نهمین کنگره ملی مهندسی ماشین‌های کشاورزی
(مکانیک بیوسیستم) و مکانیزاسیون
پردیس کشاورزی و منابع‌طبیعی دانشگاه تهران
۲ و ۳ اردیبهشت ۱۳۹٤ - کرج

ارزیابی اثرات زیست محیطی فرآیند تولید تخته فیبر چگالی متوسط: مطالعه موردی

حامد کوچکی پنچاه[۱]، محمد شریفی[۲*]، حسین موسی زاده[۳]، حمید زارع حسین آبادی[٤]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲، ۳- استادیاران، دانشکده مهندسی و فناوری کشاورزی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

٤- استادیار، دانشکده منابع طبیعی پردیس کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه تهران

ایمیل مکاتبه کننده: m.sharifi@ut.ac.ir

چکیده

مطالعه حاضر پژوهشی جهت شناسایی اثرات زیست محیطی تولید تخته فیبر چگالی متوسط (MDF) در ایران بر اساس استاندارد ISO 14040 می باشد، که ضمن فراهم آوردن داده های سیاه چرخه زندگی فرآیند تولید، برای مطالعات ارزیابی چرخه زندگی بعدی مانند: سازه‌های ساختمانی، کفپوش‌های چند لایه، صنایع مبلمان و سایر صنایع مبتنی بر MDF قابل کاربرد می‌باشد. ده گروه اثر در سه زیر سیستم از فرآیند تولید مورد بررسی قرار گرفتند، که زیر سیستم تهیه فیبر عامل عمده اعانه‌دهنده اثرات زیست محیطی؛ رزین اوره-فرمالدئید به عنوان تاثیرگذارترین نهاده ورودی و خشک کن لوله‌ای و اره از موثر ترین بخش ها در تولید گازهای گلخانه ای شناخته شدند

واژه‌های کلیدی: ارزیابی چرخه زندگی، تخته فیبر چگالی متوسط، سیاهه چرخه زندگی، انتشارات فرآیند تولید

مقدمه

صفحات فشرده چوبی یا فرآورده های کامپوزیت شامل انواع تخته فیبر، تخته خرده چوب ،پانل‌های چوبی با اتصال معدنی و فراورده‌های قالبی خرده‌چوب می‌باشند که در مقایسه با محصولاتی مانند کاغذ و تخته لایه قدمت چندانی نداشته و در ردیف فرآورده‌های نسبتا جدید چوبی قرار می گیرند (دوست حسینی، ۱۳۸٦). تخته فیبر چگالی متوسط (MDF) یک فرآورده چوبی متشکل از الیاف لیگنوسلولوزی همراه با ترکیبی از رزین‌های مصنوعی، تحت حرارت و فشار می‌باشد (Thoemen et al., 2010). سهم تولید جهانی فرآورده MDF در سال ۲۰۱۳، ۸۲۲۸۸۳۰٤ مترمکعب می باشد. به گزارش انجمن صنفی کارفرمایان صنایع چوب ایران (AIWIE, 2014) کل کارخانه‌های فعال تولید صفحات فشرده چوبی در ایران ۲۷ کارخانه می باشد که سهم واحدهای تولید MDF ۵ کارخانه با تولید ۳۵۹۰۰۰ مترمکعب تخته در سال مذکور می‌باشد. این فرآورده دارای اهمیت اقتصادی بالا، درصد تولید نسبتاً زیاد (۱۸٪) و رشد تولید فزاینده‌ای در سال‌های اخیر

بوده است (۰/٤٤ درصد تولید جهانی). شایان ذکر است میزان واردات MDF در سال ۲۰۱۳ برای ایران ۱۰۷۸۰۰۰ مترمکعب بوده است (FAO, 2014)، که حاکی از رشد محتمل تولید در سال‌های آتی خواهد بود.

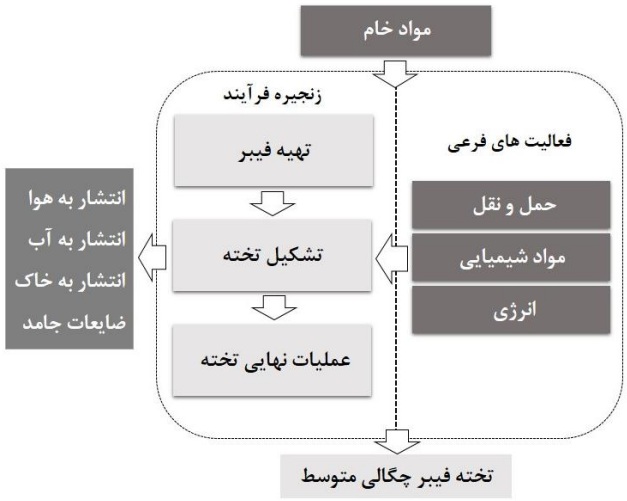
توجه به مسائل زیست محیطی به طور روزافزونی در جوامع پیشرفته و حتی جوامع در حال توسعه بیشتر و بیشتر می‌شود. در دهه‌های اخیر این توجهات معطوف بر کاهش آلاینده‌های آب، خاک و هوا بوده که در نتیجه صنایع تولید صفحات فشرده چوبی بر سامانه‌های کاهش آلاینده‌های انتشاریافته از خشک‌کن‌ها و بویلرها و ایجاد سامانه‌های کاهش فرمالدئید متمرکز شدند (Kouchaki-Penchah et al., 2015). امروزه، بازار مصرف کننده از مشکلات زیست محیطی ناشی از تولید محصول و خدمات آگاه است. این اثرات زیست محیطی ممکن است بر کیفیت زیست محیطی و دسترسی آینده به منابع طبیعی، تأثیر منفی گذارد. از اینرو کاربرد روشی جهت بررسی اثرات زیست محیطی محصول در طول چرخه زندگی آن امری الزامی می باشد (Mousazadeh et al., 2011). ارزیابی چرخه زندگی (LCA) روشی رایج و جامع برای بررسی بار زیست محیطی و شناسایی نقاط اصلی در سراسر چرخه زندگی محصول و یا خدمت می باشد (González-García et al., 2009). مطالعه حاضر، با سیاهه برداری از چرخه زندگی تولید MDF به بررسی انرژی مصرفی، میزان انتشار آلایندگی و فرصت های کاهش آلایندگی در فرآیند ساخت این فرآورده می پردازد.

مواد و روش‌ها

فرآیند تولید

برای تهیه تخته فیبر با چگالی متوسط بر خلاف تخته فیبر سخت از چوب آلات هیزمی استفاده نمی‌شود و بیشتر از مقطوعات باغی و جنگلی به شکل تنه‌های کم قطر و سرشاخه‌های قطور استفاده می‌شود. هر کارخانه تولید MDF شرایط فرآیند تولید منحصر به خود را دارد، اگرچه جریان کلی تولید تخته ها در همه آنها مشترک است. لذا، پس از بازدید از ۳ کارخانه در شمال کشور، یک کارخانه به عنوان نماینده ای از کارخانه های MDF کشور با حجم تولید سالانه ٦٧,٢٨٠ مترمکعب تخته جهت مطالعه انتخاب شد. نمودار فرآیند تولید MDF مطابق شکل ۱ می باشد .

زنجیره فرآیند تولید به سه زیرسامانه می تواند تقسیم شود. چوب آلات ورودی به صورت جداگانه به خردکن انتقال داده می‌شوند و سپس درجه بندی می‌گردند. چیپس‌ها به واحد شست‌وشو منتقل می شوند و پس از آن به مخزن پیش بخاردهی رفته و در مجاورت آب داغ با دمای حدود ۷۰ درجه سلسیوس قرار می‌گیرند. پس از آن در دیگ پخت تحت فشار و دمای بالا پخته شده و به دفیبراتور می‌روند. در این مرحله الیاف از هم جدا و رشته رشته می‌شوند. الیاف آماده شده پس از اضافه کردن چسب وارد خشک کن می شوند. بعد از رسیدن رطوبت الیاف به حدود ۱۳ تا ١٤ درصد، الیاف خشک شده به واحد تشکیل کیک انتقال می‌یابد (زیرسامانه تهیه فیبر).



شکل ۱- مرز سیستم فرآیند تولیدMDF

پس از طی این مراحل کیک تشکیل شده و وارد مرحله پیش پرس می شود و ضخامت کیک به نصف کاهش می یابد. پس از این مرحله، محصول به دست آمده وارد پرس اصلی شده و تحت فشار و دمای بالا قرار می‌گیرد (زیرسامانه تشکیل تخته). تخته‌های به دست آمده از این مرحله خنک شده و کناره‌بری، اندازه‌بری، سنباده‌زنی و درجه‌بندی آخرین فرآیندهای لازم است (زیرسامانه عملیات نهایی تخته) که در نهایت محصول به دست آمده به بازار عرضه می شود (دوست حسینی، ۱۳۸٦؛ Thoemen et al., 2010). همچنین فعالیت های حمل و نقل درگیر، مواد شیمیایی مورد استفاده و مصرف انرژی به عنوان فعالیت های فرعی در مرز سامانه در نظر گرفته شدند.

ارزیابی چرخه‌ی زندگی

مطالعه ارزیابی چرخه‌ی زندگی حاضر بر اساس استاندارد ISO 14040 توسعه داده شده است (ISO, 2006). ارزیابی چرخه‌ی زندگی شامل چهار مرحله: تعیین هدف و دامنه، سیاهه چرخه زندگی، ارزیابی اثرات چرخه زندگی و تفسیر نتایج می باشد (Guinee et al., 2001). در مرحله‌ی تعیین هدف و دامنه در مورد چگونگی (دامنه) و چرایی (هدف) یک مطالعه‌ی ارزیابی چرخه‌ی زندگی بحث می‌شود. تعیین هدف، نتیجه و عواید حاصل از مطالعه را مشخص می‌کند و تعیین دامنه در رابطه با توصیف واحد عملکردی محصول مورد مطالعه، سامانه‌ی تولید و مرزهای آن، روند جمع‌آوری و پردازش داده‌ها و بخش‌های اثر زیست محیطی موردنظر می‌باشد. در مرحله‌ی سیاهه چرخه زندگی، منابع طبیعی و دیگر ورودی‌های سامانه و انتشارات آلاینده‌ها و سایر خروجی‌ها در هر فرآیند از سامانه‌ی تولید مورد بررسی قرار می‌گیرد. در مرحله‌ی ارزیابی اثرات چرخه زندگی، ورودی‌های منابع طبیعی و انتشارات زیست محیطی به صورت سهم آن‌ها در محدوده‌ی بخش‌های اثر منتخب ارائه می‌شود و در مرحله‌ی نهایی نتایج مراحل قبلی تفسیر می‌شود (یوسفی نژاد استادکلایه و همکاران، ۱۳۹۳).

واحد عملکردی یک واحد کمی از عملکرد کالاها یا خدمات می باشد (Finnveden et al., 2009) که بیانگر این است که به چه میزان از این عملکرد در مطالعه مورد نظر درنظر گرفته شده است (Khoshnevisan et al., 2013). واحد عملکردی در پژوهش حاضر بر پایه‌ی حجم تولیدی می‌باشد و به‌صورت تولید یک مترمکعب MDF تعیین می‌شود.

ارزیابی چرخه‌ی زندگی یک نگرش «گهواره تاگور» می‌باشد اما این امکان فراهم‌شده است تا به‌منظور تمرکز بیشتر روی فرآیندها، مرز سامانه به‌صورت بخشی از کل سامانه در نظر گرفته شود و نتایج بر اساس مرز انتخاب‌شده و برای یک مقیاس کوچک‌تر بیان شوند (خوشنویسان و همکاران، ۱۳۹۲). بدین منظور در این مطالعه، فرآیند تولید صنعتی تخته به همراه حمل و نقل مواد خام به کارخانه به‌عنوان مرز سامانه انتخاب‌شده است (شکل ۱). بخش‌های اثر مورداستفاده در این مطالعه بر طبق روش CML-baseline 2000 (Guinee et al., 2001) در جدول ۲ قابل مشاهده می باشد.

نتایج و بحث

سیاهه چرخه زندگی

کیفیت داده های تحلیل سیاهه چرخه زندگی بر قابلیت اعتماد نتایج ارزیابی چرخه زندگی تاثیرگذار خواهد بود (Crawford, 2008). تمامی داده های مربوط به مصرف مواد چوبی خام، آب، مواد شیمیایی، سوخت های فسیلی، برق و حمل و نقل توسط اندازه‌گیری در محل به دست آمد (پیش زمینه) که در جدول ۱ قابل مشاهده می باشند.

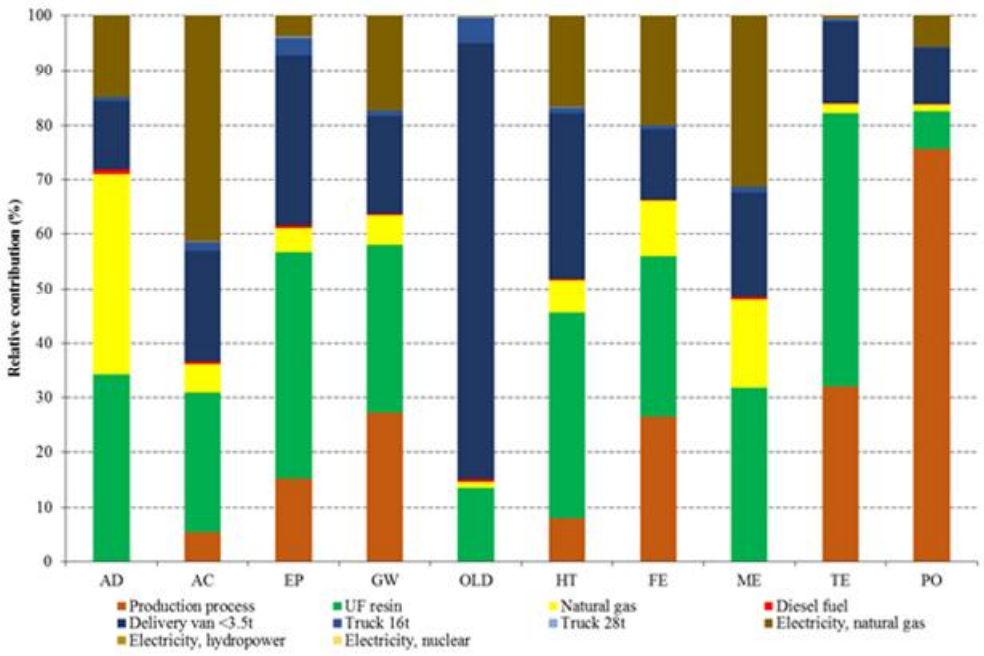
جدول ۱- سیاهه چرخه زندگی تولید MDF

ورودی‌ها	واحد	مقدار
رزین	kg	۱۳٤
آب	m^3	۱,۷
مواد خام چوبی	kg	۱٦۰۰
سوخت دیزل	lit	۳,۳
گاز طبیعی	m^3	۱٤۷
الکتریسیته	kWh	۲۷۳
حمل و نقل		
چوب	km	۳۸٤
رزین	km	٥۹٦
دیزل	km	٥٦۸
خروجی‌ها		
تخته فیبر چگالی متوسط	m^3	۱
ضایعات چوبی	kg	۳٥۰

همچنین داده های مربوط به انتشار آلاینده های ناشی از هر یک از نهاده ها (پس زمینه) از پایگاه‌های داده (Ecoinvent database, 2014)، ETH-ESU 96 (ETH-ESU, 2014) و مقالات منتشره به دست آمد. لازم به ذکر است که انتشارات فرآیند تولید تخته فیبر (مصرف گاز طبیعی در خشک کن و بویلرها، کاربرد رزین اوره-فرمالدئید در کیک و ...) مانند ذرات معلق، دی اکسید کربن، مونوکسید کربن، اکسید نیتروژن، VOC، فرمالدئید، متانول و دیگر گازهای خطرناک مانند بنزن، متان، استالدهید، اکرولین و متیل اتیل با استفاده از فاکتورهای انتشار سازمان حفاظت محیط زیست ایالات متحده آمریکا (EPA, 2005) محاسبه شدند.

ارزیابی اثرات زیست محیطی

این مطالعه به تجزیه و تحلیل زیست محیطی از جریان تولید این فرآورده با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی پرداخت. شکل ۲ سهم نسبی هر بخش از فرآیند ساخت جهت تولید یک مترمکعب تخته فیبر دانسیته متوسط را در هر گروه اثر نشان می دهند. همچنین جدول ۲ مقدار محاسبه شده اثرات زیست محیطی فرآیند تولید را به تفکیک نشان می دهد. با توجه به شکل ۲ رزین اوره-فرمالدئید به عنوان اثرگذارترین بخش در تولید تخته فیبر شناخته شد. اگرچه گاز طبیعی، الکتریسیته، حمل و نقل و فرآیند تولید به ترتیب در گروه های اثر AD، AC، OLD و PO از موثرترین بخش ها بودند.



شکل ۲- سهم نسبی فرآیندهای ساخت درگروه‌های اثر

با وجود اینکه گروه های اثر در زیرسامانه تولید فیبر مقدار بالایی داشتند، زیرسامانه عملیات نهایی تخته بیشترین سهم را در هریک از گروه‌های اثر به جز در AD و OLD (که زیرسامانه شکل دهی تخته با اختلاف اندکی بالاتر از آن می باشد) را به خود اختصاص داد. از اینرو در خصوص مصرف انرژی گرمایی در تولید MDF، مهمترین رویکردها در رابطه با آلودگی های زیست محیطی، روش های تامین انرژی و جانشین سازی دیگر گزینه های موجود می باشند. این مهم نیازمند مطالعات بیشتری به خصوص به روی استفاده از غبار سنباده و خردکن کارخانه می باشد، که به راحتی قابلیت تبدیل به انرژی گرمایی توسط یک غبارسوز را داراست.

جدول ۲- بخش‌های اثر و واحد اندازه‌گیری هر بخش

بخش‌های اثر	نماد	واحد اندازه‌گیری	مقدار
تقلیل مواد غیر آلی	AD	kg Sb eq	۸,۲۰
اسیدی شدن	AC	kg SO_2 eq	۳,٦٦
اختناق دریاچه‌ای	EP	kg PO_4^{3-} eq	۰,۳۳
گرمایش جهانی	GW	kg CO_2 eq [a]	۸۳٤,۳٦
نقصان لایه‌ی ازن	OLD	kg CFC-11 eq	۰,۰۰۰۲٤
مسمومیت انسان‌ها	HT	kg 1,4-DCB eq [b]	۳۵۱,۷۱
مسمومیت آب‌های سطحی	FE	kg 1,4-DCB eq [b]	۷۰,۳٦
مسمومیت آب‌های آزاد	ME	kg 1,4-DCB eq [b]	۱٦۰۹۸٦
مسمومیت خاک	TE	kg 1,4-DCB eq [b]	۳,٤۳
اکسیداسیون فتو شیمیایی	PO	kg C_2H_4 eq	۱,۳٤

a. Considering 100 years
b. DCB= dichlorobenzene

آنالیز تخمین انتشار آلاینده‌های خطرناک فرآیند تولید تخته در کارخانه نشان داد که زیر سامانه تولید فیبر اصلی‌ترین اعانه دهنده به خصوص در انتشار گازهای دی اکسیدکربن، مونواکسید کربن، اکسید نیتروژن، فرمالدئید، VOC، THC و ذرات معلق اساسا به دلیل خشک کن بود. زیر سامانه عملیات نهایی تخته دیگر اعانه‌دهنده مهم در انتشار گازهای خطرناک خصوصا در اکرولین، بنزن، فنل و تولوئن اساسا به دلیل اره شناخته شد. دایجستر و ریفاینر در زیرسامانه شکل دهی تخته اساسی ترین اعانه‌دهنده‌ی استالدهید بودند. همچنین بخش شستشوی چیپس مسئول ایجاد یک مترمکعب پساب به ازای هر مترمکعب تخته فیبر تولیدی در این زیرسامانه می باشد.

پرواضح است که انتشارات فرآیند تولید با سیستم های کنترل انتشاری همچون: مولتی سیکلون‌ها و سیستم‌های جذبی جهت کنترل ذرات معلق؛ سیستم اکسیداسیون گرمایی احیا کننده برای کنترل انتشار VOC در خشک کن و پرس؛ سیستم های بیو

فیلتراسیون برای کنترل آلاینده های مختلفی از جمله مونواکسید کربن، اکسید نیتروژن و ذرات معلق در خروجی پرس قابل مدیریت و کنترل خواهد بود (EPA, 2005).

نتیجه‌گیری

مطالعه حاضر ضمن ارزیابی اثرات زیست محیطی تولید تخته فیبر چگالی متوسط، اطلاعات جامعی (سیاهه چرخه زندگی) را در ارتباط با فرآیند تولید فراهم نمود؛ که می تواند به بهبود عملکرد زیست محیطی تولید این فرآورده و به طور کلی صنایع اوراق فشرده چوبی کمک شایانی نماید. همچنین اطلاعات حاضر برای مطالعات ارزیابی چرخه زندگی بعدی مانند: سازه‌های ساختمانی، کفپوش‌های چند لایه، صنایع مبلمان و سایر صنایع مبتنی بر تخته فیبر چگالی متوسط قابل کاربرد و بسیار حیاتی می باشد. بهبود عملکرد زیست محیطی فرآیند تولید فرآورده MDF را می توان با افزایش بهره‌وری انرژی، بهره گیری کامل از ضایعات چوبی و کاهش فاصله حمل و نقل مواد خام به دست آورد. با تکیه بر مطالعه حاضر موارد پیشنهادی زیر در جهت بهبود عملکرد زیست محیطی که خود تابعی از انرژی مصرفی می باشد، می بایست درنظر گرفته شوند:

۱- کاهش و یا جایگزینی رزین اوره-فرمالدئید به عنوان اثرگذارترین بخش در گروه های اثر.

۲- راه اندازی سیستم های کنترل انتشار پیشنهادی برای خشک کن، پرس، اره و دیگر بخش های تاثیر گذار.

۳- استفاده هرچه بیشتر از ضایعات چوبی جهت تامین بخشی از انرژی گرمایی مورد نیاز (راه اندازی سیستم غبارسوز) و به تبع آن کاهش اثرات زیست محیطی.

٤- مطالعات جدیدی با هدف بهینه سازی انرژی مصرفی کارخانه آغاز شود.

تشکر و قدردانی

از گروه مهندسی ماشین های کشاورزی دانشگاه تهران که حمایت مالی این تحقیق را بر عهده داشته است، قدردانی می‌شود. همچنین از شرکت کیمیا چوب گلستان که نهایت همکاری را با ما داشتند، صمیمانه سپاس‌گزاری می‌گردد.

منابع و مآخذ

۱. خوشنویسان، ب. رفیعی، ش. امید، م. کیهانی، ع. موحدی، م. ۱۳۹۲. ارزیابی شاخص های انرژی و زیست محیطی کشت سیب زمینی با رویکرد چرخه زندگی: مطالعه موردی شهرستان فریدون شهر در استان اصفهان. مجله مهندسی بیوسیستم ایران، دوره ٤٤(۱). ٦٦-٥٧.

۲. دوست حسینی، ک. ۱۳۸٦. فناوری تولید و کاربرد صفحات فشرده چوبی. نشر دانشگاه تهران. موسسه انتشارات و چاپ.

۳. یوسفی نژاد استادکلایه، م. نبوی پله‌سرائی، ا. شریفی، م. ۱۳۹۳. ارزیابی انرژی مصرفی و آلاینده‌های زیست‌محیطی در تولید سیر استان گیلان: مطالعه‌ی موردی شهرستان لنگرود. اولین کنفرانس بین المللی مهندسی محیط زیست. مرکز راهکارهای دستیابی به توسعه پایدار.

4. AIWIE. 2014. Production statistics of Iranian wood-based panel board industries [Persian]. Available: http://www.iranwoodind.com.
5. Crawford, R. H. 2008. Validation of a hybrid life-cycle inventory analysis method. Journal of environmental management. Vol 88(3), 496-506.
6. Ecoinvent database. 2014. V3. Available from: http://www.ecoinvent.org.
7. EPA. 2002. AP-42. Emission factor documentation.
8. ETH-ESU 96. 2014. The ETH-ESU 96 Libraries. Available from: http://www.pre.nl.
9. FAO. 2015. FAOSTAT [Online], Available: http://www.FAO.org.
10. Finnveden, G., Hauschild, M. Z., Ekvall, T., Guinee, J., Heijungs, R., Hellweg, S. & Suh, S. 2009. Recent developments in life cycle assessment. Journal of environmental management. Vol 91(1), 1-21.
11. González-García, S., Feijoo, G., Widsten, P., Kandelbauer, A., Zikulnig-Rusch, E., & Moreira, M. T. 2009. Environmental performance assessment of hardboard manufacture. The International Journal of Life Cycle Assessment. Vol 14(5), 456-466.
12. Guinée, J.B. Gorrée, M. Heijungs, R. Huppes, G. de Koning, K.R.A. Sleeswijk, A.W. 2001. Handbook on Life Cycle Assessment, Operational Guide to the ISO Standards. Kluwer. Dordrecht, the Netherlands.
13. ISO. 2006. Environmental Management e Life Cycle Assessment e Principles and Framework ISO 14040.
14. Khoshnevisan, B., Rafiee, S., & Mousazadeh, H. 2013. Environmental impact assessment of open field and greenhouse strawberry production. European Journal of Agronomy. Vol 50, 29-37.
15. Kouchaki-Penchah, H. Sharifi, M. Mousazadeh, H. & Zarea-Hosseinabadi, H. 2015. Life cycle assessment of particleboard manufacturing: A case study. 4ed Conference on Emerging Trends in Energy Conservation. ETEC.
16. Mousazadeh, H., Keyhani, A., Javadi, A., Mobli, H., Abrinia, K., & Sharifi, A. 2011. Life-cycle assessment of a Solar Assist Plug-in Hybrid electric Tractor (SAPHT) in comparison with a conventional tractor. Energy Conversion and Management. Vol 52(3), 1700-1710.
17. Silva, D. A. L., Lahr, F. A. R., Garcia, R. P., Freire, F. M. C. S., & Ometto, A. R. 2013. Life cycle assessment of medium density particleboard (MDP) produced in Brazil. The International Journal of Life Cycle Assessment. Vol 18(7), 1404-1411.
18. Thoemen, H., Irle, M., & Šernek, M. (Eds.). 2010. Wood-based panels: an introduction for specialists. Brunel University Press.

Environmental impact assessment of medium-density fibreboard manufacturing process: a case study

Abstract

This study presents a research on the environmental impacts of MDF manufacturing in Iran and provides a comprehensive LCI data for production process. The study was developed following the methodological guidelines of ISO 14040. Ten impact categories in three subsystem of manufacturing process were assessed. The subsystem of fibre preparation was the major contributor to the environmental impacts. UF resin production was identified as the main hotspot. Moreover, Tube dryer and MDF saw were the most effective sectors in the emissions of production process.

Keywords Life cycle assessment, medium-density fibreboard, life cycle inventory, production process emissions