مجله‌ی علمی و پژوهشی شریف
آبان ۱۳۸۸، شماره‌ی پنجاهم، ص. ۹-۱۴

بررسی آلودگی آلی آب‌های زیرزمینی شهر تهران

زهرا تویسرکانی (کارشناس ارشد)
جلال‌الدین شایگان (استاد)
علیرضا صادقی (کارشناس ارشد)
دانشکده‌ی مهندسی شیمی و نفت، دانشگاه صنعتی شریف

آب‌های زیرزمینی یکی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب در تهران هستند. از آنجا که در سال‌های کم‌آبی ۵۰٪ آب مصرفی تهران از طریق همین آب‌ها تأمین می‌شود، کیفیت آنها از اهمیت زیادی برخوردار است. در این تحقیق، با بررسی موقعیت چاه‌های تهران، مناسب‌ترین آنها با درنظرگرفتن نزدیکی به جایگاه های عرضه سوخت انتخاب و در سال ۸۶ نمونه‌برداری از آنها انجام شد. با اندازه‌گیری آلودگی‌های آلی آبهای زیرزمینی تهران مشخص شد که غلظت کل کربن آلی (TOC[1]) در تمام چاه‌های نمونه‌برداری شده بیش از حد مجاز و در محدوده‌ی ۶٫۵ تا ۱۲٫۵ میلی‌گرم در لیتر در تغییر بود. با بررسی آلودگی هیدروکربنی نمونه‌ها مشخص شد که اکثر چاه‌های مورد آزمایش عاری از این آلودگی هستند. میزان نیترات موجود در چاه‌های منتخب نیز اندازه‌گیری و بیشترین مقدار آن در حدود ۱۳۳ میلی‌گرم در لیتر محاسبه شد. با توجه به هماهنگی بین داده‌های TOC، نیترات و نیز بررسی نتایج به دست آمده از دستگاه GC_MS که هیچ‌گونه آلودگی هیدروکربنی را در اکثر نمونه‌ها نشان نمی‌داد، وجود منبع فاضلابی برای آلودگی آلی آب‌های زیرزمینی تهران گزارش داده شد. این در حالی است که در دو نمونه‌ی گرفته شده از مناطق یافت‌آباد و سیدخندان رفتار متفاوتی مشاهده شد که نشان‌گر نشت بنزین از مخازن ذخیره‌ی جایگاه‌های سوخت بالادست این دو محل است. در نهایت، راهکارهایی به‌منظور کنترل و حذف آلودگی پیشنهاد شده است.

واژگان کلیدی: آب‌های زیرزمینی، تهران، آلودگی آلی، آلودگی نیترات، آلودگی نفتی و سیستم دفع فاضلاب.

ztooserkani@yahoo.com
shayegan@sharif.edu
alireza_s@yahoo.com

۱. مقدمه

نیاز آبی شهر تهران برای اهداف مختلف مسکونی، خدماتی، صنعتی و کشاورزی از منابع مختلفی همچون سدهای لار، لتیان، کرج و نیز در مواقع کم‌آبی از آب‌های زیرزمینی دشت تهران (تا حدود ۵۰ درصد) تأمین می‌شود. با توجه به رشد سریع جمعیت و گسترش شهر تهران و به‌موازات آن آلوده‌شدن آب‌های زیرزمینی، دسترسی به آب قابل شرب بیش از پیش ضرورت می‌یابد. لذا بررسی آلودگی آب‌های زیرزمینی از نقطه نظر اقتصادی در شرایط بحرانی کم آبی و خشک‌سالی، و نیز به‌لحاظ افزایش جمعیت و به‌تبع آن افزایش نیاز جامعه به آب پاکیزه، سالم و قابل دسترس در این شرایط امری بسیار ضروری است.

مطالعات انجام شده درخصوص آب‌های زیرزمینی تهران غالباً محدود به اندازه‌گیری و سنجش دوره‌یی میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های موجود در آب و در برخی موارد بررسی وجود برخی فلزات و ترکیبات معدنیِ خطرزا است. در این مطالعات، آلاینده‌های آلی آب‌های زیرزمینی که مشکلات بهداشتی عدیده‌یی (ازجمله تولید ترکیبات سمی و سرطان‌زا در طی فرایند کلرزنی در واحد گندزدایی تصفیه‌خانه‌های آب) ایجاد می‌کنند کم‌تر مورد توجه قرار گرفته‌اند، و در بیشتر این تحقیقات وجودِ ترکیبی به‌نام متیل ترشیاری بوتیل‌اتر ($MTBE$[2]) ـ از مواد افزودنی به بنزین ـ بررسی شده است.[1]

در یک بررسی میزان آلودگی آلی آب زیرزمینی تهران با اندازه‌گیری TPH (مقدار کل هیدروکربن‌های نفتی) گزارش شده است.[2] در این بررسی، هیدروکربن‌ها به دو دسته‌ی آلیفاتیک و آروماتیک دسته‌بندی شده‌اند؛ هیدروکربن‌های آلیفاتیک به‌روش کروماتوگرافی گازی (GC) به‌همراه ستون کاپیلاری و آشکارساز FID، و هیدروکربن‌های آروماتیک توسط دستگاه $HPLC$ با موج‌یاب‌های $PDA-UV$ و فلوئورسانس اندازه‌گیری شدند. در این گزارش میزان TPH در نیمه‌ی اول سال ۸۶ بین ۱٫۲۸ تا ۷۹٫۲۷ میلی‌گرم در لیتر متغیر بوده که بیشترین مقدار مربوط به چاه‌های اسماعیل‌آباد در محدوده‌ی پالایشگاه تهران، و کم‌ترین مقدار مربوط به چاه‌های عظیم‌آباد گزارش شده است. در تحقیقی دیگر که انتقال نیترات از چاه‌های جاذب به آب‌های زیر زمینی تهران را مورد اندازه‌گیری قرار داده،[3] کمینه و بیشینه‌ی

تاریخ: دریافت ۱۳۸۶/۵/۲۹، داوری ۱۳۸۶/۹/۲۷، پذیرش ۱۳۸۷/۷/۳۰.

Archive of SID
www.SID.ir

نیترات در اردیبهشت‌ماه سال ۸۰ به‌ترتیب ۲٫۳۶ و ۲۸٫۳۵ میلی‌گرم در لیتر و با میانگین ۱۰٫۳۴ گزارش شده است.

ترکیبات آلی معمولاً موادی هستند متشکل از عناصر کربن، هیدروژن، اکسیژن و گاهی نیتروژن که برحسب شمول هریک از این عناصر نام‌هایی چون پروتئین‌ها، هیدروکربن‌ها، چربی و روغن و غیره را به خود اختصاص می‌دهند.[۴] بدن موجودات زنده ـ چه گیاهان و چه جانوران ـ از مواد آلی تشکیل شده است. ممکن است این مواد از طریق نفوذ اجساد این موجودات وارد آب‌های طبیعی، ازجمله آب‌های زیرزمینی، شوند. در این صورت آب‌های زیرزمینی به‌طور طبیعی دارای مقداری مواد آلی (NOM[۳]) هستند.[۵] بنابراین وجود ترکیبات آلی در آب‌های طبیعی و از جمله در آب‌های زیرزمینی تاحدودی طبیعی و اجتناب‌ناپذیر است. در کشورهای پیشرفته، در حوزه‌ی مسائل محیط زیست، این میزان مواد آلی به‌صورت کل کربن آلی (TOC) اندازه‌گیری شده و استانداردهای سخت‌گیرانه‌یی برای آن در نظر گرفته شده است. آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA[۴]) حد مجاز TOC در آب خام ورودی به تصفیه‌خانه‌های آب را معادل mg/l ۲ اعلام کرده است.[۶] این مقدار در برخی دیگر از کشورها تا mg/l ۴ نیز گزارش شده است. بالاتر رفتن میزان TOC در آب‌های این کشورها از آن روی نگران‌کننده است که نشان‌گر احتمال نفوذ مواد آلی از دیگر منابع آلوده‌کننده، نظیر نشتی از مخازن ذخیره‌ی روسطحی و زیرزمینی انواع سوخت‌ها، نفوذ ضایعات مایع و جامد صنعتی و یا شیرابه از نواحی دفن زباله[۵] و یا سیستم‌های دفع فاضلاب مانند تانک‌های متعفن (سپتیک) یا چاه‌های جذبی، آفت‌کش‌ها و کودهای شیمیایی است.[۷]

از سوی دیگر، گندزداهای مورد استفاده در تصفیه‌ی آب (به‌ویژه کلر و دیگر هالوژن‌ها) می‌توانند با مواد آلی آب واکنش دهند و محصولات جانبی ناخواسته‌یی ($DBPs$[۶]) را که تهدیدی برای سلامتی انسان‌ها هستند تولید کنند. تقریباً در تمام تصفیه‌خانه‌های آب در تهران از کلر به‌عنوان گندزدا استفاده می‌شود و به‌همین علت درصورت وجود مواد آلی در آب امکان ایجاد ترکیبات کلره در آب افزایش می‌یابد. شکستن پیوند کربن ـ کلر به‌طور مشخص دشوار است؛ همچنین حضور کلر واکنش‌پذیری سایر پیوندها را در مولکول‌های آلی کاهش می‌دهد. به این ترتیب، با وارد شدن ترکیب‌های آلی کلردار به محیط زیست، تخریب آنها به‌کندی صورت می‌گیرد و غلظت آنها افزایش می‌یابد و نهایتاً به معضل بزرگ زیست‌محیطی تبدیل می‌شوند. نتایج بررسی‌ها حاکی از سمی‌بودن محصولات جانبی متعددی مانند کلروفرم، برموفرم، برمودی‌کلرومتان، دی‌برمو کلرومتان، دی‌کلرواستیک اسید، تری‌کلرواستیک اسید، کلریت و برومات است.[۶] جدول ۱ بیشینه‌ی غلظت مجاز را برای باقی‌مانده‌ی گندزداها $MRDL$[۷] و محصولات جانبی MCL[۸] مشخص می‌کند.

براساس آنچه که گفته شد به نظر می‌رسد کنترل میزان آلاینده‌های آلی آب‌های ورودی به تصفیه‌خانه‌های آب و به‌تبع آن میزان TOC آب‌های زیرزمینی و سطحی و همچنین، در صورت مشاهده مقادیر بالای این پارامتر، به‌کارگیری روش‌های مناسب برای کاهش این نوع آلودگی ضروری است.

۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. انتخاب محل‌های نمونه‌برداری

در این پروژه بررسی نشت (نفوذ) دو منبع آلودگی اصلی به آب‌های زیرزمینی تهران مورد توجه قرار گرفته است:

- نشت بنزین و نفت گاز از مخازن ذخیره‌ی جایگاه‌های سوخت‌رسانی؛
- نفوذ فاضلاب از طریق چاه‌های جذبی دفع فاضلاب.

در بخش‌های شمالی شهر تهران (شمال محور خیابان شهید بهشتی تا شمیران) سفره‌های آب زیرزمینی اکثراً منفرد و موضعی با پتانسیل ضعیف‌اند. این در حالی است که در بخش جنوبی شهر، آبخوان اصلی و یک‌پارچه وجود دارد و شیب عمومی هیدرولیکی نیز به سمت نواحی جنوبی شهر است. بنابراین آنچه در این تحقیق بیشتر مورد بررسی قرار گرفت، چاه‌های بخش جنوبی یا همان چاه‌های آبخوان اصلی و یک‌پارچه بوده است.

از بین چاه‌های این قسمت از شهر، آن دسته از چاه‌هایی انتخاب شده است که فاصله‌ی آنها با اولین جایگاه سوخت در بالادست آن کم‌تر از Km ۱ باشد. این انتخاب با به‌کارگیری نرم‌افزار $ArcGIS/ArcMap$ و تهیه‌ی نقشه‌های GIS[۹] شهر تهران و جایگاه‌های سوخت صورت گرفته است. دلیل استفاده از این نرم‌افزار امکان تطابق نقشه‌های مختلف روی یکدیگر است. از آنجا که یافتن محل دقیق نزدیک‌ترین چاه به جایگاه‌های سوختِ منتخب از طریق کسب اطلاع از مسئولان محلی میسر نبود، هریک از نقشه‌ها از سازمان مربوطه تهیه و توسط این نرم‌افزار تطابق داده شد. در جدول ۲ و شکل ۱ نقاط نمونه‌برداری منتخب همراه با مختصات آن‌ها آمده است. همچنین تعدادی از نمونه‌ها با توجه به نزدیکی به محل‌هایی خاص نظیر پالایشگاه تهران و انبار ذخیره‌ی نفت شمال‌غرب تهران (شهران) انتخاب شده‌اند.[۸]

نوع چاه‌ها در جدول ۲ اشاره به عمق آنها دارد، به این ترتیب که D نشان‌گر چاه‌های عمیق با عمق بیش از ۴۰ متر و S نشان‌گر چاه‌های کم‌عمق با عمق کم‌تر از ۴۰ متر است. همچنین $UTMx$[۱۰] و $UTMy$ به سیستم مختصات استفاده شده در تشخیص موقعیت این چاه‌ها اشاره دارند.

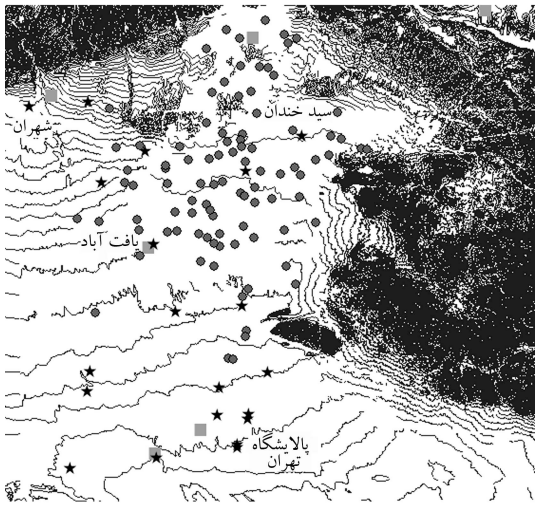
جدول ۱. بیشینه غلظت مجاز برای باقی‌مانده‌ی گندزداها و محصولات جانبی.[۳]

باقی‌مانده‌ی گندزداها	بیشینه غلظت مجاز باقی‌مانده‌ی گندزداها (mg/l)	مبنای تصمیم‌گیری
کلر	۴٫۰ (Cl_2 به‌صورت)	میانگین سالانه
کلرآمین	۴٫۰ (Cl_2 به‌صورت)	میانگین سالانه
کلرین دی اکسید	۰٫۸ (ClO_2 به‌صورت)	نمونه‌های روزانه
محصولات جانبی گندزدایی	**بیشینه غلظت مجاز محصولات جانبی گندزدایی (mg/l)**	**مبنای تصمیم‌گیری**
کل تری هالومتان‌ها (TTHM) - کلروفرم - برمودی کلرومتان - دی برموکلرومتان - برموفرم	۰٫۰۸۰	میانگین سالانه
هالو استیک اسیدها (HAA۵) - دی‌کلرواستیک اسید - تری‌کلرواستیک اسید	۰٫۰۶۰	میانگین سالانه
کلریت	۱٫۰	میانگین ماهانه
برومات	۰٫۰۱۰	میانگین سالانه

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲. نقاط نمونه‌برداری منتخب.

محل نمونه‌برداری	نوع چاه	UTM x	UTM y
پونک	S	۵۲۷۸۵۰	۳۹۵۷۰۵۰
پارک ستارخان	D	۵۳۲۱۵۰	۳۹۵۳۳۵۰
دورقوزآباد	D	۵۲۶۴۵۰	۳۹۲۹۴۰۰
بافت آزادی	D	۵۲۸۸۵۰	۳۹۵۱۰۰۰
دهکده المپیک	D	۵۲۳۳۷۵	۳۹۵۶۷۲۵
ممتاز ایران	D	۵۳۹۴۳۸	۳۹۴۱۶۷۱
قلعه گبری	D	۵۴۱۴۰۰	۳۹۳۶۶۵۰
بیمارستان خانواده	D	۵۳۹۷۰۰	۳۹۵۱۸۵۰
کهریزک	D	۵۳۳۰۰۰	۳۹۳۰۲۰۰
عبدل‌آباد	D	۵۳۴۴۰۰	۳۹۴۱۲۵۰
باشگاه پیام	D	۵۴۳۹۵۰	۳۹۵۴۵۰۰
باقرشهر	D	۵۳۷۷۰۰	۳۹۳۵۵۰۰
بیمارستان شهدای ۷ تیر	D	۵۳۷۵۵۰	۳۹۳۳۴۰۰
یافت‌آباد	D	۵۳۲۷۵۰	۳۹۴۶۳۵۰
دوتویه سفلی	D	۵۳۶۶۲۵	۳۹۲۳۵۰۰
عظیم‌آباد(۱)	D	۵۳۹۰۸۸	۳۹۳۱۰۰۸
عظیم‌آباد(۲)	D	۵۳۹۰۶۰	۳۹۳۱۱۹۹
اسماعیل‌آباد(۱) (پالایشگاه تهران)	D	۵۳۹۸۵۷	۳۹۳۳۰۹۷
اسماعیل‌آباد(۲) (پالایشگاه تهران)	D	۵۳۹۹۴۷	۳۹۳۳۴۸۶
شهران (۱)(انبار نفت، قنات کوچک)	D	۵۲۷۷۵۰	۳۹۳۵۲۰۰
شهران (۲)(انبار نفت، قنات بزرگ)	D	۵۲۷۹۸۹	۳۹۳۶۷۰۰



شکل ۱. نحوه‌ی انتخاب محل‌های نمونه‌برداری.

در شکل ۱ ستاره‌ها نشان‌دهنده‌ی محل‌های نمونه‌برداری، و دایره‌ها نشان‌دهنده‌ی موقعیت پمپ بنزین‌های تهران هستند. چاه‌های قسمت‌های جنوبی و شمال‌غربی برحسب نزدیکی به پالایشگاه تهران و انبار نفت شهران انتخاب شده‌اند.

۲.۲. نمونه‌برداری از چاه‌های منتخب

در زمان انجام نمونه‌گیری (مردادماه سال ۸۶) به‌منظور ممانعت از ورود هرگونه آلودگی آلی به درون نمونه‌ها، ظروف نمونه‌برداری از جنس شیشه‌یی تیره‌رنگ (برای جلوگیری از عبور نور خورشید) با درب فلزی و درزگیر آلومینیومی انتخاب شد.[۹]

از آنجا که اکثر محل‌های نمونه‌برداری از محل انجام آنالیزها دور بود، برای نگه‌داری نمونه‌های دربسته در شرایط مطلوب از محفظه‌یی عایق با دمای زیر ۴ درجه سلسیوس استفاده شد. این شرایط امکان واکنش و فراریت نمونه‌ها و مواد آلیِ موجود در آنها را کاهش می‌داد.[۹]

۳.۲. آنالیز کل کربن آلی (TOC)

از آنجا که تمامی ترکیبات آلی در ساختار شیمیایی‌شان عنصر کربن دارند، ابتدا اندازه‌گیری کل کربن موجود در نمونه‌ها و سپس کاهش میزان کربنات‌ها و بی‌کربنات‌های معدنی از آن، بهترین روش برای پی‌بردن به میزان مواد آلی موجود در نمونه‌ها است. اگرچه استفاده از پارامتر TOC به‌عنوان معیار کیفی آب شرب ارزش چندانی ندارد، مقادیر TOC تا حد زیادی نشان‌گر آلودگی آلی آب است و حذف آن طبعاً مواد ناشناخته و احتمالاً سمی آب را کاهش خواهد داد.[۱۰] در این تحقیق، میزان کل کربن آلی موجود در نمونه‌ها، توسط دستگاه آنالیز TOC به‌روش احتراق دمابالا[۱۱] ($FormacAnalyzer$ از محصولات شرکت $Skalar$) بادقت $0/5\ mg/l$ اندازه‌گیری شد. برای اطمینان از صحت آنالیز انجام‌شده، بیشتر نمونه‌ها سه‌بار و در فاصله‌های زمانی کوتاه ـ به‌منظور فراهم‌آمدن شرایط یکسان برای دفعات مختلف ـ آنالیز شدند. همچنین در هربار آنالیز، به‌همراه نمونه‌ها محلول‌های استانداردی با میزان TOC و TC[۱۲] مشخص ساخته و در دستگاه قرار داده می‌شد تا میزان دقت و صحت نتایج در هر بار آنالیز بررسی شود.

۴.۲. بررسی آلودگی هیدروکربنی آب‌های زیرزمینی تهران

از بین تمام شیوه‌های یادشده گاز کروماتوگرافی جرمی بیشترین استفاده را در آنالیز هیدروکربن‌های نفتی دارد. در این روش، اجزای مختلف مخلوط با استفاده از تفاوت فراریت آنها در جداسازی‌شان و نیز براساس نسبت جرم به بارشان شناسایی می‌شوند. از آنجا که امکان تزریق مستقیم نمونه‌های آب به دستگاه وجود نداشت و یک استخراج سه‌مرحله‌یی قبل از تزریق لازم بود، در این پروژه از محلول هگزان[۱۳] به‌عنوان حلال آلی در سه مرحله استخراج استفاده شد. بدین صورت مواد آلی موجود با بازده ۹۹٪ وارد فاز آلی شدند. در نهایت این عملیات به‌صورت منحنی‌های کروماتوگراف و پیک‌های متعدد گزارش می‌شود که بلندی این پیک‌ها معرف غلظت آلاینده‌هاست.

۵.۲. تعیین میزان نیترات

خاک بیشتر نواحی مورد بررسی از جنس شن و ماسه و سنگریزه است و نفوذپذیری آن نسبتاً خوب گزارش شده است. بنابراین رسیدن هوا به لایه‌ی غیراشباع خاک به‌خوبی ممکن است. درنتیجه، با وجود این که در فاضلاب‌های انسانی و شهری نیتروژن به‌صورت نیتروژن آلی یا آمونیاک[۱۱] وجود دارد وجود اکسیژن باعث می‌شود که باکتری‌های بتوانند این نیتروژن را به نیترات تبدیل کنند.

با توجه به دلایل ذکرشده و همچنین عدم وجود سیستم یک‌پارچه‌ی دفع فاضلاب در تهران، می‌توان نتیجه گرفت که وجود نیترات با غلظت‌های بالا در

Archive of SID
www.SID.ir

نمونه‌های آب زیرزمینی می‌تواند شاخصی باشد برای راه‌یابی فاضلاب چاه‌های جذبی دفع فاضلاب شهری به آب‌های زیرزمینی.[۱۲] (این مسئله در تحلیل داده‌ها آمده است.)

روش اندازه‌گیری نیترات در نمونه‌ها مبتنی است بر روش نورسنجی طیفی (اسپکتروفتومتری) فرابنفش[۱۴] $NO3-B$ ۴۵۰۰ و توسط دستگاه اسپکترونیک[۱۵] مدل D ۲۱ شرکت $Spectronic\ Instruments$ صورت گرفته است.[۱۳] با توجه به مشکلات و تداخلاتی که مواد آلی و بی‌کربنات موجود در نمونه‌ها با یون نیترات در آنالیز اسپکتروفتومتری ایجاد می‌کنند، به‌منظور حذف تداخل مواد آلی علاوه بر آنالیز نمونه‌ها در طول موج nm ۲۲۰، آنالیز در طول موج nm ۲۷۰ (طول موجی که مواد آلی در آن جذب نمی‌شوند) نیز انجام شد تا اصلاح لازم بر روی نتایج nm ۲۲۰ اعمال شود. همچنین با افزودن اسید کلریدریک ۱ نرمال تداخل حاصل از بی‌کربنات‌ها قابل چشم‌پوشی شد.

۳. نتایج آنالیزها

در جدول ۳ نتایج آنالیزهای انجام شده در این تحقیق آمده است. نتایج آنالیز گاز کروماتوگرافی جرمی به‌صورت نمودار پیک‌های فراوانی برحسب زمان گزارش می‌شود. به‌منظور تشخیص ترکیبات موجود در نمونه‌ها، نمودار و نتایج $GC-MS$ حلال با نمودار و نتایج دیگر نمونه‌ها مقایسه شده و ترکیبات مازاد بر حلال موجود در نمونه‌ها در جدول ۳ آمده است. چنان‌که مشاهده می‌شود، متوسط مقدار TOC در چاه‌های اندازه‌گیری شده ۹٫۳ میلی‌گرم بر لیتر است که به‌مراتب بیشتر از مقدار توصیه‌شده برای ورودی به تصفیه‌خانه است.[۶] جالب توجه است که TOC آب خام ورودی به تصفیه‌خانه‌های آب تهران نیز بیش از استانداردهای بین‌المللی است[۷] که حتی بعد از تصفیه نیز کاهش قابل قبولی نداشته است (جدول ۴). مقدار نیترات نیز در بیشتر چاه‌های مورد مطالعه بالا، و در ۳ مورد نیز بیش از ۱۰۰ میلی‌گرم در لیتر مشاهده شده است. بیشینه‌ی مجاز برای نیترات در حدود ۴۵ میلی‌گرم در لیتر گزارش شده است.

۴. تحلیل نتایج

با توجه به نتایج ارائه شده درجدول ۳ می‌توان گفت:

۱. آنالیز نمونه‌های آب زیرزمینی تهران توسط آنالیزگر TOC نشان از این دارد که نه‌تنها آب‌های زیرزمینی تهران آلودگی آلی پیدا کرده‌اند بلکه این آلودگی در تمامی نقاط از استانداردهای جهانی بالاتر بوده و حتی به ۳ الی ۴ برابر استاندارد جهانی می‌رسد.

۲. چنان‌که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، نتیجه‌ی آنالیز $GC-MS$ با بررسی‌های قبلیِ انجام شده درخصوص آب‌های زیرزمینی تهران هم‌خوانی دارد زیرا، در تحقیقات گذشته درخصوص آلودگی $MTBE$ آب‌های زیرزمینی تهران، مشاهده شده بود که بیشترین مقدار $MTBE$ در سطح شهر، حدود ppb ۲۰ یا ppm ۰٫۰۲ بوده است. با توجه به این که میانگین جرمی $MTBE$ در بنزین ۱۰٪ است، با یک حساب ساده بیشترین میزان آلودگی ناشی از بنزین ppm ۰٫۲ خواهد بود که این مقدار کم‌تر از دقت دستگاه آنالیزگر TOC است. این خود مؤید این است که آلودگی هیدروکربنی ناشی از بنزین در آب‌های زیرزمینی تهران فقط به‌مقدار جزئی وجود دارد.

جدول ۳. نتایج آنالیزهای انجام شده در این تحقیق.

محل نمونه‌برداری	نوع	TOC (mg/L)	NO۳ (mg/L)	ترکیبات مازاد بر حلال آلی
پونک	S	۱۰٫۰	۵۵٫۸	-
پارک ستارخان	D	۷٫۰	۷٫۴	-
دورقوزآباد	D	۱۱٫۰	۳۳٫۰	-
بافت آزادی	D	۸٫۵	۱۸٫۲	-
دهکده المپیک	D	۱۰٫۰	۴۰٫۱	-
ممتاز ایران	D	۱۱٫۰	۴۵٫۴	-
قلعه گبری	D	۱۱٫۵	۱۳۳٫۰	-
بیمارستان خانواده ـ خیابان شریعتی	D	۶٫۵	۴٫۰	-
کهریزک	D	۱۱٫۵	۱۰۸٫۷	-
عبدل‌آباد	D	۱۱٫۰	۴۰٫۶	-
باشگاه پیام ـ خیابان شریعتی	D	۱۱٫۵	۱۰٫۸	MTBE*
باقرشهر	D	۱۱٫۵	۷۰٫۶	-
بیمارستان شهدای ۷ تیر	D	۱۰٫۰	۳۶٫۳	-
یافت‌آباد، کانون فرهنگی ابوذر	D	۱۱٫۵	۲۸٫۰	اکتان
دوتویه سفلی	D	۱۰٫۵	۳۸٫۰	-
عظیم آباد(۱)	D	۱۰٫۵	۷۱٫۰	-
عظیم آباد(۲)	D	۱۰٫۰	۳۳٫۸	-
اسماعیل آباد(۱) (پالایشگاه تهران)	D	۱۲٫۵	۱۱۵٫۰	آمید
اسماعیل آباد(۲) (پالایشگاه تهران)	D	۱۰٫۵	۹۴٫۰	-
شهران(۱) (انبار نفت، وسک کوچک)	D	۱۱٫۵	۴۲٫۰	-
شهران(۲) (انبار نفت، وسک بزرگ)	D	۹٫۰	۱۷٫۷	-

* این مورد توسط سازمان حفاظت محیط زیست در طی آنالیز GC به روش $MHSE$ گزارش شده است.

۳. چنان که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، وجود غلظت‌های بالای نیترات علاوه بر مشکلاتی که در مصرف‌کنندگان این آب ـ به‌ویژه نوزادان[۱۶] ـ ایجاد می‌کند، خود نمایانگر نفوذ فاضلاب‌های قدیمی است که فرصت اکسایش و تبدیل‌شدن به نیترات را یافته‌اند؛ و بنابراین احتمال وجود موجودات ذره‌بینی نیز در آن‌ها زیاد است.[۱۴]

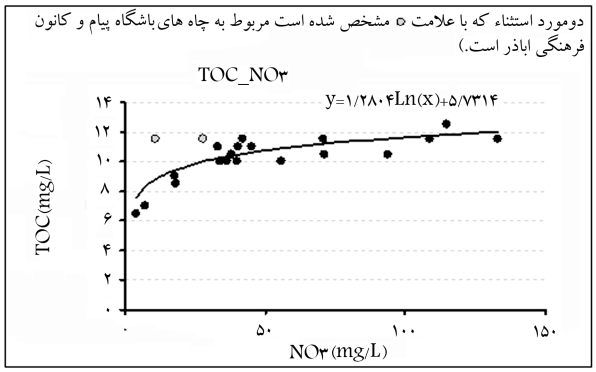
۴. با توجه به جدول ۳ نتایج TOC با مقادیر نیترات سازگاری خوبی دارند، به این معنی که در مقادیر کم TOC مقادیر نیترات نیز کم است (مانند موارد واقع در پارک ستارخان، بافت آزادی، بیمارستان خانواده، وسک کوچک در شهران) اما در مقادیر بالای TOC، میزان نیترات نیز بالا گزارش می‌شود (مانند اسماعیل‌آباد، قلعه گبری، کهریزک). در نمودار ۱ رابطه به دست آمده برای غلظت مواد آلی کربنی ـ غلظت نیترات در شهر تهران آمده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۴. مقادیر TOC و کلر باقی‌مانده در ورودی و خروجی چند تصفیه‌خانه‌ی آب تهران.[۹]

تصفیه‌خانه آب تهران	نوع نمونه	کلر باقیمانده (mg/L)	TOC (mg/L)
تصفیه‌خانه شماره ۳ (تهرانپارس)	آب خام	۰/۱	۹/۰
تصفیه‌خانه شماره ۳ (تهرانپارس)	آب تصفیه شده	۱/۰	۸/۰
تصفیه‌خانه شماره ۴ (تهرانپارس)	آب تصفیه شده	۱/۱	۷/۵
تصفیه‌خانه شماره ۲ (کن)	آب خام	۱/۰	۶/۰
تصفیه‌خانه شماره ۲ (کن)	آب تصفیه شده	۱/۱	۴/۵
تصفیه‌خانه شماره ۵	آب خام	۰/۸	۵/۵
تصفیه‌خانه شماره ۵	آب تصفیه شده	۰/۹	۴/۵



نمودار ۱. رابطه‌ی غلظت مواد آلی کربنی با غلظت نیترات نمونه‌ها.

جدول ۵. درصد حذف TOC توسط عملیات انعقاد.[۲]

کل کربن آلی آب (mgl)	مقدار سختی آب (mgl/as $CaCO_3$)		
	۰-۶۰	۶۰-۱۲۰	بیشتر از ۱۲۰
۲/۰-۴/۰	۳۵	۲۵	۱۵
۴/۰-۸/۰	۴۵	۳۵	۲۵
بیشتر از ۸/۰	۵۰	۴۰	۳۰

۵. چنان که در نمودار ۱ مشاهده می‌شود، رابطه‌ی بین غلظت نیترات و مواد آلی کربنی رابطه‌یی هم‌آهنگ و صعودی است. دومورد استثناء مشاهده شده مربوط به چاه‌های باشگاه پیام (خیابان شریعتی) و کانون فرهنگی اباذر (یافت‌آباد) در این نمودار مشخص شده است. به نظر می‌رسد در هر دو این موارد آلودگی نفتی باعث افزایش TOC شده است.

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

بنابر نتایج و تحلیل‌های یادشده، می‌توان نتایج نهایی را چنین گزارش کرد:

۱. غلظت مواد آلی کربن‌دار به‌طور میانگین در قسمت آبخوان اصلی شهر تهران، جنوب عباس‌آباد، ۱۰/۵ mg/l گزارش می‌شود که این مقدار بالاتر از استاندار جهانی آن بوده و باید راهکارهایی برای کاهش آن اندیشیده شود.

۲. از آنجا که نیترات موجود در آب‌های زیرزمینی فقط در مقادیر کم طبیعی است و ممکن است مربوط به مواد موجود در خاک منطقه باشد، مقادیر بالای نیترات در منطقه‌ی شهری تهران به‌طور عمده به‌علت نفوذ فاضلاب خانگی و شهری از چاه‌های جذبی به آب‌های زیرزمینی است. بنابر این، میزان TOC بالای آب‌های زیرزمینی در شهر تهران که نیز منطبق با غلظت بالای نیترات است، ممکن است منشأ فاضلاب شهری داشته باشد. این نتیجه در مناطق جنوبی شهر که شیب عمومی زمین و جهت حرکت آب‌های زیرزمینی به آن سمت است، بیشتر خود را نشان می‌دهد. لذا توسعه‌ی سیستم جمع‌آوری فاضلاب و احداث تعداد بیشتری تصفیه‌خانه‌ی فاضلاب در نقاط مختلف شهر از اولین اقدامات ضروری برای شهر تهران است. راه‌اندازی سیستم جمع‌آوری و تصفیه‌ی فاضلاب در زمان کوتاه ممکن است به‌دلایل اقتصادی امکان‌پذیر نباشد.

۳. کاهش بار TOCهای بالاتر از حد مجاز (۲ mg/L) را می‌توان در تصفیه‌خانه‌های آب انجام داد. به این ترتیب که با توجه به میزان سختی و TOC آب، و نیز مطابق داده‌های ارائه شده در جدول ۵، عملیات حذف TOC توسط فرایند انعقادسازی پیشرفته[۱۷] در مرحله‌ی فیلتراسیون تصفیه‌خانه‌های آب انجام می‌گیرد. با استفاده از این روش، میزان TOC که باعث ایجاد مواد سمی جانبی $DBPs$ در عملیات کلرزنی است، به مقدار چشم‌گیری کاهش می‌یابد.[۵]

۴. اگرچه میانگین آلودگی هیدروکربنیِ ناشی از نشت جایگاه‌های سوخت‌رسانی و مخازن زیرزمینی در آب‌های زیرزمینی تهران در حدود ۰/۲ ppm به دست آمده است، اما وجود نشتی از بعضی جایگاه‌ها (ازجمله سیدخندان) کاملاً مشهود است. از این رو، معاینات دوره‌یی از این مخازن و آب‌های زیرزمینی باید در دستور کار پایش وجود داشته باشد.

۵. در دو نقطه ـ کانون فرهنگی ابوذر در یافت آباد و باشگاه پیام در سیدخندان ـ که در نمودار ۱ و در جدول ۳ مشخص شده‌اند، روند مشاهده‌شده بین غلظت مواد آلی کربنه و غلظت نیترات مشاهده نمی‌شود. به این معنی که با وجود پایین‌بودن نیترات، TOC نمونه‌ها بالا است و همچنین در آنالیز $MS-GC$ نیز ترکیباتی غیر از ترکیبات حلال مشاهده می‌شود. این امر می‌تواند نشان‌گر راه‌یابی بنزین از جایگاه‌های سوخت موجود در بالادست این نقاط به آب‌های زیرزمینی باشد. بنابراین بازبینی وضعیت مخازن زیرزمینی و در نظرگرفتن واحد جداکننده‌ی آب و نفت[۱۸] در خروجی آب‌های حاصل از شست‌وشوی این جایگاه‌های سوخت لازم و ضروری به نظر می‌رسد.

۶. با توجه به عدم وجود استانداردهای لازم در زمینه‌ی آلودگی آلی آب‌های زیرزمینی در ایران، ضروری است استانداردها و قوانین سخت‌گیرانه‌یی بر روی میزان TOC و دیگر ترکیبات آلی موجود در آب‌های زیرزمینی ایران تدوین شود تا مسئولان امر با استناد به این قوانین و استانداردها تصمیم‌گیری‌های لازم را اتخاذ کرده و آبی سالم برای شهروندان فراهم آورند.

تقدیر و تشکر

بدینوسیله از شرکت مدیریت منابع آب ایران که با حمایت مالی انجام این پروژه را میسر نمودند وهمچنین از سازمان آب تهران که در تهیه‌ی نمونه‌ها و انجام آزمایش بر روی آنها مساعدت‌های لازم را به‌عمل آوردند صمیمانه قدردانی و تشکر می‌نماید.

Archive of SID
www.SID.ir

پانوشت

1. total organic carbon
2. methyl tertiary butyl ether
3. naturally occurring organic matter
4. US environmental protection agency
5. landfills
6. disinfection by products
7. maximum residual disinfectant level
8. maximum concentration level
9. geographical information system
10. universal transverse mercator
11. high temperature combustion
12. total carbon
13. extra pure
14. ultraviolet spectrophotometer screening method
15. spectronic
16. methemeglobinemia
17. enhanced coagulation and enhanced softening
18. oil water separator

منابع

1. Safari kang, Gh. *Conceptional Study of MTBE Elimination Processes from Drinking Water,* Sharif University of Technology, Chemical and Petroleum Engineering Department, (2004).
2. Falsafi, F. *Organic Pollutions Arising from Petroleum Hydrocarbons, Industrial Pollutants and Municipal Wastewater in Rey Industrial Area,* Shahid Beheshti Univesity, Faculty of Earth Sciences, (2007).
3. Jokar niasar, V. *Study and Estimation of Nitrate Transfer Amount From Absorbent Wells to Underground Water in Tehran,* Sharif University of Technology, Civil Engineering Department, (2002).
4. Metcalf and Eddy. Inc. (Revised by Tchobanoglous, G.; Burton, F.L. and Stensel, H.D.) *Wastewater Engineering: treatment and reuse,* 4th ed., McGraw Hill, New York, NY (2003).
5. United State Environmental Protection Agency. "Stage 1 disinfectants and disinfection byproducts rule," Groundwater and Drinking water Division, U.S. EPA (1998).
6. United State Environmental Protection Agency. "Enhanced coagulation and enhanced precipitate softening guidance manual," Groundwater and Drinking water Division, U.S. EPA (1999).
7. Robertson, W.; Cherry, J., and Sudicky, E. "Groundwater contamination from two small septic systems on sand aquifers," *Groundwater,* **29**(1), pp. 82-92 (1991).
8. Anonymous, ILWIS 3.0, Academic User's Guide, International Institute for Aerospace Survey and Earth-Sciences (ITC) Enschede, the Netherlands, 530 (1991).
9. Eaton, A.D.; Clesceri, L.S., and Greenberg, A.E. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater,* Washington, DC, 19th edition Supplement (1996).
10. Hammer M.J. *Water and Wastewater Technology,* 5th ed., Prentice Hall of India Private Limited, New Delhi, India (2007).
11. Geary, P.M., and Whitehead, J.H. "Groundwater contamination from on-site domestic wastewater management systems in a coastal catchments," *American Society of Agricultural and Biological Engineers,* PP. 479-487 (2001).
12. Jokar niasar, V., and Ataee Ashtiani, B., "Modeling of nitrate concentration in unsaturated zone of tehran aquifer: combination of lump parameter and mass balance methods," *Sharif Journal of Science and Technology,* **33**(1), pp.3-11 (2006).
13. Tehran Regional Water Co., "Quantitative and qualitative study of tehran's underground water resources project" (Feb 2004).
14. Albaiges, J.F.; Casado, F., and Ventura, F. "Organic indicators of groundwater pollution by sanitary landfill," *Water Research,* **20**, pp. 1153-1159 (1986).

Archive of SID

www.SID.ir