

# امکان‌سنجی و ارزیابی ریسک استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده در کشاورزی

## (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه فاضلاب یزد)

سجاد بهرامی\*، کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.  
حمید سودائی‌زاده، استادیار دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.  
محمدحسین ایران‌نژاد پاریزی، استادیار دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.  
احد ستوده، استادیار دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.  
علی ماندگاری، کارشناس ارشد محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویر شناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران.

E-mail\*: s.bahrami98@gmail.com

دریافت: ۱۳۹۴/۰۲/۱۷ - پذیرش: ۱۳۹۴/۰۴/۰۲

### چکیده

افزایش جمعیت شکاف بین عرضه و تقاضای آب را افزایش داده و حتی در برخی بخش‌ها به سطح هشدار نیز رسیده‌است. در ایران که یکی از کشورهای در حال توسعه و با کاهش منابع آب تجدیدشونده محسوب می‌شود، به‌عنوان یکی از سیاست‌های اقتصادی اجتماعی بر استفاده بهینه از منابع تجدیدپذیر، به‌ویژه استفاده مجدد از فاضلاب‌ها تأکید شده است. این نوع استفاده‌ها می‌تواند ریسک‌هایی را در زمینه ایمنی، بهداشت و محیط‌زیست نیز به همراه داشته باشد. در همین راستا در پژوهش حاضر به امکان‌سنجی استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد در کشاورزی پرداخته و مهم‌ترین ریسک‌های بالقوه در این زمینه شناسایی و ارزیابی گردیدند. بدین منظور تعداد ۱۹ پارامتر مهم و اصلی برای مقایسه با استاندارد استفاده از پساب در کشاورزی و آبیاری، انتخاب و نتایج حاصل با شش استاندارد EPA، WHO، FAO، ترکیه، اردن و سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران مقایسه شد. نتایج نشان می‌دهد که به‌جز در مورد پارامترهای سدیم، کل املاح محلول، کلیفرم کل و کلیفرم گوارشی، که بالاتر از حد مجاز برای استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران بودند، تمامی پارامترهای دیگر پایین‌تر از حد مجاز در استاندارد سازمان حفاظت محیط‌زیست ایران بودند. همچنین با استفاده از روش آنالیز مقدماتی خطر، تعداد ۱۵ ریسک ایمنی، بهداشتی و محیط‌زیستی شناسایی و با استفاده از ماتریس ارزیابی ریسک اولویت‌بندی گردیدند که طبق نتایج پنج ریسک در محدوده غیر قابل قبول چهار ریسک در محدوده لزوم اقدام برای کاهش ریسک و شش ریسک نیز در محدوده بهبود مستمر قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: فاضلاب، کشاورزی، استاندارد کیفی، ریسک محیط‌زیستی، یزد.

### ۱- مقدمه

توجه متخصصان و محققان محیط‌زیست قرار گرفته است، (Guang, 2004). در ایران بیشتر از سیستم‌های تصفیه فاضلاب مکانیزه استفاده می‌شود که این سیستم‌ها بیشتر به دلایل منابع مالی ناکافی، هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری، عدم حضور مشاوران باتجربه و آگاه و

یکی از پیامدهای توسعه صنایع، ورود فاضلاب حاوی مواد آلی مصنوعی به محیط‌زیست می‌باشد که متأسفانه در بیشتر مواقع به‌کارگیری روش‌های تصفیه متداول برای آن‌ها مناسب نیست. بنابراین دستیابی به روش‌های مناسب و کم هزینه برای تصفیه آب‌های سطحی پذیرنده مورد

با غلظت پایین در پساب‌ها وجود دارند. در برخی موارد این آلاینده‌ها ریسک‌های مهمی برای محیط‌زیست و سلامتی انسان به حساب می‌آیند. کارخانه‌های تصفیه فاضلاب<sup>۵</sup> هنوز هم یکی از مهم‌ترین راه‌های انتشار ریزآلاینده‌ها به حساب می‌آیند، زیرا اصولاً برای حذف این ترکیبات طراحی نشده‌اند، (Ternes et al., 2004). ریسک یک مفهوم احتمالی است که در آن تبدیل احتمال خطر به حادثه مطرح است، (جهانگیری، ۱۳۹۴). همچنین ریسک توصیف عواقب یک خطر بالقوه با بیان احتمال وقوع آن می‌باشد. یکی از مراحل اساسی فرآیند ارزیابی ریسک، مرحله شناسایی ریسک‌ها می‌باشد به گونه‌ای که با اجرای فرآیند شناسایی و توصیف ریسک از یک طرف با بررسی کامل علت‌ها، معلول‌ها نیز مشخص می‌شوند و از طرفی دیگر با بررسی کامل معلول‌ها، نحوه‌ی جلوگیری از پیامدهای ناخوشایند و همچنین نحوه‌ی تحقق و بروز پیامدهای خوشایند شناسایی و تعیین می‌گردند، (میرجلیلی، ۱۳۸۸). ریسک‌های محیط‌زیستی به تهدیدهای واقعی و بالقوه‌ی اثرات سوء بر محیط‌زیست و موجودات زنده توسط فاضلاب‌ها، پساب‌ها، تولید گازهای گلخانه‌ای، ضایعات و پسماندها، کاهش منابع و ... ناشی از فعالیت‌های یک سازمان اشاره دارد. برای شرکت‌ها و صنایع، مشکلات و ریسک‌های ناشی از انواع فعالیت‌ها را می‌توان به شش دسته طبقه‌بندی کرد:

- ۱- آلودگی خاک ناشی از تخلیه زباله؛ ۲- اثر بر اکوسیستم‌ها؛ ۳- آلودگی آب؛ ۴- اثر در چشم‌اندازهای طبیعی و فرهنگی منطقه؛ ۵- آلودگی هوا؛ ۶- اثر بر زندگی اجتماعی و سلامت و ایمنی مردم؛

(Xiao and Zhou, 2011). در زمینه تصفیه‌خانه با روش تالاب مصنوعی و کاربرد آن‌ها مطالعات زیادی در ایران و جهان صورت گرفته است. غلمانی و همکاران (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای به بررسی و مقایسه کارایی سیستم‌های نیزار زیرسطحی در تصفیه فاضلاب شهر یزد در شرکت آب و فاضلاب استان یزد پرداختند. در این مطالعه چهار برکه زیرسطحی به مساحت کلی ۲۸۰ متر مربع و با سه گونه

اپراتورهای آموزش‌نندیده فاقد کارایی مناسب می‌باشند، (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۲) تالاب‌های مصنوعی سیستم‌های تصفیه فاضلاب مصنوعی مرکب از کانال‌ها یا برکه‌های سطحی هستند که با گیاهان آبی کشت شده‌اند و برای تصفیه فاضلاب به فرآیندهای شیمیایی، فیزیکی، بیولوژیکی و میکروبی، متکی می‌باشند، (Zhou et al., 2009). همچنین این سیستم دارای راندمان بالایی در تصفیه فاضلاب به ویژه برای فاضلاب‌های صنعتی است، (Yeh and Wu, 2009). تأثیر آبیاری فاضلاب بر روی بهداشت عمومی، اساسی‌ترین دغدغه‌های آژانس‌های بهداشتی و سلامت جامعه است. در سال ۱۹۸۵ یک همکاری بین سازمان‌های مختلف برای بررسی جنبه‌های اپیدمی‌شناسی<sup>۱</sup> استفاده مجدد از فاضلاب تشکیل داده شد. بر اساس ارزیابی آن‌ها از شایع شدن شرایط نامطلوب بهداشتی در کشورهای در حال توسعه، تصمیم گرفته شد که استانداردهای انگلبرگ<sup>۲</sup> را مجدداً مورد بررسی قرار دهند، (IRCWD, 1985). این استانداردها بعداً به‌عنوان سرفصل‌های بهداشتی توسط سازمان جهانی بهداشت<sup>۳</sup> در استفاده از فاضلاب در کشاورزی و کشت آبی نهایی شد، (WHO, 1989). توجه به رویکرد جامع، دینامیک و پویای بهداشت، ایمنی و محیط‌زیست (HSE)، در پروژه‌های استفاده مجدد از فاضلاب‌های تصفیه شده می‌تواند سبب تولید مواد غذایی و محصولات کشاورزی سالم، حفظ منابع آب و خاک و حفظ کیفیت محیط‌زیست (غنی زاده و قانعیان، ۱۳۸۹) و همچنین ارزیابی، کنترل و مدیریت ریسک‌های بالقوه در این پروژه‌ها گردد، (جوزی، ۱۳۸۷). در شرایط هیدروژئولوژیکی خاص مانند سازند سنگ آهک، آلاینده‌های میکروبی می‌توانند تا فواصل بیشتری منتقل شوند. همچنین آلاینده‌های شیمیایی مانند نترات‌ها، ریسک اصلی در پساب‌های خانگی هستند که می‌توانند تا فواصل بسیار زیادی حمل شوند و منابع آب آشامیدنی در مجاورت پروژه‌های آبیاری با فاضلاب را با خطر جدی مواجه سازند. ریزآلاینده‌ها<sup>۴</sup> که مواد شیمیایی و آلی با مقدار بسیار ناچیز مانند ترکیبات دارویی هستند،

در مورد چالش‌ها و استراتژی‌های کاربردی در تصفیه فاضلاب‌های صنعتی در تالاب‌های مصنوعی انجام دادند. آن‌ها مواد آلی بالا، شوری، افزایش pH، رنگ و کدورت، تجزیه‌پذیری زیستی<sup>۱</sup> پایین و انعقاد<sup>۲</sup> را به عنوان مهمترین چالش‌های تالاب مصنوعی مورد ارزیابی قرار دادند. در ادامه مهم‌ترین استراتژی‌های کاربردی همچون، پیش تصفیه<sup>۳</sup>، تعدیل PH، بازچرخانی فاضلاب<sup>۴</sup>، اضافه کردن منابع کربن آلی، هوادهی مصنوعی، انتخاب گیاهان مناسب، یکپارچه کردن برکه‌ها و تقویت فعالیت‌های زیستی، پیشنهاد شد، (Wu et al., 2015). با توجه به موارد ذکر شده و به دلیل اهمیت کیفیت پساب مصرفی در سلامت و بهداشت جوامع و محیط‌زیست و نیز به دلیل بروز احتمالی ریسک‌های ایمنی، بهداشتی و محیط‌زیستی، امکان‌سنجی برای هر نوع مصرفی قبل از اقدام و ارایه راه‌کارها و اقدامات پایشی برای آن لازم و ضروری به نظر می‌رسد. پژوهش حاضر نیز به منظور امکان‌سنجی استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده‌ی شهر یزد برای استفاده مجدد در بخش کشاورزی و شناسایی و ارزیابی، ریسک‌های ایمنی، بهداشتی و محیط‌زیستی انجام گرفته است.

## ۲- روش‌ها

### ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد در شمال غرب یزد، واقع در بزرگراه آیت الله فقیه خراسانی در فاصله ۷/۵ کیلومتری از دروازه قرآن قرار دارد. سیستم تصفیه فاضلاب در شهر یزد از نوع برکه تثبیت بوده و از سیستم‌های وتلند طبیعی (جریان سطحی)، برکه مصنوعی (جریان زیر سطحی)، ایمهاف تانک و سپتیک تانک نیز به صورت پایلوت استفاده می‌شود. ۸۵٪ فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد به روش برکه تثبیت و ۱۵٪ مابقی توسط روش‌های دیگر تصفیه می‌شود. متوسط فاضلاب ورودی به این تصفیه‌خانه ۱۶۶۵۰ مترمکعب در روز و جمعیتی بیش از ۷۵۰۰۰ نفر را تحت پوشش دارد. در این تصفیه‌خانه بخشی از فاضلاب تصفیه‌شده در

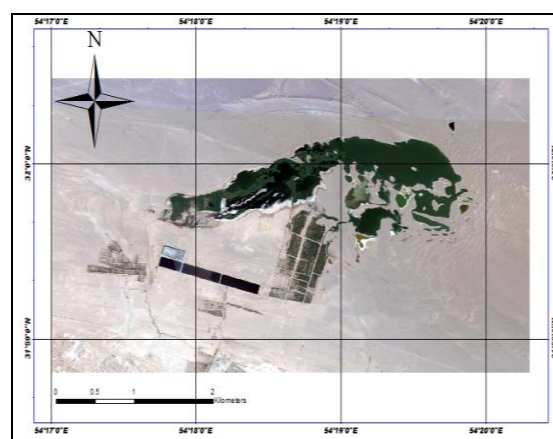
متفاوت نی (علی آباد، بافق و یزدباف) و یک برکه به عنوان شاهد با زمان ماند هیدرولیکی ۳-۵ روز برای تصفیه فاضلاب شهری مورد استفاده قرار گرفته‌است. شرفی و همکاران (۱۳۹۰) به مقایسه کارایی سیستم نیزار مصنوعی و لجن فعال متعارف در حذف کیست تک یاخته و تخم انگل در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب قصرشیرین و کرمانشاه پرداختند. نتایج نشان داد که کارایی هر دو تصفیه‌خانه از لحاظ حذف کیست تک یاخته و تخم انگل‌ها مطلوب بوده و راندمان نیزار مصنوعی بالاتر از سیستم لجن فعال متعارف است. شریعت و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای بر روی تالاب میقان در اراک به بررسی ریسک‌های محیط‌زیستی معدن‌کاری با استفاده از روش 3D melborn پرداخته و سه پارامتر تماس، احتمال و پیامد ریسک را برای هر ریسک شناسایی شده مشخص کردند. آن‌ها سپس با استفاده از ماتریس آنالیز خطر و براساس دو پارامتر شدت و احتمال، سطح ریسک‌ها را مشخص و برای هر ریسک پیشنهاداتی برای کاهش اثرات در نظر گرفتند. Kihila و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای با عنوان استفاده مجدد از تصفیه فاضلاب برای کشاورزی شهری در یکی از شهرهای تانزانیای به امکان استفاده فاضلاب تصفیه‌شده به روش‌های برکه تثبیت و تالاب مصنوعی در کشاورزی شهری پرداختند. نتایج نشان داد که این پساب‌ها برای آبیاری محدود شده مناسب است، همچنین اگر به صورت درست عمل نشود خطرات بهداشتی برای کارگرانی که در معرض کار با این آب‌ها هستند وجود دارد، (Kihila et al., 2014). Russell (۱۹۹۹) ریسک انفجار جمعیتی انواع گونه‌های پشه را در یک تالاب مصنوعی مورد بررسی قرار داد. بر طبق نتایج به دست آمده، کنترل پشه‌ها تنها عامل بیولوژیکی و شیمیایی ندارد، بلکه نوع طراحی تالاب نیز باید مورد توجه قرار گیرد. همچنین به منظور کاهش جمعیت پشه‌ها و ریسک انتقال بیماری‌ها، باید کیفیت آب و تراکم گیاهان و عمق تالاب مدیریت گردد، (Russell, 1999). Wu و همکاران (۲۰۱۵) مطالعه‌ای

مقدماتی تصفیه گردیده و وارد برکه‌های تثبیت طبیعی می‌گردد، که در ادامه برای این بخش از فاضلاب که به‌طور کامل تصفیه نمی‌گردد و به‌صورت تالاب مصنوعی حتی زیستگاهی موقت و فصلی برای برخی از پستانداران و پرندگان (اکبری و همکاران، ۱۳۹۱) به وجود آورده است. بدین ترتیب برخی از مهمترین ریسک‌های محیط زیستی و بهداشتی در قالب روش ارزیابی ریسک، آنالیز مقدماتی خطر<sup>۱۰</sup> (PHA)، که به دنبال یک فهرست‌برداری مقدماتی خطر<sup>۱۱</sup> (PHL)، می‌آید، شناسایی گردید، (میرجلیلی، ۱۳۸۸). بعد از امکان‌سنجی فاضلاب شهر یزد برای استفاده در کشاورزی، ریسک‌هایی محیط‌زیستی بالقوه‌ای که این نوع فرآیند تصفیه می‌تواند به همراه داشته باشد، با استفاده از روش اصلاح شده آنالیز مقدماتی خطر (PHA) شناسایی و نتایج در جدول ۲ آورده شده‌است. همچنین در این روش به منظور تعیین پیامدها و احتمال ریسک‌های شناسایی شده، از شاخص ماتریس<sup>۱۲</sup> ISO استفاده گردید، (شکل ۲).

### ۲-۳- ریسک‌های محیط‌زیستی

با توجه به برخی اختلافات در مقادیر استانداردهای مختلف، این استانداردها اساساً با یک عدم قطعیتی همراه می‌باشند که توجه به ریسک‌های محیط‌زیستی را ضروری می‌سازد. اگرچه آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده می‌تواند به نحوی شایسته برای کاهش بیابان‌زایی، ایجاد فضاهای سبز، جنگل‌کاری نواحی بایر و کنترل فرسایش خاک استفاده شود، اما کاربرد فاضلاب در آبیاری به‌دلیل حضور میکروارگانیسم‌ها و مواد شیمیایی آن می‌تواند با مخاطرات بهداشتی همراه گردد، که معمولاً در سه بخش، خطرات بهداشت فردی، خطرات بهداشت محصولات کشاورزی و خطرات بهداشت مصرف‌کنندگان مطالعه می‌شوند. مهمترین ریسک‌های محتمل در استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای کشاورزی و آبیاری در صورت نداشتن مدیریت صحیح شامل ریسک‌های میکروبیولوژیکی، شیمیایی و محیط‌زیستی می‌باشند. بسیاری از این

زمین‌های اطراف تصفیه‌خانه رها شده و یک تالاب مصنوعی ایجاد نموده است، (شکل ۱). همچنین این تالاب مصنوعی ایجاد شده از تجمع فاضلاب نسبتاً تصفیه‌شده، دارای ۱۵ گونه پرنده آبی و مهاجر در تعداد زیاد می‌باشد و درختانی نظیر اکالیپتوس، گز، تاغ و نی در این تالاب استقرار یافته‌اند، به‌گونه‌ای که این تالاب مصنوعی به محل مناسبی برای توقف موقت پرندگان عبوری و زمستان‌گذرانی پرندگان مهاجر تبدیل شده است، (اکبری و همکاران، ۱۳۹۱).



شکل ۱. موقعیت تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد و تالاب مصنوعی حاصل از آن

### ۲-۲- روش پژوهش

این مطالعه یک پژوهش توصیفی-مقطعی می‌باشد که در یک مقطع در تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد انجام گرفت. بدین منظور در ابتدا با بررسی اسناد و کتب و مقالات داخلی و خارجی در زمینه تحقیقاتی، اطلاعات پایه و ضروری گردآوری شد، با توجه به این‌که مهمترین معیارهای ارزیابی مناسب بودن پساب‌ها برای استفاده در بخش کشاورزی و آبیاری، پارامترهای مربوط به جنبه‌های بهداشتی، شوری، فلزات سنگین و مواد آلی مضر می‌باشند، بنابراین در این مطالعه نیز به بررسی ۱۹ پارامتر مهم بهداشتی و فیزیکی و شیمیایی و مقایسه آن‌ها با شش استاندارد WHO, FAO, EPA، ترکیه، اردن و سازمان حفاظت ایران، (جدول ۱)، پرداخته شد. لازم به ذکر است که حجم زیادی از فاضلاب به‌صورت ناقص یا تا حد

پایه و اساس خیلی از روش‌های دیگر قرار گیرد، روش آنالیز مقدماتی خطر (PHA) می‌باشد. این روش برای اولین بار توسط ارتش آمریکا در سال ۱۹۶۰ مورد استفاده قرار گرفت و در اولین نسخه از استاندارد MIL-STD-882 در سال ۱۹۶۹ شرح داده شد. پس از آن در صنایع مختلفی به ویژه حمل و نقل هوایی، صنایع شیمیایی و هسته‌ای کاربرد یافت. هدف از این روش شناسایی مقدماتی رویدادهای خطرناک نامطلوب، قبل از اتفاق افتادن آن‌ها می‌باشد. برای انجام این روش باید عناصر موجود در تاسیسات و فعالیت‌های سیستم برای آگاهی از منابع خطر و بررسی امکان وقوع حوادث نامطلوب، مرور و بازبینی گردند، (Flaus, 2013). در این روش ریسک‌ها، با استفاده از یک کاربرگ مخصوص شناسایی و لیست می‌گردند. روش PHA همانند دیگر روش‌های گروهی نتیجه نهایی اجماع نظر اعضای گروه از قبل تشکیل شده، می‌باشد (جوزی، ۱۳۸۸).

بیماری‌ها ممکن است توسط افرادی که در کشاورزی کار می‌کنند و یا آن‌هایی که محصولات کشاورزی آبیاری شده با پساب‌ها را مصرف می‌کنند، ایجاد شود. ریسک‌های بهداشتی عوامل شیمیایی ناشی از فلزات سنگین و برخی ترکیبات آلی می‌باشد، که بیشتر در فاضلاب‌های صنعتی وجود دارند. آبیاری محصولات با استفاده از پساب به‌ویژه محصولاتی که به‌طور خام مورد استفاده انسان قرار می‌گیرند، مخاطرات بهداشتی قابل توجهی را به دنبال خواهد داشت، (قربانی، ۱۳۸۸). هدف از این مرحله، شناسایی منابع و عوامل آغاز کننده یک ریسک‌ها می‌باشد. روش‌های مختلفی برای شناسایی ریسک‌ها وجود دارد که تعداد آن‌ها روز به روز در حال افزایش است. انتخاب روش مناسب برای شناسایی ریسک‌ها با توجه به میزان تجربه، توانایی‌ها و مهارت تیم‌های ارزیابی ریسک، نوع و چگونگی اطلاعات مورد نیاز و منابع مالی و زمان صورت می‌گیرد، (جهانگیری، ۱۳۹۴). از جمله روش‌های پایه‌ای و پرکاربرد در شناسایی و ارزیابی ریسک‌ها که می‌تواند

جدول ۱. استانداردهای استفاده از فاضلاب برای آبیاری محصولات کشاورزی

پارامتر	مقادیر بدست آمده	EPA	WHO	FAO	ترکیه	اردن	ایران (DOE)
EC	۱۲۲۲	۷۰۰۰	۷۰۰۰	۷۰۰۰	۱۳۷۵		۳۰۰۰
pH	۷/۲۶	۶/۹	۷/۲۵	۷/۲۵	۷/۵	۷/۵	۷/۵
کلراید	۲۷۲/۷	۲۱۳	۲۴۸	۲۴۸	۳۵۵	۴۰۰	۶۰۰
سولفات	۳۲/۶				۴۵۵	۵۰۰	۵۰۰
سدیم	۱۵۹/۳				۱۰۰	۲۳۰	۷۵
نیترات	۲/۳۲	۳۰	۵	۵	۲۰	۳۰	
کل مواد معلق	۹۱	۵			۴۵	۵۰	۱۰۰
کل املاح محلول	۷۸۸		۴۵۰	۴۵۰		۱۵۰۰	۴۵۰
BOD	۲۸/۸	۳۰			۷۵	۳۰	۱۰۰
COD	۶۵/۴	۱۲۰				۱۰۰	۲۰۰
آهن	۰/۱	۵	۵	۵	۵	۵	۳
روی	۰/۱	۱	۲	۲	۲	۵	۲
مس	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲
سرب	۰/۲	۵	۵	۵	۵	۵	۱
کادمیم	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۵
کروم	۰/۵	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۱
نیکل	۰/۴	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۲
کلیفرم کل	۱۱۰۰	۲۰۰	۱۰۰۰				۱۰۰۰
کلیفرم گوآرشی	۴۵۰		۱۰۰۰	۱۰۰۰	۶۱	۱۰۰	۴۰۰

می‌گیرند، اولویت‌بندی صورت می‌گیرد.

نتایج ارزیابی و اولویت‌بندی ریسک‌ها در این روش نشان می‌دهد که از بین ۱۵ ریسک بالقوه شناسایی شده (جدول ۳)، تعداد پنج ریسک در سطح غیر قابل تحمل، شش ریسک در وضعیت بهبود مستمر و تعداد چهار ریسک در منطقه ALARP قرار دارند.

منطقه ALARP در ماتریس ریسک حالت گذار بین ریسک بالا و ریسک پایین است و نشان دهنده حد اکثر ریسک قابل قبول است، در واقع این منطقه به منزله هشدار است که اعلام می‌کند ریسک مذکور در حال نزدیک شدن به منطقه ریسک بالا است. لازم به ذکر است که ریسک‌های شناسایی شده با استفاده از کاربرد PHA بیشتر متمرکز بر وتلند مصنوعی و استفاده مجدد در کشاورزی می‌باشد و در این مطالعه ریسک‌های فرآیندی در تاسیسات تصفیه‌خانه مدنظر قرار نگرفتند.

بنابراین با توجه به کاربرد PHA علت‌های کلی در این ریسک‌ها مربوط به عدم مدیریت صحیح و تکمیل نشدن مراحل تصفیه می‌باشد.

در این مطالعه از روش اصلاح شده PHA به منظور شناسایی ریسک‌های بهداشتی و محیط‌زیستی و ارزیابی آن‌ها با استفاده از شاخص ماتریس ریسک ISO استفاده شد، در روش آنالیز مقدماتی خطر اصلاح شده مقادیر ستون پیامدها و تکرارپذیری با استفاده از شاخص ماتریس ریسک ISO که در شکل ۲ مشخص گردیده و با استفاده از نظرات کارشناسان امتیازدهی گردید و نتایج آن در جدول ۲ آورده شده است.

لازم به ذکر است که ملاک امتیازدهی به ستون پیامد با توجه به شاخص ماتریس ارزیابی ریسک بر اساس چهار جنبه (بهداشت و سلامت افراد، محیط‌زیست، دارایی‌ها و شهرت) و با توجه به جنبه مورد نظر، که در اینجا دو جنبه محیط‌زیست و بهداشت و سلامت افراد می‌باشد، اظهار نظر کارشناسان و اعضای تیم آنالیز ریسک، می‌باشد. بنابراین بر اساس ماتریس ارزیابی ریسک، حاصل ضرب پیامد ریسک‌ها در احتمال آن‌ها، تعیین‌کننده سطح ریسک می‌باشد و با توجه به اینکه نمره هر کدام از ریسک‌های شناسایی شده در چه قسمتی از مناطق رنگی ماتریس قرار

تکرارپذیری / احتمال					پیامدها			
E	D	C	B	A	اعتبار و شهرت شرکت	محیط زیست	اموال و دارایی‌ها	بهداشت و سلامت افراد
به صورت دائمی	در مقطع کوتاهی از زمان	به صورت فصلی	در دراز مدت (سالانه)	به ندرت (در طول عمر (سالانه)				
<p style="text-align: center;"><b>بهبود مستمر</b></p> <p style="text-align: center;"><b>اتجام اقدامات کاهش ریسک ALARP</b></p> <p style="text-align: center;"><b>غیر قابل تحمل</b></p>					بدون تاثیر	بدون تاثیر	بدون آسیب	۰ بدون آسیب
					تاثیر اندک	تاثیر جزئی	خسارت جزئی	۱ آسیب خفیف
					تاثیر محدود	تاثیر کم	خسارت کم	۲ آسیب کم
					تاثیر قابل توجه	تاثیر محلی	خسارت محلی	۳ آسیب عمده
					تاثیر عمده در سطح ملی	تاثیر عمده	خسارت جدی	۴ مرگ موردی
					تاثیر عمده در سطح بین المللی	تاثیر وسیع	خسارت شدید	۵ مرگ و میر های متعدد

شکل ۲. ماتریس ارزیابی ریسک ISO (برگرفته از استاندارد ایزو، ISO/ FDIS 31000)

جدول ۲. کاربرد تکمیل شده شناسایی ریسک‌ها با استفاده از روش PHA

تاریخ: بهار ۹۴		اعضاء تیم: اعضای هیات علمی و کارشناسان محیط‌زیست			اجزاء سامانه: برکه تصبیت و سیستم تصفیه فاضلاب	
پیشنهادات	احتمال	پیامد	اثرات خطر	علت بالقوه	نوع ریسک	
مکانیابی سایت جدید	E	۵ یا ۴	اثر بر روی سلامتی مردم	مکانیابی نامناسب	منبع انتقال آلودگی‌ها به جوامع محلی	
تکمیل مراحل تصفیه	A	۳ یا ۲	پر شدن برکه و امکان انتقال ذرات توسط باد	وجود مواد آلی و معدنی	خوراکوری <sup>۱۴</sup>	
تکمیل مراحل تصفیه	C	۴ یا ۳	امکان انتقال بیماری‌ها و ناراضیاتی اهالی اطراف منطقه	مانداب بودن برکه و بالا بودن تراکم گیاهان و مواد آلی	انتشار بوی تعفن و ماندگی	
کنترل بزرگنمایی زیستی	C	۴ یا ۳	انتقال در طول زنجیره غذایی و امکان پدیده بزرگنمایی زیستی	وجود فلزات سنگین در فاضلاب و تجمع دراز مدت در بافت پرندگان	تجمع فلزات سنگین در بدن آبزیان و پرندگان	
فنس کشی اطراف تالاب مصنوعی	C	۱	به هم خوردن تعادل جمعیتی جانوران در منطقه و امکان انقراض‌های محلی	وجود مواد غذایی در دسترس به دلیل تشکیل مراحل اول زنجیره غذایی	افزایش کاذب جمعیت گوش‌خواران	
کنترل بیولوژیکی با کمک خفاش‌ها	D	۳ یا ۲	ایجاد بیماری پوستی در اثر گزش پشه و مزاحمت برای آسایش اهالی منطقه	زیستگاه مناسب برای پشه‌ها بخصوص رطوبت و گرما و امکان تکثیر	افزایش بی رویه پشه‌ها	
کنترل و شناسایی گیاهان مهاجم و علف‌های هرز	A	۳ یا ۲	امکان مهاجم شدن برخی گیاهان هرز	وجود مواد مغذی و زیستگاه مناسب برای گیاه	افزایش بی رویه گیاهان	
تکمیل مراحل تصفیه	E	۳	افزایش سطح گازهای گلخانه‌ای	تجزیه مواد آلی و تولید CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , H <sub>2</sub> S	انتشار گازهای گلخانه‌ای	
تکمیل مراحل تصفیه	A	۳	انتقال آلاینده‌ها و فلزات سنگین به آب‌های زیر زمینی و چاه‌های اطراف	جنس بستر زمین ساختی منطقه و مانداب بودن زیاد آب در برکه	نشست به سفره‌های آب زیرزمینی	
کنترل ورودی و خروجی افراد و آموزش	C	۱	غرق شدن گردشگران و امکان گزش پشه‌ها و بیماری	وجود توده‌ای سرسبز در کنار مناطق خشک و بی آب	جذب کاذب گردشگران	
آموزش و استفاد از تجهیزات بهداشت فردی	E	۳	امکان بیماری‌های میکروبی و تماسی در دراز مدت	کار در تصفیه خانه فاضلاب و تماس مکرر با آب‌های برکه	در معرض قرار گرفتن کارگران	
آموزش و استفاد از تجهیزات بهداشت فردی	C	۳ یا ۲	امکان بیماری‌های میکروبی و تماسی در دراز مدت و حتی مصرف محصولات کشاورزی	استفاده مدیریت نشده از آب برکه در بخش کشاورزی در اطراف منطقه	در معرض قرار گرفتن کشاورزان	
پایش پارامترهای بهداشتی تصفیه خانه و آموزش	E	۴ یا ۳	ایجاد بیماری جدید و تحت تاثیر قرار دادن سلامت منطقه	انتقال انواع میکروب‌ها و پشه‌ها از راه‌های مختلف	سرایت بیماری‌های میکروبی	
تکمیل فرایند تصفیه	B	۳	امکان ایجاد آلاینده‌های تجمعی ناشی از	وجود منابع آلاینده و صنایع مختلف در مناطق اطراف	اثرات تجمعی آلاینده‌ها	
تکمیل فرایند تصفیه و مدیریت علمی و زیست محیطی	E	۵	هدر رفتن مقدار زیادی انرژی و بودجه با توجه به بالا بودن ارزش آب در یزد	عدم مدیریت علمی و حرفه‌ای	هدر رفتن بخش زیادی از انرژی	

### ۳- بحث و نتیجه گیری

همان‌طور که در جدول ۱ مشخص می‌باشد، تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد از کارایی حذف نسبتاً خوبی برخوردار است. با توجه به مقایسه‌ی پارامترهای کیفی با استانداردها نتیجه گرفته می‌شود که کشاورزی و آبیاری با این پساب‌ها باید با محدودیت‌های طبقه‌ای همراه باشد، به‌گونه‌ای که ابتدا نوع محصولات کشاورزی طبقه‌بندی و برای آبیاری هر کدام از آن‌ها محدودیت خاصی در نظر گرفته شود. در حال حاضر بخش زیادی از فاضلاب تصفیه‌شده تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد بدون استفاده در اطراف تصفیه‌خانه تجمع یافته (شکل ۱) و تالاب مصنوعی و زیستگاهی برای پرندگان مهاجر و پستانداران و دوزیستان به وجود آورده است. امکان‌سنجی استفاده از فاضلاب تصفیه‌شده برای کاربری‌های مختلف اگرچه یک مطالعه ضروری به حساب آمده، اما نمی‌تواند سلامت و بهداشت، مصرف‌کنندگان و محیط‌زیست تحت‌تاثیر را در درازمدت تامین کند. همچنین با توجه به نتایج این پژوهش، یعنی در حد استاندارد بودن بیشتر پارامترهای مورد سنجش برای آبیاری و کشاورزی، تلاش در جهت تکمیل مراحل تصفیه فاضلاب گزینه مناسبی به نظر می‌رسد. برای تصمیم‌گیری صحیح و پایدار، آگاهی بخشی و آموزش و نیز توجه به ریسک‌های محیط‌زیستی و سلامت افراد در معرض ریسک‌های احتمالی ضروری است. ارزیابی و مدیریت ریسک به‌عنوان رهیافتی مناسب و قدرتمند قادر به شناسایی ریسک‌ها و کنترل آن‌ها می‌باشد و به صورت یک چرخه بین ارزیابی ریسک، مدیریت ریسک و آنالیز ریسک در جریان قرار می‌گیرد. یکی از شاخصه‌های اصلی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد استفاده از سیستم‌های تصفیه برکه مصنوعی می‌باشد که اگر این برکه‌های مصنوعی به‌صورت صحیح مدیریت شوند، با هزینه‌ای بسیار کمتر نسبت به دیگر سیستم‌های مدرن تصفیه فاضلاب می‌توانند کارایی مناسبی در حذف آلاینده‌ها داشته باشند. همان‌طور که در برخی شهرهای بزرگ و پرجمعیت دنیا استفاده از سیستم‌های تالاب

مصنوعی در جهت حذف آلاینده و بهبود کیفیت فاضلاب‌ها به‌عنوان سیستم‌های تصفیه کارا پیشنهاد گردیده است. ریسک‌های شناسایی شده با استفاده از روش PHA در این مطالعه نشان می‌دهد که منشأ اصلی بیشتر آن‌ها مشترک می‌باشد و در واقع با مدیریت بخش‌های اصلی همچون کنترل کیفیت فرآیند، تامین منابع مالی، تدوین سیستم مدیریتی می‌تواند ریسک‌ها را تا حد زیادی کاهش و حتی برطرف کند، بنابراین به‌منظور کاهش دادن احتمال چنین ریسک‌هایی باید از سیستم‌های پایش لحظه‌ای و مطالعات ارزیابی و مدیریت ریسک استفاده شود. نتایج ارزیابی ریسک این مطالعه، نشان می‌دهد که در صورت عدم مدیریت صحیح، سیستم تالاب مصنوعی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد می‌تواند به یک مساله خطرناک و جدی در رابطه با جنبه‌های ایمنی، بهداشتی و محیط‌زیستی برای جوامع محلی تبدیل گردد. بنابراین با توجه به اهمیت زیاد آب در استان یزد به لحاظ شرایط اقلیمی و میزان تبخیر شایسته است که در رابطه با این منبع ارزشمند تصمیم‌گیری شود. بنابراین انجام مطالعات ارزیابی ریسک و ارزیابی اثرات محیط‌زیستی و ایجاد سیستم‌های مدیریت محیط‌زیستی و HSE در تالاب مصنوعی تصفیه‌خانه فاضلاب شهر یزد امری ضروری می‌باشد.

### ۴- پی نوشت‌ها

1. Epidemiology
2. Engelberg
3. World Health Organization
4. Micropollutants
5. Wastewater treatment plants
6. Biodegradability
7. Wetlands clogging
8. Pretreatment
9. Effluent recirculation
10. Preliminary Hazard Analysis
11. Preliminary Hazard List
12. International Standard Organization
13. As Low As Reasonably Practicable
14. Utrificatio



## ۵- منابع

- ملی جایگاه آب‌های بازیافتی و پساب در مدیریت منابع آب- کاربردها در کشاورزی و فضای سبز، مشهد.
- قربانی، هادی، (۱۳۸۸) "فواید و چالش‌های زیست‌محیطی کاربرد پساب در آبیاری"، سومین همایش و نمایشگاه تخصصی مهندسی محیط‌زیست، تهران.
- میرجلیلی، علی رضا، میرجلیلی، علی اصغر، (۱۳۸۸) "اصول و مبانی ارزیابی و مدیریت ریسک در محیط‌زیست، جلد اول، اندیشمندان یزد، ۲۴۳ ص.
- یوسفی، ذبیح‌الله، محمدپور تهمتن، رضاعلی، ززولی، محمدعلی، و حسینی، سید مجتبی، (۱۳۹۲) "ارزیابی کارآیی و تلند مصنوعی زیر سطحی با جریان افقی در تصفیه فاضلاب"، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، (۲۳) ۹۹، ۱۳-۲۶.
- EPA, (1977) "Process design manual for land treatment of municipal wastewater", Report 625/1-77-008. Us Environment Protection Agency, Circinnatei, Ohio.
- FAO, (1989) "Wastewater quality guidelines for agricultural use", Irrigation and Drainage paper.
- Flaus, J. M., (2013) "Risk Analysis Socio-technical and Industrial Systems", John Wiley & Sons, Inc., United States, 368 Pp.
- Guang, G., (2004) "behavior and effects of surfactants and their degradation products in the environment", journal of environment international, 21, 1-15.
- IRCWD, (1985), "Health Aspects of Wastewater and Excreta Use in Agriculture and Aquaculture", the Engelberg Report, Dubendorf, Switzerland: International Reference Centre for Waste Disposal.
- ISO/ FDIS, 31000, (2009), (E) Risk management-Principles and guidelines.
- Kihila, J., Mtei, K.M and Njau, K. N., (2014) "Wastewater treatment for reuse in urban agriculture; the case of Moshi Municipality", Tanzania, Physics and Chemistry of the Earth, 72-75, 104-110.
- Russell, R.C., (1999) "Constructed wetlands and
- اکبری، حسن، حبیبی پور، اعظم، پورچیت‌ساز، آرزو، تیموری، مهدی، (۱۳۹۱) "تالاب‌های مصنوعی فرصتی برای حفظ تنوع زیستی (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه یزد)"، فصلنامه علوم و مهندسی محیط‌زیست، شماره ۵۳ و ۵۴: ۵۸-۵۳.
- جوزی، علی، (۱۳۸۸) "ارزیابی و مدیریت ریسک"، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ۳۴۴ ص.
- جهانگیری، مهدی، نوروزی، محمدامین، (۱۳۹۴) "مدیریت و ارزیابی ریسک"، جلد اول، چاپ دوم، فن آوران، تهران، ۲۲۱ ص.
- شرفی، کیومرث، درایت، جمشید، خدادادی، تاریخ، اسدی، فاطمه، پورعشق، یوسف، (۱۳۹۰) "مقایسه کارایی نیزار مصنوعی و لجن فعال متعارف در حذف کیست تک یاخته و تخم انگل (مطالعه موردی: تصفیه‌خانه‌های فاضلاب قصرشیرین و کرمانشاه)"، مجله سلامت و بهداشت اردبیل، ۲(۳): ۷-۱۳.
- شریعت، سید محمود، منوری، سید مسعود، و سبحانی، فریبا، (۱۳۹۲) "ارزیابی ریسک زیست‌محیطی معدن کاری در تالاب‌ها (مطالعه موردی: تالاب میقان استان مرکزی)"، فصلنامه علمی پژوهشی اکویولوژی تالاب- دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، ۵(۱۶): ۴۱-۵۲.
- غلمانی، سید وحید، صالحی وزیری، اکبر، طالبی همت‌آبادی، پروانه، کریمی، بهروز، (۱۳۸۸) "بررسی و مقایسه کارایی سیستم‌های نیزار زیر سطحی در تصفیه فاضلاب شهر یزد"، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران.
- غنیرزاده، قادر، قانعان، محمدتقی، (۱۳۸۹) "ضرورت توجه به جنبه‌های بهداشتی، ایمنی و محیط‌زیست (HSE) استفاده مجدد از پساب در کشاورزی"، دومین سمینار

201. 107-120.

- Xiao, X., and Zhou, Z., (2011) "The Prevention and Control of Environmental Liability Based on Environmental Risk Management and Assessment in Enterprise", Quantitative Financial Risk Management Computational Risk Management, 1, 217-226.

- Yeh, T.Y and Wu, CH., (2009) "Pollutant removal within hybrid constructed wetland systems in tropical regions", Water Science and Technology, 59(2), 233-240.

- Zhou, J.B., Jiang, M.M., Chen, B. and Chen, G.Q (2009) "Emergy evaluations for constructed wetland and conventional wastewater treatments", Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation, 14. 1781-1789.

Mosquitoes: Health hazards and management options", An Australian perspective, Ecological Engineering., 12. 107-124.

- Ternes, T.A., Joss, A and Siegrist, H., (2004) "Scrutinizing pharmaceuticals and personal care products in wastewater treatment", Environmental Science Technology, 38 (20), 392-399.

- WHO, (1989) "Health Guidelines for the Use of Wastewater in Agriculture and Aquaculture", WHO Technical Report Series, no. 778. Report of a Scientific Group, Geneva: World Health Organization.

- Wu, S., Wallace, S., Brix, H., Kusch, P., Kipkemoi, K. W., Masi, F and Dong, R., (2015) "Treatment of industrial effluents in constructed wetlands: Challenges, operational strategies and overall performance", Environmental Pollution,