ارزیابی چرخه زندگی فرآیند تولید کاغذ فلوتینگ GMF و SMF

چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی اثرات محیطزیستی تولید کاغذ فلوتینگ Super machine fluting (SMF) و Green machine fluting (GMF)کارخانه چوب و کاغذ مازندران با استفاده از روش ارزیابی چرخه زندگی است. آمار و اطلاعات موردنیاز از طریق مصاحبه با مهندسین و کارشناسان کارخانه مذبور حاصل شد. یافته‌های حاصل گویای این است که در بخش مربوط به موجودی چرخه زندگی، مقدار آب مصرفی و انتشار دی‌اکسیدکربن نسبت به سایر مواد سهم بیشتری دارند. همچنین با بررسی شاخص‌های میانی، مشخص گردید که از میان ۱۵ گروه تأثیر (سرطان‌زایی، غیرسرطانزایی، تنفس معدنی، تابش یونیزه کننده، کاهش لایه اوزون، تنفس ارگانیک، سمیت آبزیان، سمیت زمین، اسید زمین/ماده مغذی زمین، اشغال زمین، اسیدی شدن آبزیان، مردابی شدن، گرمایش جهانی، انرژی تجدید ناپذیر و استخراج مواد معدنی) دسته سمیت آبزیان و شاخص انرژی تجدید ناپذیر، بیشترین سهم را دارا است. یافته‌های حاصل از بررسی ارزیابی خسارت چهار دسته آسیب (سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییرات آب و هوایی و منابع) نشان‌دهنده این است که سهم کاغذ فلوتینگ SMF، ۱۵۵/۰۸ درصد و سهم کاغذ فلوتینگ GMF، ۱۰۰ درصد است و سهم هرکدام به‌صورت وزن دهی شده در SMF، ۰/۸۱pt و در GMF، ۰/۶۷pt است. همچنین شاخص اکسرژی تجمعی در کاغذ فلوتینگ SMF، ۳۸۸۶۴/۹ مگاژول و در کاغذ فلوتینگ GMF، ۲۵۸۷۳/۵۳ مگاژول بوده و سهم هرکدام برحسب درصد در کاغذ فلوتینگ SMF، ۱۵۰/۲۱ درصد و در کاغذ فلوتینگ GMF، ۱۰۰ درصد است. نتایج نشان داد که تولید کاغذ فلوتینگ GMF نسبت به تولید کاغذ فلوتینگ SMF اثرات زیست‌محیطی کمتری را به محیطزیست وارد می‌کنند.

واژگان کلیدی: ارزیابی چرخه زندگی، کاغذ فلوتینگ، شاخص‌های میانی، ارزیابی خسارت، شاخص اکسرژی تجمعی.

فاطمه احمدی سعیدآباد [۱]
سیدحسن شریفی پاجایی [۲*]
اشکان نبوی پله سرائی [۳]
قاسم اسدپور [۴]

[۱] دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[۲] استادیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

[۳] استادیار، گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران

[۴] دانشیار، گروه مهندسی چوب و کاغذ، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

مسئول مکاتبات:
h.sharifi@sanru.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۰۵

مقدمه

کاغذ یک کالای مهم راهبردی به شمار می‌رود که نقش مهمی را در توسعه اقتصادی، فرهنگی و اجتماعی و اقتصادی در جوامع امروزی دارا می‌باشد. مصرف کاغذ یکی از شاخص‌های مؤثر در بررسی کشورها از نظر معیارهای توسعه‌یافتگی در ابعاد گوناگون به‌ویژه اقتصادی و فرهنگی و اجتماعی می‌باشد [۱]. کاغذ یکی از محصولات مهم و استراتژیک به شمار رفته و رشد مصرف سرانه آن در یک کشور، یکی از شاخص‌های رشد و توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی به شمار می‌آید. کارخانه‌های صنایع

خمیرکاغذ سازی و کاغذسازی یکی از بزرگ‌ترین منابع آلودگی صنعتی در سرتاسر جهان به شمار می‌آیند. هم‌اکنون صنایع کاغذسازی آلودگی‌های جبران‌ناپذیری در جهان به وجود آورده است که برای جبران آن باید سالانه ۱۵۰-۱۰۰ میلیون دلار هزینه کرد [۲]. کارخانه چوب و کاغذ مازندران بزرگ‌ترین تولیدکننده کاغذ در ایران به شمار می‌رود که با بهره‌گیری از فنون پیشرفته و سود جستن از دانش متخصصین مجرب سعی در پیشگیری از ایجاد آلودگی و بهبود وضعیت محیط‌زیستی این مجموعه داشته است. بر همین اساس واحد محیط‌زیست شرکت باهدف پایش و کنترل جنبه‌های محیط‌زیستی حاصل از فعالیت‌های این صنعت در دو بخش جنگل و صنعت ایجاد گردید که حاصل فعالیت‌های آن به انجام اقدامات اصلاحی و پیشگیرانه منتهی شده تا بهبود مستمر سیستم مدیریت محیط‌زیستی مجموعه حاصل آید. واحد محیط‌زیست صنایع چوب و کاغذ مازندران باهدف پایش و کنترل جنبه‌ها محیط‌زیستی حاصل از فعالیت‌ها در بخش صنعت با بازدید روزانه از سایت کارخانه و کنترل جنبه‌های محیط‌زیستی در زمینه نشر آلاینده‌های در هوا، آب و خاک می‌تواند به صدور فرم در جهت اقدام اصلاحی و پیشگیرانه مبادرت نماید. همچنین با توجه به حفظ جنگل‌های شمال کشور به‌عنوان تنها اکوسیستم طبیعی و ارزنده با تنوع زیستی و ارزش‌های اکولوژیکی و اقتصادی متعدد نظارت‌های محیط‌زیستی در این بخش نیز با دقت و حساسیت ویژه‌ای در جهت حفظ احیا و توسعه جنگل‌های تحت اختیار به‌درستی محقق گردد. [۳]. کاغذ فلوتینگ ازجمله فراورده‌های مورداستفاده به‌عنوان کالای واسطه‌ای برای تولید کارتن می‌باشد. کاغذ فلوتینگ باید دارای خاصیت ایستایی بالایی باشد تا بتواند در هنگام تبدیل این کاغذ به فلوتینگ و یا کنگره شدن آن دارای استقامت کافی باشد. کاغذ فلوتینگ SMF (Super Machin Fluting) از الیاف بکر چوب پهن برگان و مقدار جزئی خمیر بازیافتی تهیه می‌شود که به لحاظ کیفیت دارای استاندارد مقاومتی بالایی است. در صورتی که کاغذ GMF (Green Machin Fluting) از خمیرهای بازیافتی و به همراه خمیرهای نیمه شیمیایی تهیه می‌شوند، گرچه تولید این نوع کاغذ فلوتینگ ازلحاظ محیط‌زیستی و اقتصادی تا حدودی بهتر است ولی از کیفیت پایین‌تری نسبت به کاغذ فلوتینگ SMF برخوردار است. کاغذ فلوتینگ کاغذی ضخیم و محکم است که به‌عنوان کالای واسطه برای تولید کارتن به کار می‌رود [۴]. توجه به مسائل محیط‌زیستی به‌طور روزافزونی در جوامع پیشرفته و حتی جوامع در حال توسعه بیشتر و بیشتر می‌شود؛ اما توجهات جدید به مسائل محیط‌زیستی بسیار گسترده‌تر و پیچیده‌تر هستند. ازجمله مدیریت پایدار منابع که شامل استفاده حداقل از منابع، استفاده از مواد بازیافتی، ضایعات و محافظت از محیط‌زیست می‌شود. درواقع کاهش مصرف انرژی، استفاده از انرژی حاصل از منابع تجدید پذیر، استفاده بهینه از مواد، استفاده مجدد و بازیافت مواد و کنترل آلاینده‌ها ازجمله مواردی هستند که به پایداری یک صنعت کمک می‌کنند [۵]. ارزیابی چرخه زندگی تکنیکی برای ارزیابی عملکرد محیط‌زیستی یک محصول، فرآیند یا فعالیت از گهواره تا گور یعنی استخراج مواد خام تا مصرف نهایی است [۶]. با توجه به بحران‌های محیط زیستی و با توجه به اثرات مخرب بالای محیط‌زیستی در بخش تولید کاغذ در کشور، لازم است تا پژوهشی در ارتباط تولید کاغذ و اثرات محیط‌زیستی آن انجام گردد تا نقاط داغ (بالاترین سهم آلاینده‌ها) در این چرخه به دست آید. هدف از این پژوهش بررسی ارزیابی چرخه زندگی کاغذ فلوتینگ GMF و SMF بر طبق استاندارد+IMPACT 2002 و با استفاده از نرم‌افزار Sima Pro 8.2.3.0 برای تعیین شاخص‌های اثرات محیط‌زیستی، مقایسه دو نوع فرآیند تولید کاغذ فلوتینگ به نام‌های SMF و GMF و تعیین شاخص اکسرژی تجمعی به‌عنوان روشی نوین در برآورد انواع انرژی در فرآیند تولید کاغذ فلوتینگ است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۸ در شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران انجام‌شده است. اطلاعات موردنیاز در این تحقیق از طریق بازدید از کارخانه شرکت صنایع چوب و کاغذ مازندران جمع‌آوری شد. برای جمع‌آوری اطلاعات موردنیاز مطالعه از روش‌های مختلفی ازجمله مشاهده،

مصاحبه، مطالعه اسنادی و کتابخانه‌ای و پایگاه‌های داده استفاده گردید.

روش ارزیابی چرخه زندگی (Life cycle assessment)

در مطالعه ارزیابی چرخه زندگی، چهار مرحله وجود دارد :۱- مرحله تعریف هدف و دامنه ۲- مرحله تجزیه‌وتحلیل سیاهه ۳- مرحله ارزیابی اثرات ۴- مرحله تفسیر [۷]. دامنه کاربرد، شامل مرز سامانه و سطح جزئیات در یک ارزیابی چرخه زندگی به موضوع و استفاده موردنظر در مطالعه بستگی دارد. عمق و وسعت ارزیابی چرخه زندگی به‌طور عمده بسته به هدف خاص ارزیابی چرخه زندگی، می‌تواند متفاوت باشد [۸]. مرحله تجزیه‌وتحلیل سیاهه چرخه زندگی، دومین مرحله ارزیابی چرخه زندگی است .که در این مرحله منابع طبیعی و دیگر ورودی‌های سامانه و انتشارات آلاینده‌ها و سایر خروجی‌ها در هر فرآیند از سامانه تولید موردبررسی قرار می‌گیرد [۹]. مرحله ارزیابی اثرات چرخه زندگی، سومین مرحله ارزیابی چرخه زندگی است. هدف از آن، فراهم کردن اطلاعات اضافی برای کمک به ارزیابی نتایج سیاهه چرخه زندگی یک سامانه محصول برای درک بهتر اهمیت محیط‌زیستی آن‌ها است [۱۰]. تفسیر چرخه زندگی، مرحله نهایی روش اجرایی ارزیابی چرخه زندگی است که در آن نتایج یک سیاهه چرخه زندگی یا ارزیابی اثرات چرخه زندگی، یا هر دو باهم، به‌عنوان پایه‌ای برای نتیجه‌گیری‌ها، پیشنهادها و تصمیم‌گیری‌ها مطابق با تعریف هدف و دامنه، خلاصه‌شده و موردبحث قرار می‌گیرند [۱۱]. در این پژوهش، ارزیابی اثرات محیط زیستی بر اساس روش+IMPACT2002 انجام شد. با استفاده از این روش، ارتباط بین تحلیل سیاهه چرخه زندگی و دسته‌های نقطه میانی (سرطان‌زایی، غیر سرطان‌زایی، تنفس معدنی، تابش یونیزه کننده، کاهش لایه اوزون، تنفس ارگانیک، سمیت آبزیان، سمیت زمین، اسید زمین/ماده مغذی زمین، اشغال زمین، اسیدی شدن آبزیان، مردابی شدن، گرمایش جهانی، انرژی تجدید ناپذیر و استخراج مواد معدنی) با چهار دسته خسارت (سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییرات آب و هوایی و منابع) بررسی می‌شود.

وزن دهی

با توجه به اینکه واحدهای مجزا و مشخص برای هر دسته سبب شفافیت بیشتر و درک بهتر پیامدهای هر دسته خسارت می‌شود؛ اما برای مقایسه پذیر بودن نیاز به یک واحد مشترک احساس می‌شود؛ بنابراین در روش +IMPACT2002 به روش نرمال‌سازی و ایجاد یک واحد مشترک با عنوان Point امکان مقایسه بین دسته‌های خسارت نیز میسر شده است [۱۲].

نتایج و بحث

تعیین LCI (Life cycle inventory)

اولین گام در بررسی ارزیابی چرخه زندگی، تعیین موجودی (LCI) است. که نتیجه این فرآیند فهرستی از کلیه آثار محیط‌زیستی طی دوره حیات یک محصول یا فناوری است. بر اساس تولید یک تن کاغذ فلوتینگ GMFو SMF بر طبق استاندارد+IMPACT 2002 و با استفاده از نرم‌افزار سیما پرو ۸,۲,۳,۰ انجام گردید که در جدول ۱ – الف و جدول ۱-ب قابل‌مشاهده است. نتایج نشان‌دهنده این است که در تولید هر دو نوع کاغذ GMF و SMFمصرف آب به مقدار زیادتری نسبت به بقیه مواد مصرفی بوده و در میزان انتشارت به هوا سهم گاز دی‌اکسیدکربن نسبت به بقیه گازهای منتشرشده به هوا بیشتر است. آب یکی از اصلی‌ترین مواد اولیه مورداستفاده در صنعت کاغذسازی است که به‌طور مستقیم برای فرآوری خمیرکاغذ، حل کردن و اختلاط انواع مواد شیمیایی، خنک کردن، آب‌بندی پمپ‌ها، شستشوی مخازن و انتقال الیاف از میان غربال‌ها و پالایشگرهای به سمت ماشین کاغذ عمل می‌کند [۱۳]. در بحث مربوط به انتشارات، از میان انتشارت مربوط به آب و خاک و هوا، در این مطالعه انتشارات مربوط به هوا موردبررسی قرار گرفت که نتایج گویای این است که مقدار انتشار گاز دی‌اکسیدکربن از میان دیگر گازهای منتشرشده به هوا دارای سهم بیشتری در هر دو نوع کاغذ تولیدی است. از میان گازهای گلخانه‌ای کربن‌دی‌اکسیدی مهم‌ترین آن‌ها

است که حدود ۶۰ درصد از آثار گلخانه‌ای ناشی از فعالیت‌های بشر مربوط به انتشار CO2 است که منبع اصلی آن مربوط به احتراق سوخت‌های فسیلی است [۱۴]. Mbohwa & Mashok (۲۰۰۷) در مطالعه‌ای که به ارزیابی چرخه زندگی کاغذ در کشور زیمبابوه پرداختند بیان کردند که بیشترین مقدار انتشار گاز دی‌اکسیدکربن مربوط به ساخت خمیرکاغذ سازی و مرحله کاغذسازی است [۱۵].

جدول ۱ (الف)- مقادیر LCI کاغذ فلوتینگ GMF و SMF

مواد	واحد	SMF	GMF
فسفات	کیلوگرم	۱۶/۲۷	**۱۶/۲۷**
پیپریدین	کیلوگرم	۱۸/۱	**۱۸/۱**
کربوکسی متیل سلولز	کیلوگرم	۰/۰۰۰۲	**۰/۰۰۰۲**
سدیم هیپوکلریت	کیلوگرم	۱۱۱	**۱۱۱**
سولفوریک اسید ۹۸٪	کیلوگرم	۲/۹۹	**۲/۹۹**
آلومینیوم سولفات	کیلوگرم	۵۲/۵۹	**۵۲/۵۹**
آهک	کیلوگرم	۲۷/۰۴	**۲۷/۰۴**
پلی اکریل آمید	کیلوگرم	۰/۱۶	**۰/۱۶**
سدیم متاسیلیکات پنتاهیدرات	کیلوگرم	۲۹/۵	**۲۹/۵**
کاغذ بازیافتی	کیلوگرم	۳۳۱/۳۲	**۱۱۰۴/۳۹**
سدیم فسفات	کیلوگرم	۰/۰۲	**۰/۰۲**
اتیلن گلیکومونواتیل اتر	کیلوگرم	۱۳/۵۸	**۱۳/۵۸**
سدیم هیدروکسید	کیلوگرم	۴/۷۷	**۴/۷۷**
سولفور	کیلوگرم	۹/۳۹	**۹/۳۹**
سدیم هیپوکلریت	کیلوگرم	۲۶۳/۳۲	**۲۶۳/۳۲**
آلومینیوم هیدروکسید	کیلوگرم	۰/۲۹	**۰/۲۹**
ماشین‌آلات	کیلوگرم	۰/۰۰۱۳	**۰/۰۰۱۳**
روغن هیدرولیک	لیتر	۳۸/۳۸	**۱۵/۳۵**
آب آشامیدنی	کیلوگرم	۱۰۷۰۰	**۳۸۵۰**
الکتریسیته	مگاوات ساعت	۱/۸۸	**۰/۷۵**
گاز طبیعی	مترمکعب	۱۹۹/۷۸	**۸۰/۲۲**

جدول ۱ (ب)- مقادیر LCI انتشارات به هوا در کاغذ فلوتینگ GMF و SMF

انتشارات به هوا	واحد	SMF	GMF
مورفولین	کیلوگرم	۰/۰۱	**۰/۰۱**
بوتادین	کیلوگرم	$۱/۴\times۱۰^{-۶}$	$\mathbf{۵/۶۴\times۱۰^{-۷}}$
استالدئید	کیلوگرم	$۳/۱\times۱۰^{-۷}$	$\mathbf{۵/۲۴\times۱۰^{-۸}}$
آکرولین	کیلوگرم	$۲/۹\times۱۰^{-۸}$	$\mathbf{۸/۳۹\times۱۰^{-۹}}$
بنزن	کیلوگرم	$۳/۹۲\times۱۰^{-۸}$	$\mathbf{۱/۵۷\times۱۰^{-۸}}$
دی‌اکسید کربن، فسیلی	کیلوگرم	۰/۳۹۲	**۰/۱۵۷**
مونوکسید کربن، فسیلی	کیلوگرم	$۴/۹۱\times۱۰^{-۵}$	$\mathbf{۱/۹۷\times۱۰^{-۵}}$
بنزن اتیل	کیلوگرم	$۱/۰۴\times۱۰^{-۷}$	$\mathbf{۴/۱۹\times۱۰^{-۸}}$

فرمالدئید	کیلوگرم	۲/۳۲×۱۰$^{-۶}$	**۹/۳۱×۱۰$^{-۷}$**
متان، فسیلی	کیلوگرم	۲/۷۹×۱۰$^{-۵}$	**۱/۱۲×۱۰$^{-۵}$**
نفتالین	کیلوگرم	۴/۲۴×۱۰$^{-۹}$	**۱/۷×۱۰$^{-۹}$**

نیتروژن اکسید	**کیلوگرم**	**۳/۳۳×۱۰$^{-۴}$**	**۱/۳۴×۱۰$^{-۴}$**
هیدروکربن‌های فرار حلقوی	کیلوگرم	۷/۱۸×۱۰$^{-۷}$	**۲/۸۸×۱۰$^{-۹}$**
ذرات ریز ۲٫۵ الی ۱۰ میکرون	کیلوگرم	۲/۱۵×۱۰$^{-۵}$	**۸/۶۴×۱۰$^{-۷}$**
پروپیلن اکسید	کیلوگرم	۹/۴۷×۱۰$^{-۸}$	**۳/۸×۱۰$^{-۸}$**
تولوئن	کیلوگرم	۴/۲۴×۱۰$^{-۷}$	**۱/۷×۱۰$^{-۷}$**
سولفور اکسید	کیلوگرم	۲/۰۲×۱۰$^{-۶}$	**۸/۱۲×۱۰$^{-۷}$**
ترکیبات اصلی فرار	کیلوگرم	۶/۸۷×۱۰$^{-۶}$	**۲/۷۶×۱۰$^{-۶}$**
زایلین	کیلوگرم	۲/۰۹×۱۰$^{-۷}$	**۸/۳۹×۱۰$^{-۸}$**
کربن دی اکسید	کیلوگرم	۶۷۷/۵۹	**۱۳۱۸/۸۸**

بررسی شاخص‌های میانی (Midpoint)

بر اساس IMPACT 2002+ در نرم‌افزاری SimaPro 8.2.3.0، بررسی شاخص‌های میانی، ۱۵ طبقه اثر شامل (سرطان‌زایی، غیر سرطان‌زایی، تنفس معدنی، تابش یونیزه کننده، کاهش لایه اوزون، تنفس ارگانیک، سمیت آبزیان، سمیت زمین، اسید زمین/ماده مغذی زمین، اشغال زمین، اسیدی شدن آبزیان، مردابی شدن، گرمایش جهانی، انرژی تجدید ناپذیر و استخراج مواد معدنی) است که در جدول ۲ قابل‌مشاهده است. مصرف ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت و برق اثرگذارترین عامل در بررسی شاخص‌های میانی است.

یکی از مهم‌ترین رده‌های اثر محیط‌زیستی موردبررسی در مطالعات ارزیابی چرخه زندگی، شاخص گرمایش جهانی است که نتایج نشان داد این شاخص در کاغذ GMFبا مقدار (۲۵۲۷/۷۹) نسبت به کاغذ SMF با مقدار (۲۴۰۶/۱۷) دارای مقدار بالاتری است. همچنین سمیت آبزیان که دارای بالاترین سهم در هر دو نوع تولید کاغذ است در کاغذ SMF، دارای مقدار بالاتری است و شاخص نقصان لایه اوزون که دارای کمترین سهم در هر دو نوع کاغذ است در کاغذ SMF دارای مقدار بالاتری است. Silva و همکاران (۲۰۱۵) با ارزیابی تولید کاغذ افست در کشور برزیل و با بررسی شاخص گرمایش جهانی این نتیجه را کسب کردند بیشترین سهم در شاخص گرمایش جهانی مربوط به بخش تولید کاغذ افست با مقدار (۵۲٪) است که بیشتر مربوط به انتشار CO_2 (۴۳/۹٪) از تولید برق است [۱۷]

جدول ۲- نتایج شاخص میانی

گروه اثر	واحد	کاغذ فلوتینگ	مقدار کل هر گروه اثر	اثرگذارترین عامل
سرطان‌زایی	kg C_2H_3Cl eq	SMF	۱۴۳/۰۲	برق، گاز
		GMF	۷۱/۰۱	برق، گاز
غیر سرطان‌زایی	kg C_2H_3Cl eq	SMF	۲۴/۴۷	گاز، برق
		GMF	۱۷/۳۹	سدیم هیپوکلریت، ضد خورگی و ضد رسوب
تنفس معدنی	kg PM2.5 eq	SMF	۲/۲۸	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
		GMF	۲/۰۱	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
تابش یونیزه کننده	Bq C-14 eq	SMF	۱۵۹۲۵/۷۹	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
		GMF	۱۵۲۱۲/۸۶	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
کاهش لایه اوزون	kg CFC-11 eq	SMF GMF	۰/۰۰۰۳۱۰	سدیم هیپوکلریت، میکروبیوساید

			۰/۰۰۰۲۶۳	سدیم هیپوکلریت، میکروبیوساید
تنفس ارگانیک	kg C_2H_4 eq	SMF	۰/۸۶	بیودیسپرسنت، برق
		GMF	۰/۶۱	بیودیسپرسنت، برق
سمیت آبزیان	kg TEG water	SMF	۱۰۵۷۱۳/۳۹	برق، گاز
		GMF	۷۲۴۳۴/۷۴	سدیم هیپوکلریت، ضد خوردگی و ضد رسوب
سمیت محیط خشکی	kg TEG soil	SMF	۱۹۶۱۶/۰۳	سدیم هیپوکلریت، ضد خوردگی وضدرسوب
		GMF	۱۶۹۷۵/۴۸	سدیم هیپوکلریت، ضد خوردگی و ضد رسوب
اسید زمین/ماده مغذی زمین	kg SO_2 eq	SMF	۲۳/۵۰	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
		GMF	۱۸/۶۳	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
اشغال زمین	m^2org.arable	SMF	۲۳/۳۷	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
		GMF	۲۲/۳۸	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
اسیدی شدن آبزیان	kg SO_2 eq	SMF	۸/۷۱	برق، ضد خوردگی و ضد رسوب
		GMF	۶/۴۸	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
خوراکوری محیط‌های آبی	kg PO_4 P-lim	SMF	۴/۷۴	ضد خوردگی و ضد رسوب، سیدیم هیپوکلریت
		GMF	۴/۷۳	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
گرمایش جهانی	kg CO_2 eq	SMF	۲۴۰۶/۱۷	برق، انتشارات مستقیم
		GMF	۲۵۲۷/۷۹	انتشارات مستقیم، ضد خوردگی وضدرسوب
انرژی تجدید ناپذیر	MJ primary	SMF	۳۸۷۰۴/۴۸	برق، گاز
		GMF	۲۴۹۳۳/۲۱	ضد خوردگی و ضد رسوب، برق
استخراج مواد معدنی	MJ surplus	SMF	۸۸/۷۳	سدیم هیپوکلریت، آلومینیوم سولفات
		GMF	۸۱/۸۹	سدیم هیپوکلریت، آلومینیوم سولفات

بررسی شاخص میانی نشان‌دهنده این است سهم کاغذ فلوتینگ SMF بیشتر از کاغذ فلوتینگ GMF است.

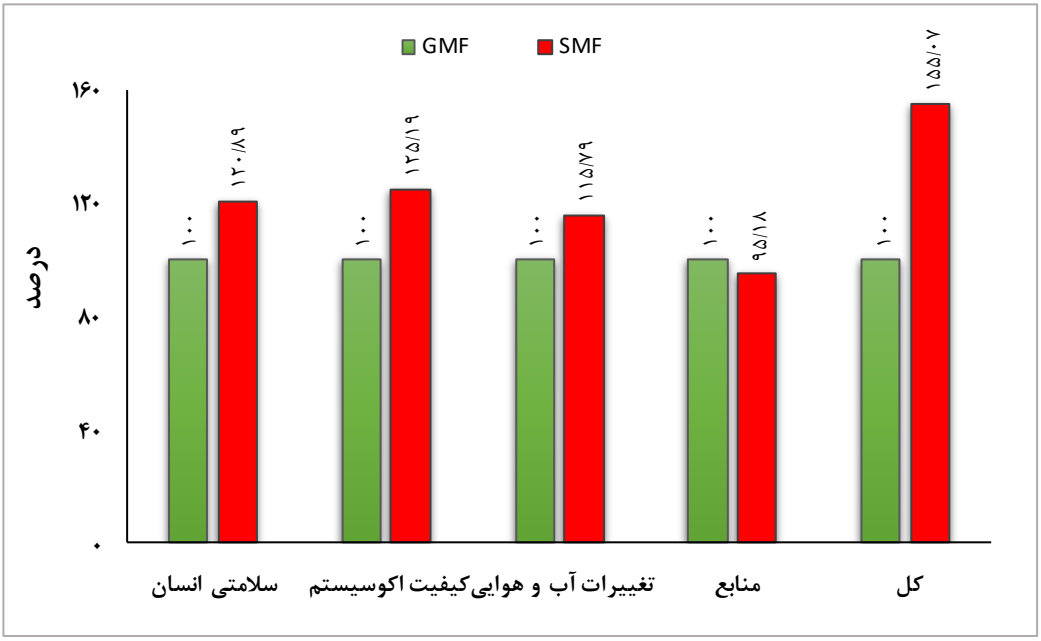
بررسی ارزیابی خسارت (Damage assessment)

خسارت‌های وارده بر سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییرات آب و هوایی و منابع در طی فرآیند تولید کاغذ GMF و SMF در جدول ۳ نشان داده‌شده است. مصرف برق اثر چشمگیری در چهار دسته سلامت انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییرات آب و هوایی و منابع را دارا است. سهم دسته منابع در هر دو روش تولید کاغذ بالاتر از بقیه دسته‌ها است و سهم دسته سلامتی انسان در هر دو دسته دارای مقدار کمتری است. Hong & Li (۲۰۱۲) در کشور چین با بررسی ارزیابی خسارت وارده بر تولید دو نوع کاغذ تحریر خمیرکاغذ ساخته شده از کاغذ بازیافتی و خمیر ساخته‌شده از چوب دریافتند دسته منابع دارای بالاترین مقدار بوده و کمترین مقدار را دسته سلامتی انسان دارا است [۱۸]

جدول ۳-بررسی ارزیابی خسارات

گروه خسارت	واحد	کاغذ فلوتینگ	مقدار کل هر گروه اثر	اثرگذارترین عامل
سلامتی انسان	DALY	SMF	۰/۰۰۲۰۷	ضد خوردگی و ضد رسوب، برق
		GMF	۰/۰۰۱۶۶	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
کیفیت اکوسیستم	PDF*m^2*yr	SMF	۲۱۰/۳۸	سدیم هیپوکلریت، ضد خوردگی و ضد رسوب
		GMF	۱۸۱/۶۸	سدیم هیپوکلریت، ضد خوردگی و ضد رسوب
تغییرات آب و هوایی	kg CO_2 eq	SMF	۲۴۰۶/۱۷	برق، انتشارات مستقیم
		GMF	۲۵۲۷/۷۹	انتشارات مستقیم، ضد خوردگی و ضد رسوب
منابع	MJ primary	SMF	۳۸۷۹۳/۲۲	برق، گاز
		GMF	۲۵۰۱۵/۱۰	برق، ضد خوردگی و ضد رسوب

شکل ۱ نشان می‌دهد که سهم کاغذ فلوتینگ SMF با مقدار کلی (۱۵۵/۰۷) درصد در ایجاد خسارات وارده بر چهار دسته (سلامتی انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییرات آب و هوایی و منابع) نسبت به کاغذ فلوتینگ GMF با مقدار کلی (۱۰۰) درصد بیشتر است.



شکل۱- نتایج بررسی ارزیابی خسارت به‌صورت درصد

وزن دهی (Weighting) شاخص‌های خسارت

بررسی شاخص وزن دهی گروه‌های اثر (سلامتی انسان، کیفیت اکوسیستم، تغییرات آب و هوایی و منابع) در تولید یک تن کاغذ فلوتینگ GMF و SMF بر اساس استاندارد IMPACT 2002+و با استفاده از نرم‌افزار SimaPro 8.2.3.0انجام گردید و در جدول ۴ قابل‌مشاهده است. از میان مراحل اختیاری ارزیابی چرخه زندگی که شامل نرمال‌سازی و وزن دهی است، در این پژوهش به بررسی وزن دهی شاخص‌های خسارت پرداخته شد. مصرف برق اثرگذارترین عامل در چهار دسته اثر است و به‌طورکلی سهم کاغذ فلوتینگ SMF با مقدار کلی (۰/۸۱) نسبت به کاغذ فلوتینگ GMF با مقدار (۰/۶۷) بیشتراست.

جدول ۴- بررسی وزن دهی دسته‌های خسارت

دسته‌های خسارت	واحد	کاغذ فلوتینگ	مقدار کل هر گروه اثر	اثرگذارترین عامل
سلامتی انسان	Pt	SMF	۰/۲۹	ضد خوردگی و ضد رسوب، برق
		GMF	۰/۲۳	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
کیفیت اکوسیستم	Pt	SMF	۰/۰۲	سدیم هیپوکلریت، ضد خوردگی و ضد رسوب
		GMF	۰/۰۱	سدیم هیپوکلریت، ضد خوردگی و ضد رسوب
تغییرات آب و هوایی	Pt	SMF	۰/۲۴	برق، انتشارات مستقیم
		GMF	۰/۲۶	انتشارات مستقیم، ضد خوردگی وضدرسوب
منابع	Pt	SMF	۰/۲۶	برق، گاز
		GMF	۰/۱۶	برق، ضد خوردگی و ضد رسوب
کل	Pt	SMF	۰/۸۱	بر
		GMF	۰/۶۷	برق

محاسبه اکسرژی تجمعی (Cumulative Exergy Demend)

در جدول ۵ تقاضای اکسرژی تجمعی برای گروه‌های اثر موردبررسی در کاغذ فلوتینگ GMF و SMF نشان داده‌شده است. بر این اساس منابع انرژی تجدیدناپذیر فسیلی، در هر دو روش تولید نسبت به بقیه دسته‌های اثر، دارای سهم بالایی است ولی در کاغذ فلوتینگ SMF به مقدار بیشتری بوده که به دلیل مصرف بالای برق است. به‌طور کل سهم کاغذ فلوتینگ SMF با مقدار (۳۸۸۶۴/۹) نسبت به کاغذ فلوتینگ GMF با مقدار (۲۵۸۷۳/۵۳) بیشتر است. Kouchaki-Penchah و همکاران (۲۰۱۶) در تحقیقی در ارتباط با اکسرژی تجمعی تولید تخته‌خرده چوب اظهارکردند که انرژی تجدید ناپذیر فسیلی بالاترین مقدار MJ ۴۸۵۸ مگاژول شاخص بوده و الکتریسیته اثرگذارترین عامل در این دسته است [۱۹].

جدول ۵- بررسی اکسرژی تجمعی

دسته های اثر	واحد	کاغذ فلوتینگ	مقدار کل هر گروه اثر	اثرگذارترین عامل
انرژی تجدید ناپذیر، فسیلی	MJ	SMF	۳۵۱۴۷/۲۴	برق، گاز
		GMF	۲۲۲۱۲/۸۱	برق، ضد خوردگی و ضد رسوب
انرژی تجدیدپذیر، جنبشی	MJ	SMF	۱۳۴/۳۸	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
		GMF	۱۳۰/۵۱	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
انرژی تجدید پذیر، بالقوه	MJ	SMF	۶۷۱/۶۱	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
		GMF	۶۴۷/۰۱	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
انرژی تجدید ناپذیر، اولیه	MJ	SMF	۱۳/۴۰	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
		GMF	۱۳/۳۶	ضد خوردگی و ضد رسوب، کاغذکرافت
فلزات تجدید ناپذیر	MJ	SMF	۳۷۳/۴۲	سدیم هیپوکلریت، میکروبیوساید
		GMF	۳۴۹	سدیم هیپوکلریت، میکروبیوساید
مواد معدنی تجدید ناپذیر	MJ	SMF	۲۵۲۴/۸۵	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
		GMF	۲۵۲۰/۸۴	ضد خوردگی و ضد رسوب، سدیم هیپوکلریت
کل	MJ	SMF	۳۸۸۶۴/۹	ضد خوردگی و ضد رسوب
		GMF	۲۵۸۷۳/۵۳	ضد خوردگی و ضد رسوب

نتیجه‌گیری

LCA راهکاری است که به‌منظور ارزیابی اثرات محیط‌زیستی مرتبط با تولید محصول به‌وسیله محاسبه دو مؤلفه مصرف منابع و انتشار آلاینده‌ها به محیط‌زیست تعیین می‌شود. در این مطالعه به بررسی ارزیابی چرخه زندگی فرآیند تولید کاغذ فلوتینگ SMF و GMF پرداخته شد. یافته‌های حاصل از پژوهش نشان‌دهنده این است که با توجه به پایین‌تر بودن میزان آلاینده‌های محیط‌زیستی در تولید کاغذ فلوتینگ GMF در مقایسه با کاغذ فلوتینگ SMF توصیه می‌گردد بیشتر از روش تولید GMF در تولید کاغذ فلوتینگ استفاده گردد.توصیه می‌شود مطالعه‌ای جهت ارزیابی شاخص‌های اقتصادی و مدل‌سازی و بهینه‌سازی هزینه‌های تولید کاغذ فلوتینگ و استفاده از روش‌های مدل‌سازی جهت پیش‌بینی میزان مصرف انرژی و اثرات محیط‌زیستی در تولید کاغذ فلوتینگ صورت پذیرد. کنترل مصرف آب در فرآیند تولید و مصرف بهینه آب، به حداقل رساندن فیبرهای زائد و غیرقابل استفاده در آب، ایجاد آزمایشگاه‌های مجهز جهت نمونه‌برداری منظم از پساب خروجی هر واحد، شناسایی منابع مصرف آب و راهکارهای ممکن جهت مصرف بهینه آب و سایر حامل‌های انرژی، اجرای صحیح و اصولی نگه‌داری و تعمیرات ماشین‌آلات و یا استفاده از ماشین‌آلات جدید و کم مصرف‌کننده انرژی به‌جای استفاده از ماشین‌آلات قدیمی و انرژی بر توصیه می‌گردد. ازآنجایی‌که واحد تهیه چیپس (واحد ۳۰۰) در کارخانه چوب و کاغذ، الکتریسیته بیشتری را نسبت به واحدهای دیگر مصرف می‌کند

پیشنهاد می‌گردد که در ساعات اوج مصرف به میزان کمتری این واحد تولیدی فعالیت نموده و یا فعالیت‌های خود را در ساعات کم‌مصرف برق انجام دهد. همچنین استفاده از تکنولوژی‌های پیشرفته در تولید برق، نگهداری و تعمیر مناسب، بهسازی و نوسازی سیستم‌های تولید، توزیع و مصرف الکتریسیته در کارخانه یکی دیگر از راهکارهای مؤثر در این زمینه می‌باشد. استفاده از فیلترهای دودکش، ایجاد آزمایشگاه‌های مجهز جهت نمونه‌برداری منظم از دود خروجی از دودکش هر واحد، استفاده از انرژی تجدیدپذیر، همانند انرژی خورشیدی برای تولید الکتریسیته و همچنین استفاده از انرژی باد در محیط کارخانه به‌منظور تعیین میزان گازهای منتشرشده از کارخانه به هوا و همچنین ایجاد فضای سبز در محوطه اطراف کارخانه و اجرای دوره‌های آموزش محیط‌زیست برای کارکنان توصیه می‌گردد. ارزیابی چرخه‌ی حیات یکی از این ابزارهای پشتیبان تصمیم‌گیری می‌باشد و تکنیکی برای ارزیابی جنبه‌های محیط‌زیستی و اثرات بالقوه‌ی فرآیند تولید محصول یا ارائه‌ی خدمات است. استفاده از این روش در تولید انواع کاغذ تولیدی در کارخانه چوب و کاغذ مازندران به‌منظور شناسایی آلاینده‌های محیط‌زیستی و تعین نقاط داغ آلاینده‌ها و بعلاوه استفاده از نرم‌افزار سیما پرو به‌منظور تحلیل بارهای محیط‌زیستی محصول به دلیل سادگی کار با این نرم‌افزار و دسترسی بالا به این نرم‌افزار نسبت به سایر نرم‌افزارهای موجود به‌منظور ارزیابی چرخه حیات پیشنهاد می‌گردد. با توجه به افزایش روبه رشد جمعیت و به‌تبع آن افزایش استفاده از کاغذ فلوتینگ پیشنهاد می‌گردد که با استفاده از پسماندهای کشاورزی به‌جای منابع خام سلولزی می‌توان در مصرف چوب آلات جنگلی صرفه‌جویی کرده و درنتیجه فشار وارد بر منابع طبیعی کاهش قابل ملاحظه‌ای پیداکرده و هزینه‌های تولید نیز کاهش خواهند یافت. نظر به اینکه پساب صنعت کاغذ و مقوا به دلیل داشتن آلایندگی زیاد روی زندگی موجودات آبزی و زیبایی محیط‌زیست اثرات نامطلوبی به‌جا می‌گذارند توصیه می‌شود مطالعه‌ای جهت آنالیز پساب واحدهای مختلف چوب و کاغذ به‌منظور شناسایی اثرات محیط‌زیستی تولید کاغذ و ارائه پیشنهادهایی در این زمینه به‌منظور بهبود تولید کاغذ تولیدی در کارخانه چوب و کاغذ مازندران صورت گیرد.

منابع

[1] Tajaldini, A. and Roohnia, M., 2008. Investigation and prediction on fluting paper supply & demand in Iran. Bi-Quarterly Journal of Iranian Wood and Paper Sciences Research Iranian. 23(2):123-135. (In persian)

[2] Ebrahimi-Barisa, R. and Tavakoli, H., 2013. Environmental pollutants in pulp and paper industries and methods of their control. Second National Conference on Planning and Environmental Protection, 15 August, Hamedan, Iran,15 p. (In persian)

[3] Karimi Organi, F. and Motaghi, S.H., 2009. Investigation of pollution caused by effluent of Mazandaran wood and paper factory. The third specialized conference and exhibition of environmental engineering, October, Tehran, Iran, 10p. (In persian)

[4] Rafighi, A., Bayat Kashkooli, A. Vali, M. and Azizi, M., 2014. Determining and evaluating the effective criteria in the optimal location of flutation paper production plant from agricultural waste in Golestan province. Journal of Wood and Forest Science and Technology, 21(1): 137-148. (Inpersian)

[5] Naderi, M. and Salari Baghoonabad, M., 2013. Investigation of power generation technologies with the approach of reducing greenhouse gas emissions with the Life Cycle Assessment (LCA) technique. The first national conference on new and clean energies, Hamedan, Iran, 15p. (Inpersian)

[6] Azapagic, A., 1999. Life cycle assessment and its application to process selection, design and optimization. Chemical Engineering Journal, 73: 1-21.

[7] Tong, R., Zhai, Y. and Li, X., 2015. An LCA-based health damage evaluation method for coal mine dust. Veterinary Clinical Pathology: A Case-Based Approach, 223-230.

[8] Curran, M. A., (Ed.). 2016. Goal and scope definition in life cycle assessment. Springer. Germany.181 p.

[9] Abbasi, H., Zarea-Hosseinabadi, H. and Mousazadeh, H., 2016. Assessing the environmental impacts of the comfort furniture production process using life cycle assessment techniques. Iranian Journal of Wood and Paper Industries,7(3): 475-485. (Inpersian)

[10] Pant, R., Van Hoof, G. Schowanek, D. Feijtel, T.C. de Koning, A. Hauschild, M. and R. Rosenbaum, R., 2004. Comparison between three different LCIA methods for aquatic ecotoxicity and a product environmental risk assessment. The International Journal of Life Cycle Assessment, 9(5): 295-306.

[11] Guinée, J., Gorree, M. Heijungs, R. Huppes, G. Kleijn, Udo de Haes, H. Van der Voet, E. and Wrisberg, M., 2002. Life Cycle Assessment. An operational guide to ISO standards. Volume 1, 2, 3. Centre of Environmental Science, Leiden University (CML), the Netherlands.Hong, J. and Li, X. 2012. Environmental assessment of recycled printing and writing paper: A case study in China. Waste Management, 32: 264-270.

[12] Jolliet, O., Margni, M. Charles, R. Humbert, S. Payet, J. Rebitzer, G. and Rosenbaum, R., 2016. IMPACT 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, 8(6): 324-330.

[13] Kermanian, H., Razmpur, Z. Ramezani, O. and Rahmani nia, m., 2010. Evaluation of water consumption reduction strategies in a set of packaging paper recycling factories in Iran. Environmental Sciences, 8(1): 115-133. (Inpersian)

[14] Vaseghi, E. and Esmaili, A., 2009. Investigating the Determinants of CO2 Emissions in Iran (Application of Kuznets Environmental Theory), environment College, Ecology, Tehran, 35(52): 99-110. (Inpersian)

[15] Mbohwa, C.T. and Mashoko, L., 2007. Application of Life Cycle Assessment in the Zimbabwean Pulp and Paper industry.6P.

[16] Silva, D. A. L., Pavan, A.L.R. de Oliveira, J.A. and Ometto, A.R., 2015. Life cycle assessment of offset paper production in Brazil: hotspots and cleaner production alternatives. Journal of Cleaner Production. 93:222–233.

[17] Hong, J. and Li, X., 2012. Environmental assessment of recycled printing and writing paper: A case study in China. Waste Management. 32: 264-270.

[18] Kouchaki-Penchah, H., Sharifi, M. Mousazadeh, H. Zarea-Hosseinabadi, H. and Nabavi-Pelesaraei, A., 2016a. Gate to gate life cycle assessment of flat pressed particleboard production in Islamic Republic of Iran. Journal of Cleaner Production, 112: 343-350.

Life cycle Assessment of SMF and GMF Fluting Paper Production Process

Abstract

The purpose of this study is to evaluate the environmental effects of SMF and GMF fluting paper production in Mazandaran Wood and Paper Industries using the Life Cycle Assessment (LCA) method. Statistics and information required for this research were obtained through interviews with engineers and experts in the industries. The findings show that in the section on the Life cycle inventory (LCI), the amount of water consumed and the emission of carbon dioxide have a greater share than other materials. Also, by examining the intermediate indices, it was found that among 15 groups of effects (carcinogenicity, non-carcinogenicity, mineral respiration, ionizing radiation, ozone depletion, organic respiration, aquatic toxicity, soil toxicity, soil acid/nutrient, occupation earth, aquatic acidification, swamping, global warming, non-renewable energy, and mineral extraction), aquatic toxicity category and non-renewable energy indices have the largest share. Findings from the assessment of damage in four categories of damage (human health, ecosystem quality, climate change, and resources) show that the share of SMF, and GMF fluting papers, respectively, are 155.08 and 00 percent and the weighted share of each one is 0.81pt, and 0.67pt, respectively. Also, cumulative exergy demand in SMF, and GMF fluting papers are 38864.9 MJ, and 25873.53 MJ, respectively while the share of each in percentage in 150.21, and 100 percent, respectively. The results showed that the production of GMF fluting paper has fewer environmental effects than the production of SMF fluting paper.

Keywords: Life Cycle Assessment, Fluting paper, Midpoint Index, Damage assessment, cumulative exergy demand.

F. Ahmadi saeedabad[1]
S. H. Sharifi Pajaie[2*]
A. Nabavi pelehsaraee[3]
Gh. Asadpour[4]

[1] M.Sc. Graduate, Wood and Paper Science Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University Sari, Iran

[2] Assist. Prof., Wood, and Paper Science Department, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resource University Sari, Iran

[3] Assist. Prof., Department of Mechanical Engineering of Biosystems, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

[4] Associate Professor, Department of wood and paper industry. Sari Agriculture Science and Natural Resources University, Sari, Iran

Corresponding author:
h.p.sharifi@sanru.ac.ir

Received: 2022/04/11
Accepted: 2022/07/27