DOI: 10.48305/jims.v43.i820.0728

مجله دانشکده پزشکی اصفهان — سال چهل و سوم/شماره‌ی ۸۲۰/هفته‌ی چهارم مرداد ۱۴۰۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۴ — تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۳/۰۵ — تاریخ چاپ: ۱۴۰۴/۰۵/۳۱

اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب: رویکردی جهت بررسی وضعیت رفتاری و بهداشتی جامعه از طریق بررسی نمونه‌های فاضلاب

فرشته طالبی[۱]، سحر قلی پور[۲]، مهناز نیک آئین[۳]

مقاله مروری

چکیده

مقدمه: افزایش مصرف داروها و مواد شیمیایی، تغییر الگوی بیماری‌های عفونی و بروز بیماری‌های نوظهور، نگرانی‌های بهداشتی ایجاد کرده است. در رویکرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب، با آنالیز فاضلاب امکان استخراج اطلاعات اپیدمیولوژیک مربوط به سبک زندگی، وضعیت سلامت/بیماری و مواجهه با عوامل شیمیایی جامعه هدف وجود دارد. این مطالعه با هدف بررسی کاربردهای اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب و شناسایی مشکلات این رویکرد انجام شد.

روش‌ها: این مطالعه با جستجو و بررسی مقالات مرتبط با موضوع اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در سه پایگاه داده (PubMed، ScienceDirect و Scopus) و همچنین موتور جستجوی Google Scholar انجام شد.

یافته‌ها: نتایج این تحقیق نشان داد که آنالیز شیمیایی و میکروبی فاضلاب می‌تواند اطلاعات اپیدمیولوژیکی گسترده‌ای را از نظر مکانی و زمانی در ارتباط با وضعیت رفتاری و بهداشتی جامعه هدف فراهم کند. این اطلاعات شامل مواردی مانند استفاده از مواد مخدر، الکل و دخانیات، مصرف داروهای بدون نسخه و بار بیماری‌های ویروسی، بویژه کروناویروس جدید، در جامعه تحت پوشش شبکه‌ی فاضلاب می‌باشد.

نتیجه‌گیری: اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب به عنوان ابزاری قدرتمند، پل ارتباطی میان علوم محیطی، بهداشت عمومی و اپیدمیولوژی است. نتایج حاصل از این رویکرد، اطلاعات ارزشمندی را برای سیاست‌گذاران و مسئولان بهداشتی جامعه فراهم و به آن‌ها در اتخاذ تصمیمات آگاهانه‌تر در خصوص بهبود سلامت عمومی و کنترل بیماری‌ها کمک می‌کند. با این‌حال، کاربرد این رویکرد دارای چالش‌هایی مانند ناپایداری نشانگرها در فاضلاب، منابع غیرانسانی و همچنین نبود استانداردهای نمونه‌برداری و آنالیز در بسیاری از موارد است.

واژگان کلیدی: فاضلاب؛ اپیدمیولوژی؛ مواد مخدر؛ بیماری‌های عفونی؛ بهداشت عمومی

ارجاع: طالبی فرشته، قلی‌پور سحر، نیک‌آئین مهناز. **اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب: رویکردی جهت بررسی وضعیت رفتاری و بهداشتی جامعه از طریق بررسی نمونه‌های فاضلاب.** مجله دانشکده پزشکی اصفهان ۱۴۰۴؛ ۴۳ (۸۰۳): ۷۲۸- ۷۴۲.

مقدمه

اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب (Wastewater-based epidemiology) WBE یک روش ارزشمند و نوآورانه است که امکان استخراج اطلاعات اپیدمیولوژیک جامعه تحت پوشش شبکه‌ی فاضلاب را ازطریق پایش و نظارت بر فاضلاب شهری فراهم می‌کند. فاضلاب شهری می‌تواند به عنوان یک «گنجینه» در نظر گرفته شود، زیرا حاوی ترکیبی پیچیده از مواد دفعی انسانی است که الگوهای مختلفی از عوامل مربوط به سبک زندگی، عادات غذایی، وضعیت سلامت/بیماری و مواجهه با عوامل استرس‌زای جامعه تحت پوشش را منعکس می‌کند. اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب شامل تحلیل شیمیایی یا بیولوژیکی/ژنتیکی و اندازه‌گیری بقایای متابولیک انسانی، به نام بیومارکرها، است که در فاضلاب خام شهری وجود دارند و در نتیجه به محققان اجازه می‌دهد با پایش فاضلاب، اطلاعات ارزشمندی در خصوص میزان، الگو و تغییرات مصرف داروها و مواد مخدر و یا شیوع بیماری‌های عفونی در جامعه به دست آورند. در واقع در رویکرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب، بدون نیاز به آزمایشات بالینی، اطلاعات مهمی در مورد وضعیت سلامت جامعه به دست می‌آید. همچنین اطلاعات شیمیایی و بیولوژیک موجود در فاضلاب می‌تواند

۱- کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۲- دانشجوی پسا دکترا، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

۳- استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

نویسنده‌ی مسؤول: مهناز نیک آئین: استاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده‌ی بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران

Email: nikaeen@hlth.mui.ac.ir

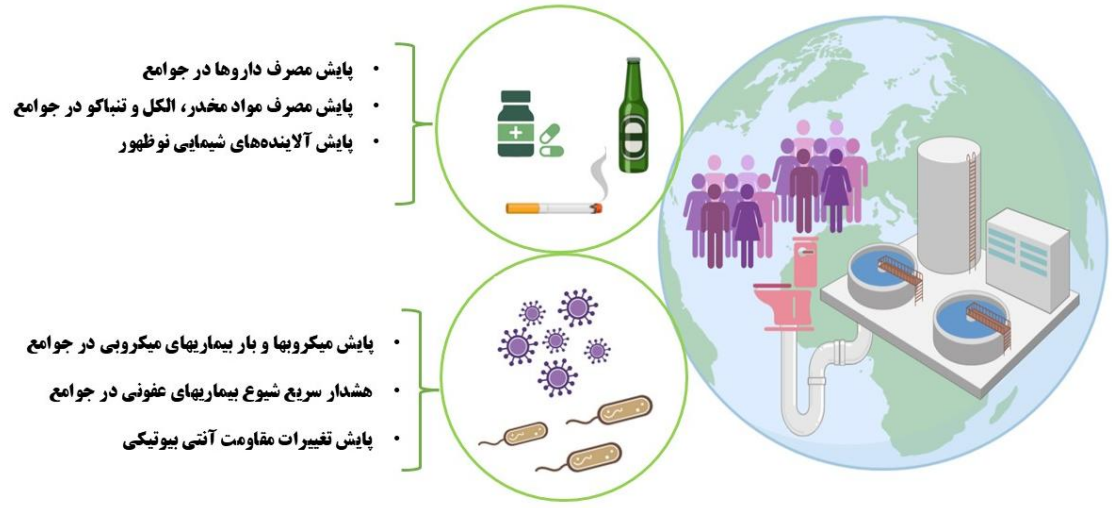
ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی یک جامعه را منعکس کند (۱، ۲).

برای نخستین بار استفاده از اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در مؤسسه تحقیقات دارویی ماریو نگری (Mario Negri Institute for Pharmacological Research) MNIPR جهت تعیین مصرف کوکائین در جامعه در سال ۲۰۰۵ توسعه یافت. به دلیل تولیدی منحصر به فرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در ارائه اطلاعات عینی و لحظه‌ای در مورد سوء مصرف مواد مخدر، این رویکرد مقرون به صرفه به سرعت در چندین کشور اروپایی برای تخمین مصرف مواد مخدر به کار گرفته شد و مرکز نظارت بر مواد مخدر و اعتیاد به مواد مخدر اروپا (European Monitoring Centre for Drugs and Drug Addiction) EMCDDA آن را به عنوان یک شاخص مکمل جهت برآورد مصرف مواد مخدر به رسمیت شناخت (۳). بر همین اساس در سال ۲۰۱۰ یک شبکه بین‌بخشی و چندرشته‌ای تحت عنوان گروه تجزیه و تحلیل فاضلاب اروپا (Sewage Contamination Object Recognition and Evaluation) SCORE جهت توسعه‌ی یک پروتکل اقدام مشترک و هماهنگی مطالعات بین‌المللی، تأسیس شد. هدف این گروه، ایجاد و توسعه پروتکل جامعی در مواجهه با چالش‌های مربوط به روش کار اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب، شامل نحوه مناسب جمع‌آوری نمونه، تعریف الزامات برای انتخاب نشانگر زیستی مناسب و پایش آن، روش‌های پردازش و نرمال‌سازی داده‌ها بود. علاوه بر مواد مخدر غیرقانونی، اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب برای نظارت بر سایر عادات که ممکن است بهداشت عمومی را مختل کنند، مانند مصرف الکل، تنباکو و داروها بکار گرفته شده است. برای مثال می‌توان به پایش فاضلاب جهت برآورد مصرف داروی ضدویروس اوسلتامیویر (تامی فلو) در طول همه‌گیری H1N1 در سال ۲۰۰۹ و مصرف داروهای غیرقانونی و قانونی (شامل داروهای ضدافسردگی) در طول بحران اقتصادی یونان در سال‌های ۲۰۱۰-۲۰۱۴ اشاره کرد (۱).

پایش فاضلاب جهت مطالعه وجود عوامل بیماری‌زا در نمونه‌های فاضلاب از سال های بسیار دور انجام می‌گرفته اما بررسی این نمونه‌ها در ارتباط با وضعیت سلامتی جامعه در گذشته کمتر مورد توجه بوده است. ویروس فلج اطفال از اولین عوامل بیماری‌زایی است که پایش وجود و تغییرات آن در فاضلاب، به عنوان نشانگر شیوع آن در جوامع پیشنهاد شد. با وجود برخی شواهد در اوایل قرن بیستم که ویروس فلج اطفال می‌تواند از بسیاری از مایعات بدن، از جمله مدفوع، بازیابی شود، تا سال ۱۹۳۹ از فاضلاب برای نظارت بر ویروس فلج اطفال استفاده نشد و بیش از ۶۰ سال ، طول کشید تا سازمان جهانی بهداشت (World Health Organization) WHO به صورت رسمی کاربرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب را برای ویروس فلج اطفال بپذیرد. در این راستا WHO توانست مناطقی را که انتقال فلج اطفال در آن‌ها رخ می‌دهد شناسایی و در نهایت ریشه‌کنی فلج اطفال را تأیید کند (۲، ٤).

در سال ۲۰۲۰ ظهور سندرم حاد تنفسی شدید کروناویروس ۲ (SARS-CoV-2) در مقیاس جهانی و همچنین مقرون به صرفه بودن آزمایش مولکولی پاتوژن‌ها با استفاده از واکنش زنجیره‌ای پلیمراز کمی (Quantitative Polymerase Chain Reaction) qPCR و توالی‌یابی، زمینه را برای رنسانس اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در نظارت بر پاتوژن‌ها فراهم کرد. صدها گروه تحقیقاتی فردی و دولتی در سراسر جهان برنامه‌های نظارت بر کووید-۱۹ را در مقیاس محلی، منطقه‌ای و ملی از طریق پایش فاضلاب تشکیل دادند و داده‌های مربوط به فراوانی و یا شیوع SARS-CoV-2 را به روشی ارزان‌تر، سریع‌تر، بی‌طرفانه‌تر و دقیق‌تر از برنامه‌های نظارت اپیدمیولوژیک سنتی ارائه کردند (۲).

علاوه بر مطالعات مربوط به پایش مصرف مواد مخدر، داروها و شیوع کووید-۱۹، اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب برای ارزیابی طیف وسیعی از عوامل مرتبط با سلامت جامعه مانند رژیم غذایی، مصرف مواد روانگردان جدید، مواجهه با مواد شیمیایی مصنوعی و مقاومت آنتی‌بیوتیکی نیز استفاده شده است. مواردی از کاربردهای اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در شکل ۱ ارائه شده است. در کشورهای توسعه یافته اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب از حد انجام پروژه‌های تحقیقاتی فراتر رفته و به صورت کاربردی در ابعاد واقعی برای تعیین ویژگی‌های مختلف جمعیت و نظارت بر سلامت جامعه در حال استفاده است. با این حال، این رویکرد در کشورهای در حال توسعه یک مفهوم نسبتا جدیدتر است و در این کشورها به نسبت کشورهای توسعه یافته مطالعات محدودتری در این حیطه صورت گرفته است. به کارگیری این روش در کشورهای در حال توسعه که منابع مالی محدودی دارند؛ می‌تواند یک روش مقرون به صرفه برای پایش وضعیت سلامتی و ویژگی های جمعیتی باشد و به عنوان یک ابزار هشدار سریع برای شیوع بیماری‌های واگیر مورد استفاده قرار گیرد (۵). با این حال، کاربرد این رویکرد چالش‌های خاص خود را دارد که ازجمله می‌توان به ناپایداری نشانگرها در فاضلاب و منابع غیرانسانی بعضی از بیماری‌های عفونی اشاره کرد. بنابراین تحقیق در مورد کاربردهای اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب به عنوان ابزاری مفید برای حفاظت بهداشت عمومی لازم است، بویژه به دلیل آنکه با جهانی شدن بیشتر، تهدیدات بهداشتی جدید می‌تواند در هر مکانی رخ دهد و به سرعت در سراسر جهان گسترش یابد. با توجه به اهمیت موارد ذکر شده، این مطالعه مروی با هدف معرفی رویکرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب، کاربردهای مختلف آن، چالش ها، محدودیت‌ها و مسیر آینده این رویکرد به ویژه در کشورهای در حال توسعه انجام شد.



شکل ۱. کاربردهای اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب

روش‌ها

این مطالعه به صورت یک مرور نقلی (Narrative review) با استفاده از کلیدواژه‌های معادل اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب شامل Wastewater based epidemiology، Sewage epidemiology، Wastewater surveillance، WBE و Wastewater monitoring از سه پایگاه داده (PubMed، Science Direct، Scopus) و موتور جستجو (Google Scholar) انجام شد.

معیارهای ورود: کلیه مقالات منتشر شده در بازه‌ی زمانی ۲۰۲٤–۲۰۰۰، به زبان انگلیسی در موضوع اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب، شامل مقالات پایش داروها، مواد شیمیایی، عوامل میکروبی و مقاومت ضد میکروبی در فاضلاب و ارتباط آن با وضعیت مصرف و وجود بیماری در جامعه، به این مطالعه وارد شد.

معیارهای خروج: مقالات غیر انگلیسی، مقالات کنفرانسی و سایر مقالاتی که متن کامل آنها در دسترس نبود، مطالعاتی که با هدف بررسی اثرات زیست محیطی و حذف مواد شیمیایی و عوامل میکروبی از فاضلاب انجام شده بودند و همچنین مطالعاتی که صرفاً به پایش موارد ذکر شده پرداخته بودند و ارتباط با وضعیت جامعه را گزارش نکردند از مطالعه‌ی حاضر حذف شدند.

یافته‌ها

کاربرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در تعیین نوع و مقدار مصرف مواد شیمیایی در جامعه

تجزیه و تحلیل شیمیایی فاضلاب، اطلاعات گسترده‌ای را در مورد ویژگی‌های رفتاری جامعه تحت پوشش و همچنین امکان مقایسه‌های منطقه‌ای و زمانی فراهم می‌کند که می‌تواند برای درک پارامترهای مختلف تأثیرگذار بر سلامت عمومی استفاده شود. باقیمانده‌های شیمیایی از طریق ادرار و مدفوع دفع می‌شوند و می‌توان آن‌ها را در فاضلاب تشخیص داد، که معمولاً به عنوان درصدی از باقیمانده هدف گزارش می‌شوند. بنابراین، در پایش شیمیایی فاضلاب جهت بررسی ویژگی‌های رفتاری جامعه تحت پوشش، درک فارماکوکینتیک انسانی از جمله نرخ‌های دفع مواد شیمیایی برای محاسبه تقریبی کل میزان قرارگیری یا مصرف مواد شیمیایی ضروری است. به طور خلاصه کاربردهای اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب از جنبه بررسی مواد شیمیایی شامل موارد زیر می‌گردد، اما محدود به آنها نمی‌شود: استفاده از مواد مخدر غیرقانونی، مواد روانگردان جدید، مصرف الکل و دخانیات، مصرف داروهای بدون نسخه و آنتی‌بیوتیک‌ها، قرارگیری در معرض مواد شیمیایی مانند آفت‌کش‌ها، پارابن‌ها، بیسفنول‌ها و فتالات‌ها، و نشانگرهای زیستی برای برخی بیماری‌های غیرمسری (۱). نتایج برخی مطالعات مهم در حیطه کاربرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در تعیین مصرف مواد شیمیایی در جوامع در جدول ۱ ارائه شده است.

مواد مخدر

استفاده از اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب می‌تواند به بررسی پویای مصرف مواد مخدر در جمعیت‌ها کمک کند. با ردیابی تغییرات غلظت مواد مخدر در فاضلاب، مقامات بهداشت عمومی جوامع می‌توانند بینش‌های مهمی را درباره روند اعتیاد و چالش‌های بهداشتی مرتبط بدست آورند که در نهایت منجر به مداخلات هدفمندتر و مؤثرتر در جامعه خواهد شد (٦).

مطالعات زیادی در سراسر جهان برای بررسی مواد مخدر در فاضلاب با اهداف مختلف انجام شده است. برای مثال محققان چینی در جریان تحقیقات خود از پایش فاضلاب برای شناسایی مصرف مواد مخدر غیرقانونی در شهرهای بزرگ استفاده کرده‌اند (۷).

جدول ۱. مطالعات اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب مربوط به تعیین نوع و میزان مصرف مواد شیمیایی

نویسنده اول (سال)	مکان مطالعه	ماده‌ی مورد مطالعه	نتیجه اصلی	مرجع
Chen و همکاران (۲۰۲۳)	تایوان	داروهای غیرقانونی، مواد روانگردان جدید و ترکیبات مرتبط با مواد مخدر	این مطالعه با استفاده از طیف‌سنجی جرمی با وضوح بالا در نمونه‌های فاضلاب تایوان، وجود ۹۲ ترکیب مختلف از جمله مواد مخدر روانگردان جدید و مشتقات مواد مخدر را نشان داد.	(۲۰)
Marino (۲۰۲۳)	ایتالیا، نروژ، اسپانیا، انگلستان	مفدرون، متکاتینون و سایر کاتینون‌های مصنوعی	در این مطالعه برای اولین بار حضور ۱۷ کاتینون سنتزی در چهار کشور اروپایی بررسی شد. مفدرون و متکاتینون بیشترین میزان شناسایی را داشتند و هیچ یک از این مواد در نروژ یافت نشد. الگوی مصرف نشان داد که مصرف در انگلستان نسبت به سایر کشورهای مورد مطالعه بیشتر بوده و در تعطیلات آخر هفته افزایش می‌یابد، که نشان‌دهنده‌ی استفاده تفریحی این مواد است.	(۴)
Wilson و همکاران (۲۰۲۴)	نیوزیلند	الکل	این مطالعه نشان داد که میانگین مصرف الکل در نیوزیلند ۱۲/۲ میلی‌لیتر به ازای هر نفر در روز بوده و میزان مصرف در تعطیلات آخر هفته و مناسبت‌های عمومی بیشتر می‌شود. مصرف الکل رابطه‌ی معکوسی با اندازه سکونت‌گاه‌ها داشت و در دوره محدودیت‌های کرونایی افزایش نیافت، اما الگوی هفتگی تغییر قابل‌توجهی را نشان داد.	(۲۸)
Bishop و همکاران (۲۰۲۰)	آمریکا	آمفتامین، مت آمفتامین، MDA، MDMA، مورفین، ۶-استیل مورفین، متادون، EDDP، کدئین، بنزوئیل لکگونین، هیدروکودون، هیدرومورفون، اکسی‌کودون و	این مطالعه با استفاده از اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب نشان داد که مصرف آمفتامین و مت‌آمفتامین در جامعه روستایی بیشتر بوده است، در حالی که سایر داروهای تجویزی و غیرقانونی در جامعه شهری نرخ دفع بالاتری داشتند. این یافته‌ها با تجزیه و تحلیل نمونه‌های فاضلاب طی سه ماه به دست آمد و تفاوت الگوی مصرف مواد بین جوامع کوچک شهری و روستایی را نشان داد.	(۹)
Lai و همکاران (۲۰۱۶)	استرالیا	کوکائین، ۳،۴-متیلن دی‌اکسی مت آمفتامین و مت آمفتامین.	در جنوب شرق کوئینزلند استرالیا، مصرف مت‌آمفتامین در طول سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ حدود پنج برابر افزایش یافته بود، در حالی که مصرف کوکائین و MDMA نسبتاً پایدار باقی ماند. این نتایج با تحلیل فاضلاب مناطق شهری و روستایی به دست آمد و شواهد عینی از افزایش مصرف مت‌آمفتامین در جامعه ارائه کرد.	(۸)

گستره وسیعی از مواد مخدر شناخته شده مانند: (3,4-Methylenedioxymethamphetamine) MDMA، مت‌آمفتامین، آمفتامین، مورفین، کدئین، حشیش، کتامین و کوکائین در رویکرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب شناسایی شده‌اند (۸). در یک مطالعه بین سال‌های ۲۰۰۹ تا ۲۰۱۵ از تحلیل فاضلاب برای نظارت بر مصرف سه ماده مخدر رایج شامل کوکائین، MDMA و مت‌آمفتامین در جامعه جنوب شرق کوئینزلند استفاده شد (۸). نکته‌ای که در این مورد بایستی توجه شود این است که یک سری از مواد مخدر می‌توانند به مواد دیگری متابولیزه شوند که تخمین صحیح مقدار مصرف دقیق این گونه مواد را دچار مشکل می‌کند. برای مثال مت‌آمفتامین می‌تواند به آمفتامین متابولیزه گردد. در مناطقی مانند استرالیا، ایالات متحده و برخی کشورهای شرق اروپا که مصرف مت‌آمفتامین به‌طور قابل توجهی بیشتر از آمفتامین است، تخمین مقدار مصرف آمفتامین دشوار است. در حالی که در مناطقی که مصرف مت‌آمفتامین کمتر است، تأثیر آن به‌وضوح قابل مشاهده نیست (۹). همچنین مصرف همزمان کوکائین و لتانول (الکل)، کوکااتیلن تولید می‌کند که می‌تواند برای نظارت بر مصرف همزمان این دو مورد استفاده شود (۱۰).

اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب تفاوت مصرف مواد مخدر در دوره‌های زمانی خاص را هم نشان می‌دهد. برای مثال تجزیه و تحلیل روزانه مصرف کوکائین در برزیل نشان داد که در روز یکشنبه (آخر هفته)، مصرف آن در مناطق تحت پوشش دو واحد تصفیه خانه فاضلاب بیشتر بوده است (۱۱). در یک مطالعه به منظور بررسی استفاده غیرقانونی از مواد مخدر توسط شهروندان و توریست ها در ۱۹ شهر اروپایی، کوکائین و اکستازی بیشترین مصرف را درمیان مواد مخدر تفریحی داشتند که معمولاً در آخر هفته مصرف می‌شدند (۱۲). در طول همه‌گیری کووید-۱۹، با نمونه‌برداری مداوم برای تقریباً یک سال کامل، مشاهده شد که مصرف داروهای مجاز و غیرمجاز کاهش یافته است، که احتمالاً به دلیل در خانه ماندن و کاهش دسترسی به این داروها بوده است (۱۳).

علاوه بر مواد مخدر غیرقانونی، مواد مخدر با کاربرد دارویی نیز با رویکرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب به خوبی مطالعه شده اند.کتامین

دارویی است کاربردهای قانونی به عنوان آرامبخش دارد، اما به صورت غیرقانونی به عنوان یک داروی تفریحی نیز استفاده می‌شود. استفاده از کتامین در بسیاری از کشورها و در موسساتی مثل بیمارستان و زندان نیز مورد بررسی قرار گرفته‌اند (١٤). استفاده از کتامین به عنوان یک نشانگر زیستی در اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب نسبت به نورکتامین عملی‌تر است، زیرا در غلظت بالاتری در فاضلاب شناسایی شده و نشان داده شده که امکان تخمین مناسبی از مصرف آن از طریق فاضلاب وجود دارد. همچنین در مراکز شهری بزرگ، حضور کتامین در فاضلاب مشکل سوءاستفاده از آن به عنوان عامل بی‌حسی در دامپزشکی را نشان می‌دهد (١٠). در مسیرهای قاچاق مواد مخدر، اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب می‌تواند به شناسایی مناطق پرمصرف مواد مخدر کمک کند و به دولت‌ها در توسعه سیاست‌هایی برای کاهش مصرف مواد مخدر و آسیب در جوامع کمک کند (١٥).

در مطالعه‌ای برروی نمونه‌های فاضلاب ورودی و خروجی ٤٩ تصفیه‌خانه فاضلاب در ٢٤ شهر بزرگ چین، میزان مورفین به‌طور قابل توجهی در بیشتر واحدهای تصفیه فاضلاب بیشتر از کدئین بود که این روند با بسیاری از کشورهای اروپایی تفاوت داشت. نتایج این مطالعه نشان داد که مورفین و کدئین در فاضلاب از یک منبع واحد، یعنی هروئین خیلبانی، نشأت می‌گیرند. بر خلاف یافته فوق، در واحدهای تصفیه فاضلاب گوانگژو و شنژن در استان گوانگدونگ چین، مقدار کدئین به‌طور قابل توجهی بیشتر از مقدار مورفین بود، که مشخص گردید دلیل آن ناشی از وجود کدئین در مواد تشکیل‌دهنده داروهای محبوب سرفه و سرماخوردگی که مصرف زیادی دارد، می‌باشد (١٦).

بررسی مواد مخدر و متابولیت‌های آنها در فاضلاب، اطلاعات بسیار مهمی ارائه می‌دهند و از جوانب مختلف قابل بررسی هستند و برای اطلاع‌رسانی استراتژی‌های اجرای قانون و مداخلات بهداشت عمومی به منظور کاهش آسیب‌های مرتبط با مواد مخدر استفاده می‌شوند. مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری (Centers for Disease Control and Prevention) CDC، برنامه اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب را برای نظارت بر روند مصرف مواد مخدر غیرقانونی در سراسر ایالات متحده ایجاد کرده است که به شناسایی مناطقی با شیوع بالای مصرف مواد مخدر کمک می‌کند و اطلاعات لازم برای پیشگیری هدفمند و تلاش‌های کاهش آسیب را ارائه می‌دهد (١٧).

مواد روانگردان جدید (New psychoactive substances) NPS

مواد روانگردان جدید که اغلب برای تقلید از اثرات داروهای غیرقانونی و در عین حال دوری از محدودیت‌های قانونی طراحی شده‌اند، چالش‌های مهمی برای سلامت عمومی و نظارت بر مواد مخدر ایجاد می‌کنند (٢٣). مواد روانگردان جدید به طور کلی شامل کلنابینوئیدهای سنتزی، کاتینون‌های سنتزی، کتامین، تریپتامین‌ها، فن‌سیکلیدین، پی‌پرازین‌ها، فنیل اتیل‌آمین، مواد روانگردان گیاهی و سایر مواد روانگردان می‌شوند. در مورد سایر مواد روانگردان جدید به دلیل قدرت بالای این ترکیبات، مصرف کنندگان فقط مقادیر کمی مصرف می‌کنند و از این‌رو مقادیر ناچیزی می‌تواند از طریق متابولیسم انسانی وارد شبکه فاضلاب شود (٢٤). کاتینون‌های سنتزی یکی از پرمصرف ترین مواد روانگردان جدید هستند، اما تعداد روزافزون آنها، تخمین اندازه‌ی واقعی مصرف آنها را دشوار می‌کند. به دلیل کمبود اطلاعات در مورد نرخ دفع و مسیرهای متابولیکی NPS و غلظت‌های بسیار پایین در فاضلاب، اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب به ندرت برای مواد روانگردان جدید به کار رفته است و بیشتر مطالعات منتشر شده در مورد NPS در فاضلاب فقط به تشخیص و غلظت آنها پرداخته‌اند (١). نتایج اندازه‌گیری کمی ١٧ کاتینون سنتزی در نمونه‌های مرکب ٢٤ ساعته فاضلاب خام در طول یک هفته از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بریتانیا، افزایش بار مصرف مواد روانگردان را در آخر هفته نشان داد که به علت استفاده از این مواد در زمینه‌های تفریحی است (١٨).

همچنین نتایج نمونه‌های فاضلاب شهری جمع‌آوری شده از ٩ شهر اسلواکی طی دو سال (٢٠١٧–٢٠١٨) و طی سه جشنواره موسیقی (شامل حدود ٢٠ درصد از جمعیت اسلواکی و ٥٠٠٠٠ شرکت کننده)، روند نگران کننده در استفاده از مواد روانگردان جدید را به صورت فصلی و هفتگی، در مقادیر کم (نانوگرم بر لیتر) در رویدادهای خاص نشان داد (١٩). همچنین نمونه‌های جمع‌آوری شده از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در جنوب تایوان، تعداد ٢٣ ماده روانگردان جدید را شناسایی کرد. لازم به ذکر است که تکنیک‌های نمونه‌برداری فعلی ممکن است به اندازه کافی قابلیت نشان دادن بار این مواد در فاضلاب را به دلیل جذب احتمالی به ذرات ناشناخته را نداشته باشند، بنابراین برای بررسی جزئیات دقیق دفع این مواد در فاضلاب نیاز به تحقیقات بیشتری است (٢٠).

دارو های ضد افسردگی

اختلال افسردگی اساسی (Major Depressive Disorder) MDD یکی از ناتوان‌کننده‌ترین اختلالات روانی است و بر اساس گزارش WHO در حال حاضر بیش از ٣٠٠ میلیون نفر را در سراسر جهان تحت تأثیر قرار داده است (٢١). مطالعه‌ای در غرب چین (به علت واقع شدن در فلات و محیطی با دمای پایین، اکسیژن کم و تشعشعات فرابنفش قوی که همگی از عوامل خطر اثبات شده افسردگی هستند) بر روی نمونه‌های ورودی و پساب ١٧ تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب نشان داد که فلوکسیتین، سیتالوپرام و ونلافاکسین موجود در پساب‌ها ممکن است خطرات اکولوژیکی برای اکوسیستم ایجاد کنند. پایش این

داروها در فاضلاب، روشی امیدوارکننده برای نظارت بر مصرف داروهای ضد افسردگی و شیوع افسردگی را از طریق اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب ارائه می‌دهد که پیشرفت در درک بیماری‌های مرتبط با افسردگی را به همراه خواهد داشت و راهنمایی‌های بهداشت عمومی را به خصوص در جوامع روستایی کشورهای در حال توسعه، جایی که نتایج سلامت اغلب با نتایج جامعه شهری متفاوت است، را ارائه می‌کند. با افزایش مصرف جهانی داروهای ضد افسردگی، می‌توان پیش‌بینی کرد که خطرات نامطلوب ناشی از وجود این داروها در محیط‌های آبی، بواسطه در معرض قرار گرفتن طولانی‌مدت با این مواد در طول زمان، افزایش یابد (۲۲). ارزیابی توزیع داروهای ضد افسردگی در فاضلاب شهری، آب‌های پذیرنده پایین دست تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و همچنین آب آشامیدنی خام و تصفیه شده جنوب انتاریودرکانادا نشان دادکه داروهای ضد افسردگی و متابولیت‌های فعال بیولوژیکی آن‌ها پتانسیل تجمع در فاضلاب شهری و در آب رودخانه‌های پایین دست تصفیه خانه را دارند. این داده‌ها ثابت کرد که اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب می‌تولند روش عملی برای ارزیابی مقرون به صرفه مواد شیمیایی را، به ویژه در مناطقی که دسترسی به داده‌ها دشوار یا هزینه‌بر است، فراهم کند (۲۳).

مواد افیونی دارویی

بسیاری از مواد افیونی برای درمان درد و همچنین در کاربردهای دیگری نظیر بیهوشی (مانند مشتقات فنتانیل) و درمان اعتیاد به مواد مخدر (مانند متادون) به کار می‌روند (۲٤). مواد افیونی دارویی به دلیل خطر مصرف بیش از حد نگران‌کننده هستند و ممکن است به صورت ناقص مصرف شوند. یک نکته مهم این است که تکنولوژی اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب قادر به شناسایی فرد مصرف‌کننده یک داروی خاص نیست و این موضوع نگرانی‌های مربوط به حریم خصوصی را کاهش می‌دهد (۲۵). در اروپا و استرالیا، این روش به عنوان بخشی از یک سیستم جامع نظارت و هشدار استفاده می‌شود. با ترکیب داده‌های اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب با مطالعات جغرافیایی و تحلیل پیشرفته، می‌توان از این اطلاعات برای مکان‌یابی مناطق پر خطر استفاده کرده و هشدار اولیه در مورد ورود مواد جدید به جامعه را ارائه داد. اطلاعات مربوط به تجویز و توزیع داروها در بسیاری از موارد در دسترس است. با این حال، استفاده از اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب فرصتی را برای ارزیابی مصرف داروها فراهم می‌کند و امکان بررسی زمانی و مکانی مصرف یا شواهد احتمالی سوءاستفاده را فراهم می‌سازد. همچنین، می‌توان با استفاده از داروها به عنوان مثال آنتی‌بیوتیک‌ها، به عنوان یک گزینه برای برآورد شیوع بیماری‌ها، ارزیابی‌های بهداشتی مبتنی بر محل را انجام داد. تاکنون بسیاری از مقالات در مورد مواد دارویی در فاضلاب، تمرکز خود را بر توسعه روش‌ها برای تعیین ترکیبات فعال اصلی گذاشته‌اند و بعضی از مطالعات نیز متابولیت‌های آنها را ارزیابی کرده‌اند (۲٦).

الکل و تنباکو

الکل (اتانول) و تنباکو (نیکوتین) دو ماده‌ای هستند که بیشترین میزان مصرف تفریحی را در جهان دارند. سوء مصرف الکل می‌تواند منجر به آسیب‌هایی مانند تصادفات جاده‌ای، حوادث دیگر و خشونت‌های خانگی و عمومی شود و عوارض نامطلوب زیادی برای سلامت جامعه به همراه دارد، به‌گونه‌ای که ۹/۵ درصد از کل مرگ و میرها در سطح جهانی به این موضوع مرتبط است (۲۷). نظارت بر مصرف این دو ماده در جمعیت می‌تواند شواهدی برای سیاست‌های آینده در ارزیابی خطرات سلامتی ناشی از مصرف آن‌ها ارائه دهد. در یکی از جامع‌ترین مطالعات ملی اپیدمیولوژیک مبتنی بر فاضلاب که در یک دوره شش‌ماهه در نیوزیلند انجام شد، روندهای زمانی و جغرافیایی مصرف الکل و تأثیر قرنطینه‌های کووید-۱۹ بر رفتار نوشیدن الکل در آخر هفته‌ها نسبت به روزهای کاری هفته مورد بررسی قرارگرفت. این مطالعه نشان داد که شهرک‌های کوچک‌تر مصرف الکل بیشتری دارند، در حالی که شهرک‌های بزرگ‌تر مصرف الکل کمتری دارند. همچنین، مصرف الکل درزمان تعطیلات طولانی آخر هفته افزایش یافت، اما در زمان قرنطینه‌های کووید-۱۹، افزایش قابل توجهی نداشت. علاوه بر این، مصرف الکل در طول قرنطینه کووید-۱۹ نشان داد که در برخی موارد، میزان مصرف الکل در روزهای هفته بیشتر از آخر هفته‌ها بوده است. در این تحقیق مشخص گردید که میانگین کلی مصرف الکل (۱۲/۲ میلی‌لیتر به ازای هر نفر در روز) با بسیاری از نقاط بین‌المللی قابل مقایسه است، اما به‌طور قابل‌توجهی کمتر از آخرین گزارش WHO بر اساس فروش می‌باشد. درک این رابطه می‌تواند به افزایش ارزش و کاربرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در اندازه‌گیری مصرف الکل کمک کند. این رویکرد در مناطقی به کار می‌رود که هدف آن ارزیابی مصرف الکل و بار بیماری‌های مرتبط با آن است (۲۸). اگرچه نتایج پرسشنامه‌ای می‌تواند برای ارزیابی مصرف الکل در یک جامعه مفید باشد، اما نتیجه آن وابسته به تمایل ساکنان برای پر کردن پرسشنامه صادقانه و کامل می‌باشد و همچنین هزینه بالای این روش باعث می‌شود انجام مکرر آن غیرعملی باشد. بعلاوه در این رویکرد تنها تعداد کمی از جمعیت بررسی شده که رفتار آنها ممکن است نشان‌دهنده‌ی جامعه مورد مطالعه نباشد. اما، اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب توانایی ارزیابی مصرف را در هر جمعیت هدف، با هزینه‌ی نسبتاً کم و در زمان‌های مختلف دارا است (۲۹).

آلاینده‌های شیمیایی نوظهور

آلاینده‌های نوظهور، مواد شیمیایی مصنوعی یا طبیعی و یا عوامل بیولوژیکی هستند که به‌طور معمول در محیط‌زیست پایش نمی‌شوند،

اما پتانسیل ورود به محیط و ایجاد اثرات نامطلوب زیست‌محیطی و/ یا سلامت انسانی شناخته شده یا مشکوک را دارند. این آلاینده‌ها شامل مواردی مانند داروها و محصولات مراقبت شخصی (Pharmaceuticals and personal care product) PPCPs، آفت‌کش‌ها، میکروپلاستیک‌ها، ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز، مواد شیمیایی صنعتی، نانومواد و مواد پلی و پر فلوروآلکیل (Per/Polyfluoroalkyl) PFAS می‌باشند. این آلاینده‌ها می‌توانند از طریق مسیرهای مختلفی مانند تخلیه فاضلاب‌های شهری و صنعتی، رواناب کشاورزی، و دفع نامناسب زباله وارد محیط شوند و به آلودگی هوا، آب، خاک و غذا منجر شوند. در این راستا، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌توانند نقش کلیدی را ایفا کنند و مانعی برای حذف این ترکیبات قبل از تخلیه‌ی آنها به محیط زیست باشند (۳۰).

در حالیکه محققان در حال بررسی قابلیت استفاده از اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب برای نظارت بر تهدیدات بهداشت عمومی در خصوص آلاینده‌های نوظهور هستند، بررسی‌ها نشان داده که پایش فاضلاب می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در مورد خطرات زیست محیطی و بهداشت عمومی این آلاینده‌ها ارائه دهد. اما ممکن است عواملی مانند تغییرات در نرخ دفع و رقیق شدن آلاینده‌های نوظهور در اثر بارندگی، بر تفسیر نتایج در این موضوع اثرگذار باشند. آفت‌کش‌ها از جمله آلاینده‌های نوظهور هستند که در دفع و کنترل آفاتی مانند حیوانات، حشرات، میکروب‌های گیاهی و پاتوژن‌ها کاربرد دارند. استفاده از آفت‌کش‌ها در کشاورزی، با نگرانی در مورد اثرات نامطلوب بر سلامت انسان و محیط‌زیست همراه است. این اثرات شامل افزایش خطر مشکلات مادرزادی، بیماری‌های مزمن (مانند سرطان و دیابت)، اختلالات عصبی (مانند آلزایمر و بیماری پارکینسون) و بیماری‌های تولید مثلی است. قرار گرفتن در معرض آفت‌کش‌ها معمولاً از طریق رژیم غذایی و استفاده خانگی اتفاق می‌افتد. نتایج بررسی‌های اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب حاکی از آن است که در کشورهایی که فروش آفت‌کش بالاتر است مواجهه افراد با این مواد بیشتر است (۳۱).

اخیراً پیشنهاد شده است که پایش فاضلاب می‌تواند جایگزین مناسبی برای تجزیه و تحلیل نمونه‌های ادرار، جهت تخمین در معرض قرار گرفتن با فتالات باشد. با توجه به متابولیت‌های ادراری آلاینده‌های نوظهور، می‌توان از رویکرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب جهت بررسی میزان مواجهه افراد جامعه با این آلاینده‌ها، استفاده کرد و از این طریق روندهای زمانی و مکانی مواجهه را مقایسه کرده و مناطقی که احتمالاً بیشتر در معرض خطر مواجهه قرار دارند شناسایی و در ارزیابی خطر سلامت جهت جامعه در معرض استفاده شوند. از آنجایی که اثرات این آلاینده‌ها یک نگرانی جهانی است، اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب می‌تواند نقش مهمی را در درک و کاهش اثرات آنها بر جامعه ایفا کند (۳۲).

چالش‌ها و محدودیت‌های اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در خصوص عوامل شیمیایی

روش‌های نمونه‌برداری و نگهداری نمونه‌های شیمیایی: ترکیب فاضلاب ممکن است در طول روز به طور قابل توجهی متغیر باشد. این تغییرات تحت تأثیر زمان حداکثر مصرف روزانه آب، بارندگی و تخلیه‌های صنعتی قرار می‌گیرند. جمع‌آوری نمونه‌های معیار، که دقیقاً الگوهای مصرف یا مواجهه جامعه را منعکس کند، می‌تواند چالش‌برانگیز باشد (۳۳) و ناکافی بودن پروتکل‌های استاندارد جهت نمونه‌برداری و نگهداری نمونه‌های شیمیایی می‌تواند منجر به تنوع در کیفیت داده‌ها و مقایسه بین مطالعات شود (۳٤). پیشنهاد شده است که تجزیه و تحلیل مواد شیمیایی و داروها در فاضلاب به صورت دقیق از طریق نمونه‌برداری ترکیبی متناسب با جریان ۲٤ ساعته انجام می‌شود (۱).

روش سنجش آزمایشگاهی مواد شیمیایی: نشانگرهای شیمیایی در فاضلاب در غلظت‌های بسیار پایین حضور دارند، بنابر این روش استخراج و آنالیز آنها می‌تولند اثر مهمی بر روی داده‌های حاصله داشته باشد. کروماتوگرافی مایع با عملکرد بسیار بالا (UPLC) و کروماتوگرافی گازی(GC) به طور گسترده برای آنالیز آلاینده‌های شیمیایی موجود در فاضلاب استفاده می‌شوند (۱).

تأثیر ویژگی‌های فاضلاب بر پایداری و تشخیص مواد شیمیایی: پایداری مواد شیمیایی در فاضلاب بسته به ترکیب اصلی و شرایط موجود در فاضلاب متفاوت است. مطالعات نشان داده است که دما، pH، هیدرولیک شبکه فاضلاب، زمان ماند در شبکه، فرآیندهای جذب و نرخ‌های تجزیه زیستی بر پایداری داروها و مواد شیمیایی در فاضلاب تأثیر می‌گذارند. بیوفیلم‌ها نیز می‌توانند بر پایداری نشانگرهای زیستی مواد مخدر غیرقانونی تأثیر بگذارند. همچنین مقادیر مواد ذره‌ای در فاضلاب بر نتایج تأثیر می‌گذارند، به طوری که ممکن است بخش بزرگی از ماده شیمیایی هدف، به مواد ذره‌ای متصل شده باشند (۱).

منابع مالی مورد نیاز: آنالیزهای شیمیایی نمونه‌های فاضلاب نیازمند دستگاه‌های خاص و نیروی متخصص می‌باشد که لازمه‌ی انجام آن تأمین منابع مالی مناسب می‌باشد (۳۵).

محدودیت در برآورد دقیق سرانه مصرف: این محدودیت به خاطر عدم توانایی در تفکیک بین افرادی که مقدار زیادی را مصرف می‌کنند و آنهایی که مقدار کمتری را مصرف می‌کنند، می‌باشد (۳٦).

در حالی که کاربردهای شیمیایی اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب، ظرفیت افزایش نظارت بر سلامت عمومی و اطلاع‌رسانی سیاست‌ها و استراتژی‌های مداخله را دارد، محدودیت‌های فوق موانعی را ایجاد می‌کنند که باید مورد توجه قرار گیرند. برای غلبه بر این چالش‌ها، نیاز

به همکاری بین رشته‌ای، سرمایه‌گذاری در روش‌های تشخیصی، و ایجاد پروتکل‌های استاندارد شده جهت افزایش اطمینان در کاربرد اپیدمیولوژی فاضلاب برای ارزیابی رفتار سلامت جامعه، است.

کاربرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در تعیین بروز و بار بیماری‌های میکروبی در جامعه

نظارت بر وجود و فعالیت میکروب‌ها، مقاومت ضد میکروبی و پوشش واکسن، تصویر جامعی از وضعیت سلامت جامعه را به ما ارائه می‌دهد. این اطلاعات، برای تصمیم‌گیری‌ها در حیطه‌ی بهداشت عمومی بسیار مهم هستند و امکان مداخلات هدفمند و مدیریت بهتر بیماری‌های عفونی را فراهم می‌کنند. فاضلاب محیط ایده‌آلی را برای پایش و نظارت بر بسیاری از بیماری‌های عفونی فراهم می‌کند؛ زیرا نشان‌دهنده‌ی بار میکروارگانیسم‌های دفعی افراد تحت پوشش شبکه فاضلاب می‌باشد و بنابراین می‌تولند بار بیماری را در جامعه نشان دهد. پایش محیطی میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا، یک زمینه‌ی نوآورانه برای پایش بیماری‌های عفونی است و همچنان قابلیت رشد و پیشرفت دارد. تلاش‌های فعلی برای ارزیابی پتانسیل استفاده از فاضلاب خام و پساب واحدهای تصفیه فاضلاب برای ۱- نظارت بر بار بیماری های عفونی جامعه، ۲- ارزیابی تنوع و فراوانی مقاومت آنتی‌بیوتیکی، ۳- هشدار اولیه در مورد خطر بروز یک بیماری عفونی و ٤- برنامه‌های مدیریت آنتی‌بیوتیک‌ها و مداخله‌ی سلامت می‌باشد. اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب می‌تواند مکمل روش‌های اپیدمیولوژیک سنتی باشد و توانایی ما را در حفظ سلامت عمومی افزایش دهد.

کاربردهای میکروبی اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در زمینه بیماری های عفونی به طور خلاصه عبارتند از:

- می‌تواند سیگنال‌های هشدار اولیه شیوع بیماری را با شناسایی عوامل بیماری‌زا در فاضلاب قبل از ظهور موارد بالینی ارئه دهد، و بنابراین اجازه می‌دهد تا مداخلات بهداشت عمومی به موقع برای مهار گسترش بیماری انجام شود (۳۷).

- با نظارت دقیق بر تغییرات فراوانی و غلظت میکروارگانیسم‌های پاتوژن در فاضلاب در ارتباط با داده‌های بالینی، می‌توان از ردیابی گسترش یک بیماری در جامعه یا منطقه و شناسایی نقاط بحرانی بالقوه اطلاع حاصل نمود و با ارئه اطلاعات مناسب به اقدامات بهداشت عمومی کمک کرد (۳۸).

- می‌تواند به شناسایی منابع آلودگی و حفاظت از منابع آب و سلامت عمومی کمک کند (۳۹).

- با بررسی عوامل بیماری‌زای مشترک انسان و حیوان (zoonotic) به محققان این امکان را می‌دهد تا بیماری‌های موجود در دام‌ها یا جمعیت حیات‌وحش را بررسی کنند (٤۰).

- می‌تواند با اطلاع‌رسانی و تأیید خط‌مشی‌های بهداشت عمومی، به تخصیص منابع به مناطقی با بیشترین نیاز کمک کند که شامل مداخلات بهداشتی و ارزیابی اثربخشی کمپین‌های واکسیناسیون است (٤۱).

برخی از مطالعات مهم در حیطه کاربرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در تعیین بروز و بار بیماری‌های میکروبی در جامعه در جدول ۲ ارائه شده است.

ویروس‌ها

کمبود نظارت در سطح جامعه نسبت به بیماری‌های عفونی ممکن است بر گسترش بیماری به طور قابل توجهی اثر داشته باشد، زیرا که بیماران مبتلا تا زمانی که به مراکز درمانی مراجعه نکنند شناسایی نمی‌شوند و از طرف دیگر بعضی از افراد ممکن است حامل بدون علامت باشند (۱). ویروس‌ها، به‌ویژه آن دسته که از طریق مدفوعی- دهانی منتقل می‌شوند، بخش قابل‌توجهی از میکروب‌های موجود در فاضلاب را تشکیل می‌دهند و عامل اصلی شیوع بسیاری از بیماری‌ها هستند. در نتیجه، اندازه‌گیری غلظت ویروس‌ها در فاضلاب می‌تواند به عنوان شاخصی برای سنجش میزان آلودگی جمعیت به این عوامل بیماری‌زا باشد. به عبارت دیگر، اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب فرصت ارائه داده‌های جامعه تحت پوشش سیستم فاضلاب را در مورد حضور پاتوژن‌ها به منظور تکمیل و/یا افزایش روش‌های موجود نظارت بالینی و فعالیت‌های بهداشت عمومی از طریق روش های زیر فراهم می‌کند: ۱- شناسایی انتشار ویروس در جوامعی که دارای افرادی است که با سیستم‌های بهداشتی تعامل نداشته و یا حاملین سالم در آن وجود دارند، ۲- شناسایی مکان‌های استراتژیک برای اجرای مداخلات بهداشتی و اقدامات پیشگیرانه و ۳- ردیابی تغییرات در اپیدمیولوژی بیماری مورد نظر (۱).

از جمله مهم‌ترین گروه‌های ویروسی که معمولاً در آب و فاضلاب یافت می‌شوند، می‌توان به آدنوویروس‌ها (عامل بیماری‌های تنفسی و گوارشی)، آستروویروس‌ها، انتروویروس‌ها، ویروس‌های هپاتیت A و E، نوروویروس‌ها (عامل اصلی گاستروانتریت) و روتاویروس‌ها (عامل اسهال در کودکان) اشاره کرد (٤۲). مطالعات نشان داده است که این ویروس ها به تعداد بسیار زیاد در مدفوع افراد آلوده (تا چند میلیارد نسخه در هر گرم مدفوع) وجود دارند (٤۳). پایش پولیوویروس (نوعی انتروویروس)، عامل فلج اطفال، از اولین کاربردهای اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در جهان بود. در سال ۲۰۰۳ در کوبا کارآیی کمپین واکسیناسیون علیه این ویروس با اندازه‌گیری غلظت این ویروس در فاضلاب بررسی شد. نتایج این مطالعه نشان داد که قبل از شروع کمپین واکسیناسیون، پولیوویروس در ۱۰۰ درصد نمونه‌های فاضلاب شناسایی شده است. اما پس از ۱۵ هفته از آغاز کمپین، نرخ تشخیص این ویروس در فاضلاب به صفر کاهش یافت، که نشان‌دهنده ارزشمندی پایش فاضلاب است (٤٤).

جدول ۲. مطالعات اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در حیطه‌ی عوامل میکروبی

نویسنده اول (سال)	مکان مطالعه	عامل میکروبی مورد مطالعه	نتیجه اصلی	مرجع
Yargeau و همکاران (۲۰۲۰)	هند، هنگ‌کنگ، فیلیپین، سوئد، سوئیس و آمریکا	ژن‌های مقاومت آنتی‌بیوتیکی	نتایج این مطالعه نشان داد که بیشترین میزان ژن‌های مقاومت آنتی‌بیوتیکی در هنگ‌کنگ و هند و کمترین میزان در سوئد و سوئیس بود. تفاوت‌های منطقه‌ای در مقاومت به آنتی‌بیوتیک‌ها به سیاست‌های ملی، غلظت آنتی‌بیوتیک‌ها و ژن‌های مقاومت فلزی مرتبط بود. این مطالعه نشان می‌دهد که پایش فاضلاب می‌تواند ابزاری مکمل برای داده‌های مصرف عمومی آنتی‌بیوتیک باشد.	(۱۰)
Bishop و همکاران (۲۰۲۰)	آمریکا	ژن‌های مقاومت آنتی‌بیوتیکی	این مطالعه الگوهای مقاومت به آنتی‌بیوتیک را در مراحل مختلف تصفیه در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب با استفاده از داده‌های متاژنومیک ارزیابی کرد. الگوهای ارتباط بین ژن‌ها و پاتوژن‌ها در فاضلاب خروجی مشابه داده‌های نظارت بالینی منطقه‌ای بود. این مطالعه پیشنهاد می‌کند که خروجی فاضلاب نقطه‌ای مؤثر برای پایش شرایط محلی و ارزیابی کارایی تصفیه فاضلاب در کاهش انتشار مقاومت آنتی‌بیوتیکی است.	(۹)
Li و همکاران (۲۰۱۹)	استرالیا	SARS-CoV-2	در این مطالعه، RNA ویروس SARS-CoV-2 از فاضلاب یک منطقه در استرالیا استخراج و شمارش شد. با استفاده از مدل‌سازی مونت کارلو، تعداد مبتلایان بین ۱۷۱ تا ۱۰۹۰ نفر برآورد شد که این تخمین با مشاهدات بالینی مطابقت داشت.	(۷)
Lai و همکاران (۲۰۱۶)	هند	ویروس SARS-CoV-2	این مطالعه دینامیک RNA ویروس SARS-CoV-2 را در فاضلاب ۹ تصفیه‌خانه در جیپور طی موج دوم کووید-۱۹ در هند پایش کرد. نتایج این مطالعه فراوانی بالای ویروس را ۲۰ روز زودتر از اوج موارد بالینی نشان داد.	(۸)
Lago و همکاران (۲۰۰۳)	کوبا	ویروس فلج اطفال	این مطالعه نشان داد که نمونه‌برداری از فاضلاب می‌تواند به‌عنوان مکمل مؤثری در نظارت بر فلج اطفال استفاده شود. ویروس تا هفته هفتم در نمونه‌های مدفوع کودکان و تا هفته پانزدهم در نمونه‌های فاضلاب شناسایی شد. یافته‌ها بر نقش مهم نظارت فاضلاب در پایش پس از ریشه‌کنی ویروس پولیو تأکید می‌کند.	(۴۴)

علاوه بر ویروس‌های منتقله از طریق آب، گروه دیگری از ویروس‌ها نیز در فاضلاب و مدفوع انسان شناسایی شده‌اند که لزوماً از طریق آب منتقل نمی‌شوند. این ویروس‌ها نیز می‌توانند اطلاعات ارزشمندی در مورد شیوع بیماری‌ها در جامعه ارائه دهند. به عبارت دیگر، استفاده از روش‌های اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب می‌تواند فراتر از شناسایی ویروس‌های منتقله از طریق آب بوده و به عنوان ابزاری قدرتمند برای پایش و کنترل طیف وسیعی از بیماری‌های عفونی به کار رود (۲). به هر حال نکته قابل توجه این است که اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب جهت نظارت بر پاتوژن‌های ویروسی هنگامی مفید می باشد، که نشانگرهای عفونت ویروسی خاص در مدفوع، ادرار یا استفراغ حضور داشته باشند (۱).

به عنوان مثال، مطالعات نشان داده‌اند که کروناویروس‌ها، از جمله SARS-CoV-2، در فاضلاب و نمونه‌های مدفوع و ادرار انسان شناسایی شده‌اند. همچنین، وجود ویروس آنفلوآنزا نیز در نمونه‌های مدفوع و ادرار انسانی و فاضلاب گزارش شده است. علاوه بر این، ویروس‌های مرتبط با پشه‌ها مانند زیکا، نیل غربی، دانگ و تب زرد نیز در نمونه‌های ادرار انسان تشخیص داده شده‌اند (۲). این مشاهدات نشان می‌دهند که روش اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب می‌تواند برای بررسی طیف گسترده‌ای از ویروس‌ها، فراتر از ویروس‌های تأیید شده مرتبط با آب، مورد استفاده قرار گیرد. البته باید توجه داشت که داده‌های کافی در مورد دفع مدفوعی ویروس‌های روده‌ای وجود دارد زیرا که انتقال این ویروس‌ها از طریق مسیر مدفوعی- دهانی صورت می‌گیرد. با این حال، برآوردهای کمی از ریزش مدفوعی ویروس‌های تنفسی کمتر مورد بررسی قرار گرفته‌اند زیرا مسیر اصلی انتقال آنها از طریق ذرات آئروسل و سیستم تنفسی است، نه آلودگی آب یا غذا. برای بیشتر ویروس‌های غیرروده‌ای، مطالعات دفع مدفوعی محدود به حضور و غیاب ویروس بوده است و زمانی انجام می‌شود که علائم گوارشی نیز تجربه شده باشد. علاوه بر این، دینامیک ریزش مدفوعی و ادراری ویروس‌های تنفسی ممکن است با ریزش در سایر ارگان ها هم‌خوانی نداشته باشد. برای مثال، ریزش طولانی مدت ویروس آنفلوانزای پرندگان H7N9 در نمونه‌های مدفوعی و ادراری پس از منفی شدن نمونه‌های تنفسی مشاهده شده است و تشخیص ویروس در ادرار بیمارانی باعلائم شدیدتر، شایع‌تر بوده است (۱). در مجموع، جهت بکارگیری اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب جهت برآورد بار

بیماری‌های ویروسی بایستی در نظر داشت که الگوهای ریزش ذرات ویروسی احتمالاً تحت تأثیر چندین عامل قرار می‌گیرند، از جمله عوامل ویروس‌محور (مانند محل عفونت، دوره کمون) و عوامل میزبان محور (مانند شدت علائم، حساسیت به عفونت و سن) (۱).

کووید-۱۹

همه‌گیری کووید-۱۹ اهمیت ارتباطات جهانی در حوزه‌ی سلامت را برجسته کرد. بررسی فاضلاب به عنوان یک ابزار اپیدمیولوژیک قدرتمند، توانایی شناسایی زودهنگام و دقیق ویروس SARS-CoV-2را در جوامع نشان داده است. این روش با تشخیص ویروس در فاضلاب، حتی در افرادی که علائم بالینی ندارند، امکان نظارت مداوم بر شیوع بیماری را فراهم می‌کند (۴۵، ۴۶). یک مطالعه‌ی ایرانی در مراحل اولیه همه‌گیری کووید-۱۹، ارتباط بین موارد بالینی گزارش شده کووید-۱۹ و غلظت (Ribonucleic acid) RNA این ویروس در فاضلاب شهری اصفهان را گزارش کرد (۴۷).

تحقیقات در کشورهای مختلف نشان داده است که غلظت RNA ویروسی در فاضلاب با روند اپیدمیولوژیک بیماری کووید-۱۹ همبستگی دارد. برای مثال، در برزیل، بیشترین بار ویروسی در فاضلاب همزمان با موج دوم همه‌گیری مشاهده شد که نشان از توانایی این روش در بازتاب دقیق شیوع بیماری دارد (۴۸). همچنین، مطالعات در ایالات متحده حاکی از آن است که پایش فاضلاب قادر به شناسایی موارد بدون علامت و گزارش نشده بیماری است و به این ترتیب، تصویر جامع‌تری از گسترش ویروس ارائه می‌دهد. در ایتالیا نیز، اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب به عنوان یک سیستم هشدار زود هنگام عمل کرده و امکان تشخیص ویروس SARS-CoV- 2 را حتی قبل از مشاهده موارد بالینی گسترده فراهم کرده است. این امر نشان می‌دهد که این روش می‌تواند به عنوان یک ابزار ارزشمند در تصمیم‌گیری‌های بهداشتی و برنامه‌ریزی برای مقابله با همه‌گیری‌ها مورد استفاده قرار گیرد (۵).

در جیپور هند، علیرغم سیستم فاضلاب پراکنده، ارتباط مستقیمی بین بار ویروسی در فاضلاب و تعداد موارد گزارش شده بیماری مشاهده شد. در ایالات متحده نیز، داده‌های حاصل از نظارت بر فاضلاب توانسته‌اند روندهای مختلف همه‌گیری، از جمله ظهور سویه‌های جدید، را با دقت بالایی ردیابی کنند و اطلاعات ارزشمندی را برای تصمیم‌گیری در مورد تخصیص منابع فراهم کنند (۶۰). مطالعه زیاد در زمینه کاربرد اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب جهت SARS-CoV-2، منجر به دستیابی به اطلاعات کمی و زمانی مرتبط با دفع مدفوعی RNA این ویروس گردید که نشان می‌دهد دفع مدفوعی در اوایل دوره چرخه عفونت بیشتر است و سپس کاهش می‌یابد و چندین روز پس از رفع علائم و ریزش تنفسی، ادامه می‌یابد (۱).

تحقیقات انجام شده در سوئد توسط مرکز اپیدمیولوژی زیست محیطی سوئد (Swedish Environmental Epidemiology SEEC (Center و دانشگاه علوم کشاورزی سوئد (Swedish SLU (University of Agricultural Sciences نیز نشان داده است که افزایش سطح RNA ویروسی در فاضلاب می‌تواند ۱ تا ۲ هفته قبل از افزایش موارد گزارش شده بیماری رخ دهد. این قابلیت، اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب را به یک سیستم هشدار زود هنگام مؤثر برای مداخلات بهداشتی تبدیل کرده است (۴۹).

مقاومت ضد میکروبی AMR (Antimicrobial resistance)

آنتی‌بیوتیک‌ها داروهای رایج برای درمان بیماری‌های باکتریایی و یکی از کلاس‌های اصلی داروهای ضدمیکروبی هستند. استفاده گسترده و نامناسب از آنتی‌بیوتیک‌ها در پزشکی انسانی و دامپزشکی اغلب با افزایش مقاومت باکتریایی به این مواد شیمیایی همراه است. قرار گرفتن انسان در معرض باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک ARB (Antibiotic-resistant bacteria) یک نگرانی بهداشت عمومی یا به اصلاح «همه‌گیری خاموش» است که می‌تواند به روش‌های مختلفی رخ دهد و یکی از بزرگترین چالش‌های سلامت انسان در قرن ۲۱ است. به نظر می‌رسد که فاضلاب نقش مهمی در انتشار باکتری‌ها و ژن‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک (Antibiotic resistance genes) ARGs در محیط زیست ما دارد (۵۰، ۵۱).

از سوی دیگر، در سال‌های اخیر پایش فاضلاب به عنوان رویکردی جهت ارزیابی مقاومت آنتی‌بیوتیکی (باکتری و ژن‌های مقاوم) در جامعه توجه ویژه‌ای را به خود جلب کرده است. به عنوان مثال استفاده از اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب جهت پایش ژن‌های مقاومت آنتی‌بیوتیکی در فاضلاب بررسی شده است، این داده‌ها می‌توانند به استراتژی‌های بهداشت عمومی در مبارزه با تهدید رو به رشد باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک کمک کنند (۵۲). اما در مقایسه با پاتوژن‌های ویروسی که در قسمت قبلی توضیح داده شد، نظارت بر مقاومت ضد میکروبی پیچیده‌تر است زیرا به عنوان مثال مخازن مشخصی برای میکروارگانیسم‌های مقاوم وجود ندارد و ژن‌های مقاوم موجود در باکتری های مدفوعی می توانند از طریق انتقال افقی ژن‌های مقاوم HGT (Horizontal gene transfer) در محیط‌های آبی مانند فاضلاب، بین باکتری‌ها حتی باکتری‌های غیر مرتبط، منتقل شوند.

علاوه بر این، باکتری‌ها مقاوم قادر به تکثیر در محیط هستند و حضور باقیمانده‌های آنتی‌بیوتیکی، فلزات سنگین و مواد ضدمیکروبی در فاضلاب می‌تولند مقاومت آنتی‌بیوتیکی باکتری‌ها را تحت تأثیر قرار دهد و بنابراین، فراوانی آن‌ها در خارج از بدن انسان افزایش یابد.

چالش‌ها و محدودیت‌های اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در خصوص عوامل میکروبی

- پیچیدگی نمونه‌برداری و آنالیز: ترکیب پیچیده فاضلاب و

وجود میکروارگانیسم‌ها در غلظت‌های پایین، نیازمند روش‌های بسیار حساس و دقیق برای نمونه‌برداری وآنالیز است. تعیین مکان‌های مناسب برای نمونه‌برداری و تفسیر تغییرات جمعیت میکروبی در فاضلاب نیز از جمله چالش‌های این روش است (۵۳). در نمونه‌برداری از پساب برای شناسایی پاتوژن‌های میکروبی ممکن است از روش‌های دوره‌ای مبتنی بر جریان استفاده شود، اما معمولاً از طریق نمونه‌برداری نقطه‌ای یا مرکب انجام می‌شود (۱).

– اثرات ویژگی‌های فاضلاب بر پایداری پاتوژن‌های میکروبی: ویژگی‌های فاضلاب می‌تواند بر پایداری و توانایی بیماریزایی میکروارگانیسم پاتوژن اثر گذارد. به عنوان مثال در ردیابی پاتوژن های میکروبی از جمله ویروس‌ها از طریق روش‌های مولکولی، اهداف DNA معمولا نسبت به اهداف RNA پایدارتر هستند. همچنین ویروس‌های دارای پوشش لیپیدی (شامل ویروس‌های آنفلوانزا، کرونا‌ویروس‌ها و پاراآنفلوآنزا) معمولاً در محیط ناپایدارتر از ویروس‌های بدون پوشش لیپیدی (شامل انتروویروس‌ها، نوروویروس‌ها و آدنوویروس‌ها) هستند (۱).

– تفاوت بین قطعات ژنتیکی و پلتوژن زنده: تشخیص DNA (Deoxyribonucleic acid) یا RNA میکروبی لزوماً نشان‌دهنده‌ی وجود پاتوژن زنده نیست. تمایز بین سلول‌های زنده و مرده از نظر فنی دشوار بوده و برای ارزیابی دقیق وضعیت سلامت عمومی حائز اهمیت است (٥٤).

– تأخیر زمانی: بین تشخیص پاتوژن در فاضلاب و بروز علائم بیماری در افراد، معمولاً یک فاصله زمانی وجود دارد که می‌تواند تفسیر نتایج را پیچیده کند (۵۵).

– نیاز به زیرساخت و تخصص: اجرای آنالیزهای میکروبی در مقیاس بزرگ نیازمند زیرساخت‌های مناسب، بودجه کافی و نیروی متخصص است (۳۵).

– ظهور پاتوژن‌های جدید: ظهور پاتوژن‌های جدید می‌تولند به سرعت شرایط را تغییر داده و نیاز به توسعه مداوم روش‌های تشخیصی را ایجاد کند (٥٦).

برای رفع این چالش‌ها، نیاز به تحقیقات بیشتر، استانداردسازی روش‌ها و همکاری بین‌رشته‌ای است. با توسعه روش‌های مولکولی پیشرفته، بهبود زیرساخت‌ها و ایجاد شبکه‌های نظارتی قوی، می‌توان از پتانسیل کامل اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب در حوزه سلامت عمومی بهره‌مند شد (۵۷).

بحث

آینده‌ی اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب بسیار امیدوارکننده است. این روش نه تنها در ردیابی بیماری‌هایی مانند کووید-۱۹ کاربرد دارد، بلکه می‌تولند برای نظارت بر جنبه‌های مختلف سلامت، از جمله نشانگرهای زیستی مرتبط با تغذیه و سبک زندگی، مورد استفاده قرار گیرد. با ترکیب داده‌های اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب با اطلاعات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی، می‌توان به بینش‌های ارزشمندی در مورد وضعیت جامعه هدف دست یافت که تاکنون امکان‌پذیر نبوده است (۵۸). در آینده، اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب می‌تولند به ابزاری قدرتمند برای نظارت بر مقاومت ضدمیکروبی در سطح جهانی تبدیل شود. با همکاری بین‌رشته‌ای، می‌توان داده‌های حاصل از این روش را با اطلاعات دیگر ترکیب کرده و تصمیم‌گیری‌های مبتنی بر شواهد را در حوزه‌ی سلامت عمومی تسهیل نمود (۵۹).

با این حال، برای تحقق این پتانسیل، چالش‌هایی همچون پیچیدگی ترکیب فاضلاب و نیاز به روش‌های آنالیز دقیق باید برطرف شوند. خوشبختانه، با پیشرفت فناوری‌های نوین، به ویژه حسگرهای زیستی و تجزیه و تحلیل ژنومی، می‌توان به این اهداف دست یافت. این فناوری‌ها امکان نظارت دقیق‌تر و برخط تغییرات در ترکیب فاضلاب را فراهم کرده و به شناسایی زود هنگام تهدیدات جدید، کمک می‌کنند. هم چنین اگر قرار است اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب نقش ویژه ای را در حفاظت بهداشت عمومی ایفاء کند، مجموعه‌ای از داده‌های قابل مقایسه در جوامع و کشورها نیاز است. به‌ویژه، باید توسعه و اعتبارسنجی این رویکرد در حفاظت بهداشت عمومی برای جوامع با درآمد پایین در نظر گرفته شود.

به طور خلاصه، اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب با ارائه هشدارهای زودهنگام، شناسایی تهدیدات نوظهور و اطلاع‌رسانی جهت مداخلات هدفمند، نقش بسیار مهمی در حفظ سلامت جمعیت ایفا خواهد کرد.

نتیجه‌گیری

اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب، به عنوان یک ابزار نوآورانه و قدرتمند، در سال‌های اخیر تحولات شگرفی را در حوزه‌ی نظارت بر سلامت عمومی و محیط‌زیست ایجاد کرده است. با تجزیه و تحلیل دقیق ترکیبات شیمیایی و زیستی فاضلاب، می‌توان به اطلاعات ارزشمندی در مورد شیوه‌های زندگی، مواجهه‌های محیطی و الگوهای بیماری دست یافت. با این حال، برای بهره‌برداری کامل از این پتانسیل، باید به چالش‌هایی مانند پیچیدگی ماتریس فاضلاب، تغییرات فصلی و روزانه در ترکیب آن، و همچنین مسائل مربوط به استانداردسازی روش‌های نمونه برداری و آنالیز توجه ویژه شود. با وجود چالش‌ها، آینده اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضلاب بسیار امیدوارکننده است. پیشرفت‌های اخیر در زمینه‌های مختلف مانند ژنومیکس، بیوانفورماتیک و حسگرهای زیستی، امکان توسعه‌ی روش‌های سریع‌تر، دقیق‌تر و کم‌هزینه‌تر برای پایش فاضلاب را فراهم کرده

اســـت. برای تحقق پتانســـیل کامل این روش، همکاری نزدیک بین دانشـمندان، مهندسـان، سـیاسـت‌گذاران و افراد جامعه ضـروری اسـت. همچنین، ایجاد استانداردهای جهانی برای نمونه‌برداری، آنالیز و تفسیر داده‌ها، از اهمیت بالایی برخوردار اسـت. در نهایت، می‌توان گفت که اپیدمیولوژی مبتنی بر فاضـــلاب به عنوان یک ابزار پیش‌بینی‌کننده، می‌تواند نقش مهمی در بهبود ســـلامت عمومی ایفا کند. این روش با ارائه اطلاعات دقیق و به موقع، به تصـــمیم‌گیران کمک می‌کند تا اقدامات پیشـــگیرانه مؤثرتری را اتخاذ کنند و به این ترتیب، آینده‌ای سالم‌تر را برای نسل‌های آینده تضمین کنند.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با حمایت دانشگاه علوم پزشکی اصفهان بر اساس طرح مصـــوب با شـــماره‌ی ۱۴۰۲۲۸۵ انجام شـــد. بدین منظور از معاونت پژوهشی این دانشگاه تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

References

1. Robins K, Leonard AFC, Farkas K, Graham DW, Jones DL, Kasprzyk-Hordern B, et al. Research needs for optimising wastewater-based epidemiology monitoring for public health protection. J Water Health 2022; 20(9): 1284–313.
2. Singer AC, Thompson JR, Filho CRM, Street R, Li X, Castiglioni S, et al. A world of wastewater-based epidemiology. Nat Water 2023; 1(5): 408–15.
3. Castiglioni S, Bijlsma L, Covaci A, Emke E, Hernández F, Reid M, et al. Evaluation of uncertainties associated with the determination of community drug use through the measurement of sewage drug biomarkers. Environ Sci Technol 2013; 47(3): 1452–60.
4. WHO. Guidelines for environmental surveillance of poliovirus circulation. Geneva, Switzerland: World Health Organization; 2003.
5. Gwenzi W, Adelodun B, Kumar P, Ajibade FO, Silva LFO, Choi KS, et al. Human viral pathogens in the wastewater-source water-drinking water continuum: Evidence, health risks, and lessons for future outbreaks in low-income settings. Sci Total Environ 2024; 918: 170214.
6. Nutt D, King LA, Saulsbury W, Blakemore C. Development of a rational scale to assess the harm of drugs of potential misuse. Lancet 2007; 369(9566): 1047–53.
7. Li X, Du P, Zhang W. Application of wastewater-based epidemiology in China—from wastewater monitoring to drug control efforts. In: Wastewater-Based Epidemiology: Estimation of Community Consumption of Drugs and Diets. ACS Publications; 2019. p. 119–35.
8. Lai FY, O'Brien JW, Thai PK, Hall W, Chan G, Bruno R, et al. Cocaine, MDMA and methamphetamine residues in wastewater: Consumption trends (2009–2015) in South East Queensland, Australia. Sci Total Environ 2016; 568: 803–9.
9. Bishop N, Jones-Lepp T, Margetts M, Sykes J, Alvarez D, Keil DE. Wastewater-based epidemiology pilot study to examine drug use in the Western United States. Sci Total Environ. 2020;745:140697.
10. Yargeau V, Taylor B, Li H, Rodayan A, Metcalfe CD. Analysis of drugs of abuse in wastewater from two Canadian cities. Sci Total Environ 2014; 487: 722–30.
11. Pacheco FA. Illicit drugs in wastewater treatment plants utilization of wastewater-based epidemiology in a Brazilian regional city. World J Adv Res Rev 2020; 6(1): 6–18.
12. Commandeur JJF, Vujic S, Koopman SJ, Kasprzyk-Hordern B. Temporal, Spatial, Economic and Crime Factors in Illicit Drug Usage across European Cities. Tinbergen Institute Discussion Paper; 2014.
13. Humphries MA, Bruno R, Lai FY, Thai PK, Holland BR, O'Brien JW, et al. Evaluation of monitoring schemes for wastewater-based epidemiology to identify drug use trends using cocaine, methamphetamine, MDMA and methadone. Environ Sci Technol 2016; 50(9): 4760–8.
14. van Dyken E, Thai P, Lai FY, Ort C, Prichard J, Bruno R, et al. Monitoring substance use in prisons: Assessing the potential value of wastewater analysis. Sci Justice 2014; 54(5): 338–45.
15. Castiglioni S, Borsotti A, Senta I, Zuccato E. Wastewater analysis to monitor spatial and temporal patterns of use of two synthetic recreational drugs, ketamine and mephedrone, in Italy. Environ Sci Technol 2015; 49(9): 5563–70.
16. Du P, Zhou Z, Bai Y, Xu Z, Gao T, Fu X, et al. Estimating heroin abuse in major Chinese cities through wastewater-based epidemiology. Sci Total Environ 2017; 605: 158–65.
17. Rice J, Kannan AM, Castrignanò E, Jagadeesan K, Kasprzyk-Hordern B. Wastewater-based epidemiology combined with local prescription analysis as a tool for temporalmonitoring of drugs trends-A UK perspective. Sci Total Environ 2020; 735: 139433.
18. González-Mariño I, Gracia-Lor E, Rousis NI, Castrignano E, Thomas KV, Quintana JB, et al. Wastewater-based epidemiology to monitor synthetic cathinones use in different European countries. Environ Sci Technol 2016; 50(18): 10089–96.
19. Brandeburová P, Bodík I, Horáková I, Žabka D, Castiglioni S, Salgueiro-González N, et al. Wastewater-based epidemiology to assess the occurrence of new psychoactive substances and alcohol consumption in Slovakia. Ecotoxicol Environ Saf 2020; 200: 110762.
20. Chen Y-C, Hsu J-Y, Chang C-W, Chen P-Y, Lin Y-C, Hsu I-L, et al. Investigation of new psychoactive substances (NPS), other illicit drugs, and drug-related compounds in a Taiwanese wastewater sample using high-resolution mass-spectrometry-based targeted and suspect screening. Molecules 2023; 28(13): 5040.

21. Shin C, Kim Y-K. Ketamine in major depressive disorder: mechanisms and future perspectives. Psychiatry Investig 2020; 17(3): 181.
22. Lu H, Fan J, Guo C, Yang J, Zhang H, Chen M, et al. Estimating the prevalence of depression using wastewater-based epidemiology: A case study in Qinghai Province, West China. Sci Total Environ 2023; 882: 163303.
23. Metcalfe CD, Chu S, Judt C, Li H, Oakes KD, Servos MR, et al. Antidepressants and their metabolites in municipal wastewater, and downstream exposure in an urban watershed. Environ Toxicol Chem 2010; 29(1): 79–89.
24. Gushgari AJ, Venkatesan AK, Chen J, Steele JC, Halden RU. Long-term tracking of opioid consumption in two United States cities using wastewater-based epidemiology approach. Water Res 2019; 161: 171–80.
25. Jaunay EL, Simpson BS, White JM, Gerber C. Using wastewater-based epidemiology to evaluate the relative scale of use of opioids. Sci Total Environ 2023; 897: 165148.
26. Casas ME, Schröter NS, Zammit I, Castaño-Trias M, Rodriguez-Mozaz S, Gago-Ferrero P, et al. Showcasing the potential of wastewater-based epidemiology to track pharmaceuticals consumption in cities: comparison against prescription data collected at fine spatial resolution. Environ Int 2021; 150: 106404.
27. Driver EM, Gushgari A, Chen J, Halden RU. Alcohol, nicotine, and caffeine consumption on a public US university campus determined by wastewater-based epidemiology. Sci Total Environ 2020; 727: 138492.
28. Wilson MK, Phung K, Chappell A, Pilkington LI. Wastewater-based epidemiology to investigate spatio-temporal trends in alcohol consumption in Aotearoa, New Zealand. Chem Asian J 2024; 19(6): e202301120.
29. Jones CM, Paulozzi LJ, Mack KA, (CDC) C for DC and P. Alcohol involvement in opioid pain reliever and benzodiazepine drug abuse-related emergency department visits and drug-related deaths-United States, 2010. MMWR Morb Mortal Wkly Rep 2014; 63(40): 881–5.
30. Sousa JCG, Ribeiro AR, Barbosa MO, Pereira MFR, Silva AMT. A review on environmental monitoring of water organic pollutants identified by EU guidelines. J Hazard Mater 2018; 344: 146–62.
31. Tudi M, Li H, Li H, Wang L, Lyu J, Yang L, et al. Exposure routes and health risks associated with pesticide application. Toxics 2022; 10(6): 335.
32. González-Mariño I, Rodil R, Barrio I, Cela R, Quintana JB. Wastewater-based epidemiology as a new tool for estimating population exposure to phthalate plasticizers. Environ Sci Technol 2017; 51(7): 3902–10.
33. Arabzadeh R, Grünbacher DM, Insam H, Kreuzinger N, Markt R, Rauch W. Data filtering methods for SARS-CoV-2 wastewater surveillance. Water Sci Technol 2021; 84(6): 1324–39.
34. Cardenes I, Hall JW, Eyre N, Majid A, Jarvis S. Quantifying the energy consumption and greenhouse gas emissions of changing wastewater quality standards. Water Sci Technol 2020; 81(6): 1283–95.
35. Swain MJ, Carter B, Snowdon K, Faust RA. The implementation and utilization of wastewater-based epidemiology: experiences from a local health department. J Public Heal Manag Pract 2023; 29(3): 322–5.
36. Laimou-Geraniou M, Heath D, Heath E. Analytical methods for the determination of antidepressants, antipsychotics, benzodiazepines and their metabolites through wastewater-based epidemiology. Trends Environ Anal Chem 2023; 37: e00192.
37. de Lourdes Aguiar-Oliveira M, Campos A, Matos AR, Rigotto C, Sotero-Martins A, Teixeira PFP, et al. Wastewater-based epidemiology (Wbe) and viral detection in polluted surface water: A valuable tool for covid-19 surveillance—a brief review. Int J Environ Res Public Health 2020; 17(24): 9251.
38. Mao K, Zhang H, Pan Y, Yang Z. Biosensors for wastewater-based epidemiology for monitoring public health. Water Res 2021; 191: 116787.
39. Zahedi A, Monis P, Deere D, Ryan U. Wastewater-based epidemiology—surveillance and early detection of waterborne pathogens with a focus on SARS-CoV-2, Cryptosporidium and Giardia. Parasitol Res 2021; 120(12): 4167–88.
40. Elahi E, Zhang L, Abid M, Javed MT, Xinru H. Direct and indirect effects of wastewater use and herd environment on the occurrence of animal diseases and animal health in Pakistan. Environ Sci Pollut Res 2017; 24(7): 6819–32.
41. Dharmadhikari T, Yadav R, Dastager S, Dharne M. Translating SARS-CoV-2 wastewater-based epidemiology for prioritizing mass vaccination: a strategic overview. Environ Sci Pollut Res 2021; 28(31): 42975–80.
42. Gholipour S, Hosseini M, Nikaeen M, Hadi M, Sarmadi M, Saderi H, et al. Quantification of human adenovirus in irrigation water-soil-crop continuum: are consumers of wastewater-irrigated vegetables at risk? Environ Sci Pollut Res 2022; 29(36): 54561-70.
43. Xagoraraki I, O'Brien E. Wastewater-based epidemiology for early detection of viral outbreaks. Women water Qual 2019; 75–97.
44. Lago PM, Gary Jr HE, Pérez LS, Cáceres V, Olivera JB, Puentes RP, et al. Poliovirus detection in wastewater and stools following an immunization campaign in Havana, Cuba. Int J Epidemiol 2003; 32(5): 772–7.
45. Gholipour S, Ghalhari MR, Nikaeen M, Rabbani D, Pakzad P, Miranzadeh MB. Occurrence of viruses in sewage sludge: A systematic review. Sci Total Environ 2022; 824: 153886.
46. Gholipour S, Rabbani D, Nikaeen M. Presence of coronavirus, enterovirus and adenovirus in municipal wastewater as indicators of the prevalence of associated viral infections in the community [in Persian]. J Maz Univ Med Sci 2021; 31(197): 44–54.
47. Gholipour S, Mohammadi F, Nikaeen M, Shamsizadeh Z, Khazeni A, Sahbaei Z, et al. COVID-19 infection risk from exposure to aerosols of wastewater treatment plants. Chemosphere 2021; 273: 129701.

48. Prado T, Fumian TM, Mannarino CF, Resende PC, Motta FC, Eppinghaus ALF, et al. Wastewater-based epidemiology as a useful tool to track SARS-CoV-2 and support public health policies at municipal level in Brazil. Water Res 2021; 191: 116810.
49. Perez-Zabaleta M, Archer A, Khatami K, Jafferali MH, Nandy P, Atasoy M, et al. Long-term SARS-CoV-2 surveillance in the wastewater of Stockholm: What lessons can be learned from the Swedish perspective? Sci Total Environ 2023; 858: 160023.
50. Gholipour S, Shamsizadeh Z, Gwenzi W, Nikaeen M. The bacterial biofilm resistome in drinking water distribution systems: A systematic review. Chemosphere 2023; 329: 138642.
51. Gholipour S, Nikaeen M, Mohammadi F, Rabbani D. Antibiotic resistance pattern of waterborne causative agents of healthcare-associated infections: A call for biofilm control in hospital water systems. J Infect Public Health 2024; 17(7): 102469.
52. Gholipour S, Shamsizadeh Z, Halabowski D, Gwenzi W, Nikaeen M. Combating antibiotic resistance using wastewater surveillance: Significance, applications, challenges, and future directions. Sci Total Environ 2024; 908: 168056.
53. Bowes DA, Driver EM, Halden RU. A framework for wastewater sample collection from a sewage cleanout to inform building-scale wastewater-based epidemiology studies. Sci Total Environ 2022; 836: 155576.
54. Katayama YA, Hayase S, Ando Y, Kuroita T, Okada K, Iwamoto R, et al. COPMAN: A novel high-throughput and highly sensitive method to detect viral nucleic acids including SARS-CoV-2 RNA in wastewater. Sci Total Environ 2023; 856(Pt 1): 158966.
55. Chen C, Wang Y, Kaur G, Adiga A, Espinoza B, Venkatramanan S, et al. Wastewater-based Epidemiology for COVID-19 Surveillance and Beyond: A Survey. ArXiv 2024; arXiv-2403.
56. Saleem MH, Mfarrej MFB, Khan KA, Alharthy SA. Emerging trends in wastewater treatment: Addressing microorganic pollutants and environmental impacts. Sci Total Environ 2024; 913: 169755.
57. Sims N, Kasprzyk-hordern B. Future perspectives of wastewater-based epidemiology : Monitoring infectious disease spread and resistance to the community level. Environ Int 2020; 139: 105689.
58. Choi PM, Tscharke BJ, Donner E, Brien JWO, Grant SC, Kaserzon SL, et al. Trends in Analytical Chemistry Wastewater-based epidemiology biomarkers : Past , present and future. Trends Anal Chem 2018; 105: 453–69.
59. Lorenzo M, Picó Y. Wastewater-based epidemiology: current status and future prospects. Curr Opin Environ Sci Heal 2019; 9: 77–84.

DOI: *10.48305/jims.v43.i820.0728*

Journal of Isfahan Medical School **Vol. 43, No. 820, 4th Week, August 2025**

Received: 05.10.2024 Accepted: 26.05.2025 Published: 22.08.2025

Wastewater-based Epidemiology: An Approach for Evaluating the Behavioral and Health Status of the Community Through Wastewater Sample Analysis

Fereshteh Talebi[1], Sahar Gholipour[2], Mahnaz Nikaeen[3]

Review Article

Abstract

Background: The increased consumption of pharmaceuticals and chemicals, changes in infectious disease patterns, and the emergence of novel diseases have raised public health concerns. Wastewater-based epidemiology (WBE) enables the extraction of epidemiological information related to lifestyle, health/disease status, and exposure to chemical agents within the target population through wastewater analysis. This study aimed to explore the applications of WBE and identify its challenges.

Methods: This study reviewed articles on WBE from three databases (PubMed, Science Direct, and Scopus) and the Google Scholar search engine.

Findings: The results showed that chemical and microbial analysis of wastewater can provide extensive epidemiological information, both spatially and temporally, on the behavioral and health status of the target population. These data include indicators such as the use of illicit drugs, alcohol, and tobacco, the consumption of over-the-counter medications, and the burden of viral diseases, particularly the novel coronavirus, within the population covered by the wastewater network.

Conclusion: WBE serves as a powerful tool linking environmental sciences, public health, and epidemiology. The findings obtained through this approach provide valuable information for policymakers and public health authorities, aiding in informed decision-making for improving public health and controlling diseases. However, the application of this approach faces challenges, such as markers instability in wastewater, non-human sources of infectious agents, and the lack of standard sampling and analysis protocols in many cases.

Keywords: Wastewater; Epidemiology; Narcotics; Communicable diseases; Public health

Citation: Talebi F, Gholipour S, Nikaeen M. **Wastewater-based Epidemiology: An Approach for Evaluating the Behavioral and Health Status of the Community Through Wastewater Sample Analysis.** J Isfahan Med Sch 2025; 43(820): 728-42.

1- MSc, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- PhD Candidate, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
3- Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Mahnaz Nikaeen, Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Health, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran; Email: nikaeen@hlth.mui.ac.ir