REVIEW ARTICLE

A Review of the Stability of Coronaviruses in Different Environments

Mohammad-Ali Zazouli[1],
Yalda Hashempour[2]

[1] Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
[2] Assistant Professor, Department of Environmental Health Engineering, Faculty of Public Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received November 16, 2020 ; Accepted December 22, 2020)

Abstract

Background and purpose: The world has made unprecedented efforts to control the Coronavirus disease 2019 (COVID-19), however, the number of positive cases are increasingly being seen every day. Therefore, there is an urgent need for more effective preventive measures to limit the spread of the infection which require more precise understanding of the routes of transmission and its stability in different environments.

Materials and methods: In this review, all articles published up to September, 2020 on the stability of coronaviruses, including SARS□CoV□2 were studied. PubMed, Scopus, Web of Science, Sciencedirect and Google Scholar were thoroughly searched. Keywords used in the search were Coronavirus, SARS-CoV-2, COVID-19, and Stability. The World Health Organization (WHO) and the Centers for Disease Control and Prevention (CDC) updates were also used for the latest information on the disease.

Results: Transmission of SARS□CoV□2 was observed to be through aerosols. SARS-CoV-2 and other human and animal coronaviruses have very low stability on low porosity surfaces. The stability of SARS-CoV-2 on surfaces in vitro was similar to that of SARS-CoV-1. Some coronaviruses can survive for many hours to days in fecal, water, and wastewater samples. Findings showed the risk of transmission of SARS□CoV□2 through fecal-oral route and water contaminated by wastewater. Coronaviruses survive at lower temperatures and lower relative humidity.

Conclusion: There are still many challenges to the survival of coronaviruses and very little data is currently available. Lack of effective treatment and vaccines call for more protective measures and good personal hygiene to avoid infection and preventing its spread.

Keywords: coronavirus, stability, environment, SARS□CoV-2

J Mazandaran Univ Med Sci 2021; 31 (195): 141-155 (Persian).

* **Corresponding Author: Yalda Hashempour -** School of Public Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran (E-mail: y.hashempour@mazums.ac.ir)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

مجلـــه دانـشـــگاه عـلـــوم پـــزشـکـــی مـــازنـــدران
دوره سی و یکم شماره 195 فروردین سال 1400 (155-141)

مروری بر پایداری کروناویروس‌ها در محیط‌های مختلف

محمدعلی زرولی[1]
یلدا هاشم پور[2]

چکیده

سابقه و هدف: اگرچه جهان تلاش بی‌سابقه‌ای برای کنترل کووید-19 انجام داده است، اما موارد مثبت هر روز افزایش می‌یابد. بنابراین نیاز فوری برای اقدامات پیشگیرانه کارآمدتر برای محدود کردن شیوع عفونت وجود دارد که به درک مسیرهای انتقال و پایداری آن‌ها در محیط‌های مختلف بستگی دارد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مروری، مقالات چاپ شده تا سپتامبر 2020 در زمینه پایداری کروناویروس‌ها از جمله *SARSCoV2* بررسی شد. این مقالات در پایگاه‌های PubMed، Scopus، Web of knowledge، Sciencedirect و Google scholar با استفاده از کلیدواژه‌های «Coronavirus»، «*SARS-CoV-2*»، «COVID-19»، «Stability» جستجو شدند. همچنین از وب سایت‌های معتبر سازمان بهداشت جهانی و مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری‌ها (CDC) برای دریافت آخرین اطلاعات این بیماری استفاده شد.

یافته‌ها: طبق داده‌های موجود، انتقال *SARS□CoV□2* از طریق آئروسل‌های هوا مشاهده شد. SARS-CoV-2 و سایر کروناویروس‌های انسانی و حیوانی ماندگاری کمی در سطوح با تخلخل کم دارند. همچنین پایداری *SARS-CoV-2* بر روی سطوح در شرایط آزمایشگاهی مشابه *SARS-CoV-1* بود. برخی از کروناویروس‌ها چند ساعت تا چند روز در مدفوع، فاضلاب و آب ماندگاری دارند. این یافته‌ها احتمال خطر انتقال *SARSCoV2* از راه مدفوع- دهان و آب آلوده به فاضلاب را نشان داد. کروناویروس‌ها در دمای پایین و رطوبت نسبی پایین‌تر در محیط بیش‌تر زنده می‌مانند.

استنتاج: در حال حاضر در مورد بقای کروناویروس‌ها چالش‌های وجود دارد و داده‌های کمی در دسترس است. با توجه به نبود درمان و واکسن مؤثر، بهترین راه جهت مقابله با بیماری کووید-19، اجتناب از آلودگی و جلوگیری از انتشار آن از طریق اقدامات محافظتی و بهداشت شخصی می‌باشد.

واژه های کلیدی: کروناویروس، پایداری، محیط، *SARSCoV2*

مقدمه

کرونا ویریده (Coronaviridae) شامل چهار جنس کروناویروس آلفا، بتا، گاما و دلتا است که دو ویروس اول انسان را آلوده می‌کنند و شامل *HCoV-229E* و *HCoV-NL63* (آلفا کرونا ویروس‌ها) و *HCoV-HKU1*، کرونا ویروس سندرم تنفسی خاورمیانه (*MERS-CoV*)، کرونا ویروس سندرم حاد تنفسی (SARS-CoV) (بتا کرونا ویروس‌ها) است(1). علاوه بر این، چندین کرونا ویروس نیز حیوانات را آلوده می‌کنند مانند موارد

مولف مسئول: یلدا هاشم پور-ساری: کیلومتر 17 جاده فرح آباد، مجتمع دانشگاهی پیامبر اعظم، دانشکده بهداشت E-mail: y.hashempour@mazums.ac.ir
1. استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران.
2. استادیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
تاریخ دریافت : 1399/8/26 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات :1399/8/27 تاریخ تصویب : 1399/10/2

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

مربوط به کرونا ویروس‌های خفاش (BatCoV)، کرونا ویروس اسهال روده‌ای خوکی (PEDV) و کرونا ویروس قابل انتقال دستگاه گوارش (TGEV)، کرونا ویروس پریتونیت عفونی گربه (FIPV)، کرونا ویروس گاوی (BCoV) و غیره(4-2). کرونا ویروس‌ها در اواسط دهه 1960 شناخته شده‌اند. گونه‌های بسیار بیماری‌زای این خانواده در طی دو دهه گذشته پدید آمده‌اند که شامل *SARS-CoV-2* در سال 2019 در چین، *MERS-CoV* در سال 2012 در عربستان و *SARS-CoV-1* که در سال 2003 در چین شیوع یافت(5). به‌طور کلی، قطر کرونا‌ویروس‌ها، 60 تا 220 نانومتر است. کروناویروس‌ها جزو زئونوتیک‌ها هستند، به این معنی که بین حیوان و انسان منتقل می‌شوند. تحقیقات دقیق نشان می‌دهد که *SARS-CoV-1* از نوع خاصی از گربه‌ها به انسان و *MERS-CoV* از شتر به انسان منتقل شده است(2).

در ماه دسامبر سال 2019 میلادی، نوع جدید از عفونت‌های تنفسی شدید ناشی از کروناویروس جدید (*SARS-CoV-2*) در شهر ووهان استان هوبای چین گزارش شد که بیماری ناشی از این ویروس در تاریخ 30 ژانویه سال 2020 میلادی توسط سازمان جهانی بهداشت(WHO)، COVID-19 نام‌گذاری شد. در تاریخ 11 مارس، WHO وضعیت شیوع این بیماری را از اپیدمی به پاندمی گزارش کرد(7،6). در مطالعات انجام شده مشخص شد که کروناویروس جدید (*SARS-CoV-2*) قرابت ژنتیکی زیادی با سارس داشت(8). کروناویروس جدید از گروه ویروس‌های پوشش‌دار است که شامل خانواده‌هایی مانند اورتومیکسو ویریده (ویروس‌های آنفولانزا)، پارامیکسو ویریده (ویروس سرخک، ویروس اوریون، ویروس سن‌سیشیال تنفسی و غیره)، هرپس ویریده، کرونا ویریده و چندین ویروس دیگر می‌باشد. در میان ویروس‌های پوشش‌دار، کروناویروس‌ها (CoV) (راسته نیدو ویرال، خانواده کرونا ویریده، زیر خانواده کرونا ویرینه) جزء ویروس‌های RNA مثبت تک رشته‌ای با برجستگی‌های تاجی هستند(7). در حال حاضر راه‌های انتقال، مخازن حیوانی، راه‌های پیشگیری و تظاهرات بالینی کروناویروس جدید به طور دقیق مشخص نشده و نیاز به مطالعات بیش‌تر دارد. با توجه به گسترش سریع بیماری COVID-19 در سرتاسر جهان، تحقیقات برای شناخت بهتر پتانسیل روش‌های انتقال ویروس از طریق هوا، آب و فاضلاب و همچنین تعیین میزان پایداری ویروس در این محیط‌ها اهمیت فراوانی دارد. روش اصلی انتقال ویروس جدید *SARS-CoV-2* از طریق تماس فرد به فرد (از طریق قطرات تنفسی در مسافت کوتاه، عطسه، سرفه)، تماس با سطوح آلوده به ترشحات دهان، بینی و چشم بیمار یا از راه‌های مدفوعی - دهانی می‌باشد(9). یک راه دیگر انتقال کروناویروس از طریق آئروسل‌ها و ذرات معلق در هوا است. مطالعه McKinney و همکاران در سال 2006 که در هنگام شیوع SARS در مجتمع مسکونی هنگ‌کنگ انجام شد، منجر به کشف مسیر جدید انتقال که قبلاً برای ویروس تنفسی ناشناخته بود، شد. در این شیوع، *SARS-CoV-1* موجود در مدفوع یک بازدیدکننده آلوده از ساختمان از طریق قطرات و ذرات آئروسل موجود در سیستم‌های لوله‌کشی معیوب ساختمان وارد سایر آپارتمان‌ها شد(10). این سناریوی شیوع نشان می‌دهد که این ویروس SARS می‌تواند از طریق قطرات آب آلوده به فاضلاب انتقال یابد. اهمیت این روش انتقال، نقش پایداری ویروسی است. اگر SARS-CoV-1 قادر به زنده ماندن برای مدت زمان نسبتاً طولانی در آب باشد، مواجهه و انتقال از طریق قطرات آب آلوده به مدفوع احتمالاً بیش‌تر است(11). به منظور ارزیابی بهتر خطرات ناشی از این نوع مواجهه جدید، داده‌ها در مورد بقاء و ماندگاری کروناویروس‌ها در سطوح مختلف، آب، فاضلاب و هوا مورد نیاز است. به دلیل این‌که کار با کروناویروس جدید نیاز به پرسنل آموزش دیده ویژه‌ای دارد، لذا در مطالعه بقای این ویروس چالش‌های مهمی وجود دارد و در حال حاضر داده‌های بسیار کمی در دسترس است و بعضا اطلاعات

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

و نتـایج موجـود متنـاقض‌انـد. از ایـن‌رو هـدف ایـن مطالعـه بررسـی پایـداری کروناویروس‌هـا بـا تاکیـد بـر *SARS-CoV-2* در محیط‌های مختلف نظیر سطوح، آب، فاضلاب، هوا و ... است.

مواد و روش ها

در این مطالعه مروری که حاصل طرح تحقیقاتی بـا کد IR.MAZUMS.REC.1399.7558 می‌باشـد، کلیـه مقالات چاپ شده از سال 2000 تا سپتامبر 2020 میلادی به زبان انگلیسی در زمینـه پایـداری کرونـا ویروس‌هـا از جمله *SARS-CoV-2* برای کمک به درک میـزان بقـای محیطی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفتند. ایـن مقـالات از طریـق جسـتجو در پایگـاه‌هـای اطلاعـاتی PubMed، Scopus، Web of knowledge، Sciencedirect و Google scholar بـا اسـتفاده از کلیـدواژه‌هایی نظیـر ««Coronavirus»، «*SARS-CoV-2*»، «COVID-19»، Stability»» به دست آمدند. همچنـین از وب‌سـایت‌های معتبر نظیـر سـازمان بهداشـت جهـانی (WHO) و مرکـز کنترل و پیشـگیری از بیماری‌هـا (CDC) بـرای دریافـت آخرین اطلاعات این بیماری استفاده شد. مقالات پس از بررسی جهت مقایسه میـزان پایـداری محیطـی آن‌هـا بـه شرح زیر تقسیم‌بندی شدند: 1) پایداری کروناویروس‌ها بـر روی سـطوح، 2) پایـداری کرونـاویروس‌هـا در محیط‌های آبی، 3) پایداری کروناویروس‌ها در فاضلاب و 4) پایداری کروناویروس ها در هوا. خلاصـه مقـالات در هر بخش به‌طور جداگانه آورده شده است.

یافته‌ها

پس از جستجو با کلیدواژه‌های ذکر شده تعـداد 12 مقاله یافت شد که در زمینه پایداری کروناویروس‌هـا در محیط بود. پس از حـذف مقـالات تکـراری، تعـداد 11 مقاله با متن کامل در دسترس قرار گرفت که به پایداری کروناویروس‌ها بر روی سطوح (3 مقالـه)، آب و فاضـلاب (4 مقالـه) و هـوا (4 مقالـه) اشـاره داشـتند. خلاصـه ایـن مقـالات در جـداول شـماره 1، 2 و 3 آورده شـده اسـت. جـدول شـماره 1 و 2 نشـان مـی‌دهـد کـه میـزان بقـای کروناویروس‌ها در محیط‌های آب و فاضـلاب بـه شـدت وابسته به دمـا اسـت و کرونـاویروس‌هـا در دمـای پـایین قدرت ماندگاری بـالا دارنـد. در جـدول شـماره 3 زمـان لازم برای غیرفعـال سـازی 90 درصـدی کرونـاویروس‌هـا (T90) در محیط‌های مختلف خلاصه شده است. با توجـه به اعداد این جدول، با توجه به نوع کروناویروس و نـوع محیطـی کـه در ویـروس در آن قـرار دارد، زمـان غیرفعالسازی متغیر است.

جدول شماره 1: پایداری و بقای کروناویروس‌ها در محیط‌های آبی مختلف

ردیف	گونه کرونا ویروس	نوع سطح	زمان بقاء	رفرنس
1	*HCoV-229E*	آب لوله‌کشی شده فیلتر نشده	$T_{99.9}$* در دمای 23 درجه سانتی گراد 12/1 روز $T_{99.9}$ در دمای 4 درجه سانتی گراد 588 روز	(12)
	FIPV	آب لوله‌کشی شده فیلتر نشده	$T_{99.9}$ در دمای 23 درجه سانتی گراد 12/5 روز $T_{99.9}$ در دمای 4 درجه سانتی گراد 130 روز	
2	TGEV	آب مقطر	$T_{99.9}$ در دمای 25 درجه سانتی گراد 33 روز $T_{99.9}$ در دمای 4 درجه سانتی گراد 49 روز	(11)
		آب دریاچه	$T_{99.9}$ در دمای 25 درجه سانتی گراد 13 روز $T_{99.9}$ در دمای 4 درجه سانتی گراد کاهش یک لگاریتم در 14 روز	
	MHV	آب مقطر	$T_{99.9}$ در دمای 25 درجه سانتی گراد 26 روز $T_{99.9}$ در دمای 4 درجه سانتی گراد 49 روز	
		آب دریاچه	$T_{99.9}$ در دمای 25 درجه سانتی گراد 10 روز در دمای 4 درجه سانتی گراد کاهشی مشاهده نشد	
3	SARS-CoV	آب شیر کلرزدایی شده	در دمای 20 درجه سانتی گراد 2 روز در دمای 4 درجه سانتی گراد 14 روز	(13)

* زمان لازم برای غیرفعال‌سازی 99/9 درصد ویروس‌ها

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

جدول شماره 2: پایداری و بقای کروناویروس‌ها در فاضلاب

ردیف	گونه کرونا ویروس	نوع سطح	زمان بقاء	رفرنس
1	TGEV	فاضلاب تەنشین و پاستوریزه شده	$T_{99.9}$ * در دمای 25 درجه سانتی گراد 14 روز $T_{99.9}$ در دمای 4 درجه سانتی گراد 73 روز	(11)
	MHV	فاضلاب تەنشین و پاستوریزه شده	$T_{99.9}$ در دمای 25 درجه سانتی گراد 10 روز $T_{99.9}$ در دمای 4 درجه سانتی گراد 105 روز	
2	*HCoV-229E*	پساب اولیه	$T_{99.9}$ در دمای 23 درجه سانتی گراد 3/54 روز	(12)
		پساب ثانویه	$T_{99.9}$ در دمای 23 درجه سانتی گراد 2/77 روز	
	FIPV	پساب اولیه	$T_{99.9}$ در دمای 23 درجه سانتی گراد 2/56 روز	
		پساب ثانویه	$T_{99.9}$ در دمای 23 درجه سانتی گراد 2/42 روز	
3	*SARS-CoV-1*	فاضلاب بیمارستانی، فاضلاب خانگی و آب کلرزدایی شده	در دمای 20 درجه سانتی گراد 2 روز در دمای 4 درجه سانتی گراد 14 روز	(13)
		مدفوع	در دمای 20 درجه سانتی گراد 3 روز در دمای 4 درجه سانتی گراد 17 روز	
		ادرار	در دمای 20 درجه سانتی گراد 17 روز در دمای 4 درجه سانتی گراد 17 روز	
4	MHV	فاضلاب	T_{99} ** در دمای 25 درجه سانتی گراد 13 ساعت T_{99} در دمای 10 درجه سانتی گراد 36 ساعت	(14)
		فاضلاب پاستوریزه شده	T_{99} در دمای 25 درجه سانتی گراد 19 ساعت T_{99} در دمای 10 درجه سانتی گراد 149 ساعت	

* زمان لازم برای غیرفعال‌سازی 99/9 درصد ویروس‌ها

** زمان لازم برای غیرفعال‌سازی 99 درصد ویروس‌ها

جدول شماره 3: زمان لازم برای غیرفعال‌سازی 90 درصد از کروناویروس‌ها (T_{90}) در محیط‌های آبی

ویروس	T_{90} (روز)	دما (°C)	نوع محیط	رفرنس
SARS-CoV	9	RT	سرم حماری از محیط کشت	(15)
HCoV 229E	<1	RT	سرم حماری از محیط کشت	(15)
HCoV 229E	2	RT	آب شیر کلرزدایی شده	(12)
کروناویروس فلین (FIPV)	<1	RT	فاضلاب خروجی از تەنشینی اولیه	(12)
کروناویروس اسوین (TGEV)	11	25	آب معرف برای دستگاه	(11)
TGEV	110	4	آب معرف برای دستگاه	(11)
TGEV	4	25	فاضلاب تەنشین شده	(11)
TGEV	24	4	فاضلاب تەنشین شده	(11)
کروناویروس موریز (MHV)	9	25	آب معرف برای دستگاه	(11)
MHV	>365	4	آب معرف برای دستگاه	(11)
MHV	3	25	فاضلاب تەنشین شده	(11)
MHV	35	4	فاضلاب تەنشین شده	(11)

بحث

شناسایی و گسترش پاتوژن‌های تنفسی نوظهور (از جمله کروناویروس-2019) به شناسایی ویژگی‌های کلیدی ویروسی به ویژه پایداری آن در محیط‌های خاص بستگی دارد(6). در طی شیوع کروناویروس‌های قبلی، تعدادی از مطالعات پیرامون پایداری ویروس و ثبات آن انجام شده است(5،16،17). میزان آلودگی محیطی، میزان ویروس زنده قابل جدا شدن و در نتیجه نقش آلودگی محیطی در انتقال ویروس می‌تواند در ارزیابی ریسک و در اقدامات پیشگیری و کنترل عفونت با هدف محدود کردن انتقال به جلوی بیماری کمک فراوانی کند(6). در بخش‌های بعدی پایداری کروناویروس‌ها بر روی سطوح، در آب و فاضلاب و در هوا مورد بررسی قرار گرفته است.

- پایداری کروناویروس‌ها بر روی سطوح

Doremalen و همکاران در سال 2020 مطالعه‌ای در زمینه پایداری ویروس *SARS-CoV-2* و *SARS-CoV-1* بر روی سطوح پلاستیک، فولاد، مس و مقوا در شرایط آزمایشگاهی انجام دادند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که SARS-CoV-2 بر روی پلاستیک و فولاد پایدارتر از مس و مقوا است. میزان کاهش عفونت‌زایی این ویروس پس از 72 ساعت روی پلاستیک از $10^{3/7}$ به $10^{0/6}$ و پس از 48 ساعت بر روی فولاد نیز از $10^{3/7}$ به $10^{0/6}$ $TCID_{50}$[1] به ازای هر میلی‌لیتر کاهش یافت. پایداری *SARS-CoV-1* نیز مشابه بود (پس از 72

1. Median Tissue Culture Infectious Dose ($TCID_{50}$)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

ساعت بر روی پلاستیک از $10^{3/4}$ به $10^{0/7}$ و پس از 48 ساعت روی فولاد نیز از $10^{3/6}$ به $10^{0/6}$ $TCID_{50}$ به ازای هر میلی‌لیتر کاهش یافت). بر روی مس، *SARS-CoV-2* پس از 4 ساعت و *SARS-CoV-1* پس از 8 ساعت مشاهده نشد. بر روی مقوا، *SARS-CoV-2* پس از 24 ساعت و *SARS-CoV-1* پس از 8 ساعت مشاهده نشد. نیمه عمر این دو ویروس نیز در مس مشابه بود. در مقوا، نیمه عمر *SARS-CoV-2* بیش‌تر از *SARS-CoV-1* بود. طولانی‌ترین زمان زنده ماندن هر دو ویروس روی فولاد ضدزنگ و پلاستیک بود. نیمه عمر تخمین زده شده *SARS-CoV-2* در فولاد ضدزنگ تقریباً 5/6 ساعت و در پلاستیک 6/8 ساعت بود(18). به طور کلی، پایداری *SARS-CoV-2* در شرایط آزمایشگاهی مشابه *SARS-CoV-1* بود. این نشان می‌دهد که تفاوت در مشخصات اپیدمیولوژیک این ویروس‌ها احتمالاً از عوامل دیگر از جمله بارهای ویروسی زیاد در دستگاه تنفسی فوقانی و احتمال انتقال ویروس توسط افراد آلوده به SARS-CoV-2 و بدون علامت ناشی می‌شود(18).

Bin و همکاران در سال 2016 مطالعه‌ای در زمینه آلودگی محیطی و انتشار ویروس *MERS-CoV* در کره جنوبی انجام دادند. در این مطالعه، محیط اطراف 4 بیمار در دو بیمارستان مورد بررسی قرار گرفت. بسیاری از سطوح محیطی اتاق‌های این بیماران، از جمله نقاطی که اغلب توسط بیماران یا کارکنان مراقبت‌های بهداشتی لمس می‌شد، توسط *MERS-CoV* آلوده شده بود. علاوه بر این، *MERS-CoV* از اشیاء محیطی مانند ملافه، تخت‌خواب، چوب لباسی و دستگاه‌های اشعه ایکس جدا شد. در اواخر مرحله بالینی، ویروس زنده *MERS-CoV* می‌تواند در 3 بیمار از 4 بیمار بررسی شده در روز 18 تا 25 روز پس از شروع علائم جدا شود(16). پایداری ویروس MERS-CoV و ویروس آنفلونزای H1N1 تحت شرایط محیطی مختلف [دمای بالا (30 °C) و رطوبت بالا (80 درصد)؛ دمای بالا (30 °C) و رطوبت پایین (30 درصد) و دمای پایین (20 °C) و رطوبت پایین (30 درصد)] بر روی پلاستیک و فولاد توسط Van Doremalen و همکاران بررسی شد. دمای پایین و رطوبت پایین منعکس‌کننده شرایط هوای داخل ساختمان بود. پایداری این ویروس‌ها بر روی سطح پلاستیک و فولاد یکسان بود. ویروس *MERS-CoV* در شرایط اول، دوم و سوم به ترتیب پس از 8، 24 و 48 ساعت بازیابی شد. در صورتی که ویروس H1N1 در هر سه شرایط محیطی بیش از 4 ساعت زنده نماند. نیمه عمر ویروس *MERS-CoV* بین 0/44 و 0/97 ساعت متغیر بود. به دلیل سرعت بالای از بین رفتن ویروس *H1N1*، نیمه عمر آن قابل محاسبه نبود(5). اگرچه باید در مقایسه بین مطالعات تجربی مختلف احتیاط کرد، اما پایداری نسبی *MERS-CoV* در دمای 20 درجه سانتی‌گراد و رطوبت 40 درصد و کاهش سریع در زنده ماندن ویروس در دماهای بالاتر و رطوبت بالاتر نشان می‌دهد که *MERS-CoV* و *SARS-CoV* دارای خصوصیات پایداری نسبتاً مشابه هستند. بقای طولانی مدت *MERS-CoV* در مقایسه با ویروس *H1N1* روی سطوح، احتمال انتقال از طریق تماس را افزایش می‌دهد. با این حال، کاهش زنده ماندن در دمای بالا، حاکی از آن است که انتقال مستقیم (و نه انتقال از طریق فومیت) در شبه جزیره عربستان سعودی محتمل‌ترین مسیر انتقال انسان به انسان در محیط‌های بیرونی است.

Kim و همکاران در سال 2016 مطالعه‌ای بر روی انتشار گسترده ویروس MERS در محیط اطراف بخش ایزوله دو بیمارستان که بیماران مبتلا به *MERS-CoV* درمان می‌شدند، انجام دادند. نتایج آزمایشات PCR و IFA[2] نشان داد که از 65 نمونه‌ای که توسط سوآب از سطوح برداشته شده بود، تعداد 15 نمونه مثبت تشخیص داده شدند(17).

مطالعات نشان داد که سطوح آلوده به کروونا ویروس‌ها را می‌توان با غلظت‌های مناسبی از گندزداها نظیر محلول هیپوکلریت 0/1 تا 0/5 درصد و هیدروژن پراکسد 0/5 درصد در مدت یک دقیقه گندزدایی نمود.

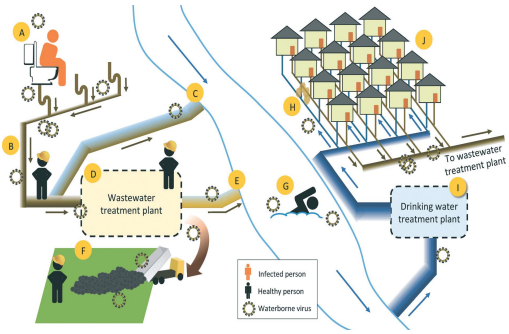
1. Immunofluorescent Assay (IFA) and Polymerase Chain Reaction(PCR)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

همچنین دست‌ها را با اتانول 71-62 درصد ضدعفونی نمود. مضافا اینکه برای غیرفعال‌سازی و از بین بردن ویروس‌ها از دست‌ها شستشوی کافی با آب و صابون به مدت 60-40 ثانیه به عنوان یکی از موثرترین روش‌ها توسط WHO و سازمان‌های بهداشتی توصیه شده است(19).

پایداری کروناویروس‌ها در محیط‌های آبی

از آن‌جا که کروناویروس جدید در حال حاضر در سرتاسر جهان شیوع یافته، برای مهندسان و متخصصان آب این مهم است که ماهیت و سرنوشت کروناویروس و اقدامات مؤثر برای محافظت از سلامت عمومی را بدانند(20). یک سؤال مهم، سرنوشت ویروس *SARS-CoV-2* در چرخه آب شهری و خطرات برای سلامت عمومی است (تصویر شماره 1).



تصویر شماره 1: کروناویروس‌ها در شبکه های آب و فاضلاب: سرنوشت و روش‌های غیرفعال سازی (21)

عود مداوم موارد مرتبط با تهاجمی‌ترین ویروس‌ها، به ویژه SARS-CoV در چین در سال 2003 با حدود 750 مرگ، ویروس *H5N1* (آنفلوانزای مرغی بسیار بیماری‌زا) در سال 2003 جنوب شرقی آسیا، *MERS-CoV* در عربستان سعودی در سال 2012 با حدود 850 کشته و بیماری ویروس ابولا (EVD) در گینه، لیبریا و سیرالئون در سال 2013، بر لزوم کسب اطلاعات بیش‌تر در مورد انتقال احتمالی از طریق مواجهات محیطی (انتقال احتمالی از طریق آب و فاضلاب) تأکید کرد(22). بنابراین ارزیابی بیش‌تر سرنوشت این عوامل بیماری‌زا در چرخه آب شهری، یک برنامه پایش هدفمند به‌طور خاص برای کروناویروس‌ها در طول تصفیه آب و فاضلاب را می‌طلبد. همچنین یافتن جانشین‌های مناسب برای *SARS-CoV-2* برای برنامه‌های پایش منظم مورد نیاز می‌باشد(23).

Casanova و همکاران در سال 2009 دریافتند از آن‌جایی که کار با کروناویروس‌ها از جمله SARS نیاز به پرسنل آموزش دیده ویژه‌ای دارد و از آن‌جا که در مطالعه بقای این ویروس‌ها چالش‌های مهمی وجود دارد، لذا در حال حاضر داده‌های بسیار کمی در دسترس است. به همین دلیل در این مطالعه دو جانشین برای کروناویروس‌ها (گاستروانتریت قابل انتقال (TGEV) و هپاتیت ماوس (MHV)) برای ارزیابی خطرات احتمالی ناشی از این ویروس‌ها، انتخاب شدند. نتایج این مطالعه نشان داد که این ویروس‌ها روزها تا هفته‌ها در آب آلوده زنده می‌مانند. در دمای 25 درجه سانتی گراد، زمان مورد نیاز برای کاهش 99 درصد (T_{99}) برای TGEV و MHV به ترتیب برابر 22 و 17 روز بود. در دمای 4 درجه سانتی گراد، بعد از گذشت چهار هفته، برای هر دو ویروس کم‌تر از یک لگاریتم کاهش مشاهده شد. کروناویروس‌ها می‌توانند برای مدت طولانی در آب زنده بمانند، بنابراین آب آلوده در صورت ایجاد آئروسل می‌تواند افراد را در مواجهه با این ویروس‌ها قرار دهد(11). علاوه بر این، کروناویروس‌ها در شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی به خصوص وقتی که غلظت گندزدای باقی‌مانده در آب پایین باشد، دیده شده‌اند. ثبات ویروسی می‌تواند با تشکیل کلنی باکتری‌های موجود در بیوفیلم در سیستم‌های توزیع حفظ شده و سبب ورود کروناویروس‌ها به خانه‌های افراد شود(20).

Gundy و همکاران در سال 2009 بقای یک کروناویروس انسانی (*HCoV-229E*) و یک کروناویروس حیوانی (FIPV) در آب شیر (فیلتر شده و فیلتر نشده)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

بررسی کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که در دمای 23 درجه سانتی‌گراد، زمان لازم برای غیرفعال‌سازی 99/9 درصد ویروس‌ها ($T_{99.9}$) برای *HCoV-229E* و FIPV برابر 12/1-12/5 روز بود. در حالی که در 4 درجه سانتی‌گراد کاهش مشابه (با مدل‌سازی) بیش از 100 روز قابل دستیابی است. این بازده‌ها بار دیگر نشان می‌دهند که با افزایش دما، بقای ویروس کاهش می‌یابدکه عمدتاً ناشی از دناتوراسیون پروتئین‌ها و افزایش فعالیت آنزیم‌های خارج سلولی است(12). علاوه بر این، نتایج این مطالعه نشان داد که پولیو ویروس-1، شش برابر بیش‌تر از کروناویروس‌ها در هر دو آب شیر فیلتر شده و فیلتر نشده زنده ماندند که تأییدکننده مقاومت بالاتر ویروس‌های غیرپوشش‌دار درمحیط‌های آبی نسبت به ویروس‌های پوشش‌دار است. یافته مهم دیگر این مطالعه این بود که غیرفعال‌سازی کروناویروس‌ها در آب شیر فیلتر شده سریع‌تر از فیلتر نشده است و جامدات معلق در آب می‌توانند از ویروس‌های جذب شده به این ذرات محافظت کنند(12).

Alexyuk و همکاران درسال 2017 فراوانی ویروس‌ها را در آب‌های سطحی (رودخانه، دریاچه و مخزن سد) مورد مطالعه قرار دادند. در حالی که اکثر توالی‌ها مربوط به ویروس‌های بومی (مخصوص اکوسیستم‌های آبی) بودند، ویروس‌های غیربومی (خانواده‌هایی مانند کروناویریده، رئو ویریده و هرپس ویریده) نیز شناسایی شدند که نشان‌دهنده آلودگی ایجاد شده توسط انسان در محیط‌های آبی است(24). به‌طورکلی، بقای کروناویروس‌ها در آب به عوامل مختلفی از جمله دما (کروناویروس‌ها به دما بسیار حساس هستند)، قرار گرفتن در معرض نور (غیرفعال شدن در اثر نور خورشیدی یا UV)، ماده آلی (ویروس‌ها می‌توانند روی ذرات ماده آلی جذب شوند و بر رفتار ته‌نشینی و محافظتی ذرات در برابر نور تأثیر بگذارند) و حضور میکروارگانیسم‌های آنتاگونیست (افزایش میزان غیرفعال‌سازی) بستگی دارد(11،18). در واقع، به‌طور جهانی ثابت شده است که درجه حرارت بالاتر با غیرفعال کردن سریع ویروس‌های روده‌ای همراه است و درجه حرارت به دلیل افزایش دناتوره کردن پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌های خارج سلولی به عنوان مهم‌ترین عامل برای زنده ماندن ویروس‌ها در آب شناخته شده است(19). بنابراین براساس مطالعات مدت زمان پایداری کروناویروس‌ها در آب در دمای محیط از 10 تا 25 روز متغییر است.

پایداری کروناویروس‌ها در فاضلاب

مطالعات قبلی نشان داده است که کروناویروس در فاضلاب شهری و بیمارستانی (از طریق تخلیه مدفوع، ادرار یا استفراغ بیماران) وجود داشته و می‌توانند تا چند روز زنده بمانند(25،26). بنابرین در مطالعات اخیر به پایداری این ویروس‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب توجه بیش‌تری شده است(11،27). ویروس *SARS-CoV-2* ممکن است در حال حاضر در فاضلاب‌ها وجود داشته باشد، هر چند که غلظت و دوام آن هنوز تأیید نشده است(9). مطالعات انجام شده به دنبال اپیدمی SARS در سال 2003، حضور ویروس در فاضلاب را نشان داده است، زیرا کروناویروس‌ها در غیاب گندزدایی کافی، می‌توانند تا حدودی زنده بمانند و احتمال ابتلا به ویروس را چندین برابر کنند(11،26،30-28). بر اساس مطالعات *SARS-CoV-1* در نمونه‌های مدفوع، 9 تا 14 روز پس از بروز بیماری مشاهده شدند و در یک مورد از بیماران، ویروس در نمونه‌های مدفوع تا 73 روز پس از بروز بیماری دارای نتیجه تست مثبت بودند. حضور ویروس در مدفوع به دلیل توانایی تکثیر آن در روده بزرگ و کوچک است(21). جدول شماره 2 برخی مطالعاتی که در زمینه پایداری کروناویروس‌ها در فاضلاب هستند را خلاصه کرده است.

مطالعه Casanova و همکاران در سال 2009 بقای دو نوع کروناویروس (TGEV و MHV) را در آب معرف، آب دریاچه و فاضلاب انسانی ته‌نشین شده مورد ارزیابی قرار دادند. دو درجه حرارت دمای اتاق (23 تا

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

25 درجه سانتی‌گراد) و 4 درجه سانتی‌گراد بیش از 6 هفته بررسی شد. به طور کلی، در تمام آب‌های آزمایش شده، تیتر ویروس عفونی با سرعت بیش‌تری در دمای 25 درجه نسبت به 4 درجه سانتی‌گراد کاهش یافت که تأیید کننده نقش مهم دما بر بقای ویروس در آب است. در دمای 25 درجه سانتی‌گراد، زمان مورد نیاز برای کاهش 99/9 درصد ($T_{99.9}$) در آب معرف برای TGEV و MHV به ترتیب 33 و 26 روز بود، در حالی که در فاضلاب تهنشین شده به ترتیب 14 و 10 روز بود. از طرف دیگر، هیچ کاهش معنی‌داری از TGEV و MHV در آب معرف در دمای 4 درجه سانتی‌گراد پس از 49 روز گزارش نشد و کاهش محدود در همان دما در آب دریاچه پس از 14 روز به دست آمد. بر اساس این نتایج، نویسندگان اظهار داشتند که در صورت تولید آئروسل از آب آلوده، این آب می‌تواند وسیله‌ای بالقوه برای مواجهه خطرناک انسان باشد. با این وجود، لازم به یادآوری است که کروناویروس‌های جانوری جانشین مورد استفاده در این مطالعه، مسئول بیماری‌های دستگاه گوارش یا کبدی در حیوانات هستند و بنابراین ممکن است در مقایسه با کروناویروس‌های تنفسی انسانی، رفتارهای متفاوتی از خود نشان دهند(11). این می‌تواند مقاومت بیش‌تر و بقای طولانی‌تر کروناویروس‌های مورد مطالعه در این مقاله را نسبت به مطالعه Wang و همکارانش در سال 2019 (2) را توضیح دهد. علاوه بر این، استفاده از رده‌های سلولی مختلف و محیط رشد متفاوت در این مطالعات پایداری ممکن است در عدم اطمینان اندازه‌گیری نقش داشته باشد(7).

Gundy و همکاران در سال 2009 بقای یک کروناویروس انسانی (*HCoV-229E*) و یک کروناویروس حیوانی (FIPV) را در فاضلاب خروجی از تهنشینی اولیه و پساب لجن فعال بررسی و نتایج را با پولیو ویروس-1 مقایسه کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که کروناویروس‌های آزمایش شده در فاضلاب به سرعت نابود شدند و در دمای 23 درجه سانتی‌گراد، زمان لازم برای غیرفعال‌سازی 99/9 درصد این ویروس‌ها ($T_{99.9}$) برابر 3/54-2/77 روز بود. پولیو ویروس-1 دو تا سه برابر بیش‌تر از کروناویروس‌ها زنده ماندند و در پساب خروجی از تهنشینی اولیه تا 10/9 روز و در پساب خروجی از لجن فعال تا 5/7 روز زنده ماندند. وجود حلال‌ها و دترجنت‌ها در فاضلاب باعث آسیب به پوشش ویروس‌های پوشش‌دار و در نهایت غیرفعال‌سازی آن‌ها می‌شود. همچنین نتایج این مطالعه نشان داد که کروناویروس‌ها راحت‌تر از پولیو ویروس‌ها جذب جامدات فاضلاب می‌شوند. علاوه بر این، آبگریزی ویروس‌های پوشش‌دار باعث می‌شود که آن‌ها در آب کم‌تر محلول بوده و راحت‌تر جذب جامدات فاضلاب می‌شوند(12). وجود میکروارگانیسم‌های شکارچی مانند تک‌یاخته‌ها می‌تواند باعث افزایش میزان غیرفعال شدن ویروس‌ها در آب و همچنین عملکرد پروتئازها و نوکلئازها شود. سطح باکتری‌ها و جامدات هر دو در پساب اولیه در مقایسه با پساب ثانویه بالاتر است. هر سه ویروس مورد آزمایش قادر به زنده ماندن بیش‌تر در پساب اولیه فیلتر نشده نسبت به پساب ثانویه فیلتر نشده بودند. باز هم، این امر بیان می‌کند که ویروس‌های مرتبط با جامدات موجود در فاضلاب در برابر غیرفعال‌سازی محافظت می‌شوند. با این حال کروناویروس‌ها پس از 3 روز قابل تشخیص نبودند، در حالی‌که پولیو ویروس‌ها پس از 21 روز قابل تشخیص بودند(12).

Wang و همکاران تأکید کردند که *SARS-CoV-1* تا 3 روز در مدفوع و 17 روز در ادرار در دمای 20 درجه سانتی‌گراد و همچنین 17 روز در دمای پایین‌تر (4 درجه سانتی‌گراد) زنده ماندند(13). تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و الزامات نظارتی مربوط به آن برای غیرفعال کردن و از بین بردن طیف گسترده‌ای از عوامل بیماری‌زا توسعه یافته اند. شیوع کروناویروس اهمیت گندزدایی را برای محافظت از سلامت عمومی برجسته می‌کند. به عنوان مثال، بر اساس داده‌های گندزدایی کروناویروس از مراکز بهداشتی- درمانی، اداره ایمنی و بهداشت کار

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

ایالات متحده (OSHA) دستورالعمل جدید کارگران فاضلاب را در فوریه سال 2020 منتشر کرد، با بیان این‌که فناوری‌های گندزدایی فعلی به‌کار رفته در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، مانند اکسیداسیون با اسید هیپوکلرو یا پراستیک اسید و غیرفعال شدن با تابش اشعه ماوراءبنفش در محافظت از کارگران فاضلاب و همچنین عموم مردم در برابر کروناویروس مؤثر است(31)، استفاده از کلر هنوز بهترین و اقتصادی‌ترین گزینه برای گندزدایی و غیرفعال کردن کروناویروس در آب و فاضلاب است(13). با این وجود، کلر با آمونیاک موجود در فاضلاب واکنش نشان داده و کلر ترکیبی (کلرامین) تشکیل می‌شود که نسبت به کلر آزاد در هنگام گندزدایی رفتار متفاوتی دارد. بنابراین درک گونه‌های کلر/ کلرامین و نقاط شکست کلرزنی و دوز بهینه گندزدای باقیمانده نیز برای سیستم‌های آب و فاضلاب بسیار مهم است(20).

Wangو همکاران نشان دادند که کلر در غیرفعال کردن *SARS-CoV-1* مؤثرتر از دی اکسید کلر است و کلر باقی‌مانده آزاد 0/5 میلی‌گرم بر لیتر یا دی اکسید کلر در غلظت 2/19 میلی‌گرم بر لیتر در فاضلاب سبب غیرفعال‌سازی کامل *SARS-CoV-1* می‌شود(13).

در شرایط آزمایشگاهی، *SARS-CoV-1* با غلظت 10 میلی‌گرم بر لیتر کلر و حداقل تماس 10 دقیقه و یا در 1 دقیقه با استفاده از 20 میلی‌گرم بر لیتر به‌طور کامل غیرفعال می‌شود(7). با توجه به نتایج Wang و همکاران، مقاومت *SARS-CoV-1* در برابر کلر نسبت به باکتری‌ها پایین‌تر است. از این رو نتیجه می‌گیرد که شیوه‌های گندزدایی فعلی آب آشامیدنی، فاضلاب، آب استخر که در برابر ویروس‌های غیر پوشش‌دار و باکتری‌ها مؤثر است، پیش‌بینی می‌شود که درمورد ویروس‌های پوشش‌دار مانند کروناویروس‌ها نیز مؤثر باشد(13). در WWTPها، بیوراکتورهای غشایی (MBR) نیز می‌توانند نقش مهمی ایفا کنند(32،33). ویروس‌ها در مواد معلقی که توسط مکانیسم‌های فیلتراسیون حذف می‌شوند، تغلیظ می‌گردند. در MBRها، حضور جامدات معلق در بیوراکتور، همراه با حضور میکروارگانیسم‌های آنتاگونیست و شرایط شیمیایی و فیزیکی نامطلوب، منجر به غیرفعال شدن کارآمد ویروس‌های پوشش‌دار مانند کروناویروس‌ها می‌شود(33). پراستیک اسید در برابر برخی از ویروس‌های بدون پوشش (مانند نورو ویروس) که مقاومت بیش‌تری نسبت به ویروس‌های پوشش‌دار دارند، مؤثرترند(12). فاضلاب تصفیه نشده حامل ویروس می‌تواند از طریق لوله‌های معیوب نشت کرده و وارد لوله‌های توزیع آب آشامیدنی شود. علاوه بر این تخلیه فاضلاب تصفیه نشده به آب‌های سطحی می‌تواند مواجهات با ویروس‌ها را از طریق فعالیت‌های تفریحی افزایش داده و همچنین سبب آلودگی آب‌های زیرزمینی که به طور مستقیم تحت تأثیر آب‌های سطحی هستند، شوند(21).

در مطالعه Bibby و همکاران در سال 2011، انواع زیادی از ویروس‌های پوشش‌دار و غیر پوشش‌دار (مانند کروناویروس، هرپس ویروس، تورکوتنو ویروس و پارکو ویروس) را در جامدات بیولوژیکی شناسایی کردند. جالب است که همه این گروه‌های ویروس در در غلظتی بالاتر از آدنو ویروس بودند که مدت‌هاست فراوان‌ترین جنس ویروسی در جامدات بیولوژیکی محسوب می‌شوند. از 10 توالی شناخته شده کروناویروس‌ها، تعداد9 مورد مربوط به *HCoV-229E* و یک مورد به *HCoV-HKU1* تعلق داشت(34). دو سال بعد، مقاله دیگری از همین نویسندگان، تنوع ویروس‌ها را در نمونه‌های لجن فاضلاب (ورودی و خروجی) با نتایج قابل مقایسه توصیف کرد: ویروس‌های نوظهور مانند کروناویروس، کلاسه ویروس و کاسا ویروس به وفور مشاهده شدند(35). کروناویروس در 83 درصد نمونه‌ها مشاهده شد و کروناویروس HKU1 دومین ویروس RNA شایع بود. جالب توجه است که کروناویروس در نمونه‌های ورودی نسبت به نمونه‌های خروجی فراوانی نسبی بالاتری داشتند(35). وقوع *SARS-*

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

CoV-2 در فاضلاب شهری در سراسر جهان و به طور خاص در هلند(36)، ماساچوست(37)، در استرالیا(38)، فرانسه(39) و ایتالیا(7) بررسی شده است. زمان ماند هیدرولیکی شبکه‌های فاضلاب و تصفیه‌خانه‌های فاضلاب کم‌تر از یک روز است. ویروس در خارج از بدن انسان تحت تأثیر فاکتورهای محیطی مختلف قرار می‌گیرد. زمان لازم برای غیرفعال‌سازی 90 درصد ویروس‌ها (T_{90}) از چند دقیقه تا چند سال متفاوت است (جدول شماره 3).

پایداری کروناویروس‌ها در هوا

یکی از راه‌های انتقال عفونت‌های تنفسی ویروسی انتقال از راه قطرات تنفسی شخص بیمار است. مایع موجود در این قطرات تبخیر شده باعث کوچک‌تر شدن این قطرات می‌شود و در نتیجه انتقال آن‌ها توسط جریان هوا بر نیروی گرانش زمین غلبه می‌کند. چنین قطرات کوچک آزادانه در هوا حرکت کرده و سبب انتقال ذرات ویروسی در مسافت‌های دور نسبت به منشا ایجاد کننده آن‌ها می‌شوند. در نتیجه ویروس می‌تواند برای روزها در این قطرات پایدار باقی بماند(8، 18). از طرفی، قطرات می‌توانند مستقیم بر روی فردی که در مجاورت فرد آلوده است، ته‌نشین شوند. بنابراین شستشوی مکرر دست و حفظ فاصله حداقل یک متر از اقدامات اصلی پیشگیری از عفونت محسوب می‌شود(8). بر اساس چندین مطالعات گذشته‌نگر مشخص شد که ویروس *SARS-CoV-1* در هوا انتشار می‌یابد. به عنوان مثال در مطالعه Xiao و همکاران در سال 2017 مشخص شد که ویروس *SARS-CoV-1* ممکن است تنها از طریق راه هوایی گسترش یابد، اما احتمال انتقال ویروس در مسیرهای ترکیبی بیش‌تر است، به ویژه هنگامی که بارهای ویروسی و پارامترهای پاسخ به دوز نسبتاً کم باشد(41،40). این مطالعات و همچنین مطالعات سازمان جهانی بهداشت(42) نشان داد که مسیر اصلی انتقال در فضای داخل ساختمان‌های مورد بررسی، انتقال از طریق هوا بود. با توجه به شباهت‌های فراوان بین دو ویروس *SARS-CoV-1* و *SARS-CoV-2* و شواهد در مورد انتقال ویروس، ویروس *SARS-CoV-2* نیز از طریق هوا پخش می‌شود(43). مثال‌های دیگر از انتقال ویروس‌ها از طریق هوا شامل انتقال ویروس *Norwalk* در بین کودکان مدرسه(44) و انتقال ویروس آنفلوانزا *A/H5N1* بین افراد است(45). بنابراین، تمام اقدامات احتیاطی احتمالی در برابر انتقال هوا در سناریوهای داخلی باید انجام شود. اقدامات احتیاطی شامل افزایش میزان تهویه، استفاده از تهویه طبیعی، جلوگیری از گردش هوا، جلوگیری از ماندن در جریان هوای مستقیم شخص دیگر و به حداقل رساندن تعداد افرادی که در یک محیط مشترک قرار دارند، است(8). این اقدامات احتیاطی در محیط‌های داخلی اماکن عمومی مانند بیمارستان‌ها که خطر ابتلا به آن بیش‌تر است (به دلیل احتمال وجود قطرات حاوی ویروس در هوا، پایداری بالاتر ویروس در هوای داخل و تراکم بیش‌تر افراد)، تمرکز دارد.

Doremalen و همکاران در سال 2020 (18) مطالعه‌ای در زمینه پایداری ویروس *SARS-CoV-2* و *SARS-CoV-1* در آئروسل هوا انجام دادند. بر اساس نتایج مطالعه آن‌ها *SARS-CoV-2* در طول مدت آزمایش (3 ساعت) در آئروسل زنده ماند، اما میزان عفونت زایی آن از $10^{3/5}$ به $10^{2/7}$ و برای *SARS-CoV-1* از $10^{4/3}$ به $10^{3/5}$ $TCID_{50}$ به ازای هر لیتر هوا کاهش یافت. نیمه عمر هر دو ویروس در آئروسل‌ها مشابه بود (تقریباً 1/1 تا 1/2 ساعت).

فریدی و همکاران در سال 2020 مطالعه‌ای در زمینه اندازه‌گیری ویروس *SARS-CoV-2* در هوای اتاق بیماران مبتلا به COVID-19 انجام دادند. در این مطالعه، 10 نمونه هوا از اتاق بیماران مبتلا به کروناویروس جدید در بزرگ‌ترین بیمارستان ایران (بیمارستان امام خمینی تهران)، مورد بررسی قرار گرفت. نتایج RT-PCR[3] نشان

1. Real-Time Polymerase Chain Reaction (RT-PCR)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

داد که کلیه نمونه‌های هوا که از فاصله 2 تا 5 متری از تختخواب بیماران جمع‌آوری شده بودند، منفی بودند(46).

Van Doremalen و همکاران در سال 2013 پایداری ویروس *MERS-CoV* و ویروس آنفلوانزای *H1N1* در آئروسل‌ها در دمای 20 درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی 40 درصد و 70 درصد بررسی شد(5). در طول تولید آئروسل، این ویروس کاهش پایداری نشان نداد. ویروس *MERS-CoV* در رطوبت 40 و 70 درصد به ترتیب 7 و 89 درصد و ویروس *H1N1* به ترتیب 95 و 62 درصد کاهش یافت. توانایی *MERS-CoV* برای ماندگاری در هوا، پتانسیل *MERS-CoV* را برای دستیابی به توانایی انتقال از طریق آئروسل‌ها نشان می‌دهد. در صورت عدم وجود راهبردهای مداخله درمانی و پیشگیری‌کننده برای *MERS-CoV*، درک کامل از مسیرهای انتقال می‌تواند موثرترین راه برای جلوگیری از گسترش بیش‌تر *MERS-CoV* باشد. Kim و همکاران در سال 2016 مطالعه‌ای بر روی انتشار گسترده ویروس MERS در هوا و محیط اطراف بخش ایزوله دو بیمارستان که بیماران مبتلا به *MERS-CoV* درمان می‌شدند، انجام دادند. نتایج آزمایشات PCR و IFA نشان داد که از 7 نمونه هوا از دو اتاق بیمار، 4 نمونه آلوده به ویروس بودند. این داده‌ها شواهد تجربی برای آلودگی گسترده *MERS-CoV* موجود در هوا را نشان داد و متذکر شد که بررسی اپیدمیولوژیکی سناریوهای احتمالی تماس و انتقال از طریق هوا مورد نیاز می‌باشد و نگرانی را در مورد کافی نبودن روش‌های فعلی کنترل عفونت افزایش داد(17).

به طور کلی، نتایج این مطالعه مروری نشان داد که کروناویروس‌ها می‌توانند برای مدت طولانی (روزها تا هفته‌ها) در آب زنده بمانند. بنابراین آب آلوده در صورت ایجاد آئروسل می‌تواند افراد را در مواجهه با این ویروس‌ها قرار دهد. علاوه بر این، کروناویروس‌ها در شبکه‌های توزیع آب آشامیدنی به خصوص وقتی که غلظت گندزدای باقی‌مانده در آب پایین باشد، دیده شده‌اند. ثبات ویروسی می‌تواند با تشکیل کلنی باکتری‌های موجود در بیوفیلم در سیستم‌های توزیع حفظ شده و سبب ورود کروناویروس‌ها به خانه‌های افراد شود. بقای کروناویروس‌ها در آب به عوامل مختلفی از جمله دما، قرار گرفتن در معرض نور خورشید، ماده آلی و حضور میکروارگانیسم‌های آنتاگونیست بستگی دارد. در واقع، درجه حرارت بالاتر با غیرفعال کردن سریع کروناویروس‌ها همراه است و درجه حرارت به دلیل افزایش دناتوره کردن پروتئین‌ها و فعالیت آنزیم‌های خارج سلولی به عنوان مهم‌ترین عامل برای زنده ماندن ویروس‌ها در آب شناخته شده است. بنابراین براساس مطالعات مدت زمان پایداری کروناویروس‌ها در آب در دمای محیط از 10 تا 25 روز متغیر است. آبگریزی ویروس‌های پوشش‌دار باعث می‌شود که آن‌ها در آب کم‌تر محلول بوده و راحت‌تر جذب جامدات فاضلاب شوند. وجود میکروارگانیسم‌های شکارچی مانند تک‌یاخته‌ها می‌تواند باعث افزایش میزان غیرفعال شدن ویروس‌ها در آب و همچنین عملکرد پروتئازها و نوکلئازها شود. مسیر اصلی انتقال در فضای داخل ساختمان‌های مورد بررسی، انتقال از طریق هوا بود. با توجه به شباهت‌های فراوان بین دو ویروس *SARS-CoV-1* و *SARS-CoV-2* و شواهد در مورد انتقال ویروس، *SARS-CoV-2* نیز از طریق هوا پخش می شود. براساس یافته‌های این مطالعه، در حال حاضر داده‌های بسیار کمی در دسترس است و با اطلاعات موجود هم‌چنان بقای کرونا ویروس‌ها چالش‌های زیادی وجود دارد و با قطعیت نمی‌توان زمان مشخصی برای بقای ویروس‌ها در محیط‌های مختلف بیان داشت. لذا با توجه به نبود درمان قطعی و واکسن مؤثر، بهترین راه جهت مقابله با بیماری COVID-19، اجتناب از آلودگی و جلوگیری از انتشار آن از طریق اقدامات محافظتی و بهداشت فردی می‌باشد.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

References

1. Cui J, Li F, Shi ZL. Origin and evolution of pathogenic coronaviruses. Nature Reviews Microbiology 2019; 17(3): 181-192.
2. Wang Q, Vlasova AN, Kenney SP, Saif LJ. Emerging and re-emerging coronaviruses in pigs. Curr Opin Virol 2019; 34: 39-49.
3. Wong AC, Li X, Lau SK, Woo PC. Global epidemiology of bat coronaviruses. Viruses 2019; 11(2): 174.
4. Tekes G, Thiel H-J. Feline coronaviruses: pathogenesis of feline infectious peritonitis: Elsevier; 2016; 96: 193-218.
5. Van Doremalen N, Bushmaker T, Munster V. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. Eurosurveillance 2013; 18(38): 20590.
6. WHO. Surface sampling of coronavirus disease (COVID-19): A practical “how to” protocol for health care and public health professionals. World Health Organization; 2020.
7. La Rosa G, Bonadonna L, Lucentini L, Kenmoe S, Suffredini E. Coronavirus in water environments: Occurrence, persistence and concentration methods-A scoping review. Water Res 2020; 179: 115899.
8. Morawska L, Cao J. Airborne transmission of SARS-CoV-2: The world should face the reality. Environment International 2020; 139: 105730.
9. Zhang H, Kang Z, Gong H, Xu D, Wang J, Li Z, et al. The digestive system is a potential route of 2019-nCov infection: a bioinformatics analysis based on single-cell transcriptomes. BioRxiv. 2020.
10. McKinney KR, Gong YY, Lewis TG. Environmental transmission of SARS at Amoy Gardens. J Environ Health 2006; 68(9): 26-30.
11. Casanova L, Rutala WA, Weber DJ, Sobsey MD. Survival of surrogate coronaviruses in water. Water Res 2009; 43(7): 1893-1898.
12. Gundy PM, Gerba CP, Pepper IL. Survival of coronaviruses in water and wastewater. Food and Environmental Virology 2009; 1(1): 10.
13. Wang XW, Li JS, Jin M, Zhen B, Kong QX, Song N, et al. Study on the resistance of severe acute respiratory syndrome-associated coronavirus. Journal of Virological Methods 2005; 126(1-2): 171-177.
14. Ye Y, Ellenberg RM, Graham KE, Wigginton KR. Survivability, partitioning, and recovery of enveloped viruses in untreated municipal wastewater. Environ Sci Technol 2016; 50(10): 5077-5085.
15. Rabenau H, Cinatl J, Morgenstern B, Bauer G, Preiser W, Doerr H. Stability and inactivation of SARS coronavirus. Med Microbiol Immunol 2005; 194(1-2): 1-6.
16. Bin SY, Heo JY, Song M-S, Lee J, Kim E-H, Park S-J, et al. Environmental contamination and viral shedding in MERS patients during MERS-CoV outbreak in South Korea. Clin Infect Dis 2016; 62(6): 755-760.
17. Kim SH, Chang SY, Sung M, Park JH, Bin Kim H, Lee H, et al. Extensive viable Middle East respiratory syndrome (MERS) coronavirus contamination in air and surrounding environment in MERS isolation wards. Clin Infect Dis 2016; 63(3): 363-369.
18. Van Doremalen N, Bushmaker T, Morris DH, Holbrook MG, Gamble A, Williamson BN, et al. Aerosol and surface stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. N Engl J Med 2020; 382(16): 1564-1567.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

19. Dehbandi R, Zazouli MA. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. Lancet Microbe 2020; 1(4): e145.
20. Naddeo V, Liu H. 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 & Technology 2020.
21. Wigginton K, Ye Y, Ellenberg R. Emerging investigators series: the source and fate of pandemic viruses in the urban water cycle. Environ. Sci: Water Res Technol 2015; 1(6): 735-746.
22. Chattopadhyay S, Taft S. Exposure Pathways to High-Consequence Pathogens in the Wastewater Collection and Treatment Systems 2018.
23. Xagoraraki I, O'Brien E. Wastewater-Based Epidemiology for Early Detection of Viral Outbreaks: Springer; 2020. 75-97.
24. Alexyuk MS, Turmagambetova AS, Alexyuk PG, Bogoyavlenskiy AP, Berezin VE. Comparative study of viromes from freshwater samples of the Ile-Balkhash region of Kazakhstan captured through metagenomic analysis. Virus Disease 2017; 28(1): 18-25.
25. Hung LS. The SARS epidemic in Hong Kong: what lessons have we learned? J R Soc Med 2003; 96(8): 374-378.
26. Leung WK, To K-f, Chan PK, Chan HL, Wu AK, Lee N, et al. Enteric involvement of severe acute respiratory syndrome-associated coronavirus infection. Gastroenterology 2003; 125(4): 1011-1017.
27. Fong TT, Lipp EK. Enteric viruses of humans and animals in aquatic environments: health risks, detection, and potential water quality assessment tools. Microbiol Mol Biol Rev 2005; 69(2): 357-371.
28. Chan KH, Poon LL, Cheng V, Guan Y, Hung I, Kong J, et al. Detection of SARS coronavirus in patients with suspected SARS. Emerg Infect Dis 2004; 10(2): 294-299.
29. Jevšnik M, Steyer A, Zrim T, Pokorn M, Mrvič T, Grosek Š, et al. Detection of human coronaviruses in simultaneously collected stool samples and nasopharyngeal swabs from hospitalized children with acute gastroenteritis. Virology Journal 2013; 10(1): 46.
30. Choudri B, Charabi Y. Health effects associated with wastewater treatment, reuse, and disposal. Water Environ Res 2019; 91(10): 976-983.
31. Ferguson N, Laydon D, Nedjati-Gilani G, Imai N, Ainslie K, Baguelin M, et al. Impact of non-pharmaceutical interventions (NPIs) to reduce COVID-19 mortality and healthcare demand. Imperial College COVID-19 Response Team. 2020.
32. Bodzek M, Konieczny K, Rajca M. Membranes in water and wastewater disinfection. Archives of Environmental Protection 2019; 45(1): 3-18.
33. Chaudhry RM, Nelson KL, Drewes JrE. Mechanisms of pathogenic virus removal in a full-scale membrane bioreactor. Environ Sci Technol 2015; 49(5): 2815-2822.
34. Bibby K, Viau E, Peccia J. Viral metagenome analysis to guide human pathogen monitoring in environmental samples. Lett Appl Microbiol 2011; 52(4): 386-392.
35. Bibby K, Peccia J. Identification of viral pathogen diversity in sewage sludge by metagenome analysis. Environ Sci Technol 2013; 47(4): 1945-1951.
36. Medema G, Heijnen L, Elsinga G, Italiaander R, Brouwer A. Presence of SARS-Coronavirus-2 in sewage. MedRxiv 2020.
37. Wu F, Xiao A, Zhang J, Gu X, Lee WL, Kauffman K, et al. SARS-CoV-2 titers in

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]

wastewater are higher than expected from clinically confirmed cases. medRxiv 2020.

38. Ahmed W, Angel N, Edson J, Bibby K, Bivins A, O'Brien JW, et al. First confirmed detection of SARS-CoV-2 in untreated wastewater in Australia: A proof of concept for the wastewater surveillance of COVID-19 in the community. Science of The Total Environment 2020; 728: 138764.
39. Wurtzer S, Marechal V, Mouchel JM, Moulin L. Time course quantitative detection of SARS-CoV-2 in Parisian wastewaters correlates with COVID-19 confirmed cases. MedRxiv 2020.
40. Xiao S, Li Y, Wong T-w, Hui DS. Role of fomites in SARS transmission during the largest hospital outbreak in Hong Kong. PloS One 2017; 12(7): e0181558.
41. Booth TF, Kournikakis B, Bastien N, Ho J, Kobasa D, Stadnyk L, et al. Detection of airborne severe acute respiratory syndrome (SARS) coronavirus and environmental contamination in SARS outbreak units. J Infect Dis 2005; 191(9): 1472-1477.
42. Chartier Y, Pessoa-Silva C. Natural ventilation for infection control in health-care settings: World Health Organization; 2009.
43. Fineberg HV. Rapid expert consultation on the possibility of bioaerosol spread of SARS-CoV-2 for the COVID-19 pandemic (April 1, 2020). Washington, DC: The National Academies Press. https://doi. org/10.17226/25769: National Research Council; 2020.
44. Marks P, Vipond I, Regan F, Wedgwood K, Fey R, Caul E. A school outbreak of Norwalk-like virus: evidence for airborne transmission. Epidemiol Infect 2003; 131(1): 727-736.
45. Herfst S, Schrauwen EJ, Linster M, Chutinimitkul S, de Wit E, Munster VJ, et al. Airborne transmission of influenza A/H5N1 virus between ferrets. Science 2012; 336(6088): 1534-1541.
46. Faridi S, Niazi S, Sadeghi K, Naddafi K, Yavarian J, Shamsipour M, et al. A field indoor air measurement of SARS-CoV-2 in the patient rooms of the largest hospital in Iran. Science of The Total Environment 2020; 725: 138401 (Persian).

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-06-04]