

Effects of COVID-19 on Water and Wastewater Resources and its Environmental Consequences (Case Study of Mashhad)

H. Mohammadzadeh¹, N. Makhdoomi²

1. Prof., Dept. of Geology, Groundwater and Geothermal Research Center (GRC), Water and Environment Research Institute, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(Corresponding Author) Mohammadzadeh@um.ac.ir

2. MSc. of Hydrogeology, Dept. of Geology, Faculty of Science, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

(Received Jan. 31, 2022 Accepted July 2, 2022)

To cite this article:

Mohammadzadeh, H., Makhdoomi, N. 2022. "Effects of COVID-19 on water and wastewater resources and its environmental consequences (case study of Mashhad)" Journal of Water and Wastewater, 33(4), 95-114. Doi:10.22093/wwj.2022.327322.3228. (In Persian)

Abstract

The prevalence of COVID-19 causes many environmental problems, including increased medical waste and household waste, increased detergent consumption, reduced waste recycling and pollution of surface and groundwater resources through the entry of contaminated wastewater and leachate transfer, as well as increasing demand and water consumption in the household sector. COVID-19 virus RNA is found in feces, urine and sewage in different parts of the world, and in fact, hospital sewage, especially infectious disease units, contains the pandemic COVID-19 virus. Therefore, the study of this virus in wastewater is necessary to protect the quality of water resources. This study is based on a review of more than 200 published scientific literatures (articles, books, reports, valid scientific sites, etc.) in relation to the coronavirus. For this purpose, keywords such as "coronavirus contamination of water and wastewater resources", "environmental effects of coronavirus", "effects of physico-chemical indicators of wastewater on coronavirus survival" and "number of infected and deaths due to Coronavirus" have been used and downloaded through electronic tools from Springer, PubMed, ISI Web of Knowledge and Google Scholar databases. In addition, data on the amount of water consumption in different parts (residential and non-residential) of Mashhad city, and the concentration of physicochemical parameters (such as temperature (T), pH, suspended solids, total solids (Ammonia, etc.) of wastewater, related to Khin Arab and Parkandabad treatment plants in Mashhad, has been obtained from Mashhad water and sewerage company. The required diagrams were drawn in Excel software, and the environmental impact and the contamination of water resources with COVID-19 and variations in physico-chemical parameters of wastewater affecting the survival of COVID-19 in wastewater were examined and analyzed. The global prevalence of Coronavirus has many negative impacts on the environment and on water and wastewater



resources and caused increased water consumption (in residential sector) and wastewater production. By January 2022, worldwide, Iran and Khorasan Razavi province levels, more than 312 million, 6 million and 75 thousand people, respectively, were suffering from coronavirus outbreak, and more than 5.5 million, 133 thousand and 11 thousand people died. In general, the effect of concentration of wastewater's physico-chemical indicators on the concentration and survival of COVID-19 has been proven in the world (especially in the South African coazolonatal treatment plant). The results of this study show that the parameters of each wastewater and survival and concentration of COVID-19 depends on the characteristics of the wastewater source, which should be given special attention in research on the epidemiology of wastewater. The variations in the concentration of physico-chemical indicators of Mashhad treatment plants' (Parkandabad and Khin Arab) wastewater shows increase in concentration of some wastewater indicators. This can be due to the high input of organic and chemical substances and of solids (suspended, soluble and volatile) such as: detergents and disinfectants and pharmaceuticals, hospital and medical waste were attributed to wastewater after the outbreak of COVID-19. The outbreak of Coronavirus in the world has not only caused the death and infection of many people, but it has also caused increasing and decreasing in water consumption in the residential and non-residential sectors. The concentrations of some wastewater's physico-chemical indicators (such as pH, TS and ammonia) effects on the concentration, survival and shelf life of Coronavirus in wastewater. Therefore, by determining the concentrations of these indicators in wastewater at different times and monitoring its variations, it is possible to determine the survival of COVID-19 virus in wastewater, the rate of infection and the contaminated areas from the virus, and also to be able to control COVID-19 and to manage the pollution and infection.

Keywords: COVID-19 Virus, Pollution, Water and Sewage, Environment, Health.



مجله آب و فاضلاب، دوره ۳۳، شماره ۴، صفحه: ۹۵-۱۱۴

اثرات COVID-19 بر منابع آب و فاضلاب و پیامدهای محیط‌زیستی آن (مطالعه موردی شهر مشهد)

حسین محمدزاده^۱، نوگل مخدومی^۲

۱- استاد، گروه زمین‌شناسی، گروه پژوهشی آبهای زیرزمینی و ژئوترمال (متأب)، پژوهشکده آب و محیط‌زیست، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
(نویسنده مسئول) Mohammadzadeh@um.ac.ir
۲- دانشجوی کارشناسی ارشد آب زمین‌شناسی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

دریافت ۱۴۰۰/۱۱/۱۱ پذیرش ۱۴۰۱/۴/۱۱

برای ارجاع به این مقاله به صورت زیر اقدام بفرمایید:

محمدزاده، ح، مخدومی، ن، ۱۴۰۱، اثرات COVID-19 بر منابع آب و فاضلاب و پیامدهای محیط‌زیستی آن (مطالعه موردی شهر مشهد) مجله آب و فاضلاب، ۳۳(۴)، ۹۵-۱۱۴. Doi:10.22093/wwj.2022.327322.3228

چکیده

شیوع COVID-19 باعث مشکلات محیط‌زیستی زیادی، از جمله افزایش زباله‌های پزشکی و پسماندهای خانگی، افزایش مصارف شوینده‌ها، کاهش بازیافت زباله و آلودگی منابع آبهای سطحی و زیرزمینی از طریق ورود فاضلاب‌های آلوده و انتقال شیرابه و همچنین افزایش تقاضا و مصرف آب در بخش خانگی شده است. RNA ویروس COVID-19 در مدفوع، ادرار و فاضلاب‌ها در مناطق مختلف دنیا دیده شده و در حقیقت فاضلاب بیمارستان‌ها، به‌ویژه واحدهای بیماری‌های عفونی، حاوی ویروس همه‌گیر COVID-19 است. بنابراین، شناخت و بررسی این ویروس در فاضلاب‌ها به منظور حفاظت از کیفیت منابع آبی ضروری است. این پژوهش، بر اساس مرور بیش از ۲۰۰ مورد ادبیات علمی منتشر شده در رابطه با ویروس کرونا انجام شد. برای این منظور، از کلیدواژه‌های آلودگی منابع آب و فاضلاب توسط ویروس کرونا، اثرات محیط‌زیستی ویروس کرونا، اثرات شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب بر بقای ویروس کرونا و تعداد مبتلایان و فوت در اثر ویروس کرونا استفاده شد. همچنین داده‌های میزان مصرف کمی آب در بخش‌های مختلف (مسکونی و غیرمسکونی) شهر مشهد و غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب مانند دما (T)، pH، مواد جامد معلق (TSS)، کل مواد جامد (TS) و آمونیاک، مربوط به تصفیه‌خانه‌های خین‌عرب و پرکن‌آباد مشهد، از شرکت آب و فاضلاب مشهد به‌دست آمد. دیاگرام‌های موردنیاز و اثرات محیط‌زیستی و آلودگی منابع آب به COVID-19 و تغییرات پارامترهای فیزیکی و شیمیایی فاضلاب مؤثر بر بقای COVID-19 در فاضلاب، تجزیه و تحلیل شد. شیوع ویروس کرونا در سطح جهان اثرات منفی زیادی بر محیط‌زیست و منابع آب و فاضلاب داشته و سبب افزایش مصرف آب (در بخش مسکونی) و تولید فاضلاب بیشتر شده است. تا دی ماه ۱۴۰۰ (ژانویه ۲۰۲۲)، در سطح جهان، ایران و استان خراسان رضوی به ترتیب بیش از ۳۱۲ میلیون نفر، ۶ میلیون نفر و ۷۵ هزار نفر مبتلا و بیش از ۵/۵ میلیون نفر، ۱۳۳ هزار نفر و ۱۱ هزار نفر در اثر شیوع ویروس کرونا فوت شده‌اند. به‌طور کلی، تأثیر غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب بر میزان غلظت و بقای COVID-19 در جهان (به‌خصوص در تصفیه‌خانه کوازولون‌تال آفریقای جنوبی) اثبات شده است. بررسی نتایج این پژوهش نشان داد که پارامترهای هر فاضلاب و بقا و غلظت COVID-19 به ویژگی‌های منشأ فاضلاب بستگی دارد که در پژوهش‌های مربوط به اپیدمیولوژی فاضلاب باید به آن توجه ویژه کرد. تغییرات غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب تصفیه‌خانه‌های مشهد (پرکن‌آباد و خین‌عرب) نشان داد، غلظت برخی از شاخص‌های فاضلاب افزایش داشته است که دلیل آن را می‌توان به ورود زیادی مواد آلی و شیمیایی و مواد جامد (معلق، محلول و فرار) مثل مواد شوینده و ضدعفونی‌کننده، مواد دارویی و



ضایعات بیمارستانی و درمانی به فاضلاب، بعد از شیوع COVID-19 نسبت داد. شیوع ویروس کرونا در جهان نه تنها باعث مبتلا و فوت شدن افراد زیادی شده است، بلکه مصرف آب در بخش مسکونی افزایش و در بخش غیرمسکونی کاهش یافته است. غلظت برخی از شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب مانند TS، pH و آمونیاک بر غلظت، بقا و ماندگاری ویروس کرونا در فاضلاب مؤثر است. بنابراین با تعیین غلظت این شاخص‌ها در فاضلاب در زمان‌های مختلف و نظارت بر تغییرات آن، می‌توان به بقای ویروس COVID-19 در فاضلاب، میزان مبتلایان و آلودگی هر منطقه به ویروس پی برده و COVID-19 را کنترل و میزان آلودگی و ابتلا را مدیریت کرد.

واژه‌های کلیدی: ویروس COVID-19، آلودگی، آب و فاضلاب، محیط‌زیست، سلامتی

۱- مقدمه

گزارش‌هایی وجود RNA این ویروس در مدفوع، فاضلاب‌ها و امکان انتقال آن از طریق مدفوع افراد را نشان داده است (Holshue et al., 2020, Kataki et al., 2020, Xu et al., 2020) از این رو نگرانی‌هایی در مورد شیوع این ویروس از طریق سیستم آب مطرح شده است.

تعداد بیماران مبتلا به COVID-19 بستری در بیمارستان‌ها و تعداد افراد فوت شده در اثر ابتلا به آن در کل کشور و در استان خراسان رضوی برای ماه‌های مختلف از زمان شیوع تا دی‌ماه ۱۴۰۰ در شکل ۲-ا و ۲-ب نشان داده شده است. از زمان شیوع این ویروس، ۵ پیک میزان مبتلا و فوت اتفاق افتاده است (پیک‌های اول، دوم و سوم به ترتیب در فروردین، مرداد و آبان ۱۳۹۹ و پیک‌های چهارم و پنجم در خرداد و شهریور ۱۴۰۰) که بیشترین میزان مرگ‌ومیر و مبتلا مربوط به پیک پنجم است. میزان بیماران بستری در خراسان رضوی حتی از میانگین بستری‌ها در کل کشور نیز بیشتر بوده است. در خراسان رضوی نیز بیش از ۷۵ هزار نفر مبتلا و بیش از ۱۱ هزار نفر فوتی تا دی‌ماه سال ۱۴۰۰ در اثر ابتلا به این ویروس فوت کرده‌اند که حدود ۷۰ درصد افراد مبتلا و فوت شده مربوط به شهر مشهد است. در هر منطقه میزان مبتلایان و مرگ‌ومیرها متفاوت است، به‌عنوان مثال در شهر مشهد تراکم بیشتر میزان مبتلایان در مناطق ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۸ و منطقه ثامن است که این مناطق نزدیک و پیرامون مناطق پرخطر یعنی مراکز تجاری، اداری و بیمارستانی قرار دارد (شکل ۱-ب) (Saberifar, 2020).

هدف این پژوهش، بررسی اثرات COVID-19 بر منابع آب و پیامدهای محیط‌زیستی مرتبط با بیماری همه‌گیر COVID-19 و بررسی اثر غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب بر بقای ویروس کرونا در جهان و به‌کارگیری آن برای فهم بهتر اثرات کرونا بر فاضلاب شهر مشهد بود.

ویروس COVID-19 باعث اختلال سراسری در جهان شده و تأثیرات منفی زیادی بر محیط‌زیست و منابع آب ایجاد کرده است. با ورود فاضلاب‌ها و آبهای آلوده به محیط‌زیست، باکتری‌ها و ویروس‌ها نیز وارد منابع آب شده و به میزان قابل توجهی باعث بیماری‌های منتقله از طریق آب می‌شوند. COVID-19 که تجزیه ژنوم توالی آن نشان‌دهنده منشأ احتمالی خفاش است، سومین ویروس بتاکرونا و بسیار بیماری‌زا (Rume and Islam, 2020)، یک ویروس تنفسی، کشنده، مسری و دارای قابلیت انتقال و عفونت زیاد است (Liu et al., 2020) که از دسامبر ۲۰۱۹ جهان را درگیر و سازمان بهداشت جهانی^۱، شیوع آن را یک بیماری همه‌گیر اعلام کرده است (Wang et al., 2020). میزان مبتلایان تا ژانویه سال ۲۰۲۲ در سطح جهانی، ایران و خراسان رضوی به ترتیب، بیش از ۳۱۲ میلیون نفر، ۶ میلیون نفر و ۷۵ هزار نفر و میزان مرگ‌ومیر به ترتیب بیش از ۵/۵ میلیون نفر، ۱۳۳ هزار نفر و ۱۱ هزار نفر بوده است (WHO, 2021)، (شکل ۱-ا و ۱-ب).

از تأثیرات منفی COVID-19، می‌توان به استرس‌های روانشناختی، ترس، خسارات شدید اقتصادی، اختلال عمومی در جوامع و مراقبت‌های بهداشتی بیش از حد، افزایش زباله‌های بیمارستانی و پلاستیکی و افزایش مصرف شوینده‌های بهداشتی و مواد ضدعفونی‌کننده و آلودگی منابع آبهای سطحی و زیرزمینی از طریق تخلیه فاضلاب‌ها نام برد. علاوه بر این، با شیوع COVID-19، نگرانی امکان انتقال و بقا این ویروس در آب و پساب‌های خانگی و فاضلاب نیز ایجاد شده است. اگرچه اعتقاد بر این است که آلودگی به ویروس کرونا با استنشاق یا تماس با آروسل‌ها انجام می‌شود (Vellingiri et al., 2020)، اما

¹ World Health Organization (WHO)



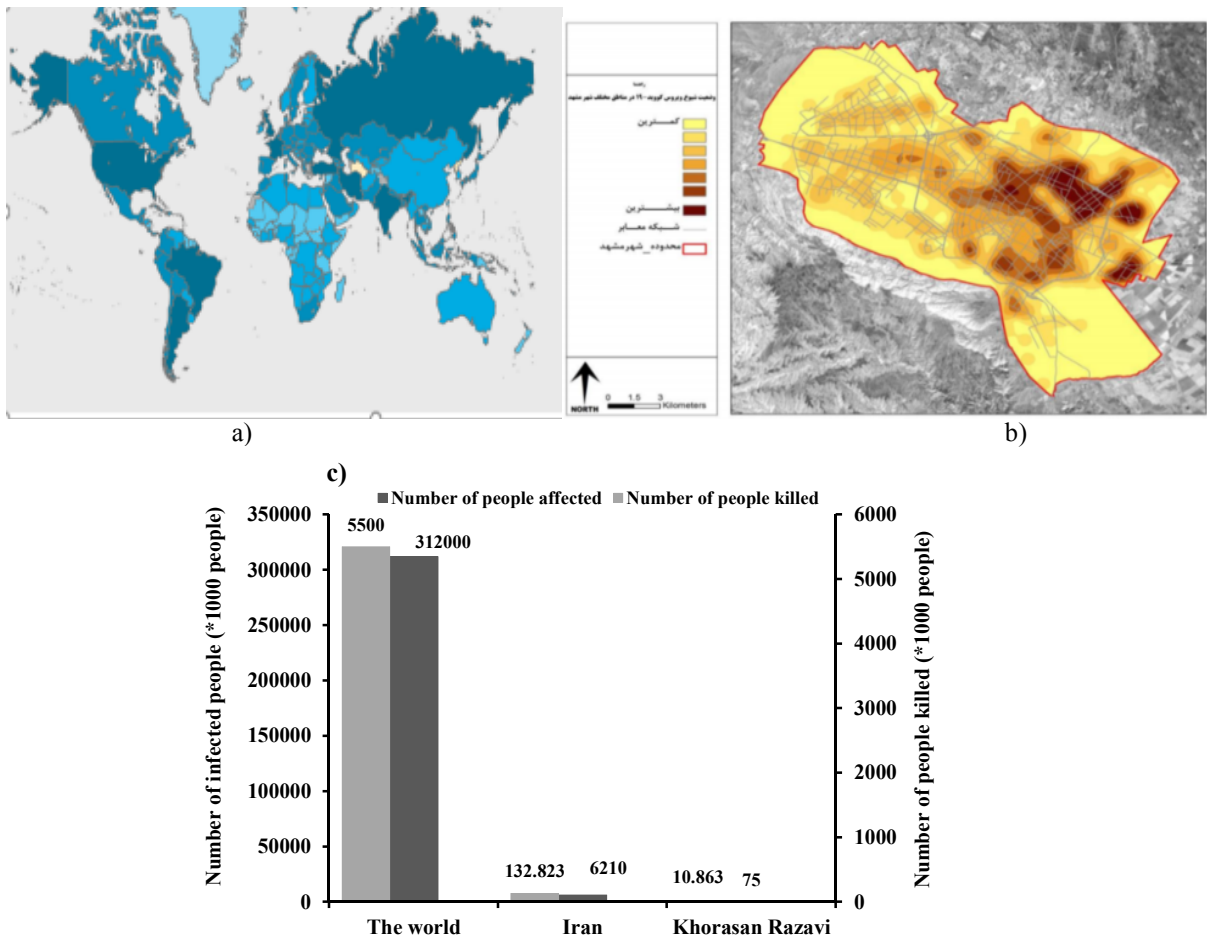
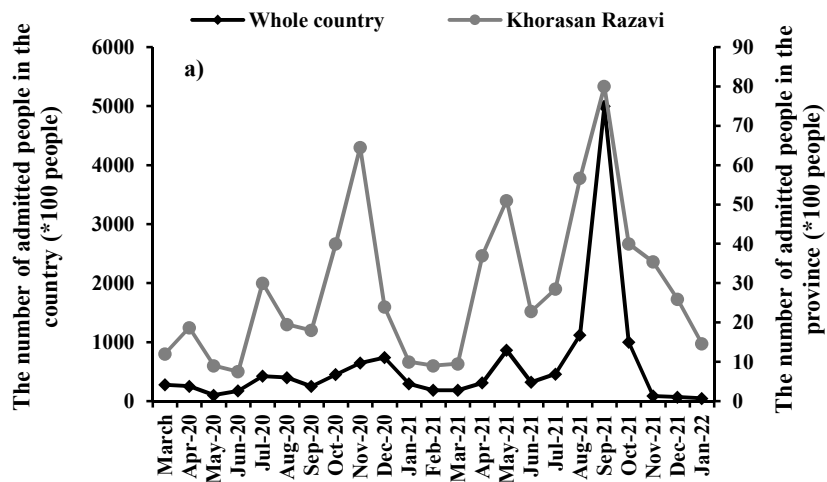


Fig. 1. a) Countries identified as COVID-19 (WHO, 2021), b) COVID-19 patient density status in different areas of Mashhad (Saberifar, 2020) and c) Patients and deaths caused by COVID-19 in the world, Iran and Khorasan Razavi province until January 2021 (WHO, 2021)

شکل ۱- (a) شیوع COVID-19 در کشورها (WHO, 2021)، (b) وضعیت تراکم مبتلایان به COVID-19 در مناطق مختلف شهر مشهد (Saberifar, 2020) و (c) شمار مبتلایان و مرگ‌ومیر ناشی از COVID-19 در جهان، ایران و استان خراسان رضوی تا دی‌ماه ۱۴۰۰ (WHO, 2021)



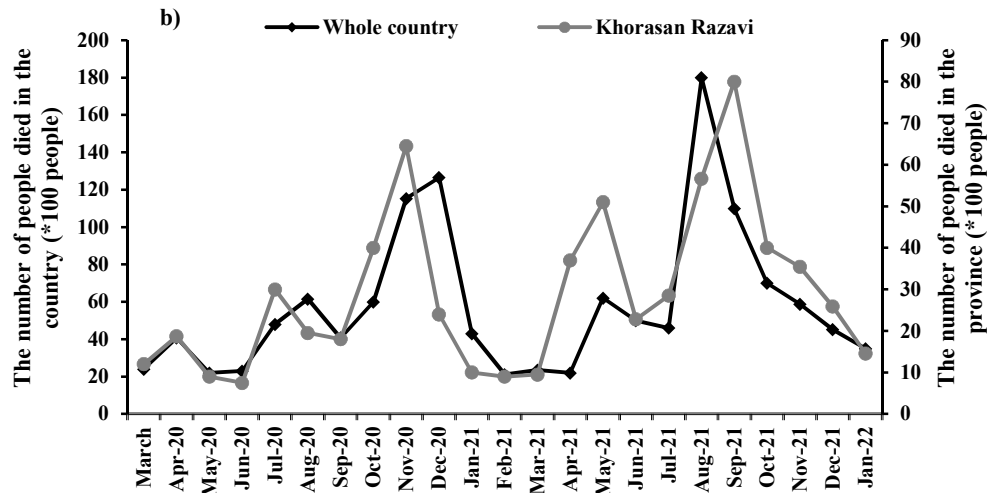


Fig. 2. The average a) number of COVID-19 patients admitted to hospitals and b) the number of deaths due to COVID-19 in Khorasan Razavi province and in the whole country (WHO, 2021)

شکل ۲- میانگین (a) تعداد بیماران مبتلا به COVID-19 بستری در بیمارستان‌ها و (b) تعداد افراد فوت شده در اثر COVID-19 در استان خراسان رضوی و در کل کشور (WHO, 2021)

۲-۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه

شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی، با ۳۵۱ کیلومتر مربع وسعت و با بیش از ۳ میلیون نفر جمعیت، در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی، ۵۹ درجه و ۵۷ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۳) (Statistical Center of Iran, 2019). شهر مشهد، چهار تصفیه‌خانه فاضلاب با نام‌های پرکندآباد، خین‌عرب، اولنگ-التیمور و طبرسی شمالی دارد که دو تصفیه‌خانه خین‌عرب، واقع در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه و ۱۰ ثانیه شمالی و ۵۹ درجه و ۳۷ دقیقه و ۱۷ ثانیه شرقی و تصفیه‌خانه پرکندآباد، واقع در موقعیت جغرافیایی ۳۶ درجه و ۲۴ دقیقه و ۲۰ ثانیه شمالی و ۵۹ درجه و ۳۴ دقیقه و ۵۸ ثانیه شرقی، مهم هستند. محدوده تحت پوشش تصفیه‌خانه‌های پرکندآباد و خین‌عرب به ترتیب بخش غربی و بخش مرکزی شهر است. محل تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهر مشهد و زون‌بندی هیدرولیکی آن در شکل ۳ نشان داده شده است. روش تصفیه در تصفیه‌خانه پرکندآباد از نوع برکه تثبیت و لاگون هوادهی مناسب برای مصارف کشاورزی و آبیاری فضای سبز (Mehravaran et al, 2015) و تصفیه‌خانه خین‌عرب از نوع فرایندهای پیشرفته لجن فعال و ASBR، مناسب برای حذف نوتریت‌ها، BOD، TN و TP، انتخاب شده‌اند و پساب تصفیه‌خانه، قابل تخلیه به آبهای سطحی است (Kochakzadeh, 2018).

۲- مواد و روش‌ها

این پژوهش، بر اساس مرور بیش از ۲۰۰ مورد ادبیات علمی منتشر شده در رابطه با ویروس کرونا انجام شد. برای این منظور از کلیدواژه‌های "آلودگی منابع آب و فاضلاب توسط ویروس کرونا"، "اثرات محیط‌زیستی ویروس کرونا"، "اثرات شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب بر بقای ویروس کرونا" و "تعداد مبتلایان و فوت در اثر ویروس کرونا" استفاده شد. داده‌های میزان مصرف کمی آب در بخش‌های مختلف (مسکونی و غیرمسکونی) و داده‌های غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه‌های خین‌عرب و پرکندآباد مشهد، برای دوره‌های قبل و بعد از شیوع ویروس کرونا، از شرکت‌های آب و فاضلاب مشهد به دست آمد.

پارامترهای فیزیکی و شیمیایی بررسی شده در این پژوهش عبارت‌اند از:

دما^۱، pH، کل مواد جامد معلق^۲، کل مواد جامد^۳، اکسیژن‌خواهی شیمیایی^۴ و اکسیژن‌خواهی بیوشیمیایی^۵. نمودارها و دیاگرام‌های موردنیاز رسم و تجزیه و تحلیل شد.

¹ Temperature (T)

² Total Suspended Solids (TSS)

³ Total Solids (TS)

⁴ Chemical Oxygen Demand (COD)

⁵ Biochemical Oxygen Demand (BOD)



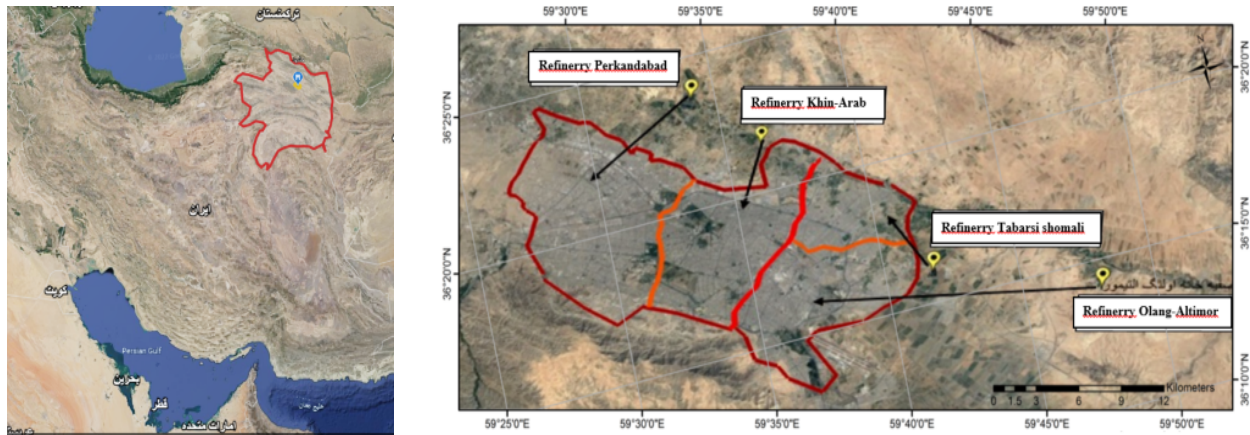


Fig. 3. Geographical location of Mashhad and hydraulic zoning of its treatment plants

شکل ۳ - موقعیت جغرافیایی و زون بندی هیدرولیکی تصفیه‌خانه‌های شهر مشهد

سطوح جامد (تا ۹ روز بر روی فلز و شیشه، و تا ۳ روز بر روی فولاد زنگ زده) و در نتیجه فرصت طولانی‌تری برای آلوده کردن انسان دارد (Van Doremalen et al., 2020). بنابراین توجه به زباله‌های تولیدی در زمان شیوع کرونا بسیار مهم است.

از زمان شیوع COVID-19 در جهان میزان تولید زباله‌های پزشکی و زباله‌های عفونی در سطح جهان افزایش یافته و باعث تهدیدی برای سلامت عمومی و محیط‌زیست، آلودگی هوا، منابع آب و خاک شده است (Islam et al, 2016). به‌عنوان مثال در چین در فوریه ۲۰۲۰، روزانه ۱۴/۸ میلیون ماسک پزشکی تولید و در وهوان چین روزانه ۲۴۰ تن (Rume and Islam, 2020)، در شهرآباد هند روزانه ۱۰۰۰ کیلوگرم (Somani et al, 2020) و در پایتخت بنگلادش نیز روزانه ۲۶۰ تن زباله پزشکی تولید می‌شود (Rume and Islam, 2020).

چنین افزایش ناگهانی زباله‌ها و پسماندهای پزشکی برای محیط‌زیست بسیار خطرناک است و نیاز به مدیریت صحیح دارد که تبدیل به یک چالش بزرگ برای مسئولان و دولت‌ها شده است. به‌دلیل ناچیز بودن دانش مردم در مورد مدیریت پسماندهای عفونی، اکثر مردم این پسماندها را در طبیعت و در فضای باز رها می‌کنند یا آنها را در داخل زباله‌های خانگی می‌ریزند و این امر سبب آلودگی بیشتر در محیط‌زیست می‌شود. زباله‌های بیمارستانی مانند سرنگ، ماسک، دستکش، دستمال کاغذی و داروهای دور انداخته باید به‌طور صحیح مدیریت شوند تا باعث انتقال عفونت و آلودگی به محیط نشوند (Rume and Islam, 2020).

۳- نتایج و بحث

شیوع ویروس COVID-19 در جهان، نه تنها به‌دلیل افزایش میزان استفاده مردم از مواد بهداشتی، ضدعفونی‌کننده‌ها، مواد شوینده، ماسک، دستکش سبب افزایش زباله‌های پزشکی و زباله‌های جامد شهری شده است (Rume and Islam, 2020)، بلکه تأثیرات منفی زیادی بر محیط‌زیست و منابع آب و فاضلاب ایجاد کرده است. با شیوع COVID-19، میزان مصرف آب، به‌خاطر زیاد شدن حساسیت مردم به بهداشت فردی، افزایش یافته و در نتیجه دفع فراوان فاضلاب‌های خانگی، شهری، صنعتی و ورود آبهای آلوده به محیط‌زیست، منابع آبی سالم را نیز آلوده کرده که منجر به بروز بیماری‌های جدی در انسان‌ها و موجودات در تماس با این آبها می‌شود (Bosch, 1998).

در ادامه اثرات محیط‌زیستی ویروس کرونا، تغییرات میزان مصرف آب و تغییرات غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب و تأثیر آن بر ویروس کرونا بررسی شده است.

۴- اثرات محیط‌زیستی ویروس COVID-19

۴-۱- افزایش تولید زباله‌های زیست پزشکی و پسماندهای جامد شهری و کاهش بازیافت

علی‌رغم نیمه‌عمر متفاوت (از ۰/۸ ساعت روی مس (Cortes and Zuñaiga, 2020) تا ۶/۸ ساعت روی پلاستیک (La Rosa et al., 2020))، COVID-19 سازگاری بیشتری برای زنده ماندن بر روی

¹ Detergents



ماهیان، جلبک‌ها و موجودات آبزی را نیز به خطر انداخته است (Madsen et al., 2001).

مواد شیمیایی شوینده، سفیدکننده و پاک‌کننده محلول که به‌طور معمول کربن، گوگرد، هالوژن و نیتروژن، فسفر و کلر دارد، از طریق سیستم‌های پساب خانگی و از طریق چاه‌های فاضلاب جذبی، در شهرهای فاقد سیستم جمع‌آوری فاضلاب، به‌طور مستقیم وارد منابع محدود آبهای سطحی و زیرزمینی شده و آنها را آلوده و بستر مناسبی برای تشکیل ترکیبات شیمیایی و سمی مختلف (Mirzakhani, 2020) و ایجاد انواع بیماری‌ها و مشکلات تولیدمثلی و رشد، آسیب به سیستم ایمنی بدن، اختلال در هورمون‌ها و سرطان در بدن می‌شوند (Mirzakhani, 2020).

با توجه به این مسئله که در شهر مشهد تمام فاضلاب‌های تولید شده (صنعتی و خانگی) به تصفیه‌خانه هدایت نمی‌شوند و حجم بسیار زیادی از این فاضلاب‌ها به‌صورت تصفیه نشده وارد محیط و یا به رودخانه کشف رود تخلیه می‌شوند، با افزایش مصرف مواد شیمیایی حاصل از مواد شوینده و بهداشتی و ورود آن به محیط باعث آلودگی محیط‌زیست و آبهای سطحی و زیرزمینی می‌شود و پیامدهای جبران ناپذیری را به وجود می‌آورد (Balai Khezarloo et al, 2011) که در انتهای پژوهش، بررسی شده است.

۳-۴- آلودگی منابع آبهای سطحی و زیرزمینی و فاضلاب‌ها توسط COVID-19

ویروس کرونا می‌تواند از طریق آب آلوده وارد بدن انسان و نیز منجر به بیماری شود (Vellingiri et al., 2020). بیش از یک صد گونه ویروس در فاضلاب گزارش شده است که می‌تواند منجر به بیماری‌هایی مانند هپاتیت، ورم معده و روده، مننژیت، تب، بشورات پوستی، ورم ملتحمه در انسان شود. RNA ویروس COVID-19 در مدفوع افراد آلوده دیده شده و از این رو نگرانی‌هایی در مورد شیوع این ویروس از طریق سیستم آب مطرح شده است (Xu et al, 2020) در فاضلاب شهر سیراکیوز در ایالات متحده آمریکا، به‌طور متوسط $42/7 \text{ mL}^{-1}$ RNA ویروس COVID-19 و بیش از 100 mL^{-1} RNA ویروس سارس اندازه‌گیری شده است (Collivignarelli et al., 2020). در فرانسه نیز 10^6 تا 10^7 mL^{-1} واحد RNA COVID-19 در فاضلاب اندازه‌گیری شده است (Wurtzer et al, 2020). در میلان و رم ایتالیا، نیز در ۵۰ درصد

معمولاً ماسک N-90، دستکش‌ها و محافظ‌های طبی از جنس پلی پروپیلن هستند که می‌تواند به‌مدت طولانی در محیط باقی بماند و دیوکسین و عناصر سمی را در محیط آزاد کند (Singh et al., 2020).

دفع و تفکیک زباله‌های آلی خانگی و تجهیزات محافظتی مبتنی بر پلاستیک آلوده (زباله‌های پزشکی) بسیار خطرناک بوده و مخلوط شدن این زباله‌ها، خطر انتقال بیماری و قرار گرفتن در معرض COVID-19 را برای کارگران زباله افزایش می‌دهد (Singh et al., 2020, Somani et al., 2020). باز یافت زباله‌ها به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر برای جلوگیری از آلودگی نیز به‌دلیل همه‌گیری COVID-19 و نگرانی از خطر گسترش COVID-19، در بسیاری از کشورها، برای مثال در بسیاری از شهرهای ایالات متحده تا ۴۶ درصد، کاهش یافته است (Somani et al., 2020).

با شیوع ویروس کرونا و افزایش زباله و پسماندها و کاهش باز یافت آنها و نیز با توجه به شرایط خاص محل دفن زباله‌ها در مشهد (Mohammadzadeh, 2013) و نامناسب بودن محل دفن (Soltani Gardfaramarzi and Behniafar, 2012)، احتمالاً این زباله‌ها سبب آلودگی هر چه بیشتر محیط‌زیست و منابع آبهای سطحی و زیرزمینی و آسیب به آنها می‌شود.

۲-۴- افزایش استفاده از تجهیزات ایمنی و محصولات شوینده بهداشتی و ضد عفونی‌کننده‌ها

برای جلوگیری از ابتلا به COVID-19، استفاده از ماسک، دستکش، مواد ضد عفونی‌کننده و به دنبال آن نیز استفاده از مواد شوینده بهداشتی به شدت افزایش یافته است که این امر به نوبه خود منجر به افزایش مصارف کمی آب و افزایش میزان فاضلاب‌های ورودی به محیط‌زیست و همچنین کاهش کیفیت آب شده است. چنین استفاده گسترده‌ای از ضد عفونی‌کننده‌ها و مواد شوینده بهداشتی و سفیدکننده‌ها، نه تنها ممکن است گونه‌های مفید غیر هدف را از بین برده و سلامت عمومی و محیط‌زیست را نیز به خطر بیندازد، بلکه ممکن است باعث عوارض ماندگار در ریه و دستگاه گوارش، آسم، آسیب به چشم و پوست و مسمومیت‌های حاد، مغز، ریه، کبد و کلیه نیز شود. همچنین وجود این مواد در آب، علاوه بر مشکلات اقتصادی برای کشاورزان، سلامت انسان و زندگی



بر اساس پژوهش زو و همکاران، COVID-19 می‌تواند از طریق مدفوع و احتمالاً ادرار در کنار سایر دفع‌های انسانی به فاضلاب برسد با این حال، ظرفیت زنده ماندن ویروس در تصفیه‌خانه بسیار نامشخص است و انتقال COVID-19 از طریق آب محدود است (Xu et al., 2020, Venugopal et al., 2020).

نتایج پژوهش گاندی و همکاران در سال ۲۰۰۸، نشان می‌دهد که COVID-19 نسبت به دما بسیار حساس است. این ویروس ۱۰ روز در ۲۳ درجه سلسیوس و برای یک دوره طولانی‌تر (تخمین زده شده >100 روز) در ۴ درجه سلسیوس در آب لوله‌کشی شده قابل تشخیص است. اما، در فاضلاب فقط در دمای ۲۳ درجه سلسیوس برای مدت کوتاه‌تری (۲ تا ۴ روز) زنده می‌ماند. در آب ۴ درجه سلسیوس ویروس بیش از ۱۰۰ روز و در آب ۲۳ درجه سلسیوس ۱۰ روز و در آب بالای ۲۳ درجه سلسیوس ۲ تا ۴ روز و در دمای ۷۰ درجه سلسیوس ۵ دقیقه زنده می‌ماند. همچنین نتایج این پژوهش نشان داد که COVID-19 جذب مواد آلی و ذرات معلق در آب شده و روزهای بیشتری را در آب زنده می‌مانند (Gundy et al., 2008). بنابراین مواد جامد، مواد آلی، وجود ارگانسیم‌ها، مواد شوینده و مواد ضدعفونی‌کننده در آب و دما بر ماندگاری ویروس‌ها تأثیر مستقیم دارند.

COVID-19 برای اینکه بتواند در آب فاضلاب پایدار بماند، باید $56/6$ میلیون تا $11/3$ میلیارد ژنوم ویروسی برای هر فرد آلوده در روز وارد فاضلاب شود. بر این اساس، بین ۶۰۰ هزار تا ۳۰ میلیون ژنوم ویروسی COVID-19 در هر میلی‌لیتر ماده مدفوع (با فرض بار مدفوع ۱۰۰ تا ۴۰۰ گرم مدفوع در روز/فرد و تراکم $1/06$ گرم در میلی‌لیتر) گزارش شده است (Brown et al, 1996, Hart and Halden, 2020).

با فرض محدودیت تشخیص ۱۰ ژنوم RNA COVID-19 در هر میلی‌لیتر فاضلاب و با فرض عدم ورود جریان‌های تجاری و صنعتی به سیستم فاضلاب، با تشخیص موفقیت‌آمیز COVID-19 توسط qRT-PCR در یک فاضلاب کاملاً همگن، حدود $0/88$ درصد (از هر ۱۱۴ فرد غیرآلوده ۱ نفر آلوده) و حدود $0/0005$ درصد (۱ مورد آلوده در حدود ۲ میلیون فرد غیرآلوده) از جمعیت یک منطقه به ترتیب در بدترین و بهترین حالت در برابر آلوده شدن هستند (Hart and Halden, 2020).

نمونه‌ها برداشته شده از تصفیه‌خانه فاضلاب‌ها، RNA COVID-19 مشاهده شده است (La Rosa et al., 2020). همچنین در پژوهش‌های دیگر RNA COVID-19 در فاضلاب تصفیه نشده با حداکثر غلظت بیش از 10^6 نسخه در لیتر گزارش شده است. حجم آب یکی از مهم‌ترین عواملی است که می‌تواند در نتایج تشخیص ویروس‌ها تأثیر بگذارد، برای تشخیص مولکولی ویروس COVID-19 در فاضلاب تا ۲۰۰ میلی‌لیتر نمونه فاضلاب خام نیاز است (Kitajima et al., 2020).

COVID-19 مثل سایر ویروس‌ها برای بقا به یک محیط مناسب نیاز دارد، ویژگی‌های بسیاری مانند دما، نور، pH، شوری، مواد آلی، مواد معلق یا رسوبات، زمان سفر ویروس در فاضلاب و میزان مواد تصفیه‌کننده موجود در آب (مثل کلر، کلرامین) بقای ویروس‌ها را در آب کنترل می‌کند (Carducci et al, 2020, Naddeo and Liu, 2020). در دمای COVID-19 در دمای ۲۰ درجه سلسیوس در تمام انواع آب (یعنی فاضلاب بیمارستان، فاضلاب خانگی و آب لوله‌کشی) کاهش، اما در دمای ۴ درجه سلسیوس به ۱۴ روز افزایش می‌یابد (Collivignarelli et al., 2020).

وانگ و همکاران در سال ۲۰۰۵ ماندگاری COVID-19 در فاضلاب بیمارستان، فاضلاب خانگی، آب لوله‌کشی، نمک بافر فسفات، مدفوع و ادرار با غلظت‌های مختلف کلر و دی‌اکسید کلر (۵، ۱۰، ۲۰، ۴۰ میلی‌گرم در لیتر) را بررسی کردند و دریافتند که COVID-19 مدت طولانی‌تری در ۴ درجه سلسیوس در مقایسه با ۲۰ درجه سلسیوس (۳ روز) در فاضلاب بیمارستان، فاضلاب خانگی و آب لوله‌کشی دکلره شده قابل تشخیص و باقی مانده است. در دمای ۲۰ درجه سلسیوس، COVID-19 در سه نمونه مدفوع به مدت ۳ روز و در دو نمونه ادرار به مدت ۱۷ روز باقی مانده است. COVID-19 در مقایسه با سایر ویروس‌ها (E.coli و فاژ f2) در برابر ضدعفونی‌کننده‌ها آسیب‌پذیرتر است و برای غیرفعال کردن COVID-19، کلر آزاد مؤثرتر از دی‌اکسید کلر است (Wang et al., 2005).

البته گزارشی از WHO نشان داد که هیچ مدرکی در مورد زنده ماندن COVID-19 در فاضلاب یا آب آشامیدنی وجود ندارد و فرایندهای تصفیه فاضلاب متداول باید ویروس را غیرفعال کند (WHO, 2020).



بعد از تشخیص COVID-19 در فاضلاب، نیاز به روش‌هایی است که بتوان از طریق آنها ویروس‌ها و عوامل بیماری‌زای موجود در آب را از بین برد. روش‌های عملی مختلفی (میکروفیلتراسیون، لخته‌سازی، اولترافیلتراسیون، نانوفیلتراسیون، اسمز معکوس، اشعه ماورای بنفش، ازن و کلرزنی) برای تصفیه فاضلاب و غیرفعال کردن و نابودی ویروس از فاضلاب‌ها وجود دارد (شکل ۴). با توجه به توضیحات فوق و امکان آلودگی محیط‌زیست و منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی شهر مشهد در اثر دفن نامناسب زباله‌های عفونی و مصرف فراوان مواد شوینده در ایام شیوع ویروس کرونا و همچنین کشف این ویروس در فاضلاب تصفیه شده و تصفیه نشده در شهرهای مختلف در دنیا این احتمال نیز وجود دارد، فاضلاب شهر مشهد نیز به ویروس کرونا آلوده باشد و باعث ایجاد آلودگی در منابع آبی و محیط‌زیست شود.

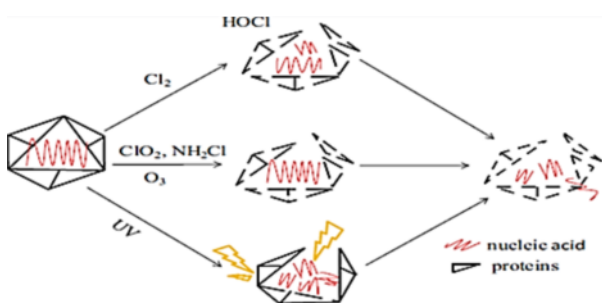


Fig. 4. Practical method of virus eradication in wastewater (Nasseri et al., 2021)

شکل ۴- روش عملی نابودی ویروس‌ها در فاضلاب

(Nasseri et al., 2021)

۴-۴- بررسی اثرات شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب بر

بقای COVID-19

در کشورهای مختلف جهان به‌خصوص کشورهای پیشرفته، با رعایت ضوابط محیط‌زیستی از فاضلاب‌های تصفیه شده استفاده می‌شود، اما در کشورهای در حال توسعه، در بعضی موارد از فاضلاب‌های خام که می‌توانند حامل ویروس و عوامل بیماری‌زا باشد، نیز برای تولید محصولات کشاورزی استفاده می‌شود. بنابراین توجه به مسئله فاضلاب و بررسی تأثیر عوامل مختلف محیطی بر ماندگاری COVID-19 بسیار مهم است. بررسی شدت ماندگاری COVID-19 توسط عوامل محیطی، می‌تواند به توسعه

با فرض تعداد اولیه ویروس N_0 و تعداد ویروس پس از گذشت زمان ۴۸ تا ۷۲ ساعت (N_t) و همچنین سینتیک (حرکت) مرتبه اول، با توجه به معادله $N(t) = N_0(0.5)^{t/0.5}$ ، نیمه‌عمر COVID-19 در شرایط محیط (۲۰ درجه سلسیوس) بین تقریباً ۴/۸ تا ۷/۲ ساعت تخمین زده می‌شود (Gundy et al., 2008). در این معادله $N(t)$ مقدار ویروس پس از گذشت t ثانیه، $N(0)$ مقدار اولیه ویروس در زمان $t=0$ ، مدت زمان سپری شده و $t_{0.5}$ نیمه عمر ویروس یا مدت زمانی که طول می‌کشد ماده به نصف مقدار اولیه خودش برسد است. بنابراین، در بیشتر موارد در شرایطی که جریان فاضلاب در دمای ۲۰ درجه سلسیوس باشد، حداقل ۲۵ درصد از بار ویروس باید همچنان باقی بماند، حتی در شرایطی که میانگین زمان سفر در فاضلاب طولانی (به‌عنوان مثال ۱۰ ساعت) و پایداری ویروس نسبتاً کم باشد ($t_{0.5} = 4/8$ ساعت). (Mao et al., 2020)

این پژوهش‌ها به وضوح تأیید می‌کند که COVID-19 می‌تواند در سیستم‌های تصفیه فاضلاب وجود داشته باشد، اما هنوز نامشخص و مستلزم انجام آزمایشاتی با هدف ارزیابی سرزندگی ویروس است که تقریباً تاکنون انجام نشده است (Collivignarelli et al., 2020). بررسی تأثیر شرایط خارجی، مانند دما، pH معادل ۵/۵ تا ۸/۵ و زمان ماند و زمان سفر، که هرچه زمان سفر بیشتر شود، امکان زنده ماندن ویروس در فاضلاب کمتر می‌شود (Hart and Halden, 2020) بسیار مهم است.

بنابراین طبق پژوهش‌ها و گزارشات انجام شده هیچ مدرکی مبنی بر انتقال ویروس COVID-19 از طریق آب وجود ندارد. البته روش‌هایی نیز برای تشخیص ویروس در فاضلاب وجود دارد که از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های تشخیص مستقیم مانند روش جاذب ایمنی با اتصال آنزیمی^۱، واکنش زنجیره‌ای پلی‌مرز معکوس^۲، واکنش زنجیره‌ای پلی‌مرز معکوس دیجیتال، روش‌های مبتنی بر تقویت اسید نوکلئیک ایزوترمال یا دستگاه مبتنی بر کاغذ، نانوفیبرها برای کشف و نظارت COVID-19 در تأسیسات تصفیه فاضلاب نام برد (Hart and Halden, 2020, Dong et al., 2021)

¹ ELISAs

² RT-PCR

جامد، سبب افزایش پایداری ویروس در فاضلاب می‌شود. به این معنی که جامدات بیشتر، ممکن است منجر به اتصال بیشتر ذرات ویروسی به خاک‌ها حدود ۲۳ درصد (Forés et al., 2021) و در نتیجه بازیابی بیشتر از فاضلاب شود (Amoah et al., 2021). افزایش غلظت TSS نه تنها می‌تواند باعث افزایش بازیابی COVID-19 شود (که خود منجر به افزایش غلظت ویروس می‌شود)، بلکه می‌تواند کارایی فرایند تصفیه را کاهش داده (Verma et al., 2013)، که این خود ممکن است به جان سالم به در بردن ویروس و عوامل بیماری‌زا از فرایند تصفیه و مواد ضد عفونی‌کننده بیانجامد.

۴-۴-۴-۴ شاخص pH

تغییرات مقدار pH آب می‌تواند موجب، ته‌نشین شدن مواد محلول از آب و یا انحلال مواد شود. همچنین تغییرات pH بر روی بقای ویروس‌ها در آب و فاضلاب نیز بسیار مهم است. به‌عنوان مثال ویروس MBV می‌تواند در شوری با غلظت‌های ۵ تا ۴۰ ppt و در pHهای ۹، ۸، ۷، ۵ خاصیت عفونت‌زایی خود را حفظ کند. در حالی که این ویروس در pHهای ۳ و ۱۲ کاملاً غیرفعال شده و اثرات عفونی خود را از دست می‌دهد (Afsharnsab et al., 2006). بیشترین RNA ویروسی COVID-19 با pH بین ۷/۱ تا ۷/۴ مرتبط است که می‌تواند به پایداری ذرات ویروسی در این محدوده نسبت داده شود (Amoah et al., 2021). علاوه بر این، در pH قلیایی COVID-19 ذرات ویروسی را می‌توان غیرفعال کرد، اما pH کم، از افزایش ثبات پشتیبانی می‌کند و این می‌تواند دلیل ارتباط مشاهده شده pH کم با غلظت زیاد COVID-19 در فاضلاب باشد (Varbanov et al., 2021).

۴-۴-۵-۴ شاخص دما

دمای فاضلاب می‌تواند اثر مستقیمی بر زندگی COVID-19 و همچنین بر مقدار پارامترهای فیزیکی و شیمیایی آب داشته باشد (Ghanizadeh and Islami, 2001). هرچه دما در آب و فاضلاب افزایش یابد، میزان ماندگاری و بقای ویروس کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال ویروس کرونای انسانی پولیویروس در آب ۰.۴، ۲۳، بین ۲۳ تا ۷۰ و بیشتر از ۷۰ درجه سلسیوس به ترتیب حدود ۱۰۰ روز، ۱۰ روز، ۲ تا ۴ روز و ۵ دقیقه زنده می‌ماند (Gundy et al., 2008).

پژوهش‌های غیرفعال‌سازی ویروس کمک کند (Paul et al., 2021).

شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی مختلفی از جمله شاخص‌های BOD، COD، TSS، TS، PH، دما، نیترات، فسفر، هدایت الکتریکی، مواد شوینده، چربی و روغن و گریس برای شناخت و تصفیه فاضلاب مهم است که در ادامه اثرات برخی از این شاخص‌ها بر بقای COVID-19 بررسی شده است:

۴-۴-۱-۴ شاخص BOD

هر چه میزان اکسیژن‌خواهی باکتری‌های هوازی برای تجزیه مواد آلی و آلاینده موجود در فاضلاب بیشتر باشد، نشان‌دهنده آلودگی زیاد فاضلاب است. وجود مواد آلی بر ماندگاری COVID-19 در ماتریس‌های مختلف آب تأثیر می‌گذارد، بنابراین هر چه مواد آلی و ذرات معلق در آب بیشتر باشد COVID-19 با جذب این مواد و محافظت شدن از نور و تغییر فرایند ته‌نشینی روزهای بیشتری را می‌تواند در آب زنده بماند (Naddeo and Liu, 2020, Paul et al., 2021).

بررسی زمان ماندگاری دوسویه ویروس کرونا (HCoV-229E و FIPV) بر روی چهار نمونه آب شیر فیلتر نشده، آب فیلتر شده، پساب اولیه بدون فیلتر و پساب فیلتر شده در دمای ثابت ۲۳ درجه سلسیوس در جدول ۱، نشان می‌دهد که با افزایش مواد آلی در آب، زمان ماندگاری و بقای ویروس کرونا افزایش می‌یابد. علاوه بر آن، وجود حلال‌ها و مواد شوینده در فاضلاب می‌تواند پوشش آب‌گریز COVID-19 را تضعیف و آن را غیرفعال و بیشتر در معرض جذب ذرات آلی قرار دهد (Gundy et al., 2008).

۴-۴-۲-۴ شاخص COD

هر چه مقدار COD فاضلاب بیشتر باشد، مقدار مواد شیمیایی اکسیدشونده در آن بیشتر است و پساب‌ها آلوده‌تر هستند که با توجه به نوع مواد شیمیایی بقای ویروس را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای مثال هرچه ورود مواد شیمیایی حاصل از مواد شوینده و ضد عفونی‌کننده به فاضلاب بیشتر شود، حضور ویروس‌های عفونی در فاضلاب کاهش می‌یابد (Gholipour et al., 2021).

۴-۴-۳-۴ شاخص TSS

افزایش TSS در آب، به دلیل چسبندگی ذرات ویروسی به مواد



جدول ۱- زمان (روز) ماندگاری دوسویه ویروس کرونا (HCoV-229E و FIPV) در چهار نمونه آب شیر فیلتر نشده، آب فیلتر شده، پساب اولیه بدون فیلتر و پساب فیلتر شده در دمای ثابت ۲۳ درجه سلسیوس (Gundy et al., 2008)

Table 1. The shelf life of two strains of coronavirus (HCoV-229E and FIPV) in four unfiltered tap waters, filtered tap water, unfiltered wastewater and filtered wastewater samples at a constant temperature of 23 °C (Gundy et al., 2008)

Coronavirus strains	Tap water		Sewage	
	Unfiltered water	Filtered water	Unfiltered water	Filtered water
HCoV-229E	12.1	10.1	3.54	2.35
FIPV	12.5	10.1	2.56	2.4

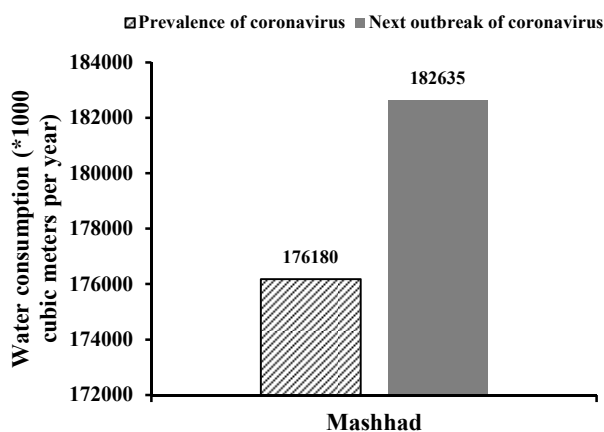


Fig. 5. Water consumption in Mashhad before 2018 and after the 2020 COVID-19 outbreak

شکل ۵- میزان مصرف آب در شهر مشهد قبل سال ۱۳۹۷ و بعد سال ۱۳۹۹ از COVID-19

مسکونی و کاهش آن در بخش غیرمسکونی فقط به دلیل شیوع ویروس کرونا بود.

همچنین در شهرها و کشورهای دیگر نیز روند افزایشی مصرف آب در بخش خانگی و روند کاهش مصرف آب در بخش غیر خانگی مشهود بود. به عنوان مثال در آلمان بعد از شیوع COVID-19 و اعمال شرایط قرنطینه، مصرف آب روزانه در طول اقدامات COVID-19، مستقل از ویژگی‌های آب و هوایی یا تعداد جمعیت، حدود ۱۴/۳ درصد (قبل: ۲۷۷۱۸/۹۷ مترمکعب، در طی شرایط قرنطینه: ۳۱۶۸۷/۲۹ مترمکعب) بیشتر شده است (Lüdtke et al., 2021).

در شهر ژوینویل برزیل در دوره قبل از (۲۱ فوریه -۱۷ مارس) و بعد از (۱۸ مارس -۱۲ آوریل) اقدامات قرنطینه اجتماعی، مصرف آب در بخش‌های تجاری، عمومی و

همچنین در دمای ۲۰ درجه سلسیوس ویروس COVID-19 به ترتیب حداقل ۳ و ۱۷ روز در مدفوع و ادرار بیماران مبتلا به COVID-19 زنده می‌ماند، اما در دمای ۴ درجه سلسیوس ویروس در هر دو نمونه بیش از ۱۷ روز زنده می‌ماند (Wang et al, 2005). در فاضلاب بیمارستان، فاضلاب خانگی و آب کلردار، حدود ۹۹/۹ درصد کاهش جمعیت ویروسی در ۲ روز در دمای ۲۰ درجه سلسیوس مشاهده می‌شود، اما ماندگاری ویروس در دمای ۴ درجه سلسیوس به ۱۴ روز افزایش می‌یابد (Gholipour et al., 2021).

۴-۵- تأثیر COVID-19 بر تغییرات میزان مصرف آب در شهرهای مشهد

به طور کلی با گسترش COVID-19، میزان مصرف آب در شهر مشهد بعد از شیوع COVID-19 (پس از سال ۱۳۹۸) نسبت به قبل از شیوع بیماری، افزایش یافته است (شکل ۵). اما میزان مصرف آب در بخش مسکونی، به دلیل افزایش حساسیت افراد به بهداشت فردی، اندکی افزایش و در بخش‌های غیرمسکونی (مراکز صنعتی، تجاری و اماکن عمومی)، به دلیل اعمال شرایط محدودیت‌ها، تعطیلی و شرایط قرنطینه، اندکی کاهش یافته است (شکل ۶). از آنجایی که تعداد جمعیت مشهد از سال ۱۳۹۸ (قبل از شیوع) تا سال ۱۳۹۹ (بعد از شیوع) تنها ۵۱ هزار نفر افزایش داشته و تعداد مشترکین نیز فقط ۲۲ هزار نفر (از ۹۷۰ هزار به ۹۹۲ هزار) افزایش داشته است و با توجه به اینکه سایر عوامل مانند آب و هوا نیز در یک بازه زمانی درازمدت مؤثر خواهند بود و نه در یک بازه کوتاه‌مدت، همچنین در زمان شیوع ویروس کرونا، تقریباً کلیه فعالیت‌های تجاری و صنعتی، گردشگری و توریست در شهر مشهد متوقف شد، بنابراین علت افزایش مصرف آب در بخش



در تصفیه‌خانه‌های پرکنندآباد و خین‌عرب به ترتیب ۸۸۳ (۹۱۶) و ۸۵۸ (۸۷۲) میلی‌گرم در لیتر بود. اما به‌طور کلی روند غلظت شاخص COD در تصفیه‌خانه‌های پرکنندآباد و خین‌عرب علی‌رغم داشتن فراز و نشیب‌های جزئی، بعد از شیوع ویروس کرونا نسبت به قبل تقریباً نزولی است که دلیل آن کاهش چشمگیر فعالیت‌های صنعتی و کم شدن ورود مواد شیمیایی به فاضلاب‌ها است.

بیشترین میزان BOD در (قبل و بعد) از شیوع ویروس کرونا در تصفیه‌خانه‌های پرکنندآباد و خین‌عرب ۴۷۰ (۴۶۰) و ۷۳۸ (۴۶۰) میلی‌گرم در لیتر بود. اما به‌طور کلی روند غلظت شاخص BOD در تصفیه‌خانه‌های پرکنندآباد و خین‌عرب بعد از شیوع ویروس کرونا نسبت به قبل، افزایشی است که دلیل آن افزایش ورود مواد آلی و آلاینده‌های آلی به فاضلاب است.

بیشترین میزان TSS در قبل (و بعد) از شیوع ویروس کرونا در تصفیه‌خانه‌های پرکنندآباد و خین‌عرب به ترتیب ۶۲۷ (۵۵۶) و ۳۱۰ (۴۲۷) میلی‌گرم در لیتر بود. اما به‌طور کلی روند غلظت TSS بعد شیوع ویروس کرونا نسبت به قبل آن، در فاضلاب تصفیه‌خانه پرکنندآباد افزایش و در تصفیه‌خانه خین‌عرب کاهش یافته است. دلیل افزایش شاخص TSS فاضلاب، افزایش ورود TSS به فاضلاب که شامل مواد آلی، مواد معدنی، مواد شیمیایی، چربی و ذرات جامد مانند شاخ و برگ، تکه‌های پارچه، دستکش و سرنگ‌های استفاده شده در بیمارستان‌ها، پشم و مو و پوست، تکه‌های چربی و باقیمانده میوه و مواد غذایی است.

بیشترین میزان شاخص آمونیاک در قبل (و بعد) از شیوع ویروس کرونا در تصفیه‌خانه خین‌عرب فاضلاب ۴۶ (۷۷/۵) میلی‌گرم در لیتر است. اما به‌طور کلی روند غلظت شاخص آمونیاک بعد شیوع ویروس کرونا نسبت به قبل افزایشی است که می‌تواند منشا خانگی، کشاورزی، صنعتی و یا در اثر هیدرولیز مواد آلی موجود در فاضلاب باشد (Abram, n.d).

شاخص pH در هر دو تصفیه‌خانه بعد و قبل شیوع ویروس کرونا تغییرات قابل توجهی نداشته و بین ۷ تا ۸ قرار داشت. در مجموع از ابتدای شیوع COVID-19 یعنی اواخر سال ۱۳۹۸ تا ابتدای ۱۴۰۰، شاخص‌های TSS، BOD، در فاضلاب تصفیه‌خانه پرکنندآباد مشهد (شکل ۹) و شاخص‌های BOD و آمونیاک در فاضلاب تصفیه‌خانه خین‌عرب مشهد (شکل ۱۰) افزایش، اما شاخص‌هایی مانند COD، در فاضلاب تصفیه‌خانه

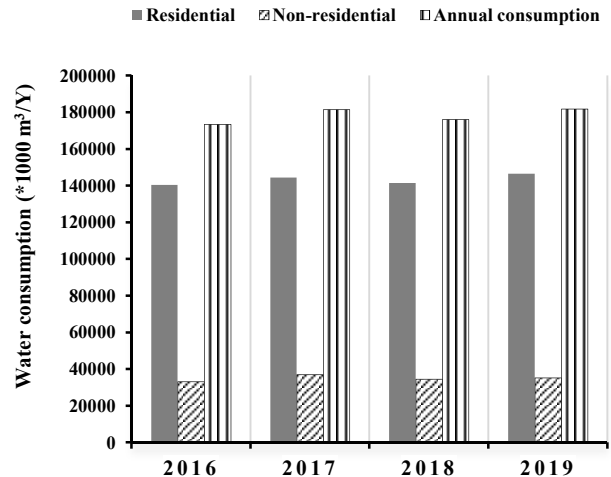


Fig. 6. Average water consumption (residential, non-residential and annual water consumption) in Mashhad

شکل ۶- متوسط میزان مصرف آب (مسکونی، غیرمسکونی و مصرف سالانه آب) در شهر مشهد

صنعتی کاهش یافته است که در بخش صنعتی بیشترین کاهش مصرف آب و در بخش مسکونی بیشترین میزان مصرف روزانه آب (حدود ۱۱ درصد افزایش) انجام شده است (Kalbusch et al., 2020).

۴-۶- تغییرات زمانی غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب شهر مشهد قبل و بعد از COVID-19

بقا و ماندگاری COVID-19 در آب و فاضلاب و انتقال آن به انسان به میزان و غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب (دما، pH، میزان مواد آلی، TSS و آمونیاک) بستگی دارد (Naddeo and Liu, 2020). با تعیین غلظت این شاخص‌ها در فاضلاب در زمان‌های مختلف و نظارت بر تغییرات آن، می‌توان به احتمال بقای ویروس COVID-19 در فاضلاب آن منطقه و میزان مبتلایان و آلودگی هر منطقه به ویروس پی برده و COVID-19 را کنترل و میزان آلودگی و ابتلا را مدیریت کرد. از این رو، روند تغییرات ماهانه و سالانه غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب قبل (سال ۹۷) و بعد (اواخر سال ۹۸ و ۹۹) از شیوع ویروس کرونا در تصفیه‌خانه‌های پرکنندآباد (در شکل‌های ۷ و ۹) و خین‌عرب (در شکل‌های ۸ و ۱۰) شهر مشهد با یکدیگر مقایسه شد.

بیشترین میزان COD در قبل (و بعد) از شیوع ویروس کرونا



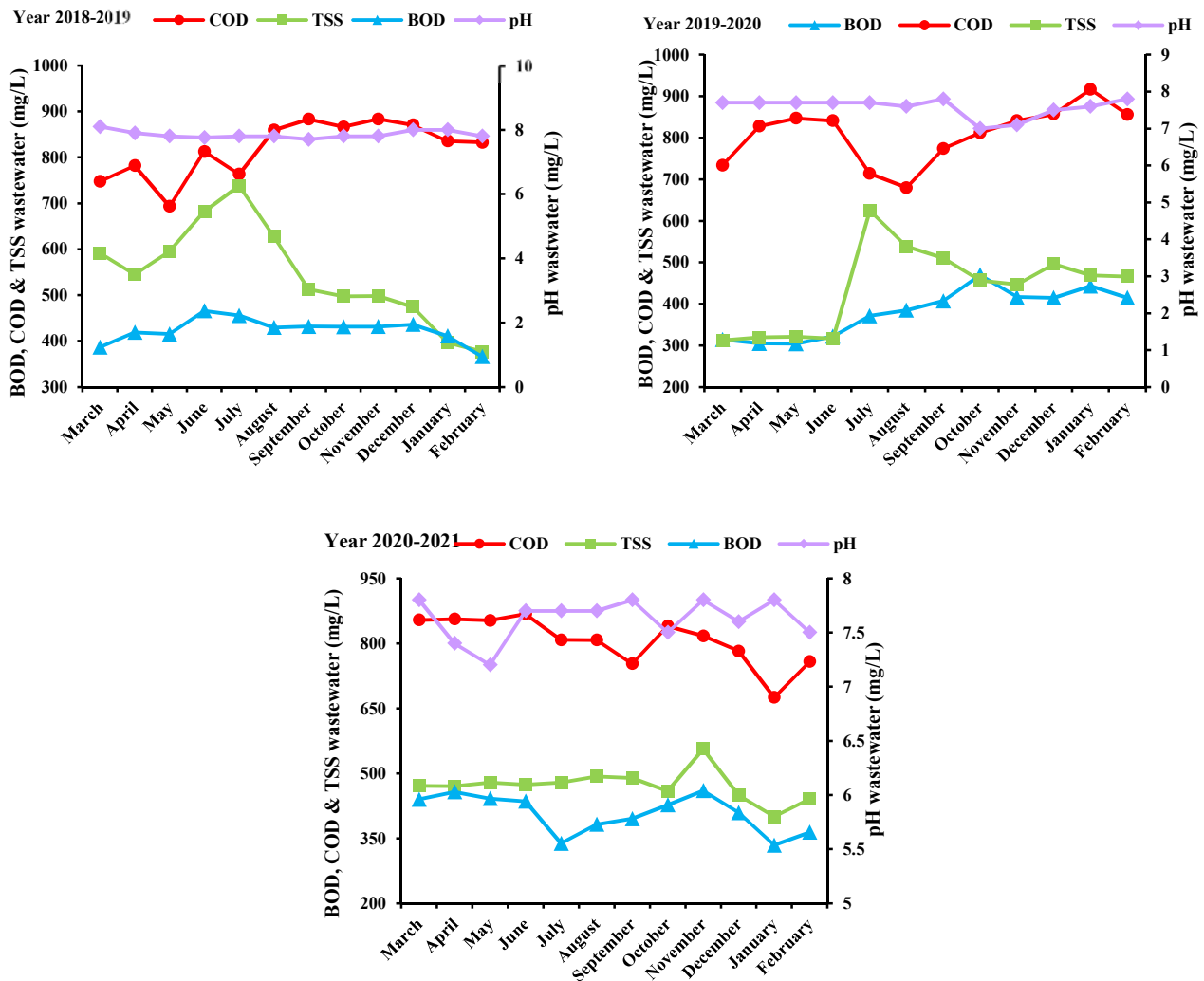


Fig. 7. Monthly variations in concentration of physicochemical parameters of Perkandabad inlet wastewater before (2018) and after (2019 and 2020) Coronavirus outbreak (all concentrations in mg/L)

شکل ۷- تغییرات ماهیانه غلظت شاخص‌های فیزیکی شیمیایی فاضلاب ورودی پرکندآباد قبل (۱۳۹۷) و بعد (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

از شیوع ویروس کرونا (تمام غلظت‌ها بر حسب میلی‌گرم در لیتر)

فاضلاب بر میزان غلظت و بقای COVID-19 توسط مدل ANFIS در چهار تصفیه‌خانه در استان کوازولوناتال در آفریقای جنوبی اثبات شده است (Amoah et al, 2021).

بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان داد که پارامترهای آمونیاک، TS و pH فاضلاب بر بقای COVID-19 مؤثر بوده و ارتباط معناداری با افزایش غلظت RNA ویروس کرونا در فاضلاب دارند، اما غلظت COD و میزان جریان فاضلاب، ارتباط معناداری با افزایش RNA ویروس کرونا در فاضلاب ندارد (Amoah et al, 2021).

پرکندآباد و شاخص‌های COD و TSS در فاضلاب تصفیه‌خانه خین عرب مشهد نسبت به قبل شیوع COVID-19 کاهش یافته است.

۴-۷- مقایسه شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب‌ها و اثر آن بر COVID-19

از آنجایی که میزان تراکم مبتلایان در مناطق مختلف متفاوت است، بنابراین میزان غلظت و ورود COVID-19 به فاضلاب مقدار متفاوتی دارد. تأثیر غلظت پارامترهای فیزیکی و شیمیایی



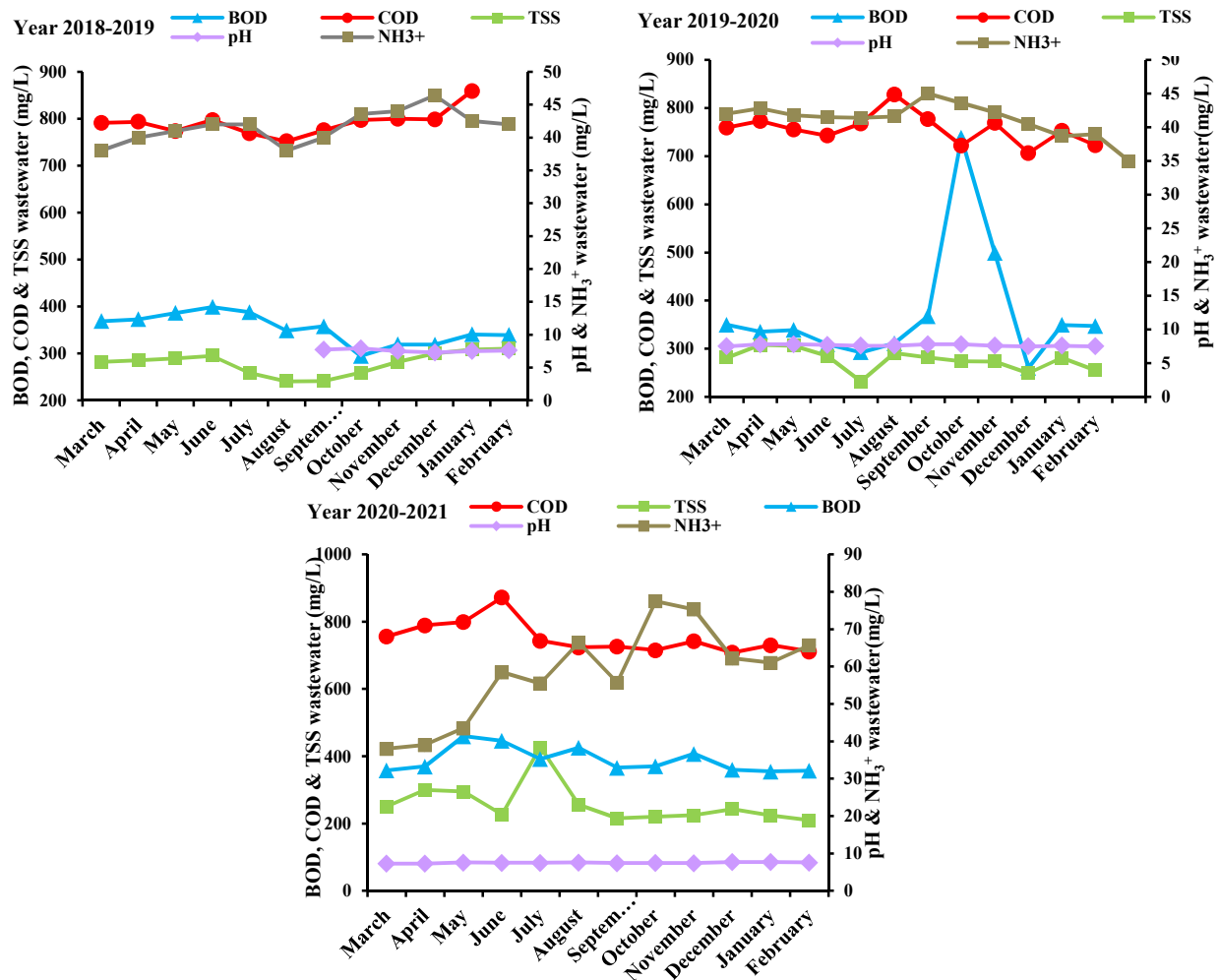


Fig. 8. Monthly variations in concentration of physicochemical parameters of incoming sewage in Khein Arab inlet wastewater in before (2018) and after (2019 and 2020) coronavirus outbreak (all concentrations in mg/L)

شکل ۸- تغییرات ماهیانه غلظت شاخص‌های فیزیکی شیمیایی فاضلاب ورودی خین عرب قبل (۱۳۹۷) و بعد (۱۳۹۸ و ۱۳۹۹)

از شیوع ویروس کرونا (تمام غلظت‌ها برحسب میلی‌گرم در لیتر)

می‌گیرد. به‌عنوان مثال، میانگین pH در تصفیه‌خانه هوویک ۸/۶ (±۱/۰) بود که بالاترین در بین تمام تصفیه‌خانه‌ها است، این را می‌توان به تأثیر شرایط قلیایی بر پایداری COVID-19 نسبت داد (Amoah et al, 2021). غلظت TS نیز سبب افزایش RNA ویروس COVID-19 می‌شود که آن را می‌توان به چسبندگی ذرات ویروسی به مواد جامد موجود در فاضلاب نسبت داد. به این معنی که TSS بیشتر منجر به اتصال بیشتر ذرات ویروسی به مواد جامد و در نتیجه بازیابی بیشتر از فاضلاب می‌شود (شکل ۱۱) (Amoah et al, 2021).

با افزایش میزان آمونیاک در فاضلاب تصفیه‌خانه مرکزی، دارویل و ایزپینگو، غلظت COVID-19 در فاضلاب نیز افزایش یافت که دلیل آن را می‌توان به افزایش ریزش ذرات ویروسی توسط افراد آلوده در جمعیت‌های مرتبط دانست. بیشترین RNA ویروس COVID-19 در pH بین ۷/۱ تا ۷/۴ دیده می‌شود که نشان‌دهنده تأثیر pH بر ذرات ویروسی است. ارتباط آمونیاک و pH با غلظت زیاد COVID-19 در همه تصفیه‌خانه‌ها، به استثنای تصفیه‌خانه هوویک مشاهده شد که این را می‌توان به ماهیت کوچک تصفیه‌خانه نسبت داد که به راحتی تحت تأثیر تغییرات کوچک قرار



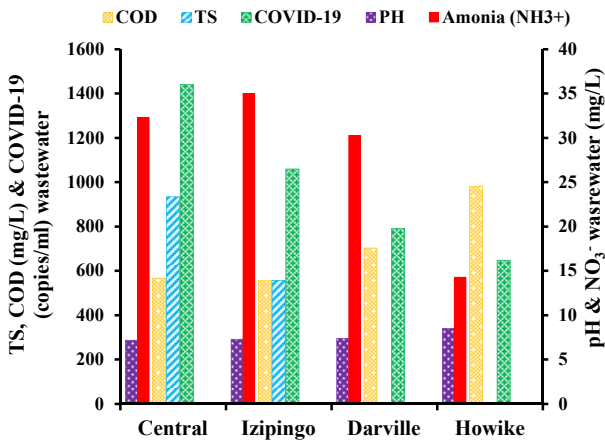


Fig. 11. Variations in concentration of ammonia (NH₃⁺), TS and COD parameters (in mg/L) and pH in wastewater treatment plants Quasolonatal city and its effect on concentration and survival of COVID-19 (number/ml)

شکل ۱۱- تغییرات غلظت پارامترهای آمونیاک، COD و TS (برحسب میلی گرم) و pH در فاضلاب تصفیه‌خانه‌های شهر کوازولوناتال و تاثیر آن بر غلظت و بقای COVID-19 (برحسب تعداد در میلی لیتر)

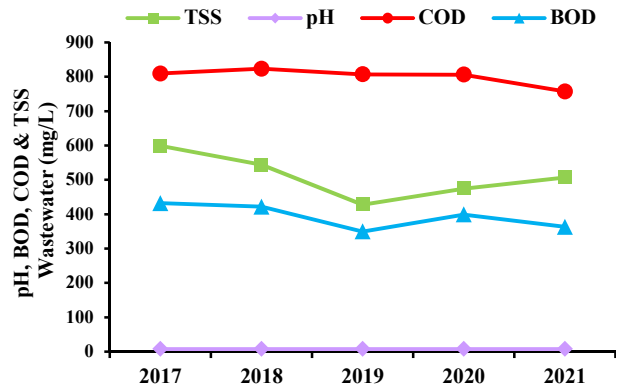


Fig. 9. Annually variations in concentration of physicochemical indices of wastewater Parkandabad water treatment plant before (2017- late 2019) and after (2020-2021) COVID-19 outbreak (all concentrations in mg/L)

شکل ۹- تغییرات سالیانه غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب تصفیه‌خانه پرکندآباد قبل (اواخر سال ۱۳۹۶ تا ۱۳۹۸) و بعد از شیوع COVID-19 (تمام غلظت‌ها برحسب میلی‌گرم در لیتر)

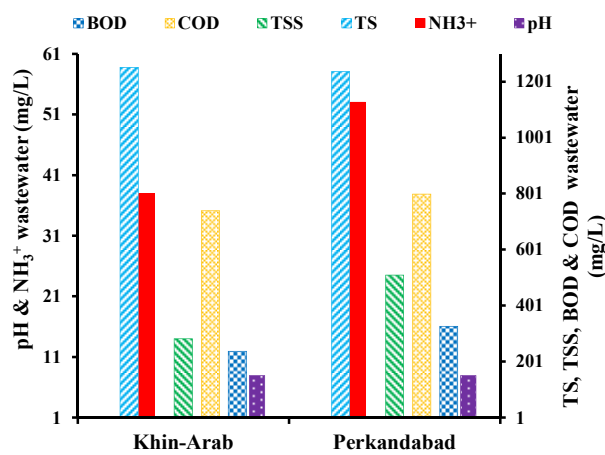


Fig. 12. Concentration of physicochemical parameters of wastewater (in mg/L) in the wastewater entering the Khin-Arab and Parkandabad treatment plants in Mashhad

شکل ۱۲- غلظت شاخص‌های فیزیکی شیمیایی فاضلاب (برحسب میلی‌گرم در لیتر) فاضلاب ورودی به تصفیه‌خانه خین‌عرب و پرکندآباد در شهر مشهد

ورودی مواد آلی و شیمیایی و مواد جامد (معلق، محلول و فرار) مثل مواد شوینده و ضد عفونی‌کننده، مواد دارویی و ضایعات بیمارستانی و درمانی به فاضلاب بعد از شیوع COVID-19 نسبت داد. مقدار پارامترهای BOD, COD, TSS در تصفیه‌خانه

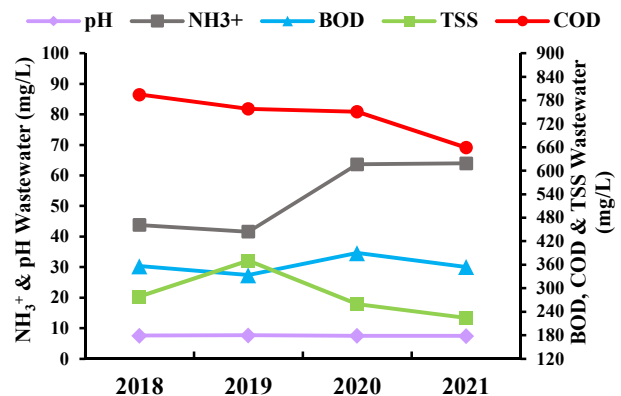


Fig. 10. Annual variations in concentration of physicochemical parameters of wastewater of Khein Arab treatment plant before (late 2018-2019) and after (2020-2021) COVID-19 outbreak (all concentrations in mg/L)

شکل ۱۰- تغییرات سالیانه غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب تصفیه‌خانه خین‌عرب قبل (اواخر سال ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸) و بعد از شیوع COVID-19 (تمام غلظت‌ها برحسب میلی‌گرم در لیتر)

مقایسه تغییرات غلظت پارامترهای مختلف فاضلاب در تصفیه‌خانه‌های خین‌عرب و پرکندآباد مشهد (شکل ۱۲)، نشان می‌دهد که آمونیاک و TS (مواد جامد معلق) بیشترین میزان غلظت را در هر دو تصفیه‌خانه دارند و این را می‌توان به مصرف زیاد منابع



هزار نفر به ویروس کرونا مبتلا و بیش از ۵/۵ میلیون نفر و ۱۳۳ هزار نفر و ۱۱ هزار نفر فوت شده‌اند. همچنین با پیدا شدن این ویروس در مدفوع و فاضلاب‌ها بر این نگرانی انتقال ویروس COVID-19 از طریق آب افزوده شده است.

عوامل مختلفی از جمله: دما، TSS، آمونیاک، pH، BOD و COD موجود در فاضلاب، بر بقا و غلظت COVID-19 مؤثر است. هرچه میزان TSS و آمونیاک افزایش یابد و دما کمتر باشد، احتمال بقا و ماندگاری COVID-19 به خصوص در محدوده pH بین ۷ تا ۸ افزایش می‌یابد.

بررسی مکانی و زمانی (ماهانه و سالانه) غلظت شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب تصفیه‌خانه پرکندآباد و خین‌عرب شهر مشهد نشان داد که برخی از شاخص‌ها در هر دو تصفیه‌خانه در زمان شیوع ویروس کرونا نسبت به قبل افزایش و برخی نیز کاهش یافته‌اند.

مقایسه فاضلاب تصفیه‌خانه‌های (پرکندآباد و خین‌عرب) شهر مشهد با تصفیه‌خانه‌های شهر کوازولان‌اتال آفریقای جنوبی، نشان داد که فاضلاب شهر مشهد غلظت بیشتر TS، COD، pH و آمونیاک دارد. همچنین مقدار پارامترهای BOD، COD، TSS و فاضلاب تصفیه‌خانه پرکندآباد بیشتر از تصفیه‌خانه خین‌عرب و میزان غلظت آمونیاک و TS در فاضلاب تصفیه‌خانه خین‌عرب نسبت به فاضلاب همه تصفیه‌خانه‌های شهر کوازولان‌اتال و پرکندآباد بیشتر است. بنابراین احتمالاً وجود میزان آلودگی و غلظت بیشتر COVID-19 در فاضلاب ورودی شهر مشهد به خصوص در مناطقی که فاضلاب تصفیه‌خانه خین‌عرب از آنجا جمع‌آوری می‌شوند (مناطق ۱، ۸، ۲ و بخشی از منطقه ۹) زیاد است.

با توجه به تأثیر شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی فاضلاب و پساب بر سلامت انسان و محیط‌زیست و تأثیر آن بر بقای عوامل بیماری‌زا، روش‌ها و مراحل تصفیه فاضلاب، اهمیت به‌سزایی در کاهش اثرات زیان‌بار برای سلامت انسان و محیط‌زیست دارد. متأسفانه پژوهش‌ها در این زمینه تاکنون محدود و نیاز به پژوهش‌های گسترده دارد.

اگر کشورها از تأثیر اپیدمی COVID-19 بر محیط‌زیست و منابع آبی غافل شوند، مشکلات محیط‌زیستی بسیاری را به وجود خواهند آورد که مدیریت آن ممکن است طولانی‌تر و شاید دشوارتر و پرهزینه باشد.

پرکندآباد بیشتر از تصفیه‌خانه خین‌عرب بود که می‌تواند ناشی از وسعت و جمعیت زیاد محدوده تحت پوشش و تخلیه فاضلاب صنعتی نسبت به تصفیه‌خانه خین‌عرب باشد.

میزان غلظت آمونیاک در تصفیه‌خانه خین‌عرب بیشتر از تصفیه‌خانه پرکندآباد بود که می‌تواند به دلیل ورود بیشتر فاضلاب خانگی و بیمارستانی، رستوران‌ها و مجتمع‌های غذایی باشد. افزایش غلظت آمونیاک در فاضلاب تصفیه‌خانه خین‌عرب نیز بخاطر ورود فاضلاب‌های خانگی و بیمارستانی و قرار داشتن تراکم بیشتر مبتلایان در محدوده پوشش این تصفیه‌خانه و ریزش بیشتر ادرار افراد مبتلا است. در مقایسه با استان کوازولان‌اتال در آفریقای جنوبی، فاضلاب مشهد دارای غلظت بیشتر TS، COD، pH و آمونیاک است.

غلظت COD در تصفیه‌خانه هویک بیشتر از همه تصفیه‌خانه‌ها است و محدوده pH در فاضلاب همه تصفیه‌خانه‌ها در محدوده ۷ تا ۸ قرار دارد. غلظت آمونیاک و TS در فاضلاب تصفیه‌خانه خین‌عرب نسبت به فاضلاب همه تصفیه‌خانه‌ها در سایر مناطق بیشتر است که می‌تواند ناشی از تراکم بیشتر مبتلایان در این مناطق (۱، ۸، ۲ و بخشی از منطقه ۹) و ورود بیشتر فاضلاب‌های حاوی ادرار و مدفوع بیماران مبتلا و تراکم مراکز تجاری و بیمارستان‌ها به COVID-19 باشد. بنابراین احتمالاً وجود میزان آلودگی و غلظت بیشتر COVID-19 در فاضلاب ورودی از این مناطق بیشتر از سایر مناطق است. با بررسی نتایج به‌دست آمده می‌توان گفت که پارامترهای هر فاضلاب و بقا و غلظت COVID-19 به ویژگی‌های مناطق منشا فاضلاب و تصفیه‌خانه ورودی بستگی دارد که در پژوهش‌های مربوط به اپیدمیولوژی فاضلاب باید به این مسائل توجه ویژه کرد.

۵- نتیجه‌گیری

شیوع ویروس کرونا، اثرات منفی گسترده‌ای بر محیط‌زیست و منابع آبی ایجاد می‌کند، سلامت عمومی و محیط‌زیست را به خطر انداخته است و با توجه به اعمال شرایط قرنطینه، سبب افزایش مصرف آب در بخش مسکونی و کاهش مصرف آب در بخش غیرمسکونی در جهان و همچنین شهر مشهد شده است. تا دی‌ماه ۱۴۰۰ (ژانویه ۲۰۲۲)، در سطح جهان و ایران و استان خراسان رضوی به ترتیب بیش از ۱۳۲ میلیون نفر و ۶ میلیون نفر و ۷۵



۶- قدردانی

نویسندگان، از شرکت آب و فاضلاب شهر مشهد، به خاطر در اختیار گذاشتن داده‌ها و همچنین از معاونت پژوهشی دانشگاه فردوسی مشهد و تمام کسانی که ما را در انجام این پژوهش یاری کردند کمال تشکر را دارند.

References

- Abram, W. A. S. L. (n.d). *Ammonia in drinking water*. <https://www.abram-lab.ir>. (In Persian)
- Afsharnsab, M., Akbari, S., Sharif, M., Yousef, F. & Hassan, D. 2006. The effect of different salinity and pH concentrations on the survival of *Penaeus monodon baculovirus* (MBV) in green tiger shrimp (*Penaeus semisulcatus*). *Iranian Journal of Fisheries*, 6(1), 1-18. (In Persian)
- Amoah, I. D., Abunama, T., Awolusi, O. O., Pillay, L., Pillay, K., Kumari, Sh., et al. 2021. Effect of selected wastewater characteristics on estimation of SARS-CoV-2 viral load in wastewater. *Environmental Research*, 203, 111877.
- Balai Khezhloo, M., Al-Ahmadi, U. & Gheshngpour Piousti, F. 2011. Investigation of the destructive effects of detergents on the environment. *The 2nd Conference on Science and Technology of Surfactants and Detergent Industries*, Tehran, Iran. (In Persian)
- Bosch, A. 1998. Human enteric viruses in the water environment: a minireview. *International Microbiology*, 1(3), 191-196.
- Brown, D., Butler, D., Orman, N. & Davies, J. 1996. Gross solids transport in small diameter sewers. *Water Science and Technology*, 33(9), 25-30.
- Carducci, A. Federigi, I., Liu, D., Thompson, J. R. & Verani, M. 2020. Making waves: coronavirus detection, presence and persistence in the water environment: state of the art and knowledge needs for public health. *Water Research*, 179, 115907.
- Collivignarelli, M. C., Collivignarelli, C., Carnevale Miino, M., Abbà, A., Pedrazzani, R. & Bertanza, G. 2020. SARS-CoV-2 in sewer systems and connected facilities. *Process Safety and Environmental Protection*, 143, 196-203.
- Cortes, A. A. & Zuñiga, J. M. 2020. The use of copper to help prevent transmission of SARS-coronavirus and influenza viruses. A general review. *Diagnostic Microbiology and Infectious Disease*, 98(4), 115176.
- Dong, L., Zhou, J., Niu, C., Wang, Q., Pan, Y., Sheng, S., Fang, X. 2021. Highly accurate and sensitive diagnostic detection of SARS-CoV-2 by digital PCR. *Talanta*, 224, 121726. doi:10.1016/j.talanta.2020.121726.
- Forés, E., Bofill-Mas, S., Itarte, M., Martínez-Puchol, S., Hundesa, A., Calvo, M., et al. 2021. Evaluation of two rapid ultrafiltration-based methods for SARS-CoV-2 concentration from wastewater. *Science of the Total Environment*, 768, 144786.
- Ghanizadeh, Q. & Islami, A. 2001. The effect of temperature and pH on the deposition of activated sludge process flakes. *Journal of Advances in Medical and Biomedical Research*, 9(37), 52-56. (In Persian)
- Gholipour, S., Rabbani, D. & Nikaeen, M. 2021. Presence of coronavirus, enterovirus and adenovirus in municipal wastewater as indicators of the prevalence of associated viral infections in the community. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*, 31(197), 44-54. (In Persian)
- Gundy, P. M., Gerba, C. P. & Pepper, I. L. 2008. Survival of coronaviruses in water and wastewater. *Food and Environmental Virology*, 1(1), 10-14.
- Hart, O. E. & Halden, R. U. 2020. Computational analysis of SARS-CoV-2/COVID-19 surveillance by wastewater-based epidemiology locally and globally: feasibility, economy, opportunities and challenges. *Science of the Total Environment*, 730, 138875.



- Holshue, M. L., DeBolt, C., Lindquist, S., Lofy, K. H., Wiesman, J., Bruce, H., et al. 2020. First case of 2019 novel coronavirus in the United States. *New England Journal of Medicine*, 382(10), 929-936.
- Islam, S., Rahman, S. H., Hassan, M. & Azam, G. 2016. Municipal solid waste management using GIS application in Mirpur area of Dhaka city, Bangladesh. *Pollution*, 2(2), 141-151.
- Kalbusch, A., Henning, E., Brikalski, M. P., Luca, F. V. & Konrath, A. C. 2020. Impact of coronavirus (COVID-19) spread-prevention actions on urban water consumption. *Resources, Conservation and Recycling*, 163, 105098.
- Kataki, S., Chatterjee, S., Vairale, M. G., Sharma, S. & Dwivedi, S. K. 2020. Concerns and strategies for wastewater treatment during COVID-19 pandemic to stop plausible transmission. *Resources, Conservation and Recycling*, 164, 105156.
- Kitajima, M., Ahmed, W., Bibby, K., Carducci, A., Gerba, C. P., Hamilton, K. A., et al. 2020. SARS-CoV-2 in wastewater: state of the knowledge and research needs. *Science of The Total Environment*, 739, 139076.
- Kochakzadeh, A. 2018. *Environmental Impact Assessment of North Tabarsi Wastewater Treatment Plants, the Second Module is Khin Arab and the Third Module is Olang*. Mashhad. Iran. <https://abfamshhad.ir>
- La Rosa, G., Iaconelli, M., Mancini, P., Bonanno Ferraro, G., Veneri, C., Bonadonna, L., et al. 2020. First detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewaters in Italy. *Science of the Total Environment*, 736, 139652.
- Liu, Y., Gayle, A. A., Wilder-Smith, A. & Rocklöv, J. 2020. The reproductive number of COVID-19 is higher compared to SARS coronavirus. *Journal of Travel Medicine*, 27(2), 1-4.
- Lüdtke, D. U., Luetkemeier, R., Schneemann, M. & Liehr, S. 2021. Increase in daily household water demand during the first wave of the Covid-19 pandemic in Germany. *Water*, 13(3), 260.
- Madsen, T., Boyd, H. B., Nylén, D., Pedersen, A. R., Petersen, G. I. & Simonsen, F. 2001. Environmental and health assessment of substances in household detergents and cosmetic detergent products. *Environmental Project*, 615(2001), 221.
- Mao, K., Zhang, H. & Yang, Z. 2020. Can a paper-based device trace COVID-19 sources with wastewater-based epidemiology? *Environmental Science and Technology*, 54(7), 3733-3735.
- Mehravar, B., Ansary, H., Beheshti, A. & Esmaili, K. 2015. Investigate the feasibility of using wastewater purification in irrigation due to its environmental impacts (the effluent treatment plants parkandabad Mashhad). *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9(3), 440-447.
- Mirzakhani, A. 2020. *Environmental effects of detergents*. <http://www.donya-e-eqtesad.com/fa/tiny/news-3590217>.
- Mohammadzadeh, H. 2013. Comparing MSW landfill sites of Ottawa (capital of Canada) and Mashhad (the 2^{ed} biggest city of Iran). In the 23rd Goldschmidt™ Conference. Florence, Italy.
- Naddeo, V. & Liu, H. 2020. Correction: editorial perspectives: 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2): what is its fate in urban water cycle and how can the water research community respond? *Environmental Science: Water Research and Technology*, 6(7), 1939-1939.
- Nasseri, S., Yavarian, J., Baghani, A. N., Azad, T. M., Nejati, A., Nabizadeh, R., et al. 2021. The presence of SARS-CoV-2 in raw and treated wastewater in 3 cities of Iran: Tehran, Qom and Anzali during coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 19(1), 573-584.
- Paul, D., Praveen, K. & Hall, S. G. 2021. A review of the impact of environmental factors on the fate and transport of coronaviruses in aqueous environments. *NPJ Clean Water*, 4(7), 1-13.
- Rume, T. & Islam, S. M. D. U. 2020. Environmental effects of COVID-19 pandemic and potential strategies of sustainability. *Heliyon*, 6(9), e04965.
- Saberifar, R. 2020. Investigating the geographical distribution of patients with Covid-19 in Mashhad based on the recapture method and application of geographic information systems. *Journal of Health Based Research*, 6(1), 25-38. (In Persian)



- Singh, N., Tang, Y. & Ogunseitan, O. A. 2020. Environmentally sustainable management of used personal protective equipment. *Environmental Science and Technology*, 54(14), 8500-8502.
- Soltani Gardfaramarzi, T. & Behniafar, A. 2012. Problems caused by improper location of landfills in Mashhad and its environmental consequences. *5th National Conference on Environmental Engineering*. Mashhad, Iran. (In Persian)
- Somani, M., Srivastava, A. N., Gummadivalli, S. K. & Sharma, A. 2020. Indirect implications of COVID-19 towards sustainable environment: an investigation in Indian context. *Bioresource Technology Reports*, 11, 100491.
- Statistical Center of Iran. 2019. Retrieved from www.amar.org.ir.
- Van Doremalen, N., Bushmaker, T., Morris, D. H., Holbrook, M. G., Gamble, A., Williamson, B. N., et al. 2020. Aerosol and surface stability of HCoV-19 (SARS-CoV-2) compared to SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine*, 382, 1564-1567.
- Varbanov, M., Bertrand, I., Philippot, S., Retourney, C., Gardette, M., Hartard, C., et al. 2021. Somatic coliphages are conservative indicators of SARS-CoV-2 inactivation during heat and alkaline pH treatments. *Science of the Total Environment*, 797, 149112.
- Vellingiri, B., Jayaramayya, K., Iyer, M., Narayanasamy, A., Govindasamy, V., Giridharan, B., et al. 2020. COVID-19: a promising cure for the global panic. *Science of the Total Environment*, 725, 138277.
- Venugopal, A., Ganesan, H., Sudalaimuthu Raja, S. S., Govindasamy, V., Arunachalam, M., Narayanasamy, A., et al. 2020. Novel wastewater surveillance strategy for early detection of coronavirus disease 2019 hotspots. *Current Opinion in Environmental Science and Health*, 17, 8-13.
- Verma, A., Wei, X. & Kusiak, A. 2013. Predicting the total suspended solids in wastewater: a data-mining approach. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 26, 1366-1372.
- Wang, L., Wang, Y., Ye, D. & Liu, Q. 2020. Review of the 2019 novel coronavirus (SARS-CoV-2) based on current evidence. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 55(6), 105948.
- Wang, X. W., Li, J., Guo, T., Zhen, B., Kong, Q., Yi, B., et al. 2005. Concentration and detection of SARS coronavirus in sewage from Xiao Tang Shan Hospital and the 309th Hospital of the Chinese People's Liberation Army. *Water Science and Technology*, 52(8), 213-221.
- WHO. 2020. *Water, Sanitation, Hygiene and Waste Management for the COVID-19 Virus*. Unicef pub., New York, USA.
- WHO. 2021. *WHO Coronavirus (COVID-19) Dashboard with Vaccination Data*. <http://Covid-19.who.int>.
- Wurtzer, S. B., Maréchal, V., Mouchel, J. M. & Moulin, L. 2020. Time course quantitative detection of SARS-CoV-2 in Paris wastewaters correlates with COVID-19 confirmed cases. *MedRxiv*, doi.org/10.1101/2020.04.12.20062679.
- Xu, Y., Li, X., Zhu, B., Liang, H., Fang, C., Gong, Y., et al. 2020. Characteristics of pediatric SARS-CoV-2 infection and potential evidence for persistent fecal viral shedding. *Nature Medicine*, 26(4), 502-505.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

