

ارزیابی مخاطره آلودگی منابع آب شهر یاسوج در اثر تخلیه زباله

محسن فرزین*

استادیار آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه یاسوج، یاسوج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۲۶ - تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۳/۱۳)

چکیده

پژوهش حاضر بر مبنای پایش میدانی با هدف بررسی و ارزیابی شدت آلودگی احتمالی منابع آب سطحی و زیرزمینی اطراف محل تخلیه زباله شهر یاسوج طی یک دوره دوازده ماهه برای معرفی راهکارهای مدیریتی انجام گرفت. بدین منظور پس از تشریح مورفولوژی منطقه و بازدیدهای چندگانه، از چاه‌های آب شرب حفر شده در آبخوان کارستی، آبراهه شرقی و غربی محل تخلیه زباله، مخزن سد شاه‌قاسم و دو چشمه سرابتاوه و پریکدان به صورت ماهانه طی یک سال نمونه‌برداری شد. نمونه‌ها برای سنجش ویژگی‌های هیدروشیمی شامل کدورت، pH، هدایت الکتریکی، کاتیون‌ها (سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلسیم)، آنیون‌ها (کلر، بی‌کربنات، سولفات، نیترات، فسفات)، فلزات سنگین (آرسنیک، آهن، مس، روی، جیوه، کروم، کادمیوم، نیکل، سرب)، اکسیژن محلول، BOD و TDS و مقایسه آن با مقادیر حد مجاز در استاندارد ملی آب شرب ایران و سازمان بهداشت جهانی به آزمایشگاه منتقل شدند. نتایج نشان داد که با وجود مطلوب بودن بسیاری از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب شرب پمپاژی از آبخوان کارستی تنگه کناره یاسوج، برخی از ویژگی‌های بسیار خطرناک تعدادی از چاه‌ها طی چند ماه سال بیشتر از حد مجاز بوده است. نتایج آنالیز نمونه‌های منابع آب سطحی نیز نشان داد که شیرابه حاصل از پسماندهای محل تخلیه زباله شهر یاسوج تأثیر زیادی بر جریان آب آبراهه در مسیر دفن‌گاه داشته است؛ همچنین نتایج آنالیز نمونه‌های آب چشمه‌ها نشان از افزایش مقدار برخی از فلزات سنگین دارد. بر مبنای نتایج این پژوهش، منابع آب سطحی و زیرزمینی اطراف محل تخلیه زباله شهر یاسوج از آلاینده‌های موجود در پسماندها متأثر شده است، به طوری که در فصل بارش از شدت بیشتری نیز برخوردار است؛ بنابراین با تعیین نوع، شدت و زمان آلودگی، راهکارهای مدیریتی ویژه‌ای را می‌توان برای کاهش مخاطره آلودگی منابع آب ارائه کرد.

واژه‌های کلیدی: آبخوان کارستی، آلودگی آب، تخلیه زباله، شیرابه، یاسوج.

مقدمه

دفعگاه مکان تخلیه زباله است که به‌طور معمول حاوی تنوعی از مواد زائد و خاکسترهای باقی‌مانده ناشی از سوختن زباله است [۸]. محل‌های تخلیه زباله که آلاینده‌های پیچیده و مختلطی دارند، مشکلات جدی در زمینه آلودگی ایجاد می‌کنند. این حالت برای دفعگاه‌هایی که در آنها زباله‌ها تفکیک نمی‌شوند، شدت بیشتری دارد [۶]. یکی از مسائل جدی ناشی از عملیات دفع پسماند، وجود شیرابه زباله است [۹] که پیامدهای منفی چشمگیری برای محیط زیست دارد [۱۵، ۲۱]. شیرابه حاوی انواع مواد آلی و غیرآلی انحلال‌پذیر و غیرانحلال‌پذیر است [۱۶] و در نتیجه مجموعه‌ای از فرایندهای فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیک تولید می‌شود [۸]. از این‌رو شیرابه ممکن است آلاینده‌های زیادی داشته باشد. مهم‌ترین اثر زیست‌محیطی شیرابه، آلودگی آب زیرزمینی است [۱۸]. تاکنون چند هزار دفعگاه فعال یا رها شده بدون تناسب وضعیت زمین‌شناسی با انتخاب مکان تخلیه زباله [۱۲] و بدون توجه به احتمال آلودگی آب زیرزمینی ایجاد شده‌اند [۱۷].

به‌طور کلی ماهیت و محتوای آلاینده‌های شیرابه تا حد زیادی از یک دفعگاه به دفعگاه دیگر متفاوت است و به عوامل مختلفی از جمله ترکیب پسماند، فصول، هیدرولوژی منطقه، درجه فشردگی، سن پسماند، فناوری دفعگاه و روند نمونه‌برداری وابسته است [۱۱]. به‌عبارت دیگر، به‌دلیل شرایط فیزیکی منحصربه‌فرد هر دفعگاه عملیات پایش باید به‌صورت مستقل و جداگانه اجرا شود. به‌منظور ارزیابی اثرهای زیست‌محیطی مدیریت پسماند، اثرگذاری شیرابه محل‌های تخلیه زباله بر کیفیت آب زیرزمینی در اطراف هر دفعگاه باید به‌دقت پایش شود [۱۴]. با تعیین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب و پایش کیفیت آن در طی زمان و مکان، ریسک عملیات تخلیه و دفن زباله در منابع آب زیرزمینی ارزیابی می‌شود [۵]. از این‌رو بررسی تغییرات مکانی و زمانی شاخص‌های کیفی آب زیرزمینی در شناخت وضعیت کیفی آبخوان، منابع آلاینده و تعیین مناسب‌ترین راهکار مدیریتی اهمیت ویژه‌ای دارد.

خضری و مروتی (۱۳۹۴) با بررسی مخاطرات آلودگی شیمیایی منابع آب کارستی غار قوری‌قلعه در استان کرمانشاه نتیجه رسیدند که غلظت برخی از عناصر آب غار مانند آرسنیک و سرب بیش از حد مجاز آب آشامیدنی است و برخی دیگر مانند آهن، منگنز و منیزیم نیز غلظت زیادی دارند. مقدار BOD آب این غار نیز زیاد بوده است [۳]. عاشورنیاء و همکاران (۱۳۹۹) احتمال آلودگی آب زیرزمینی دشت گیلان ناشی از شیرابه حاصل از دفن پسماندهای شهری را بررسی کردند و دریافتند که مقدار همه پارامترهای بررسی‌شده در فصل بارش کاهش یافته است.

آنها بر این باورند که احتمالاً جهت نفوذ و انتقال شیرابه پسماند شهرستان رشت تأثیری بر کیفیت آب زیرزمینی محدوده تحت بررسی ندارد [۴]. بلارک و همکاران (۱۴۰۰) آلودگی میکروبی و شیمیایی آب شرب روستاهای اطراف شهر زاهدان را ارزیابی کردند و دریافتند که کیفیت شیمیایی منابع آب زیرزمینی روستاهای پیرامون شهر زاهدان از نظر میزان pH و فلزات کادمیوم، سرب و آرسنیک مطلوب است، اما از نظر ویژگی‌های هدایت الکتریکی، TDS، نمک و تعداد باکتری در برخی از روستاها مطلوب نیست [۱]. بوتنگ و همکاران (۲۰۱۹) با ارزیابی آلودگی آب زیرزمینی به فلزات سنگین با تعیین مقادیر آهن، سرب، مس، روی، کادمیوم و کروم در محدوده محل تخلیه زباله اوتی شهر کوماسی کشور غنا مشاهده کردند که مقدار سرب، آهن، کادمیوم و کروم بیشتر از حداکثر مجاز سازمان بهداشت جهانی است [۱۰]. کاپلوسکا و همکاران (۲۰۱۹) با ارزیابی اثر محل تخلیه زباله شهری بر آب زیرزمینی در شمال شرق لهستان، تأثیر منفی تجمع زباله‌ها را علی‌رغم عایق‌بندی نشان دادند؛ به طوری که آلودگی آب زیرزمینی با شیرابه در نزدیکی سایت قدیمی تخلیه زباله، بسیار چشمگیر بود. نتایج آنها همچنین نشان داد که بیشترین تأثیر شیرابه دفن‌گاه بر آب زیرزمینی در حوالی چاه جمع‌آوری شیرابه رخ داده است [۱۴]. تنودی و همکاران (۲۰۲۰) اثرهای زیست‌محیطی بخش‌های بهداشتی و غیربهداشتی یکی از دفن‌گاه‌های صربستان را ارزیابی کردند و به این نتیجه رسیدند که کیفیت آب زیرزمینی محل جدید و بهداشتی تخلیه زباله در حال بهبود است، درحالی که تغییر محسوس برای آب زیرزمینی در محدوده سایت قدیمی دفن‌گاه مشاهده نمی‌شود [۱۹]. عالم و همکاران (۲۰۲۱) کیفیت آب سطحی را تا فاصله ۵۰۰ متری اطراف محل تخلیه زباله شهر سیلپت بنگلادش ارزیابی کردند و نتیجه گرفتند که منابع آب سطحی آلودگی زیادی دارد. آنها مواد آلی، فعالیت انسانی، کودها و حاصلخیزکننده‌ها، پسماندهای شیمیایی و رواناب فاضلاب را عامل اصلی آلودگی آب ذکر می‌کنند و خطر کاهش کیفیت آب را برای ساکنان نزدیک به محل تخلیه زباله بسیار محتمل می‌دانند [۷]. تاگاراگان و همکاران (۲۰۲۱) آنالیز حساسیت کیفیت آب زیرزمینی را در اطراف محل تخلیه زباله کومباتور هندوستان با تعیین ویژگی‌های pH، قلیابیت، شوری، سختی کل، مقاومت ویژه، کدورت، هدایت الکتریکی، نیترات، کلراید، سولفات، اکسیژن محلول، BOD و COD، انجام دادند و با طبقه‌بندی کیفیت آب زیرزمینی به این نتیجه رسیدند که آب زیرزمینی برخی از مناطق به شدت تحت تأثیر محل تخلیه زباله قرار گرفته است، به طوری که بیشتر نمونه‌ها کیفیت ضعیفی دارند و حتی برای مصرف خانگی نیز نامناسب‌اند [۲۰]. هورچک و همکاران (۲۰۲۱) اثر محتمل یک دفن‌گاه را بر نواحی کارست مرتفع در جنوب شرقی مونته‌نگرو با استفاده از بررسی ایزوتوپی یک چشمه آب شرب تعیین کردند و به این نتیجه رسیدند که حوضه تغذیه‌کننده

چشمه‌ها، در ارتفاع بالاتری از محل دفن‌گاه قرار دارد و با بارش زمستانی احتمال آلودگی آبخوان کارستی وجود دارد [۱۳].

از آنجا که محل تخلیه زباله‌های شهر یاسوج و حومه از نظر توپوگرافی در مکانی مرتفع‌تر از محل چاه‌های تأمین آب شرب شهر یاسوج قرار گرفته است، همواره منابع آب سطحی و زیرزمینی در معرض مخاطره آلودگی قرار دارند. بنابراین پژوهش حاضر با هدف بررسی و ارزیابی شدت آلودگی احتمالی منابع آب سطحی و زیرزمینی اطراف محل تخلیه زباله شهر یاسوج طی یک دوره دوازده‌ماهه به انجام رسید.

محدوده پژوهش

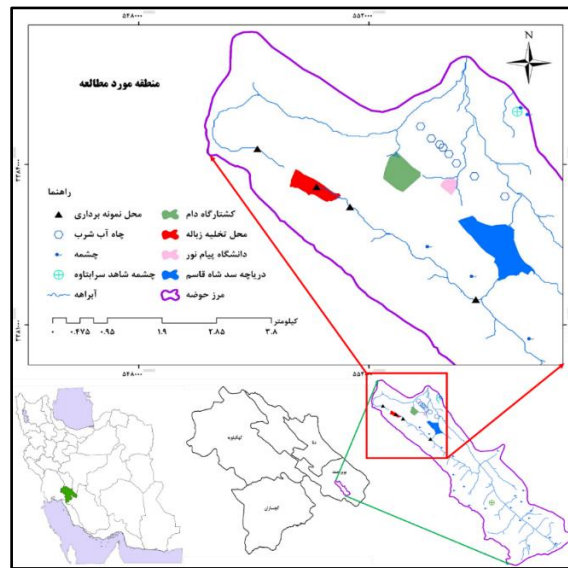
منطقه پژوهش موسوم به دوپشته دشتروم، محل تخلیه-دفن زباله‌های شهر یاسوج و حومه است که در جنوب شرقی شهر یاسوج در شهرستان بویراحمد با مختصات جغرافیایی $51^{\circ}30'41''$ تا $51^{\circ}40'17''$ طول شرقی و $30^{\circ}30'55''$ تا $30^{\circ}32'14''$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). دوپشته دشتروم در حوزه آبخیز تنگه کناره قرار گرفته است که از زیرحوضه‌های رودخانه بشار یاسوج است و در نهایت به رودخانه بزرگ کارون می‌پیوندد. پراکنش بارش این منطقه از آبان تا اردیبهشت است. بیشتر سازندهای زمین‌شناسی این منطقه، کربناته و کارست بوده و منطقه از مهم‌ترین نقاط تأمین آب شرب شهر یاسوج است؛ به طوری که با حفر هشت حلقه چاه عمیق، بخش اعظم آب شهری مورد نیاز پمپاژ می‌شود. دو چشمه دائمی (پریکدان و سرابتاوه) موجود در محدوده پژوهش نیز برای مصرف روستاییان و عشایر استفاده می‌شود. از طرف دیگر این ناحیه از مکان‌های خوش آب‌وهوا و بیلاقی استان کهگیلویه و بویراحمد است که افزون‌بر اسکان موقت برخی از عشایر در فصول بهار و تابستان، گردشگران بومی و غیربومی زیادی نیز در این منطقه تردد دارند. تیپ غالب پوشش گیاهی منطقه شامل گونه‌های درختی بلوط، کیکم، زالزالک، شن، انواع گون و گونه‌های مختلف خانواده گندمیان است. به طور کلی، محدوده هدف تحت مطالعه، چند روستا و ابنیه را در بر می‌گیرد که مهم‌ترین آنها را می‌توان چاه‌های آب شرب یاسوج، روستای سرابتاوه و سد مخزنی شاه‌قاسم دانست.

روش تحقیق

نمونه‌برداری

پس از تشریح مورفولوژی منطقه و بازدیدهای چندگانه، نقاط هدف برای برداشت نمونه تعیین شد؛ به طوری که برای نمونه‌برداری با روش‌های استاندارد از هشت حلقه چاه آب شرب، آبراهه شرقی و

غربی محل تخلیه زباله، مخزن سد شاهقاسم و چشمه سرابتاوه برنامه‌ریزی شد. برای بررسی دقیق و لحاظ نوسان فصلی-اقلیمی و نیز پراکنش مناسب زمانی، نمونه‌برداری طی یک سال از اردیبهشت ۱۳۹۹ تا فروردین ۱۴۰۰ به‌صورت ماهانه از نقاط هدف انجام گرفت (شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۱. موقعیت محدوده پژوهش در شهرستان، استان و ایران همراه با محل نمونه‌برداری



شکل ۲. نمونه‌برداری از الف) چاه؛ ب) سد شاهقاسم؛ ج) مسیر دفنگاه؛ د) چشمه سرابتاوه

سنجش آزمایشگاهی

به منظور تعیین کیفیت منابع آب سطحی و زیرزمینی و نیز بررسی تأثیر احتمالی شیرابه حاصل از تخلیه زباله بر آلودگی منابع آب، برخی از ویژگی‌های هیدروشیمی که می‌توان آنها را شاخص قلمداد کرد سنجیده شد، از جمله کدورت، pH، هدایت الکتریکی (EC)، کاتیون‌ها (سدیم، منیزیم، پتاسیم، کلسیم)، آنیون‌ها (کلر، بی‌کربنات، سولفات، نترات، فسفات)، فلزات سنگین (آرسنیک، آهن، مس، روی، جیوه، کروم، کادمیوم، نیکل، سرب)، اکسیژن محلول، BOD و TDS. ویژگی‌های pH، EC و اکسیژن محلول بلافاصله پس از برداشت نمونه به صورت دستی با استفاده از دستگاه پرتابل سنجیده شد. برای اندازه‌گیری ویژگی‌های دیگر، نمونه‌ها به آزمایشگاه مرکزی دانشگاه یاسوج منتقل و با استفاده از روش‌های استاندارد اندازه‌گیری و تجزیه و تحلیل (APHA) آنالیز شدند.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

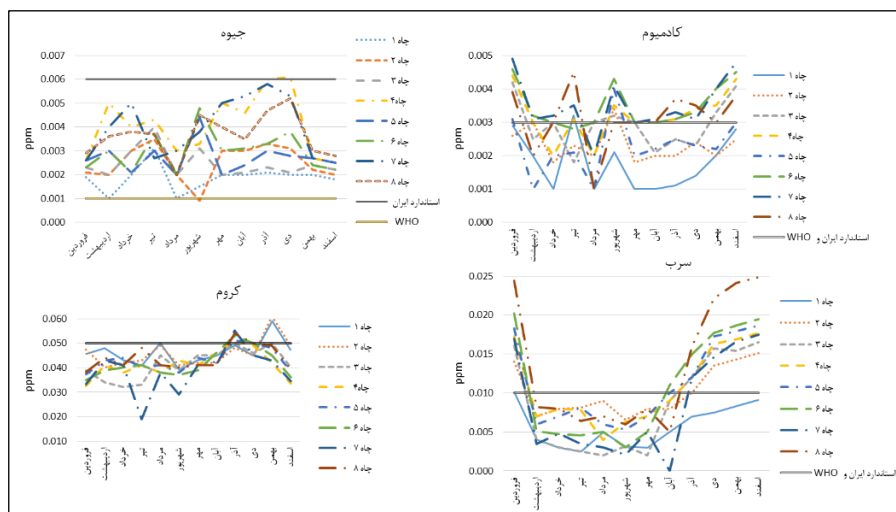
به منظور تعیین وضعیت کیفی منابع آب از نظر سلامت برای شرب و با در نظر گرفتن پراکنش زمانی و مکانی داده‌های هیدروشیمی اندازه‌گیری شده، نمودار روند تغییرات داده‌های مربوط به هر ویژگی با استفاده از نرم‌افزار اکسل ۲۰۲۰ ترسیم و با مقادیر مجاز در استاندارد ملی آب شرب ایران [۲] و سازمان بهداشت جهانی [۲۲] مقایسه شد.

بحث و یافته‌ها

بررسی کیفیت منابع آب زیرزمینی (چاه‌های آب شرب)

شکل ۳ نمودار مهم‌ترین تغییرات ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی برداشتی از چاه‌های آب شرب طی دوره دوازده‌ماهه را نشان می‌دهد. به عبارت دیگر کاهش کیفیت و گذر از حد مجاز ویژگی‌های مختلف در منابع آب زیرزمینی، فقط در افزایش مقدار عناصر سنگین (کادمیوم، کروم، سرب و جیوه) و فسفات بوده است و ویژگی‌های دیگر تغییر معنی‌دار و بیشتر از حد مجازی نداشته‌اند. حد مجاز استاندارد ایران برای فسفات، ۰/۲ میلی‌گرم بر لیتر است و همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار فسفات اندازه‌گیری شده در چاه شماره ۱ در فروردین‌ماه، چاه شماره ۴ در آذرماه و دی‌ماه و چاه شماره ۵ در دی‌ماه بیشتر از حد استاندارد است. حد مجاز کادمیوم در استاندارد ایران و WHO، ۰/۰۰۳ میلی‌گرم بر لیتر است. کمترین مقدار مشاهده شده (۰/۰۰۱ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به چاه شماره ۱ در ماه‌های خرداد، مرداد، مهر، آبان، آذر و دی و چاه شماره ۵ در اردیبهشت و مرداد و چاه شماره ۸ در مرداد و بیشترین مقدار (۰/۰۰۵ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به

چاه‌های شماره ۶ و ۷ در فروردین و اسفند و چاه شماره ۸ در تیر است بنابراین مقدار کادمیوم اندازه‌گیری شده در بیشتر چاه‌ها در ماه‌های فروردین، اردیبهشت، تیر، شهریور، بهمن و اسفند بیشتر از حد مجاز است. حد مجاز کروم در استاندارد ایران و WHO، $0/05$ میلی‌گرم بر لیتر است. بیشتر مقادیر مشاهده شده کمتر و نزدیک به حد مجاز است، اما در برخی چاه‌ها طی ماه‌های آذر و بهمن بیشتر از استاندارد بوده است. بیشترین مقدار ($0/061$ میلی‌گرم بر لیتر) نیز مربوط به چاه شماره ۲ در بهمن است. حد مجاز سرب در استاندارد ایران و WHO، $0/01$ میلی‌گرم بر لیتر است که کمترین مقدار مشاهده شده (صفر میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به چاه شماره ۷ در آبان و بیشترین مقدار ($0/025$ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به چاه شماره ۸ در اسفند است. بنابراین، مقدار سرب اندازه‌گیری شده در بیشتر چاه‌ها در ماه‌های فروردین، آذر، دی، بهمن و اسفند بیشتر از حد مجاز است. حد مجاز جیوه در استاندارد ایران $0/006$ میلی‌گرم بر لیتر و در استاندارد WHO، $0/001$ میلی‌گرم بر لیتر است، مقادیر مشاهده شده از چاه‌های آب شرب تغییرات زیادی در طول ماه‌های مختلف دارند و به‌طور کلی بیشتر از استاندارد WHO و کمتر از حد استاندارد ایران هستند. کمترین مقدار مشاهده شده ($0/001$ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به چاه شماره ۱ در اردیبهشت و مرداد و چاه شماره ۲ در شهریور و بیشترین مقدار ($0/006$ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به چاه شماره ۷ در آذر است.



شکل ۳. نمودار تغییرات عناصر سنگین نمونه‌های برداشتی از چاه‌های آب شرب با حد بیشتر از مقدار مجاز

چاه‌های هشت‌گانه آب شرب تنگه کناره یاسوج در یک آبخوان کارستی حفر شده است؛ از این رو انتظار می‌رود این آبخوان واکنش سریعی به وقایع بارش و نفوذ همه جریان‌های سطحی داشته باشد. بنابراین تغییرات هیدروشیمی آن در طی زمان‌های مختلف بسیار محتمل است. نتایج پژوهش حاضر نشان داد که علی‌رغم مطلوب بودن بسیاری از ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آب شرب پمپاژی از این آبخوان، برخی از ویژگی‌های بسیار خطرناک تعدادی از چاه‌ها طی چند ماه از سال بیشتر از حد مجاز بوده است. به‌طور کلی و با توجه به روند مثبت بیشتر ویژگی‌های هیدروشیمی نمونه‌ها طی ماه‌های آبان تا فروردین، می‌توان نتیجه گرفت که آبخوان کارستی تنگه کناره واکنش بسیار سریعی به وقایع بارش در منطقه دارد؛ برای نمونه، مقدار آهن اندازه‌گیری شده در نمونه‌ها طی ماه‌های اسفند و فروردین بیشتر از ماه‌های دیگر بوده است. بنابراین حساسیت این آبخوان به آلودگی بسیار زیاد است و به نظر می‌رسد عناصر آلاینده کادمیوم، جیوه، سرب، کروم و نیز یون فسفات از آلاینده‌های ایجادشده در محل تخلیه زباله (مانند انواع باتری، لوازم الکترونیک، مواد آرایشی و ...) منشأ گرفته‌اند.

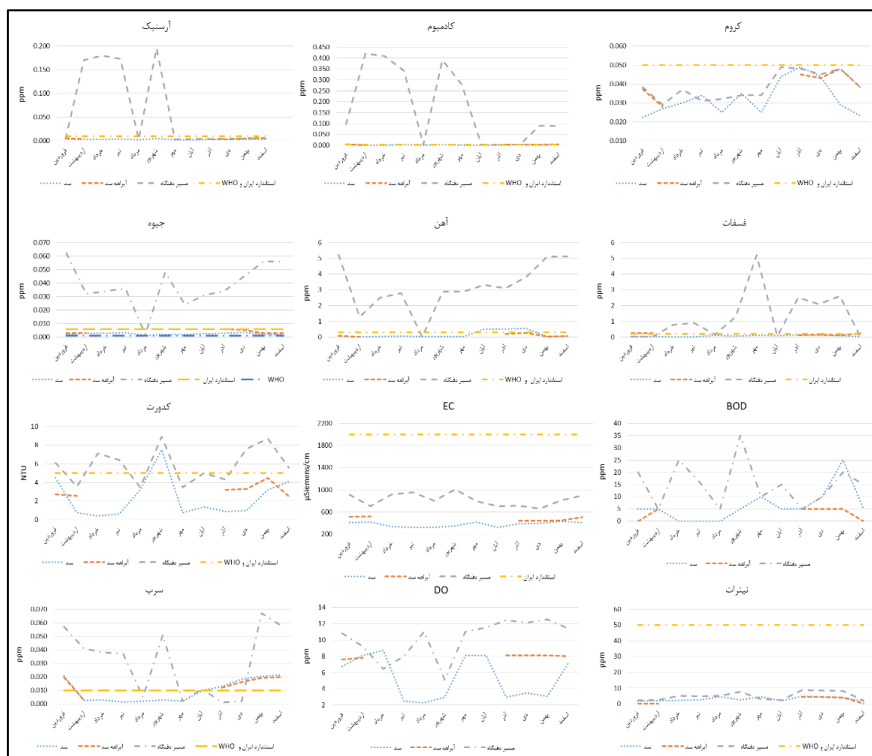
بررسی کیفیت منابع آب سطحی (آبراهه مسیر دفنگاه، آبراهه منتهی به سد و مخزن سد شاه‌قاسم)

دریاچه سد شاه‌قاسم، آبراهه ورودی به سد شاه‌قاسم و آبراهه‌ای که در مسیر دسترسی به محل تخلیه زباله دارای جریان آب است، به‌عنوان منابع آب سطحی دارای احتمال تأثیرپذیری از محل تخلیه زباله مدنظر قرار گرفت. شکل ۴ نمودار تغییرات مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر فیزیکوشیمیایی (فسفات، کدورت، هدایت الکتریکی، BOD و DO) و عناصر سنگین (شامل آرسنیک، کادمیوم، آهن، سرب و جیوه) نمونه‌های برداشتی از آب‌های سطحی طی دوره دوازده‌ماهه را نشان می‌دهد. مقدار مجاز استانداردهای ایران و WHO برای هر کدام از ویژگی‌های هیدروشیمی روی نمودار نیز مشخص شده است. بر این اساس، مقدار فسفات مسیر دفنگاه حداقل در هشت ماه از سال بیشتر از حد مجاز بوده است به‌طوری که کمترین و بیشترین مقدار مشاهده شده به ترتیب $0/01$ میلی‌گرم بر لیتر در فروردین‌ماه و اسفندماه مربوط به سد و $5/2$ میلی‌گرم بر لیتر در مهرماه مربوط به مسیر دفنگاه است. بر مبنای حد مجاز آهن در استاندارد ایران و WHO ($0/3$ میلی‌گرم بر لیتر) مقادیر مشاهداتی محل سد در ماه‌های آبان، آذر و دی بیشتر از حد مجاز استاندارد بوده و تمامی مقادیر مسیر دفنگاه نیز بیشتر از حد مجاز اندازه‌گیری شده است. مقدار BOD سنجش‌شده در همه نمونه‌های آب سطحی به‌جز چند ماه در مخزن سد شاه‌قاسم، زیاد بوده است؛ به‌طوری که کمترین مقدار

مشاهده شده (صفر) مربوط به محل سد در خرداد، تیر و مردادماه و آبراهه سد در ماههای فروردین و اسفند و بیشترین مقدار مشاهداتی (۳۵ میلی گرم بر لیتر) مربوط به مسیر دفنگاه در شهریورماه است. روند تغییرات برای مقدار **DO** تقریباً عکس BOD است، بنابراین مسیر دفنگاه بیشترین آلودگی بیولوژیک را نشان می دهد. میزان کدورت در نمونه های مسیر دفنگاه نیز بیشتر است، به طوری که حداقل در هفت ماه از سال بیشتر از حد مجاز بوده است. مقادیر مشاهداتی مقدار آرسنیک در مسیر دفنگاه طی ماههای اردیبهشت، تیر، خرداد و شهریور بیشتر از حد مجاز استاندارد است. کمترین مقدار مشاهده شده (۰/۰۰۲ میلی گرم بر لیتر) مربوط به محل سد در ماههای مرداد، مهر، آبان و آذر و بیشترین مقدار (۰/۱۹۵ میلی گرم بر لیتر) مربوط به مسیر دفنگاه در شهریور است. کمترین مقدار کادمیوم مشاهده شده (۰/۰۰۱ میلی گرم بر لیتر) مربوط به محل سد در ماههای اردیبهشت، مرداد، مهر و آبان و بیشترین مقدار (۰/۴۲۰ میلی گرم بر لیتر) مربوط به مسیر دفنگاه در اردیبهشت است، همان طور که مشاهده می شود، مقدار کادمیوم اندازه گیری شده به جز ماههای اردیبهشت، مرداد، مهر و آبان که مربوط به محل سد است، در حد مجاز و بیشتر از آن است. همه مقادیر مشاهداتی کروم نمونه ها کمتر و نزدیک به حد مجاز است، به طوری که کمترین مقدار مشاهده شده (۰/۰۲۲ میلی گرم بر لیتر) مربوط به محل سد در فروردین و بیشترین مقدار (۰/۰۴۹ میلی گرم بر لیتر) مربوط به محل سد در آذر و مسیر دفنگاه در آبان است. کمترین و بیشترین مقدار مشاهده شده سرب به ترتیب (۰/۰۰۱ میلی گرم بر لیتر) در آذر و (۰/۰۶۷ میلی گرم بر لیتر) در بهمن مربوط به مسیر دفنگاه است؛ همان طور که مشاهده می شود، مقدار سرب اندازه گیری شده در بیشتر موارد طی ماههای فروردین، آبان، دی، بهمن و اسفند بیشتر از حد مجاز است. مقادیر مشاهداتی جیوه در دریاچه سد و آبراهه منتهی به سد تغییرات زیادی در طول ماههای مختلف ندارد و بیشتر از حد مجاز استاندارد WHO و کمتر از حد مجاز استاندارد ایران است؛ ولی مقادیر مسیر دفنگاه به جز مرداد بیشتر از هر دو استاندارد است؛ کمترین مقدار مشاهده شده (۰/۰۰۲ میلی گرم بر لیتر) مربوط به محل سد در ماههای فروردین، مرداد، شهریور، مهر، بهمن و اسفند و مسیر دفنگاه در مرداد و بیشترین مقدار (۰/۰۶۲ میلی گرم بر لیتر) مربوط به مسیر دفنگاه در فروردین است.

شایان ذکر است که آبراهه منتهی به دریاچه سد، تقریباً نیمی از سال دارای جریان آب بود و در نیمی دیگر از سال خشک بود. نتایج آنالیز نمونه های آب برداشت شده از منابع آب سطحی نشان داد که شیرابه حاصل از زباله ها و پسماندهای محل تخلیه زباله شهر یاسوج و حومه تأثیر چشمگیری به ویژه بر جریان آب آبراهه در مسیر دفنگاه داشته است؛ به طوری که مقادیر ویژگی های فسفات،

آهن، کدورت، BOD، DO، آرسنیک، کادمیوم، سرب و جیوه در جریان آب سطحی موجود در آبراهه مسیر دفنگاه، در برخی از ماه‌ها و گاهی کل سال، بیشتر از حد مجاز بوده است. به‌طور کلی بسیاری از ویژگی‌های هیدروشیمی مسیر دفنگاه (برای نمونه مقدار سرب طی ماه‌های مختلف) نوسان زیادی دارد. این حالت را می‌توان ناشی از مقدار تولید شیرابه در محل تخلیه زباله و نیز چگونگی حمل زباله و پسماند به طرف محل تخلیه دانست؛ به‌طوری که هر گاه مقدار شیرابه بیشتری در محل تخلیه تولید می‌شود، مقدار بیشتری از آن نیز به طرف آبراهه مسیر دسترسی جریان می‌یابد؛ بخشی نیز از تخلیه زباله یا ریختن شیرابه در مسیر دسترسی به‌وسیله ماشین‌آلات حمل زباله ناشی شده است. آنچه مسلم است آب سطحی موجود در مسیر دسترسی به محل تخلیه زباله به‌شدت تحت تأثیر آلاینده‌ها و زباله‌ها قرار گرفته است. بنابراین محل تخلیه زباله، منابع آب سطحی اطراف را به‌شدت تحت تأثیر قرار داده است.



شکل ۴. نمودار تغییرات مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و عناصر سنگین نمونه‌های برداشتی از منابع آب سطحی

بررسی کیفیت منابع آب چشمه‌های پریکدان و سرابتاوه

مهم‌ترین چشمه‌های دائمی محدوده پژوهش، دو چشمه پریکدان و سرابتاوه است. شکل ۵ نمودار تغییرات مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر فیزیکوشیمیایی (کدورت) و عناصر سنگین (شامل کادمیوم، سرب و جیوه) نمونه‌های برداشتی از چشمه‌های پریکدان و سرابتاوه را در طی دوره دوازده‌ماهه نشان می‌دهد. حد مجاز استانداردهای ایران و WHO نیز برای هر کدام از ویژگی‌های هیدروشیمی روی نمودار مشخص شده است. بر این اساس، کدورت چشمه سرابتاوه بیشتر از پریکدان است، به طوری که از مهرماه تا دی‌ماه از حد مجاز نیز فراتر رفته است. کمترین مقدار مشاهده شده کادمیوم ($0/380$ میلی‌گرم بر لیتر) در ماه‌های مرداد و بهمن و بیشترین مقدار ($0/765$ میلی‌گرم بر لیتر) در ماه‌های تیر، آذر و دی مربوط به چشمه سرابتاوه است. در واقع این چشمه نوسان زیادی در مقدار کادمیوم نشان داده است. روند تغییرات نمودار سرب هر دو چشمه مشابه است، به طوری که کمترین مقدار مشاهده شده ($0/002$ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به چشمه سرابتاوه در اردیبهشت و بیشترین مقدار ($0/018$ میلی‌گرم بر لیتر) مربوط به چشمه پریکدان در فروردین است. همان‌طور که در نمودار مربوط مشاهده می‌شود مقدار سرب اندازه‌گیری شده در ماه‌های آبان، آذر، دی، بهمن، اسفند و فروردین بیشتر از حد مجاز است. آهنگ تغییرات جیوه برای هر دو چشمه نیز مانند سرب است، با این تفاوت که نوسان چشمه سرابتاوه بیشتر از پریکدان است، به طوری که کمترین مقدار مشاهده شده ($0/002$ میلی‌گرم بر لیتر) در ماه‌های تیر و مهر و بیشترین مقدار ($0/008$ میلی‌گرم بر لیتر) در ماه‌های فروردین، بهمن و اسفند مربوط به چشمه سرابتاوه است. مقادیر اندازه‌گیری شده هر دو چشمه در ماه‌های فروردین، بهمن و اسفند بیشتر از حد مجاز بوده است.

مهم‌ترین چشمه‌ها در محدوده تحت بررسی، دو چشمه سرابتاوه و پریکدان هستند. چشمه سرابتاوه در پایین‌ترین نقطه ارتفاعی محدوده قرار گرفته است و فاصله چندانی با چاه‌های آب شرب ندارد. چشمه پریکدان فاصله به نسبت زیادی با چاه‌های آب شرب و نیز محل تخلیه زباله دارد، اما از نظر اختلاف ارتفاع، ارتفاعی کمتر از محل تخلیه زباله دارد. از طرف دیگر، همه چشمه‌ها و چاه‌های موجود در محدوده تحت بررسی روی سازند آسماری قرار گرفته‌اند؛ از این رو آبخوان کارستی آنها یکسان است و انتظار می‌رود که بیشتر ویژگی‌های هیدروشیمی آنها نیز مشابه باشد. به عبارت دیگر، تأثیر شیرابه زباله‌ها بر منابع آب زیرزمینی تا چشمه پریکدان نیز محتمل است. با وجود این، با توجه به فاصله زیاد چشمه پریکدان از دیگر نقاط هدف، برای مقایسه بسیاری از ویژگی‌های هیدروشیمی، این چشمه را می‌توان شاهد قلمداد کرد. به هر

حال نتایج آنالیز نمونه‌های آب چشمه‌ها نشان داد که آلودگی چشمه سرابتاوه به کادمیوم، سرب و جیوه در ماه‌های بارندگی بیشتر از حد مجاز بوده است. کدورت این چشمه نیز در ماه‌های مهر، آبان، آذر و دی بیشتر از حد مجاز بوده که نشان‌دهنده تأثیرپذیری زیاد این چشمه از بارش‌های فصلی است. مقدار سرب و جیوه چشمه پریکدان نیز در فصل بارش افزایش یافته و از حد مجاز فراتر رفته است.



شکل ۵. نمودار تغییرات مهم‌ترین ویژگی‌های مؤثر فیزیکوشیمیایی و عناصر سنگین نمونه‌های برداشتی از چشمه‌ها

نتیجه‌گیری

مهم‌ترین اثر زیست‌محیطی شیرابه مراکز دفن، آلودگی آبهای سطحی و زیرزمینی است. سرعت حرکت و در نتیجه کیفیت آب از لایه‌های طبقات خاک و لایه‌های رسوبی زمین، به دانه‌بندی و جنس سنگ و رسوبات و سطح تراز آب زیرزمینی بستگی دارد؛ به طوری که جریان آب در سنگ‌های کارستی با جریان آب در اراضی غیر کارستی متفاوت بوده و سرعت حرکت آلاینده در سنگ‌ها و سازندهای آهکی (کارستی) بسیار زیاد است و سطح گسترش آن نیز بسیار وسیع خواهد بود. یکی از منابع اصلی تأمین‌کننده آب شرب شهر یاسوج، چاه‌های هشت‌گانه حفر شده در آبخوان کارستی تنگه کناره است. این آبخوان بر مبنای ماهیت درز و شکافی خود، ذاتاً حساسیت بسیار زیادی به هر نوع آلاینده دارد و ممکن است با کمترین ماده شیمیایی، به سهولت آلوده شود. پسماندها و زباله‌های شهر یاسوج و حومه از بیش از بیست سال پیش تا کنون در این محل

تخلیه می‌شود. شرایط و وضعیت تخلیه و نیز مدیریت زباله در این مکان به گونه‌ای است که نمی‌توان اصطلاح دفنگاه را برای آن به کار برد. دفنگاه به محل استاندارد تخلیه زباله با رعایت همه موازین علمی و اصولی گفته می‌شود، در حالی که اصول مهندسی و طراحی استاندارد در محل تخلیه زباله دوپشته دشتروم رعایت نشده است. به طوری که انواع زباله و پسماند بدون برنامه‌ریزی مناسب برای جلوگیری از آلاینده‌گی آب و خاک ناشی از جاری شدن و نفوذ شیرابه در نقاط مختلف محدوده تخلیه می‌شود. از طرف دیگر بزرگ‌ترین ضعف این مکان، زیاد بودن ارتفاع آن از سطح دریا نسبت به مناطق اطراف است. این مکان در یکی از مرتفع‌ترین نقاط محدوده پژوهش انتخاب شده است. با توجه به شیب هیدرولیکی بسیاری زیاد منطقه نسبت به نواحی کم‌ارتفاع‌تر (چشمه‌ها و آبخوان کارستی)، احتمال جریان یافتن شیرابه با سرعت زیاد در لایه‌های زمین چندبرابر خواهد شد. بنابراین، منابع آب سطحی و زیرزمینی اطراف محل تخلیه زباله دوپشته دشتروم می‌تواند به شدت از آلاینده‌های موجود در پسماندها، متأثر شود؛ این حالت به‌ویژه در فصل بارش بسیار بیشتر خواهد بود. بی‌تردید محل تخلیه زباله دوپشته دشتروم نیازمند مدیریت ویژه‌ای است که باید هرچه سریع‌تر برای جلوگیری از آلودگی منابع آب اعمال شود.

بر مبنای نتایج این پژوهش، منابع آب سطحی و زیرزمینی اطراف محل تخلیه زباله شهر یاسوج از آلاینده‌های موجود در پسماندها متأثر شده است که در فصل بارش از شدت بیشتری نیز برخوردار است. بنابراین و براساس نوع، شدت و زمان آلاینده‌گی، راهکارهای مدیریتی برای کاهش مخاطره آلودگی منابع آب به شرح زیر پیشنهاد می‌شود:

- در صورت امکان جلوگیری از ورود و تخلیه زباله به منطقه و انتخاب مکان مناسب‌تر در منطقه دیگری بر پایه روش‌های علمی؛
- عایق‌کاری و جلوگیری از نفوذ مایعات از سطح محل تخلیه زباله به درون زمین؛
- طراحی و اجرای سیستم جمع‌آوری و تصفیه شیرابه در محل تخلیه زباله؛
- ساماندهی مسیر ورود و خروج محل تخلیه به طوری که عبور و مرور ماشین‌آلات موجب تسریع و شدت گرفتن آلاینده‌گی نشود؛
- اجرای طرح تفکیک اصولی زباله با رویکرد زیست‌محیطی و مدیریت ویژه پسماند تر؛
- پایش و بررسی دقیق کیفیت آب نواحی اطراف محل تخلیه زباله به‌ویژه در فصل بارش؛
- اطلاع‌رسانی، آموزش و فرهنگ‌سازی در زمینه اهمیت مدیریت پسماند به‌ویژه تفکیک زباله؛
- بررسی تکمیلی و تعیین منشأ دقیق فلزات سنگین بیشتر از حد مجاز در منابع آب زیرزمینی و چشمه‌ها.

منابع

- [۱]. بلازک، ساناز؛ پایدار، ابوذر؛ و صفرزائی، عبدالواحد (۱۴۰۰). «ارزیابی مخاطرات ناشی از آلودگی میکروبی و شیمیایی آب شرب روستاهای پیرامون شهر زاهدان در سال ۱۳۹۸»، *مخاطرات محیط طبیعی*، دوره ۱۰، شماره ۱، ص ۶۶-۴۷.
- [۲]. بی‌نام (۱۳۸۹). «استاندارد ملی آب شرب ایران»، مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران، شماره ۱۰۵۳.
- [۳]. خضری، سعید؛ و مروتی، مهوش (۱۳۹۴). «ارزیابی مخاطرات آلودگی شیمیایی آب کارستی غار قوری قلعه»، *مدیریت مخاطرات محیطی (دانش مخاطرات سابق)*، دوره ۲، شماره ۱، ص ۱۰۴-۸۵.
- [۴]. عاشورنیاء، مهدی؛ کیانی صدر، مریم؛ قنبری، فاطمه؛ کریمی، مرتضی؛ و پورعسگری، مجید (۱۳۹۹). «بررسی تأثیر شیرابه ناشی از دفن پسماندهای شهرستان رشت بر کیفیت آب زیرزمینی (مطالعه موردی: چاه‌های محدوده دهستان سراوان)»، *مطالعات علوم محیط زیست*، دوره ۵، شماره ۳، ص ۲۹۱۲-۲۹۰۵.
- [5]. Abiriga. D.; Vestgarden. L. S.; & Klempe. H. (2020). "Groundwater contamination from a municipal landfill: Effect of age, landfill closure, and season on groundwater chemistry". *Science of the Total Environment*. NO. 737, pp: 1-11.
- [6]. Abiriga. D.; Vestgarden. L. S.; & Klempe. H. (2021). "Long-term redox conditions in a landfill-leachate-contaminated groundwater". *Science of the Total Environment*. NO. 755, pp: 1-11.
- [7]. Alam. R.; Ahmed. Z.; Seefat. S. M.; & Nahin. K. T. K. (2021). "Assessment of surface water quality around a landfill using multivariate statistical method, Sylhet, Bangladesh". *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. NO. 15, pp: 1-12.
- [8]. Bandala. E. R.; Liu. A.; Wijesiri. B.; Zeidman. A. B.; & Goonetilleke. A. (2021). "Emerging materials and technologies for landfill leachate treatment: A critical review". *Environmental Pollution*. NO. 291, pp: 1-15.
- [9]. Bhalla. B.; Saini. M.; & Jha. M. (2013). "Effect of age and seasonal variations on leachate characteristics of municipal solid waste landfill". *International Journal of Engineering Research and Technology*. 2, pp: 223-232
- [10]. Boateng. T. K.; Opoku. F.; & Akoto. O. (2019). "Heavy metal contamination assessment of groundwater quality: a case study of Oti landfill site, Kumasi". *Applied Water Science*. NO. 9, pp: 1-15.
- [11]. Christensen. T. H.; Kjeldsen. P.; Bjerg. P. L.; Jensen. D. L.; Christensen. J. B.; Baun. A.; Albrechtsen. H. J.; & Heron. G. (2001). "Biogeochemistry of landfill leachate plumes". *Applied Geochemistry*. 16 (7), pp: 659-718.

- [12]. Hamer. G. (2003). "Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety". *Biotechnology Advances*. 22 (1), pp 71–79.
- [13]. Horacek. M.; Radolovic. M.; Jancic. D.; Whilidal. S.; & Culafic. G. (2021). "Potential Influence of a planned landfill on a high karst plateau in southwestern Montenegro to nearby karstic spring". *ACTA CARSOLOGICA*. NO. 50(2-3), pp: 291-300.
- [14]. Kapelewska. J.; Kotowska. U.; Karpińska. J.; Astel. A.; Zieliński. P.; Suchta. J.; & Algrzym. A. (2019). "Water pollution indicators and chemometric expertise for the assessment of the impact of municipal solid waste landfills on groundwater located in their area". *Chemical Engineering Journal*. NO. 359, pp: 790-800.
- [15]. Nika. M. C.; Ntaiou. K.; Elytis. K.; Thomaidi. V. S.; Gatidou. G.; Kalantzi. O. I.; Thormaidis. N. S.; & Stasinakis. A.S. (2020). "Wide-scope target analysis of emerging contaminants in landfill leachates and risk assessment using Risk Quotient methodology". *Journal of Hazardous Materials*. 394, 122493.
- [16]. Peng. Y. (2017). "Perspectives on technology for landfill leachate treatment". *Arabian Journal of Chemistry*. 10 (2), pp: 2567–2574.
- [17]. Reinhard. M.; Barker. J. F.; & Goodman. N. L. (1984). "Occurrence and distribution of organic chemicals in two landfill leachate plumes". *Environmental Science & Technology*. 18 (12), pp: 953–961.
- [18]. Słomczyńska. B.; & Słomczyński. T. (2004). "Physico-chemical and toxicological characteristics of leachates from MSW landfills". *Polish Journal of Environmental Studies*. 13 (6), pp: 627–637.
- [19]. Tenodi. S.; Krcmar. D.; Agbaba. J.; Zrnic. K.; Radenovic. M.; Ubavin. D.; & Dalmacija. B. (2020). "Assessment of the environmental impact of sanitary and unsanitary parts of a municipal solid waste landfill". *Journal of Environmental Management*. NO. 258, pp: 1-258.
- [20]. Thyagarajan. L. P.; Jeyanthi. J.; & Kavitha. D. (2021). "Vulnerability analysis of the groundwater quality around Vellalore-Kurichi landfill region in Coimbatore". *Environmental Chemistry and Ecotoxicology*. NO. 3, pp: 125-130.
- [21]. Viegas. C.; Nobre. C.; Mota. A.; Vilarinho. C.; Gouveia. L.; & Goncalves. M. (2021). "A circular approach for landfill leachate treatment: chemical precipitation with biomass ash followed by bioremediation through microalgae". *Journal of Environmental Chemical Engineering*. NO. 9, 105187.
- [22]. World Health Organization. (2018). "Guidelines for Drinking-Water Quality", second addendum. 4rd ed. ISBN: 978 92 4 154815 1.