Journal of Water and Wastewater Science and Engineering (JWWSE)
Vol. 6, No. 3, PP. 36-46, Autumn 2021
DOI: 10.22112/JWWSE.2021.270952.1252

نشریه علمی
علوم و مهندسی آب و فاضلاب
سال ششم، شماره ۳، صفحات ۳۶-۴۶، پاییز ۱۴۰۰

Research Paper

Development of Multi-Criteria Risk Analysis Method for Applying Treated Wastewater in Various Uses

Javad Shafiee Neyestanak[1], Abbas Roozbahani[2*] and Seyyed Ebrahim Hashemi Garmdareh [3]

1- MSc. Student of Water Resources Engineering, Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran.
2- Associate Professor, Department of Water Engineering, College of Aburaihan, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran.
3- Assistant Professor, Department of Water Engineering, College of Aburaihan, Pakdasht, University of Tehran, Pakdasht, Tehran, Iran.
* Corresponding Author, Email: roozbahany@ut.ac.ir

Received: 30/01/2021
Revised: 31/07/2021
Accepted: 04/08/2021
© IWWA

Abstract

Urban treated wastewater or urban effluents as one unconventional water resource can be a continuous and controllable source for various uses. Simultaneously, the effluent from the wastewater treatment plant can carry chemical and biochemical contaminants and consequently expose the affected area to hazards and risks. The concept of risk analysis has helped researchers and project managers to assess the risks of treated wastewater applications in various uses to take appropriate action to reduce or manage irreversible effects on the environment and human health in advance. In this study, risk structures are created for use of treated wastewater in agriculture, landscape irrigation, artificial recharge for aquifer balance, and industry by considering environmental, social, economic, and technical criteria. Further, the effluent quality of 27 treatment plants has been evaluated. To calculate the risks, different hazards of treated wastewater applications are listed and hierarchically affect main and overall risk criteria to calculate the risks. The average overall risks of treated wastewater use in agriculture, landscape irrigation, artificial recharge, and industry are evaluated to be 29.7, 24.0, 24.3, and 26.0 percent, respectively. It is also worth mentioning that although the environmental risk of using treated wastewater in most treatment plants is low, but its social risk is high, which can be attributed to a lack of confidence in the quality of wastewater and low awareness of communities.

Keywords: Hazards, Municipal Treated Wastewater, Risk Assessment, Use of Effluent.

مقاله پژوهشی

تدوین روش تحلیل ریسک چندشاخصه استفاده از پساب در کاربری‌های مختلف

جواد شفیعی نیستانک[۱]، عباس روزبهانی[۲*] و سید ابراهیم هاشمی گرم دره[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد منابع آب، گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران.
۲- دانشیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران.
۳- استادیار گروه مهندسی آب، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، تهران، ایران.
*نویسنده مسئول، ایمیل: roozbahany@ut.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱
تاریخ اصلاح: ۱۴۰۰/۰۵/۰۹
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۳
© انجمن آب و فاضلاب ایران

چکیده

استفاده از فاضلاب تصفیه شده شهری یا همان پساب‌های شهری به‌عنوان یکی از منابع آب نامتعارف می‌تواند منبعی مستمر و قابل کنترل برای استفاده در کاربری‌های مختلف باشد. اما در عین‌حال پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب می‌تواند حامل آلودگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی باشد و متعاقباً محدوده تأثیرپذیر را با مخاطرات و ریسک‌هایی مواجه کند. مفهوم تحلیل ریسک به پژوهشگران و مدیران پروژه‌های استفاده از پساب کمک کرده تا به ارزیابی مخاطرات استفاده از آن در کاربری‌های مختلف پرداخته تا پیش از وقوع اثرات جبران‌ناپذیر بر محیط‌زیست و سلامت انسان، اقدام مقتضی برای کاهش و یا مدیریت آن انجام دهند. در این تحقیق ساختارهای ریسک استفاده از پساب در کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان و صنعت با درنظر گرفتن معیارهای محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی ایجاد شده و هم‌چنین کیفیت پساب ۲۷ تصفیه‌خانه کشور مورد ارزیابی قرارگرفته است. برای محاسبه ریسک‌ها، مخاطرات مختلف استفاده از پساب گردآوری و به‌صورت سلسله مراتبی بر روی معیارهای اصلی و ریسک کلی تأثیر می‌گذارند. نتایج میانگین ریسک‌های نهایی استفاده از پساب در ساختار کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان و صنعت به‌ترتیب برابر با ۲۹/۷٪، ۲۴٪، ۲۴/۳٪ و ۲۶٪ ارزیابی شده است. هم‌چنین شایان ذکر است علی‌رغم آن که ریسک محیط‌زیستی استفاده از پساب در بیشتر تصفیه‌خانه‌ها پایین است، اما ریسک اجتماعی آن بالا ارزیابی شده که می‌توان دلیل آن‌را عدم اطمینان به کیفیت پساب و آگاهی پایین مردم منطقه عنوان کرد.

کلمات کلیدی: ارزیابی ریسک، استفاده از پساب شهری، فاضلاب تصفیه شده، مخاطرات.

۱- مقدمه

استفاده از پساب‌های شهری به‌عنوان یکی از منابع آب نامتعارف به دلیل آن که منبعی مستمر و قابل کنترل برای استفاده در کاربری‌های مختلف است و هم‌چنین با توجه به محدودیت کمی و کیفی آب در جهان و کشور، توجه مدیران و کارشناسان را به‌خود جذب کرده است. برای استفاده از پساب شهری باید این نکته را درنظر گرفت که پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب شهری می‌تواند حامل آلودگی‌های شیمیایی و بیوشیمیایی باشد. به‌طور نمونه در صورتی‌که میزان ازت و فسفر در پساب خروجی تصفیه‌خانه فاضلاب بالا و به رودخانه تخلیه شود، باعث تسریع در رشد گیاهان می‌شود. با این‌کار غلظت اکسیژن محلول منابع آب سطحی کم و به‌مرور زمان شرایط بی‌هوازی بر رودخانه حاکم می‌شود که باعث تولید محصولات ناپایدار و خطرناک برای محیط‌زیست می‌شود (دبیری و بشیری‌مد، ۱۳۹۲ و ابراهیمی و کی‌نژاد، ۱۳۹۳). هم‌چنین در اثر آبیاری زمین‌های زراعی با پسابی که ذرات معلق بالایی دارند علاوه‌بر گرفتگی خلل و فرج خاک و کاهش هدایت هیدرولیکی خاک باعث آسیب‌دیدن سیستم آبیاری تحت فشار نیز می‌شود که منجر به کاهش محصول کشاورزی می‌شود (ابوالحسنی زرجوع و همکاران، ۱۳۹۴). به‌طور مثال، تغذیه مصنوعی با پساب در چاه‌های کم‌عمق (۲۰ تا ۴۰ متر) و دهان گشاد (قطر ۲ متر) به‌دلیل این‌که با مصالح درشت‌دانه و نفوذپذیر پر می‌شوند و هم‌چنین لوله حامل پساب تا کف چاه ادامه پیدا می‌کند، خطر گرفتگی چاه در صورت بالا بودن ذرات معلق پساب در آن‌ها بالا است و عملا اصلاح و رفع گرفتگی چاه دیگر اقتصادی نخواهد بود (رازقی و همکارن، ۱۳۹۳). بنابراین نه تنها استفاده از پساب می‌تواند باعث بروز پیامدهای محیط‌زیستی شود بلکه می‌تواند مشکلات اقتصادی، فنی و اجتماعی را نیز به‌وجود آورد. مخاطرات و آسیب‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی استفاده از پساب را می‌توان با مفهوم تحلیل ریسک و خطرپذیری ارزیابی نمود. امروزه تحلیل ریسک ابزاری کارآمد در مطالعات محیط‌زیستی و بهداشتی بوده چرا که به کارشناس این امکان را می‌دهد تا اثرات غیرقابل برگشت و موثر بر محیط‌زیست و سلامت انسان را پیش از وقوع ارزیابی و مدیریت کند. بنابراین در این تحقیق با استفاده از تحلیل ریسک به ارزیابی مخاطرات استفاده از پساب به‌عنوان یک منبع آب جایگزین با درنظر گرفتن شاخص‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی پرداخته می‌شود.

به‌دلیل اهمیت موضوع استفاده از پساب شهری، در سال‌های گذشته تحقیقاتی بر روی نحوه استفاده و مدیریت آن انجام شده که در ادامه به پژوهش‌های پنج سال اخیر پرداخته می‌شود. طاهریون و همکاران (۱۳۹۵) مخاطرات و اثرات استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهرک صنعتی البرز برای استفاده در کشاورزی را با استفاده از مفهوم تحلیل ریسک ارزیابی و خطرپذیری آبیاری زمین‌های زراعی با پساب را برای سلامت انسان و گیاه محاسبه کرده‌اند. Sari et al. (2017) کیفیت آب برگشتی برج‌های خنک کننده، نشت سامانه و دیگ بخار یک پالایشگاه را به لحاظ فیزیکی، شیمیایی و میکروبی بررسی کرده تا بین دو گزینه تأمین آب شرب و استفاده در آتش‌نشانی، گزینه مناسب برای بازاستفاده از منابع آب را تشخیص دهند. Pan et al. (2018) با درنظر گرفتن معیارهای هزینه، پذیرش همگانی، تهدید سلامت و ذخیره آب به‌عنوان معیارهای خاص و کنترل با استانداردهای کانادا به‌عنوان معیار عام به بررسی گزینه‌های مختلف استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهر Penticton پرداخته و آبیاری باغچه‌های خانه‌ها به‌عنوان برترین گزینه انتخاب شد. در پژوهش دیگری Shakeri and Nazif (2018) با استفاده از مفهوم تحلیل ریسک به ارزیابی استفاده از پساب تصفیه‌خانه شهرک اکباتان با ارائه یک سیستم استنتاج فازی پرداختند و آبیاری فضای سبز تصفیه‌خانه را به‌عنوان گزینه برتر معرفی کردند. Emami-Skardi et al. (2019) روشی را برای تعیین پیوست‌های اجتماعی کمی‌سازی شده در یک مدل فیزیکی-رفتاری برای تخصیص منابع آب و پساب در محیط‌های شهری به‌کارگرفتند. پیوست‌های اجتماعی از خروجی‌های روش تحلیل شبکه‌های اجتماعی به‌دست آمده است. Ghorbani Mooselu et al. (2018) با استفاده از نظریه بازی‌ها روشی را برای تخصیص بهینه پساب شهری ارائه کردند تا بهینه‌ترین حالت برای تخصیص پساب شهری در مناطق شرقی استان تهران تعیین شود.

ریسک یک مفهوم انتزاعی و دارای تعاریف زیادی بوده اما می‌توان گفت که دربرگیرنده آینده و شک است. اما به‌طور کلی می‌توان ریسک را تابعی از احتمال، شدت و آسیب‌پذیری تعریف کرد (Torres et al., 2009; Haimes, 2009; Ave, 2009; Asgarian et al., 2018; Shariat et al., 2019; Tabesh et al., 2018). ریسک شامل دو بخش تحلیل و مدیریت است. تحلیل ریسک به شناسایی مخاطرات و اجزا سامانه پرداخته و فاز مدیریتی آن، انتخاب گزینه‌ها و کاهش ریسک است. اهمیت تحلیل ریسک در آن است که مخاطرات سامانه شناسایی و با استفاده از مدل‌های مفهومی یا ریاضی ارزیابی می‌شود.

جمع‌بندی مطالعات پیشین نشان می‌دهد که درنظر گرفتن

شاخص‌های مختلف ریسک در کنار یکدیگر از جمله مباحث فنی، محیط‌زیستی، اقتصادی و اجتماعی در امر استفاده از پساب کاملا ضروری بوده اما در مطالعات پیشین هر چهار پارامتر کمتر به‌صورت هم‌زمان درنظر گرفته شده‌اند. بنابراین هدف این تحقیق ارائه یک چارچوب علت و معلولی برای محاسبه ریسک استفاده از پساب با درنظر گرفتن معیارهای فنی، اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیستی در کاربری‌های کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان و صنعت است. هم‌چنین کیفیت پساب ۲۷ تصفیه‌خانه کشور برای ارزیابی ساختارهای ریسک پیشنهادی در کاربری‌های چهارگانه مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- ساختارهای ریسک

برای ارائه ساختارهای ریسک استفاده از پساب در کاربری‌های چهارگانه فوق بیش از ۱۳۰ منبع شامل مقالات، کتب، گزارش‌ها و پایان‌نامه‌های مختلف از منابع معتبر ملی و بین‌المللی جمع‌آوری، بررسی و سپس مشکلات، معضلات و مخاطرات (پارامترهای اثرگذار بر ریسک) استفاده از پساب در کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی و صنعت در گروه‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی (ریسک‌های اصلی) دسته‌بندی شده‌اند. نتیجتا این پارامترها به‌صورت سلسله مراتبی (اثرگذاری پارامتر والد بر پارامتر فرزند) بر روی ریسک استفاده از پساب در کاربری‌های مختلف اثر می‌گذارد که در جدول ۱ پارامترهای پایه ارائه شده است.

ساختارهای ریسک استفاده از پساب در کاربری‌های مختلف به‌گونه‌ای تولید شده‌اند که ابتدا فاکتورهای کیفی هدایت الکتریکی، SAR، قلیائیت، سختی و TSS بر پارامتر آلودگی فیزیکی پساب، فاکتورهای کیفی روغن و چربی، سولفات، فلزات سنگین (آرسنیک، جیوه، کادمیم و سرب)، فسفات، نیترات، شوینده‌ها، COD و BOD بر پارامتر شیمیایی پساب و فاکتور کیفی فکال کلی‌فرم بر پارامتر آلودگی بیولوژیکی پساب اثر گذاشته و سپس این سه پارامتر بر روی سایر پارامترهای ریسک‌های محیط‌زیستی اثر می‌گذارد. آن‌ها نیز به‌صورت سلسله مراتبی ریسک محیط‌زیستی را ایجاد می‌کنند. هم‌چنین هرکدام از زیرمخاطرات پارامترهای ریسک‌های اجتماعی، اقتصادی و فنی باعث ایجاد این ریسک‌ها می‌شود. در نهایت چهار ریسک محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی، فنی بر روی ریسک نهایی اثرمی‌گذارند. در ساختار ریسک استفاده از پساب در صنعت فاکتورهای کیفیت پساب مستقیم بر روی پارامترهای اجتماعی و فنی اثر گذاشته و دارای سه شاخص اجتماعی، اقتصادی و فنی است.

پس از ارائه ساختارهای ریسک استفاده از پساب در کاربری‌های چهارگانه، باید ضرایب اثرگذار بر این ریسک‌ها محاسبه شود. بدین منظور از نظرات کارشناسی برای محاسبه ریسک استفاده از پساب استفاده شده است. پرسشنامه‌هایی در اختیار تیم کارشناسی با بیش از ۲۵ سال سابقه متشکل از جامعه دانشگاهی، کارفرمایان و مهندسین مشاور قرار داده شده تا میزان اثرگذاری فاکتورهای کیفیت پساب و پارامترهای شاخص‌های مختلف بر روی ریسک‌های اصلی و کلی به‌دست آید. کارشناسان با معیارهای توصیفی "کم" (۱۰)، "کم تا متوسط" (۳۰)، "متوسط" (۵۰)، "متوسط تا زیاد" (۷۰) و "زیاد" (۹۰) میزان اثرگذاری هر پارامتر را بر روی پارامترها و ریسک‌های بعدی نمره‌دهی کردند. سپس با میانگین‌گیری نظرات کارشناسی، وزن هر پارامتر بر روی پارامتر دیگر مشخص شد. لازم‌به ذکر است همگرایی بالایی در نظرات اخذ شده وجود داشته و در واقع انحراف از معیار نظرات خبرگان کم بوده است. لذا استفاده از رویکرد میانگین‌گیری موجب واگرایی نتایج نشده است. قطعا رویکردهای دیگری مانند روش مقایسه زوجی برای محاسبه معیارها نیز می‌تواند به افزایش دقت یا همگرایی نظرات کمک نماید.

۲-۲- اطلاعات کیفیت تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

برای ارزیابی ریسک استفاده از پساب با توجه به ساختارهای ارائه شده، اطلاعات کیفیت پساب ۲۷ تصفیه‌خانه فاضلاب شهری (جدول ۲) از مقالات مختلف و گزارش‌های شرکت‌های مهندسین مشاور یکم، توس‌آب، زیست آب، رایان پی آب و آساراب تهیه شد. در مجموع ۷۰ سری داده از فاکتورهای کیفیت پساب از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مختلف از سرتاسر کشور انتخاب شد.

۲-۳- محاسبه ریسک

همان‌گونه که در بخش مقدمه ارائه شد، ریسک تابعی است از احتمال، آسیب‌پذیری و شدت. در این پژوهش، مقادیر هر گره و یا پارامتر بیان‌گر شدت (خسارت) و وزن و درجه اهمیت هر گره والد برای هر گره فرزند، ترکیب احتمال و آسیب‌پذیری است. بنابراین برای محاسبه ریسک، از بالای ساختار که فاکتورهای کیفیت پساب است شروع می‌شود، سپس زیرمخاطرات و ریسک‌های اصلی و نهایتا ریسک کلی محاسبه می‌شود. فاکتورهای کیفیت پساب ابتدا با روش حداقل-حداکثر نرمال می‌شوند که در رابطه (۱) ارائه شده است.

جدول ۱- مخاطرات محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی استفاده از پساب در کاربری‌های چهارگانه

فاکتورهای کیفیت پساب	BOD_5، COD، TSS، فکال کلیفرم، نیترات، فسفات، آرسنیک، جیوه، کادمیم، سرب، سولفات، سختی، قلیائیت، SAR*، هدایت الکتریکی، روغن و چربی، شوینده‌ها			
شاخص‌ها	شاخص محیط‌زیستی	شاخص اجتماعی	شاخص اقتصادی	شاخص فنی
ریسک استفاده از پساب در کشاورزی	• آلودگی فیزیکی پساب • آلودگی شیمیایی پساب • آلودگی بیولوژیکی پساب • آلوده شدن منابع آب سطحی • آلودگی خاک • آلوده شدن منابع آب زیرزمینی • آلوده شدن و آسیب دیدن محصولات کشاورزی • **ریسک محیط‌زیستی**	• شیوع بیماری در اثر استفاده مستقیم و غیرمستقیم از پساب - عدم اطمینان به فناوری تصفیه - عدم اطمینان به اپراتورهای تصفیه‌خانه - ملاحظات شرعی و عرفی استفاده از پساب - محدودیت‌های قانونی استفاده از پساب در کشاورزی • نخریدن محصولات کشاورزی (عدم پذیرش اجتماعی) • عدم استفاده کشاورز از پساب • **ریسک اجتماعی**	• کاهش محصول کشاورزی - عدم ارائه خدمات سوبسید و مشوق • افزایش هزینه‌های اجرا پروژه • افزایش هزینه‌های نگه‌داری پروژه • افزایش هزینه‌ها • کاهش درآمدها • **ریسک اقتصادی**	• گرفتگی، خوردگی و رسوب‌گذاری در تجهیزات ایستگاه‌های پمپاژ و لوله‌ها - عدم دسترسی راحت به فناوری و تجهیزات • صعوبت اجرا • صعوبت نگه‌داری • **ریسک فنی**
ریسک استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز	• آلودگی فیزیکی پساب • آلودگی شیمیایی پساب • آلودگی بیولوژیکی پساب • آلوده شدن منابع آب سطحی • آلودگی خاک • آلوده شدن منابع آب زیرزمینی • آلودگی گیاهان و درختان • مریضی و مرگ و میر جانوران • آلودگی اکولوژیکی • **ریسک محیط‌زیستی**	• شیوع بیماری در اثر آبیاری فضای سبز با پساب - عدم اطمینان به فناوری تصفیه - عدم اطمینان به اپراتورهای تصفیه‌خانه - عدم پذیرش اجتماعی استفاده از پساب برای آبیاری فضای سبز • **ریسک اجتماعی**	- عدم ارائه خدمات سوبسید و مشوق - محدودیت‌های قانونی در آبیاری فضای سبز با پساب • افزایش هزینه‌های اجرا پروژه • افزایش هزینه‌های نگه‌داری پروژه • **ریسک اقتصادی**	• گرفتگی، خوردگی و رسوب‌گذاری در تجهیزات ایستگاه‌های پمپاژ و لوله‌ها - عدم دسترسی راحت به فناوری و تجهیزات • صعوبت اجرا • صعوبت نگه‌داری • **ریسک فنی**
ریسک استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان	• آلودگی فیزیکی پساب • آلودگی شیمیایی پساب • آلودگی بیولوژیکی پساب • آلودگی خاک • آلوده شدن منابع آب زیرزمینی • **ریسک محیط‌زیستی**	• شیوع بیماری در اثر تغذیه مصنوعی با پساب - عدم اطمینان به فناوری تصفیه - عدم اطمینان به اپراتورهای تصفیه‌خانه - عدم پذیرش اجتماعی استفاده از پساب برای تغذیه مصنوعی • **ریسک اجتماعی**	- عدم ارائه خدمات سوبسید و مشوق - محدودیت‌های قانونی استفاده از پساب برای تغذیه مصنوعی • افزایش هزینه‌های اجرا پروژه • افزایش هزینه‌های نگه‌داری پروژه • **ریسک اقتصادی**	• گرفتگی، خوردگی و رسوب‌گذاری در تجهیزات ایستگاه‌های پمپاژ و لوله‌ها • کاهش عملکرد تغذیه مصنوعی • افزایش اسیدشویی و پیستون‌زنی - عدم دسترسی راحت به فناوری و تجهیزات • صعوبت اجرا • صعوبت نگه‌داری • **ریسک فنی**
ریسک استفاده از پساب در صنعت	-----	• شیوع بیماری در اثر استفاده مستقیم و غیرمستقیم از پساب - عدم اطمینان به فناوری تصفیه - عدم اطمینان به اپراتورهای تصفیه‌خانه - ملاحظات شرعی و عرفی استفاده از پساب - محدودیت‌های قانونی استفاده از پساب در صنعت • عدم پذیرش اجتماعی در استفاده از کالای صنعتی • عدم تمایل صنعتگران برای استفاده از پساب • **ریسک اجتماعی**	• پایین آمدن کمیت و کیفیت کالای صنعتی - عدم ارائه خدمات سوبسید و مشوق • افزایش هزینه‌های اجرا پروژه • افزایش هزینه‌های نگه‌داری پروژه • افزایش هزینه‌ها • کاهش درآمدها • **ریسک اقتصادی**	• رشد بیولوژیکی در تجهیزات و لوله‌ها • پوسیدگی تجهیزات و لوله‌ها • رسوب‌گذاری در تجهیزات و لوله‌ها • گرفتگی تجهیزات و لوله‌ها - عدم دسترسی راحت به فناوری و تجهیزات • صعوبت اجرا • صعوبت نگه‌داری • **ریسک فنی**

* پارامتر SAR در تهیه ساختار ریسک استفاده از پساب در صنعت مورد استفاده قرار نگرفته است.

راهنمای جدول: نقطه (•): گره‌های پیوسته یا کمی؛ خط تیره (-): گره‌های گسسته یا کیفی

جدول ۲- اطلاعات عمومی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب منتخب

استان	اسم تصفیه‌خانه فاضلاب	شهر	سال بهره‌برداری	جمعیت تحت پوشش	ظرفیت نهایی تصفیه‌خانه (m^3/day)	فرآیندهای تصفیه
آذربایجان شرقی	تبریز	تبریز	۱۳۸۰	۱۸۳۶۰۰۰	۱۲۹۶۰۰	لجن فعال با هوادهی گسترده
اردبیل	اردبیل	اردبیل	۱۳۷۴	۹۴۳۲۱۰	۲۹۲۸۴۴	لاگون هوادهی
	خلخال	خلخال	۱۳۷۴	۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	لجن فعال
	گرمی	گرمی	۱۳۷۴	۷۰۰۰۰	۱۶۴۰۸	لاگون هوادهی
	مشکین شهر	مشکین شهر	۱۳۸۶	۱۱۲۰۰۰	۱۰۰۰۰	برکه تثبیت
اصفهان	شمال اصفهان	اصفهان	۱۳۶۶	۱۲۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	لجن فعال
بوشهر	بوشهر	بوشهر	۱۳۸۵	۱۳۷۰۰۰	۴۱۰۰۰	برکه تثبیت
	دیلم	دیلم	۱۳۸۳	۱۵۰۰۰	۷۵۰۰	برکه تثبیت
	گناوه	گناوه	۱۳۸۶	۴۴۶۰۰	۱۶۸۳۴	برکه تثبیت
تهران	اکباتان	تهران	۱۳۶۳	۸۵۰۰۰	۲۸۸۰۰	A2O
	جنوب تهران	تهران	۱۳۷۴	۳۱۵۰۰۰۰	۶۷۰۰۰۰	لاگون هوادهی
	شوش	تهران	۱۳۶۱	۴۰۰۰۰	۵۷۶۰	لجن فعال
	صاحبقرانیه	تهران	۱۳۳۴	۲۰۰۰	۲۸۸	لجن فعال
	قیطریه	تهران	۱۳۶۵	۲۰۰۰۰	۲۰۰۰	لجن فعال
	دانشگاه آزاد رودهن	رودهن	۱۳۸۰	---	۳۵۰	هوادهی
خراسان جنوبی	بیرجند	بیرجند	۱۳۸۵	۱۸۸۰۰۰	۳۵۰۰۰	برکه تثبیت
خراسان رضوی	اولنگ مشهد	مشهد	۱۳۸۱	۵۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰	برکه تثبیت
فارس	شیراز	شیراز	۱۳۸۵	۱۳۴۹۵۱۲	۱۹۰۰۰۰	لجن فعال با هوادهی
قزوین	قزوین	قزوین	۱۳۸۴	---	23100	برکه تثبیت
کهگیلویه و بویر احمد	دهدشت	دهدشت	۱۳۹۲	۶۲۶۱	۶۳۳۳	برکه تثبیت
	دوگنبدان	دوگنبدان	۱۳۹۶	۲۹۲۶۳	۱۲۵۰۰	برکه تثبیت
	یاسوج	یاسوج	۱۳۸۳	۱۱۷۵۱۸	۴۴۱۰۰	لاگون هوادهی
گلستان	بندر ترکمن	بندر ترکمن	۱۳۸۷	۳۸۰۰۰	۱۸۲۰۰	لاگون هوادهی
	بندر گز	بندر گز	۱۳۸۲	۲۱۰۰۰	۶۲۰۰	لاگون هوادهی
	کردکوی	کردکوی	۱۳۸۷	۱۷۰۰۰	۵۲۰۰	لجن فعال
	گرگان	گرگان	۱۳۸۷	۱۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	لجن فعال هوادهی گسترده
همدان	بیمارستان آتیه سازان همدان	همدان	۱۳۷۵	---	۲۰۰۰	لجن فعال هوادهی گسترده

$$Z_i = \frac{x_i - min\,X}{max\,X\ - min\,X} \times 100 \qquad (۱)$$

$$X = \frac{W_1X_1 + W_2X_2 + \cdots + W_jX_j}{W_1 + W_2 + \cdots + W_j} \qquad (۲)$$

که z_i: مقدار متناظر داده x_i که بین صفر تا ۱۰۰ نرمال شده، x_i: داده‌ای از مجموعه X، X: مجموعه هر فاکتور کیفیت پساب در تمامی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، $min\ x$ و $max\ X$: به‌ترتیب مقدار کمینه و بیشینه مجموعه X و i: شمارنده داده‌های مجموعه هستند.

بدین ترتیب تمامی پارامترهای کیفی بین صفر تا صد توزیع می‌شوند. سپس با استفاده از رابطه (۲) میزان ریسک پارامترهای مختلف تا انتها محاسبه می‌شود.

که X: ریسک پارامتر فرزند، W_j: وزن پارامتر والد jام بر پارامتر فرزند، X_j: مقدار عددی پارامتر والد jام و j: تعداد پارامترهای والد است. این روش تا انتها که به‌دست آوردن ریسک کلی است ادامه پیدا می‌کند.

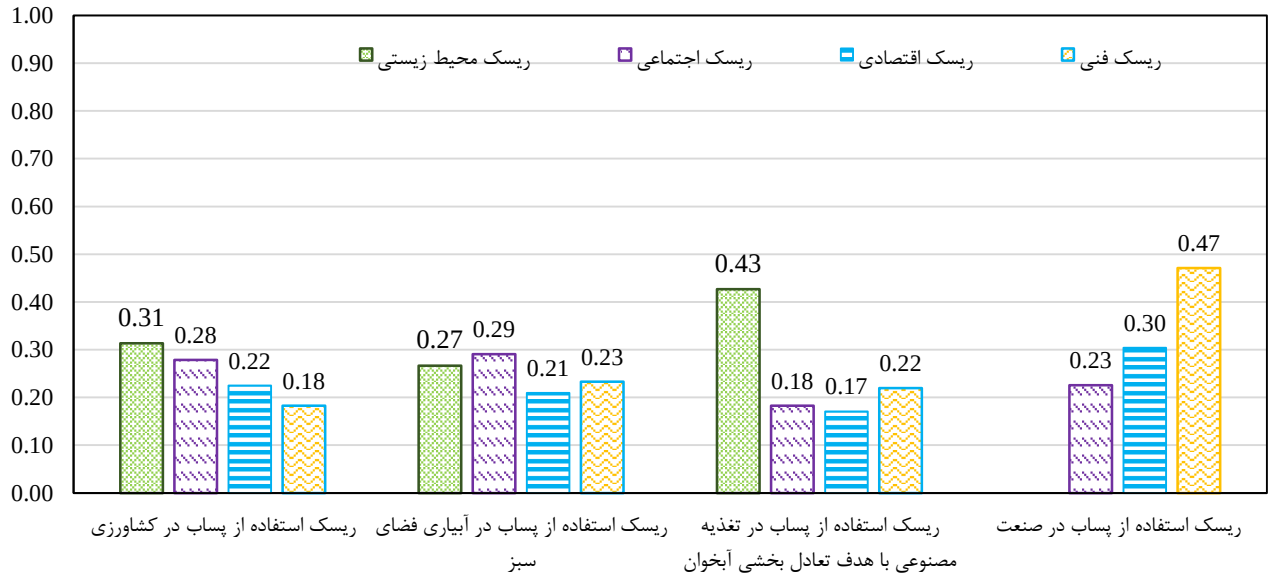
علاوه‌بر پارامترهای کمی (پیوسته) که دارای سری عددی هستند و در جدول ۱ با علامت دایره توپر مشخص شده‌اند، یک‌سری از پارامترها در همان جدول با خط نشان داده شده‌اند که به آن‌ها پارامترهای گسسته یا کیفی گفته می‌شود. این

پارامترها ابتدا با توجه به وضعیت منطقه، شرایط اجتماعی و اقتصادی به‌صورت توصیفی از "کم"، "کم تا متوسط"، "متوسط"، "متوسط تا زیاد" و "زیاد" نمره‌دهی می‌شوند و سپس برای محاسبه ریسک، مقادیر عددی آن‌ها که به‌ترتیب ۱۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۹۰ هستند، در رابطه (۲) قرار داده می‌شود تا بقیه محاسبات ریسک صورت پذیرد.

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج ضرائب (اوزان) ریسک پارامترها

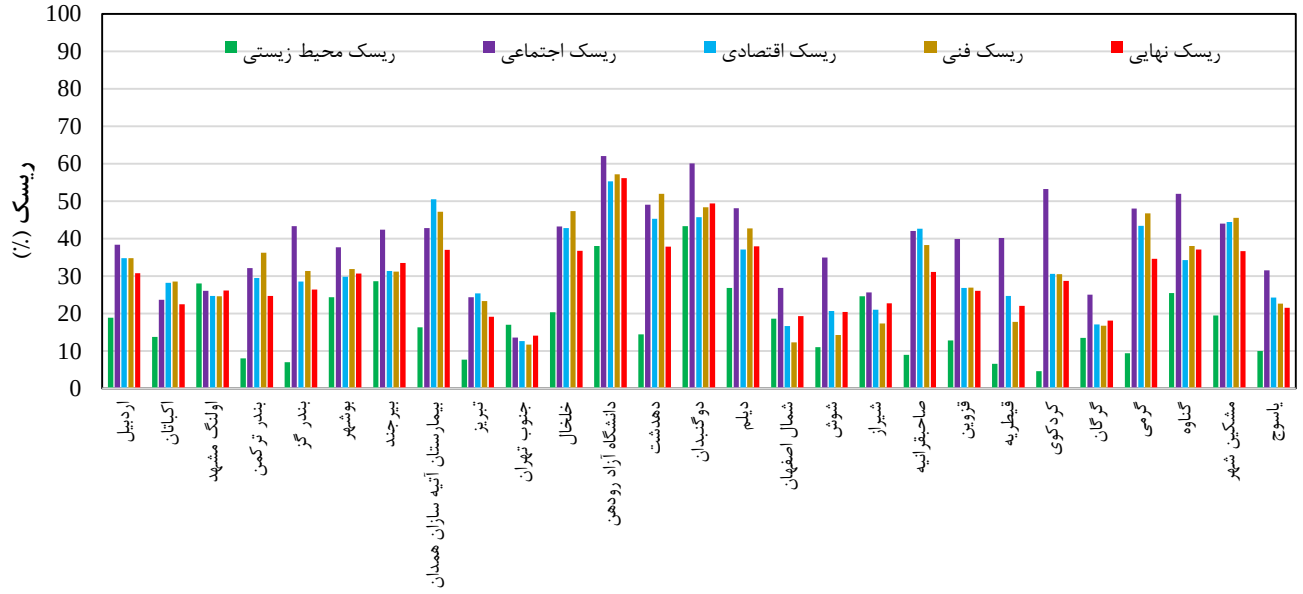
در شکل ۱ نتایج اوزان اثرگذاری شاخص‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی بر ساختارهای چهارگانه ریسک ارائه شده است. در محاسبه ریسک استفاده از پساب در کشاورزی، ریسک محیط‌زیستی با ۰/۳۱ بیشترین تاثیر را داشته و در ادامه ریسک اجتماعی، ریسک اقتصادی و ریسک فنی به‌ترتیب با ۰/۲۸، ۰/۲۲ و ۰/۱۸ در جایگاه‌های بعدی قرار دارند. ریسک محیط‌زیستی و اجتماعی به‌دلیل آن که با محوریت سلامت انسان و محیط‌زیست سر و کار دارند لذا؛ از درجه تاثیرگذاری بالایی در ریسک کشاورزی برخوردارند. اوزان به‌دست آمده اثرگذاری شاخص‌های اصلی بر ریسک استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز نشان می‌دهد که ریسک محیط‌زیستی با ضریب ۰/۲۷، ریسک اجتماعی با ضریب ۰/۲۹، ریسک اقتصادی با ضریب ۰/۲۱ و ریسک فنی با ضریب ۰/۲۳ بر این ریسک اثرگذار هستند. ضرائب محاسبه ریسک استفاده از پساب برای تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان که در شکل ۱ نیز ارائه شده، نشان می‌دهد که ابتدا ریسک محیط‌زیستی با ضریب ۰/۴۳، ریسک فنی با ضریب ۰/۲۲، ریسک اجتماعی با ضریب ۰/۱۸ و ریسک اقتصادی با ۰/۱۷ قرار گرفته‌اند. با توجه به آن‌که پساب در تغذیه مصنوعی از دسترس مستقیم بشر خارج می‌شود لذا؛ اهمیت پارامترهای محیط‌زیستی در این ساختار بالا است. در محاسبه ریسک استفاده از پساب در صنعت، ریسک اجتماعی با ضریب ۰/۲۳، ریسک اقتصادی با ضریب ۰/۳ و ریسک فنی با ضریب ۰/۴۷ بر روی ریسک کلی اثرگذار هستند. با توجه عدم دسترسی مستقیم پساب در صنعت میزان رغبت اجتماعی در استفاده از پساب بالاتر بوده که این نیز در نتایج اوزان نمود پیدا کرده و وزن شاخص اجتماعی در پایین‌ترین سطح قرار دارد.



شکل ۱- مقایسه نتایج اوزان شاخص‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی بر ساختارهای چهارگانه ریسک

۳-۲- نتایج ارزیابی ریسک استفاده از پساب در کاربری‌های چهارگانه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب

با توجه به داده‌های کیفیت پساب ۲۷ تصفیه‌خانه فاضلاب کشور و هم‌چنین اعمال نظرات کارشناسی، نتایج ریسک استفاده از پساب در کاربری‌های چهارگانه به‌ترتیب هر کاربری ارائه می‌شود. شکل ۲، نتایج ریسک استفاده از پساب در کشاورزی آورده شده است. ریسک محیط‌زیستی استفاده از پساب در کشاورزی برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب کردکوی کمترین ریسک با مقدار ۴/۶٪ بوده و بیشترین ریسک محیط‌زیستی در این ساختار برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دوگنبدان با ۴۳/۲٪ است.

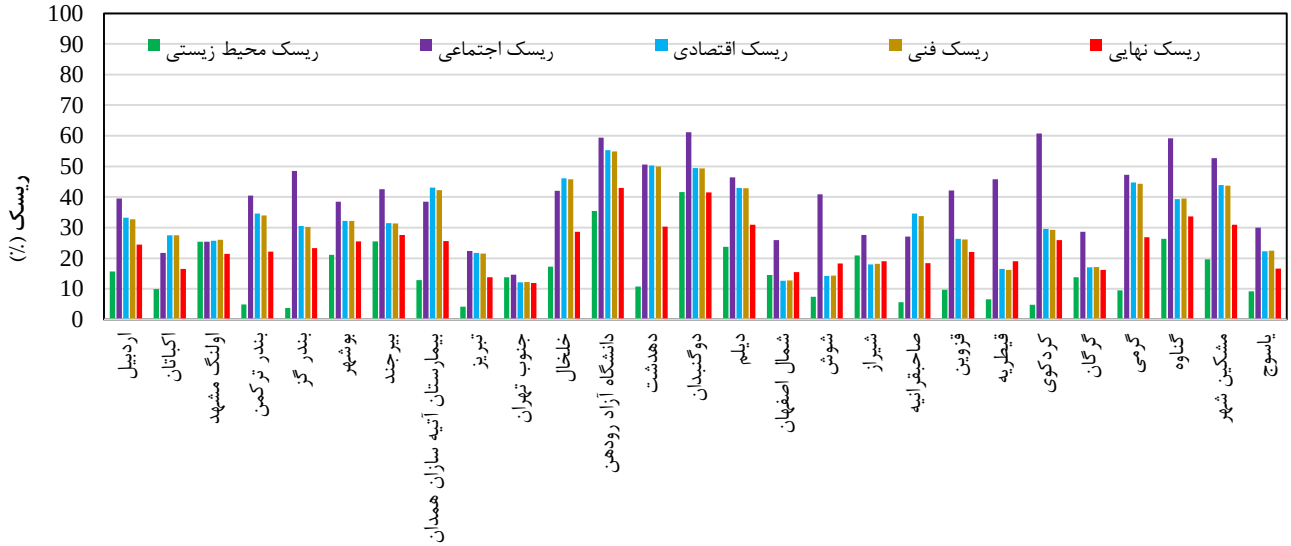


شکل ۲- ریسک‌های اصلی و کلی استفاده از پساب در کشاورزی

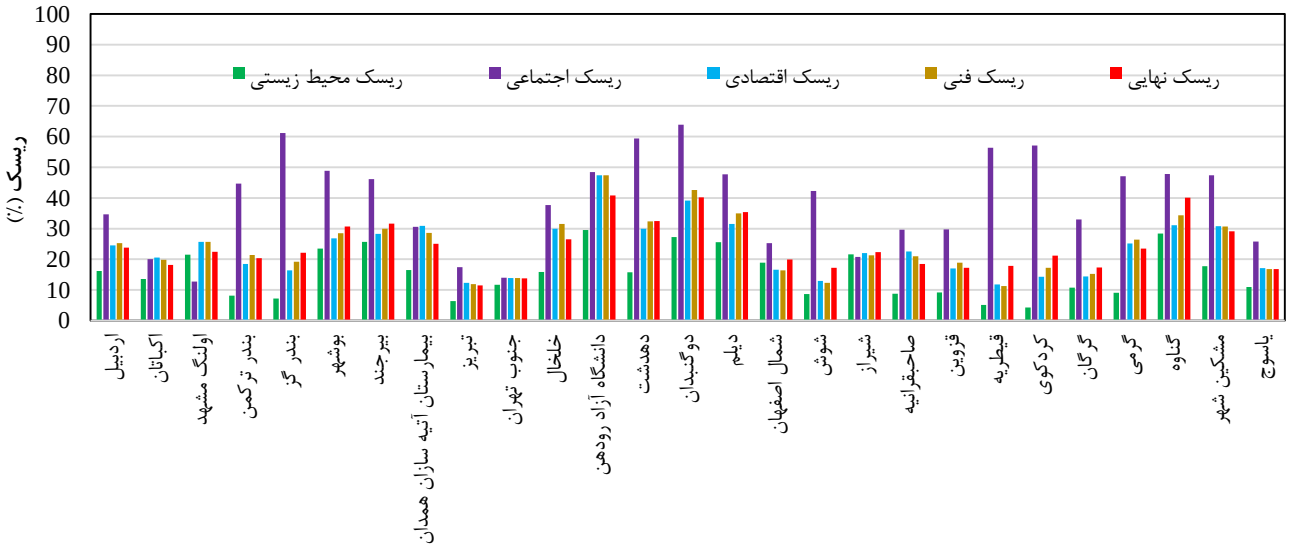
کمترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در کشاورزی برای تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با ۱۳/۶٪ و بیشترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در کشاورزی ۶۲/۱٪ برای تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. کمترین ریسک اقتصادی استفاده از پساب در کشاورزی برای تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با ۱۲/۶٪ و بیشترین با ۵۵/۳٪ برای تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است.کمترین ریسک فنی استفاده از پساب در کشاورزی با ۱۱/۷٪ برای پساب تصفیه‌خانه جنوب تهران و بیشترین با ۵۷/۲٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. درنتیجه کمترین ریسک کلی استفاده از پساب در کشاورزی برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با ۱۴/۱٪ و بیشترین ریسک استفاده از پساب در کشاورزی با ۵۶/۲٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. به‌طور میانگین ریسک محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی، فنی و کلی استفاده از پساب در کشاورزی در جامعه آماری فوق به ترتیب ۱۷/۷٪، ۳۸/۹٪، ۳۲/۱٪، ۳۲/۴٪ و ۲۹/۷٪ است. نتایج ریسک محیط‌زیستی، اجتماعی اقتصادی، فنی و کلی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز در شکل ۳ ارائه شده است. کمترین ریسک محیط‌زیستی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب بندر گز با ۳/۸٪ و بیشترین ریسک محیط‌زیستی برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دوگنبدان با ۴۱/۵٪ است. کمترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز برای تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با ۱۴/۶٪ و بیشترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز ۶۲/۲ ٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دوگنبدان است. کمترین ریسک اقتصادی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز برای تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با ۱۲/۱٪ و بیشترین با ۵۵/۳٪ برای تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. کمترین ریسک فنی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز با ۱۲/۲٪ برای پساب تصفیه‌خانه جنوب تهران و بیشترین با ۵۴/۸٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. درنتیجه کمترین ریسک کلی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با ۱۱/۹٪ و بیشترین ریسک استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز با ۴۲/۹٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. میانین نتایج ریسک استفاده از پساب با توجه به شاخص‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی و فنی در نتایج ارائه شده به ترتیب برابر با ۱۵/۳٪، ۴۰/۰٪، ۳۱/۷٪ و ۳۱/۵٪ بوده و میانگین ریسک کلی برابر با ۲۴/۰٪ است.

نتایج ریسک محیط‌زیستی، اجتماعی اقتصادی، فنی و کلی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان در شکل ۴ ارائه شده‌اند. کمترین ریسک محیط‌زیستی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب کردکوی با ۴/۲٪ و بیشترین ریسک محیط‌زیستی در این ساختار برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن با ۲۹/۶٪ است. کمترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان برای تصفیه‌خانه فاضلاب اولنگ مشهد با ۱۲/۸٪ و بیشترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی آبخوان ۶۳/۸٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دوگنبدان است. کمترین

ریسک اقتصادی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی آبخوان برای تصفیه‌خانه فاضلاب قیطریه با ۱۱/۷٪ و بیشترین با ۴۷/۴٪ برای تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. کمترین ریسک فنی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی، ۱۱/۲٪ برای پساب تصفیه‌خانه قیطریه و بیشترین با ۴۷/۴٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دانشگاه آزاد رودهن است. درنتیجه کمترین ریسک کلی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز با ۱۱/۵٪ و بیشترین ریسک استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان با ۴۰/۸٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دوگنبدان است. میانگین ریسک‌های محیط‌زیستی، اجتماعی، اقتصادی، فنی و کلی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان در جامعه آماری به ترتیب ۱۵/۵٪، ۳۸/۹٪، ۲۳/۴٪، ۲۴/۲٪ و ۲۴/۳٪ است.



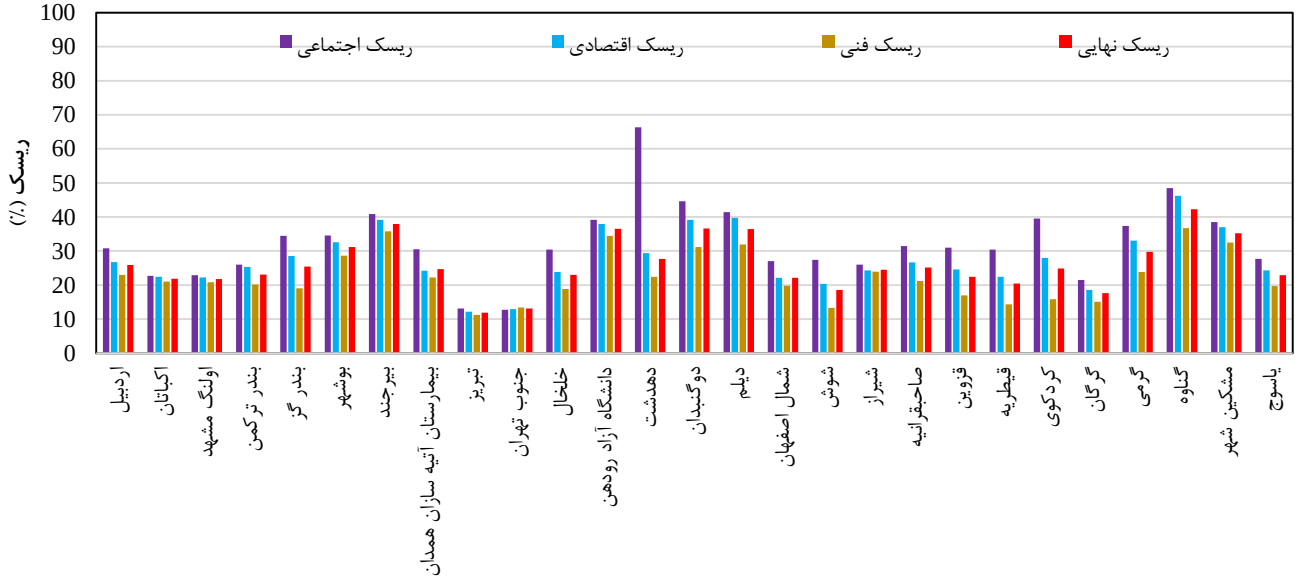
شکل ۳- ریسک‌های اصلی و کلی استفاده از پساب در آبیاری فضای سبز



شکل ۴- ریسک‌های اصلی و کلی استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان

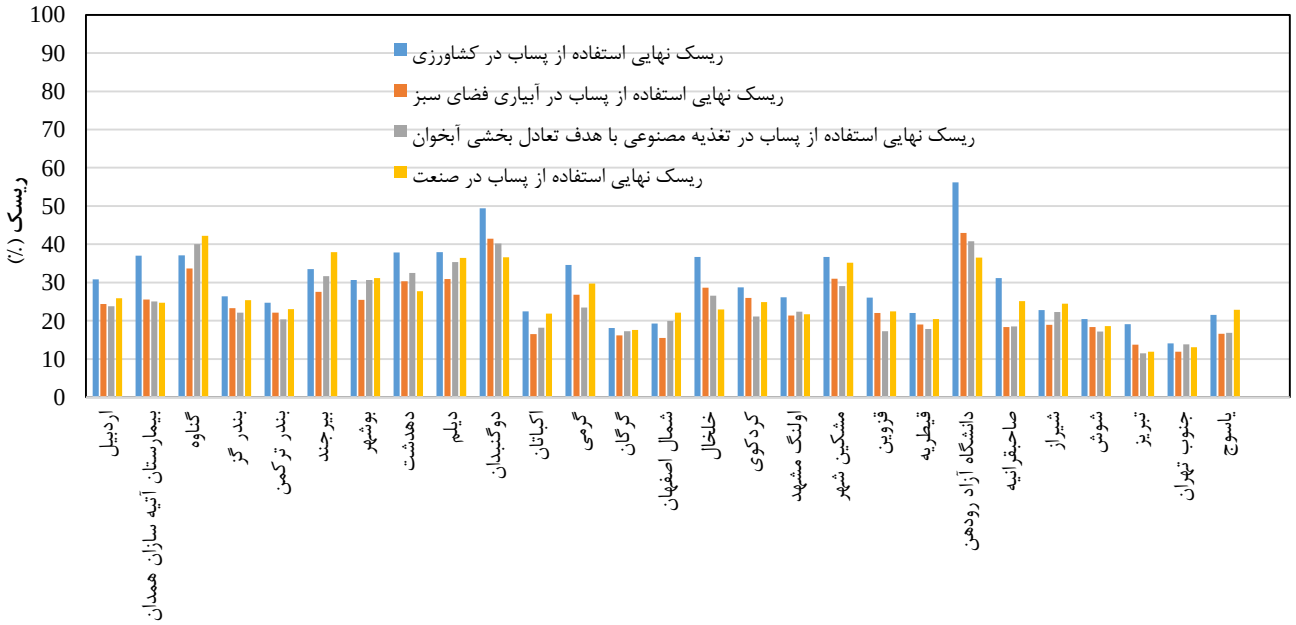
در شکل ۵ نتایج ریسک استفاده از پساب در صنعت ارائه شده است. کمترین ریسک اجتماعی برای تصفیه‌خانه فاضلاب جنوب تهران با ۱۲/۳٪ و بیشترین ریسک اجتماعی استفاده از پساب در صنعت ۶۶/۳٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب دهدشت است. کمترین ریسک اقتصادی استفاده از پساب در صنعت برای تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز با ۱۲/۱٪ و بیشترین با ۴۶/۲٪ برای تصفیه‌خانه فاضلاب گناوه است.کمترین ریسک فنی استفاده از پساب در صنعت با ۱۱/۲٪ برای پساب تصفیه‌خانه تبریز و بیشترین با ۳۶/۸٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب گناوه است. درنتیجه کمترین ریسک کلی استفاده از پساب در صنعت برای

پساب تصفیه‌خانه فاضلاب تبریز با ۱۱/۹٪ و بیشترین ریسک استفاده از پساب در صنعت با ۴۲/۲٪ برای پساب تصفیه‌خانه فاضلاب گناوه است. هم‌چنین به‌طور کلی در جامعه آماری، میانگین ریسک اجتماعی، اقتصادی، فنی و کلی استفاده از پساب در صنعت به‌ترتیب برابر با ۳۲/۵٪، ۲۷/۵٪، ۲۲/۵٪ و ۲۶/۰٪ است.



شکل ۵- ریسک‌های اصلی و کلی استفاده از پساب در صنعت

در شکل ۶ نتایج ریسک‌های کلی استفاده از پساب در کاربری‌های کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان و صنعت ارائه شده است. در مجموع می‌توان عنوان کرد که ریسک کلی استفاده از پساب در کشاورزی با توجه به شاخص‌های اصلی در اکثر مناطق البته به‌جز مناطقی نظیر شیراز، اصفهان و جنوب تهران که با مشکل شدید تأمین آب برای کشاورزی مواجه هستند، بالا است.



شکل ۶- ریسک‌های کلی استفاده از پساب در ساختارهای چهارگانه

ریسک‌های آبیاری فضای سبز و تغذیه مصنوعی بعضا در مناطقی مشابه به‌هم هستند که می‌توان این‌گونه نتیجه گرفت که انتخاب هرکدام با توجه به شاخص‌های اصلی تفاوتی نداشته و برای تصمیم‌گیری در این باره باید اطلاعات بیشتری از کیفیت

پساب یا وضعیت منابع آب منطقه در اختیار قرارگیرد تا بتوان تصمیم دقیق‌تری در خصوص پساب خروجی این تصفیه‌خانه‌ها گرفت. هم‌چنین مقادیر این دو ریسک در بیشتر مناطق از دو ریسک دیگر کمتر است. ریسک استفاده از پساب در صنعت در اغلب مناطق کمتر از ریسک کشاورزی و بیشتر از دو ریسک دیگر ارزیابی شده است. میانگین ریسک‌های نهایی استفاده از پساب در ساختار کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان و صنعت به ترتیب برابر با ۲۹/۷٪، ۲۴٪، ۲۴/۳٪ و ۲۶٪ ارزیابی شده است. نتایج تحلیل ریسک به تفکیک کاربری نشان می‌هد که ریسک استفاده از پساب در کشاورزی بیشترین ریسک را داشته و پس از آن ریسک استفاده از پساب در صنعت و پس از آن ریسک استفاده از پساب در تغذیه مصنوعی با هدف تعادل‌بخشی آبخوان و آبیاری فضای سبز قرار گرفته‌اند. این تحلیل براساس نتایج میانگین ریسک‌ها در ۲۷ تصفیه‌خانه فاضلاب کشور ارائه می‌شود و لزوما برای تمامی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صدق نمی‌کند.

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی و ارزیابی ریسک استفاده از پساب در ۲۷ تصفیه‌خانه فاضلاب کشور در چهار کاربری، کشاورزی، آبیاری فضای سبز، تغذیه مصنوعی و صنعت، پرداخته شد. در بیشتر پساب‌های خروجی و کاربری‌های استفاده از پساب، ریسک محیط‌زیستی پایین ارزیابی شده در حالی‌که در ریسک اجتماعی آن بالا بوده که می‌توان دلیل آن‌را عدم اطمینان به کیفیت مطلوب پساب خروجی تصفیه‌خانه، نگرانی از بابت بروز مریضی و کاهش راندمان تولید و هم‌چنین آگاهی پایین مردم منطقه عنوان کرد که با ارائه آموزش‌هایی می‌توان این ریسک را نیز کاهش داد. هم‌چنین در خصوص کاربردهای مختلف پساب به‌عنوان منابع آب جایگزین با توجه به بررسی ۲۷ تصفیه‌خانه کشور، ریسک استفاده از پساب در کاربری کشاورزی در بیشتر پساب‌های خروجی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بالاتر از دیگر مصارف است. پس از آن نیز به‌ترتیب صنعت، تغذیه مصنوعی و آبیاری فضای سبز قرار دارد. بدیهی است که رویکرد ارایه شده در این تحقیق می‌تواند برای هر تصفیه‌خانه با افزایش تعداد پارامترهای کمی و کیفی، افزایش تعداد خبرگان و کارشناسان، به‌کارگیری روش‌های مبتنی بر لحاظ پارامترهای احتمال، خسارت و آسیب پذیری به‌طور مستقل و هم‌چنین روش‌های دیگر وزن‌دهی و امتیازدهی بهبودیافته و در امر برنامه‌ریزی بهره‌برداری بهتر از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد.

۵- مراجع

ابراهیمی،س.، و کی‌نژاد، م.ا.، (۱۳۹۳)، *مهندسی محیط‌زیست* (ترجمه) ، انتشارات دانشگاه صنعتی سهند، تبریز، ایران.

ابوالحسنی زرجوع، ا.، زهتابیان، غ.، مشهدی، ن.، خسروی، ح.، و سلطانی گردفرامرزی، م.، (۱۳۹۴)، "ارزیابی آثار آبیاری با فاضلاب تصفیه‌شده بر برخی خصوصیات خاک"، *نشریه بازیافت آب*، ۱(۱)، ۱۷-۲۴.

دبیری، م. و بشیری‌مد، س.، (۱۳۹۲)، *آلودگی محیط زیست: هوا - آب - خاک – صوت*، انتشارات اتحاد، تهران، ایران.

رازقی، ن.، منصوری، ر.، و روحانی، پ.، (۱۳۹۲)، *استفاده دوباره آب (طرح و برنامه)*، شرکت نارون آراد، تهران، ایران.

طاهریون، م.، علوی، و.، و احمدی، آ.، (۱۳۹۵)، "تحلیل ریسک استفاده از پساب تصفیه شده در کشاورزی با استفاده از شبکه بیزی"، نشریه مهندسی عمران امیرکبیر، ۴۸(۱)، ۱۰۱-۱۰۹.

Aven, T., (2011), "On some recent definitions and analysis frameworks for risk, vulnerability, and resilience", *Risk Analysis*, 31, 515-522.

Asgarian, M., Tabesh, M., and Rouzbahani, A., (2018), "Risk assessment and management of wastewater collection and treatment systems using FMADM methods", *Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*, 42(1), 55-71.

Chen, Z., Ngo, H.H., Guo, W., Wang, X. C., Miechel, C., Corby, N., and O'Halloran, K., (2013), "Analysis of social attitude to the new end use of recycled water for household laundry in Australia by the regression models", *Journal of Environmental Management*, 126, 79-84.

Emami-Skardi, M.J., Kerachian, R., and Abdolhay, A., (2019), "Water and treated wastewater allocation in urban areas considering social attachments", *Journal of Hydrology*, 585, 124757.

Ghorbani Mooselu, M., Nikoo, M.R., Latifi, M., Sadegh, M., Al-Wardy, M., and Al-Rawas, G.A., (2020), "A multi-objective optimal allocation of treated wastewater in urban areas using leader-follower game", *Journal of Cleaner Production*, 267, 122189.

Hadipour, A., Rajaee, T., Hadipour, V., and Seidirad, S., (2016), "Multi-criteria decision-making model for wastewater reuse application: a case study from Iran", *Desalination and Water Treatment*, 57(30), 13857-13864.

Haimes, Y., (2009), "On the complex definition of risk: A systems-based approach", *Risk Analysis: An Official Publication of The Society for Risk Analysis*, 29, 1647-54.

Pan, Q., Chhipi-Shrestha, G., Zhou, D., Zhang, K., Hewage, K., and Sadiq, R., (2018), "Evaluating water

reuse applications under uncertainty: Generalized intuitionistic fuzzy-based approach", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 32, 1099-1111.

Roozbahani, A., Zahraie, B., and Tabesh, M., (2013), "Integrated risk assessment of urban water supply systems from source to tap", *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 27(4), 923-944.

Sari, M.D.K., Kristensen, G.H., Andersen, M., Ducheyne, A.A.M. and Lee, W.A., (2016), "Water-reuse risk assessment program (WRAP): A refinery case study", *Journal of Water Reuse and Desalination*, 7, 162-174.

Shakeri, H., and Nazif, S., (2018), "Development of an algorithm for risk-based management of wastewater reuse alternatives", *Journal of Water Reuse and Desalination*, 8, 38-57.

Shariat, R., Roozbahani, A., and Ebrahimian, A., (2019), "Risk analysis of urban stormwater infrastructure systems using fuzzy spatial multi-criteria decision making", *Science of the Total Environment*, 647, 1468-1477.

Qian, Y., and Mecham, B., (2005), "Long-term effects of recycled wastewater irrigation on soil chemical properties on golf course fairways", *Agronomy Journal*, 97(3), 717-721.

Tabesh, M., Roozbahani, A., Roghani, B., Faghihi, N.R., and Heydarzadeh, R., (2018), "Risk assessment of factors influencing non-revenue water using Bayesian Networks and Fuzzy Logic", *Water Resources Management*, 32, 3647-3670.

Torres, J.M., Brumbelow, K., Guikema, S.D., (2009), "Risk classification and uncertainty propagation for virtual water distribution systems", *Reliability Engineering & System Safety*, 94(8), 1259-1273.

This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC-BY) license.