

مدل سازی باکتریولوژیکی شبکه آب شهر سمنان

احمد خدادادی^{۱*}، بیتا آیتی^۲، فریبا بینشیان^۳

۱- دانشیار دانشکده فنی و مهندسی، پژوهشکده محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشیار دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، گروه مهندسی محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت مدرس

akdarban@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۷/۱۰

چکیده- سازمان جهانی بهداشت توصیه کرده است که در تأمین آب آشامیدنی، بررسی کیفیت میکروبی در الویت قرار گیرد. یکی از شاخص های ارزیابی شبکه های پخش و واحدهای تصفیه آب، تعداد باکتری های هتروتروف یا HPC پس از کلر زنی است. شاخص های کدورت و کلر باقی مانده نیز به عنوان شاخص های کنترل کننده در کنار شاخص بالا سنجیده می شوند. با توجه به محدودیت منابع آب شهر سمنان و اهمیت اطمینان داشتن از سلامت آب در شبکه، این پژوهش برای اولین بار با استفاده از سامانه جغرافیایی GIS و مدل سازی باکتریولوژیکی WaterGems انجام شد. ابتدا اطلاعات مربوط به شبکه پخش آب شهر شامل رقوم ارتفاعی، جنس و قطر لوله، فشار در خط، موقعیت شیرآلات و اتصالات و مسیر حرکت جریان وارد برنامه شد. سپس نقاط نمونه برداری با توجه به اطلاعات بالا انتخاب و ۲۵۲۰۰ نمونه از این نقاط برداشته و شاخص های کدورت، کلر باقی مانده و HPC سنجیده شد. طبق نتایج به دست آمده، ضریب همبستگی بالا در نمودارها بیانگر ارتباط منطقی شاخص های کلر باقی مانده آزاد و کدورت، کلر باقی مانده آزاد و HPC، کدورت و HPC با یکدیگر و نسبت به مسیر است به گونه ای که با کاهش کلر باقی مانده، کدورت افزایش یافته و تعداد باکتری های هتروتروف نیز زیاد می شود.

واژگان کلیدی: شاخص های میکروبی، شبکه پخش آب، سامانه اطلاعات جغرافیایی

۱- مقدمه

را در محل مصرف تضمین می کند. کنترل کیفی شبکه پخش آب شهری به دو شکل سنتی و جدید انجام می شود. در روش سنتی شاخص هایی مانند سختی، کدورت و رنگ کاوش می شوند؛ در روش جدید، افزون بر کاوش بیشتر آنیون ها و کاتیون ها و کیفیت باکتریایی، دما، pH و ترکیبات تشکیل شده ناشی از فرایندهای تصفیه، مانند هالومتان ها نیز بررسی می شود [۱، ۲، ۳]. در سال های اخیر

رساندن آب آشامیدنی بیماری زا به مصرف کننده، وظیفه اصلی همه ی سازمان های آب است؛ بنابراین پس از تصفیه و قبل از ورود آب به شبکه پخش، مقدار کمی ماده گندزدا- بیشتر کلر، اسید هیپوکلریک یا دی اکسید کلر- به آب افزوده می شود. این «حفاظت شبکه» از رشد دوباره باکتری ها در لوله های پخش جلوگیری کرده و بهداشت آن

نشود [۷، ۱۰].

پس با توجه به وسعت تحقیقات در بخش کنترل کیفی شبکه پخش آب و افزایش دانش ناظران کنترل کیفی از یک سو و تقاضای مردم برای مصرف آبی با کیفیت بالا از سوی دیگر، امروزه شاخص‌های زیادی در کنترل کیفی شبکه پخش آب شهری وارد شود. به‌خاطر پراکنده بودن اطلاعات توصیفی مربوط به پخش به سیستمی منسجم که با بالاترین کیفیت در کمترین زمان و با بیشترین سرعت و دقت اطلاعات را پردازش کند نیاز است.

درباره‌ی مدل‌سازی شاخص‌های کیفی در منابع آب به‌ویژه رودخانه‌ها و آب‌های زیرزمینی، شاخص‌های هیدرولیکی، کنترل سیلاب و مشابه آن در کشور تحقیقات متعددی انجام شده؛ برای نمونه، پژوهش سیه سرانی و همکاران [۱۱]، برخوردار و چاوشیان [۱۳] و الوانکار [۱۲]. همچنین جمشیدی و همکاران برای در بررسی تغییرات جمعیت میکروبی HPC در شبکه‌های آب‌رسانی شهر صالح‌آباد در استان ایلام بدون استفاده از GIS و نرم‌افزار کامپیوتری به روش دستی در هفت ایستگاه شاخص‌های HPC، MPN، pH، کدورت و کلر باقی‌مانده را بررسی کرده‌اند. با استفاده از نتایج HPC، نقاط کور شبکه که ماند و رکود آب و در نتیجه اتلاف کلر باقی‌مانده در آن محل وجود دارد را مشخص و برای رفع مشکل، حلقه‌ای کردن شبکه را پیشنهاد کردند [۱۴]. اما گزارش یا مقاله‌ای درباره‌ی کاوش مدل‌سازی باکتریولوژیکی به‌وسیله‌ی نرم‌افزار GIS^۴ و نیز نرم‌افزار WaterGems که قدرت طراحی و کاوش شبکه آب‌رسانی با قابلیت هماهنگی با GIS را داشته باشد؛ یافت نشد. بنابراین در این پژوهش بر اساس معتبرترین شاخص باکتریایی (HPC) و تلفیق نرم‌افزارهای GIS و WaterGems، ArcView، روند تغییرات HPC، کلر باقی‌مانده آزاد و کدورت

سازمان‌های آب با مخالفت عمومی برای کاربرد مقادیر بالای مواد ضدعفونی‌کننده مانند کلر مواجه شدند؛ بنابراین غلظت مواد جانبی به‌دست‌آمده از ترکیب این مواد با ناخالصی‌های آب، با تعیین بیشینه‌ی غلظت مجاز^۱ محدود شده است. از جمله این مواد مضر می‌توان تری‌هالومتان‌ها^۲ [۴] را نام برد که در روش کلرزنی از ترکیب کلر با مواد آلی طبیعی و همچنین کلریت و کلرات [که از دی‌اکسیدکلر تولید می‌شوند] ایجاد می‌شوند [۴، ۵، ۶، ۷]. پس حفظ کیفیت میکروبی آب با کمترین میزان کلرزنی در شبکه آب شهری یکی از مهم‌ترین چالش‌های زیست محیطی است.

آزمایش‌های میکروبیولوژی از نظر نوع موجوداتی که مطالعه می‌شود و نیز کیفیت منابع آب، بسیار گوناگون است که از میان آن‌ها آزمایش‌های تعیین کیفیت باکتریولوژیکی به‌خاطر اهمیت بیشتر به‌ویژه از نظر بیماری‌زایی به عنوان شاخص‌های میکروبی آب بحث می‌شوند. آزمون شمارش بشقابی باکتری‌های هتروتروف^۳، معیاری برای سنجش تصفیه میکروبی و کنترل آب شبکه پس از کلرزنی و سلامت آب شرب است که اطلاعات باارزشی از کارایی و وضعیت بهداشتی آب در تأسیسات و شبکه‌های آب شرب، در همه‌ی مراحل تولید تا مصرف به‌دست می‌دهد [۸، ۹، ۱۰]. شمارش بشقابی باکتری‌های هتروتروف روشی است که در آن تعداد باکتری‌های هتروتروف زنده در آب اندازه‌گیری و تغییرات کیفی آب هنگام تصفیه و پخش، سنجیده می‌شود که بالا بودن آن بیانگر آلودگی است؛ اگرچه افزایش ناگهانی تعداد کلنی‌ها، ممکن است نشانه ورود آلودگی تازه به منابع آب باشد. ارزش این روش این است که در همه‌ی نمونه‌هایی که به طور مرتب برداشت می‌شوند، هیچ تغییر چشم‌گیری در تعداد کلنی‌ها ایجاد

1- Maximum Contaminant Level (MCL)

2- Trihalomethanes (THMs)

3- Heterotrophic Plate Count (HPC)

4- Geographic Information System

طی دوره‌های مختلف در شبکه پخش آب سمنان بررسی شد تا نتایج به‌دست آمده، پایه‌ای برای بازنگری قوانین و مقررات، شناسایی دوباره‌ی کاربری‌های مناسب آب و شبکه پخش، به‌روزرسانی اطلاعات هیدرولیکی شبکه، اعمال مدیریت کیفی و سرانجام شناسایی و کنترل منابع آلاینده‌شده و مشاهده و اندازه‌گیری طولانی‌مدت محیط آبی برای تعیین و توضیح حالت و روند تغییرات کیفیت آن امکان‌پذیر شود [۱۵، ۱۶ و ۱۷].

۲- منطقه مطالعاتی و روش تحقیق

شهرستان سمنان در جنوب سلسله جبال البرز در دشتی وسیع با شیب تند از شمال به طرف جنوب قرار دارد که شامل شهرهای سمنان، شه‌میرزاد و سرخه است. این شهرستان با مساحت ۲۲۱۲۰ کیلومتر مربع با برآورد ۱۷۹ هزار نفر جمعیت در سال ۱۳۸۶ در دامنه جنوبی سلسله جبال البرز واقع شده و از غرب به شهرستان گرمسار، از شرق به شهرستان دامغان، از جنوب به استان اصفهان و از شمال به شهرستان ساری در استان مازندران محدود شده است. کمینه‌ی طول شرقی جغرافیایی شهرستان سمنان، ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه و کمینه‌ی عرض شمالی جغرافیایی، ۳۴ درجه و ۱۵ دقیقه، بیشینه‌ی ارتفاع شهرستان از سطح دریا، ۲۰۶۵ متر و اختلاف ساعت آن با تهران ۷ دقیقه و ۴۰ ثانیه است.

در این پژوهش برای رسیدن به هدف ارزیابی و پایش باکتریولوژیکی شبکه پخش با رویکرد به کاربری تعریف‌شده، برنامه اجرایی پایش که متضمن نوع و توالی زمانی و مکانی نمونه‌ها است، تدوین شد. براساس آن، نمونه‌برداری و تعیین مقدار نمونه‌ها در محل و یا در آزمایشگاه، در دوره طرح ده ماهه به انجام شد. داده‌های به‌دست‌آمده پس از کنترل درستی و دقت آن‌ها، بر پایه کاربری‌های تعریف‌شده، تحلیل و تجزیه شد.

آزمایش‌های باکتریولوژی باید در فواصل زمانی معین و با در نظر گرفتن تعداد مصرف‌کنندگان منبع آب، طبق جدول استاندارد انجام شود. بر این اساس برای شهر سمنان، ۱۸ نمونه در ماه کافی بود؛ ولی در این پژوهش، روزانه در ۲۵ نقطه شهر نمونه‌برداری انجام شد و با توجه به وضعیت ایستگاه‌های کلرزی، شبکه پخش آب و شناسایی وضعیت آب‌رسانی، مراحل زیر پی‌گیری شد:

• تهیه نقشه‌های توپوگرافی و شبکه توزیع و انطباق آن‌ها بر هم؛

• وارد کردن اطلاعات مربوط به شبکه پخش به سامانه اطلاعاتی Arcview GIS مانند رقوم ارتفاعی، جنس و قطر لوله، فشار در خط، موقعیت شیرآلات و اتصالات و مسیر حرکت جریان آب؛

- تعیین نقاط نمونه‌برداری با توجه به اطلاعات بالا؛
- نمونه برداری و انجام آزمایش‌های روزانه؛
- ورود روزانه نتایج به‌دست‌آمده از هر آزمون به محیط ArcviewGIS
- محاسبه میانگین نتایج واردشده و تحلیل روی نقاط نمونه‌برداری شده در نرم‌افزار نام‌برده برای فراهم‌کردن زمینه برای ایجاد پهنه‌بندی رنگی مناسب [۱۸، ۱۹ و ۲۰]

۳- تجزیه و تحلیل نتایج

در شکل ۱، غلظت کلر باقی‌مانده آزاد در سه لایه اطلاعاتی مقایسه شده است. نتایج به‌دست‌آمده از سنجش کدورت، کلر باقی‌مانده و HPC برای هر یک از تأسیسات در چهار گروه زیر بررسی شد:

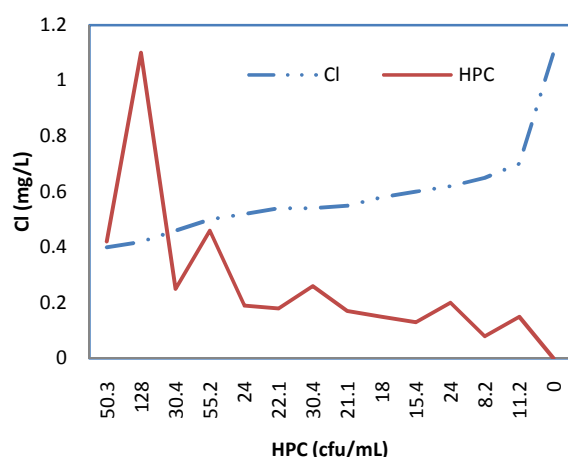
الف. نمونه‌های با کلر باقی‌مانده صفر؛

ب. نمونه‌های با کلر باقی‌مانده کمتر و مساوی ۰/۲ppm؛

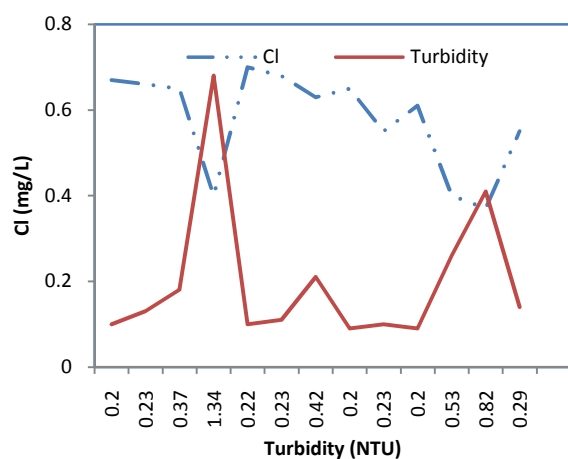
ج. نمونه‌های با کلر باقی‌مانده در حد دلخواه ۰/۸-۰/۲ppm؛

د. نمونه‌های با کلر باقی‌مانده بیش از ۰/۸ppm

شکل ۱، کلر باقی‌مانده در سه لایه اطلاعاتی و



شکل (۳) تغییرات میزان کلر و HPC در ایستگاه‌های منطقه ۱



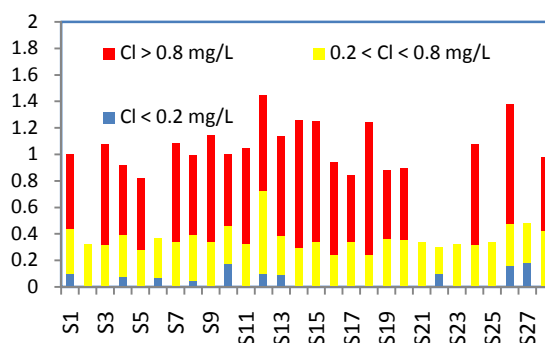
شکل (۴) تغییرات میزان کلر و کدورت در ایستگاه‌های منطقه ۱

چهار مورد برابر ۱/۰۶ درصد نمونه‌ها کلر باقی‌مانده کمتر و مساوی ۰/۲ ppm داشتند. در هر چهار مورد کدورت کمتر از ۱ NTU و میزان HPC در دو مورد کمتر از ۱۰۰ cfu/mL، در یک مورد ۲۵۰-۱۰۰ cfu/mL و در یک مورد بیش از ۲۵۰ cfu/mL اندازه‌گیری شد. در این منطقه، ۲۹۷ مورد برابر ۷۹/۴۱ درصد نمونه‌ها کلر باقی‌مانده در حد مطلوب داشتند که از این میان، ۲۹۰ مورد کدورتی کمتر از ۱ NTU و HPC کمتر از ۱۰۰ cfu/mL و هفت مورد HPC ۲۵۰-۱۰۰ داشتند. با یادآوری این نکته که در همه‌ی آن‌ها میزان کدورت بالاتر از ۱ NUT بود.

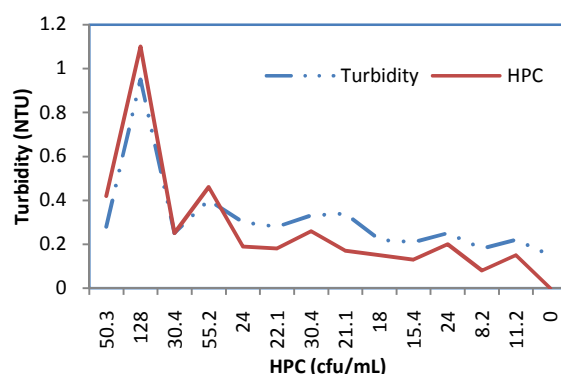
شکل‌های ۴ تا ۶ میزان کلر باقی‌مانده، کدورت و HPC

شکل‌های ۲ تا ۳ میزان کلر باقی‌مانده، کدورت و HPC را در ایستگاه‌های منطقه ۱ نشان می‌دهند.

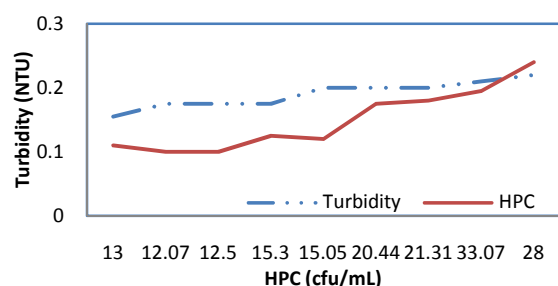
همانطور که مشاهده می‌شود، ارتباط معنی‌داری بین این سه شاخص وجود دارد. بیشترین و کمترین کلر اندازه‌گیری‌شده در این منطقه به ترتیب ۲/۲ ppm در خیابان جهادیه و ۰/۰۴ ppm در خیابان امام حسین و کمترین کدورت ۰/۲۱ NTU در خیابان جهادیه و بهشتی و بیشینه کدورت معادل ۲ NTU در خیابان راه‌آهن و آتشگاه تعیین شد. در این منطقه، هفت مورد، برابر ۱/۸۷ درصد نمونه‌ها با کلر باقی‌مانده‌ی صفر گزارش شد. در یک مورد کدورت بالاتر از ۱ NTU و HPC بیش از ۲۵۰ cfu/mL بود. در یک مورد شمارش بشقابی، میزان باکتری‌های هتروتروف کمتر از ۱۰۰ cfu/mL و در پنج مورد باقی‌مانده ۲۵۰-۱۰۰ و کدورت کمتر از ۱ NTU گزارش شد.



شکل (۱) مقایسه ستونی کلر باقی‌مانده در سه لایه اطلاعاتی



شکل (۲) تغییرات میزان کدورت و HPC در ایستگاه‌های منطقه ۱

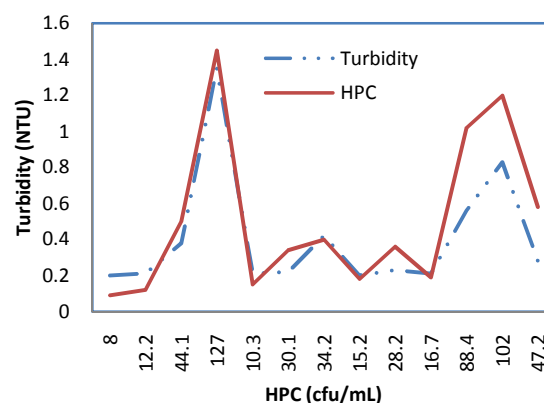


شکل (۷) تغییرات میزان کدورت و کلر در ایستگاه‌های منطقه ۲

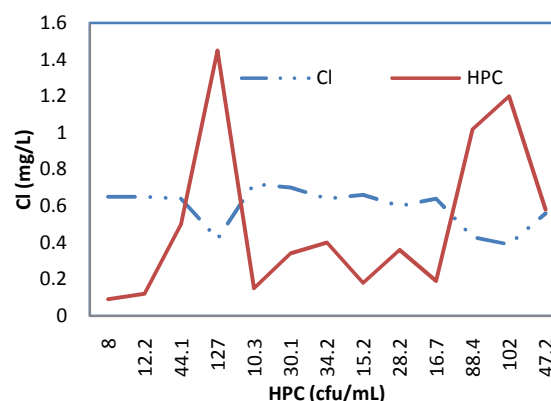
در ۱۱ مورد باقی‌مانده، به جز یک مورد کدورت بالا برابر ۳/۳۵ NTU و HPC برابر ۲۵۰ cfu/mL، سایر موارد کدورت کمتر از ۱ NTU و HPC cfu/mL ۱۰۰-۲۵۰ داشتند. گروه چهارم از نمونه‌های این منطقه، ۶۳ مورد برابر ۱۴/۳۸ درصد با کلر باقی‌مانده بیشتر از ۰/۸ ppm کدورت کمتر از ۱ NTU و HPC در محدوده ۵۰ cfu/mL-داشتند.

در نتایج منطقه ۳ نیز ۲۳۳ مورد از ۱۰ ایستگاه کلرسنجی در چهار گروه بررسی شد. ۱۰ نمونه کلر باقی‌مانده صفر داشت. از این میان ۴ مورد کدورت کمتر از ۱ NTU و HPC کمتر از ۱۰۰ cfu/mL، سه مورد کدورت کمتر از ۱ NTU و HPC cfu/mL ۱۰۰-۲۵۰ و سه مورد کدورت ۱-۲ NTU و HPC بیشتر از ۲۵۰ cfu/mL داشتند. در گروه دوم با کلر باقی‌مانده کمتر و برابر ۰/۲ ppm، ۷ مورد برابر ۳ درصد بررسی شدند. این گروه کدورت کمتر از ۱ NTU داشتند. ۵ مورد HPC کمتر از ۱۰۰ cfu/mL و ۲ مورد ۱۰۰-۲۵۰ cfu/mL داشتند. در گروه سوم با حد دلخواه، کلر ۱۹۴ مورد برابر ۸۳/۲۶ درصد بررسی شد. ۱۹۳ مورد HPC کمتر از ۱۰۰ cfu/mL و یک مورد ۱۰۰-۲۵۰ cfu/mL داشت. در همه‌ی این موارد میزان کدورت کمتر از ۱ NTU بود. در گروه چهارم، ۲۲ مورد برابر ۲/۴۴ درصد کلر باقی‌مانده بالاتر از ۰/۸ ppm، کدورتی کمتر از ۱ NTU و HPC کمتر از ۵۰ cfu/mL داشتند. نتایج مشابهی به‌وسیله‌ی مسافری و همکاران درباره‌ی آب آشامیدنی تبریز گزارش شده است [۷]. شکل‌های ۸ تا ۱۴، پهنه‌بندی رنگی و نقشه‌های مربوطه، را نشان می‌دهد.

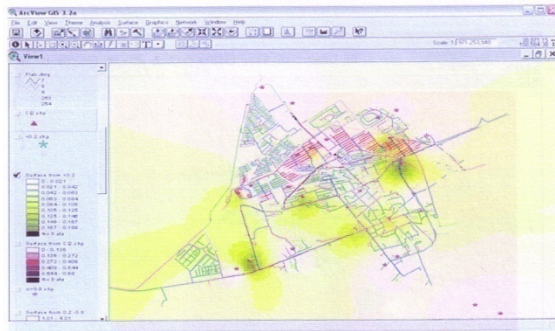
در ایستگاه‌های منطقه ۲ را نشان می‌دهد. بررسی نتایج این منطقه در این چهار گروه نشان داد که از کل ۴۳۸ نمونه، چهار مورد برابر ۰/۹۱ درصد، با کلر باقی‌مانده صفر، HPC ۱۰۰-۲۵۰ cfu/mL و کدورت ۰/۳۸-۲/۴۲ NTU داشتند. ۱۸ مورد برابر ۴/۱ درصد در گروه دوم، با کلر باقی‌مانده کمتر و مساوی ۰/۲ ppm داشتند. از این میان ۱۲ مورد کدورت کمتر از ۱ NTU و HPC کمتر از ۱۰۰ cfu/mL، چهار مورد با کدورت کمتر از ۱ NTU و HPC cfu/mL ۱۰۰-۲۵۰ و دو مورد با کدورت بالاتر از ۲ و HPC بیشتر از ۲۵۰ cfu/mL تعیین شدند. گروه سوم از نمونه‌های این منطقه، ۳۵۳ مورد، برابر ۸۰/۶ درصد با کلر باقی‌مانده مطلوب بودند که ۳۴۲ مورد آن‌ها، کدورت کمتر از ۱ NTU و HPC کمتر از ۱۰۰ cfu/mL داشتند.



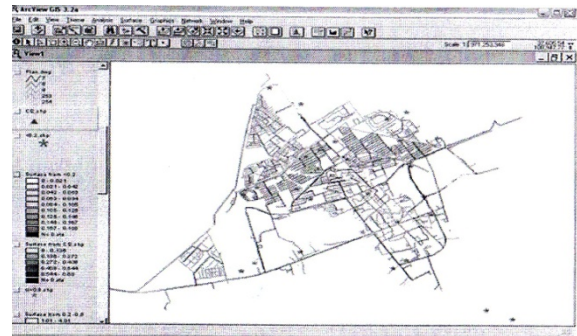
شکل (۵) تغییرات میزان کدورت و HPC در ایستگاه‌های منطقه ۲



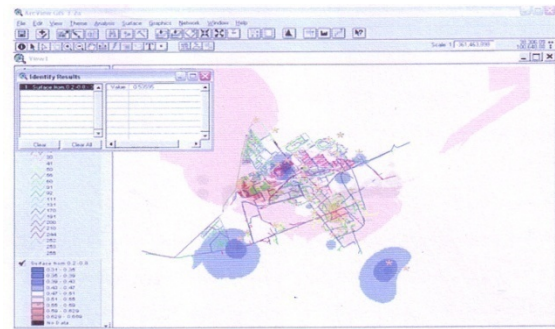
شکل (۶) تغییرات میزان کلر و HPC در ایستگاه‌های منطقه ۲



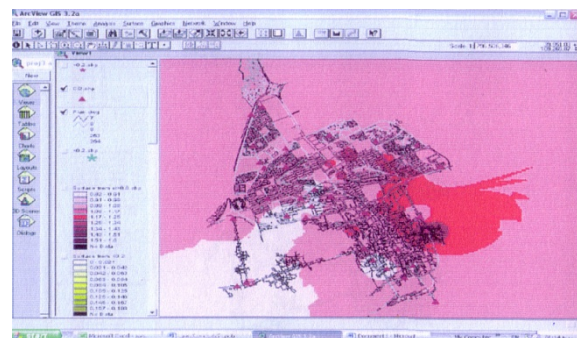
شکل (۱۲) کلر باقی‌مانده کمتر از ۰/۲



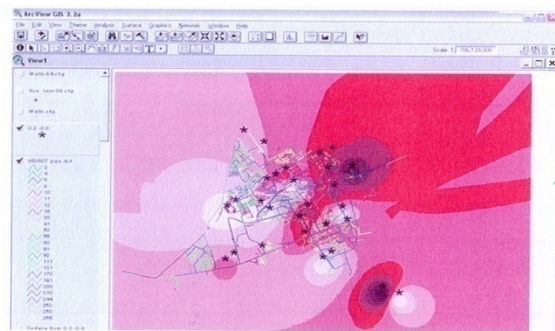
شکل (۸) شبکه پخش آب شرب شهر و نقشه نمایش ایستگاه‌ها با علامت ستاره



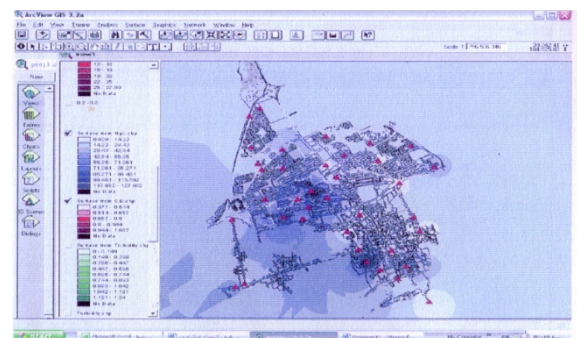
شکل (۱۳) کلر باقی‌مانده (۰/۲-۰/۸)



شکل (۹) میانگین میزان کلر



شکل (۱۴) کلر باقی‌مانده بیشتر از ۰/۸



شکل (۱۰) میانگین تعداد باکتری‌های هتروتروف در سطح شهر

از بررسی نتایج آزمون‌های انجام‌شده در سه منطقه، میزان دلخواه کلر در شبکه پخش آب سمنان ۹۰/۸ درصد تخمین زده شد که در ۹/۱۲ درصد باقی‌مانده میزان کلر حدود ۱/۵۲ درصد پایین‌تر و ۷/۶ درصد بالاتر از حد دلخواه بود. میزان کدورت در شبکه پخش همواره کمتر از ۵ NTU بوده است. در ضمن با توجه به این که استاندارد و حد مجاز میزان باکتری‌های هتروتروف در شبکه پخش، تعداد ۵۰۰ cfu/mL



شکل (۱۱) میانگین میزان کدورت در سطح شهر

در نظر گرفته شده است، در ۹۹/۶۲ درصد میزان HPC در بازه‌ی مجاز و در ۰/۳۸ درصد قابل شمارش می‌باشد.

۴- نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان می‌دهد که ارتباط معنی‌داری بین HPC، کلر باقی‌مانده و کدورت وجود دارد. حضور باکتری‌های هتروتروف در نمونه‌های مناطق مختلف شبکه آب شرب می‌تواند دلیل بر کافی نبودن کلر باقی‌مانده باشد. بنابراین پایش ۶ ماهه یا در کمترین حالت، یک ساله‌ی شاخص HPC و نیز باکتری‌های کلیفرم، می‌تواند به شناسایی وضعیت شبکه پخش آب و اصلاح وضعیت مناطق مشکل‌دار و اطمینان بیشتر از کیفیت آب شرب کمک کند. همچنین با توجه به پهنه‌بندی‌های رنگی و بررسی نقاط دارای کلر باقی‌مانده بیشتر می‌توان به این نتیجه رسید که این نقاط به دلیل این که محل اتصال دو لوله اصلی است و اختلاط آب دو لوله از قبل کلرزنی شده، کلر باقی‌مانده بیشتری دارد. همچنین با بررسی نقاط با کلر باقی‌مانده پایین‌تر و کدورت بالاتر از سایر نقاط می‌توان به محل انشعابات (مجاز یا غیرمجاز)، نقاط انتهایی و کور شبکه، نقاط با فشار پایین آب، نفوذپذیری لوله‌ها، طول شبکه، شکستگی‌های احتمالی، بافت قدیمی شبکه پخش و ... پی برد. با انطباق پهنه‌بندی‌های رنگی به دست آمده در محیط ArcView بر روی یکدیگر، ارتباط معنی‌داری بین کدورت، کلر باقی‌مانده و باکتری‌های هتروتروف مشاهده شد.

میزان باکتری‌های هتروتروف با کدورت و کلر باقی‌مانده نسبت مستقیم دارد. این رابطه برای میزان کدورت و کلر باقی‌مانده نیز درست است. با چشم‌پوشی از مواردی که کلر باقی‌مانده صفر دارند، بیشترین ثبات در منطقه ۳ گزارش شد که دلیل آن کلرزنی به صورت گازی است که کمترین نوسان را در مقدار کلر

باقی‌مانده به دنبال دارد. همچنین فرسوده نبودن و جدیدتر بودن شبکه پخش آب می‌تواند از دلایل دیگر آن باشد. بیشترین میزان آزمون شمارش بشقابی باکتری‌های هتروتروف در نقاط خیابان ارم، بهار و خیابان دانشگاه در منطقه ۲ و خیابان آتشگاه در منطقه ۱ به چشم می‌خورد که کلر نزدن به موقع کارگران تأسیسات از یک طرف و وجود بیوفیل‌ها و بافت قدیمی و فرسوده از طرف دیگر سبب افت سریع میزان کلر باقی‌مانده و افزایش کدورت و میزان باکتری‌های هتروتروف می‌شود. در نقاطی از شبکه که سرعت جریان آب زیاد بود به دلیل کنده شدن بیوفیل‌ها، میزان HPC کمتر بود. با نگاهی کوتاه به نتایج به دست آمده در محیط ArcView، لزوم شست‌وشوی شبکه در برخی نقاط نمایان شد که با مدیریت درست کلرزنی و از بین بردن اشکالات گفته شده، می‌توان کیفیت میکروبی شبکه پخش آب شهر سمنان را تا حد زیادی بالا برد و برای بهبود هر چه بیشتر به پایش میکروبی شبکه پخش سمنان ادامه داد. با توجه به درصد بالای مطلوبیت کلر باقی‌مانده آزاد در مناطق تحت پوشش کلرزنی گازی و نیز میزان مصرف کلر بیشتر در نقاط قدیمی شبکه، با تهیه دستگاه کنترل برای کلریناتور در مدار می‌توان بر میزان مصرف کلر و تغییرات HPC کنترل بهینه داشت و به کمک آن نقاط بحرانی و مکان‌های جدید برای کلر زنی را شناسایی کرد.

۵- مراجع

- [1] WHO Guidelines for drinking water quality, Vol. 1, World Health Organization, Geneva 1993
- [2] Kooij, D., v.d., and Hijnen W., Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth, AWWA Journal 84 (1992), p. 7-65
- [3] Schoene, D., Influence of materials on the microbiological colonization of drinking water, Aqua 38(1989), pp. 101-113

- [۴] عندلیب فیروز آبادی، امیر حسین، «بررسی میزان و عوامل مؤثر در تولید تری هالومتان ها در شبکه انتقال آب اصفهان به یزد»، پایان نامه کارشناسی ارشد کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۹.
- [۵] ترابیان، علی؛ ذکاوتی، شاهرخ؛ «بررسی تری هالومتان ها در آب های مشروب کشور و کاربرد یک روش حذف آن»، مجله بهداشت ایران؛ دوره ۲۷؛ شماره ۱ و ۲؛ ص ۳۵ تا ۴۲؛ ۱۳۷۷.
- [6] Toroz, i. Uyak, v. (2005), Seasonal variations of trihalomethanes (THMs) in water distribution networks of Istanbul City, Desalination, Vol. 176, Issues 1-3, 10, pp.127-141.
- [۷] مسافری، محمد؛ مهری، بادلو، اکرم؛ تقی پور، حسن؛ شهنازی، رسول؛ «بررسی حضور باکتری های هتروتروف در آب آشامیدنی تبریز»، دوازدهمین همایش ملی بهداشت محیط، ۱۳۸۸
- [۸] تابش هنری، «تحلیل حوادث شبکه های پخش آب شهری»، مجله آب و محیط زیست، شماره ۵۰، صفحه ۲۵ تا ۳۴، ۱۳۸۱
- [۹] تائبی، امیر؛ چمنی، محمدرضا؛ «شبکه های پخش آب شهری»، انتشارات حیان، ۱۳۷۹.
- [۱۰] تجویدی، گیتی؛ «مقدمه ای بر سیستم های اطلاعات جغرافیایی»، سازمان مدیریت و برنامه ریزی کشور، سازمان نقشه برداری کشور، سال اول، ۱۳۸۱
- [۱۱] سیه سرانی، امیر؛ ترابی آزاد، مسعود؛ محسنی، آراسته، افشین؛ افتخاری، رحیم؛ "مدلسازی مکانی شاخص های فیزیکی و شیمیایی خلیج فارس با استفاده از تحلیلگر زمین آماری نرم افزار ArcGIS"، دهمین همایش ملی صنایع دریایی ایران، ۱۳۸۷.
- [۱۲] الوانکار، سیدرضا؛ «مدل پختی شبیه سازی سیل بر اساس GIS»، رساله دکتری هیدرولوژی و منابع آب (Ph.D.)، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ۱۳۸۲
- [۱۳] برخوردار، مهرداد؛ چاوشیان، سیدعلی؛ «پهنه بندی سیلاب»، کارگاه فنی روش های غیرسازه ای مدیریت سیلاب، کمیته ملی آبیاری و زهکشی ایران، بهمن ۱۳۷۹
- [۱۴] بینشیان، فریبا؛ «بررسی شاخص های مؤثر و مدل سازی باکتریولوژیکی شبکه آب شهر سمنان در محیط ArcView GIS»، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۷
- [۱۵] آغازیان، ژیرایر؛ «آموزش سریع Auto Cad ۲۰۰۰ MAP»، شرکت آب و فاضلاب استان اصفهان، ۱۳۸۲.
- [۱۶] رفاهی، پروین؛ «مقدمه ای بر سیستم های اطلاعات جغرافیایی»، سازمان نقشه برداری کشور، چاپ دوم، ۱۳۸۶
- [۱۷] رجبی فر، عباس؛ «مدیریت سیستم های اطلاعات جغرافیایی سازمان نقشه برداری کشور»، سازمان نقشه برداری کشور، چاپ اول، ۱۳۷۵
- [۱۸] رحیمی، علی؛ «اصول و مبانی سیستم های اطلاعات جغرافیایی»، سازمان نقشه برداری کشور، چاپ اول، ۱۳۷۹
- [۱۹] سازمان حفاظت محیط زیست، دفتر حقوقی و امور مجلس سازمان، «مجموعه قوانین و مقررات محیط زیست ایران: آئین نامه جلوگیری از آلودگی آب»، ۱۳۸۴
- [۲۰] شفیعی، سعید؛ «بررسی امکان استفاده از قابلیت های سیستم اطلاعات مکانی شبکه ای در پیدا کردن بهترین مسیر»، پایان نامه کارشناسی ارشد، گروه مهندسی نقشه برداری و ژئوماتیک، دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۱۳۷۹