نشریه مهندسی عمران امیرکبیر

نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، دوره ۵۱، شماره ۲، سال ۱۳۹۸، صفحات ۲۴۳ تا ۲۵۵
DOI : 10.22060/ceej.2018.13342.5384

ارزیابی زیست‌محیطی چرخه عمر سیستم‌های تصفیه لجن تصفیه خانه‌های فاضلاب اردبیل و خلخال

حامد پارساجو[۱]، ابراهیم فتائی[۲*]

۱- دانشکده فنی، موسسه آموزش عالی صائب، ابهر، ایران.
۲- دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اردبیل، اردبیل، ایران.

چکیده: با گسترش روز افزون جمعیت و اهمیت توسعه پایدار، نیاز به سیستم های تصفیه فاضلاب با بار زیست محیطی کمتر و با ملحوظ نمودن صرفه اقتصادی، بیشتر احساس می شود. روش ارزیابی چرخه عمر، یکی از روش های ارزیابی زیست محیطی محصولات و خدمات است. در این مطالعه به مقایسه سیستم های تصفیه لجن بین دو روش لاگون هوادهی(تصفیه خانه فاضلاب اردبیل) و لجن فعال(تصفیه خانه فاضلاب خلخال) پرداخته شد. برای این منظور، ورودی ها(مواد و انرژی) و خروجی ها(آلاینده های مربوط) هر دو سیستم مشخص گردید. بر اساس داده های پارامترهای کیفی حاصل از اندازه گیری شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل مقدار گازهای تولیدی متان و دی اکسید کربن در هر دو سیستم محاسبه گردید و با استفاده از نرم افزار سیماپرو (Simapro) ۸،۲،۰ و داده پایه اي CML 2001 و Eco-indicator۹۹ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج نشان داد که سیستم لاگون در تمامی طبقات اثر، اثرات حداکثری داشته و در مقابل، سیستم لجن فعال دارای اثرات زیست محیطی بسیار کمتری نسبت به سیستم لاگون بوده بنابراین به عنوان سیستم جایگزین روش لاگون هوادهی در طرح توسعه تصفیه خانه فاضلاب اردبیل معرفی می گردد.

تاریخچه داوری:
دریافت: ۳ شهریورماه ۱۳۹۶
بازنگری: ۲۹ بهمن ماه ۱۳۹۶
پذیرش: ۲۰ اسفندماه ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۱ اردیبهشت ماه ۱۳۹۷

کلمات کلیدی:
ارزیابی چرخه عمر
ارزیابی اثرات زیست‌محیطی
تصفیه فاضلاب
مدیریت لجن
طبقات اثر

۱- مقدمه

با کمبود منابع آب و لزوم تصفیه فاضلاب، حجم عظیمی از لجن که محصول جانبی تصفیه فاضلاب است نیاز به دفع ایمن از نظر زیست‌محیطی دارد. در موضوع مدیریت لجن، انتخاب نوع سیستم‌های تصفیه فاضلاب یکی از مهم‌ترین موضوعات قبل از طراحی و اجرا می‌باشد. به طور معمول در برخی از کشورهای درحال توسعه، ارزیابی فرایندهای تصفیه تنها بر اساس معیار اقتصادی صورت می‌گیرد وگزینه‌هایی با حداقل هزینه‌ی سرمایه گذاری انتخاب می‌شود [گوآنگمینگ و همکاران، ۲۰۰۷] .تصفیه فاضلاب که برای کاهش یا از بین بردن آلودگی‌ها و ناخالصی‌ها به کار گرفته می‌شود می‌تواند دارای اثرات زیست‌محیطی نیز باشد. از آن جمله می‌توان به تشدید گرمایش جهانی به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای، افزایش تغذیه‌گرایی منابع آب به دلیل تخلیه پساب حاوی مواد مغذی بازیافت شده به منابع آب و غیره اشاره کرد [فیضی و همکاران، ۱۳۹۱].

«ارزیابی چرخه عمر» از اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی تا به امروز در بسیاری از کشورهای دنیا به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته‌است و توانسته نگرش تصمیم گیرندگان را نسبت به سیستم ها و فرایندها تحت شعاع قرار دهد [کورومیناس و همکاران، ۲۰۱۳]. ارزیابی چرخه عمر یک رویکرد "گهواره تا گور" (Cradle to Grave) برای ارزیابی سیستم‌ها است، این ابزار قادر به بررسی پیامدها در تمام طول فرایند می‌باشد. این ویژگی بدین معناست که نه تنها مرحله اصلی فرایند، بلکه کلیه زیرساخت ها، مواد و منابع اولیه و انرژی مورد نیاز برای انجام فرایند و تمام پسماندها، هدر رفت ها، آلاینده‌ها، مواد و انرژی تولیدی از آن نیز قابل ارزیابی می‌باشد [عطاریان و همکاران، ۱۳۹۳].

مطالعات صورت پذیرفته در این زمینه، اغلب در خصوص مدیریت پسماند می‌باشد و مطالعات [امرسون و همکاران، ۱۹۹۵; دیکسون و همکاران، ۲۰۰۳; ماچادو و همکاران، ۲۰۰۶; رنو و همکاران، ۲۰۰۸; ژانگ و همکاران، ۲۰۱۰; چانگینگ و همکاران، ۲۰۱۴] در خصوص تصفیه فاضلاب و مدیریت لجن است. در مطالعه امرسون که فیلترهای بیولوژیکی با لجن فعال مقایسه گردیده نتایج نشان می‌دهد که انرژی مورد استفاده در فاز کارکرد تصفیه خانه سهم زیادی در ایجاد اثرات زیست‌محیطی ناشی از فرایند تصفیه داشته‌است. هم‌چنین فیلترهای بیولوژیکی انرژی کمتری مصرف کرده و میزان گازهای خروجی آزاد شده نیز کمتر بوده‌است. دیکسون در تحقیق دیگری بیوفیلتر را با

نویسنده عهده‌دار مکاتبات : ebfataei@iauardabil.ac.ir

سیستم نیزار مقایسه نمود و نتایج نشان داد سیستم نیزار در مقایسه با بیوفیلتر دارای انرژی مصرفی و خروجی CO_2کمتری بوده‌است ولی از نظر خروجی‌های جامد به طور قابل ملاحظه ای از بیوفیلتر مناسب‌تر بوده‌است. ماچادو نیز به مقایسه سیستم طبیعی (تالاب) با لجن فعال پرداخته و اثرات کم زیست‌محیطی سیستم تصفیه طبیعی در طبقه اثر گرمایش زمین، به طور واضح نشان داده شده‌است. رنو، روش‌های مختلف ارزیابی اثرات زیست‌محیطی را در مطالعات LCA با یکدیگر مورد مقایسه قرار داد و مشخص گردید که در طبقات اثرگازهای گلخانه‌ای، کاهش منابع طبیعی، پرغذایی[1] و اسیدی شدن تفاوتی بین نتایج حاصل از متدهای مختلف وجود نداشت ولی برای شاخص‌های سلامت انسان و محیط زیست نتایج حاصل از روش‌های مختلف دارای تفاوت‌های قابل ملاحظه‌ای بود. ژانگ، دو روش LCA روندی و LCA ورودی/خروجی را در یک ساختار با یکدیگر ترکیب نمود و نشان داد که ارزش زیست‌محیطی آب حاصل از تصفیه ثانویه بسیار بیشتر از انرژی مصرف شده‌است. در مطالعه چانگینگ، سناریوهای مختلف تصفیه لجن (هاضم بی هوازی-سوزاندن و لندفیل) بررسی شد و نتایج نشان داد که هاضم بی‌هوازی باعث کاهش حجم خشک لجن و ذخیره انرژی شد و تکنولوژی لندفیل بیشترین و تکنولوژی سوزاندن کمترین بار زیست‌محیطی را داشتند.

در حال حاضر سیستم تصفیه فاضلاب شهراردبیل از نوع لاگون می‌باشد که به علت شرایط سخت اقلیمی منطقه بخصوص یخبندان در فصل زمستان، کارکرد آن به حداقل می‌رسد و یکی از مشکلات آن، تولید حجم بالای لجن و به طبع آثار زیست‌محیطی می‌باشد. لذا برای انتخاب مناسب‌ترین سیستم در طرح توسعه تصفیه خانه فاضلاب اردبیل اقدام به انجام این مطالعه شده‌است. در این مطالعه دو سیستم تصفیه لجن (لاگون هوادهی اردبیل و لجن فعال خلخال) از نظر عملکرد و اثرات زیستی آن‌ها در شرایط اقلیمی مشابه مورد مقایسه قرار گرفته و ارزیابی گردید و در نهایت سیستم سازگار با محیط زیست و آب و هوای شهر اردبیل و لجن تولیدی کمتر انتخاب شد.

۲- روش تحقیق

روش ارزیابی چرخه عمر شامل مراحل تعیین هدف، حوزه، واحد کارکردی و مرز سیستم می‌باشد. هدف، بیانگر قصد محقق بوده و دلایل او را برای انجام یک تحقیق نشان می‌دهد. حوزه بیانگر انتخاب‌های روش‌شناسی است که از اهمیت بالایی برخوردار هستند که شامل فرضیات تحقیق و محدودیت‌های تحقیق است. واحد کارکردی، زمانی از اهمیت بالایی برخوردار می‌شود که قصد مقایسه بین دو محصول و یا دو نوع روش تولید وجود داشته باشد. در چنین مواردی انتخاب به امری دشوار بدل می‌گردد. تعیین مرزهای سیستم نیز می‌بایست با دقت بالا تعیین شود. چراکه در صورت تعیین نشدن دقیق مرزهای سیستم، کار برای محقق به علت گسترده بودن چرخه عمر و از لحاظ درون‌دادها و برون‌دادها به امری دشوار تبدیل می‌شود. مراحل چهارگانه LCA در خصوص سیستم‌های لاگون هوادهی اردبیل و لجن فعال شهرستان خلخال به شرح ذیل تعیین گردید]استاندارد ایران- ایزو ۱۴۰۴۴[:

۲-۱- تعریف حوزه و هدف

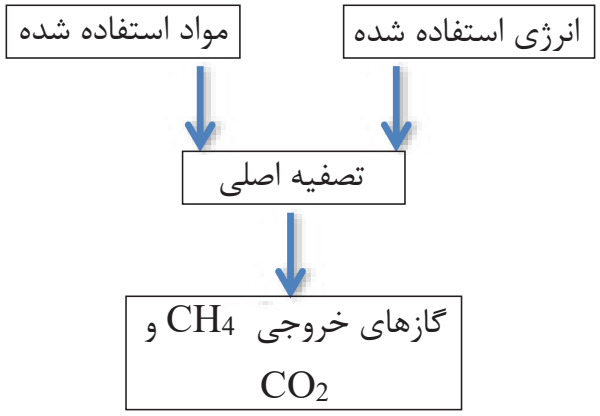
حوزه ارزیابی چرخه عمر در این تحقیق شامل مقایسه سیستم‌های تصفیه لجن (لاگون هوادهی و لجن فعال) بود که با هدف تعیین نقاط برجسته چرخه عمر و هم‌چنین تعیین اینکه کدام سیستم کمترین پیامد زیست‌محیطی را همراه با کمترین مصرف مواد و انرژی دارد؛ تعیین گردید.

۲-۲- واحد کارکردی

در این مطالعه واحد عملیاتی یک متر مکعب لجن برای مقایسه فرایندهای مختلف تصفیه فاضلاب در نظر گرفته شد.

۲-۳- مرز سیستم

از آن‌جایی که ارزیابی چرخه عمر رهیافتی پیچیده و دقیق است لذا با توجه به محدودیت زمانی تحقیق، و فقدان اطلاعات لازم برای انجام تحقیق در بازه گسترده، تصمیم گرفته شد که مرزهای سیستم مطابق شکل ۱، به نحوی تعیین شود که داده‌های موجود، اجازه انجام تحقیق را بدهد.



شکل ۱. مرز سیستم برای ارزیابی چرخه عمر سیستم‌های تصفیه لجن (لاگون هوادهی و لجن فعال)
System boundary for life cycle assessment of sludge treatment system (aerated lagoon and activated sludge)

1 Eutrophication

۴-۲- جمع آوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها

داده‌های مورد نیاز از طریق شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل تهیه گردید (جدول ۱). انرژی و مواد خام مصرفی و میزان روزانه تولید گازهای گلخانه‌ای متان و دی‌اکسیدکربن برای تصفیه یک متر مکعب لجن محاسبه شد. اطلاعات به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار سیماپرو و داده پایه ای CML۲۰۰۱ و Eco-indicator۹۹ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

جدول ۱. مقادیر داده‌های کیفی و انرژی مصرفی دو سیستم تصفیه فاضلاب اردبیل و لجن فعال خلخال

Quantitative data values and energy consumption of two systems of Ardabil wastewater treatment and khalkhal activated sludge

ردیف	پارامتر	واحد	ورودی تصفیه خانه اردبیل	ورودی تصفیه خانه خلخال	خروجی تصفیه خانه اردبیل	خروجی تصفیه خانه خلخال
۱	BOD	mg/l	۳۲۱/۱۷	۲۴۸/۸۵	۸۰/۶۳	۲۸
۲	COD	mg/l	۵۹۲/۶۵	۳۴۴/۶۲	۱۸۶/۸۲	۹۲۵۵
۳	TS	mg/l	۱۳۹۳/۴۹	۱۲۰۲/۲۴	۱۲۰۲/۶۷	۸۳۲/۵۸
۴	TOC	mg/l	-	-	۵۳/۷۵	۱۸/۶۶
۵	TN - TP	mg/l	۲۰-۸۵	۸-۴۰	۱۱-۱۹/۳	۱-۶/۵
۶	No۳	mg/l	-	-	۲/۶۸	۱۸/۷۵
۷	No۲	mg/l	-	-	۸	۲/۸
۸	Ca	mg/l	-	-	۹۶/۷۵	۷۶/۳۳
۹	Mg	mg/l	-	-	۲۵/۲۵	۲۳/۱۴
۱۰	Na	mg/l	-	-	۱۸۶/۲۵	۱۷۰
۱۱	SAR	meq/l	-	-	۴/۳۷	۴/۳۹
۱۲	VOC	mg/l	-	-	۱/۵	۱۵
۱۳	Electricity	kw/h	۴۵۷۶۰۰۰	۴۵۰۶۰۰	-	-
۱۴	Cl۲ & ۲(Ca(OCl	ton	۲۰	۴	-	-

منبع: شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل

مقدار گازهای تولید شده متان، دی‌اکسید کربن و اکسیژن مصرفی در سیستم تصفیه لجن فعال با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در تصفیه خانه فاضلاب شهر خلخال به شرح زیر محاسبه گردید:

(مقدارجرم سلولی تولید شده در هر متر مکعب لجن) X= ۶۸/۸۱

(ورودی به هاضم) VSS= ۶/۲۷۸۹ Lb/d ; mg/l

(دبی) Q = 7051/1 m^3/d ; O2 = 333/15 mg/l ; Y= 0/5

$(O_2)T = O_2 \times Q$ (1)

$(O_2)T = 333/15\ mg/l \times 10^{-3}\ kg/gr \times 7051/1\ m^3/d = 2349\ kg/d$

چگالی گاز هاضم ۰/۸۶ و چگالی هوا ۰/۰۷۶ Lb./d می‌باشد و به ازای هر پوند مواد جامد فرار Ft۱۸ گاز تولید می‌شود:

(کل گاز تولیدی) $= 18\ ft^3/Lb \times Y \times VSS \times 0/86 \times 0/076\ Lb./d$ (2)

(کل گاز تولیدی) $= 18\ ft^3/Lb \times 0/5 \times 2789/6\ Lb/d \times 0/86 \times 0/076\ Lb/d = 744/32\ kg/d$

گاز تولیدی متان و مابقی گاز دی‌اکسید کربن می‌باشد:

$VCH_4 = 744/32\ kg/d \times 0/67 = 498/7\ kg/d$

$VCO_2 = 744/32 - 498/7 = 245/6\ kg/d$

مقدار گازهای تولید شده متان، دی‌اکسید کربن و اکسیژن مصرفی در سیستم تصفیه لاگون با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در تصفیه خانه فاضلاب شهر اردبیل به شرح زیر محاسبه گردید:

(دی‌اکسید کربن تولید شده در اکسیداسیون) $(CO^2)End = 292/49\ mg/L$;

$(CO^2)OX = 318/98\ mg/L$; $Q = 61075/72\ m^3/d$

(مقدار اکسیژن لازم) $(O_2)X = 0/87\ mg/L$; (مقدار اکسیژن لازم برای سنتز)

(برای اکسیداسیون) $(O_2)OX = 231/9\ mg/L$

$(O_2)End = 159/25\ mg/L$

$(O_2)T = (O^2)X + (O^2)OX + (O^2)End$ (3)

$(O_2)T = 0/87 + 231/9 + 159/25 = 392/02\ mg/L \times 10^{-3} \times 61075/72\ m^3/d = 23942/9\ kg/d$

$(CO_2)T = (CO_2)OX + (CO_2)End$ (4)

$(CO_2)T = 318/98 + 292/49 = 611/47\ mg/L \times 10^{-3} \times 61075/72\ m^3/d = 37345/9\ kg/d$

$(CH_4)T = 69356/7\ kg/d$

۳- سیستم‌های مورد بررسی

۳-۱- سیستم لجن فعال تصفیه خانه فاضلاب خلخال

فاضلاب تولیدی شهر خلخال مستقیما بطرف تصفیه خانه هدایت و پساب تصفیه شده از نزدیک‌ترین راه به رودخانه هرو چای تخلیه می‌گردد. هدف اصلی از این تصفیه خانه، سالم سازی فاضلاب جمع‌آوری شده تا اندازه‌ای است که هر گونه خطر آلودگی را برای محیط زیست رفع نماید. مقادیر پارامترهای کیفی پساب خروجی براساس استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران می‌باشد. به گونه‌ای که مقادیر BOD_5 کمتر از ۳۰ و SS کمتر از ۵۰ میلی‌گرم بر لیتر باید باشد. کارایی تصفیه فاضلاب در این سیستم، بیش از ۹۰ درصد می‌باشد. با توجه به موقعیت و شرایط اقلیمی شهر خلخال، سیستم تصفیه فاضلاب این شهر از نوع تصفیه زیستی به کمک لجن فعال و از نوع هوادهی ممتد با نیتریفیکاسیون کامل می‌باشد.

۳-۲- سیستم لاگون هوادهی تصفیه خانه فاضلاب اردبیل

در تصفیه خانه فاضلاب اردبیل روش تصفیه فاضلاب بر اساس برکه هوادهی بدون برگشت لجن می‌باشد. در این نوع لاگون‌ها، انرژی ورودی به لاگون از طریق هوادهی نه تنها برای انتشار اکسیژن در مایع بلکه برای نگه داری همه جامدات به صورت معلق همانند حوضچه‌های هوادهی لجن فعال- کافی است. ته‌نشینی مواد جامد در این لاگون ها اتفاق نمی‌افتد. در لاگون اختلاط کامل، فاضلاب تصفیه شده همراه لجن تولیدی و سایر مواد جامد معلق از سیستم خارج می‌شود. بنابراین راندمان حذف BOD در این لاگون‌ها خیلی بالا نیست (حدود ۶۰-۵۰ درصد)، زیرا جامدات زیادی در پساب وجود دارند. در این سیستم زمان ماند هیدرولیکی و زمان ماند جامدات یکسان است و جامدات موجود در پساب خروجی پیش از تخلیه، در یک واحد ته نشینی مجزا حذف می‌شوند. این سیستم متشکل از یک لاگون اختلاط کامل است که به دنبال آن دو تا سه لاگون اختیاری قرارگرفته که به عنوان حوضچه‌های ته نشینی عمل می‌کنند.

۴- نرم‌افزار سیما پرو

برای ارزیابی اثرات زیست‌محیطی در LCA بسته به نوع محصول یا سیستم‌ها، روش‌ها و نرم‌افزارهای مختلفی وجود دارد. یکی از کاربردی‌ترین و جامع‌ترین این نرم‌افزارها سیماپرو می‌باشد. سیماپرو شامل روش‌های مختلفی برای ارزیابی اثرات است که برای محاسبه نتایج ارزیابی اثرات بکار می‌رود. در هر یک از روش‌ها، عوامل زیست‌محیطی خاصی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند. سیماپرو به عنوان ابزاری حرفه‌ای در تحلیل جنبه‌های زیست‌محیطی محصول یا خدمات مورد استفاده قرار می‌گیرد. نرم‌افزار، این عمل را به شیوه‌ای سیستماتیک و دائمی انجام می‌دهد، به نحوی که می‌توان بهترین راه حل ها برای انجام پروژه را در اختیار گرفت. سیماپرو دارای چندین نسخه می‌باشد و شامل مجموعه‌ای وسیع از اطلاعات و روش‌های ارزیابی اثرات است. در مطالعه حاضر از نسخه ۸٫۲٫۰ استفاده گردید.

۴-۱- روش CML ۲۰۰۱[1]

CML 2001، روش کاربردی جدیدی است که برای اجرای استانداردهای ایزو معرفی شده‌است. در این روش کاربردی نحوه اجرای استانداردهای ایزو در قالب یک پروژه ارائه شده‌است. در این روش برای مرحله ارزیابی چرخه عمر مجموعه طبقه اثرهای خاص و روش‌های ویژگی سازی به همراه عاملی اجرایی برای لیست صورت برداری معرفی گردیده است. این عمل منجر می‌گردد که عامل‌های ارزیابی اثر CML ۲۰۰۱ برای استفاده در داده‌های پایه‌ای ساده باشد و از اشتباهات احتمالی در حین تبدیل‌های اثر اجتناب می‌گردد. در این روش، نتایج با استفاده از میزان تاثیر آن‌ها در طبقه اثرهای مختلف طبقه بندی می‌شوند. طبقه اثرهایی که در این روش محاسبه می‌شوند عبارتند از: پتانسیل اسیدی شدن، پتانسیل کاهش لایه ازن، پتانسیل تخلیه منابع، پتانسیل گرمایش جهانی، پتانسیل مردابی شدن، پتانسیل تشکیل اکسیدفتوشیمیایی، پتانسیل سمیت برای آب‌های شیرین، پتانسیل سمیت برای آب‌های دریایی، پتانسیل سمیت برای اکوسیستم‌های خشکی و پتانسیل سمیت برای انسان.

۴-۲- روش Eco-indicator ۹۹

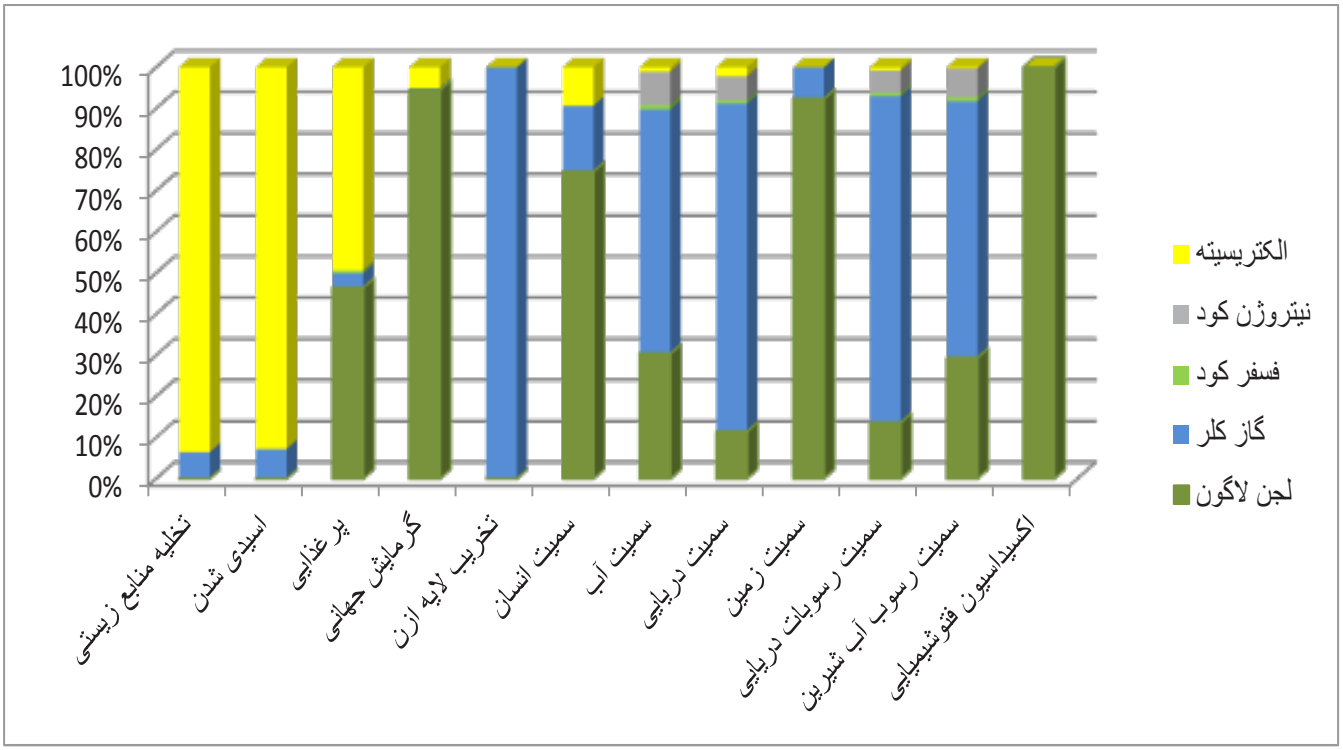
ردپای اکولوژیکی به عنوان زمین حاصل خیز بیولوژیکی و آبی تعریف می‌شود که یک جمعیت برای تولید منابع مصرفی خود و جذب زایدات ناشی از آن نیاز دارد. در LCA ردپای اکولوژیکی یک محصول برابر است با زمین اختصاص یافته به صورت مستقیم و غیر مستقیم برای انرژی مورد استفاده و CO_2 ناشی از سوخت فسیلی و تولید کلینکر:

$$EF = EF_{direct} + EF_{co2} + EF_{energy} \quad (5)$$

1 Center of Environmental Science of Leiden University

۵- نتایج و بحث

در این بخش یافته‌های تحقیق و خروجی نرم‌افزار سیماپرو به دو روش CML۲۰۰۱ و Eco-indicator۹۹ تحلیل می‌گردد. در ابتدا نمودارهای مربوط به هر سیستم بر اساس سهم نسبی آن‌ها در هر طبقه اثر توصیف و شرح داده می‌شوند و سپس برای هر سیستم نتایج در قالب جدول ارائه می‌گردد. در نهایت دو نوع سیستم تصفیه لاگون و لجن فعال با یکدیگر مقایسه می‌گردند.



شکل ۲. اثرات زیست‌محیطی به ازای هر یک متر مکعب لجن و درصد سهم اجزای سیستم لاگون به روش CML۲۰۰۱
Environmental impacts per cubic meter of sludge and percentage of share of lagoon system components by method of CML2001

۵-۱- سیستم لاگون به روش CML ۲۰۰۱

همانطور که در شکل ۲، مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از نرم‌افزار سیماپرو در روش CML2001، ارزیابی اثرات را در ۱۲ طبقه اثر به تصویر کشیده و اطلاعات لازم از جمله لجن حاصل از لاگون، گاز کلر مورد استفاده، فسفر کودی موجود در لجن، نیتروژن کودی موجود در لجن و الکتریسیته مصرفی در محل را بر حسب 1m3 لجن ارائه داده‌است. نمودار بعد از نرمال‌سازی حاصل شده و تمامی اطلاعات وارد شده در نرم‌افزار بر حسب میزان تاثیر در هر طبقه اثر شرکت کرده‌است. طبقه اثر تخلیه منابع زیستی، انرژی بر بودن یک سیستم را نشان میدهد. به عبارتی دیگر نشان می‌دهد که یک سیستم چقدر در کمک به کاهش مصرف سوخت به کار می‌آید.

در طبقه اثر اسیدی شدن، پتانسیل یک آلاینده برای اسیدی شدن بر اساس ظرفیت تولید یون هیدروژن مثبت اندازه‌گیری شده‌است.

در طبقه اثر تغذیه گرایی، مقدار تاثیر ازت و فسفر در پدیده شکوفایی جلبکی سنجش شده‌است.

درطبقه اثر گرمایش جهانی، تغییر اقلیم مرتبط با انتشار گازهای گلخانه‌ای دی‌اکسید کربن به هوا مورد بررسی قرار گردیده است.

در طبقه اثر تخریب لایه ازن، ملاک سنجش، ازن استراتوسفری به ازای کلروفلوروکربن تولیدی می‌باشد.

در طبقه اثر سمیت برای انسان، میزان خطر برای انسان از نظر بهداشتی سنجش شده‌است.

در طبقه اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی، موادی که در تشکیل ازن فتوشیمیایی نقش دارند بر حسب اتیلن، ملاک سنجش قرار گرفته‌اند.

سایر طبقات نیز سمیت زمین، سمیت آب آشامیدنی و سمیت دریایی را بیان می‌کنند.

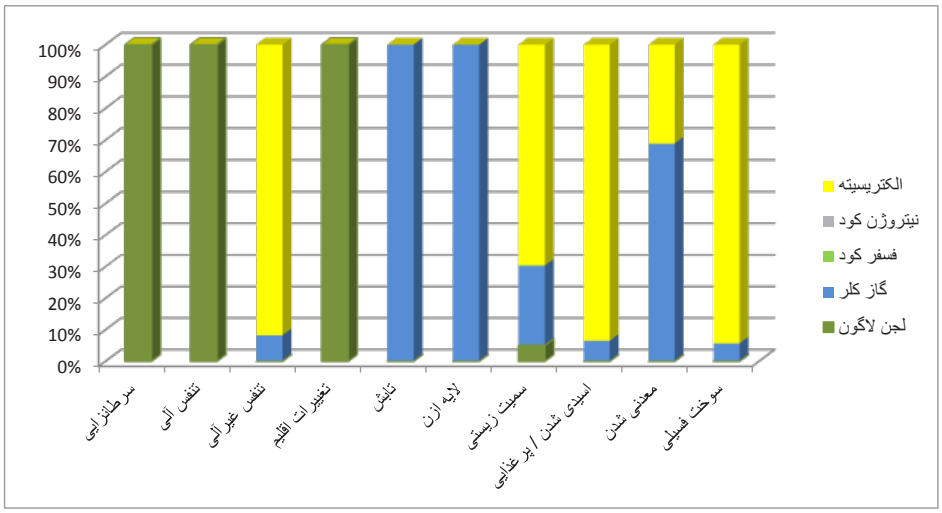
جدول ۲: مقدار محاسبات صورت پذیرفته و تاثیرات اجزای شرکت کننده در هر طبقه اثر در سیستم لاگون به روش CML ۲۰۰۱

The amount of calculated calculations and the effects of the components participating in each impact category in lagoon system by method of CML2001

طبقات اثر	واحد(برحسب معادل کیلوگرم)	کل	لجن لاگون	سهم٪	گاز کلر	فسفر کود	نیتروژن کود	الکتریسیته
تخلیه منابع زیستی	آنتیموان	۲/۱۷	*	۹۳/۵	۰/۱۳۸	6/04E-5	۰/۰۰۱۷	۲/۰۳
اسیدی شدن	دی‌اکسید گوگرد	۲/۶۱	*	۹۲/۸	۰/۱۸۶	۰/۰۰۰۴۳۹	۰/۰۰۱۹۹	۲/۴۲
پرغذایی	فسفات	۰/۱۹۱	۰/۰۸۸۷	۴۹/۴	۰/۰۰۶۶۲	۰/۰۰۱۳۴	2/98E-5	۰/۰۹۴۳
گرمایش جهانی	دی‌اکسید کربن	5/23E5	5/23E5	۹۹/۹	۴۲/۲	۰/۰۰۷۴	۰/۱۱۲	۲۷۷
تخریب لایه ازن	کلروفلوروکربن۱۱	۶-۴۴E/۲	*	۱۰۰	2/44E-6	5/75E-14	6/81E-11	*
سمیت انسان	۱،۴ دی کلرو بنزن	۱۱/۷	۸/۷۲	۷۴/۷	۱/۸۶	۰/۰۰۰۵۳	۰/۰۰۳۴۷	۱/۰۹
سمیت آب	۱،۴ دی کلرو بنزن	۰/۲۴۱	۰/۰۷۳۳	۵۹/۳	۰/۱۴۳	۰/۰۰۲۷۳	۰/۰۱۹۵	۰/۰۰۲۴۵
سمیت دریایی	۱،۴ دی کلرو بنزن	۶/۱۸	۰/۷۱	۹۷/۷	۴/۹۲	۰/۰۵۱۴	۰/۳۶	۰/۱۳۳
سمیت زمین	۱،۴ دی کلرو بنزن	۰/۸۹۲	۰/۸۲۴	۹۲/۴	۰/۰۶۷۹	2/14E-6	7/54E-6	2/24E-5
سمیت رسوبات دریایی	۱،۴ دی کلرو بنزن	۵/۹۸	۰/۸۱۵	۷۹/۴	۴/۷۴	۰/۰۵۱۸	۰/۳۲۱	۰/۰۴۶۲
سمیت رسوب آب شیرین	۱،۴ دی کلرو بنزن	۰/۶۳۹	۰/۱۸۸	۶۲/۳	۰/۳۹۸	۰/۰۰۶۷۱	۰/۰۴۴۱	۰/۰۰۱۹۶
اکسیداسیون فتوشیمیایی	اتیلن	۴۱۶	۴۱۶	۱۰۰	۰/۰۰۸۷۴	1/86E-5	8/54E-5	۰۹۱۶/۰

*مقادیر ناچیز می‌باشد

نتایج نشان داد که لجن حاصل از سیستم لاگون هوادهی، بیشترین اثر را در طبقه اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی با سهم ۱۰۰ درصدی دارد و در طبقات اثر اسیدی شدن، تخریب لایه ازن و تخلیه منابع، هیچ مشارکت و تاثیری ندارد. فسفر کودی موجود در لجن، بیشترین سمیت را در آب، با سهم ۱/۱۳ درصدی دارد و در طبقات اثر تخلیه منابع، اسیدی شدن، تغذیه گرایی، گرمایش جهانی، تخریب لایه ازن، سمیت برای انسان و اکسیداسیون فتوشیمیایی هیچ گونه مشارکت و تاثیری ندارد. نیتروژن کودی موجود در لجن نیز همانند فسفر بیشترین تاثیر را در سمیت آب، با سهم ۸/۱۱ درصدی دارد و در طبقات اثر یاد شده همانند فسفر، هیچ تاثیری ندارد. الکتریسیته مورد استفاده در سیستم لاگون هوادهی، بیشترین تاثیر را با مشارکت ۹۳/۵ درصد در طبقه اثر تخلیه منابع داشته و کمترین اثر را در تخریب لایه ازن با مشارکت صفر درصدی دارد. گاز کلر نیز، بیشترین تاثیر را در طبقه اثر تخریب لایه ازن با مشارکت ۱۰۰ درصدی داشته و در طبقه اثرهای گرمایش جهانی و اکسیداسیون فتو شیمیایی، هیچ تاثیری را ندارد (جدول ۲). آنالیز درصد مشارکت اجزا در هر طبقه اثر نشان می‌دهد که طبقات اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی، تخریب لایه ازن، تخلیه منابع و سمیت آب، طبقات اثر با ریسک بالای تاثیر بر محیط زیست می‌باشند.



شکل ۳. اثرات زیست‌محیطی به ازای هر یک متر مکعب لجن و درصد سهم اجزای سیستم لاگون به روش Eco -indicator۹۹

Environmental impacts per cubic meter of sludge and percentage of share of lagoon system components by method of eco -indicator 99

۲-۵- سیستم لاگون به روش Eco-indicator 99

همانطور که در شکل ۳ ، مشاهده می‌شود، در روش Eco-indicator۹۹، ۱۰ طبقه اثر مشارکت دارد. تفاوت آن با روش CML ۲۰۰۱ در این است که طبقات اثر پرغذایی و اسیدی شدن در یک طبقه و به صورت تجمیع شده بیان می‌شود. هم‌چنین وجه مشترک این دو روش، طبقات اثر تغییرات آب و هوایی (گرمایش زمین)، تخریب لایه ازن، اسیدی شدن و تغذیه گرایی می‌باشد.

جدول۳. مقدار محاسبات صورت پذیرفته و تاثیرات اجزای شرکت کننده در هر طبقه اثر در سیتم لاگون به روش Eco-indicator۹۹

The amount of calculated calculations and the effects of the components participating in each impact category in lagoon system by method of eco-indicator 99

طبقات اثر	واحد	کل	لجن لاگون	سهم٪	گاز کلر	فسفرکود	نیتروژن کود	الکتریسیته
سرطان‌زایی	شاخص دالی	۰/۰۰۱۴۷	۰/۰۰۱۴۷	۹۹/۹	2/11E-7	5/38E-8	4/79E-9	5/94E-7
تنفس آلی	شاخص دالی	۰/۰۰۰۸۸۸	۰/۰۰۰۸۸۸	۱۰۰	6/27E-9	6/2E-12	5/75E-11	2/63E-7
تنفس غیرآلی	شاخص دالی	۰/۰۰۰۲۱۵	*	۹۱/۷	1/76E-5	2/3E-8	1E-7	000197/0
تغییرات اقلیم	شاخص دالی	۰/۱۳۱	۰/۱۳۱	۱۰۰	5/26E-6	1/63E-9	3/59E-8	6/08E-5
تابش	شاخص دالی	1/28E-7	*	۱۰۰	1/28E-7	*	*	*
لایه ازن	شاخص دالی	5/49E-9	*	۱۰۰	5/49E-9	7/62E-17	4/21E-14	*
سمیت زیستی	اثر بالقوه در متر مربع در سال	۳/۱۳	۰/۱۵۸	۶۹/۵	۰/۷۸۵	۰/۰۰۸۵۹	۰/۰۰۱۷۹	۲/۱۷
اسیدی شدن / تغذیه گرایی	اثر بالقوه(PAF۱) متر مربع در سال	۶/۳۳	*	۹۳/۵	۰/۴۰۸	۰/۰۰۰۵۶۲	۰/۰۰۲۶۴	۵/۹۱
معدنی شدن	مگا ژول انرژی مازاد	۰/۰۰۳۹	*	۶۸/۹	۰/۰۰۲۶۸	*	*	۰/۰۰۱۲۱
سوخت فسیلی	مگا ژول انرژی مازاد	۳۵۵	*	۹۴/۳	۱۹/۹	۰/۰۰۹۶۴	۰/۲۷۸	۳۳۵

*مقادیر ناچیز می‌باشد

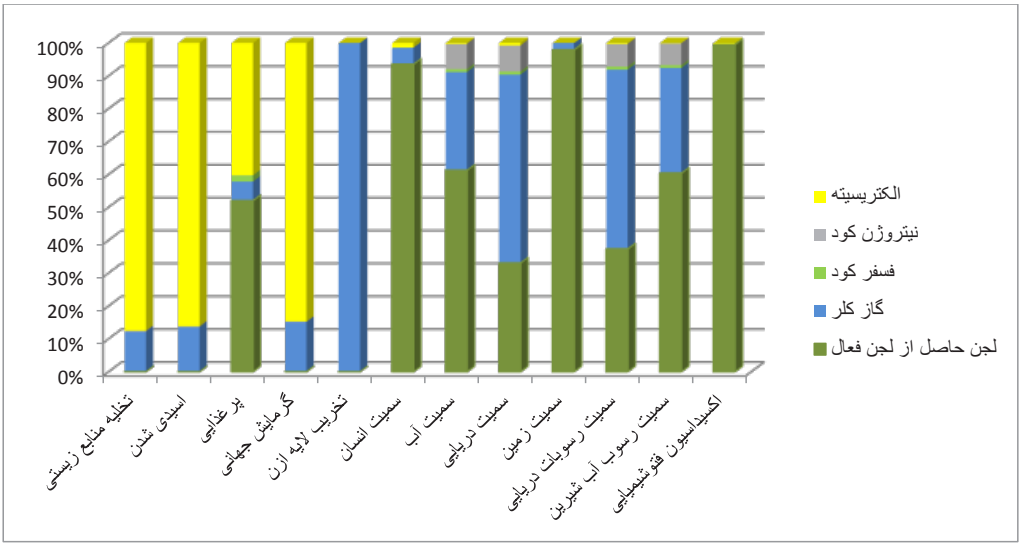
جدول ۳ نشان می‌دهد که لجن حاصل از سیستم لاگون، در جدول ۳ نشان می‌دهد که لجن حاصل از سیستم لاگون، در روش Eco-indicator۹۹، بیشترین سهم را در تغییرات آب و هوایی و تنفس آلی با مشارکت ۱۰۰ درصدی دارد. فسفر و نیتروژن موجود در کود در این سیستم، هیچ تاثیری در طبقات اثر ندارد. الکتریسیته مصرفی در محل نیز، بیشترین تاثیر را در طبقه سوخت فسیلی با مشارکت ۹۴/۳ درصد دارد. و در طبقات اثر تخریب لایه ازن و تابش هیچ تاثیری ندارد. گاز کلر نیز، بیشترین اثر را در تخریب لایه ازن و تابش با مشارکت ۱۰۰ درصدی داشته و کمترین نقش را در طبقات اثر تغییرات آب و هوایی، تنفس آلی و سرطان‌زایی با سهم صفر درصدی ایفا می‌کند. هم‌چنین با توجه به آنالیز داده‌ها، می‌توان دریافت که طبقات اثر تغییرات آب و هوایی، تخریب لایه ازن، تابش، تنفس آلی و سوخت فسیلی، جزو طبقات اثر موثر بر محیط زیست می‌باشند.

در برخی از روش‌هاي ارزیابی اثرات، مرحله‌اي به نام ارزیابی آسیب وجود دارد. در این مرحله شاخص هاي طبقه بندي اثرات که داراي واحد مشترکی هستند اضافه می‌گردند. به عنوان مثال در روش Eco-Indicator ۹۹ تمامی اثراتی که مربوط به سلامتی انسان می‌شوند با حروف DALY[۲] (به معنی سال های زندگی با ناتوانی تعدیل شده) بیان می‌گردند.

با مقایسه دو روش CML ۲۰۰۱ و Eco-indicator۹۹ ، در طبقات اثری که وجه مشترک دارند، طبقات اثر تخریب لایه ازن و تغییرات آب و هوایی، بیشترین بار زیست‌محیطی را ایجاد می کنند.

1Potentially affected fraction

2Disability adjusted life years



شکل۴: اثرات زیست‌محیطی به ازای هر یک متر مکعب لجن و درصد سهم اجزای سیستم لجن فعال به روش CML ۲۰۰۱

Environmental impacts per cubic meter of sludge and percentage of share of activated sludge system components by method of CML2001

۳-۵- سیستم لجن فعال به روش CML ۲۰۰۱

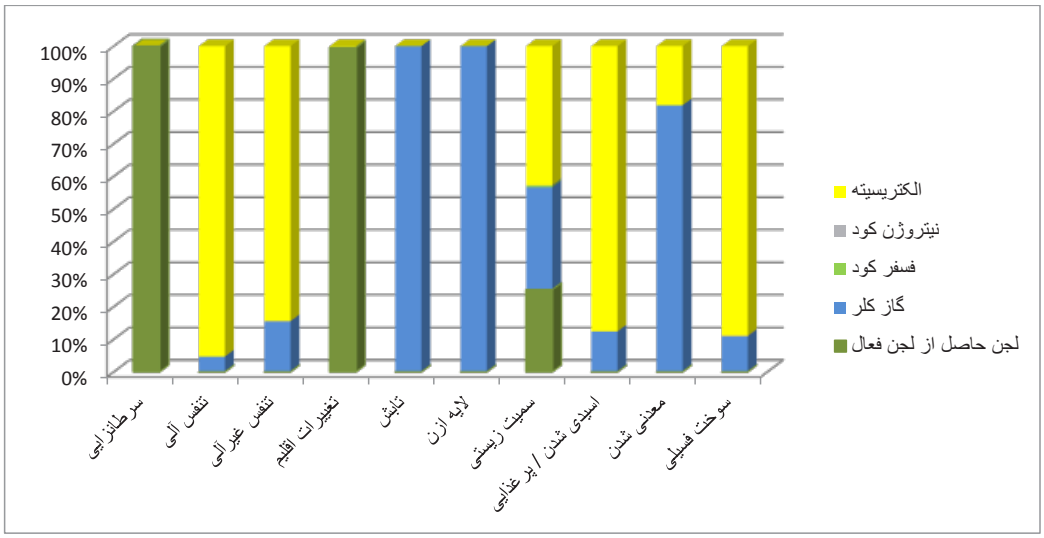
براساس شکل ۴، لجن حاصل از سیستم لجن فعال، در طبقه اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی با سهم ۹۹/۶ درصد، بیشترین تاثیر را دارد. و در طبقات اثر تخریب لایه ازن، اسیدی شدن و تخلیه منابع هیچ تاثیری را ندارد. فسفر حاصل از کود در طبقه اثر پرغذایی، ۱/۸۷ درصد مشارکت داشته و در طبقات اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی، سمیت زمین، سمیت برای انسان، تخریب لایه ازن، گرمایش جهانی، اسیدی شدن و تخلیه منابع هیچ تاثیری ندارد. نیتروژن حاصل از کود نیز در سمیت دریا مشارکت حداکثر، ۷/۸۹ درصدی را دارد و در سایر طبقات، مقادیر، پایین‌تر می‌باشد. هم‌چنین الکتریسیته مصرفی در محل نیز بیشترین مشارکت را با ۸۷/۵ درصد دارد و کمترین تاثیر را در طبقه اثر تخریب لایه ازن با مشارکت صفر درصدی دارد. گاز کلر نیز، در طبقه اثر تخریب لایه ازن ۱۰۰ درصد مشارکت داشته و در طبقات اثر اکسیداسیون فتوشیمیایی و گرمایش جهانی، کمترین تاثیر را دارد. طبقات اثر تخریب لایه ازن، اکسیداسیون فتوشیمیایی، تخلیه منابع و پرغذایی، طبقات اثر حساس در برابر محیط زیست می‌باشند.

جدول۴: مقدار محاسبات صورت پذیرفته و تاثیرات اجزای شرکت کننده در هر طبقه اثر در سیستم لجن فعال به روش CML ۲۰۰۱

The amount of calculated calculations and the effects of the components participating in each impact category in activated sludge system by method of CML2001

طبقات اثر	واحد (بر حسب معادل کیلوگرم)	کل	لجن حاصل از لجن فعال	بیشترین سهم٪	گاز کلر	فسفر کود	نیتروژن کود	الکتریسیته
تخلیه منابع زیستی	آنتیموان	۰/۲۸۴	*	۸۷/۵	۰/۰۳۴۵	۵-۴۲E/۲	۰/۰۰۰۸۰۲	۰/۲۴۸
اسیدی شدن	دی‌اکسید گوگرد	۰/۳۴۴	*	۸۶/۱	۰/۰۴۶۶	۰/۰۰۰۱۷۶	۰/۰۰۰۹۳۶	۰/۲۹۶
پرغذایی	فسفات	۰/۰۲۸۷	۰/۰۱۵	۵۲/۱	۰/۰۰۱۶۶	۰/۰۰۰۵۳۸	۵-۴E/۱	۰/۰۱۱۶
گرمایش جهانی	دی‌اکسید کربن	3/78E3	3/74E-3	۸۹/۹	۶/۰۵	۰/۰۰۲۹۶	۰/۰۵۲۹	۳۳/۹
تخریب لایه ازن	کلروفلوروکربن۱۱	6/1E-7	*	۱۰۰	6/09E-7	2/3E-14	3/2E-11	*
سمیت انسان	۱،۴ دی‌کلرو بنزن	۹/۳۲	۸/۷۲	۹۳/۶	۰/۴۶۵	۰/۰۰۰۲۱۲	۰/۰۰۱۶۳	۰/۱۳۳
سمیت آب	۱،۴ دی‌کلرو بنزن	۰/۱۲	۰/۰۷۳۳	۶۱/۳	۰/۰۳۵۷	۰/۰۰۱۰۹	۰/۰۰۹۱۹	۰/۰۰۰۳۰۱
سمیت دریایی	۱،۴ دی‌کلرو بنزن	۲/۱۵	۰/۷۱	۵۷/۳	۱/۲۳	۰/۰۲۰۶	۰/۱۷	۰/۰۱۶۳
سمیت زمین	۱،۴ دی‌کلرو بنزن	۰/۸۴۱	۰/۸۲۴	۹۸	۰/۰۱۷	8/54E-7	3/55E-6	2/74E-6
سمیت رسوبات دریایی	۱،۴ دی‌کلرو بنزن	۲/۱۸	۰/۸۱۵	۵۴/۴	۱/۱۹	۰/۰۲۰۷	۰/۱۵۱	۰/۰۰۵۶۶
سمیت رسوب آب شیرین	۱،۴ دی‌کلرو بنزن	۰/۳۱۱	۰/۱۸۸	۶۰/۴	۰/۰۹۹۵	۰/۰۰۲۶۹	۰/۰۲۰۸	۰/۰۰۰۲۴
اکسیداسیون فتوشیمیایی	اتیلن	۳/۰۱	۲/۹۹	۹۹/۶	۰/۰۰۲۷۳	7/42E-6	4/02E-5	۰/۰۱۱۲

*مقادیر ناچیز می‌باشد.



شکل۵: اثرات زیست‌محیطی به ازای هر یک متر مکعب لجن و درصد اثر مشارکت اجزای سیستم لجن فعال به روش Eco-indicator۹۹
Environmental impacts per cubic meter of sludge and percentage of share of activated sludge system components by method of eco-indicator 99

۴-۵- سیستم لجن فعال به روش Eco-indicator ۹۹

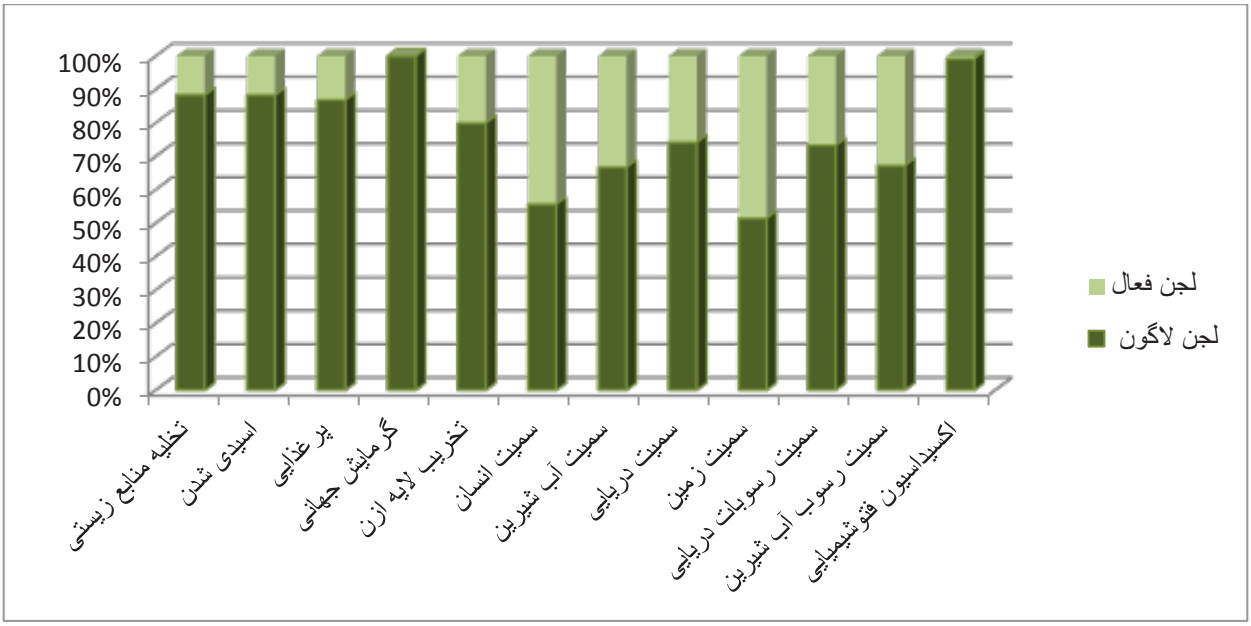
نتایج نشان داد لجن حاصل از سیستم لجن فعال به روش Eco-indicator۹۹، بیشترین تاثیر را با مشارکت ۱۰۰ درصدی در طبقه اثر سرطان‌زایی دارد. فسفر کود فقط در طبقه اثر سمیت زیستی با تاثیر۰/۵۵ درصد و هم‌چنین نیتروژن کود تنها در طبقه اثر سوخت فسیلی با تاثیر ۰/۲۸ درصد نقش دارند. الکتریسیته مصرفی در محل نیز بیشترین تاثیر را با مشارکت ۸۸/۹ درصدی در طبقه اثر سوخت فسیلی داشته و در طبقات اثر تخریب لایه ازن و تابش هیچ تاثیری ندارد. گاز کلر نیز بیشترین تاثیر را با مشارکت ۱۰۰ درصدی در طبقه اثر تخریب لایه ازن و تابش بر جای می گذارد(شکل ۵). داده‌ها بیانگر این است که در سیستم لجن فعال به روش Eco-indicator۹۹، طبقات اثر سرطان‌زایی، سوخت فسیلی، تخریب لایه ازن و تابش، بیشترین تاثیر را بر اکوسیستم محیط زیست دارند.

جدول۵: مقدار محاسبات صورت پذیرفته و تاثیرات اجزای شرکت کننده در هر طبقه اثر در سیستم لجن فعال به روش Eco-indicator۹۹
The amount of calculated calculations and the effects of the components participating in each impact category in activated sludge system by method of eco-indicator 99

طبقات اثر	واحد	کل	لجن حاصل از سیستم لجن فعال	بیشترین سهم٪	گاز کلر	فسفر کود	نیتروژن کود	الکتریسیته
سرطان‌زایی	شاخص دالی	۰/۰۰۱۴۷	۰/۰۰۱۴۷	۱۰۰	5/27E-8	2/15E-8	2/25E-9	7/28E-8
تنفس آلی	شاخص دالی	۶-۴۲E/۶	۶۸-۳۸E/۶	۹۹/۵	1/57E-9	2/48E-12	2/7E-11	3/22E-8
تنفس غیرآلی	شاخص دالی	۵-۸۶E/۲	*	۸۴/۴	4/4E-6	9/2E-9	4/27E-8	2/41E-5
تغییرات اقلیم	شاخص دالی	۰/۰۰۲۲۵	۰/۰۰۲۲۵	۹۹/۶	1/32E-6	6/52E-10	1/69E-8	7/46E-6
تابش	شاخص دالی	3/2E-8	*	۱۰۰	3/2E-8	*	*	*
لایه ازن	شاخص دالی	1/37E-9	*	۱۰۰	1/37E-9	3/05E-17	1/98E-14	*
سمیت زیستی	اثربالقوه درمترمربع درسال	۰/۶۲۵	۰/۱۵۸	۴۲/۷	۰/۱۹۶	۰/۰۰۳۴۴	۰/۰۰۰۸۴۴	۰/۲۶۷
اسیدی شدن / پرغذایی	اثربالقوه(PAF) مترمربع درسال	۰/۸۲۹	*	۸۷/۵	۰/۱۰۲	۰/۰۰۰۲۲۵	۰/۰۰۱۲۴	۰/۷۲۵
معدنی شدن	مگاژول انرژی مازاد	۰/۰۰۰۸۲	*	۸۱/۹	۰/۰۰۰۶۷۱	*	*	۰/۰۰۰۱۴۹
سوخت فسیلی	مگا ژول انرژی مازاد	۴۶/۱	*	۸۸/۹	۴/۹۸	۰/۰۰۳۸۶	۰/۱۳۱	۴۱

*مقادیر ناچیز می‌باشد

۵-۴- مقایسه سیستم لاگون و لجن فعال به روش CML ۲۰۰۱



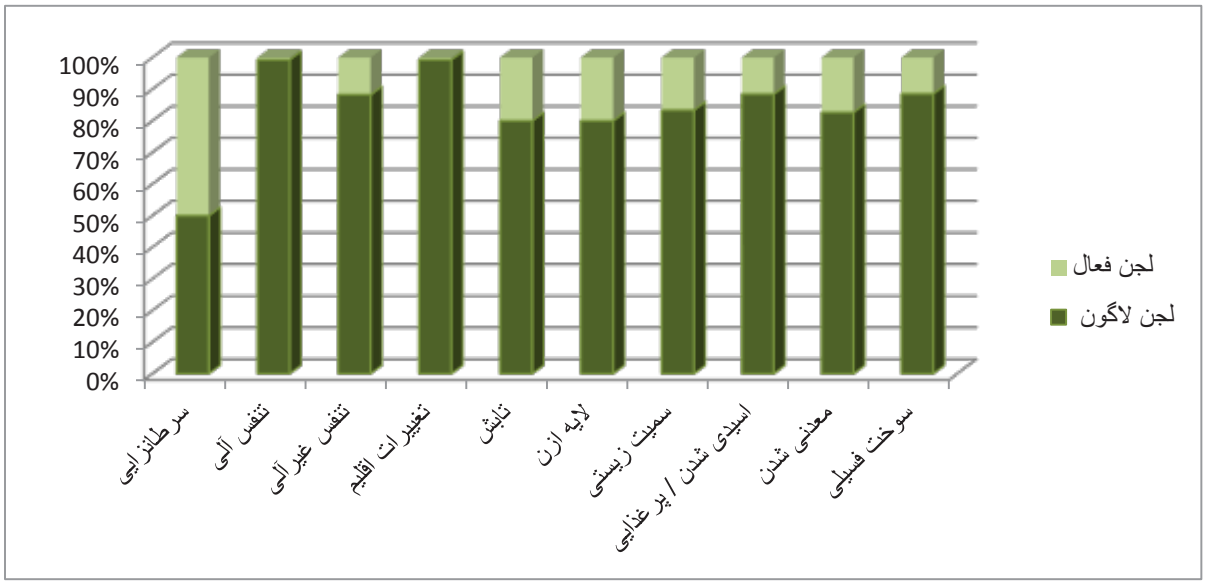
شکل ۶. مشارکت دو سیستم لاگون و لجن فعال در طبقه اثرات مختلف به ازای هر یک متر مکعب لجن به روش CML ۲۰۰۱
Participation of two lagoon and activated sludge systems in the various impacts category per cubic meter of sludge by method of CML2001

نتایج مقایسه ارزیابی چرخه عمر مدیریت لجن دو سیستم لاگون هوادهی و لجن فعال به روش CML ۲۰۰۱، نشان داد که سیستم لاگون هوادهی نسبت به سیستم لجن فعال در تمامی طبقات اثر مشارکت حداکثری دارد و سیستم لجن فعال، در طبقه اثر سمیت زمین، بیشترین تاثیر را با مشارکت ۹۴/۳ درصد داشته و در طبقات اثر گرمایش جهانی و اکسیداسیون فتوشیمیایی کمترین تاثیر را با سهم ۰/۷۲ درصدی دارا می‌باشد (شکل ۶). نتایج مطالعات محمدی (۱۳۹۴) اختلاف در مقادیر حاصله برای سیستم لجن فعال را تایید می‌نماید.

جدول ۶. مقدار محاسبات صورت پذیرفته و تاثیرات اجزای شرکت کننده در مقایسه دو سیستم لاگون و لجن فعال به روش CML ۲۰۰۱
The amount of calculated calculations and the effects of the components participating in the comparison of two lagoon and activated sludge systems by method of CML2001

طبقات اثر	واحد	لجن فعال	لجن لاگون
تخلیه منابع زیستی	آنتیموان	۰/۲۸۴	۲/۱۷
اسیدی شدن	دی‌اکسید گوگرد	۰/۳۴۴	۲/۶۱
پرغذایی	فسفات	۰/۰۲۸۷	۰/۱۹۱
گرمایش جهانی	دی‌اکسید کربن	3/78E-3	5/23E5
تخریب لایه ازن	کلروفلوروکربن۱۱	6/1E-7	2/44E-6
سمیت انسان	۱/۴ دی‌کلرو بنزن	۹/۳۲	۱۱/۷
سمیت آب شیرین	۱/۴ دی‌کلرو بنزن	۰/۱۲	۰/۲۴۱
سمیت دریایی	۱/۴ دی‌کلرو بنزن	۲/۱۵	۶/۱۸
سمیت زمین	۱/۴ دی‌کلرو بنزن	۰/۸۴۱	۰/۸۹۲
سمیت رسوبات دریایی	۱/۴ دی‌کلرو بنزن	۲/۱۸	۵/۹۸
سمیت رسوب آب شیرین	۱/۴ دی‌کلرو بنزن	۰/۳۱۱	۰/۶۳۹
اکسیداسیون فتوشیمیایی	اتیلن	۳/۰۱	۴۱۶

۶-۴- مقایسه سیستم لاگون و لجن فعال به روش Eco-indicator 99



شکل۷. سهم دو سیستم لاگون و لجن فعال در طبقه اثرات مختلف به ازای هر یک متر مکعب لجن به روش Eco-indicator99

The share of two lagoon and activated sludge systems in the various impacts category per cubic meter of sludge by method of eco-indicator 99

نتایج مقایسه دو سیستم لاگون و لجن فعال به روش Eco-indicator99 نشان داد (شکل ۷) تمامی طبقات اثر، مشارکت حداکثری در سیستم لاگون داشته‌اند. در سیستم لجن فعال، بیشترین سهم طبقه اثر، مربوط به سرطان‌زایی بوده و طبقات اثر تنفس آلی و تغییرات آب و هوایی با مشارکت۰/۷۲ درصدی کمترین تاثیر را بر محیط زیست دارند. نتایج مطالعه Renou (۲۰۰۸) نشان داد که در مقایسه دو روش CML2001 و Eco-indicator99، تفاوت چندانی در نتایج حاصل نشد. نتایج تحقیق حاضر نیز تاییدکننده این ادعا می‌باشد.

جدول ۷. مقدار محاسبات صورت پذیرفته و تاثیرات اجزای شرکت کننده در مقایسه دو سیستم لاگون و لجن فعال به روش Eco-indicator99

The amount of calculated calculations and the effects of the components participating in the comparison of two lagoon and activated sludge systems by method of eco-indicator 99

طبقات اثر	واحد	لجن فعال	لجن لاگون
سرطان‌زایی	شاخص دالی	۰/۰۰۱۴۷	۰/۰۰۱۴۷
تنفس آلی	شاخص دالی	6/42E-6	۰/۰۰۰۸۸۸
تنفس غیرآلی	شاخص دالی	2/86E-5	۰/۰۰۰۲۱۵
تغییرات آب و هوایی	شاخص دالی	۰۰۲۲۵/۰	۰/۱۳۱
تابش	شاخص دالی	3/2E-8	1/28E-7
لایه ازن	شاخص دالی	1/37E-9	5/49E-9
سمیت زیستی	اثر بالقوه در متر مربع در سال	۰/۶۲۵	۳/۱۳
اسیدی شدن / پرغذایی	اثر بالقوه در متر مربع در سال	۰/۸۲۹	۶/۳۳
معدنی شدن	مگا ژول انرژی مازاد	۰/۰۰۰۸۲	۰/۰۰۳۹
سوخت فسیلی	مگا ژول انرژی مازاد	۴۶/۱	۳۵۵

۵- نتیجه‌گیری

در این تحقیق از ارزیابی چرخه عمر به منظور ارزیابی عملکرد زیست‌محیطی سیستم‌های تصفیه فاضلاب لاگون هوادهی شهراردبیل و لجن فعال شهر خلخال در مدیریت لجن تولیدی مورد استفاده قرار گرفت. هدف از این کار، تعیین بهترین سیستم تصفیه و دوستدار محیط زیست برای معرفی در طرح توسعه تصفیه خانه فاضلاب اردبیل بود. در این مطالعه چگونگی تغییر اثرات زیست‌محیطی در طی چرخه عمر دو سیستم لاگون و لجن فعال مورد بررسی قرار گرفت. در میان دو سیستم تصفیه مورد مطالعه، سیستم لجن فعال در مقایسه با سیستم لاگون در تمامی طبقه اثرها که شامل: تخلیه منابع (۱۳/۱ ٪)، گرمایش جهانی (۰/۷۲ ٪)، تخریب لایه ازن (۲۵ ٪)، سمیت انسان (۷۹ ٪)، سمیت آبی (۴۹/۷ ٪)، سمیت دریایی (۳۴/۷ ٪)، اسیدی شدن (۱۳/۲ ٪)، اکسیداسیون فتو شیمیایی (۰/۷۲ ٪)، پرغذایی (۱۵ ٪)، دارای کمترین اثر بود. برتری سیستم لجن فعال را می‌توان در وجود مقدار اندک فسفر و نیتروژن به ازای هر یک متر مکعب لجن نسبت به سیستم لاگون جستجو کرد. با توجه به اینکه سیستم تصفیه لاگون در همه طبقه اثرها در مقایسه با سیستم لجن فعال مشارکت حداکثری داشته است میتواند اثرات نامطلوب عمده ای بر سلامت اکوسیستم‌های آبی و خاکی و حتی برروی سلامت انسان داشته باشد. از این رو می‌توان این سیستم را از نظر زیست‌محیطی، بدترین نوع سیستم تصفیه فاضلاب ارزیابی نمود.

هم‌چنین با ارزیابی و مقایسه این دو سیستم با دو روش ارزیابی اثرات چرخه عمر (CML۲۰۰۱ و Eco-indicator ۹۹) که در طبقات اثر گرمایش زمین (تغییرات آب و هوایی)، تخریب لایه ازن، اسیدی شدن و پرغذایی وجه مشترک دارند. می‌توان اظهار نمود که سیستم لاگون در هر دو روش، مشارکت حداکثری در طبقات اثر مختلف دارد و در سیستم لجن فعال در طبقات اثر گرمایش زمین و تخریب لایه ازن با استفاده از دو روش ارزیابی ذکر شده نتایج یکسانی (به ترتیب ۰/۷۲ ٪ و ۲۵ ٪) بدست آمده بود، بطوریکه به جز در طبقه اثر اسیدی شدن و پرغذایی نتایج به ترتیب (۱۳/۱ ٪ و ۲۸/۲ ٪) می‌باشند.

۶- پیشنهادها

با توجه به اینکه مطالعات LCA، یک روند زمان بر برای تهیه چک لیست دادهها می‌باشد، لذا هر چه دامنه اطلاعات گردآوری شده و هم‌چنین مرز سیستم ترسیمی، گسترده‌تر باشد، نتایج دقیق و مطلوب‌تری برای مقایسه سیستم‌ها حاصل خواهد آمد. با توجه به اینکه مطالعات صورت پذیرفته در زمینه LCA درکشور، اغلب در خصوص مدیریت پسماند می‌باشد، لذا نیاز به مطالعات ارزیابی چرخه عمر سیستم‌ها در بخش آب و فاضلاب نیز احساس می‌شود. زیرا مطالعه LCA این امکان را ایجاد می کند که پیش از احداث سیستم‌ها، مدیران تحت امر، بهترین تصمیم‌گیری در خصوص انتخاب روش تصفیه با کمترین بار زیست‌محیطی و صرفه اقتصادی را ملحوظ نمایند.

مراجع

[1] Guangming Z, Ru Jiang, Guohe Huang, Min Xu, Jianbing Li. " Optimization of Wastewater Treatment Alternative Selection by Hierarchy Grey Relational Analysis." Journal of environmental management 82.2 (2007): 250-259.

[2] Feyzi, M., and M. Tabesh." A review of life cycle assessment method and its application in municipal wastewater treatment plants. " The first national conference on environmental protection and environmental planning. Hamadan, Islamic Azad university, 2013 (in Persian).

[3] Corominas, LI., J. Foley, J.S. Guest, A. Hospido, H.F. Larsen, S. Morera, A. Shaw." Life Cycle Assessment Applied to Wastewater Treatment: State of the Art." water research 47.15 (2013): 5480-5492.

[4] Paniz, M., and N. Mokhtarani." Life cycle assessment." Seventh national conference and exhibition of environmental engineering. Tehran, University of Tehran, 2015 (in Persian)..

[5] Emmerson, G.K., G.K. Morse, J.N. Lester. "The Life-Cycle Analysis of Small Scale Sewage Treatment Processes." Water and Environmental Journal of Promoting Sustainable Solutions 9.3 (1995): 317-325.

[6] Dixon, A., M. Simon, T. Burkitt. "Assessing the Environmental Impact of Two Options for Small Scale Wastewater Treatment: Comparing a Reedbed and an Aerated Biological Filter Using a Life Cycle Approach." Ecological Engineering 20.4 (2003): 297-308.

[7] Machado A.P., L. Urbano, A.G. Brito, P. Janknecht, J.J. Salas, R. Nogueira. " Life cycle assessment of wastewater treatment options for small and decentralized communities." University of Minho, Institute of Biotechnology and Bioengineering - Centre of Biological Engineering, Campus de Gualtar, Braga, Portuga, (2007).

[8] Renou, S., J.S. Thomas, E. Aoustin, M.N. Pons." Influence of Impact Assessment Methods in Wastewater Treatment LCA." Journal of Cleaner Production 16.8 (2008): 1098-1105.

[9] Zhang, Q.H., X.C. Wang, J.Q. Xiong, B.Cao. Chen. "Application of Life Cycle Assessment for an Evaluation of Wastewater Treatment and Reuse Project - Case Study of Xian, China." Bioresource Technology 101.5 (2010): 1421-1425.

[10] Changqing, Xu., wei. Chen, J. Hong. "Life-Cycle Environmental and Economic Assessment of Sewage Sludge Treatment

[12Marzieh, Mohammadi. Comparative Life Cycle Assessment of municipal wastewater treatment systems: Lagoon, Activated sludge & Biolac. Masters. Thesis. Islamic Azad University Of Ardebil,2015 (in Persian).

in China" Journal of Cleaner Production 67.1 (2014): 79-87.
[11] ISO, ISO. 2006. 14044: environmental management—life cycle assessment—requirements and guidelines.

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

H. Parsajou, E. Fataei, Environmental assessment of the life cycle of sludge treatment systems of Ardabil and Khalkhal wastewater treatment plants ,*Amirkabir J. Civil Eng*., 51(2)(2019)243-255.

DOI: 10.22060/ceej.2018.13342.5384