# Journal of Environmental Studies

**Vol. 47, No. 1, Spring 2021**

**Journal Homepage: www.Jes.ut.ac.ir**

**Online ISSN 2345-6922 Print ISSN: 1025-8620**

## Evaluation of Greenhouse Gases Emission and Human Health Risk Levels Due to Operation and Maintenance of Sareyn City Wastewater Treatment Plant

**Hamed Parsajou, Touraj Nasrabadi ***

Department of Environmental Planning, Management and Education, School of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

**Document Type**
Research Paper

**Received**
February 3, 2021

**Accepted**
May 6, 2021

DOI: 10.22059/JES.2021.324685.1008184

**Abstract**

In the present study, LCA method was used to evaluate the environmental impact of the Sareyn City wastewater treatment plant and RAIS method was used to perform its human health risk assessment. For this purpose, information entering the system, effluent output, and amount of energy and consumable chemicals were collected, and the amount of exhaust gases of methane and carbon dioxide were calculated and analyzed by Simapro software. Also to assess the health effects of treated wastewater used by farmers for irrigation in the area two scenarios were determined. The results of this study showed that in the life cycle assessment method, chlorine is an important factor with the most adverse effects on the environment. And the highest hazard quotient in the health risk assessment method is related to nitrite. In the life cycle assessment method, carcinogenicity has a 90.9% effect on human health which is based on air releases and expressed in terms of equivalent of benzene ($C_6H_6$) in grams, while in the risk assessment method, no carcinogenic risk was observed which is evaluated based on the effluent from the treatment plant. The use of effluent for irrigation is risky in terms of non-carcinogenic hazards.

**Keywords:** Life cycle assessment, Impact classes, Health risk assessment, Hazard quotient, Wastewater treatment

* Corresponding author: Email: tnasrabadi@ut.ac.ir

## Introduction

In many developing countries, traditional irrigation of agricultural lands using raw and untreated wastewater has consequences such as contamination of agricultural products as well as the spread of disease. Hence, the adverse environmental and health effects of improper wastewater disposal have led to design and implementation of treatment plant and wastewater collection network. Since the early 1990s, the "Life Cycle Assessment" is a "cradle to grave" approach to assess systems that has been widely used in many countries around the world and has been able to overshadow the view of decision makers towards systems and processes. Sareyn City did not have a treatment plant system and a sewage collection network and also due to the touristic area and peak of passengers in the first six months of each year, discharge of domestic sewage has been occurred by the hotels and even houses to canals in the city. In addition to the adverse effect on the aesthetics of the city, it was considered as a threat to public health in the region and due to the high groundwater level and the existence of water resources, there were potential risks in the infiltration of domestic wastewater into groundwater and hot springs, and of course microbial contamination of water and people, and the prevalence of epidemics and intestinal diseases. The effluent is also used by farmers to irrigate agricultural land which can also have environmental and health effects. Therefore, the purpose of this study is to evaluate the possible environmental and health effects of effluent from the treatment plant that is used for irrigation.

## Materials and Methods

For the present study, first the quality of the effluent was analyzed and the necessary data were collected and calculated then by using Simapro software, the system was evaluated in terms of environmental and different effect classes. Also, the possible effects of the effluent on farmers who use it to irrigate agricultural fields were investigated from a health perspective by using the risk assessment information system method. to examining the system from an environmental perspective by using life cycle assessment, four steps of the LCA regarding the wastewater treatment system were determined as follows: Definition of goal and scope: The purpose of this study is to investigate the effects of effluent on the wastewater treatment system of Sareyn City in order to monitor the environmental and health performance of the wastewater treatment plant
after the operation of the system, which is used as water for irrigation of downstream farms. Functional unit: The operational unit is the measurement of the performance of the production system. The primary purpose of the operations unit is to provide a reference for linking inputs and outputs to ensure comparable results. In this study, the operating unit of one liter of wastewater was considered to compare different wastewater treatment processes. System boundary: In this research the boundaries of the system were demarcated from the entrance of the treatment plant to its output (operational phase). Check list and System vector analysis and its interpretation: In this research, energy and raw materials consuming and the amount of methane and carbon dioxide emissions per day calculated to treat a liter of wastewater. Information obtained was analyzed by using Simapro software and basic data of Greenhouse gas protocol, IPCC 2013 and BEES$^{+}$. For the health risk assessment two scenarios were considered: 1- Activation of the treatment plant based on the performance of the first 6 months (high tourist load) 2- Activation of the system for the second 6 months. The health effects of two scenarios were analyzed
based on the rate of Chronic Daily Intake and the hazard quotient for both groups of children and adults through different routes of exposure.

## Discussion of Results

Analysis of the results in the Sequencing Batch Reactor System showed that by Greenhouse Gas Protocol method there are four categories, which include carbon-based fossil fuels, biogenic carbon, carbon from the Earth's evolution and carbon uptake. The result showed that in the class of the effect of carbon dioxide per fossil fuel, the effluent from the treatment system with the participation of 99.7% has the greatest environmental impact followed by electricity consumption with 0.284%. In the class of biogenic carbon dioxide, nitrogen (74.6%) and phosphorus (25.4%) of the fertilizer obtained

from the treatment process have the most impact, respectively. And in the category of carbon dioxide absorption effect, the highest effect is related to chlorine consumption with participation of 99.9%. The results of the IPCC 2013 method were as follows: Evaluation of effects is shown in terms of the equivalent of kilograms of carbon dioxide. The effluent from sequencing batch reactor treatment system has the greatest (99.9%) direct impact on the global warming potential for a period of 20 years compared to other parameters, followed by on-site electricity consumption, which is related to energy consumption and indicates high energy consumption by the system. Also, like the GHG protocol method, the evaluation criterion is kilogram equivalent to carbon dioxide. In the system evaluation by BEES + method the results showed that in the class of the effect of global warming in terms of grams equivalent to carbon dioxide, the effluent from the treatment has the greatest impact with participation of 99.6% and in the class of acidification effect, electricity and chlorine consumption have the most effect with 85.8% and 13.9%, respectively. Also in the classes of non-carcinogenic and carcinogenic effects, chlorine consumption has the greatest effect with participation of 99.6 and 90.9%, respectively. In the category of the effect of air pollution criteria, electricity consumption has the most impact (83.6%). In the eutrophication effect class, the effluent from sequencing batch reactor treatment has the greatest effect (87.9%). In terms of eco-toxicity, chlorine consumption has the greatest impact with participation of 96.9%. In the smog category, the greatest impact is related to the sequencing batch reactor treatment system, which affects 92.4% of this index. In the category of the effect of natural resources depletion, electricity consumption has the greatest impact (91.2%) and in the classes of the effect of indoor air quality and habitat alteration, none of the parameters have an effect. In the category of water intake, chlorine has the greatest effect with participation of 87.5% and in the ozone layer depletion class; chlorine plays the most destructive role in the environment with participation of 99.98%.

Results of RAIS according to the first scenario showed that regarding the hazard quotient (HQ) through ingestion in children and adult categories, nitrite with the participation of 5,09E + 00 and 3,06E + 00 respectively, has the greatest adverse effects. Similar results were observed in the second scenario with HQ values of 4,09E+00 and 2,46E+00 for children and adults respectively in digestion exposure to nitrite.

**Conclusions**

The results showed that in each of methods, categories have different effects and the parameters measured in these classes express different results. In the life cycle assessment method, carcinogenicity affects the human health by 90.9%, which is expressed in terms of emissions equivalent to benzene ($C_6H_6$) based on airborne emissions. However, in the risk assessment method, which was based on the effluent from the treatment, there was observed no carcinogenic risk. The results of this study showed that the parameters participating in the life cycle assessment method such as chlorine is an important factor with the most adverse effects on the environment and in the risk assessment method, nitrite has the most adverse effect on human health. Also, by comparing two scenarios in the health risk assessment method, it can be seen that the use of the treated wastewater for irrigation, although has no cancer risk is still concerning regarding non-carcinogenic hazards.

محیط‌شناسی، دورهٔ ٤٧، شمارهٔ ١، بهار ١٤٠٠، صفحهٔ ٤٥ – ٦٤

# ارزیابی میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و مخاطرات بهداشتی ناشی از راهبری تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سرعین

حامد پارساجو[1]، تورج نصرآبادی*[2]

۱. کارشناس ارشد ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران
۲ گروه برنامه ریزی، مدیریت و آموزش محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشکدگان فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۵ تاریخ پذیرش مقاله: ۱٤۰۰/۲/۱٦

**چکیده**

در مطالعه حاضر، برای بررسی اثرات زیست‌محیطی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سرعین از روش ارزیابی چرخه حیات LCA و برای ارزیابی مخاطرات بهداشتی آن از روش سیستم اطلاعات ارزیابی ریسک RAIS استفاده گردید. بدین منظور برای بررسی اثرات مخرب بر محیط زیست، اطلاعات ورودی به سیستم، خروجی پساب، مقدار انرژی و مواد شیمیایی مصرفی گردآوری شده و مقدار گازهای خروجی تولید شده متان و دی اکسید کربن محاسبه و توسط نرم افزار سیماپرو تجزیه و تحلیل گردید. همچنین برای ارزیابی مخاطرات بهداشتی پساب تصفیه شده که توسط کشاورزان منطقه، مصرف آبیاری زراعی دارد دو سناریودر نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که در روش ارزیابی چرخه حیات، کلر به عنوان عامل مهم، با بیشترین تاثیر نامطلوب بر محیط‌زیست می‌باشد و در روش ارزیابی ریسک، بیشترین فاکتور خطر سلامتی مربوط به نیتریت است. در روش ارزیابی چرخه حیات، سرطانزایی بیشترین تاثیر بر سلامت انسان را دارد که بر پایه انتشارات به هوا و بر حسب گرم معادل بنزن ($C_6H_6$) بیان می‌شود در حالی که در روش ارزیابی ریسک، ریسک سرطانزایی که بر پایه پساب حاصل از تصفیه ارزیابی شده، مشاهده نگردید. استفاده از پساب تصفیه شده برای آبیاری از نظر ریسک غیرسرطانی مخاطره آمیز می باشد.

**کلید واژه**

ارزیابی چرخه حیات، طبقات اثر، ارزیابی ریسک سلامت، فاکتور خطر، تصفیه فاضلاب.

## سرآغاز

امروزه با توجه به کمبود منابع آبی، اهمیت استفاده مجدد و درست از منابع و بکارگیری آب‌های نامتعارف همچون فاضلاب شهری دوچندان شده است (US EPA, 2002). در بسیاری از کشورهای در حال توسعه، آبیاری سنتی زمین‌های کشاورزی با استفاده از فاضلاب‌های خام و تصفیه‌نشده عواقبی چون آلودگی محصولات کشاورزی و همچنین گسترش بیماری را دارد. از این‌رو تاثیرات نامطلوب زیست‌محیطی و بهداشتی ناشی از دفع نادرست فاضلاب منجر به طراحی و اجرای تصفیه‌خانه و شبکه جمع‌آوری فاضلاب گردیده است (Guangming et al., 2007).

بیشترین کاربرد پساب تصفیه شده در عملیات آبیاری می‌باشد بنابراین حفظ فضای سبز شهرها و توسعه کشاورزی در حاشیه شهرها با استفاده از فاضلاب تصفیه

*نویسنده مسئول: Email: tnasrabadi@ut.ac.ir

DOI: 10.22059/JES.2021.324685.1008184
DOR: 20.1001.1.10258620.1400.47.1.3.9

شده می‌تواند یکی از اهداف مهم طرح‌های تصفیه فاضلاب شهرها تلقی گردد(محمدیان، ۱۳۷۵). بطوریکه طی سال های اخیر، توجه ویژه ای به استفاده از تکنولوژی های پاک تر در فرایندها و محصولات شده است. کاربرد دوباره پساب حاصل از تصفیه به علت نیاز روز افزون و کمبود منابع آبی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. از اینرو کارائی تصفیه‌خانه‌ها بیش از پیش می‌بایست مورد توجه تصمیم گیرندگان امر قرارگیرد(فیضی و تابش، ۱۳۹۱).

ارزیابی چرخه حیات[1] از اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی تا کنون در بسیاری از کشورهای دنیا به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است و توانسته دیدگاه تصمیم گیرندگان امر را تحت شعاع قرار دهد( Corominas et al., 2013). این روش یک رویکرد "گهواره تا گور" (Cradle to Grave) برای ارزیابی سیستم‌ها است و این ابزار قادر به بررسی پیامدها در تمام طول فرایند می‌باشد (Parsajou and Fataei, 2019) طوریکه کلیه زیرساخت ها، مواد و منابع اولیه و انرژی مورد نیاز برای انجام فرایند و تمام پسماندها، هدر رفت‌ها، آلاینده‌ها، مواد و انرژی تولیدی از آن نیز قابل ارزیابی می‌باشد (پانیذ و مختارانی،۱۳۹۴). سیستم اطلاعات ارزیابی ریسک[2] یک روش بر پایه شبکه می‌باشد که منجر به ارزیابی آلاینده های منتشره می‌شود و اطلاعاتی را برای ارزیابی ریسک سلامت فراهم می‌کند. مدل مفهومی پس از مرور داده‌های موجود توسعه می‌یابد و به شناسایی تمام منابع پتانسیل آلاینده‌ها و غلظت آلاینده‌های شناسایی شده و مسیر مواجهه کمک می‌کند. روشی برای شناسایی تمامی پتانسیل، غلظت و مسیر مواجهه آلاینده‌ها بر پایه سیستم جامع اطلاعات ارزیابی ریسک می‌باشد.

مطالعات صورت پذیرفته در این زمینه، اغلب در خصوص مواد غذایی و پسماند، تصفیه فاضلاب، مدیریت لجن و پساب خروجی است ( Emmerson et al., 1995; Dixon et al., 2003; Machado et al., 2007; Renou et al., 2008; Zhang et al., 2010;Changqing et al., 2014). از سوی دیگر مطالعاتی مستقل ( Guang et al., 2016; Yousefi et al., 2019; Mohanta et al., 2019; Shalyari et al., 2019) مربوط به ارزیابی ریسک سلامت توسط محققین صورت گرفته است. این امر، مستلزم استفاده از روشی چند اثره است تا منجر به ارزیابی کامل از شرایط موجود شود. زیرا با استفاده از روش ارزیابی چرخه حیات، اثرات زیست‌محیطی و با استفاده از روش ارزیابی ریسک، اثرات بهداشتی عملکرد تصفیه‌خانه بررسی می‌شوند. در سالهای اخیر بحث ارزیابی چرخه حیات در خصوص انتشار آلاینده ها و همچنین ردپای کربن ناشی از راهبری تصفیه‌خانه های فاضلاب به شکل مشخص مد نظر قرار گرفته است ( Maljanen et al., 2018; Song et al., 2019; Zawartka et al., 2020; Sharawat et al., 2021).

با توجه به اینکه در سالیان گذشته شهرستان سرعین فاقد سیستم تصفیه‌خانه و شبکه جمع آوری فاضلاب بوده و همچنین بدلیل توریستی بودن منطقه و اوج حضور گردشگر در شش ماهه اول هر سال تخلیه فاضلاب خانگی توسط اکثر هتل‌ها و حتی منازل به کانال‌های آبرو در سطح شهر صورت گرفته که علاوه بر تاثیر نامطلوب بر زیبا شناختی شهر، به عنوان تهدید سلامت عمومی منطقه به شمار می‌آید. به دلیل بالا بودن سطح تراز آب زیر زمینی و وجود منابع آبی، خطرات بالقوه‌ای در نفوذ فاضلاب خانگی به آب‌های زیرزمینی و چشمه‌های آبگرم و بطبع آلودگی میکروبی آب و آلودگی افراد و شیوع اپیدمی و بیماری‌های روده‌ای وجود داشته است. از اینرو احداث سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سرعین در سال ۱۳۸۹ شروع گردید و با استفاده از سیستم تصفیه راکتور ناپیوسته متوالی (SBR)[3] مورد بهره‌برداری قرار گرفته است و پساب حاصل از آن نیز توسط کشاورزان جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد که می‌تواند دارای اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی نیز باشد. بنابراین هدف از انجام این پژوهش ارزیابی آثار احتمالی زیست‌محیطی و بهداشتی ناشی از راهبری تصفیه‌خانه مذکور می‌باشد.

## مواد و روش بررسی

تصفیه‌خانه فاضلاب سرعین که پساب حاصل از آن توسط کشاورزان جهت آبیاری زمین‌های کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گیرد می‌تواند دارای اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی باشد که بدین منظور هدف از انجام این پژوهش ارزیابی آثار احتمالی زیست‌محیطی و بهداشتی ناشی از راهبری تصفیه‌خانه می‌باشد. برای انجام مطالعه حاضر، ابتدا کیفیت پساب خروجی مورد آنالیز قرار گرفت و داده‌های لازم گردآوری و محاسبه گردید و سپس با استفاده از نرم افزار سیماپرو، سیستم از جنبه زیست‌محیطی و طبقات اثر مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت و همچنین آثار محتمل پساب حاصله بر کشاورزانی که از آن برای آبیاری مزارع کشاورزی استفاده می‌کنند از منظر بهداشتی با استفاده از روش سیستم اطلاعات ارزیابی ریسک بررسی شد.

## بررسی سیستم از منظر زیست‌محیطی به روش ارزیابی چرخه حیات

مراحل چهار گانه LCA در خصوص سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب سرعین بصورت ذیل تعیین گردید (ISO 14044, 2006):

### تعیین هدف و دامنه کاربرد سیستم

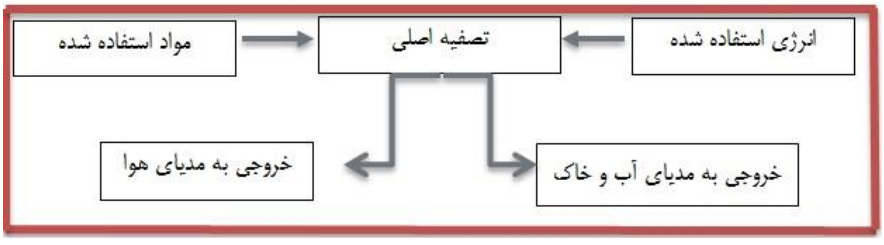
هدف از این مطالعه بررسی اثرات پساب خروجی سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سرعین به منظور پایش عملکرد زیست‌محیطی و بهداشتی طرح تصفیه‌خانه فاضلاب بعد از بهره‌برداری از سیستم می‌باشد که به عنوان آب مورد نیاز برای کشاورزی مزارع پایین دست خط پساب مورد استفاده قرار می‌گیرد.

### تعیین واحد عملیاتی

واحد عملیاتی، اندازه گیری کارکرد سیستم تولیدی است. هدف ابتدایی واحد عملیاتی، فراهم نمودن مرجعی برای مرتبط کردن ورودی‌ها و خروجی‌ها به منظور اطمینان از قابل مقایسه بودن نتایج است. در این مطالعه واحد عملیاتی یک لیتر فاضلاب برای مقایسه فرایندهای مختلف تصفیه فاضلاب در نظر گرفته شد.

### تعیین 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 داده های موجود، اجازه انجام تحقیق را بدهد.




**شکل ۱. مرز سیستم برای ارزیابی چرخه حیات تصفیه‌خانه فاضلاب سرعین**

## تجزیه و تحلیل صورت برداری سیستم

جمع آوری داده‌ها برای کمی نمودن ورودی‌ها و خروجی‌های سیستم طبق آنچه در هدف مطالعه مشخص شده، پس از تصویب کمیته تحقیقات شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل مطابق با جدول(۱) صورت پذیرفت. لازم به ذکر است در زمان اخذ داده ها تصفیه‌خانه در مراحل ابتدایی بهره برداری قرار داشته و راندمان تصفیه در حد طراحی نبوده است در نتیجه مقادیر

برخی پارامترها ممکن است با مقادیر میانگین در تصفیه‌خانه های فاضلاب شهری قدری متفاوت باشد. در این مطالعه انرژی و مواد خام مصرف شده، میزان تولید گازهای گلخانه‌ای متان و دی اکسید کربن در روز برای تصفیه فاضلاب از طریق رابطه ۱ برآورد گردید و با استفاده از نرم افزار سیماپرو و پایگاه داده‌ای Greenhouse gas protocol و IPCC 2013 و $BEES^+$مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

**جدول ۱. لیست صورت برداری از سیستم SBR**

| عناوین | واحد | ورودی تصفیه خانه | خروجی تصفیه خانه |
|---|---|---|---|
| COD (اکسیژن خواهی شیمیایی) | mg/l | ۲۰۱ | ۴۴ |
| $BOD_5$ (اکسیژن خواهی بیوشیمیایی) | mg/l | ۱۲۶ | ۲۸ |
| TSS (کل جامدات معلق) | mg/l | ۱۸ | ۱۴ |
| TS (کل جامدات) | mg/l | ۵۹۳ | ۴۷۴ |
| TDS (کل جامدات محلول) | mg/l | ۵۷۵ | ۴۶۰ |
| VSS (جامدات معلق فرار) | kg/d | ۶۲۷/۶۸ | – |
| DO (اکسیژن محلول) | mg/l | ۳ | ۴/۱ |
| EC (هدایت الکتریکی) | µs/cm | ۸۵۹ | ۶۸۴ |
| نیتریت | mg/l | – | ۸/۲ |
| نیترات | mg/l | – | ۳۴ |
| کلر باقیمانده | mg/l | – | ۰/۸ |
| دبی متوسط | $m^3/d$ | ۳۰۲۴ | – |
| pH | – | ۷/۶۹ | ۷/۷۳ |
| TN | mg/l | ۲۰ | ۴ |
| TP | mg/l | ۴ | ۱ |
| برق مصرفی | kw/h | ۳۲ | – |
| کلر مصرفی | mg/l | ۳۵۰۰ | – |
| دما | °C | ۱۷/۱ | ۱۷/۳ |

منبع: شرکت آب و فاضلاب استان اردبیل

چگالی نسبی گاز تولیدی در هاضم ۰/۸۶ برابر چگالی هوا (۰/۰۷۶ lb/ $ft^3$) می باشد و به ازای هر پوند مواد جامد فرار (VSS) ۱۸ $ft^3$ گاز تولید می شود و مقدار کل گاز تولیدی از رابطه (۱) بدست می‌آید.

(۱)

Y= ۰/۵ (ضریب بازده کینتیکی)

کل گاز تولیدی =۱۸ $ft^3$/ lb * Y * VSS * ۰/۸۶ * ۰/۰۷۶ lb/ $ft^3$

کل گاز تولیدی =۱۸ $ft^3$/ lb * ۰/۵ * ۶۲۷/۶۸ kg/d * ۰/۸۶ * ۰/۰۷۶ lb/ $ft^3$ = ۳۶۹/۲۲ kg/d

کل گاز تولیدی برابر ۳۶۹/۲۲ کیلوگرم در روز برآورد می شود. حدود دو سوم گاز تولیدی متان و مابقی گاز دی‌اکسید کربن می باشد.

$CH_4$= ۳۶۹/۲۲ kg/d * ۰/۶۷ = ۲۴۷/۳۷ kg/d

$CO_2$ = ۳۶۹/۲۲ – ۲۴۷/۳۷ = ۱۲۱/۸۵ kg/d

## ارزیابی پیامد سیستم

اطلاعات بدست آمده با استفاده از نرم افزار سیماپرو و داده‌های پایه‌ای Greenhouse gas protocol و IPCC 2013 و $BEES^+$ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیز نرم افزار، وضعیت سیستم مورد مطالعه را در طبقات اثر گوناگون به‌همراه میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای و مخاطرات بهداشتی پساب خروجی نشان داد. با توجه به نتایج، سیستم از نظر زیست‌محیطی و بهداشتی مورد ارزیابی

قرار گرفت.

### روش Greenhouse gas protocol[۴]

این روش بیانگر چهار طبقه اثر که شامل سوخت‌های فسیلی بر پایه کربن (کربن حاصل از سوخت‌های فسیلی)، کربن بیوژنیک (کربن حاصل از منابع بیوژنیک مانند گیاهان)، کربن حاصل از تحول زمین (اثرات مستقیم) و جذب کربن (دی اکسید کربنی که در گیاهان ذخیره شده است) می‌باشد و بر حسب کیلوگرم معادل دی اکسید کربن بیان می‌شود.

### روش IPCC 2013[۵]

این روش توسط اعضای بین دولت‌ها برای تغییرات آب و هوایی توسعه یافته است که شامل فاکتورهای تغییرات آب و هوایی برای یک دوره ۲۰ ساله می‌باشد و بر حسب معادل کیلوگرم دی اکسید کربن بیان می‌شود. این روش شامل فاکتورهای مشخصه مستقیم برای پتانسیل گرمایش جهانی به جزء متان می‌باشد و شامل شکل غیر مستقیم نیتروز اکساید از انتشارات نیتروژن و نیروی تابشی ناشی از انتشارات ترکیبات ازت، آب و سولفات و غیره نبوده و همچنین شامل تاثیرات غیر مستقیم ناشی از انتشار مونوکسید کربن نمی‌شود.

### روش BEES +[۶]

ساختار توسعه زیست‌محیطی و اقتصادی، یک ابزار نرم افزاری است که توسط موسسه استاندارد و تکنولوژی (NIST)[۷] توسعه یافته است. این روش دارای ۱۳ طبقه اثر می‌باشد که شامل: گرمایش جهانی، تخریب لایه ازن، تغذیه گرایی، اسیدی شدن، سمیت زیستی، مه دود، تخریب منابع طبیعی، طبقات اثر سرطانزایی و بیماری زایی غیرسرطانی برای سلامت انسان، طبقه معیارهای آلاینده هوا، طبقه کیفیت هوای محیط داخلی، طبقه اثر تغییر زیستگاه و طبقه اثر مصرف آب می‌باشد. در طبقه اثر مه دود فتوشیمیایی، فاکتور مشخصه بوتان و بی فنیل نقش دارد و براساس گرم معادل اکسید های ازت بیان می‌شود. همچنین طبقه اثر معیارهای آلاینده هوا برای سلامتی انسان بر حسب شاخص دالی[۸] بیان می‌شود. طبقه اثر گرمایش جهانی بر حسب گرم معادل دی اکسید کربن و طبقه اثر تخریب لایه ازن بر حسب گرم معادل کلروفلوروکربن بیان می‌شوند. در طبقه اثر اسیدی شدن، پتانسیل یک آلاینده برای اسیدی شدن را می‌توان بر اساس ظرفیت تولید یون هیدروژن مثبت بر حسب میلی مول اندازه گیری کرد. طبقات اثر سرطانزایی و بیماری زایی غیرسرطانی برای سلامت انسان به ترتیب بر حسب گرم معادل بنزن و بنزیل مطرح می‌شود. در طبقه اثر تغذیه‌گرایی مقدار تاثیر ازت و فسفر در پدیده شکوفایی جلبکی بر حسب گرم معادل ازت سنجش می‌شود. طبقه اثر سمیت زیستی بر حسب گرم معادل دی کلرو فنوکسی استیک اسید بیان می‌شود و در طبقه اثر تخریب منابع طبیعی ملاک سنجش، مصرف سوخت‌های فسیلی مازاد بر حسب مگاژول می‌باشد. طبقه اثر کیفیت هوای محیط داخلی بر حسب گرم معادل ترکیبات آلی فرار کل مطرح می‌شود و در طبقه اثر مصرف آب، میزان انرژی بر بودن سیستم از نظر مصرف آب بر حسب لیتر بیان می‌گردد. و در نهایت طبقه اثر تغییر زیستگاه بر اساس سنجش میزان آسیب گونه‌های تهدید شده و در معرض خطر بیان می‌شود.

### تفسیر سیستم

نتایج حاصل از ارزیابی پیامد، تاثیرات حاصل در طبقات اثر مختلف را با توجه به هدف تعریف شده مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد که ممکن است مواردی همچون تغییر در نوع محصول تولیدی، فرایند تولید آن، طراحی و پیشنهاد اصلاحاتی برای فعالیت‌های مرتبط با بخش‌های مختلف فرایند و مدیریت پسماندها و مواد آلوده کننده خروجی از سیستم باشد.

## ارزیابی ریسک بهداشتی سیستم تصفیه راکتور ناپیوسته متوالی به روش RAIS

در این بخش دو سناریـو برای ارزیابی ریسک بهداشتی

سیستم در نظر گرفته شد که شامل: ۱- فعال بودن تصفیه‌خانه بر اساس عملکرد ۶ ماهه اول( بالا بودن تعداد گردشگر در شهر سرعین) ۲- فعال بودن سیستم برای ۶ ماهه دوم (بدون لحاظ کردن بار گردشگری) می‌باشد. در سناریوی اول جهت لحاظ نمودن تاثیر حضور گردشگران برای غلظت پارامترهای نیترات، نیتریت و فسفرکل افزایش بیست و پنج درصدی در نظر گرفته شده است. برای این منظور داده‌های مورد نیاز طبق جدول (۲) بصورت ذیل ترسیم و در سیستم RAIS وارد گردید. اثرات بهداشتی دو سناریو بر اساس میزان جذب روزانه غیرسرطانی و نسبت مخاطره برای دو گروه کودکان و بزرگسالان و از سه مسیر مواجهه بلع، تنفس و پوست طبق روابط (۲) و (۳) آنالیز گردید و پارامترهای استفاده شده در محاسبات طبق جدول(۳) ارائه شده است.

$$CDI = C\ (CR * EF * ED * ET)/(BW * AT) \quad (۲)$$

$$HQ = CDI/RFC \quad (۳)$$

**جدول ۲. سناریوهای تعیین شده در سیستم ارزیابی ریسک سلامت**

| متوسط داده‌های ورودی در سیستم RAIS بر حسب میکروگرم بر لیتر | سناریو ۱ | سناریو ۲ |
|---|---|---|
| نیترات | ۴۲۰۰۰ | ۳۴۰۰۰ |
| نیتریت | ۱۰۲۰۰ | ۸۲۰۰ |
| فسفر کل | ۱۲۵۰ | ۱۰۰۰ |
| کلرید | ۸۰۰ | ۸۰۰ |

**جدول ۳. پارامترهای استفاده شده در محاسبات جذب روزانه و نسبت مخاطره**

| | پارامتر | واحد |
|---|---|---|
| ***CDI*** | میزان جذب روزانه آلاینده | mg/kg/day |
| **C** | غلظت آلاینده | $mg/m^3$ |
| **CR** | نرخ تنفس | $m^3\ working\ hours^{-1}$ |
| **EF** | فرکانس یا تعداد دفعات مواجهه | $Day.year^{-1}$ |
| **ED** | طول مدت مواجه | years |
| **ET** | زمان مواجهه | $hours\ day^{-1}$ |
| **BW** | وزن بدن | kg |
| **AT** | متوسط طول عمر | days |
| ***HQ*** | فاکتور خطر یا نسبت مخاطره | – |
| **RFC** | غلظت رفرنس | $mg/\ m^3$ |

منبع: (Persad and Cooper, 2008)

در صورتی که HQ≤ ۱ باشد مخاطره غیرسرطانزایی قابل توجهی افراد را تهدید نمی‌کند اما در صورتی که HQ>۱ باشد مقدار این مخاطره قابل توجه خواهد بود.

## سیستم تصفیه راکتور ناپیوسته متوالی (SBR)

فرایند لجن فعال و فرایندهای اصلاح شده آن، معمول‌ترین فرایندهای رشد معلق هوازی مورد استفاده برای تصفیه فاضلاب هستند که درآن‌ها میکروارگانیسم‌ها به حالت معلق در سیستم می‌مانند و شرایط هوازی در این راکتورها غالب می‌باشد. در فرایند لجن فعال جمعیت متنوعی از میکروارگانیسم‌های هوازی به کار گرفته می‌شوند تا مواد آلی فاضلاب را به عنوان سوبسترا (پیش ماده) مصرف نموده و آن‌ها را از طریق تنفس و ساخت سلول‌های میکروبی حذف نمایند. تصفیه فاضلاب به روش راکتور ناپیوسته متوالی، یک راکتور پر و خالی شونده با اختلاط کامل می‌باشد که به نوعی یک سیستم تصفیه لجن فعال متعارف با تغذیه و تخلیه متوالی است که در هر دو سیستم، هوادهی فاضلاب و ته نشینی/ زلال سازی انجام

می‌شود اما با این تفاوت که در تصفیه‌خانه های متعارف تصفیه فاضلاب، فرایندها بطور همزمان در مخازن جداگانه انجام می‌شوند در حالی که در فرایند SBR فرایندها بطور متوالی در یک مخزن انجام می‌شوند. تصفیه فاضلاب به این روش شامل پنج مرحله می‌باشد که شامل: تغذیه و پر شدن، هوادهی، ته نشینی، تخلیه و سکون است. مدت زمان هر کدام از این مراحل توسط (PLC) [۹] تعیین می‌شود. در مرحله تغذیه و پر شدن، فاضلاب خام وارد حوضچه‌ها شده و با زیست توده ته نشین شده از چرخه قبل ترکیب می‌گردد. معمولا در مرحله پر شدن ۷۵ الی ۱۰۰ درصد ظرفیت مخزن پر می‌گردد و در مرحله پر شدن ممکن است فقط اختلاط انجام شود و یا برای واکنش‌های بیولوژیکی با فاضلاب ورودی عملیات اختلاط و هوادهی انجام گردد. در مرحله هوادهی یا واکنش، جرم سلولی در حین دوره واکنش، سوبسترا را تحت شرایط کنترل شده محیطی مصرف می‌کند و اکسیداسیون و نیتریفیکاسیون صورت می‌گیرد. در مرحله ته نشینی امکان جداسازی جامدات از مایع تحت شرایط سکون فراهم می‌شود و در نتیجه مایع زلال شده را می‌توان به عنوان پساب خروجی به حوض کلر زنی تخلیه کرد. مرحله سکون در راکتور هایی که چند حوض وجود دارد برای تکمیل چرخه استفاده می‌شود و در برخی از سیستم‌ها می‌توان صرف نظر کرد. در این روش دورریزی لجن معمولا در حین مراحل ته نشینی یا سکون رخ می‌دهد. یک ویژگی این سیستم عدم نیاز به سیستم برگشت لجن می‌باشد. دفع لجن مرحله مهمی در بهره برداری فرایند ناپیوسته متوالی می‌باشد که به شکل چشم گیری کارایی سیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد این فرایند به عنوان مرحله اصلی در نظر گرفته نمی‌شود چرا که زمان مشخصی در چرخه برای تخلیه وجود ندارد و ملاک تخلیه، شرایط کاری و عملکرد سیستم است که حجم و دفعات تخلیه لجن را تعیین می‌کند. بطور کلی کاربرد اصلی سیستم‌های تصفیه فاضلاب به روش راکتور ناپیوسته متوالی برای مناطقی با جمعیت تحت پوشش کم و جریان‌های نسبتا کم می‌باشد که در صنایع، کارخانجات، تولیدی‌ها، مناطق تفریحی، و مناطق شهری و روستایی با جمعیت کم استفاده می‌شود.

## نتایج

در این بخش یافته‌های تحقیق و خروجی نرم افزار سیماپرو به سه روش Greenhouse gas protocol و IPCC 2013 و $BEES^{+}$ از منظر زیست‌محیطی ارائه می‌گردد. در ابتدا نمودارهای مربوط به هر سیستم بر اساس مشارکت نسبی آن‌ها در هر طبقه اثر توصیف و شرح داده می‌شوند سپس سیستم تصفیه فاضلاب از نظر اثرات بهداشتی توسط روش سیستم اطلاعات ارزیابی ریسک بررسی شده و در نهایت از جنبه زیست‌محیطی و بهداشتی و همچنین اثرات مشترک بررسی و تحلیل می‌گردد.

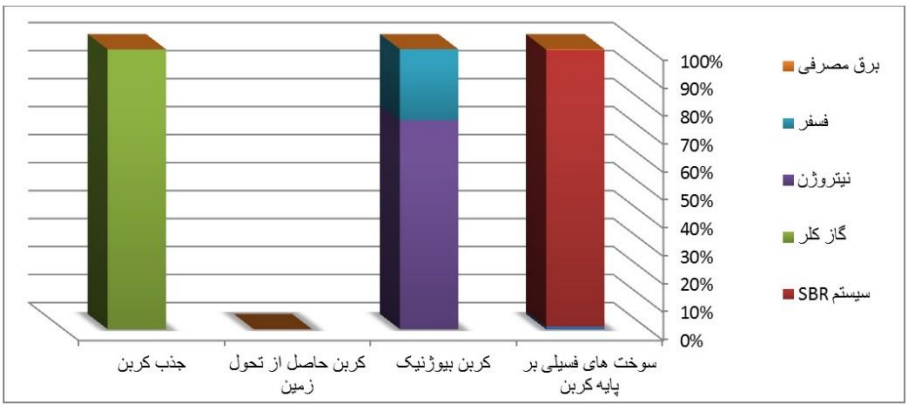
## نتایج ارزیابی سیستم از نظر زیست محیطی

### ارزیابی سیستم به روش GHG protocol

آنالیز زیرمجموعه‌های شرکت کننده در فرایند تصفیه سیستم راکتور ناپیوسته متوالی که دارای اثرات زیست‌محیطی بالقوه اند در شکل (۲) ارائه شده است.

طبق شکل(۲) نتایج ارائه شده بر حسب درصد بوده و بیانگر مشارکت چهار طبقه اثر شامل سوخت‌های فسیلی بر پایه کربن، کربن بیوژنیک، کربن حاصل از تحول زمین و جذب کربن می‌باشد.

همانطور که در جدول (۴) مشاهده می‌شود در طبقه اثر دی اکسید کربن به ازای سوخت‌های فسیلی، بیشترین تاثیر زیست‌محیطی را پساب حاصل از سیستم تصفیه با مشارکت ۹۹,۷ درصدی دارد و سپس برق مصرفی با ۰,۲۸۴ درصد تاثیر گذار می‌باشد و سایر پارامترها تاثیر آنچنانی ندارند. در طبقه اثر دی اکسید کربن بیوژنیک، بیشترین تاثیر را به ترتیب نیتروژن(۷۴,۶٪) و فسفر(۲۵,۴٪) کودی حاصل از فرایند تصفیه دارند و سایر پارامترها هیچ گونه تاثیر زیست‌محیطی را در این طبقه اثر ندارند.




**شکل ۲. اثرات زیست‌محیطی به ازای هر یک لیتر فاضلاب به روش GHG protocol**

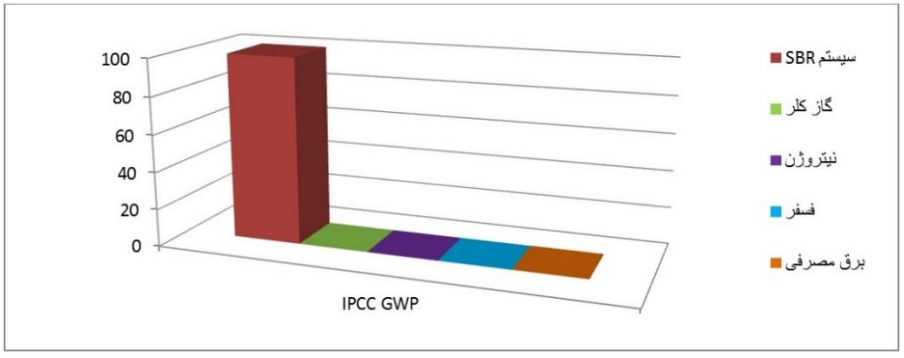
**جدول ۴. مقدار محاسبات صورت پذیرفته و تاثیرات به روش GHG protocol**

| طبقات اثر | واحد | درصد کل | سیستم SBR | گاز کلر | نیتروژن | فسفر | برق مصرفی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| سوخت های فسیلی بر پایه کربن | کیلوگرم معادل $CO_2$ | ۱۰۰ | ۹۹/۷ | ۰/۰۵۲۲ | ۰/۰۰۰۶۱۹ | ۰/۰۰۰۰۲۴۸ | ۰/۲۸۴ |
| کربن بیوژنیک | کیلوگرم معادل $CO_2$ | ۱۰۰ | ۰ | ۰ | ۷۴/۶ | ۲۵/۴ | ۰ |
| کربن حاصل از تحول زمین | کیلوگرم معادل $CO_2$ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| جذب کربن | کیلوگرم معادل $CO_2$ | ۱۰۰ | ۰ | ۹۹/۹ | ۰/۰۵۲۵ | ۰/۰۱۷۹ | ۰ |

همچنین در طبقه اثر دی اکسید کربن حاصل از تحول زمین هیچ یک از پارامترها دارای اثرات مخرب زیست‌محیطی نمی‌باشند. و در طبقه اثر جذب دی اکسید کربن، بیشترین تاثیر مربوط به کلر مصرفی با مشارکت ۹۹,۹ درصدی می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، کلر مصرفی و پساب حاصل از سیستم تصفیه راکتور ناپیوسته متوالی به ترتیب با مشارکت ۹۹,۹ و ۹۹,۷ درصدی، بیشترین آثار نامطلوب زیست‌محیطی را در روش ارزیابی به روش پروتکل گازهای گلخانه‌ای به ازای سنجش معادل دی اکسید کربن تولیدی دارند.

### ارزیابی سیستم به روش IPCC 2013

آنالیز زیرمجموعه‌های شرکت کننده در فرایند تصفیه سیستم راکتور ناپیوسته متوالی که دارای اثرات زیست‌محیطی بالقوه اند بر حسب درصد مشارکت در شکل (۳) ارائه شده است.




**شکل۳. اثرات زیست‌محیطی به ازای هر یک لیتر فاضلاب به روش IPCC 2013**

همانطور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود نرم افزار، ارزیابی اثرات را بر حسب معادل کیلوگرم دی اکسید کربن نمایش داده است و اطلاعات لازم از جمله پساب حاصل از سیستم، گاز کلر مورد استفاده، فسفر حاصل از کود، نیتروژن حاصل از کود و الکتریسیته مصرفی در محل، بر حسب ۱ لیتر فاضلاب به روش IPCC 2013 آنالیز شده‌اند. نمودار بعد از نرمالسازی حاصل شده و تمامی اطلاعات وارد شده در نرم افزار بر حسب میزان تاثیر در هر طبقه اثر بیان شده است.

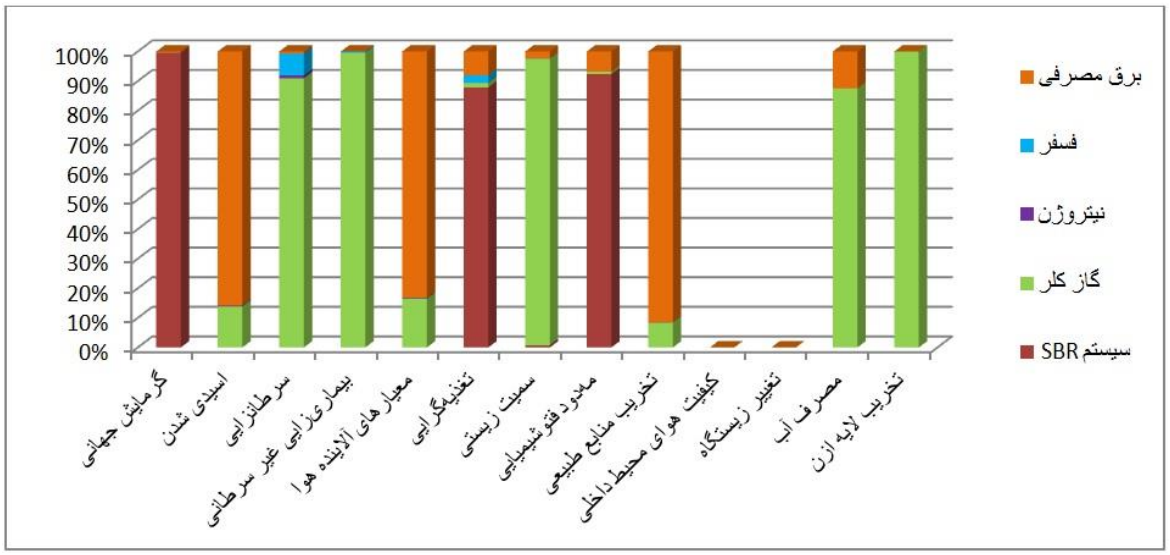
**جدول ۵. مقدار محاسبات صورت پذیرفته و تاثیرات به روش IPCC 2013**

| طبقات اثر | واحد | درصد کل | سیستم SBR | گاز کلر | نیتروژن | فسفر | برق مصرفی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| پتانسیل گرمایش جهانی | کیلوگرم معادل $CO_2$ | ۱۰۰ | ۹۹/۹ | ۰/۰۱۷ | ۰/۰۰۰۲۳ | ۰/۰۰۰۰۰۸۸ | ۰/۱ |

طبق جدول(۵) پساب حاصل از سیستم تصفیه راکتور ناپیوسته متوالی، بیشترین(۹۹,۹٪) تاثیر مستقیم را نسبت به سایر پارامترها در پتانسیل گرمایش جهانی برای یک دوره ۲۰ ساله دارد سپس برق مصرفی در محل که مربوط به انرژی مصرفی می‌باشد در این پارامتر تاثیر گذار بوده و همچنین کمترین تاثیر را فسفر کودی حاصل از فرایند تصفیه به عنوان پارامتر با تاثیر جزئی در ارزیابی زیست‌محیطی سیستم تصفیه در طبقه اثر پتانسیل گرمایش جهانی دارد و همچنین همانند روش GHG protocol ملاک ارزیابی بر حسب کیلوگرم معادل دی اکسید کربن می‌باشد.

## ارزیابی سیستم به روش BEES+

آنالیز زیرمجموعه‌های شرکت کننده در فرایند تصفیه سیستم راکتور ناپیوسته متوالی که دارای اثرات زیست‌محیطی بالقوه‌اند در شکل (۴) و بر حسب درصد مشارکت هر یک از طبقات اثر ارائه شده است.




**شکل۴. اثرات زیست‌محیطی به ازای هر یک لیتر فاضلاب به روش BEES+**

همانطور که در شکل (۴) مشاهده می‌شود روش مذکور ارزیابی را در ۱۳ رده پیامد زیست‌محیطی تقسیم‌بندی می‌کند که شامل طبقات اثر گرمایش جهانی، تخریب لایه ازن، تغذیه‌گرایی، اسیدی شدن، سمیت زیستی، مهدود

فتوشیمیایی، تخریب منابع طبیعی، طبقات اثر سرطانزایی و بیماری زایی غیرسرطانی برای سلامت انسان، طبقه معیارهای آلاینده هوا، طبقه کیفیت هوای محیط داخلی، طبقه اثر تغییر زیستگاه و طبقه اثر مصرف آب می‌باشد که هر طبقه اثر دارای واحدهای مشخص برای ارزیابی می‌باشند.

**جدول ۶. مقدار محاسبات صورت پذیرفته و تاثیرات به روش +BEES**

| طبقات اثر | واحد | درصد کل | سیستم SBR | گاز کلر | نیتروژن | فسفر | برق مصرفی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| گرمایش جهانی | g CO2 eq | ۱۰۰ | ۹۹/۶ | ۰/۰۵ | ۰/۰۰۰۶۶ | ۰/۰۰۰۰۲۶ | ۰/۳۰۶ |
| اسیدی شدن | H+ mmole eq | ۱۰۰ | ۰ | ۱۳/۹ | ۰/۲۴ | ۰/۰۴۶ | ۸۵/۸ |
| سرطانزایی | g C6H6 eq | ۱۰۰ | ۰ | ۹۰/۹ | ۰/۹۹ | ۷/۳۴ | ۰/۷۲ |
| بیماری زایی غیرسرطانی | g C7H7 eq | ۱۰۰ | ۰ | ۹۹/۶ | ۰/۰۶ | ۰/۳۴ | ۰/۰۱۹ |
| معیارهای آلاینده هوا | Micro DALYs | ۱۰۰ | ۰ | ۱۶/۵ | ۰/۲۲ | ۰/۰۴۱ | ۸۳/۶ |
| تغذیه‌گرایی | g N eq | ۱۰۰ | ۸۷/۹ | ۱/۵ | ۰/۰۳ | ۲/۵۴ | ۸/۰۴ |
| سمیت زیستی | g 2,4-D eq | ۱۰۰ | ۰/۷۹ | ۹۶/۹ | ۰/۰۹ | ۰/۰۰۸ | ۲/۲۲ |
| مه‌دود فتوشیمیایی | g NOx eq | ۱۰۰ | ۹۲/۴ | ۰/۷۹ | ۰/۰۰۲۴ | ۰/۰۰۰۸۷ | ۶/۸۳ |
| تخریب منابع طبیعی | MJ surplus | ۱۰۰ | ۰ | ۸/۴۱ | ۰/۰۳۷ | ۰/۰۰۹ | ۹۱/۲ |
| کیفیت هوای محیط داخلی | g TVOC eq | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| تغییر زیستگاه | T&E count | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| مصرف آب | liters | ۱۰۰ | ۰ | ۸۷/۵ | ۰ | ۰ | ۱۲/۵ |
| تخریب لایه ازن | g CFC-11 eq | ۱۰۰ | ۰ | ۹۹/۹۸ | ۰/۰۱۱ | ۰/۰۰۰۰۲۱ | ۰ |

طبق جدول (۶) در طبقه اثر گرمایش جهانی بر حسب گرم معادل دی اکسید کربن، پساب حاصل از تصفیه بیشترین تاثیر را با مشارکت ۹۹,۶ درصد دارا می‌باشد و سپس برق مصرفی با ۰,۳۰۶٪ دارای اثرات زیست‌محیطی می‌باشد و در سایر طبقات مقادیر ناچیز می‌باشند. در طبقه اثر اسیدی شدن بیشترین تاثیر را به ترتیب برق و کلر مصرفی با مشارکت ۸۵,۸ و ۱۳,۹ درصدی دارند و سایر طبقات تاثیر اندکی به عنوان پیامد زیست‌محیطی بر اکوسیستم بر جا می‌گذارند. در طبقات اثر بیماری زایی غیرسرطانی و سرطانزایی کلر مصرفی بیشترین تاثیر را با مشارکت به ترتیب ۹۹,۶ و ۹۰,۹ درصد دارا می‌باشد. همچنین در طبقه اثر معیارهای آلاینده هوا، برق مصرفی بیشترین تاثیر (۸۳,۶٪) را دارد و سپس کلر مصرفی با مشارکت ۱۶,۲ درصدی به عنوان معیارهای شاخص در تاثیر گذاری در این طبقه اثر می‌باشند و سایر پارامترها تاثیری ناچیزی دارند. در طبقه اثر تغذیه‌گرایی، پساب حاصل از تصفیه راکتور ناپیوسته متوالی بیشترین تاثیر(۸۷,۹٪) را دارد و سپس برق مصرفی با تاثیر گذاری ۸,۰۴ درصدی به عنوان پارامتر موثر در ارزیابی زیست‌محیطی در این طبقه اثر می‌باشد. در طبقه اثر سمیت زیستی بیشترین تاثیر را کلر مصرفی با مشارکت ۹۶,۹ درصدی دارد. در طبقه مه‌دود فتوشیمیایی بیشترین تاثیر مربوط است به سیستم تصفیه راکتور ناپیوسته متوالی که ۹۲,۴ درصد در این شاخص تاثیر می‌گذارد. در طبقه اثر تخریب منابع طبیعی نیز برق مصرفی بیشترین تاثیر (۹۱,۲٪) را دارد و سپس کلر با ۸,۴۱ درصد در این طبقه تاثیر می‌گذارد. در طبقات اثر کیفیت هوای محیط داخلی و تغییر زیستگاه، هیچ یک از پارامترها تاثیر ندارند و در طبقه اثر مصرف آب بیشترین تاثیر را کلر با مشارکت ۸۷,۵ و برق مصرفی با ۱۲,۵ درصد دارا می‌باشد و در طبقه اثر تخریب لایه ازن بیشترین نقش مخرب زیست‌محیطی را کلر با مشارکت ۹۹,۹۸ درصدی ایفا می‌کند. پساب حاصل

از سیستم تصفیه راکتور ناپیوسته متوالی تنها در طبقات اثر گرمایش جهانی، تغذیه‌گرایی، سمیت زیستی و مه دود فتوشیمیایی نقش موثری دارد و در سایر طبقات تاثیر آنچنانی مشاهده نگردید. نیتروژن و فسفر نیز در طبقه اثر جذب آب تاثیری را نشان ندادند همچنین برق مصرفی نیز در طبقه اثر تخریب لایه ازن دارای اثرات زیست‌محیطی نبود. با توجه به نتایج ارزیابی و درصد مشارکت تجمعی اجزا در روش $BEES^{+}$ می‌توان اظهار نمود که بیشترین تاثیر را کلر مصرفی با ۵۱۶,۰۳ درصد سپس برق مصرفی ۲۹۱,۲۳۵ درصد و پساب حاصل از سیستم تصفیه ۲۸۰,۶۹ و فسفر۱۰,۳۲ و نیتروژن ۱,۶۸ بر حسب درصد دارند که نشان دهنده انرژی بر بودن سیستم می‌باشد.

## نتایج ارزیابی سیستم از نظر بهداشتی

### نتایج مربوط به ارزیابی ریسک سیستم طبق سناریو اول

همانطور که اشاره گردید در سناریو اول فرض بر این شد که سیستم تصفیه‌خانه فعال بوده و با توجه به توریستی بودن شهر سرعین، پیک مسافر در ۶ ماهه اول بالا خواهد بود و طبق سیمای طرح فاضلاب سرعین بر حسب جمعیت ساکن و مسافر، داده‌ها بصورت متوسط ۶ ماهه اول لحاظ گردید.

**جدول۷. نتایج میزان جذب روزانه و نسبت مخاطره مربوط به سناریو اول**

| شاخص | گروه | مقادیر نیترات و نیتریت | بلع (mg/kg-day) | تنفس ($mg/m^3$) | پوست (mg/kg-day) |
|---|---|---|---|---|---|
| CDI غیر سرطانی | کودکان | نیترات | ۲/۰۹ | ۲۰/۱ | ۰/۰۰۹۲۳ |
| | | نیتریت | ۰/۵۰۹ | ۴/۸۹ | ۰/۰۰۲۲۴ |
| CDI غیر سرطانی | بزرگسالان | نیترات | ۱/۲۶ | ۲۰/۱ | ۰/۰۰۷۰۲ |
| | | نیتریت | ۰/۳۰۶ | ۴/۸۹ | ۰/۰۰۱۷۱ |
| | | نسبت مخاطره | | | |
| HQ | کودکان | نیترات | ۱/۳۱ | – | ۰/۰۰۵۷۷ |
| | | نیتریت | ۵/۰۹ | – | ۰/۰۲۲۴ |
| HQ | بزرگسالان | نیترات | ۰/۷۸۷ | – | ۰/۰۰۴۳۹ |
| | | نیتریت | ۳/۰۶ | – | ۰/۰۱۷۱ |

طبق نتایج حاصل از جدول (۷) مشاهده می‌گردد که با در نظر گرفتن سناریو اول در خصوص ارزیابی ریسک بهداشتی پساب خروجی از تصفیه خانه، سیستم اثرات بهداشتی را در سه طبقه اثر بلع، تنفسی و پوستی و در گروه‌های کودکان و بزرگسالان ارزیابی می‌نماید. در میزان جذب روزانه (CDI)[10] برای طبقه اثر غیرسرطانی در کودکان بیشترین فاکتور موثر مربوط است به نیترات با مشارکت مقدار ۲۰/۱ بر حسب میلی گرم بر متر مکعب از طریق تنفس، سپس از طریق بلع به مقدار ۲/۰۹ میلی گرم بر کیلوگرم در روز و در نهایت از طریق پوست به مقدار ۰/۰۰۹۲۳ میلی گرم بر کیلوگرم در روز و بیشترین میزان جذب روزانه در گروه سنی بزرگسال نیز مربوط است به نیترات که از طریق تنفس، بیشترین تاثیر را به مقدار ۲۰/۱ در این طبقه دارا می‌باشد. سپس از طریق بلع به مقدار۱/۲۶ و از طریق پوست ۰/۰۰۷۰۲ میلی گرم بر کیلوگرم در روز دارد آنچه که از نتایج مشاهده گردید تاثیر مشابه نیترات در جذب غیر سرطانی در هر دو گروه کودکان و بزرگسالان می‌باشد که به یک میزان مشارکت داشت.

نتایج نشان داد که در کودکان در طبقه فاکتور خطر (HQ)[11] از طریق بلع، بیشترین تاثیر را نیتریت با مشارکت ۵/۰۹ دارد و از طریق پوست نیز بیشترین تاثیر را نیتریت به مقدار ۰/۰۲۲۴ دارا می‌باشد و در طبقه فاکتور خطر از طریق

تنفس هیچ یک از پارامترها تاثیری نداشتند و شاخص کل خطر در کودکان مقدار ۶/۴۲ می‌باشد. همچنین فاکتور خطر در بزرگسالان از طریق بلع، بیشترین تاثیر را نیتریت با مشارکت ۳/۰۶ دارد و از طریق پوست نیز بیشترین تاثیر مربوط به نیتریت با مقدار ۰/۰۱۷۱ می‌باشد و در طبقه فاکتور خطر از طریق تنفس هیچ یک از پارامترها تاثیری نداشتند و شاخص کل خطر در بزرگسالان مقدار ۳/۸۶ می‌باشد. در بین اجزای شرکت کننده در این ارزیابی، نیتریت بیشترین اثر نامطلوب را بر سلامتی در هر دو گروه کودکان و بزرگسالان ایجاد می‌کند.

## نتایج مربوط به ارزیابی ریسک سیستم طبق سناریو دوم

در سناریو دوم فرض بر این شد که سیستم تصفیه‌خانه فعال می‌باشد و پیک مسافر در شش ماهه دوم سال کمتر است و داده‌ها بصورت میانگین شش ماهه دوم جهت ارزیابی لحاظ گردیدند.

**جدول ۸. نتایج میزان جذب روزانه و نسبت مخاطره مربوط به سناریو دوم**

| شاخص | گروه | مقادیر نیترات و نیتریت | بلع (mg/kg-day) | تنفس ($mg/m^3$) | پوست (mg/kg-day) |
|---|---|---|---|---|---|
| CDI غیر سرطانی | کودکان | نیترات | ۱/۷ | ۱۶/۳ | ۰/۰۰۷۴۷ |
| | | نیتریت | ۰/۴۰۹ | ۳/۹۳ | ۰/۰۰۱۸ |
| CDI غیر سرطانی | بزرگسالان | نیترات | ۱/۰۲ | ۱۶/۳ | ۰/۰۰۵۶۹ |
| | | نیتریت | ۰/۲۴۶ | ۳/۹۳ | ۰/۰۰۱۳۷ |
| | | نسبت مخاطره | | | |
| HQ | کودکان | نیترات | ۱/۰۶ | – | ۰/۰۰۴۶۷ |
| | | نیتریت | ۴/۰۹ | – | ۰/۰۱۸ |
| HQ | بزرگسالان | نیترات | ۰/۶۳۷ | – | ۰/۰۰۳۵۵ |
| | | نیتریت | ۲/۴۶ | – | ۰/۰۱۳۷ |

طبق جدول (۸) نتایج نشان داد که میزان جذب روزانه برای طبقه اثر غیرسرطانی در کودکان بیشترین فاکتور موثر مربوط است به نیترات با مشارکت مقدار ۱۶/۳ بر حسب میلی گرم بر متر مکعب از طریق تنفس، سپس از طریق بلع به مقدار ۱/۷ میلی گرم بر کیلوگرم در روز و در نهایت از طریق پوست به مقدار ۰/۰۰۷۴۷ میلی گرم بر کیلوگرم در روز. بیشترین میزان جذب روزانه در گروه سنی بزرگسال نیز مربوط است به نیترات که از طریق تنفس، بیشترین تاثیر را به مقدار ۱۶/۳در این طبقه دارا می‌باشد. سپس از طریق بلع به مقدار ۱/۰۲و از طریق پوست ۰/۰۰۵۶۹ میلی گرم بر کیلوگرم در روز دارد آنچه که از نتایج مشاهده گردید تاثیر مشابه نیترات همانند سناریو اول در جذب غیر سرطانی در هر دو گروه کودکان و بزرگسالان می‌باشد که به یک میزان مشارکت داشت.

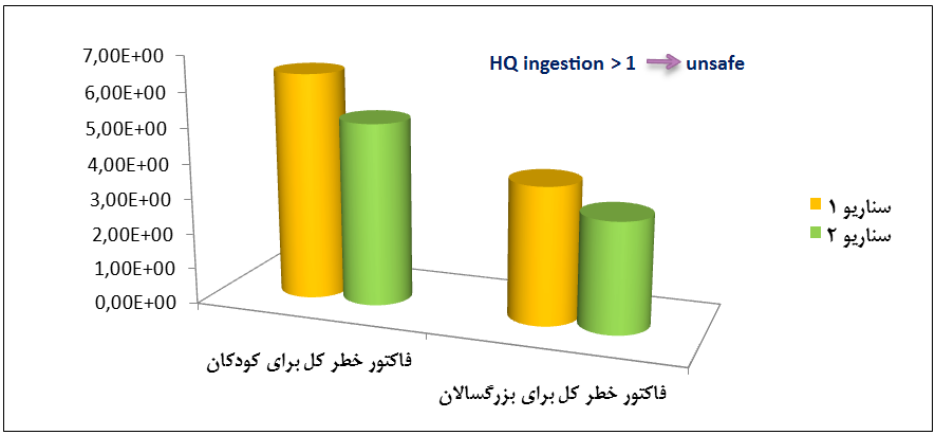
در کودکان در طبقه فاکتور خطر از طریق بلع، بیشترین تاثیر را نیتریت با مشارکت ۴/۰۹ دارد و از طریق پوست نیز بیشترین تاثیر را نیتریت به مقدار ۰/۰۱۸ دارا می‌باشد و در طبقه فاکتور خطر از طریق تنفس هیچ یک از پارامترها تاثیری نداشتند و شاخص کل خطر در کودکان مقدار ۵/۱۷ می‌باشد. و فاکتور خطر در بزرگسالان از طریق بلع، بیشترین تاثیر را نیتریت با مشارکت ۲/۴۶ دارد و از طریق پوست نیز بیشترین تاثیر مربوط به نیتریت با مقدار ۰/۰۱۳۷ می‌باشد و در طبقه فاکتور خطر از طریق تنفس هیچ یک از پارامترها تاثیری نداشتند و شاخص کل خطر در بزرگسالان مقدار ۳/۱۱ می‌باشد. در این ارزیابی، نیتریت بیشترین اثر نامطلوب را بر سلامتی در هر دو گروه کودکان و بزرگسالان همانند سناریو اول ایجاد می‌کند.

طبق نتایج سناریو اول و دوم از آنجائی که غلظت

پارامترهای کلرید و فسفات در مقایسه با دوز رفرنس دهی متناظر در دو سناریو مذکور مقادیر کمتری را نشان دادند از این رو تنها پارامترهای نیتریت و نیترات که به ترتیب دارای بیشترین تاثیر بودند جهت محاسبات میزان جذب روزانه و فاکتور خطر مد نظر قرار گرفت. و نیتریت به عنوان پارامتر با بیشترین تاثیر نامطلوب بر سلامت کودکان و بزرگسالان در هر دو سناریو شناخته شد.

## مقایسه نتایج ارزیابی ریسک بهداشتی سیستم در دو سناریو

در این بخش فاکتور خطر در ارزیابی بهداشتی ناشی از راهبری سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب در سیستم RAIS محاسبه گردید و نتایج برای دو گروه بزرگسالان و کودکان حاصل شد (شکل ۵).




**شکل ۵. مقایسه فاکتور خطر اثرات بهداشتی سیستم طبق دو سناریو**

نتایج طبق شکل (۵) نشان داد که فاکتور خطر کل از جنبه بهداشتی برای کودکان و بزرگسالان در سناریو اول بیشترین مقدار و در سناریو دوم کمترین مقدار را دارد بنابراین می‌توان بیان کرد که سناریو اول دارای جوانب نامطلوب بهداشتی بیشتر و سناریو دوم تاثیرات سوء بهداشتی کمتری را در سیستم تصفیه فاضلاب سرعین می‌تواند داشته باشد. با توجه به اینکه فاکتور خطر بلع بیشتر از مقدار واحد می‌باشد بنابراین اثرات بهداشتی سیستم را می‌توان ناایمن ارزیابی کرد.

## اعتبارسنجی

با توجه به اهداف این پژوهش در خصوص ارزیابی زیست‌محیطی و ریسک بهداشتی پساب حاصل از سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سرعین که از نوع راکتور ناپیوسته متوالی می‌باشد و با توجه به کمبود مطالعات موجود در این زمینه لذا نتایج مربوط به ارزیابی زیست‌محیطی را می‌توان با مطالعه پارساجو و همکاران (۱۳۹۸) در مورد ارزیابی زیست‌محیطی سیستم لجن فعال شهر اردبیل که با استفاده از نرم افزار سیماپرو و روش CML2001 صورت پذیرفته است را در طبقات اثر مشترک بین دو مطالعه بررسی نمود. طبقات اثر مشترک بین دو روش $BEES^{+}$ و CML2001 گرمایش جهانی، اسیدی شدن، تغذیه‌گرایی و تخریب لایه ازن می‌باشد. نتایج نشان داد که در طبقه گرمایش جهانی پساب حاصل از سیستم SBR، ۹۹,۶ درصد و در سیستم لجن فعال ۹۸,۹ بر حسب درصد تاثیر دارد. در طبقه اثر اسیدی شدن، برق مصرفی نیز به ترتیب ۸۵,۸ و ۸۶,۱ درصد در دو سیستم تاثیر گذار بوده و در طبقه تغذیه‌گرایی در مطالعه حاضر، پساب حاصل از سیستم تصفیه راکتور ناپیوسته متوالی ۸۷,۹ درصد و در سیستم لجن فعال ۵۲ درصد می‌باشد.

همچنین در طبقه اثر تخریب لایه ازن، کلر با مشارکت حدود ۱۰۰ درصدی در هر دو مطالعه بیشترین تاثیر نامطلوب زیست‌محیطی را دارا می‌باشد.

لذا می‌توان نتیجه گرفت که نتایج مشابهی بین طبقات اثر مشترک با دو روش نامبرده در دو سیستم لجن فعال و راکتور ناپیوسته متوالی حاصل آمد. همچنین طبق مطالعه Renou(۲۰۰۸) که تفاوت چندانی بین نتایج مربوط به مقایسه دو روش آنالیز CML2001 و Eco-indicator 99 مشاهده نگردید و می توان پیش‌بینی کرد که در روش‌های موجود در نرم افزار سیماپرو تفاوتی بین طبقات اثر مشترک در روش‌ها وجود ندارد و وجه تمایز روش‌ها را می توان تفاوت در طبقات اثر مختلف دانست که نیاز به انجام پژوهش‌های بیشتر می‌باشد.

## بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق، از روش ارزیابی چرخه حیات، به منظور ارزیابی زیست‌محیطی و از روش سیستم اطلاعات ارزیابی ریسک برای ارزیابی بهداشتی پساب خروجی سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سرعین، با هدف تعیین و برآورد اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی محتمل این سیستم بر محیط‌زیست و سلامت انسان استفاده شد. نتایج نشان داد که در هر یک از روش‌ها، طبقات اثر گوناگونی شرکت دارند و پارامترهای مورد سنجش در این طبقات، نتایج مختلفی را بیان می‌کنند. در روش ارزیابی چرخه حیات، سرطانزایی ۹۰,۹ درصد بر سلامت انسان تاثیر دارد که بر پایه انتشارات به هوا و بر حسب گرم معادل بنزن ($C_6H_6$) بیان می‌شود در حالی که در روش ارزیابی ریسک، که بر پایه پساب حاصل از تصفیه ارزیابی شده ریسک سرطانزایی مشاهده نگردید. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که در پارامترهای شرکت کننده در روش ارزیابی چرخه حیات، کلر به عنوان عامل مهم با بیشترین تاثیر نامطلوب بر محیط‌زیست و در روش ارزیابی ریسک، نیتریت بیشترین تاثیر نامطلوب بر سلامت انسان را دارد. همچنین با مقایسه دو سناریو در روش ارزیابی ریسک و همچنین روش ارزیابی چرخه حیات می‌توان دریافت که استفاده از پساب خروجی از تصفیه‌خانه فاضلاب شهر سرعین برای مصارف کشاورزی با وجود اینکه از نظر بهداشتی فاقد ریسک سرطانی می باشد ولی از نظر غیرسرطانی مخاطره آمیز تلقی شده است.

## پیشنهادها

- با توجه به اینکه مطالعات ارزیابی چرخه حیات یک روند زمان بر به دلیل تهیه لیست صورت برداری می‌باشد لذا هر چه دامنه اطلاعات گردآوری شده جامع‌تر و از نظر فراوانی در یک بازه زمانی مشخص گردآوری و همچنین مرز سیستم ترسیمی، گسترده‌تر باشد، نتایج دقیق و مطلوب‌تری برای مقایسه سیستم‌ها در مطالعات آتی حاصل خواهد آمد.
- مصرف پساب حاصل از تصفیه در آبیاری مزارع با توجه به کمبود منابع آب می‌تواند کاربرد داشته باشد لذا نیاز به ارزیابی زیست‌محیطی و بهداشتی سیستم‌های تصفیه‌خانه فاضلاب شدیدا احساس می‌شود. زیرا این امکان را ایجاد می‌کند که پیش از احداث سیستم‌ها، مدیران تحت امر بهترین تصمیم گیری در خصوص انتخاب روش تصفیه با کمترین بار زیست‌محیطی و بهداشتی را با صرفه اقتصادی ملحوظ نمایند.
- برای بهبود عملکرد وضع موجود سیستم تصفیه‌خانه فاضلاب سرعین می‌توان با تکمیل مدول دوم تصفیه‌خانه از یک سو و همچنین با کنترل میزان و سن لجن حاصل(جلوگیری از ورود میکروارگانیسم‌ها به فاز خود تخریبی) کیفیت پساب خروجی را بهبود بخشید و عملکرد اجزای سیستم تصفیه را ارزیابی نمود.

## یادداشت‌ها

1. Life Cycle Assessment
2. Risk Assessment Information System
3. Sequencing Batch Reactor
4. Greenhouse Gas Protocol

5. Intergovernmental Panel on Climate Change
6. Building for Environmental and Economic Sustainability
7. National Institute of Standards and Technology
8. Disability Adjusted Life Years
9. Programmable Logic Controller
10. Chronic Daily Intake
11. Hazard Quotient

## فهرست منابع

عطاریان، پ؛ مختارانی، ن، ( آذر ۱۳۹۳). ارزیابی چرخه حیات ( LCA)، *هفتمین همایش ملی و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط زیست*، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

فیضی ماسوله، م؛ تابش، م، (اسفند ۱۳۹۱). مروری بر روش ارزیابی چرخه حیات و کاربرد آن در تصفیه خانه های فاضلاب شهری، *اولین همایش ملی حفاظت و برنامه ریزی محیط زیست*، دانشگاه آزاد اسلامی واحد همدان، همدان، ایران.

محمدیان، م.(۱۳۷۵). مقایسه همه جانبه فرایندهای متداول تصفیه فاضلاب شهری و انتخاب گزینه های مناسب با توجه به اقلیم کشور. *پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی بهداشت محیط*. دانشکده بهداشت محیط. دانشگاه تهران.

Changqing, Xu., Chen, wei., & Hong, Jinglan. (2014). Life-cycle environmental and economic assessment of sewage sludge treatment in China. *Journal of Cleaner Production*, 67(1), 79-87.

Corominas, Li., Foley, J., Guest, J.S., Hospido, A., Larsen, H.F., Morera, S., & Shaw, A. (2013). Life cycle assessment applied to wastewater treatment: State of the art. *Water Research*, 47(13), 5480-5492.

Dixon, A., Simon, M., & Burkitt, T. (2003). 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), 297-308.

Emmerson, G.K., Morse, G.K., & Lester, J.N. (1995). The life-cycle analysis of small scale sewage treatment processes. *Water and Environmental Journal of Promoting Sustainable Solutions*, 9(3), 317-325.

Guangming, Z., Ru, Jiang., Guohe, Huang., Min, Xu., & Jianbing, Li. (2007). Optimization of wastewater treatment alternative selection by hierarchy grey relational analysis. *Journal of Environmental Management*, 82(2), 250-259.

Guang, Y., lin, Q., & Gao, Y. (2016). Metals in exposed-lawn soils from 18 urban parks and its human health implications in southern china's largest city, Guangzhou. *Journal of Cleaner Production*, 115(1), 122-129.

ISO14040. (2006). Environmental management.

Mohanta, V.L., Singh, Sh., & Mishra, B.K. (2019). Human health risk assessment of fluoride-rich groundwater using fuzzy-analytical process over the conventional technique. *Groundwater for Sustainable Development*, 10(1), 100-291.

Machado, A.P., Urbano, L., Brito, A.G., Janknecht, P., Salas, J.J., & Nogueira, R. (2007, july). *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, 4710-057 Braga, Portugal.

Maljanen, M., Kujala, K., Reinikainen, J., Tuittila, E. S., & Ronkanen, A. K. (2018). Greenhouse gas dynamics of a northern boreal peatland used for treating metal mine wastewater. *Wetlands*, 38(5), 905-917.

Parsajou, H., & Fataei, E. (2019). Environmental assessment of the life cycle of sludge treatment systems of Ardabil and Khalkhal wastewater treatment plants. *Amirkabir Journal of Civil Engineering*, 51(2), 77-79.

Persad, AS., & Cooper, GS. (2008). Use of epidemiologic data in Integrated Risk Information System (IRIS) assessments. *Toxicology and applied pharmacology*, 233(1), 137-45.

Renou, S., Thomas, J.S., Aoustin, E., & Pons, M.N. (2008). Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. *Journal of Cleaner Production*, 16(8), 1098-1105.

Song, P., Huang, G., An, C., Zhang, P., Chen, X., & Ren, S. (2019). Performance analysis and life cycle greenhouse gas emission assessment of an integrated gravitational-flow wastewater treatment system for rural areas. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(25), 25883-25897.

Shalyari, N., Alinegad, A., Ghazizadeh hashemi, A.H., Radfard, M., & Dehghani, M. (2019). Health risk assessment of nitrate in groundwater resources of Iranshahr using Monte Carlo simulation and geographic information system (GIS). *MethodsX*, 6(1), 1812-1821.

Sharawat, I., Dahiya, R., & Dahiya, R. P. (2021). Analysis of a wastewater treatment plant for energy consumption and greenhouse gas emissions. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 18(4), 871-884.

US EPA. (2002). Development document for the proposed effluent limitation guidelines and standards. EPA, *Office of Water*, EPA, 821-B-01-007.

Yousefi, M., Ghalehaskar, S., Baghal asghari, F., Ghadepoury, A., Dehghani, M.H., Ghaderpoori, M., & Mohammadi, A.A. (2019). Distribution of fluoride contamination in drinking water resources and health risk assessment using geographic information system, northwest Iran. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 107(1), 104-408.

Zawartka, P., Burchart-Korol, D., & Blaut, A. (2020). Model of carbon footprint assessment for the life cycle of the system of wastewater collection, transport and treatment. *Scientific Reports*, 10(1), 1-21.

Zhang, Q.H., Wang, X.C., Xiong, J.Q., & Chen, B.Cao. (2010). Application of life cycle assessment for an evaluation of wastewater treatment and reuse project – case study of Xian, China. *Bioresource Technology*, 101(5), 1421-1425.