knowledge Approach to Sustainable Operations", *Int. J. Production Economics*, Vol.140, No.1, pp. 183-192.
- [8]. Costa-Júnior, A., Pasini, K., & Andra, C. (2013). "Clean Development Mechanism in Brazil: an Instrument for Technology Transfer and the Promotion of Cleaner Technologies?", *Cleaner Production*, Vol.46, pp. 67-73.
- [9]. UNESCAP. (2012). "Low Carbon Green Growth Roadmap for Asia and the Pacific", United Nations, Bangkok, pp. 14-22.
- [۱۰]. خلیل، طارق. (۱۳۸۹). "مدیریت تکنولوژی رمز موفقیت در رقابت و خلق ثروت"، مترجم سیدمحمد اعرابی، داود ایزدی. تهران: دفتر پژوهشهای فرهنگی. ص ۲۲.
- [11]. Kuehr, R. (2007). "Environmental Technologies – from Misleading Interpretations to an Operational Categorisation & Definition", *Cleaner Production*, Vol.15, No.13-14, pp. 1316-1320.
- [12]. Koltuniewicz, A. B., & Drioli, E. (2008). "Membranes in Clean Technologies: Theory and Practice", 1 Edition. Wiley-VCH. pp. 8-11.

ضمن آن‌که باید تعیین شود که فن‌آوری، در کدام مرحله باعث کاهش آلودگی می‌شود و در کدام دسته از فن‌آوری‌های زیست‌محیطی ارائه شده، جای می‌گیرد. پس از این مراحل، در صورتی‌که، فن‌آوری، جایگاه مطلوبی از نظر زیست‌محیطی داشته باشد؛ به عنوان فن‌آوری زیست‌محیطی مناسب انتخاب می‌شود. انتخاب فن‌آوری زیست‌محیطی، همچنین باید با توجه به شرایط محیطی و دیگر عوامل مهم مانند اقتصاد و اجتماع صورت گیرد. در صورتی‌که، پس از ارزیابی، فن‌آوری نتواند به معیارهای فن‌آوری زیست‌محیطی پاسخ‌گو باشد یا جایگاه مطلوبی نداشته باشد؛ باید روند بهره‌برداری از این فن‌آوری متوقف شود و یا تغییرات لازم جهت بهینه‌سازی آن انجام شود.

منابع و مآخذ

- [1]. Perkiö, S. (2007). "Relationships Between Environmentally Sound Technologies and Competitiveness of Companies in the Value Chain of Printed Paper from Forest to Market (Doctoral dissertation)", Helsinki University of Technology, (ISBN 978-951-22-8491-7), pp.14-19.
- [2]. Sieffert, Y., Huygen, J., & Daudon, D. (2013). "Sustainable Construction with Repurposed Materials in the Context of a Civil Engineering-Architecture Collaboration", *Cleaner Production*, Volume 67, pp. 1-14.
- [3]. Nowosielski, R., & Spilka, M. (2011). "Sustainable Technological Process as an Element of the Sustainable Development Strategy Realisation", *Achievements in materials and Manufacturing Engineering*, vol.48, No.2, pp. 200-208.