

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-محیط زیست

ارزیابی عملکردی سنسورهای کیفیت آب چند پارامتری در تشخیص سریع

آلودگی منابع آب شرب

استاد راهنما: دکتر رمضان واقعی

نگارنده: محمد رجبی

بهمن ماه ۱۳۹۹

در این صفحه صورت جلسه دفاع را قرار دهید. لازم است پس از صحافی این صفحه مجدداً توسط دانشکده مهر گردد و استاد راهنما با امضای خود اصلاحات پایان نامه را تایید کند.

تهدنامه

اینجانب محمد رجبی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران-محیط زیست دانشکده عمران دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه «ارزیابی عملکردی سنسورهای کیفیت آب چند پارامتری در تشخیص سریع آلودگی منابع آب شرب تحت راهنمایی دکتر رمضان واقعی متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .
استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

ارزیابی مداوم شاخص‌های کیفی آب مهم‌ترین عامل در تأمین آب شرب ایمن و سالم است. آلودگی‌ها می‌توانند از راه‌های مختلف به صورت عمدی یا تصادفی، امنیت منابع آب شرب را به خطر بیندازند. هم‌چنین مدت زمان کوتاه لازم برای گسترش آلودگی تا رسیدن به مصرف‌کننده، نیاز به عکس‌العمل و پاسخ سریع به این مسئله را چند برابر می‌کند. از سوی دیگر مجهز نمودن سامانه‌های آبرسانی به شبکه‌ای از سنسورهای مختلف و برخط بسیار پر هزینه و تقریباً غیر عملیاتی است. در این تحقیق عملکرد پارامترهای ساده و کم‌هزینه کیفیت آب با هدف تشخیص به موقع آلودگی‌های تصادفی و یا عمدی ناشی از مواد سمی متعارف مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور دراین پژوهش، ارزیابی عملکردی سنسورهای کیفیت آب (pH، UV-254، پتانسیل اکسایش-کاهش یا ORP، هدایت الکتریکی یا EC، کدورت و دما) در مواجهه با یک نوع سم علف‌کش متعارف (گلایفوزیت) به عنوان آلاینده، با حداکثر مقدار مجاز ۷ میلی‌گرم بر لیتر در آب، مورد بررسی قرار گرفته است. یک پایلوت با هدف شبیه‌سازی تزریق آلودگی توسط پمپ و ثبت تغییرات پارامترها به صورت برخط طراحی شده است. تغییرات پارامترهای کیفی آب در حضور سه غلظت ۲، ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر به ثبت رسید. تمامی آزمایش‌ها در دمای محیط آزمایشگاه در محدوده ۲۰ تا ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد، بیش‌ترین تغییرات در غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر از آلاینده مربوط به سنسورهای pH متر با حداکثر تغییرات از ۷/۴ به ۶/۳ و ORP از ۲۷۳ میلی‌ولت به ۲۹۷ میلی‌ولت بوده است. پارامتر کدورت تغییرات محسوسی پس از تزریق آلودگی به ثبت رساند که نسبت به دو پارامتر قبل کم‌تر بوده است. در خصوص دو پارامتر دما به علت تبدلات دمایی زیاد با محیط بیرون و پارامتر هدایت الکتریکی به علت آلی بودن آلاینده مورد نظر تغییرات به نحوی بود که عملکرد قابل قبولی نداشتند. آزمایش UV-254 با چهار نمونه از آلاینده با غلظت‌های متفاوت خارج از چرخه پایلوت انجام شد که، طبق نمودار منتج شده عدد جذب با افزایش غلظت در یک طول موج ثابت، افزایش می‌یابد.

کلمات کلیدی: سنسورهای پایش کیفی آب، سامانه‌های آبرسانی، سم گلایفوزیت، تشخیص اضطراری آلاینده

فهرست مطالب

أ	فهرست مطالب
ث	فهرست اشکال
ه	فهرست جداول
۱	فصل اول: کلیات
۲	۱-۱ مقدمه.....
۳	۲-۱ بیان مسئله.....
۵	۱-۲-۱ گلایفوزیت.....
۶	۳-۱ ضرورت انجام تحقیق.....
۸	۴-۱ اهداف تحقیق.....
۸	۵-۱ فرضیات تحقیق.....
۹	۶-۱ روش انجام تحقیق.....
۹	۶-۱ ساختار پایان نامه.....
۱۱	فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین
۱۲	۱-۲ مقدمه.....
۱۲	۳-۲ سنسورهای کیفیت آب جهت ارزیابی آلودگی.....
۱۲	۱-۳-۲ مقدمه.....
۱۳	۲-۳-۲ انواع طبقه‌بندی سنسورها.....
۱۴	۴-۲ سیستم هشدار سریع (EWS).....
۱۴	۱-۴-۲ مقدمه و تعریف.....
۱۵	۲-۴-۲ EWS در سیستم‌های آبی.....

- ۲-۴-۳ اجزای کلی و فرآیندهای موجود در EWS برای ارزیابی آلودگی WQ ۱۷
- ۲-۵ رویکردهای مختلف در آزمایش و تشخیص رویداد ۱۷
- ۲-۶ ارزیابی الگوریتم‌های تشخیص آلودگی ۱۸
- ۲-۷ فناوری سنجش برای نظارت بر کیفیت آب آنلاین ۱۹
- ۲-۷-۱ سنسورهای پایش از نظر فیزیکی ۱۸
- ۲-۸ ارزیابی کیفی آنلاین در سیستم‌های آبرسانی ۲۱
- ۲-۸-۱ وقایع آلودگی آب آشامیدنی در سیستم تأمین آب در مقیاس آزمایشگاهی ۲۳
- ۲-۹ سنسورهای ارزیابی رایج در تشخیص آلودگی ۲۴
- ۲-۱۰ مروری بر مطالعات پیشین ۲۶

۴۷

فصل سوم: مواد و روش‌ها

- ۳-۱ مقدمه ۴۸
- ۳-۲ مواد مورد استفاده در این تحقیق ۴۸
- ۳-۳ دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق ۴۸
- ۳-۴ طراحی پایلوت ۵۰
- ۳-۵ روش انجام آزمایش ۵۲
- ۳-۵-۱ گام اول: تعیین غلظت‌ها، دبی، و تنظیمات دستگاه ۵۲
- ۳-۵-۲ گام دوم: اندازه‌گیری پارامترها ۵۳

۵۵

فصل چهارم: بحث و نتایج

- ۴-۱ مقدمه ۵۶
- ۴-۲ نتایج تغییرات PH بعد از ورود غلظت‌های مختلف آلاینده ۵۶
- ۴-۳ نتایج تغییرات ORP بعد از ورود غلظت‌های مختلف آلاینده ۵۷
- ۴-۴ نتایج تغییرات هدایت الکتریکی بعد از ورود غلظت‌های مختلف آلاینده ۵۸

۵-۴	نتایج تغییرات کدورت بعد از ورود غلظت‌های مختلف آلاینده.....	۵۹
۶-۴	نتایج تغییرات دما بعد از ورود غلظت‌های مختلف آلاینده.....	۶۰
۷-۴	نتایج تغییرات UV-254 بعد از ورود غلظت‌های مختلف آلاینده.....	۶۱
۸-۴	نمایش هم‌زمان دو پارامتر pH و ORP	۶۲
۹-۴	تغییرات توأم دو پارامتر pH و کدورت.....	۶۳
۶۵	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات	
۱-۵	مقدمه.....	۶۶
۲-۵	جمع‌بندی نتایج تشخیص آلودگی در ارزیابی سنسورهای کیفیت آب.....	۶۶
۳-۵	پیشنهاد جهت مطالعات آتی.....	۶۷
۶۹	مراجع	

فهرست اشکال

- شکل ۱-۲ نتایج احتمالی الگوریتم تشخیص آلودگی در ارتباط با کیفیت آب..... ۱۷
- شکل ۲-۲ شماتیک ترکیبی از نظارت، برای تصفیه و مدیریت هوشمند آب و فاضلاب..... ۱۸
- شکل ۳-۲ نمایش شماتیک سیستم تأمین آب در مقیاس پایلوت..... ۲۳
- شکل ۲-۴ پاسخ pH به حسگرهای شیشه‌ای کالکوژنید..... ۳۰
- شکل ۲-۵ مجموعه سنسورهای کیفیت آب..... ۳۱
- شکل ۲-۶ سیستم پایش کیفیت آب..... ۳۳
- شکل ۲-۷ سیستمی برای نظارت بر کیفیت آب..... ۳۸
- شکل ۳-۱ تصویر ماده شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق..... ۴۸
- شکل ۳-۲ کدورت سنج، ترازوی دیجیتالی، pH متر و EC متر..... ۴۹
- شکل ۳-۳ دستگاه اسپکتروفتومتر و پمپ پرستالتیک..... ۴۹
- شکل ۳-۴ نمای کلی از پایلوت..... ۵۰
- شکل ۳-۵ تصویر پایلوت ساخته شده جهت انجام این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی..... ۵۰
- شکل ۳-۶ تصویر شماتیک از پایلوت..... ۵۱
- شکل ۳-۷ نحوه قرارگیری سنسورها درون کانال اندازه‌گیری..... ۵۲
- شکل ۴-۱ نمودار تغییرات PH در غلظت‌های مختلف گلایفوزیت..... ۵۵
- شکل ۴-۲ نمودار تغییرات ORP در غلظت‌های مختلف گلایفوزیت..... ۵۶
- شکل ۴-۳ نمایش تغییرات هدایت الکتریکی در غلظت‌های مختلف گلایفوزیت..... ۵۷
- شکل ۴-۴ نمایش تغییرات کدورت در غلظت‌های مختلف گلایفوزیت..... ۵۸
- شکل ۴-۵ نمایش تغییرات دما در غلظت‌های مختلف گلایفوزیت..... ۵۹
- شکل ۴-۶ نمایش تغییرات عدد جذب در اثر تغییر غلظت گلایفوزیت..... ۶۰

شکل ۴-۷ نمایش پارامتر pH و ORP در یک نمودار..... ۶۱

شکل ۴-۸ نمایش ترکیب دو پارامتر pH و کدورت..... ۶۲

فهرست جداول

- جدول ۱-۲ نمونه‌هایی از پارامترهای کیفیت آب که با فناوری سنسورها ارزیابی می‌شوند..... ۲۴
- جدول ۲-۲ تقسیم بندی تغییرات پارامترها در حضور آلودگی ۲۷
- جدول ۳-۲ نمایش اعداد ثبت شده توسط سنسورهای کیفیت آب در این تحقیق..... ۴۳
- جدول ۴-۲ مقایسه الگوریتم‌های تشخیص آلودگی..... ۴۴
- جدول ۱-۳ ارقام مربوط به تنظیمات پمپ پرستالتیک قسمت آلاینده..... ۴۵

فصل اول: کلیات

۱-۱ مقدمه

آب یکی از مهم‌ترین و حیاتی‌ترین منابع جهان است. ادامه بقای نوع بشر کاملاً به در دسترس بودن آب باکیفیت و مطلوب وابسته است. تأمین منابع آب شیرین و آلودگی آن، به عنوان یکی از بزرگ‌ترین دغدغه‌های تمدن بشری از ابتدا تا کنون مطرح بوده است که بهداشت عمومی و سلامت محیط‌زیست را تهدید می‌کند [1].

از جمله علل آلودگی منابع آب می‌توان به ورود مواد زائد صنعتی، کشاورزی، شیمیایی و سموم به آن اشاره کرد. آب‌هایی که به علل مختلف آلوده می‌شوند، علاوه بر آسیب رساندن به انسان، باعث آسیب به حیوانات، گیاهان و مشکلات و مخاطرات زیستی نیز می‌گردند [2]. به هر نوع تغییر در خصوصیات هوا، خاک و آب که موجب تاثیر نامطلوب بر روی سلامت انسان، جانوران و محیط‌زیست گردد، آلودگی می‌گویند [3].

گسترش کشاورزی و صنایع مختلف در کنار توسعه شهرها و افزایش جمعیت از مهم‌ترین عوامل آلودگی‌های تعمیدی و تصادفی منابع آب شیرین به شمار می‌آیند. با توجه به اهمیت تاسیسات آبرسانی، گاهی در حملات تروریستی این تاسیسات به عنوان مراکز استراتژیک مورد هدف قرار می‌گیرند که ممکن است باعث آسیب جدی به جامعه و گاهی ایجاد بحران‌های امنیتی شود. بنا به نظر کارشناسان و متخصصین مراحل انتهایی تصفیه آب و مرحله توزیع آب مستعدترین مرحله برای ایجاد آلودگی تعمیدی و همچنین تصادفی است. بر خلاف آلودگی‌های طبیعی و مرسوم، آلودگی‌های تصادفی و عمدی به دلیل داشتن ویژگی سرعت وقوع و عدم آگاهی از زمان وقوع، نیازمند پاسخ سریع است. طراحی شبکه سنسورها جهت کشف آلودگی در سیستم‌های تامین آب به علت همین ماهیت نامطمئن و غیر قابل پیش‌بینی آلودگی است [4].

با توجه به مطالب گفته شده یک سیستم هشداردهنده سریع برای جلوگیری یا کاهش صدمات ناشی از آلودگی‌های احتمالی مورد نیاز است که حتی‌الامکان می‌بایست ویژگی‌هایی از قبیل ارزان بودن، شرایط نگهداری آسان، قابل اعتماد بودن، قابلیت ادغام با سیستم شبکه آبرسانی و تصفیه آب و از همه مهم‌تر بهینه بودن را دارا باشد [5].

هر چند استفاده از یک شبکه سنسورهای پایش کیفی برخط در سامانه های آبرسانی ضرورتی اساسی محسوب می شود ولی هزینه بالای این سنسورها استفاده گسترده از آنها را تحت الشعاع قرار می دهد. لذا در صورتی که بتوان با استفاده از پارامترهای روتین و ساده و نیز کم هزینه کیفی، آلودگی آب را در شبکه و تأسیسات آبرسانی با سرعت تشخیص داد کمک شایانی به کنترل آلودگی سامانه های آبرسانی در مواجهه با شرایط اضطراری ناشی از آلودگی احتمالی و ایمنی هر چه بیشتر این سامانه های حیاتی خواهد شد. در این تحقیق تلاش شده است تا پارامترهای ساده دخیل در یک سیستم هشدار دهنده از قبیل (pH، UV-254، ORP، هدایت الکتریکی، کدورت و حرارت) در شرایط مختلف مورد بررسی و ارزیابی قرار گیرد و پس از تجزیه و تحلیل داده های دریافتی در شرایط آزمایشگاهی برای چند نوع آلودگی مرسوم یک حالت بهینه از سنسورها از نظر تعداد و نوع سنسور ارائه گردد.

۱-۲ بیان مسأله

آب از برجسته ترین عناصر برای زندگی بشر است. از نظر تاریخی، سکونتگاه های انسانی در اطراف مناطقی توسعه یافته اند که آب کافی برای حمایت از فعالیت های اقتصادی اجتماعی در دسترس بوده است. با این وجود، رشد بی حد و حصر جمعیت و عطش سیری ناپذیر برای توسعه اقتصادی اجتماعی در عصر جدید، استفاده جهانی از آب را تا حد زیادی ناپایدار ساخته است [6].

شرایط فعلی، منابع آب را تحت فشار فزاینده ای در سطح جهانی قرار داده است. علاوه بر این، استفاده ناپایدار از آب همراه با افزایش آلودگی های ناشی از انسان در منابع آب زیرزمینی و سطحی، عواقب زیادی را از کاهش عمده در دسترس بودن آب و کیفیت آب تا تغییرات گسترده زیست محیطی می تواند وضعیت نامناسبی برای عموم مصرف کنندگان آب ایجاد کند [7].

تهدیدهای رو به رشد مربوط به آب برای جامعه بشری منجر به بحث های مختلفی در حوزه های علمی و حکومتی، پیرامون ابزارهای ممکن برای دستیابی به کمیت و کیفیت قابل قبول آب برای سلامتی، معیشت، اکوسیستم ها و تولید، همراه با سطح بالایی از خطرات مربوط به آب برای مردم، محیط و اقتصاد شده است

[8].

در کشورهای مختلف جهان، آب‌های سطحی توسط ایستگاه‌های نظارت دائمی آژانس‌های دولتی که پارامترهایی را مطابق با بخشنامه چارچوب آب یا قوانین ملی آب از هر کشور تعیین می‌کنند، کنترل می‌شود. علاوه بر این، در بسیاری از موارد، شرکت‌های آب همچنین آب سطحی یا زیرزمینی را در نزدیکی تصفیه‌خانه آب آشامیدنی و همچنین بعد از تصفیه در شبکه آبرسانی کنترل می‌کنند [9].

شبکه آبرسانی یا سیستم‌های آبی در مرحله بعد از تصفیه واقع شده‌اند، لذا در معرض حوادث آلودگی و حملات بیوتروریسم قرار دارند و اغلب آسیب‌پذیر هستند زیرا معمولاً قابلیت دسترسی به آن‌ها بسیار ساده است و همچنین ایزوله نیستند. در دهه‌های گذشته شاهد افزایش حوادث آلودگی در سراسر جهان بوده‌ایم، بر خلاف آلودگی‌های معمول، در آلودگی عمدی با عدم اطمینان در زمان وقوع و زمان بسیار کم در انجام این اتفاق روبه‌رو هستیم لذا نیاز به واکنش سریع در تشخیص و اقدامات پیشگیرانه بخوبی احساس می‌شود. از این رو نحوه تشخیص آلودگی احتمالی و شناسایی یک آلاینده خاص در یک منبع آب یا شبکه آبرسانی باعث نگرانی در سراسر جهان شده است، به ویژه پس از حوادث تروریستی ۱۱ سپتامبر ۲۰۰۱ که در ایالات متحده رخ داد این ضرورت بیشتر احساس می‌شود. در نتیجه یک رویکرد مناسب در این خصوص می‌تواند جلوگیری یا کاهش تأثیر آلودگی با ایجاد یک سیستم هشدار سریع، (EWS) باشد [10].

سیستم‌های آبرسانی تأسیسات پیچیده و پویایی هستند که در کل عمر بهره‌برداری خطر ورود آلودگی‌های فیزیکی، شیمیایی و میکروبی به آن‌ها وجود دارد. با توجه به تمهیدات محافظتی در نظر گرفته شده، کماکان احتمال ورود آلودگی در تمام مسیر انتقال از منبع تامین آب تا تصفیه‌خانه و پس از آن تا گره‌های مصرف وجود دارد [12].

با توجه به اهمیت کیفیت آب، دسترسی به یک روش شناسایی سریع که بتواند در کوتاه‌ترین زمان ممکن آلودگی آب را تشخیص دهد از اهمیت زیادی برخوردار است. دسترسی به این روش خصوصاً در مواجهه با شرایط خاص مانند آلودگی‌های عمدی ضروری به نظر می‌رسد [13].

در همین راستا در این تحقیق به نوع آلاینده جهت شبیه سازی آلودگی در آب پیش‌بینی شده است.

۱-۲-۱ گلایفوزیت^۱

گلایفوزیت علف‌کش سیستمیک برای کنترل علف‌های هرز، به ویژه علف‌های هرز پهن برگ سالانه و علف‌های شناخته شده برای محصولات باغی و زراعی در سراسر جهان است. این ماده توسط شیمیدان جان ای فرانز^۲ در شرکت مونسانتو^۳ آمریکا در سال ۱۹۷۰ میلادی کشف و اختراع شد [14].

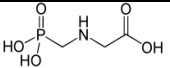
گلایفوزیت، یک علف‌کش و ماده خشک‌کننده با طیف گسترده است که، برای اولین بار در سال ۱۹۷۴ به فروش رسید و از آن زمان به بیش‌ترین و کارآمدترین علف‌کش مورد استفاده در سراسر جهان تبدیل شده است. این ماده به اشکال شیمیایی مختلفی مانند نمک ایزوپروپیل‌آمین^۴، نمک آمونیوم، نمک دی‌آمونیم نمک دی‌متیل‌آمونیم و نمک پتاسیم موجود است. گلایفوزیت یکی از پرکاربردترین نوع از انواع علف‌کش‌ها است که گزارش می‌شود ۸٫۶ میلیون تن از این علف‌کش در جهان در سال ۲۰۱۶ استفاده شده است [15].

گلایفوزیت با سایر مواد شیمیایی معروف به "مواد بی‌اثر" برای تشکیل علف‌کش‌های مبتنی بر آن مخلوط می‌شود که شامل محصولات معروف "Roundup®" و "RangerPro®" است که در مزارع کشاورزی و باغچه‌ها استفاده می‌شود [16].

برخی از خواص این علف‌کش در جدول (۱-۱) آمده است.

فرمول شیمیایی این علف‌کش به صورت زیر است:

جدول (۱-۱) مشخصات سم گلایفوزیت

CAS-number	حد مجاز در آب شرب (EPA)	چگالی	جرم مولی	ساختار مولکولی	فرمول شیمیایی
38641-94-0	0.7 mg/L	1.189 g/mL	169.07 g mol ⁻¹		C ₃ H ₈ NO ₅ P ^۱

1- Glyphosate
2- John E. Franz
3- Monsanto
4- isopropylamin

با توجه به اهمیت بالای امنیت آب، در این تحقیق پارامترهای ارزیابی کیفیت آب از قبیل سنسورهای اندازه-گیری مرسوم کیفیت آب در مواجهه با آلودگی شبیه‌سازی شده توسط گلایفوزیت مورد تجزیه تحلیل قرار می‌گیرد و سعی می‌شود با توجه به موقعیت قرارگیری و تعداد پارامترهای قابل اندازه‌گیری یک نتیجه مطلوب و بهینه ارائه گردد.

۱-۳ ضرورت انجام تحقیق

با افزایش جمعیت و فعالیتهای انسانی، انواع و مقادیر زیادی از مواد زائد شیمیایی تولید می‌شود که اغلب بر کیفیت آب آشامیدنی تأثیر می‌گذارند [11]. معیشت انسان به تأمین آب قابل اطمینان و محافظت در برابر خطرات مربوط به آب وابسته است. رشد قابل توجه در جمعیت و فعالیتهای انسانی همراه با اثرات آشکار تغییرات محیط‌زیست جهانی، آسیب‌پذیری سیستم‌های انسانی را نسبت به تغییرات در کمیت و یا کیفیت آب بسیار افزایش داده است پرداختن به چنین آسیب‌هایی به دلیل هماهنگی جمعیت و فعالیتهای اقتصادی - اجتماعی در مناطق شهری دارای اولویت مدیریتی بالایی هستند. این امر منجر به ظهور بحث‌های مختلف پیرامون مفهوم "امنیت آب شهری" شده است [8].

• اهمیت و علت انتخاب گلایفوزیت به عنوان آلاینده:

علی‌رغم استفاده روزافزون و گسترده از گلایفوزیت، شواهدی از تجمع زیستی گلایفوزیت در برخی جوندگان مشاهده شده است، و همچنین افزایش نگرانی‌ها و بحث‌ها در مورد پیامدهای نامطلوب سلامت در بین مردم وجود دارد که مطالعات بسیار کمی در ارزیابی کلی این موضوع در رابطه با انسان صورت گرفته است [17]. افراد ممکن است از طریق مسیرهای مختلف مانند غذا و آب آشامیدنی، در محیط‌های شغلی و دیگر محیط‌ها در معرض گلایفوزیت قرار بگیرند. یافته‌های اخیر حاکی از آن است که گلایفوزیت و متابولیت‌های آن نیز ممکن است در اثر فرسایش بادی و آب پخش شوند. در سال‌های اخیر، پتانسیل سرطان‌زایی گلایفوزیت توسط چندین نهاد معتبر و نظارتی مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. در سال ۲۰۱۵، موسسه^۱ IARC، گلایفوزیت را به عنوان "ماده سرطان‌زای احتمالی انسان" طبقه‌بندی کرد. با اشاره به "شواهد قوی" سمیت ژنی، در بیانیه

1- International Agency for Research on Cancer

خلاصه خود، گروه کاری IARC مطالعه‌ای را در یک جمعیت انسانی در معرض آلودگی منتشر کرد که در آن "نشانه‌های آسیب کروموزومی" (تشکیل میکرو هسته) بعد از قرار گرفتن در معرض آلاینده به طور قابل توجهی بیشتر از شرایط عدم قرارگیری در معرض آلاینده در همان افراد است. استفاده شدید از گلايفوزیت منجر به مقاومت علف‌های هرز و میکروارگانیسم‌ها در برابر این سم شده است. تغییر در ترکیبات میکروبی به دلیل استفاده شدید این سم ممکن است در تکثیر عوامل بیماری‌زای گیاهی و حیوانی نقش داشته باشد. گلايفوزیت در آب، غذا و خوراک دام، تحقیقات مستقلی را نیاز دارد که تمام خطرات سلامتی احتمالی را در نظر بگیرد [18].

استفاده از گلايفوزیت جهت کنترل آفات نباتی در بسیاری از مزارع کشاورزی که در مجاورت منابع آب شیرین واقع شده اند بسیار رایج می‌باشد. آب مازادی که هنگام آبیاری از مزارع خارج می‌شود حاوی سم گلايفوزیت است که منابع آب هم‌جوار را آلوده می‌کند نتایج حاصله از نظر آسیب شناسی بافتی روی ماهی‌هایی که در مجاورت آب آلوده زندگی می‌کنند نشان داد که قرار گرفتن کبد و آبشش در مجاورت سم گلايفوزیت منجر به بروز مشکلاتی برای این اعضا می‌شود [53]. همچنین مزارعی که در نزدیک رودخانه واقع شده‌اند ممکن است این سم را توسط رودخانه‌های مجاور خود به دریا نیز برسانند در تحقیقی که بر روی رسوبات (گل و لای) کف دریای بالتیک صورت گرفت متوجه حضور سم گلايفوزیت و دیگر سموم مصرفی شدند [54]. همچنین به علت مواجهه انسان با این سم به علت استفاده گسترده آن در جهان چه از طریق استنشام یا ورود به دستگاه گوارش از راه‌های گوناگون در سال ۲۰۱۵، IARC^۱ گلايفوزیت را به عنوان "ماده سرطان زای احتمالی انسان" طبقه بندی کرد.

سنجش گسترده برای کنترل کیفیت آب اطلاعات مهمی را برای ارزیابی مشخصات آب بر طبق نیازهای مشخص فراهم می‌آورد. اندازه‌گیری پارامترهای آب در یک سطح گسترده نیازمند به کارگیری تعداد زیادی گره‌های سنجشی که شامل سنسورهای چندگانه است، می‌باشد. مدیریت این ابزار سنجش برای به دست آوردن

1- who or world health organization

1- International Agency for Research on Cancer

اطلاعات قابل قبول و مورد اعتماد کار دشواری است. در این تحقیق، از مجموعه داده‌ها از پارامترهای چند متغیره ساده و کم هزینه روتین برای تشخیص وقایع آلودگی در یک زمان کوتاه، استفاده شده است.

۱-۴ اهداف تحقیق

• هدف کلی

در این تحقیق حساسیت پارامترهای کیفی ساده و روتین آب در تشخیص سریع آلودگی های ناشی از برخی سموم و مورد ارزیابی قرار گرفته است. هدف کلی این تحقیق عبارت است از: "ارزیابی عملکردی سنسورهای کیفیت آب چند پارامتری در تشخیص سریع آلودگی در منابع آب شرب".

• اهداف جزئی

- ۱- میزان حساسیت سنسورهای pH-ORP^۱ به غلظت‌های مختلف سم گلايفوزیت
 - ۲- میزان حساسیت سنسورهای کدورت، هدایت الکتریکی و دما به غلظت های مختلف گلايفوزیت
 - ۳- تغییرات عدد جذب با طول موج ۲۵۴ نانومتر در دستگاه اسپکتروفتومتر با افزایش غلظت سم گلايفوزیت
- در تحقیق حاضر با ایجاد یک پایلوت آزمایشگاهی عملکرد این سنسورها به صورت آنلاین مورد ارزیابی قرار می گیرد.

۱-۵ فرضیات تحقیق

- ۱- با استفاده از سنسورهای متعارف و کم هزینه نظیر pH، ORP، EC، UV-254 و کدورت امکان تشخیص سریع نفوذ طیف وسیعی از آلاینده ها به سیستم های آبرسانی وجود دارد. نفوذ آلاینده می تواند بصورت تعمدی در مواقع حملات بیوتروریستی و یا بصورت غیر عمدی مثلاً نفوذ آفت کش ها اتفاق بیفتد.
- ۲- در صورت تشخیص سریع نفوذ آلاینده ها به سیستم آبرسانی می توان با در نظر گرفتن نقاط کنترلی مناسب در سامانه آبرسانی (با تعبیه شیرآلات و دریچه ها) با انتقال سیگنال به موقع بصورت دستی یا خودکار

مانع از سرایت آلودگی به پایین دست شد که در نتیجه ریسک ناشی از این مخاطرات تا حد قابل ملاحظه ای کاهش می یابد.

۳- تغییرات دو پارامتر pH و ORP در نتیجه ورود بسیاری از مواد سمی به آب می تواند به عنوان یک سیگنال یا آلام مناسب برای تشخیص سریع آلودگی مورد استفاده قرار گیرد.

۴- پارامتر UV-254 نیز می تواند به عنوان یک سنسور مناسب در تشخیص فوری آلودگی در آب مورد استفاده قرار گیرد.

۵- پارامتر EC برای آن دسته از آلاینده های با قابلیت انحلال یونی می تواند به عنوان یک سنسور مناسب در تشخیص فوری آلودگی محسوب گردد.

۱-۶ روش انجام تحقیق

مراحل انجام پژوهش حاضر به صورت زیر می باشد:

1. مطالعه و بررسی تحقیقات پیشین
2. انتخاب یک نوع ماده به عنوان آلاینده محتمل جهت ارزیابی
3. ایجاد یک پایلوت جهت انجام آزمایشات و تعیین سنسورها جهت ثبت تغییرات
4. انجام آزمایش های مربوطه و بهینه سازی سنسورها
5. ترسیم نمودارها و تجزیه تحلیل داده ها
6. بحث و نتیجه گیری

۱-۷ ساختار پایان نامه

فصل اول: کلیات

در فصل اول کمبود منابع آب شیرین، و تهدیدات و خطراتی احتمالی کیفی از جوانب مختلف چه به صورت طبیعی بیان شده است. همچنین بیان مسئله و ضرورت انجام تحقیق، روش تحقیق و ساختار پایان نامه مورد بررسی قرار گرفته است.

فصل دوم: مروری بر تحقیقات پیشین

در این بخش به معرفی آلاینده مورد نظر جهت بررسی ساختار و تاثیرات آن بر محیط‌زیست، انسان، آب و فرآیند کارکرد سنسورها پرداخته شده است و در پایان مروری بر تحقیقات پیشین در خصوص چگونگی تشخیص آلودگی توسط سنسورها با روش‌های مختلف ارائه گردیده است.

فصل سوم: مواد و روش‌ها

در این بخش به معرفی مواد، دستگاه‌ها و روش‌هایی که به منظور انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند، پرداخته شده است.

فصل چهارم: نتایج و بحث

در این فصل به بیان نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها به صورت نمودارها، گراف‌ها و جداول و تحلیل و تفسیر علمی آن‌ها پرداخته شده است.

فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این قسمت به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری از تحقیق حاضر پرداخته شده است و پیشنهادهایی جهت مطالعات و آزمایش‌های تکمیلی در آینده ارائه گردیده است.

فصل دوم: مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱ مقدمه

با پیشرفت تمدن بشری، توسعه فناوری و ازدیاد روز افزون جمعیت نسل بشر، دنیا با مشکلی به نام آلودگی روبه‌رو شده است که زندگی ساکنان کره زمین را تهدید می‌کند. آلودگی ناشی از انباشته شدن ترکیبات سمی پایدار مانند مواد شیمیایی، نمک‌ها، فلزات سنگین و مواد رادیواکتیو در خاک و آب بر روی رشد و سلامت جانوران و انسان‌ها تاثیرات نامطلوب دارند، به همین دلیل تصفیه و پاک‌سازی و جلوگیری از آلودگی منابع آبی به یکی از مهم‌ترین نگرانی دانشمندان تبدیل گردیده است. اولین گام در هر تحقیق جمع‌آوری اطلاعات لازم با مطالعه و بررسی تحقیقات پیشین سایر پژوهشگران می‌باشد. در این فصل ابتدا به روش‌های شناسایی آلودگی توسط سنسورها و نحوه بهینه‌سازی آن‌ها و در انتها مروری بر مطالعات پیشین در رابطه با عملکرد سنسورها در شناسایی آلودگی پرداخته می‌شود.

۲-۳ سنسورهای کیفیت آب جهت ارزیابی آلودگی

۲-۳-۱ مقدمه

آب یکی از منابع طبیعی عمده برای مردم است. در سال ۲۰۱۲ توسط سازمان بهداشت جهانی^۱ اعلام شد که تأمین آب سالم برای هر شخص یک کار مهم در سراسر جهان است. در جهت پایداری کیفیت آب دستورالعمل‌ها و استانداردهای ویژه‌ای توسط سازمان بهداشت جهانی، تنظیم شده و وجود دارد. کیفیت آب یکی از مهم‌ترین شاخص‌های آلودگی محیط‌زیست است و همه ما را تحت تأثیر قرار می‌دهد. آلودگی آب می‌تواند تصادفی یا عمدی باشد بنابراین عواقب آن غیر قابل پیش‌بینی است مگر اینکه اقدامات مناسب و به موقع در محل انجام شود. رویکرد متداول در تجزیه و تحلیل کیفی آب، استفاده از روش‌های مختلف شیمیایی، فیزیکی و میکروبیولوژیکی را در بر می‌گیرد. بیشتر این روش‌ها به آزمایشگاه‌های تخصصی مجهز به تجهیزات علمی گران‌قیمت و پیشرفته نیاز دارند. علاوه بر این، برای بهره‌برداری از چنین دستگاه‌هایی به پرسنل بسیار واجد شرایط نیاز است و برای نمونه‌گیری آب باید تلاش ویژه و نیروی انسانی صرف شود. بنابراین روش‌های کنترل

کیفیت آب موثرتر باید توسعه یابد. این روش‌ها باید سریع، کم هزینه، با حداقل نمونه‌گیری خودکار و در نهایت نتایج واقعی داشته باشند [19].

لذا به منظور محافظت از سلامت عمومی، آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده^۱ (EPA) برنامه‌ای را برای بررسی چگونگی تشخیص تغییرات در پارامترهای کیفیت آب، که به طور بالقوه نشان‌دهنده آلودگی است، توسط سنسورهای کیفیت آب با پاسخ سریع انجام داد [20].

به طور کلی، سنسورهای تشخیص‌دهنده محرک‌هایی از محیط هستند که به سیگنال‌های (به عنوان مثال، mV و Pa^۳) تبدیل شده و در یک پلت فرم داده برای استفاده بیشتر ذخیره می‌شود [21].

۲-۳-۲ انواع طبقه‌بندی سنسورها

• سنسورها از لحاظ بیولوژیکی و شیمیایی

از انواع حسگرهای بیولوژیکی و شیمیایی برای پایش کیفیت آب استفاده می‌شود. حسگرهای زیستی از ارگانیسم‌های آبی مانند کک‌های آب، نرم تنان، جلبک‌ها و ماهی‌ها برای تشخیص تغییر ناگهانی کیفیت آب استفاده می‌کنند. در حالی که این سنسورها به سرعت به آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی پاسخ می‌دهند، حساسیت آن‌ها به ضد عفونی کننده‌ها و سایر مواد شیمیایی تصفیه‌کننده، استفاده از حسگرهای زیستی در سیستم توزیع آب آشامیدنی را محدود می‌کند. سنسورهای شیمیایی شامل اندازه‌گیری کلر آزاد، پتانسیل اکسایش-کاهش (ORP)، کربن آلی کل (TOC)، کدورت، pH، اکسیژن محلول، هدایت ویژه، کلرید، آمونیاک و نیترات و... می‌شوند [22].

• سنسورها مرکب و غیر مرکب

به طور کلی دو نوع سنسور کیفیت آب آنلاین وجود دارد، نوع اول به سنسورهای کیفیت آب غیرمرکب یا معمولی اشاره دارد که عموماً برای پارامترهای معمول کیفیت آب از جمله pH، کلر، هدایت الکتریکی و...

1- Environmental Protection Agency

2- mili Volt

3- Pascal

استفاده می‌شود. نوع دوم اشاره دارد به سنسورهای خاص یا سنسورهای مرکب خاص یا سنسورهای پیشرفته که قادر به تشخیص قطعی آلاینده در غلظت کم هستند اما، زمان تجزیه تحلیل طولانی و هزینه زیاد در طول یک اتفاق آلودگی، جزو معایب این نوع سنسورها است [23].

۲-۴ سیستم هشدار سریع (EWS)

۲-۴-۱ مقدمه و تعریف

شرایط اضطراری و حوادث فاجعه بار در سراسر جهان در حال افزایش است. روند فزاینده حوادث اورژانسی، الگوی پاسخ به پیشگیری و مدیریت ریسک را تغییر داده است. یکی از مهم‌ترین مؤلفه‌های مدیریت خطر در برابر بلایا، سیستم پیشرفته هشدار سریع است. اسناد بالادستی مانند سند Sendai^۱ بر اهمیت سیستم هشدار سریع به عنوان یکی از عناصر اصلی کاهش خطر بلایا تأکید کرده‌اند. در سند Sendai یک سیستم هشدار سریع با رویکرد پیشگیری به عنوان یک الزام برای نقشه راه کشورها تا سال ۲۰۳۰ مشخص شده است [24]. دفتر کاهش خطر اتفاقات سازمان ملل متحد (UNISDR)^۲ سیستم هشدار را به عنوان مجموعه‌ای از توانایی‌های مورد نیاز برای تولید به موقع و معنی‌دار و انتشار اطلاعات هشدار به افراد، جوامع و سازمان‌های در معرض خطر برای آمادگی و پاسخ بهینه و در زمان مناسب به منظور کاهش احتمال آسیب و مرگ تعریف می‌کند. هشدار زودهنگام و پاسخ به موقع نقش عمده‌ای در کاهش آسیب‌پذیری و مرگ و میر ناشی از بلایا و افزایش مقاومت جامعه دارد. به کارگیری چارچوب و مدل مناسب با بهینه‌ترین عناصر سیستم هشدار می‌تواند نقش مهمی در کاهش خطر حوادث داشته باشد. علاوه بر این، توسعه مدل‌سازی سیستم هشدار، عملکرد سیستم را بهبود می‌بخشد [25].

در حال حاضر اطلاعات لازم برای دستیابی به آلودگی‌ها و پدیده‌های تخریب محیط زیست در زمان سریع برای شناسایی خطرات و پیش‌بینی‌های قابل اعتماد از تأثیرات احتمالی در قالب هشدار زودهنگام وجود دارد.

1-Early Warning System

2-Sendai frame work for disaster risk reduction 2015-2030

3- United Nations Office for Disaster Risk Reduction

سیستم (EWS) یک سیستم یکپارچه برای نظارت، جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه و تحلیل، تفسیر و برقراری ارتباط داده‌های پایش شده است، که می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد تا تصمیم‌گیری زودهنگام برای محافظت از بهداشت عمومی و محیط زیست و به حداقل رساندن نگرانی و ناراحتی برای مردم شود [26].

۲-۴-۲ EWS در سیستم‌های آبی

وضعیت کیفیت آب (WQ) و در دسترس بودن، اغلب تحت تأثیر وقایع نامطلوب مانند تخریب زمین، تغییرات آب و هوایی، فعالیت‌های انسانی مستقیم یا غیرمستقیم، و در شرایط نادر، استفاده از سلاح‌های زیستی در اعمال تروریسم است. نظارت بر آلودگی از اهمیت زیادی برای حفاظت از محیط زیست برخوردار است. حوادث آلودگی بیشتر ناشی از آلاینده‌هایی است که هوا و آب را آلوده می‌کنند. اگر منبع آلودگی بتواند هنگام شناسایی یک رویداد آلودگی تشخیص داده شود، برای حل به موقع حادثه آلودگی مفید است. بنابراین، در پایش آلودگی، سه مشکل از جمله مشاهده وضعیت محیط، تشخیص آلودگی و محلی‌سازی منبع آلودگی همیشه مورد بررسی قرار می‌گیرند. در پایش محیط، از داده‌های محیطی نمونه‌برداری می‌شود و در زمان واقعی به مرکز داده منتقل می‌شود. مشکل تشخیص آلودگی این است که از طریق تجزیه و تحلیل نمونه‌گیری، مشخص شود که آیا یک رویداد آلودگی وجود دارد. مشکل تعیین محل منبع آلودگی، مکان‌یابی منبع آلودگی هنگام مشخص شدن یک رویداد آلودگی است. منبع اختلال در آب هرچه باشد، آشکارا لازم است تا وقایع آلودگی با تأثیر زیاد، (شیمیایی، میکروبی، رادیواکتیو، عوامل بیماری‌زا و سموم بیوتوکسین) با اطمینان در منابع آب و سیستم‌های توزیع آب، به موقع برای کاهش تأثیر یک واکنش و جلوگیری از مواجهه عمومی با منابع آب آلوده شناسایی شود. به گفته انستیتوی (ILSI) علوم زندگی بین‌المللی، بسیاری از مدیران تصفیه خانه‌های آب آشامیدنی، آلاینده‌های ناشی از نشت مواد نفتی و پتروشیمی، رواناب‌های کشاورزی و فاضلاب‌های تصفیه نشده را به عنوان مهم‌ترین تهدیدها برای تأمین آب آنها تلقی می‌کنند. این اولویت‌بندی تهدید نشان‌دهنده پیشگیری

مورد نیاز در یک نسل جدید برای دستیابی به استانداردهای آب آشامیدنی است، همچنین پارامترهایی باید برای ادغام در EWS در نظر گرفته شوند [27].

منابع و تأثیرات آب‌های نامطلوب پیامدهای مستقیمی برای روش‌های استفاده شده در راه‌اندازی EWS برای نظارت بر منابع آب دارند. طبق USEPA، یک EWS قابل اعتماد و موثر برای ارزیابی کیفیت آب باید یکپارچه شود، باید نسبت به تشخیص طیف گسترده‌ای از آلودگی‌های بالقوه به حداقل تغییرات حساس باشد، دارای درجه قابل توجهی از اتوماسیون باشد و اجازه عملکرد و تنظیم از راه دور را بدهد. انتظار می‌رود این سیستم منبع آلودگی را شناسایی کرده و اجازه پیش‌بینی دقیق مکان و غلظت پایین دست نقطه تشخیص را بدهد و امکان پاسخ‌گویی سریع را فراهم کند. لذا این سیستم باید مقرون به صرفه باشد و دارای تکرار نمونه‌برداری بالا با چند پارامتر و عملکرد مداوم در زمان سریع در سیستم‌های آبی باشد. اگرچه در طول دهه گذشته پیشرفت‌های چشمگیری در سیستم‌های هشدار زودهنگام صورت گرفته است، دقت و تشخیص طبقه‌بندی آلودگی به نوع الگوریتم آلاینده و آشکارساز در آن وابسته است. برای بهبود این الگوریتم‌ها، تعیین پایداری آن‌ها و انتخاب پارامترهایی که باید کنترل شوند، انجام مطالعات تجربی با شبیه‌سازی حوادث آلودگی ضروری است.

آزمایش‌های سیستم‌های تجاری موجود که شامل نظارت بر پارامترهای فیزیکوشیمیایی یا ترکیبی از آنها است، تشخیص رویداد آلودگی را نشان می‌دهد. در ۸۲٪ موارد این نشان دهنده نیاز به بهبود این سیستم‌ها است. الگوریتم‌هایی در مقالات علمی گزارش شده‌اند که توانایی تشخیص آلودگی را با دقت ۱۰۰٪ دارند. با این حال، در بیشتر موارد، آن‌ها با مجموعه داده‌های مصنوعی یا داده‌های تجربی ناشی از حوادث آلودگی شیمیایی ارزیابی می‌شوند. علاوه بر این، مطالعاتی در مورد اجرای پارامترهای میکروبیولوژیکی یا روش‌های توسعه سیستم‌های هشدار اولیه انجام نشده است. در نتیجه، در اکثر موارد، کیفیت آب آشامیدنی میکروبیولوژیکی ناشناخته باقی‌مانده است، اما کیفیت میکروبیولوژیکی مهم‌ترین علت ابتلا به بیماری‌های مختلف است. دلیل عدم مطالعه ممکن است این باشد که روش‌های فعلی تشخیص پارامترهای میکروبیولوژیکی زمانبر است (۲۴ ساعت تا ۴۸ ساعت) و همچنین نیازمند کار زیاد است، اما روش‌های جدید و نسبتاً سریع‌تر به تدریج در حال

شکل‌گیری هستند. معرفی روش‌های جدید و سریع‌تر میکروبیولوژیکی در سیستم‌های هشدار سریع می‌تواند دقت تشخیص حوادث آلودگی را به ویژه در مورد خطرات میکروبیولوژیکی بهبود بخشد [28].

۲-۴-۳ اجزای کلی و فرآیندهای موجود در EWS برای ارزیابی آلودگی WQ

- اجزای کلی و فرآیندهای موجود [26]:

- سیستم‌عامل‌های نظارت بر آلودگی در محل: قراردادن سنسور و نمونه‌گیرهای خودکار (با تکرار کافی) برای مجموعه‌ای از مواد شیمیایی، رادیواکتیویته، عوامل بیماری‌زا و بیوتوکسینها
- انتقال داده ایمن و حتی‌الامکان در کوتاه‌ترین زمان به مراکز پردازش اطلاعات مرکزی از طریق بی سیم یا مستقیم، خطوط تلفن، رادیو و ماهواره
- ذخیره سازی، اعتبار سنجی، ارزیابی، پردازش و تجزیه و تحلیل از طریق استفاده از مدل‌های فضایی و همچنین نرم‌افزار آماری ریاضی
- انتشار داده‌های پردازش شده و اطلاعات هشداردهنده اولیه به تصمیم‌گیرندگان و سایر کاربران نهایی
- اجرای یک پاسخ موثر و به موقع به هشدارهای اولیه صادر شده

۲-۵ رویکردهای مختلف در آزمایش و تشخیص رویداد

در سال‌های اخیر سنسورهای مرسوم کیفیت آب نقش فزاینده‌ای دارند. به طور کلی دو نوع رویکرد برای توسعه و آزمایش تشخیص رویداد با استفاده از سیگنال‌های کیفیت آب مورد بررسی قرار گرفته است [23].

رویکرد اول: ارزیابی اینکه سنسورهای آزمایشگاهی و سنسورهای حلقه‌ی آزمایش و الگوریتم‌های تشخیص یک رویداد، اندازه‌گیری مستقیم تغییرات شیمیایی در کیفیت آب متأثر از آلاینده‌های خاص را فراهم می‌کند. محققان پس از مشاهده این پدیده‌های مختلف، برای توسعه روش‌های شناسایی آلاینده‌ها با استفاده از پاسخ چندین سنسور روی آوردند.

رویکرد دوم: تشخیص یک رویداد مبتنی بر پردازش سیگنال‌ها و تکنیک‌های هدایت داده است. به عنوان مثال هارت و همکاران، روش فیلتر پیش‌بینی خطی^۱ (LPF) را گزارش نمود. این روش کیفیت آب را در یک گام زمانی آینده پیش‌بینی می‌کند و در ادامه بین آن چه پیش‌بینی شده و کیفیت آب مشاهده شده مقایسه و ارزیابی می‌کند [34].

۶-۲ ارزیابی الگوریتم‌های تشخیص آلودگی

دقت الگوریتم‌های تشخیص آلودگی نشان‌دهنده توانایی آن در شناسایی حوادث آلودگی یا طبقه‌بندی خودکار آب "تمیز" و "آلوده" است. برای ارزیابی صحت عملکرد الگوریتم‌های تشخیص آلودگی، ارزیابی انطباق نتایج طبقه‌بندی آن‌ها با کیفیت آب در سیستم منبع آب ضروری است (شکل ۱-۲).

		Quality of Water	
		Clear	Contaminated
Decision made by algorithm	Clear	True negative (TN)	False negative (FN)
	Contaminated	False positive (FP)	True positive (TP)

شکل ۱-۲ نتایج احتمالی الگوریتم تشخیص آلودگی در ارتباط با کیفیت آب

ارزیابی نتایج به دست آمده توسط الگوریتم تشخیص آلودگی برای تخمین میزان حساسیت تشخیص^۲ (PD)، نرخ هشدار کاذب^۳ (FAR) و دقت طبقه‌بندی^۴ (P) برای الگوریتم استفاده می‌شود. حساسیت الگوریتم تشخیص، توانایی آن در تشخیص یک رویداد آلودگی را توصیف می‌کند. نرخ هشدار کاذب احتمال نتایج طبقه‌بندی غلط را نشان می‌دهد. دقت طبقه‌بندی، دقت کلی الگوریتم را برای طبقه‌بندی صحیح اندازه‌گیری‌ها

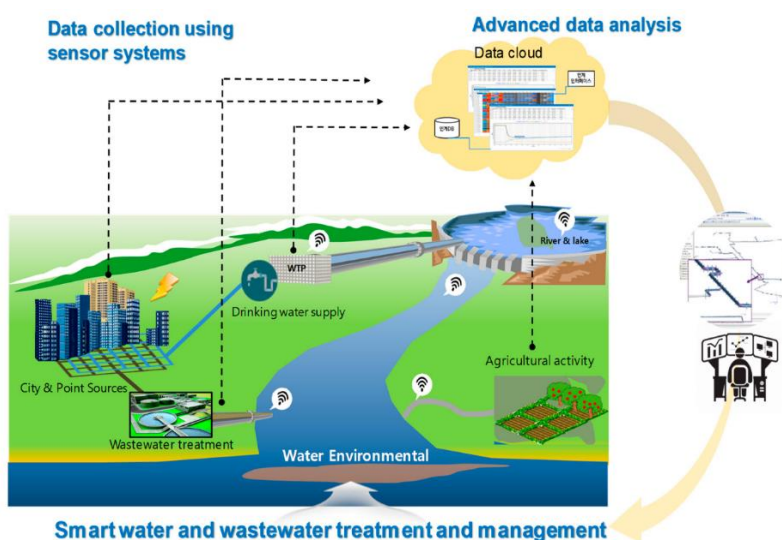
1- Linear prediction filter
1- Possible of Detection
2- False Alarm Rate
3- Possibility

در حضور آب "تمیز" یا "آلوده" در سیستم توصیف می‌کند. تمام ارزیابی‌های عملکرد الگوریتم حاصل از ۰ تا ۱ است. در مورد PD و P، مقدار ۱ با ۱۰۰٪ دقت مطابقت دارد. برای FAR مقدار ۰ نتایج طبقه‌بندی صحیح را نشان می‌دهد [46].

۷-۲ فناوری سنجش برای نظارت بر کیفیت آب آنلاین

پیشرفت‌های اخیر فناوری اطلاعات و ارتباطات و فن‌آوری‌های سنجش در مهندسی محیط‌زیست، اندازه‌گیری قابل اعتماد و انتقال و مدیریت داده‌های گسترده زیست محیطی را با هزینه‌های پایین امکان‌پذیر می‌کند، که می‌تواند از فرایندهای تصمیم‌گیری پشتیبانی کند [29] (شکل ۲-۲).

عملکرد کلی سیستم‌های نظارت بر کیفیت آب بصورت آنلاین در زمان سریع، انجام جمع‌آوری داده‌ها، انتقال و تفسیر داده است. فن‌آوری‌های پیشرفته تجزیه و تحلیل داده‌ها، ابزارهای ارزشمندی برای مدیریت موثر داده‌های کیفیت آب (به عنوان مثال، پیش‌بینی تغییرات کیفیت آب) فراهم می‌کند. درک روند ارزیابی کیفیت آب نیاز به یک پوشش دقیق و گسترده از نوسانات کیفیت آب در چندین بازه زمانی دارد که به شرایط وابسته است [29].



شکل ۲-۲ شماتیک ترکیبی از پایش، انتقال و سیستم مدیریت داده پیشرفته در زمان سریع برای تصفیه و مدیریت هوشمند تأسیسات آب و فاضلاب

به عنوان مثال، خطوط ساحلی در معرض انتقال دوره‌ای رسوبات و مواد مغذی هستند که می‌توانند از طریق انتقال بار مواد مغذی و سمی و احیا مجدد، بر اکوسیستم‌های مرجانی تأثیر بگذارند. آبراه‌های انتقالی مانند رودخانه‌ها و نه‌رها نیز تحت تأثیر آلودگی زیاد قرار دارند [30].

سیستم نظارت بر کیفیت آب بی سیم از چند مرحله تشکیل شده است: جمع آوری داده‌ها، پردازش سیگنال، مانند کنترل نویز، تقویت و انتقال داده‌ها، مدیریت داده‌ها و در نهایت یک فرآیند محاسبات. هم چنین گتا و گوتامی در سال ۲۰۱۶ سه مرحله را برای سیستم پایش مشخص کردند: اول داده‌های کیفیت آب میدانی توسط حسگرهای بی سیم جمع‌آوری شده و توسط یک سیستم بی سیم یا سیمی به یک کنترل کننده منتقل می‌شود. مرحله دوم، سیستم انتقال داده، داده‌های جمع‌آوری شده را از کنترل کننده به واحد ذخیره‌سازی داده منتقل می‌کند. سرانجام، داده‌های ذخیره شده برای تجزیه و تحلیل و کارکرد یک سیستم استفاده می‌شود [30].

۲-۷-۱ سنسورهای پایش از نظر فیزیکی

روش‌های درجا یا در محل امکان اندازه‌گیری متغیرها را به طور مستقیم در محیط زیست در بازه‌های زمانی مداوم یا مقطعی فراهم می‌کند و داده‌ها برای ارزیابی تأسیسات ارسال می‌شوند. سال‌ها سنسورهای درجا برای اندازه‌گیری پارامترهای فیزیکی مانند اکسیژن، pH، CO₂، هدایت الکتریکی، عمق و دما،^۲ (TDS) و واحدهای کدورت نفلومتری (NTU) در آب دریا مورد استفاده قرار گرفته‌اند. آرایش سنسورها به طور معمول در سیستم‌های خودکار، یا روی کشتی مستقر شده یا در قسمت پهلوگیری نصب می‌شود و به عنوان بخشی از یک سیستم ارزیابی استفاده می‌شوند [31].

نمونه‌برداری درجا با بهره‌مندی بیشتر از تجزیه و تحلیل مشخصات عمودی ستون آب، اندازه‌گیری‌هایی با وضوح بالا و قابل اطمینان ارائه می‌دهد. حسگرهای کم‌هزینه و سنسورهای موجود در بازار می‌توانند غلظت کل جامدات معلق (TSS) را بر اساس دوره‌های زمانی متناوب زیاد، کدورت و هدایت الکتریکی اطلاعات سطح

1-In Situ

2-Total Dissolved Solids

آب را پیش‌بینی کنند. به عنوان مثال، آدامو و همکاران^۱ در سال (۲۰۱۴) از یک تحقیق سازگار با آب دریا استفاده کرد که می‌تواند درجه حرارت آب، شوری، هدایت، کدورت و غلظت کلروفیل (Chl-a) را اندازه‌گیری کند [32].

از طیف‌سنج‌ها و پروب‌های کیفیت آب حاوی ردیاب‌های فلورسنت می‌توان برای اندازه‌گیری تابش طیفی نزولی، میزان مواد مغذی محلول در آب، کلروفیل، فلورسانس و کدورت در مقطع عرضی، مادامی که یک پروب بتواند نمونه‌برداری کند، استفاده کرد. از سنسورهای نوری سطحی نیز می‌توان برای نظارت بر نوسانات محیط بر اساس پروفیل استفاده کرد. سنسورها در داخل سل‌های جریان در ایستگاه‌های پایش کیفی در حاشیه‌های رودخانه قرار داده شده‌اند، و آب از طریق سل‌های جریان پمپ می‌شود و حسگرها می‌توانند NTU و هدایت الکتریکی را ثبت کنند [33].

۸-۲ ارزیابی کیفی آنلاین در سیستم‌های آبرسانی

به منظور اطمینان از ایمنی آب آشامیدنی، نظارت جامع بر آب آشامیدنی باید در هر مرحله از سیستم تأمین آب آشامیدنی انجام شود. در کشورهای پیشرفته، از جمله لاتویا، کیفیت آب آشامیدنی پس از تأسیسات تصفیه آب آشامیدنی تمام نیازها را برآورده می‌کند، اما در هنگام ذخیره‌سازی و توزیع، کیفیت آن ممکن است دچار مشکل شود. داده‌های آماری نشان می‌دهد که ۳۰٪-۶۰٪ از کل شکایات و حوادث آلودگی در سیستم‌های تامین آب آشامیدنی مربوط به شبکه توزیع است. دلایل پایین آمدن کیفیت آب آشامیدنی همچنین می‌تواند حوادث ناگوار و همچنین اقدامات عمدی باشد. کیفیت ناکافی آب آشامیدنی می‌تواند باعث ایجاد مشکلات مربوط به بهداشت، مسائل اجتماعی، روانشناختی، اقتصادی و قابلیت اطمینان شود. متأسفانه هیچ سیستم آبرسانی کاملی وجود ندارد که خطرات احتمالی را برای کاربران خود در جهان ایجاد نکند. بنابراین، هدف شرکت‌های آب به حداقل رساندن خطرات احتمالی آب آلوده یا با کیفیت ناکافی و حمایت از مصرف‌کنندگان با اجرای نظارت بر کیفیت آب آشامیدنی است [49].

یکی از اهداف سامانه های برخط پایش کیفی آب OWQM^۱ شناسایی پارامترها و سنسورهایی است که برای نظارت، شناسایی و هشدار افراد برای کیفیت غیرعادی سیستم توزیع آب، از جمله یک رویداد احتمالی آلودگی استفاده خواهد شد. دستیابی به این هدف نیاز به ارزیابی پارامترهای مختلف کیفیت آب برای تعیین پارامترهای مناسب برای گنجاندن در ایستگاه های OWQM دارد. سپس سنسورهای مختلف موجود برای این پارامترها مقایسه شده و طراحی نهایی ایستگاه OWQM تعیین می شود [29].

EPA، ۱۲ کلاس از آلاینده های احتمالی آب را تعریف کرده است. و این آلاینده ها را می توان در پنج گروه کلی ادغام کرد [34].

- مواد شیمیایی صنعتی
- عوامل جنگ شیمیایی
- عوامل میکروبی
- عوامل بیوشیمیایی
- مواد رادیواکتیو

از آنجا که تعداد آلاینده های بالقوه زیاد است، نمی توان بسیاری از آن ها را به طور خاص از طریق نظارت معمولی OWQM شناسایی کرد. بنابراین، معمولاً استفاده از سنسورهایی که شاخص یا پارامترهای جایگزین را اندازه گیری می کنند، برای تشخیص کیفیت غیر طبیعی آب برای ارزیابی احتمالی آلودگی، عملی تر هستند. تحقیقات اولیه OWQM نشان داد که تغییرات در ۱۰ تا ۱۲ کلاس آلاینده با اندازه گیری سه پارامتر جایگزین متداول باقیمانده کلر، هدایت الکتریکی و کل کربن آلی (TOC) قابل شناسایی است. سایر پارامترهای کیفیت آب که در سطوح مختلف حساسیت به کلاس های مختلف آلاینده پاسخ می دهند شامل pH، پتانسیل اکسایش-کاهش (ORP) و کدورت هستند. این شش پارامتر رایج ترین مجموعه سنسورها را تشکیل می دهند که به طور معمول در یک ایستگاه سنسور OWQM موجود است. برای تاسیسات آب با حالت خاص آسیب پذیری یا نگرانی، ممکن است سایر تجزیه و تحلیل های خاص آلاینده در سیستم OWQM وجود

داشته باشد [34]. آنالیزهای کربن آلی فرار (VOC)^۱ می‌توانند ترکیبات خاصی را از دو گروه از ۱۲ گروه آلاینده (عوامل شیمیایی و سموم گیاهی) که در گروه مواد شیمیایی صنعتی قرار دارند، تشخیص و شناسایی کنند.

سنسورهای کیفیت آب می‌توانند پارامترهایی را که می‌توان به دلیل ویژگی‌های منبع آن یا ناشی از تصفیه در آب وجود داشته باشند را شبیه آلودگی کنترل کنند. به عنوان مثال، نیتریفیکاسیون ممکن است در آب آشامیدنی هنگامی که آمونیاک اضافی از فرآیند کلراسیون یا تجزیه کلرآمین‌ها در دسترس باشد، رخ دهد [34]. نیتریفیکاسیون به عنوان یک شاخص آلاینده آب در نظر گرفته نمی‌شود، اما تشخیص به موقع نیتریفیکاسیون قریب‌الوقوع یک مزیت عملیاتی ارزشمند است و نظارت بر نیتریفیکاسیون به طور کلی در سیستم‌های OWQM برای تاسیساتی که از کلرامیناسیون به عنوان ضدعفونی‌کننده ثانویه در سیستم توزیع استفاده می‌کنند، گنجانده شده است. پتانسیل و درجه میزان نیتریفیکاسیون را می‌توان با ارزیابی میزان نیتريت، نترات، آمونیاک و کربن آلی قابل جذب در سیستم توزیع تعیین کرد [29].

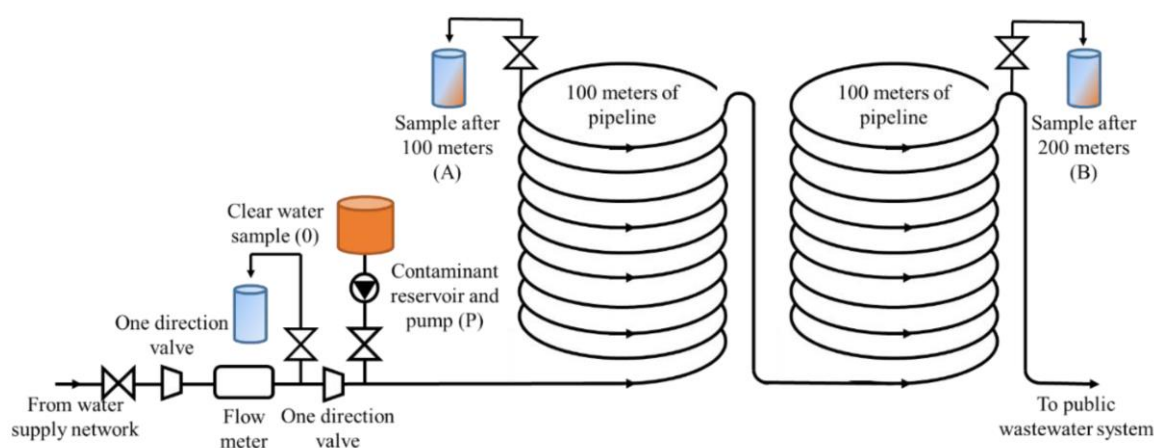
^۲(PWD) تحقیقی را انجام داد که طی آن پارامترهای کیفیت آب زیادی برای کاربرد OWQM و همچنین ابزارها و فن‌آوری‌های مختلف برای سنجش این پارامترها در نظر گرفته شد. PWD در نهایت تصمیم گرفت که ایستگاه استاندارد OWQM شامل ابزارهایی برای اندازه‌گیری پارامترهای هدایت الکتریکی، کلر، pH، ORP، دما، کدورت و UV-254 باشد [34].

۲-۸-۱ حوادث آلودگی آب آشامیدنی در سیستم تأمین آب در مقیاس آزمایشی

چارچوب اکثر تحقیقات ارزیابی تجربی تغییرات پارامتر کیفیت آب آشامیدنی با شبیه‌سازی سناریوهای مختلف رویداد آلودگی انجام می‌شود. همچنین، ارزیابی توانایی الگوریتم تشخیص آلودگی در تشخیص یک رویداد آلودگی در این مرحله انجام می‌شود. از نظر مطالعات تجربی، سیستم تأمین آب آشامیدنی در مقیاس آزمایشی در محل آزمایشگاه ساخته می‌شود. در این سیستم، حوادث آلودگی شبیه‌سازی شده و سیستم‌هایی از این نوع

1- Volatile organic carbon
1- Philadelphia Water Department

و مقیاس برای جلوگیری از تهدیدهای سلامت مصرف کننده استفاده می شود. آزمایشات را می توان در شرایط هیدرولیکی کنترل شده اما در متن یک سیستم آبرسانی متمرکز واقعی انجام داد. شکل (۲-۳) نمایش یک پایلوت جهت آزمایش شبیه سازی آلودگی را نشان می دهد.



شکل ۲-۳ نمایش شماتیک سیستم تأمین آب در مقیاس پایلوت

سایت نمونه برداری از آب شفاف قبل از نقطه تزریق آلودگی قرار گرفته و برای نظارت بر تغییرات کیفیت آب در سیستم آبرسانی در نظر گرفته شده است. در سایت های بالقوه نمونه برداری از آب A و B، کیفیت آب آشامیدنی در طی سناریوهای مختلف آلودگی مشاهده می شود. برای حفظ جریان ثابت و شرایط هیدرولیکی، یک دی سنج و شیر اولتراسونیک در ورودی سیستم نصب می شود. برای شبیه سازی حوادث آلودگی، از یک سیستم تزریق آلاینده با مخازن آلاینده و پمپ تزریق دوز (P) استفاده می شود [49].

۲-۹ سنسورهای ارزیابی فعلی در تشخیص آلودگی

سنسورهای پایش سریع در زمینه های مختلف مانند سیستم های تأمین آب آشامیدنی، مدیریت رودخانه و دریاچه و توزیع منابع آب استفاده می شوند [29].

جدول شماره (۲-۱) نمونه پارامترهای کیفیت آب را نشان می دهد که با سنسورهای ارزیابی کیفی آب اندازه گیری شده اند. برای مدیریت صحیح کیفیت آب، مقدار pH، غلظت DO، هدایت الکتریکی (EC) و دما از متداول ترین پارامترهایی هستند که اطلاعات مفیدی را ارائه می دهند. به عنوان مثال، تغییرات ناگهانی در مقدار pH، EC یا غلظت DO هشدار ورود مواد شیمیایی سمی محسوب می شود، در حالی که تغییرات ناگهانی

دما بر اکوسیستم آب تأثیر می‌گذارد علاوه بر این، افزایش کدورت هزینه‌های فرآیندهای تصفیه آب را افزایش می‌دهد و بر اکوسیستم آب شیرین (به عنوان مثال، عمر ماهی) تأثیر می‌گذارد. این اقلام اساسی توسط حسگرهای تجاری با هزینه‌های نسبتاً کم اندازه‌گیری می‌شوند.

جدول ۱-۲ نمونه‌هایی از پارامترهای کیفیت آب که با فناوری سنسورها ارزیابی می‌شوند

نوع سنسور	پارامتر	استفاده
الکترودهای درجا، رنگ سنجی، سل هدایت الکتریکی، الکتروود غشایی، سنسور نوری، پتانسیومتری، نفلومتری و	مقدار pH، غلظت DO، EC، دما، پتانسیل اکسایش-کاهش و کدورت	پایش پارامترهای اساسی
سنسور الکتروشیمیایی درجا	COD	پایش ترکیبات آلی
با استفاده از یک سنسور نوری، غلظت نیترات از رابطه بین جذب نور UV و غلظت نیترات در یک نمونه آب تعیین می- شود	نیترات، آمونیوم، فسفات	پایش نوترینت‌ها
استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (غلظت Chl-a از رابطه تجربی بین تصویر ماهواره‌ای و غلظت Chl-a تعیین می‌شود) سنسور نوری درجا با شبکه انتقال داده بی سیم	Chl-a	نظارت بر شکوفایی جلبکی مضر (HABs)
استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (غلظت Chl-a از رابطه تجربی بین تصویر ماهواره‌ای و غلظت Chl-a تعیین می‌شود) سنسور نوری درجا با شبکه انتقال داده بی سیم	Chl-a	نظارت بر HAB با استفاده از تصویر فراطیفی (HSI)
سنسور فلورومتری درجا	فایکوسیانین	
با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (غلظت زیست‌توده سیانوباکتريا از رابطه تجربی بین تصویر ماهواره‌ای و آن تعیین می‌شود)	زیست توده سیانوباکتریوم	

غلظت اکسیژن محلول (DO) مناسب در آب نشان‌دهنده سلامت و یا توانایی خودپالایی یک اکوسیستم آبی است. غلظت بالای DO به طور کلی نشان می‌دهد که آلاینده‌های آلی در سیستم‌های آبی کم هستند. EC

نشان دهنده توانایی آب در هدایت جریان الکتریکی است. این پارامتر معمولاً با دو الکترود پلاتین (Pt) بر اساس قانون اهم، ($\mu\text{S/cm}$) در آب اندازه‌گیری می‌شود یعنی رسانایی عکس مقاومت است. اندازه‌گیری پارامترهای اساسی کیفیت آب، به عنوان مثال غلظت DO، pH و EC اطلاعات مهمی را برای مدیریت کیفیت آب فراهم می‌کند. با این حال، مدیریت کیفیت آب در منابع آبی، مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها، به مجموعه داده‌های عظیم، از جمله موارد پیچیده‌تر، مانند ترکیبات آلی، مواد مغذی و میزان و شدت جریان نیاز دارد. اندازه‌گیری پتانسیل اکسایش کاهش (احیا) (ORP) برای نظارت بر واکنش‌های شیمیایی، تعیین مقدار فعالیت یون‌ها، یا تعیین ویژگی‌های اکسایشی یا کاهش (احیایی) محلول، استفاده می‌شود. با این که روش‌های اندازه‌گیری ORP شبیه به روش‌های اندازه‌گیری pH هستند، برای دستیابی به نتیجه صحیح مقدار پتانسیل باید به طور دقیق تفسیر شود. اندازه‌گیری ORP بر حسب میلی ولت با دستگاه pH سنج انجام می‌شود. در نتیجه با عوض کردن الکترود شیشه‌ای با یک الکترود فلزی، به وسیله همان pH سنج، یون‌های بسیار دیگری در کنار یون هیدروژن شناسایی می‌شوند. در بسیاری از واکنش‌های شیمیایی الکترودها از یک عنصر به عنصر دیگر جابه‌جا می‌شوند. با توجه به تعریف، در طول یک فرایند کاهش (احیا)، عنصر الکترود می‌گیرد، و در طول فرایند اکسایش، عنصر الکترود از دست می‌دهد. واکنش‌های اکسایش و کاهش (احیا) در کنار هم صورت می‌گیرند. الکترودهای به دست آمده از عنصر اکسید شده توسط عنصر کاهش (احیا) یافته دریافت می‌شود تا آن جا که تعادل برقرار شود [35].

۲-۱۰ مروری بر مطالعات پیشین

در تحقیقی که توسط هان چی و همکارانش انجام شد مشخص شد که در رویکرد اتخاذ شده، روشی با استفاده از یک سری داده‌ها از پارامترهای چند متغیره برای تشخیص حوادث آلودگی مورد بحث و ارزیابی قرار گرفته است. در این مطالعه از هشت سنسور کیفیت آب (pH، کدورت، رسانایی، دما، پتانسیل کاهش اکسیداسیون، UV-254، نیترات و فسفات) استفاده شده است و یک علف‌کش پر کاربرد، به نام رانداپ به عنوان آلاینده آزمون انتخاب شده است. تغییرات همه پارامترها در زمان واقعی و در غلظت‌های مختلف ثبت می‌شوند. نتایج حاصل از آزمایش و تجزیه و تحلیل نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با بهینه‌سازی مناسب می‌تواند کمتر از

۵ دقیقه پس از ورود آلاینده، با استفاده از پاسخ‌های سنسورهای آنلاین کیفیت آب، یک آلودگی رانداپ را تشخیص دهد. میانگین حساسیت یا نرخ مثبت واقعی^۱ ۹۵,۵٪ است. این مطالعه همچنین در مورد تأثیر تعداد سنسورها بر عملکرد تشخیص بحث می‌کند و نتایج نشان می‌دهد که اگر تعداد سنسورها از ۸ به ۵ کاهش یابد، عملکرد واقعی نرخ مثبت هنوز خوب است. لذا نشان می‌دهد که این روش انعطاف پذیر است و می‌توان با استفاده از تعداد کمتری سنسور هزینه‌های پایش را کاهش داد [23].

مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۷ توسط هال و همکارانش^۲ با هدف ارزیابی و کنترل پارامترهای استاندارد آب آشامیدنی مانند pH، کلر آزاد، پتانسیل اکسایش-کاهش (ORP)، اکسیژن محلول، هدایت ویژه، کدورت، کل کربن آلی (TOC)، کلرید، آمونیاک، و نیترات صورت گرفت. این سنسورها درون یک پایلوت که متشکل از یک شبکه از لوله‌های جریان آب است جایگذاری شده است. و با آلاینده‌هایی از جمله پساب ثانویه تصفیه‌خانه فاضلاب، فری‌سیانیدپتاسیم، فرمولاسیون حشره‌کش مالاتیون، فرمول علف‌کش گلایفوزیت، نیکوتین، تری-اکسیدآرسنیک، آلدی‌کارب و اشریشیا کولی K-12 مورد آزمایش و ارزیابی قرار گرفتند. به طور کلی در این آزمایشات حسگرهای کلرآزاد، TOC، ORP، هدایت ویژه و کلرید بیشترین واکنش را به آلاینده‌ها نشان داده‌اند. هیچ سنسور شیمیایی واحدی به تنهایی به تمام آلاینده‌های استفاده شده در این مطالعه پاسخ نداد، با این وجود برخی از سنسورها نسبت به سایرین به تعداد بیشتری آلاینده پاسخ دادند. صرف نظر از تغییراتی که به علت نوسانات و خطاهای ناشی از آشفتگی جریان توسط سنسورها ثبت می‌شوند جدول (۲-۲) پاسخ سنسورها را نسبت به وضعیت عادی یعنی قبل از تزریق آلودگی (حالت پایه) به دو دسته تقسیم می‌کند، حالت اول اگر تغییرات نسبت به حالت پایه رو به افزایش باشند، (روند افزایشی) حالت دوم زمانی است که تغییرات نسبت به حالت پایه روند کاهشی داشته باشند (روند کاهشی)، جدول (۲-۲) مقدار مطلق تغییر را نشان نمی‌دهد [20]

1-true positive rate
2- Hall, J., et al.

جدول ۲-۲ تقسیم بندی تغییرات پارامترها در حضور آلودگی [20]

آلودگی	پاسخ سنسور	
	رشد افزایشی	رشد کاهشی
فاضلاب	کلرید، کدورت هدایت خاص، TOC	کلر آزاد، ORP
پتاسیم فریسیانید	کلر آزاد، کلرید نیترات	آمونیاک - نیتروژن ORP
فرمولاسیون گلایفوسیت	TOC، کلرید	کلر آزاد TOC
فرمولاسین مالاتیون	TOC، کدورت	کلر آزاد ORP
آلدیکارب	TOC، کدورت	کلر کل، کلر آزاد ORP
اشرشیا کولی ^۱	TOC، آمونیاک، نیتروژن کدورت	کلر کل کلر آزاد
آرسنیک تری اکسید	کدورت آمونیاک، نیتروژن	کلر کل، کلر آزاد نیترات، ORP
نیکوتین	TOC، کلرید، آمونیاک	کلر آزاد، نیترات، ORP

تحقیقی توسط یانگ و همکاران با هدف بررسی و ارزیابی سنسورهای مرسوم کیفیت آب، به منظور شناسایی و هشدار سریع آلودگی صورت گرفت. همچنین توسط یک پایلوت که سیستم شبکه آبرسانی در آن شبیه سازی شده است در مقیاس آزمایشی یازده آلاینده شیمیایی و بیولوژیکی هر یک در سه سطح غلظت را بررسی کرده اند. آلاینده های آزمایش شده شامل سموم دفع آفات و علف کش ها (آلدی کارب، گلایفوزیت و دی کامبا)، آلكالوئیدها (نیکوتین و کولچی سین)، E. coli در محیط کشت مایع، محیط رشد بیولوژیکی

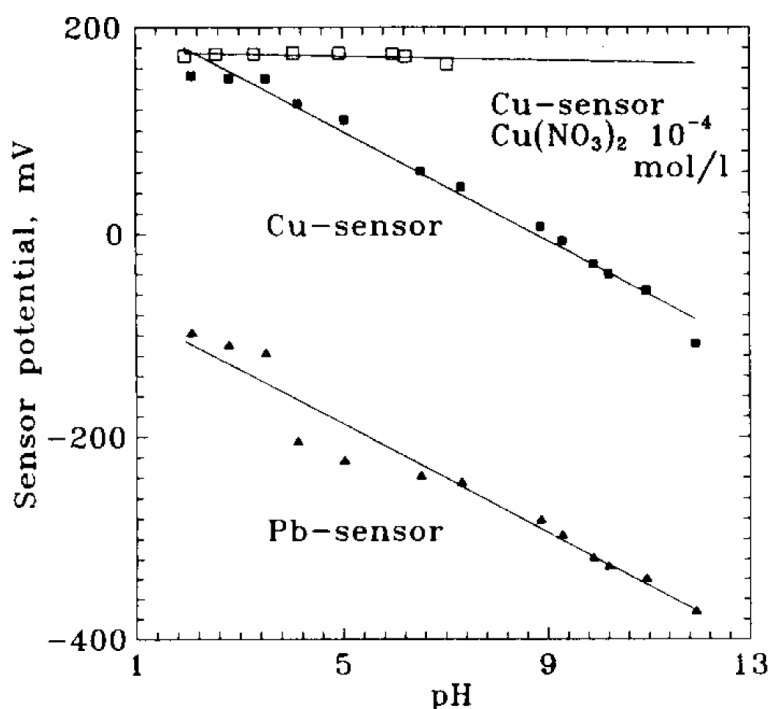
1-E. coli

(TSB^۳ و TB^۲NB) و ترکیبات شیمیایی غیر آلی (کلرید جیوه و فری سیانید پتاسیم) می شوند. ابتدا، نوساناتی که به علت سرعت و تلاطم جریان در لوله باعث ایجاد خطا در قرائت سنسورها تا حدود زیادی کاهش داده شد سپس با تزریق آلودگی و افزایش غلظت آن در گام‌های زمانی مختلف زمینه تشخیص و شناسایی تمام رویدادهای آلودگی شبیه‌سازی شده را برای سنسورها فراهم کردند. چندین معیار مستقل در تأیید و طبقه‌بندی آلاینده‌ها استفاده می‌شود، از جمله روابط کمی بین مقادیر ΔC (تغییر نسبی محاسبه شده) مشاهده شده از پارامترهای کیفیت آب، تجزیه و تحلیل فنی آلاینده‌ها در نمودارهای تغییرات، و تغییرات پارامترها در طی حرکت آلاینده‌ها توسط لوله‌های انتقال بین دو ایستگاه پایش که سنسورها در آن نصب هستند، می‌باشد. تغییرات نسبی محاسبه شده از اندازه‌گیری کلر باقی‌مانده نشان دهنده واکنش آلاینده با کلر در آب آشامیدنی مورد استفاده در این تحقیق بود. در نهایت یک مجموعه از داده‌های ترکیبی متشکل از ۲۲ آزمایش تکی با تغییرات بنیادی مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرد. تمام تغییرات پس از تزریق آلاینده به صورت دقیق در دو ایستگاه نظارتی سنسورها در امتداد یک لوله آب مستقیم ثبت می‌شوند. در آزمایش‌های گلایفوزیت، حوادث نفوذ آلودگی به درستی در غلظت ۴ میلی‌گرم در لیتر یعنی زیر استاندارد آب آشامیدنی ایالات متحده EPA، (7 میلی‌گرم در لیتر) تشخیص داده شد. برای مجموعه داده‌های ترکیبی، کوچکترین مقدار ΔC برای تشخیص دقیق 0.1% حالت پایه برای pH، 0.1% برای ORP، 0.9% برای کلر آزاد، 1.6% برای کلر کل و 0.9% برای کلرید است. این سطح به مراتب کمتر از خطاهای موجود در این آزمایش است که به عنوان یک انحراف استاندارد از تغییرات موجود اندازه‌گیری می‌شود. در این تحقیق همچنین تاثیر کلر آزاد بر آلاینده‌های انتخابی مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس آن ۱۱ آلاینده موجود به سه دسته غیر واکنشی، واکنش کند و گروه‌های واکنش سریع با کلر تقسیم می‌شوند. آلاینده‌های واکنش سریع (آلدی‌کارب، گلایفوزیت و کولچی سین)، سایر آلاینده‌های آزمایش شده (نیکوتین، E coli، سه نوع محیط رشد بیولوژیکی)

2-terrific broth
3-tryptic soy broth

جزو دسته واکنش کند طبقه‌بندی شد و دیکامبا، کلرید جیوه و فری‌سیانیدپتاسیم هیچ واکنشی با کلر آزاد در آب آشامیدنی نشان ندادند. این آلاینده‌ها با pH، هدایت ویژه و ORP، تشخیص داده شده‌اند [37].

در مطالعه‌ای که در سال ۱۹۹۵ توسط لگین و همکاران^۱ صورت گرفت به برخی از جنبه‌های توسعه سیستم‌های چند حسگر برای پایش کیفیت آب بر پایه مواد شیشه‌ای کالکوژنید^۲ حساس به فلزات سنگین اختصاص یافته است. اندازه‌گیری‌ها در محلول‌های حاوی گونه‌های مختلف برای تعیین در محیط طبیعی احتمالی انجام شده است که شامل Cu^{2+} ، Pb^{2+} ، Cd^{2+} ، Cl^- ، F^- و... می‌باشد. محیط مایع مشترک با غلظت ثابت کلرید (10^{-2} مول در لیتر) مدل‌سازی شد. اکثر سنسورها حساسیت بالایی به یون‌های ذکر شده نشان دادند و همچنین تغییرات به نحوی بود که می‌توان از آن‌ها به عنوان داده‌های آماری در روابط تحلیلی استفاده نمود. تغییرات pH در حضور ترکیبات شیمیایی حاوی فلزات سنگین با استفاده از مکانیزم سنجش شیشه کالکوژنید در (شکل ۲-۴) نمایش داده شد. با این حال پاسخ pH را فقط می‌توان در محلول آلوده به کاتیون‌های فلزات سنگین مشاهده کرد.



شکل ۲-۴ پاسخ pH به حسگرهای شیشه‌ای کالکوژنید

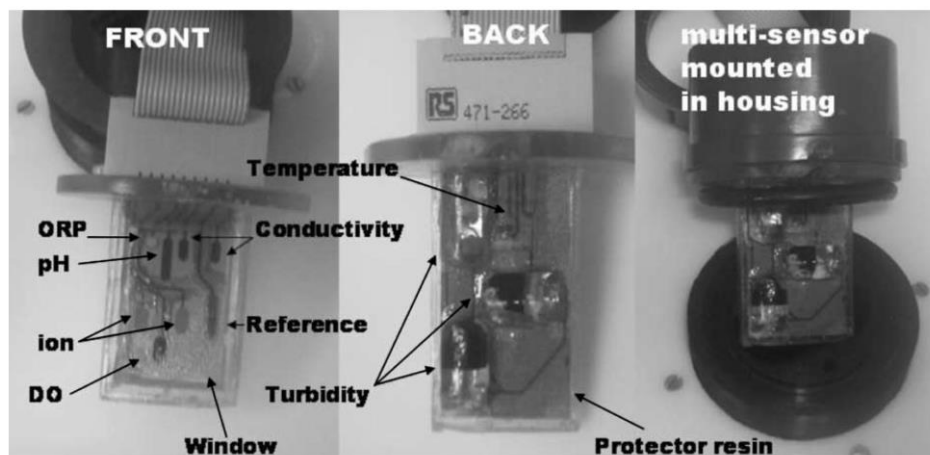
1- Legin, A., et al.
2- chalcogenide glass materials

اگر بعضی از این کاتیون‌ها در غلظت کم هم وجود داشته باشند، به عنوان مثال Cu^{2+} با غلظت 10^{-4} mol/L pH به طور چشمگیری کاهش می‌یابد. هنگام کاربرد این مجموعه دستگاه سنسور برای استفاده در کنترل کیفی آب و نظارت بر محیط‌زیست هم‌چنین اندازه‌گیری‌های زیر آب، از بین بردن تأثیر دما و فشار بر رفتار سیستم سنسور بسیار حیاتی است [38].

در تحقیقی که در مقیاس واقعی توسط کراتز و همکاران انجام گرفت، یک آرایه سنسور ولتامتری با چهار الکترود (Au, Pt, Ir و Rh) برای نظارت بر کیفیت آب در چند سایت در یک تصفیه‌خانه در نظر گرفته شد. نمونه‌های آبی در نه مرحله فیلتراسیون و همچنین قبل و بعد از مراحل کامل تصفیه آب گرفته شد. داده‌های ولتامتری با تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) پردازش شدند، و تفاوت آشکاری بین آب خام و آب تمیز فیلتر شده نشان داده شده است. با این حال، مشاهده شد که ویژگی‌های نمونه‌های جمع‌آوری شده پس از تصفیه توسط چندین فیلتر کند به نمونه‌های آب با فیلتر تند روی نمودار PCA نزدیک بودند که می‌توان با این توضیح دریافت که این فیلترها کارایی پایینی در تصفیه دارند. بنابراین، نتیجه‌گیری شد که یک رویکرد به عنوان یک سیستم متشکل از چند حسگر برای کنترل مداوم کیفیت آب در تأسیسات تصفیه، به منظور جلوگیری از عملکرد ضعیف واحدهای احتمالی تصفیه، برای بررسی وضعیت آب در مراحل مختلف تصفیه لازم است [39].

مطالعه‌ای در سال ۲۰۰۵ توسط رامون و همکاران در خصوص کنترل کیفیت آب انجام گرفت. برای این منظور یک مجموعه از حسگرهای اندازه‌گیری کیفیت آب، شامل یک حسگر چند منظوره که برای اندازه‌گیری پارامترهایی نظیر: pH، دما، اکسیژن محلول، هدایت الکتریکی، پتانسیل اکسایش-کاهش و کدورت، بکار می‌رود، طراحی و ساخته شد. چند حسگر را می‌توان در دستگاه‌های قابل حمل یا ثابت و درجا برای پایش کیفیت آب به کار برد. فناوری به کار رفته در اجرای ترکیب چند حسگر در قالب یک سنسور چند پارامتری، خصوصیات اساسی کوچک‌سازی، دقت مناسب و کم‌هزینه را فراهم می‌کند. این سیستم کامل هم‌چنین شامل قابلیت‌های الکترونیکی، انتقال سیگنال و محاسبات است. مجموعه سنسورهای کیفیت آب که در بالا توضیح

داده شده است در بستر آلومینای ۲ اینچ در یک اینچ قرار داده می‌شود. در یک وجه، هدایت الکتریکی، pH، ORP، اکسیژن محلول و الکترودهای مرجع قرار دارند، در حالی که در پشت نیمه هادی سنسورهای دما و کدورت قرار گرفته‌اند شکل (۲-۵).

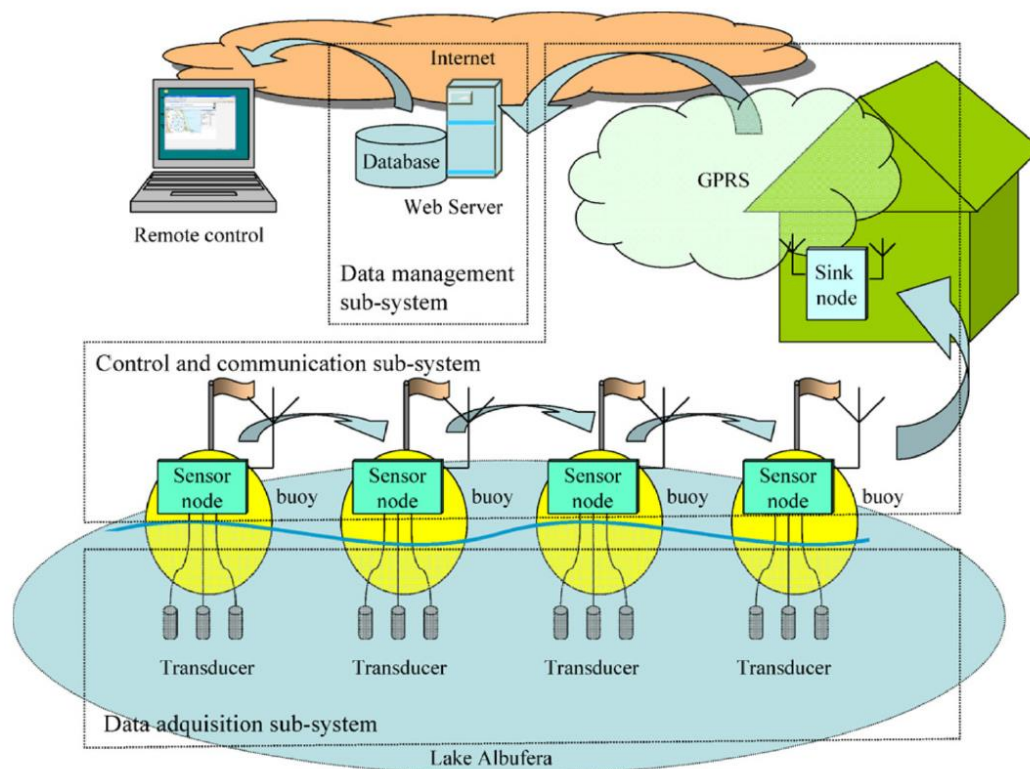


شکل ۲-۵ مجموعه سنسورهای کیفیت آب

همه سنسورها در یک بدنه پی‌وی‌سی واحد قرار گرفته‌اند و خروجی آنها توسط سیستم جمع‌آوری داده‌ها جمع‌آوری شده، که همچنین می‌تواند انتقال داده از راه دور را انجام دهد. این مزیت نشان می‌دهد که قابلیت قرارگیری در عمق یا جریان آب را دارا می‌باشد. این دستگاه همچنین شامل مجموعه‌ای از شیرهای برقی و پمپ‌ها برای نمونه‌برداری، تمیزکردن و کالیبراسیون است [40].

پژوهشی در سال ۲۰۰۵ توسط مین و همکاران با هدف تشخیص و ارزیابی برخی فلزات سنگین توسط یک مجموعه سنسور انجام شد که در آن یک سیستم چند حسگر برای تعیین چندین عنصر مانند آهن، کروم، منگنز، آرسنیک، روی، کادمیوم، سرب و مس به کار رفته است. این سیستم شامل سه مکانیزم تشخیص تحلیلی است: یک سنسور پتانسیومتری قابل استفاده برای نور بر اساس یک فیلم نازک کالکوژنید برای تشخیص همزمان Fe (III) و Cr (VI) و دو گروه از الکترودها برای تشخیص عناصر دیگر با استفاده از روش ولتامتری عاری سازی کاتدی انجام گرفت. قدرت تشخیص در غلظت‌های Zn برابر ۶۰ میکروگرم در لیتر، Cd برابر ۱ میکروگرم در لیتر، سرب برابر ۲ میکروگرم در لیتر، Cu برابر ۸ میکروگرم در لیتر، منیزیم برابر ۶۰ میکروگرم در لیتر، آرسنیک برابر ۳۰ میکروگرم در لیتر، آهن ۲۸۰ میکروگرم در لیتر و کرم ۲۶ میکروگرم در لیتر به دست

آمده است. محققین این پژوهش همچنین روش خود را برای تعیین همزمان فلزات در آب دریا و فاضلاب توصیه کرده اند. با این حال، احتمال استفاده از این سیستم برای تجزیه و تحلیل آنلاین نامشخص است [41]. در یک مطالعه در مقیاس واقعی که در سال ۲۰۱۰ توسط کاپلا و همکاران با هدف تجزیه و تحلیل آنلاین آب انجام گرفت. چهارده شناور در یک دریاچه آب شیرین نصب شد. هر یک از آنها به سه الکتروود انتخابی یونی مجهز شده اند. اتصال بی سیم بین شناورها می تواند از سیستم جهانی ارتباطات سیار^۱ (GSM) و پروتکل های خدمات رادیویی بسته عمومی (GPRS) استفاده کنند. داده ها در یک مکان واحد جمع می شوند. همچنین داده ها از طریق اینترنت در دسترس بودند و امکان کنترل زمان واقعی عملکرد سیستم را فراهم می کردند شکل (۲-۶).



شکل ۲-۶ سیستم پایش کیفیت آب

1- Global System for Mobile Communications
2- General Packet Radio Services

همچنین گزارش شد Drift یا رانش (تغییر تدریجی خروجی‌های یک سنسور با گذشت زمان) روزانه سنسور در حدود ۱,۵ میلی‌ولت است. از آنجا که اندازه‌گیری‌ها فقط به مدت ۷ روز انجام شد، رانش انباشته آنچنان

قابل توجه نبود. با این حال، تأثیر از رانش می‌تواند برای مدت زمان طولانی تر مهم باشد [42].

مطالعه‌ای توسط شامینگ لیو و همکاران^۱ در سال ۲۰۱۵ با موضوع روشی برای تشخیص حوادث آلودگی با استفاده از سنسورهای چند پارامتری مرسوم کیفیت آب مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق یک روش تشخیص با استفاده از چندین سنسور مرسوم کیفیت آب پیشنهاد می‌شود و روشی برای تعیین مقادیر پارامترها ارائه می‌شود که به عنوان یک مسئله بهینه‌سازی چندگانه پیکربندی شده و با استفاده از یک الگوریتم ژنتیک مرتب‌سازی^۲ (NSGA-II)، معرفی می‌شود. توانایی روش پیشنهادی برای تشخیص حوادث آلودگی ناشی از نیتрат کادمیوم در این تحقیق نشان داده شده است. عملکرد روش پیشنهادی برای تشخیص آلودگی ناشی از غلظت‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که، پس از کالیبراسیون، روش پیشنهادی می‌تواند یک رویداد آلودگی را ۱ دقیقه پس از افزودن نیترات کادمیوم در محل تشخیص دهد. داده‌های حاصله از یک آزمایش تزریق نیترات کادمیوم با غلظت 0.008 mg/l در لیتر و یک غلظت پایه برای ارزیابی تغییرات پارامترها بدست آمدند. اصل روش پیشنهادی این است که با بررسی رابطه داخلی بین قرائت از حسگرهای متعدد، وجود آلاینده را تشخیص می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند از نویز تجهیزات به عنوان یک رویداد آلودگی جلوگیری کند بنابراین انتظار می‌رود که نرخ مثبت کاذب پایینی داشته باشد. درمقایسه با روش‌های سنتی، روش پیشنهادی تشخیص آلودگی بینشی از واکنش سنسورها به آلاینده‌ها را فراهم می‌کند، که می‌تواند برای تمایز علت آلودگی بیشتر مورد استفاده قرار گیرد. این امکان وجود دارد که بتوان از این ویژگی برای طبقه‌بندی بیشتر علت آلودگی نیز استفاده کرد [11].

کروال و همکاران^۳ در سال ۲۰۰۶ رویکرد (HST)^۴ را با استفاده از چندین سنسور برای تشخیص وقایع و شناسایی آلاینده‌ها گزارش داد. در رویکرد Hach HST، سیگنال‌های پنج اندازه‌گیری متعادم مختلف

1- Liu, S., et al.

2- non dominated sorting genetic algorithm

3- Croll, t., et al.

4- Hach Homeland Security Technologies

کیفیت آب (pH، هدایت الکتریکی، کدورت، باقیمانده کلر، TOC) پردازش می‌شوند. نتیجه ارزیابی یک اندازه‌گیری پنج پارامتری مشخص می‌کند که سیگنال ماشه (اعلام خطر) واحد چگونه عمل کند. بنابراین سیگنال انحراف با یک سطح آستانه از پیش تعیین شده مقایسه می‌شود. اگر سیگنال از آستانه فراتر رود، ماشه فعال می‌شود، در روش کرول اگرچه از پاسخ چندین حسگر استفاده شده است، اما رابطه داخلی آنها بررسی نشده است [43].

در سال ۲۰۱۵ مطالعه‌ای توسط شامینک لیو و همکاران انجام شد. این تحقیق یک روش طبقه‌بندی آلاینده‌ها در زمان واقعی را ارائه می‌دهد، که آلاینده‌ها را بر اساس تجزیه و تحلیل کمی تمیز می‌دهد. فاصله بردارهای مشخصه برای طبقه‌بندی انواع آلاینده‌ها عملکرد و استحکام روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایشات تزریق آلاینده و از طریق تجزیه و تحلیل ارزیابی شد. یک مزیت روش پیشنهادی در این تحقیق این است که می‌تواند نوع آلاینده را در چند دقیقه طبقه‌بندی کند این پاسخ سریع، عکس‌العمل به حوادث آلودگی در یک سیستم آب را تسهیل می‌کند. برای مثال برای آلودگی به محلول گلایفوزیت ۲۸ میلی‌گرم در لیتر (۴ برابر حد مجاز)، روش پیشنهادی می‌تواند با موفقیت ظرف ۴ دقیقه پس از تشخیص آلودگی با نرخ مثبت واقعی 0.88 طبقه‌بندی شود. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل عدم اطمینان نشان می‌دهد که روش پیشنهادی از استحکام خوبی برخوردار است و می‌تواند با عدم اطمینان قرائت خام را در محاسبات بگنجاند [44].

بر اساس مطالعه انجام شده توسط شامینگ لیو و همکاران در سال ۲۰۱۴ با بررسی روابط همبستگی بین انواع مختلف سنسورهای مرسوم کیفیت آب، روش جدیدی برای تشخیص حوادث آلودگی ارائه شده است. عملکرد روش پیشنهادی با استفاده از داده‌های حاصل از آزمایشات تزریق آلاینده در آزمایشگاه ارزیابی شد. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها پاسخ‌های همبستگی انواع مختلف حسگرها را نشان می‌دهد. مشاهده شد که روش پیشنهادی می‌تواند ۹ دقیقه پس از معرفی محلول نیتрат سرب با غلظت 0.01 mg/L، یک حادثه آلودگی را تشخیص دهد. روش پیشنهادی از سه پارامتر استفاده می‌کند. تأثیر آن‌ها بر عملکرد تشخیص مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. تجزیه و تحلیل اولیه نشان داد که از نتایج می‌توان نه تنها برای تشخیص آلودگی، بلکه همچنین برای شناسایی آلاینده استفاده کرد. در این مطالعه، یک پلت فرم با ۸ نوع حسگر آنلاین

کیفیت آب ایجاد و برای آزمایش تزریق آلاینده مورد استفاده قرار گرفت. مشاهده شد که چندین حسگر همزمان به حضور آلودگی پاسخ می‌دهند. این در حالی است که، در برخی از مطالعات قبلی، یک سنسور ایده آل فرض شده بود که در یک موقعیت واقعی، همیشه اینطور نیست. اگر سنسور نتواند به درستی کار کند، انتظار مثبت کاذب^۱ می‌رود. روش پیشنهادی می‌تواند با استفاده از همبستگی بین حسگرها بر این مسئله غلبه کند. روش پیشنهادی از سه پارامتر استفاده می‌کند: نشانگر آستانه^۲، آلام آستانه^۳ و اندازه پنجره^۴. از تجزیه و تحلیل نتیجه‌گیری شد که این پارامترها بر عملکرد تشخیص تأثیر دارند. برای یک آلاینده خاص، مقادیر بهینه پارامترها باید از طریق آزمایش و تجزیه و تحلیل تعیین شود. اساس روش پیشنهادی این است که چندین حسگر همزمان به یک نوع آلاینده پاسخ می‌دهند. این هدف با آزمایش در این مطالعه و موارد دیگر بررسی شده است. با این حال، پیش‌بینی می‌شود که انواع آلاینده‌هایی که قبلاً آزمایش شده‌اند هنوز محدود هستند و آزمایش‌های بیشتری باید در آینده انجام شود [45].

در مطالعه‌ای که توسط دیبو هو و همکارانش صورت گرفت، روشی را برای تشخیص حوادث آلودگی منابع آب آشامیدنی بر اساس تئوری شواهد (D-S)^۵ ارائه داد. هدف از این روش، حفاظت از سیستم‌های تأمین آب در برابر حوادث آلودگی تصادفی و عمدی است. این هدف با پیش‌بینی پارامترهای کیفیت آب در آینده با استفاده از یک مدل خودتنظیم^۶ (AR) بدست می‌آید. مدل AR با استفاده از اندازه‌گیری‌های اخیر این پارامترهای ساخته شده با سنسورهای کیفیت آب خودکار (خطی)، پارامترهای کیفیت آب آینده را پیش‌بینی می‌کند. در مرحله بعدی، یک روش مبتنی بر احتمال، احتمالات را به سری زمانی باقی‌مانده با مقایسه پارامترهای پیش‌بینی شده با کیفیت آب با مقادیر آستانه اختصاص می‌دهد. سرانجام، روش ترکیبی D-S به دنبال احتمالات ناهنجار باقی‌مانده است و از نتیجه این جستجو برای تعیین طبیعی بودن کیفیت آب فعلی (یعنی عاری از آلودگی) یا آلودگی استفاده می‌کند. روش ترکیبی D-S در این پژوهش با میانگین وزنی شواهد آلودگی

1- false positive
 2- threshold indicator
 3- threshold alarm
 4- window size
 6- Dempster – Shafer
 7- Auto Regressive

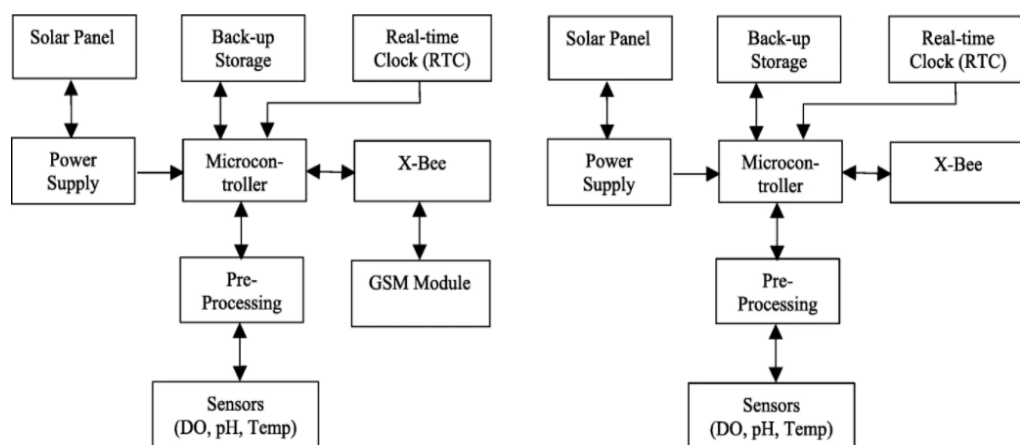
آب و با تجزیه و تحلیل تداوم احتمالات غیرطبیعی پارامترهای کیفیت آب گسترش و بهبود یافته است. روش همجوشی توسعه یافته D-S نتایج را در مورد آلوده بودن یا نبودن منبع آب آشامیدنی ارائه می‌دهد که احتمال درست بودن آن زیاد است. روش این پژوهش برای تشخیص وقایع آلودگی آب با سری زمانی و کیفیت آب از سنسورهای کیفیت آب خودکار (برخط) درون یک شبکه لوله آب در مقیاس کوچک در غالب یک پایلوت آزمایش شد. این آزمایشات نشان داد که روش ترکیبی توسعه یافته D-S به نرخ هشدار کاذب کم و احتمال زیاد تشخیص دقیق حوادث آلودگی آب دست می‌یابد [46].

مطالعه‌ای توسط الکساندر و همکاران در سال ۲۰۱۹ صورت گرفت، در این تحقیق، یک سیستم نظارت بر کیفیت آب در زمان سریع با هزینه کم، که می‌تواند در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، مناطق ساحلی و سایر محیط‌های آبی اعمال شود، ارائه شده است. سخت افزار اصلی سیستم متشکل از سنسورهای الکتروشیمیایی، میکروکنترلر، سیستم ارتباط بی سیم و شناور است. این مجموعه دمای آب، اکسیژن محلول و pH را در یک بازه زمانی از پیش برنامه‌ریزی شده اندازه‌گیری و ثبت می‌کند. نمونه اولیه توسعه یافته، اطلاعات جمع‌آوری شده را به صورت گرافیکی و جدولی از طریق یک پورتال مبتنی بر وب و تلفن‌های همراه از پیش ثبت شده برای خدمات بهتر کاربران نهایی مرتبط، پخش می‌کند. برای بررسی اثر بخشی سیستم، پایداری شناور در شرایط سخت محیطی، مصرف انرژی سیستم، بازده انتقال داده و نمایش اطلاعات تحت وب به دقت ارزیابی شد. نتایج تجربی ثابت می‌کند که این سیستم چشم انداز مناسبی دارد و می‌تواند با ارائه اطلاعات مربوط و به موقع برای دینفعان برای تصمیم‌گیری صحیح، برای نظارت بر محیط زیست مورد استفاده قرار گیرد. یک گره حسگر، داده‌ها را از الکترودها جمع‌آوری و پیش‌پردازش می‌کند و داده‌ها را به گره SN^۱ فرستاده و آن را به عنوان بلوک اصلی نمونه اولیه سیستم نظارت بر کیفیت آب (WQMS) می‌سازد. روی تابلو، گره‌های حسگر الکترودهای تجاری، میکروکنترلر، گیرنده Zigbee و منبع تغذیه وجود دارد. در این نمونه اولیه، سه سنسور برای اندازه‌گیری دما، pH و DO به کار رفته است تا خصوصیات کلی کیفیت آب را ارائه دهد اما در صورت نیاز می‌تواند از نظر تعداد سنسورها مقیاس‌بندی شود. فرستنده و گیرنده فرکانس رادیویی^۲ (RF) پارامترهای کیفیت آب (pH, DO و

2- sink node

2-Radio Frequency

(Temp)، زمان و تاریخ را به یک گره SN یا مستقیم به ایستگاه پایه منتقل می‌کند. سنسورها برای اطمینان از عملکرد صحیح و دقت در مقدار پارامتر کیفیت آب حاصل، با استفاده از محلول‌های کالیبراسیون ارائه شده توسط شرکت سازنده کالیبره شدند. میکروکنترلر Arduino Mega 2560، یک پلت‌فرم نمونه‌سازی الکترونیکی منبع باز مبتنی بر سخت‌افزار و نرم‌افزار انعطاف‌پذیر، با کاربرد آسان، برای بدست آوردن و پیش‌پردازش داده‌های جمع‌آوری شده استفاده شد. کارت حافظه متناسب به عنوان ذخیره پشتیبان برای تمام داده‌های جمع‌آوری شده استفاده می‌شود. از باتری برای تأمین برق سنسورها و سایر دستگاه‌های الکترونیکی درون گره استفاده می‌کند. شکل (۷-۲)، (تصویر سمت راست) معماری سخت‌افزار گره حسگر را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۲ سیستمی برای نظارت بر کیفیت آب در یک منطقه بزرگ آبی با استفاده از فناوری شبکه حسگر بی سیم

گره SN اساساً یک گره حسگر است که قابلیت ارسال داده به مسافت طولانی با استفاده از مازول GSM را دارد همانطور که در شکل (۷-۵)، (تصویر سمت چپ) نشان داده شده است. برای صرفه جویی در مصرف انرژی برای مدت زمان طولانی، گره SN همیشه در SM^۱ تنظیم می‌شود در حالی که منتظر انجام فعالیت‌های از پیش برنامه‌ریزی شده مانند جمع‌آوری داده، دریافت داده از گره‌های حسگر، ارسال داده به ایستگاه‌های پایه و پذیرش دستور از مدیر با نصب مجموعه کاملی از قطعات الکترونیکی است. گره SN می‌تواند در مناطق دور دست مستقر شود زیرا می‌تواند به طور مستقل کار کند. این باتری با همان گره سنسور تغذیه می‌شود اما به دلیل نیاز به مصرف زیاد مازول GSM، باید از انرژی خورشیدی به عنوان دریافت‌کننده انرژی برخوردار

1-Sleep Mode

باشد. وجود ماژول GSM و صفحه خورشیدی تفاوت اصلی SN و گره حسگر از نظر شکل ظاهری و عملکرد آن است [47].

در تحقیقی در سال ۲۰۱۸ توسط ساتیام و همکاران از یک سیستم هوشمند کنترل کیفیت آب به صورت موبایل استفاده شد. به دلیل عدم اتصال از طریق آزمایشگاه‌های مختلف آب، کنترل کیفیت آب در مناطق دوردست دشوار است. همچنین جمع‌آوری اطلاعات در زمان سریع از کیفیت آب مبتنی بر مکان کاری خسته کننده و بسیار وابسته به مداخله انسان است. تحقیق ارائه شده یک طرح تعبیه شده مبتنی بر یک سیستم هوشمند را برای اندازه‌گیری پارامترهای مختلف کیفیت آب در مکان‌های مختلف از راه دور معرفی می‌کند. سیستم توسعه یافته با استفاده از سنسورهای معمول، pH، TDS و درجه حرارت نمونه‌های آب را پایش می‌کند. pH و TDS اندازه‌گیری شده برای استخراج سایر پارامترهای کیفیت آب با استفاده از روابط استاندارد ریاضی مانند شوری، پتانسیل اکسایش-کاهش و هدایت الکتریکی استفاده شده است. مدار رابط بازخوانی Front-end با میکروکنترلر ۸ بیتی همراه با ماژول بلوتوث کلاسیک برای اندازه‌گیری، دستیابی به داده‌ها و ورود به سیستم طراحی شده است. یک برنامه اختصاصی مبتنی بر تلفن هوشمند امکان تجزیه و تحلیل و ذخیره توده اطلاعات را فراهم می‌کند. همچنین امکان تجزیه و تحلیل داده‌های کیفیت آب با اطلاعات مکان در Google map را برای قضاوت سریع و درک آسان فراهم می‌کند. برنامه مبتنی بر گوشی‌های هوشمند امکان استفاده از قابلیت کالیبراسیون خودکار را برای استفاده سریع و در محل فراهم می‌کند. برنامه مبتنی بر تلفن‌های هوشمند همچنین امکان به اشتراک گذاری داده‌ها و هشدارها را با استفاده از گزینه‌های مختلف مانند SMS، و E-mail فراهم می‌کند. ابعاد دستگاه کلی 11.0*8.0*4.0 (سانتی متر) است، وزن آن ۳۵۰ گرم و با باتری قابل شارژ ۹ ولت کار می‌کند. نتایج به دست آمده با سیستم اندازه‌گیری کیفیت آب استاندارد تأیید شده و مشاهده شده است که پارامترهای اندازه‌گیری و محاسبه شده با توجه به استانداردهای کیفیت آب کشور هند قابل قبول هستند. تکنیک‌های مختلف مدل سازی مبتنی بر شبکه عصبی آماری و مصنوعی برای تبدیل پارامترهای کیفیت آب اندازه‌گیری شده به یک شاخص کیفیت آب واحد برای قضاوت آسان و سریع استفاده شده است. سیستم اندازه‌گیری کیفیت آب توسعه یافته برای کاربردهای مختلف برای کشف سودمندی

سیستم مانند قضاوت فوری کیفیت آب و تجزیه و تحلیل کیفیت آب در زمان سریع و کاربردی منابع مختلف آب استفاده شده است. یکی دیگر از برنامه‌های مورد بررسی، نظارت بر کیفیت آب در زمان واقعی حوضچه‌ها و دریاچه‌های کوچک است [48].

تحقیقی در سال ۲۰۱۸ توسط دجاس و همکاران صورت گرفت هدف از این مطالعه ارزیابی عملکرد تشخیص رویداد روش فاصله Mahalanobis در ترکیب با حسگرهای نظارت بر کیفیت DW و اندازه‌گیری دستی نمونه گرفتن برای سناریوهای بالقوه آلودگی بیولوژیکی بود. در این مطالعه سه سناریوی آلودگی در سیستم توزیع DW در مقیاس آزمایشی شبیه سازی شد: آب رودخانه تصفیه نشده، آب زیرزمینی و فاضلاب نفوذی، که نشان‌دهنده حالات آلودگی و به معنی آلودگی بیولوژیکی به صورت واقع بینانه است. دما، هدایت الکتریکی (EC)، کل کربن آلی (TOC)، یون کلر (Cl^-)، پتانسیل اکسایش-کاهش (ORP)، سنسورهای pH و اندازه‌گیری کدورت به عنوان سنسورهای آنلاین و برای اندازه‌گیری دستی استفاده شدند. اندازه‌گیری‌های جدید آدنوزین-تری فسفات و جریان سیتومتری برای ارزیابی کیفیت بیولوژیکی آب استفاده شد. نتایج نشان داد که اندازه‌گیری‌های EC، TOC، ORP و کدورت نمونه‌های گرفته شده، نقاط پیک واضح ناشی از تغییرات در نمودار را در طول آلودگی آب نشان داده و آلودگی بیولوژیکی را تأیید می‌کند. همبستگی‌های قوی بین این پارامترها بدست آمد. با این حال، دما و pH هیچ نوسان خاصی در حضور یک آلاینده نشان نمی‌دهند و اینکه تغییرات ORP فقط در ایستگاه A (15 دقیقه ماندگاری آلاینده در آب) آشکار بود و هیچ تغییری در ایستگاه B مشاهده نشد. برای توضیح رابطه بین تغییرات ORP و زمان ماند آب، و اینکه آیا این پارامتر برای نظارت بر DW حیاتی است، مطالعه بیشتری لازم است. TOC، کدورت، EC بهترین پاسخ را به انواع آلودگی‌ها نشان دادند. نتایج نشان می‌دهد که در این تحقیق اندازه‌گیری‌های بیولوژیکی تغییرات واضحی نسبت به سطح پایه دارند، که می‌تواند احتمال تشخیص یک رویداد آلودگی را افزایش دهد. همچنین نتیجه گیری شد که احتمال تشخیص آلودگی از ۵۶٪ به ۸۹٪ می‌رسد که در آن بهترین عملکرد با اندازه‌گیری دستی به دست آمده است. احتمال هشدار نادرست ۵-۶ درصد برای هر دوی اندازه‌گیری‌های آنلاین و دستی گزارش گردید.

روش Mahalanobis distance با سنسورهای کیفیت DW از پتانسیل خوبی برای استفاده در EWS برخوردار است. با این حال، پایداری سیستم اندازه‌گیری آنلاین و یا الگوریتم تشخیص باید بهبود یابد [49].

مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۹ توسط تینلی و همکاران با هدف شبیه‌سازی انتشار آلودگی زیستی تحت شرایط زندگی واقعی در سیستم توزیع آب^۱ WDS در یکی از شهرهای فرانسه برای شناسایی منبع و مدل‌سازی پاسخ انجام شد. بی‌توجهی و در نظر نگرفتن واکنش‌های دینامیکی تجزیه شیمیایی احتمالی اکثر آلاینده‌ها منجر به افزایش بیش از حد جمعیت متأثر در معرض آن می‌شود. بنابراین، بر خلاف مدل‌های تشخیص رویداد موجود، این مطالعه تغییر متقابل چندین پارامتر کیفیت آب مانند غلظت کلر آزاد، pH، قلیائیت و کل کربن آلی (TOC) حاصل از ترکیب آلاینده‌ها را در نظر می‌گیرد. در حقیقت، با شروع از نظارت منظم WDS، آستانه‌های پایه برای هر یک از پارامترهای ذکر شده تعیین می‌شود. سپس، انحرافات قابل توجه از خط پایه به عنوان نشانه‌ای برای بروز آلودگی استفاده می‌شود. به همین دلیل، هدف از تحقیق توسعه و نشان دادن امکان یک سیستم نظارت هوشمند مبتنی بر هوش مصنوعی^۲ (AI) این بود که به طور عملی اپراتورهای آب را قادر می‌سازد تا از کنترل کیفیت شبه زمان واقعی مواد اولیه شیمیایی و یا زیست محیطی، شناسایی آلودگی و مدیریت ریسک پیشگیرانه اطمینان حاصل کنند. برای این منظور، شناسایی ناهنجاری‌ها و ارزیابی سطح شدت، از تشخیص دهنده‌های پیشرفته الگو مانند ماشین‌های بردار پشتیبانی (SVM) و راه‌حل‌های فن‌آوری سنجش نوآورانه، مانند شبکه عصبی مصنوعی (ANN) استفاده شده است. مجموعه داده کلر و TOC موجود به طور تصادفی برای مرحله تشخیص از (۷۰٪ پایگاه داده) و برای اعتبارسنجی و مراحل آزمایش (هر دو ۳۰٪ از پایگاه داده) استفاده می‌شود. نتایج به دست آمده قادر است طبقه‌بندی مناسب مجموعه داده‌های ارزیابی شده را نشان بدهد. بر خلاف مدل‌های موجود برای تشخیص رویداد، هدف از روش اولیه تشخیص ناهنجاری بیولوژیکی ارائه شده در این مطالعه، ساخت الگوریتم‌های مبتنی بر AI بر اساس تغییرات متقابل مشاهده شده از چندین پارامتر کیفیت آب مانند غلظت کلر آزاد، pH، قلیائیت، TOC حاصل از اختلاط E. coli و انتشار در WDS مد نظر قرار می‌گیرد. در واقع با استفاده از هوش مصنوعی، یک الگوریتم مناسب در شرایط استاندارد،

2- water distribution system

3- Artificial Intelligence

یک سیستم قادر به تشخیص انحراف از شرایط طبیعی است که به اندازه کافی برای تشخیص ناهنجاری قابل اعتماد است. به طور خاص، روش پیشنهادی امکان ادغام مجموعه داده‌های به دست آمده برای هر پارامتر را از طریق استفاده از الگوریتم‌های تشخیص الگو مبتنی بر هوش مصنوعی برای تشخیص خودکار و تجسم دقیق ناهنجاری‌های زیستی در WDS ها را فراهم می‌کند. شناسایی منبع صحیح آلودگی و تخمین زمان دقیق آلودگی مرتبط با هر منبع آلودگی احتمالی، هر دو این ویژگی‌ها شرایط کیفیت آب را بهبود می‌بخشد، حتی در مورد WDS های بزرگ و پیچیده، هشدارهای کاذب را از بین می‌برد [50].

در مطالعه‌ای موردی در سال ۲۰۱۶، منابع آب شرب برخی از مناطق کشور اندونزی مورد بررسی قرار گرفت. این مطالعه آزمایشاتی را بر روی برخی از انواع نمونه‌ها، یعنی: آب شرب لوله‌کشی درون شبکه آبرسانی، آب چاه، آب چشمه و چندین مورد دیگر انجام شد. محل انجام آزمایشات، شهر سورابایا است. آب آشامیدنی مطلوب در این پژوهش بایستی دارای شاخص‌های استاندارد فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی باشد. پارامترهای مورد استفاده برای تعیین این شاخص‌ها شامل درجه اسیدیته pH، کل مواد جامد محلول TDS، شفافیت یا کدورت و دمای آب است. این مطالعه با استفاده از چهار پارامتر فوق ابزار تشخیص کیفیت آب را ایجاد می‌کند. پارامتر آستانه $pH = 6.5 - 8.5$ ، TDS کمتر از 1000 ppm، کدورت کمتر از 5 NTU و دمای آب برابر ± 3 درجه سانتی گراد نسبت به دمای هوا است. تست دقیق سنسورها انجام شده است و هر سنسور از دقت خوبی برخوردار است. میانگین درصد خطا برای سنسور $pH = 1.46\%$ ، سنسور $TDS = 1.09\%$ ، سنسور کدورت برابر 2.00% و سنسور دمای آب برابر 0.83% می‌باشد. نتایج این تحقیق در جدول (۲-۳) ارائه شده است.

جدول (۲-۳) نمایش اعداد ثبت شده توسط سنسورهای کیفیت آب

Sample water	pH	TDS (ppm)	Turbidity (NTU)	Water temp. (°C)	Air temp. (°C)	ΔT (°C)	Output Fuzzy	Result
Tap water PENS	6.30	248	0.30	28.50	31.00	2.50	0	Good
Wells water Singosari Malang	7.10	170	0.12	25.56	26.00	0.44	0	Good
PDAM water Singosari Malang	7.40	111	0.10	23.56	25.00	1.44	0	Good
Aqua water	7.60	105	0.13	28.52	31.00	2.48	0	Good
Mountain spring water Cuban Rondo Batu	7.20	71	0.14	18.50	20.00	1.50	0	Good
Wells water an area 1 at Surabaya	6.91	229	26.24	28.38	30.00	1.62	5	Less good
Wells water an area 2 at Surabaya	6.81	322	20.31	28.13	30.00	1.87	5	Less good
Tap water PENS + Soap	8.60	402	34.31	28.31	32.00	3.69	10	Bad
The hot tap water PENS + Soap	8.80	402	34.56	57.75	32.00	25.75	10	Bad

تعیین کیفیت آب با استفاده از منطق فازی به سه دسته کیفیت آب خوب، متوسط و بد تقسیم بندی می شود. طبق داده های مربوط به آزمایشات نتیجه می شود بر اساس نتایج مقایسه بین دستگاه های اندازه گیری کالیبره شده و سنسورهای مورد استفاده در این مطالعه، می توان گفت که سنسور دمای آب، pH، TDS و کدورت دقت بسیار خوبی دارد که باید در تشخیص کیفیت آب از آن استفاده شود [51].

مطالعه ای در سال ۲۰۱۸ با هدف ارزیابی سناریوهای مختلف ایجاد آلودگی در یک سیستم آبرسانی انجام شد در محدوده این تحقیق، مقایسه ۱۱ الگوریتم مختلف تشخیص رویداد آلودگی آب آشامیدنی انجام شده است. برای مقایسه این الگوریتم ها، ارزیابی حساسیت تشخیص (PD) و میزان هشدار کاذب (FAR) برای هر الگوریتم انجام شده است پارامترهای توصیف الگوریتم ها در جدول (۲-۴) خلاصه شده اند. M به معنی مجموعه داده های مصنوعی، R به معنی نتایج آلودگی ناشی از سیستم تامین آب در مقیاس واقعی، E به معنی نتایج آلودگی

حاصل از آزمایش‌های آلودگی سیستم تأمین آب در مقیاس آزمایشی مقادیر است. PD و FAR، منبع داده برای ارزیابی الگوریتم در تحقیقات مربوطه، نوع رویداد آلودگی و پارامترهای کیفیت آب آشامیدنی برای تشخیص رویداد آلودگی استفاده می‌شود.

جدول ۲-۴ مقایسه الگوریتم‌های تشخیص آلودگی

Algorithm	PD	FAR	Data source	Type of contamination	Parameters
VEA	0.52	0.22	E	Cadmium nitrate	<i>T</i> , pH, NTU, EC, ORP, UV-254, nitrates, phosphates
	0.52	0.88	R	Phenol	pH, DO, COD, nitrates, phosphates, TOC, EC, NTU, <i>T</i> , fluorides
	0.84	0.61	M	Undefined	
	0.89	0.41			
LPF	0.38	0.94	E	Cadmium nitrate	<i>T</i> , pH, NTU, EC, ORP, UV-254, nitrates, phosphates
	0.68	0.82	R	Phenol	pH, DO, COD, nitrates, phosphates, TOC, EC, NTU, <i>T</i> , fluorides
	0.92	0.24	M	Undefined	
	0.90	0.25			
PE	0.97	0.025	E	Cadmium nitrate	<i>T</i> , pH, NTU, EC, ORP, UV-254, nitrates, phosphates
	0.83	0.33	R	Phenol	pH, DO, COD, nitrates, phosphates, TOC, EC, NTU, <i>T</i> , fluorides
	0.74	0.78	M		
	0.69	0.87			
	0.10	0.80			
	1.00	0.00	E	Glyphosate	<i>T</i> , pH, NTU, EC, ORP, UV-254, nitrates, phosphates
	1.00	0.00		Cadmium	
	0.76	0.00		Atrazine	
	0.79	0.00		Nickel	
KKA	0.97	0.00	E	Chromium	
MEK	0.44–1.00	–	M		<i>T</i> , pH, NTU, EC, TOC, total chlorine
MNTVM	0.08–0.59	0.001–0.09			
MNTDR	0.38–0.99	0.04–0.15			
	0.30–0.99	–			
AVM	0.58–0.98	–			
CANARY	0.82	0.14			
	0.89	–			
	0.68–0.96	0.01–0.50			pH, EVS, TOC, total chlorine
MA	0.33–1.00*	–	E	Glyphosate	<i>T</i> , pH, NTU, EVS, ORP, UV-254, nitrates, phosphates
	0.20–0.95*	–		Sodium fluoride	
	0.94–0.95*	–		Cadmium nitrate	
DSM	0.21–1.00	0.032–0.39	M	Ferric ammonium sulphate	pH, EVS, ammonia
	0.52–1.0	0.006–0.39		Potassium ferricyanide	

الگوریتم های PE و MA با پردازش نتایج حاصل از مطالعات تجربی بهترین نتایج حساسیت تشخیص آلودگی را نشان داده‌اند. در موارد خاص مقادیر PD به ۱,۰۰ می‌رسد، به این معنی که تمام رویدادهای آلودگی شناسایی شده‌اند و مقادیر FAR ۰,۰۰ هستند، به این معنی که هیچ هشدار جعلی ایجاد نشده است. در این موارد، می‌توان نتیجه گرفت که دقت آن الگوریتم‌ها به ۱۰۰٪ می‌رسد. با توجه به روند بهبود سیستم‌های هشدار سریع در سیستم‌های تأمین آب، تنها الگوریتمی که نه تنها با حساسیت بالا ($PD = 1.00$)، قابل تشخیص است، بلکه همچنین طبقه‌بندی بین انواع مختلف آلاینده‌ها را نیز در نظر گرفته است، الگوریتم (MA) است. این الگوریتم هیچ مقدار آستانه‌ای را شامل نمی‌شود. عیب این الگوریتم نیاز به تعریف کلاس است که مربوط به آزمایش‌های آلودگی طولانی مدت و تکراری در سیستم‌های مقیاس آزمایشی است [52].

فصل سوم: مواد و روش‌ها

۳-۱ مقدمه

برای رسیدن به اهداف و نتایج مطلوب در هر پژوهشی، استفاده از مواد و روش‌های مناسب و مطابق با استانداردهای بین‌المللی نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند. در این تحقیق برای سهولت انجام آزمایشات و همچنین دقت در اندازه‌گیری پارامترها یک پایلوت با هدف شبیه‌سازی تزریق آلودگی در سیستم آبرسانی در مقایسه کوچک طراحی گردید که با کمک آن می‌توان تغییرات پارامترها را به صورت آنلاین اندازه‌گیری و ثبت کرد به کمک این پایلوت می‌توان آلاینده را با غلظت‌های متفاوت در بازه‌های زمانی مشخص به سیستم تزریق نمود. محل قرارگیری سنسورها به نحوی طراحی شده که از نوسانات ناشی از سرعت آب و آشفتگی تا حدود زیادی متأثر نشوند. این بخش به معرفی مواد مورد استفاده علت و اهمیت انتخاب، ساخت مدل آزمایشگاهی و روند آزمایشات تشخیص آلودگی اختصاص یافته است.

۳-۲ مواد مورد استفاده در این تحقیق

-گلایفوزیت: این ماده از سموم علف‌کش سیستمیک، با نام تجاری رانداپ، تولید شرکت مونسانتو آمریکا است که به عنوان آلاینده سمی آب برای تشخیص در این تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرد. (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱ تصویر ماده شیمیایی مورد استفاده در این تحقیق

۳-۳ دستگاه‌های مورد استفاده در این تحقیق

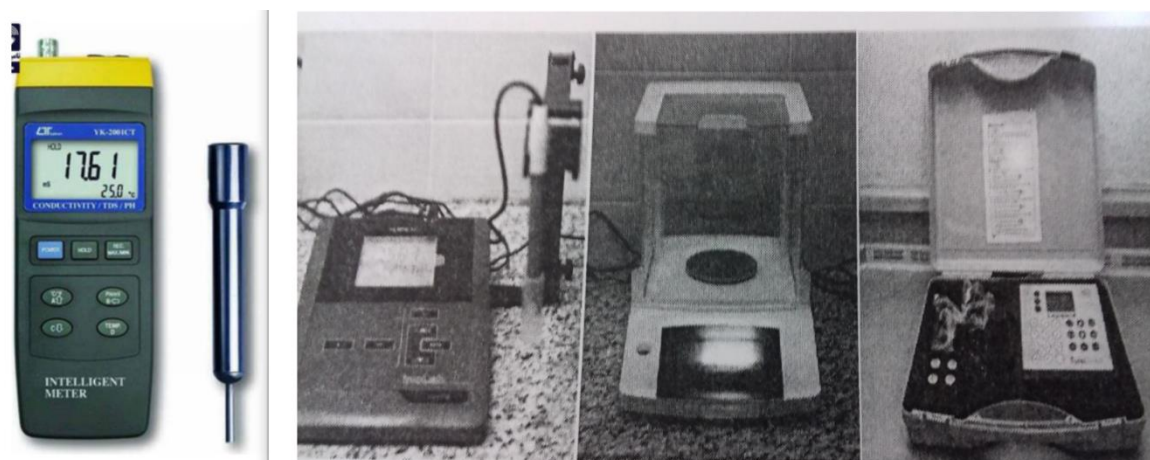
ترازوی دیجیتال: برای وزن کردن مقادیر آزمایش از ترازوی WTW-KERN and sohn GmbH ساخت کشور آلمان استفاده شد.

-هدایت سنج الکتریکی! مقادیر EC ثبت شده در این پژوهش از EC متر رو میزی ساخت کمپانی WTW-InoLab کشور آلمان گرفته شده است.

اندازه گیر pH: تمامی pH های اندازه گیری شده در این تحقیق توسط pH متر رومیزی، ساخت کمپانی Lutron مدل YK-2001 CT کشور تایوان انجام شده است.

اندازه گیری پتانسیل کاهش اکسیداسون! اندازه گیری این پارامتر توسط همان دستگاه pH متر، ساخت کمپانی Lutron مدل YK-2001 CT کشور تایوان انجام شده است.

دستگاه کدورت سنج: مقادیر کدورت اندازه گیری شده توسط کدورت سنج ساخت شرکت Lavibond کشور آلمان صورت گرفت. در شکل (۲-۳) تصاویر ترازوی دیجیتال، pH متر، EC متر و کدورت سنج مشاهده می شود.



شکل ۲-۳ کدورت سنج، ترازوی دیجیتال، pH متر و EC متر

-پمپ پریستالتیک! در پایلوت ساخته شده برای انجام آزمایش از دو پمپ پریستالتیک ساخت Sina Lab Equipment کشور ایران جهت پمپ آب و آلاینده استفاده شده است.

-
- 1-Electrical Conductivity meter
 - 2-Turbidity meter
 - 3-Oxidation reduction potential

- 1-Peristaltic Pump

-دستگاه اسپکتروفتومتر؛ اندازه‌گیری شدت نور در طول موج‌های مختلف توسط این دستگاه در مطالعه انجام شده صورت می‌گیرد. دستگاه اسپکتروفتومتر مورد استفاده از مدل DR 6000 ساخت کمپانی HACH کشور آمریکا می‌باشد. در شکل (۳-۳) تصویر دستگاه اسپکتروفتومتر و پمپ پرستالتیک ارائه شده است.



شکل ۳-۳ دستگاه اسپکتروفتومتر مدل DR6000 و پمپ پرستالتیک

۳-۴ طراحی پایلوت

در این تحقیق برای سهولت کار، همچنین برای دقیق بودن، اندازه‌گیری آنالین و جلوگیری از بروز خطا یک پایلوت مناسب طراحی گردید که به نوعی تزریق آلودگی در سیستم آبرسانی را شبیه‌سازی کند. -اجزای تشکیل دهنده پایلوت شکل (۳-۴) و (۳-۵):

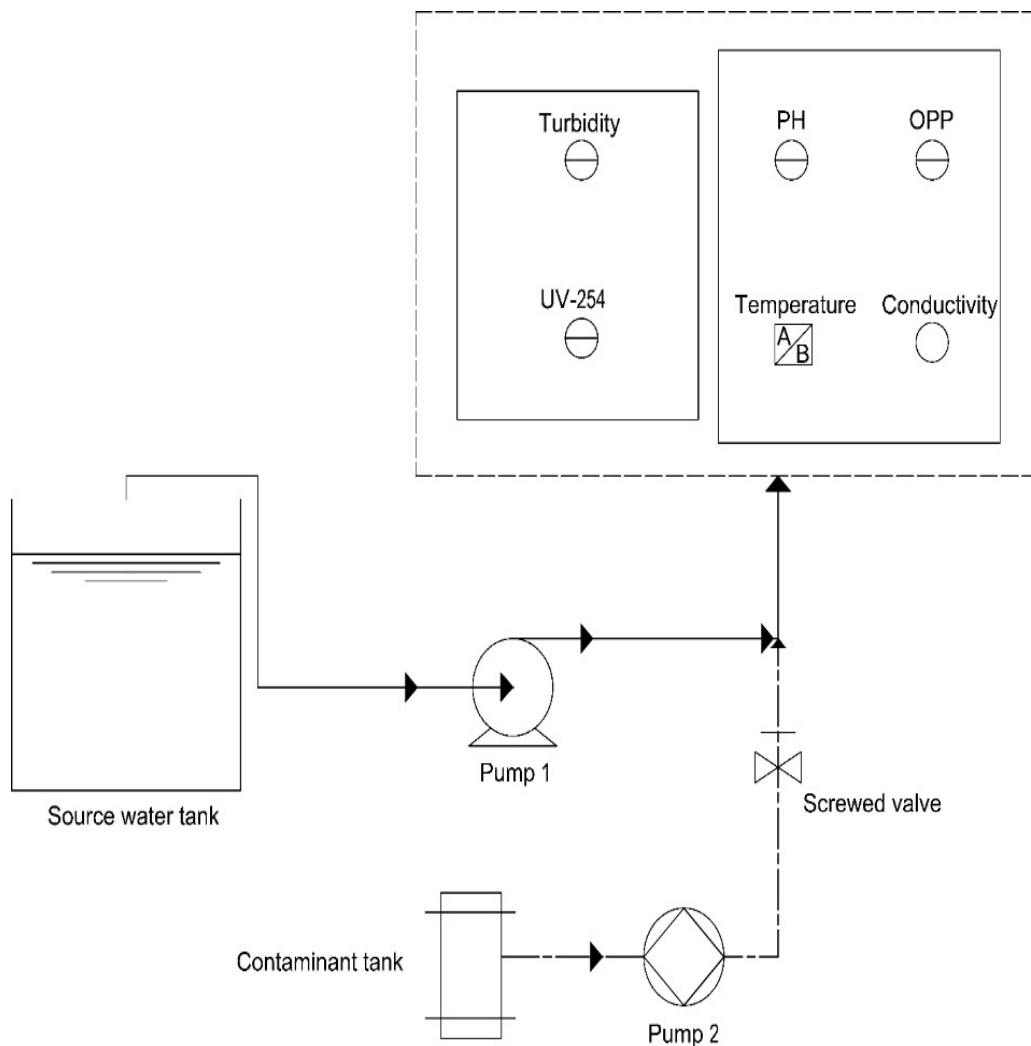
- مخزن آب به ابعاد $0.45 \times 0.45 \times 0.50$ متر به حجم ۱۰۰ لیتر از جنس شیشه آکواریوم
- یک بشر یک لیتری به عنوان منبع آلاینده
- یک کانال شیشه‌ای به ابعاد $0.50 \times 0.1 \times 0.1$ متر جهت قرارگیری سنسورها درون آن
- شیلنگ ده میلیمتری و اتصالات (سه‌راهی، رابط، شیر و....)
- دو عدد پمپ پرستالتیک جهت پمپ آب و آلاینده ساخت Sina Lab Equipment ایران
- تصویر شماتیک پایلوت شکل (۳-۶)



شکل ۳-۴ نمای کلی از پایلوت



شکل ۳-۵ تصویر پایلوت ساخته شده جهت انجام این تحقیق در مقیاس آزمایشگاهی



شکل ۳-۶ دیاگرام جریان پایلوت و شماتیک اجزای آن

۳-۵ روش انجام آزمایشات

۳-۵-۱ گام اول: تعیین غلظت‌ها، دبی، و تنظیمات دستگاه

آب با دبی 0.5 لیتر بر دقیقه توسط پمپ شماره ۱ با تنظیمات ۱۲۰ دور بر دقیقه از منبع آب وارد سیستم می‌شود و پمپ شماره ۲ بایستی غلظت‌های آلاینده مورد نظر را در گام‌های مناسب از منبع آلاینده به عنوان محلول مادر با غلظت (75 mg/l) در یک بشر یک لیتری تهیه شده است وارد سیستم کند برای این کار ابتدا غلظت‌های ۲ و ۴ و ۶ میلی‌گرم بر لیتر از آلاینده مورد نظر با توجه به درصد خلوص گلايفوزيت (۴۱٪) و چگالی 1.189 g/mL آلاینده به صورت دبی با واحد میلی‌لیتر بر دقیقه تبدیل کرده سپس متناسب با مکانیزم

دور بر دقیقه یا rpm^۱ دستگاه، تنظیمات را انجام می‌دهیم. همچنین به علت کوچک بودن ارقام غلظت‌های خواسته شده ابتدا اصل آلاینده را باید رقیق سازی کنیم لذت برای انجام این کار باتوجه به رابطه:

$$C_1.Q_1 + C_2.Q_2 = C_3.Q_3$$

C غلظت محلول و Q دبی جریان با اندیس ۱، ۲ و ۳ به ترتیب مربوط به دبی و غلظت منبع آب، منبع آلاینده و سرانجام مجموع این دو درون کانال اندازه‌گیری می‌باشد با در نظر گرفتن توضیحات و رابطه بالا ارقام مربوط به پمپ منبع آلاینده در جدول (۳-۱) تنظیم شده است.

جدول ۳-۱ ارقام مربوط تنظیمات پمپ پرستالتیک قسمت آلاینده

غلظت آلاینده (mg/l)	۲	۴	۶
{دبی (ml/min)}	۱۴	۲۸	۴۲
دور بر دقیقه (rpm)	۸	۱۰	۱۴

۳-۵-۲ گام دوم: اندازه‌گیری پارامترها

- مدت زمان انجام آزمایش ۱۴۰ دقیقه می‌باشد. به صورتی که در بیست دقیقه اول شیر شماره ۱ بسته است و آب پاک به تنهایی وارد کانال تعبیه شده جهت قرارگیری سنسورها شده و سنسورها پارامترها را از لحظه صفر اندازه‌گیری کرده و هر یک دقیقه ثبت می‌نمایند شکل (۳-۶).



شکل ۳-۷ نحوه قرار گیر سنسورها درون کانال اندازه‌گیری

- در پایان بیست دقیقه شیر شماره ۱ باز شده و پمپ شماره ۲ آلاینده با غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر را وارد سیستم می کند و همچنان پارامترها هر یک دقیقه ثبت می شوند. در پایان بیست دقیقه دوم شیر شماره یک بسته و آب به تنهایی وارد سیستم می شود. برای غلظت های بعدی نیز به همین صورت عمل می شود.
- خروجی کانال تعبیه شده در انتهای کانال وجود دارد و به فاضلاب منتهی می شود.
- دما به علت تغییرات محدود هر ۳ دقیقه ثبت می شود.
- از UV-250 نیز خارج از این سیستم به صورت جداگانه برای برخی غلظت ها اندازه گیری انجام می شود.

فصل چہارم: نتیجہ و بحث

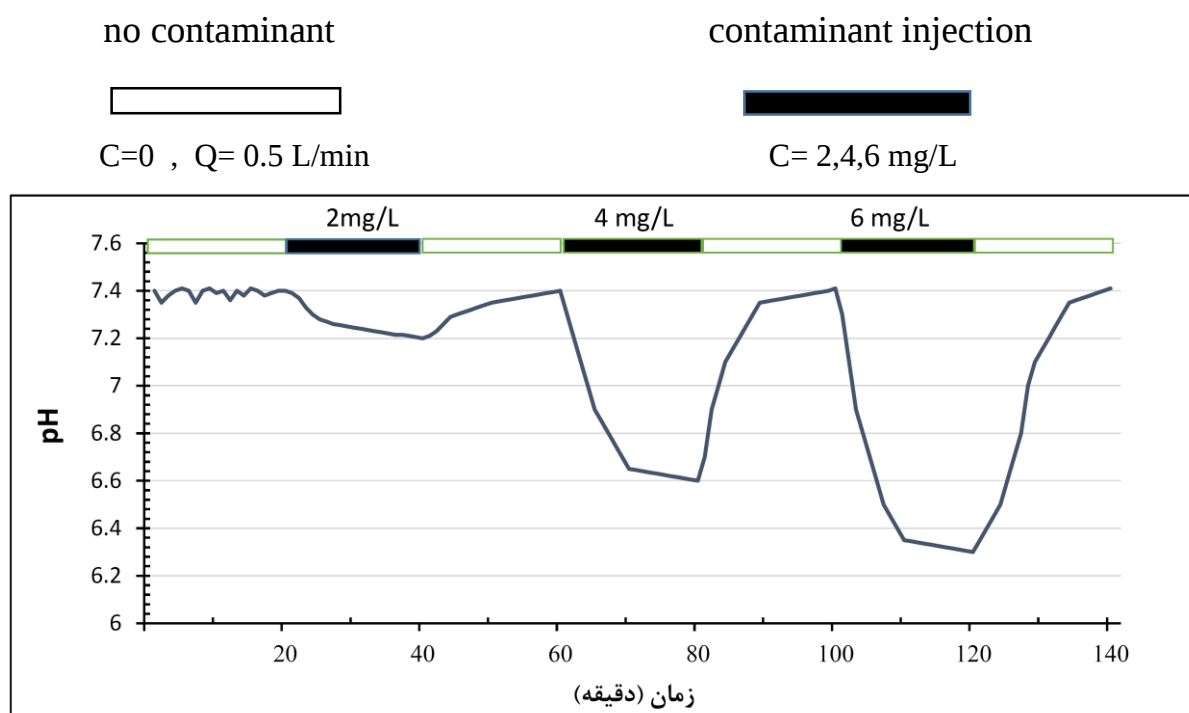
۴-۱ مقدمه

هدف اصلی از انجام تحقیق حاضر، ارزیابی عملکردی سنسورهای کیفیت آب چند پارامتری در تشخیص سریع آلودگی در منابع آب و بررسی انواع سنسورهای در دسترس و نحوه تغییرات این پارامترها با توجه به غلظت‌های مورد نظر است. در این بخش نتایج به دست آمده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از آزمایش‌ها به صورت گراف‌های متعدد جهت تفسیر علمی داده‌ها بیان شده است.

۴-۲ نتایج تغییرات pH بعد از ورود غلظت‌های مختلف آلاینده

به منظور ارزیابی تغییرات pH آلاینده مورد نظر را در هفت گام بیست دقیقه‌ای و در سه غلظت ۲ و ۴ و ۶ میلی گرم بر لیتر وارد سیستم نموده و توسط pH متر اندازه‌گیری pH انجام شده و ثبت می‌شود. نتایج به صورت نمودار، در شکل (۴-۱) نمایش داده شده است.

گام‌های تزریق آلودگی، برای نمایش بهتر به صورت زیر در قسمت بالای نمودار نمایش داده شده است.

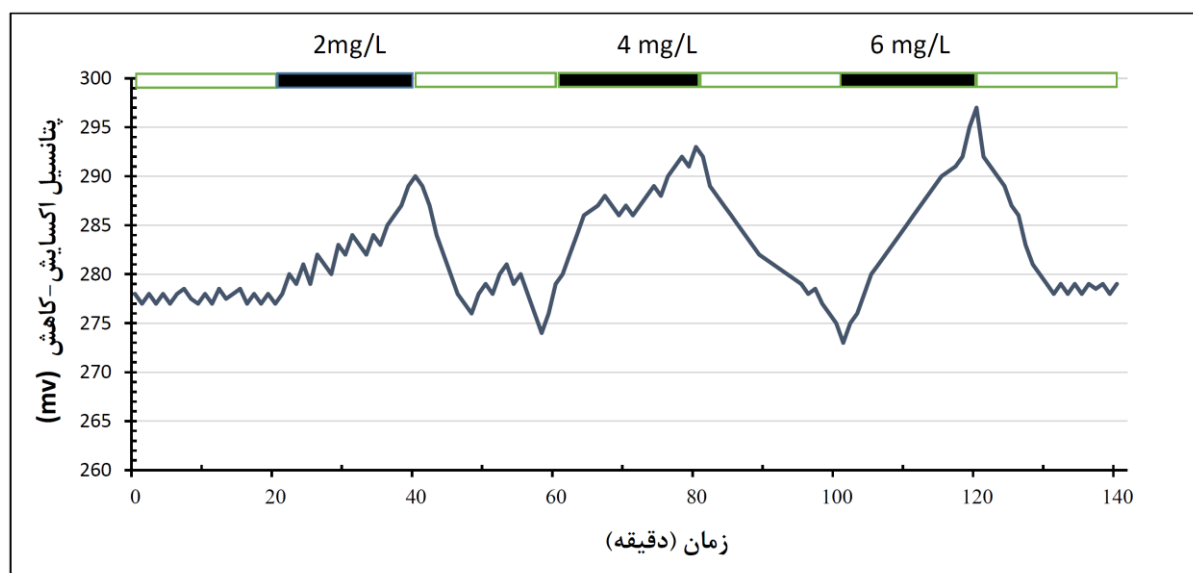


شکل (۴-۱) نمودار تغییرات PH در غلظت‌های مختلف گلایفوزیت

در نمودار نمایش داده شده، تغییرات pH بین ۶/۳ و ۷/۴ می‌باشد، در تزریق غلظت ۲ میلی گرم، pH از ۷/۴ به ۷/۲ کاهش پیدا می‌کند. در تزریق غلظت ۴ میلی گرم در لیتر مقدار pH تا ۶/۶ کاهش پیدا می‌کند و در تزریق غلظت ۶ میلی گرم بر لیتر میزان pH به عدد ۶/۳ می‌رسد که تغییر محسوسی است. بر این اساس تغییر پارامتر pH قابل ملاحظه بوده و می‌تواند به عنوان یک پارامتر مناسب برای تشخیص سریع برخی آلاینده های سمی مد نظر قرار گیرد. همچنین با افزایش شدت آلودگی تغییرات پارامتر pH نیز افزایش چشمگیری دارد.

۳-۴ نتایج تغییرات ORP بعد از ورود غلظت های مختلف آلاینده

مقدار ORP نیز توسط pH متر اندازه گیری می‌شود و تغییرات این پارامتر در غلظت های (2,4,6 mg/L as Glayphosate) هر یک دقیقه اندازه گیری و ثبت می‌شود. شکل (۲-۴)

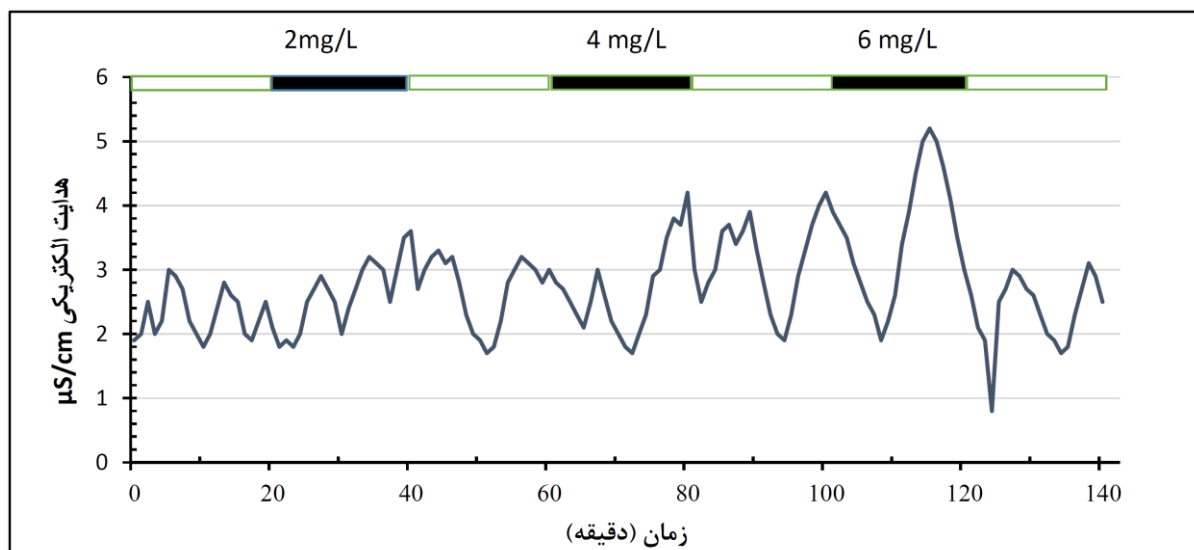


شکل ۲-۴ نمودار تغییرات ORP در غلظت های مختلف گلایفوسیت

بر اساس داده های نمودار فوق از لحظه تزریق آلاینده به کانال تغییرات پارامتر ORP نیز شروع می‌شود. حداکثر میزان ORP ۲۹۴ میلی ولت و کمترین مقدار ۲۷۳ میلی ولت می‌باشد. تاثیر تزریق غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر مقدار ORP را از ۲۷۸ به ۲۹۰ میلی ولت و در گام دوم به ۲۹۳ و در گام سوم به ۲۹۷ میلی ولت می‌رساند. بر این اساس می‌توان نتیجه گیری نمود که حساسیت پارامتر ORP در تشخیص تزریق سموم آلی قابل ملاحظه بوده و از این پارامتر نیز بخوبی می‌توان در تشخیص اضطراری ورود سموم آلاینده به سامانه های آبرسانی استفاده نمود.

۴-۴ نتایج تغییرات هدایت الکتریکی بعد از ورود غلظت‌های مختلف آلاینده

پارامتر هدایت الکتریکی نیز در هر سه غلظت ۲، ۴ و ۶ بر لیتر میلی گرم توسط دستگاه مربوطه درون کانال به صورت آنالین اندازه‌گیری و ثبت می‌شود. این تغییرات به صورت نمودار در شکل (۴-۳) نمایش داده شده‌اند.



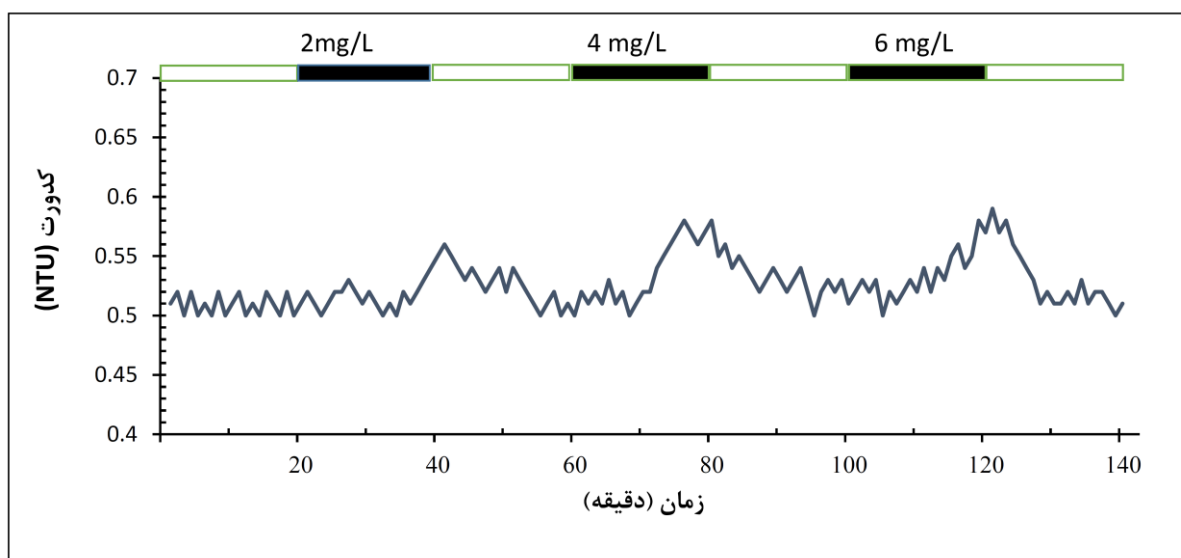
شکل ۴-۳ نمایش تغییرات هدایت الکتریکی در غلظت‌های مختلف گلابفوزیت

پارامتر هدایت الکتریکی در طی تغییرات غلظت آلاینده نوساناتی طبق نمودار بالا داشته است. تغییرات به صورت نامنظم بوده و از یک روند ثابت پیروی نمی‌کند اما اعداد ثبت شده در حضور آلاینده ماکزیمم عددها در هر مرحله از تزریق آلودگی هستند. در غلظت ۲ میلی گرم بر لیتر، هدایت الکتریکی به عدد ۳/۶ میکروزیمنس بر سانتی متر و در غلظت ۴ میلی گرم بر لیتر به عدد ۴/۲ میکروزیمنس بر سانتی متر و در غلظت ۶ میلی گرم بر لیتر به ۵٫۲ میکروزیمنس بر سانتی متر می‌رسد. با توجه به اینکه آلاینده تزریق شده آلی بوده و بصورت یونی در آب حل نمی‌شود لذا طبیعی است که تأثیر قابل ملاحظه‌ای در هدایت الکتریکی آب نداشته باشد. لذا پارامتر هدایت الکتریکی عمدتاً برای آلاینده‌هایی نظیر فلزات سنگین یا نمک‌ها که بصورت یونی در آب حل می‌شوند از حساسیت کافی برخوردار بوده و می‌تواند به عنوان یک سنسور مناسب در تشخیص این قبیل آلاینده‌های مورد استفاده قرار گیرد ولی در تشخیص سموم آلی و یا بطور کلی آلاینده‌هایی که بصورت غیر یونی در آب حل می‌شوند به تنهایی از حساسیت لازم برخوردار نمی‌باشد.

۴-۵ نتایج تغییرات کدورت بعد از ورود غلظت‌های مختلف آلاینده

تغییرات کدورت در طی تزریق آلودگی در سه گام توسط دستگاه کدورت‌سنج اندازه‌گیری و ثبت شده است.

شکل (۴-۴).

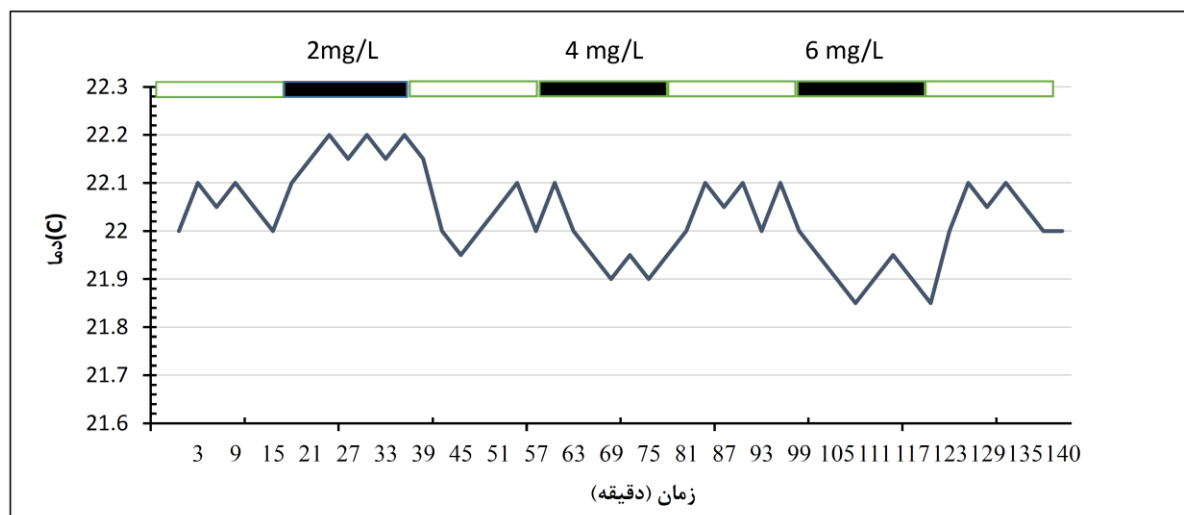


شکل (۴-۴) نمایش تغییرات کدورت در غلظت‌های مختلف گلایفوزیت

تغییرات پارامتر کدورت در نمودار شکل (۴-۴) نمایش داده شده است. پیک تغییرات کدورت در هر مرحله تزریق رخ می‌دهد و کدورت ۰/۵۶ با واحد NTU برای غلظت ۲ میلی‌گرم بر لیتر و کدورت ۰/۶۳ برای غلظت ۴ میلی‌گرم بر لیتر و کدورت ۰/۶۶ برای غلظت ۶ میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد. آنچه مسلم است برخی آلاینده‌ها نظیر فلزات و برخی از نمک‌ها و سموم پس از ورود به آب کدورت قابل ملاحظه‌ای ایجاد نمی‌نمایند و در نتیجه در طول موجی که پارامتر کدورت سنجیده می‌شود، نمی‌توان با حساسیت قابل ملاحظه‌ای ورود آلاینده را شناسایی نمود. ولی سم گلایفوزیت مورد استفاده در این آزمایشات از دسته آلاینده‌هایی محسوب می‌شود که کدورت قابل تشخیصی در آب ایجاد می‌نماید که سنجش‌های انجام شده در این خصوص بیانگر حساسیت دستگاه کدورت سنج به تزریق سم و شناسایی آن می‌باشد. ولی در مقایسه با پارامتر pH و ORP از حساسیت کمتری برخوردار است.

۴-۶ نتایج تغییرات دما بعد از ورود غلظت‌های مختلف آلاینده

در اندازه‌گیری پارامتر دما، به علت کند بودن تغییرات، اعداد روی دماسنج هر سه دقیقه قرائت می‌شود در نهایت روند کلی آزمایش انجام شده و اعداد ثبت و در شکل (۴-۵) به صورت نمودار نمایش داده می‌شوند.

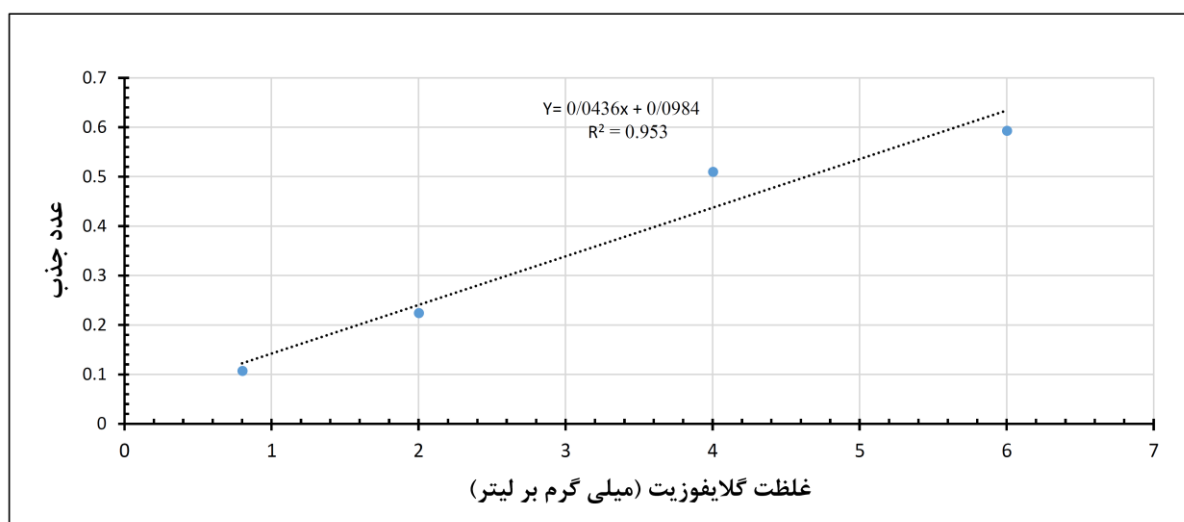


شکل ۴-۵ نمایش تغییرات دما در غلظت‌های مختلف گلیفوزیت

تغییرات دما به شکل بالاست، محدوده تغییرات دما حدود 0.3°C درجه سانتی‌گراد است. در تزریق اول دما حدود 0.1°C درجه سانتی‌گراد از حالت بدون آلاینده بیشتر شده و در تزریقات بعدی از حالت بدون آلاینده 0.1°C درجه سانتی‌گراد کمتر می‌شوند. با توجه به اینکه ورود برخی آلاینده‌ها به آب منجر به انجام واکنش‌های گرمازا و یا گرماگیر می‌شوند که شاید بتوان در مقیاس‌های کوچک با دستگاه‌های بسیار دقیق آن را تشخیص داد، ولی بطور کلی در مقیاس‌های عملی به دلیل تبادلات بالای حرارتی آب با محیط تغییرات دمایی ناشی از گرمازا بودن یا گرماگیر بودن واکنش آلاینده در آب قابل شناسایی نمی‌باشد و پارامتر دما نمی‌تواند دستخوش تغییرات معنی داری ناشی از ورود آلاینده به آب گردد. در نتیجه در غلظت‌های متعارف نمی‌توان از دما به تنهایی به عنوان یک پارامتر مناسب برای تشخیص ورود آلاینده استفاده نمود.

۴-۶ نتایج تغییرات UV-254 بعد از ورود غلظت‌های مختلف آلاینده

چهار غلظت ۰/۸، ۲، ۴ و ۶ میلی گرم بر لیتر از ماده آلاینده را تهیه می‌کنیم و برای اندازه‌گیری عدد جذب آن‌ها در دستگاه اسپکتروفتومتر با طول موج ۲۵۴ نانومتر قرار داده و اعداد را ثبت و توسط نمودار شکل (۶-۴) نمایش داده می‌شود.



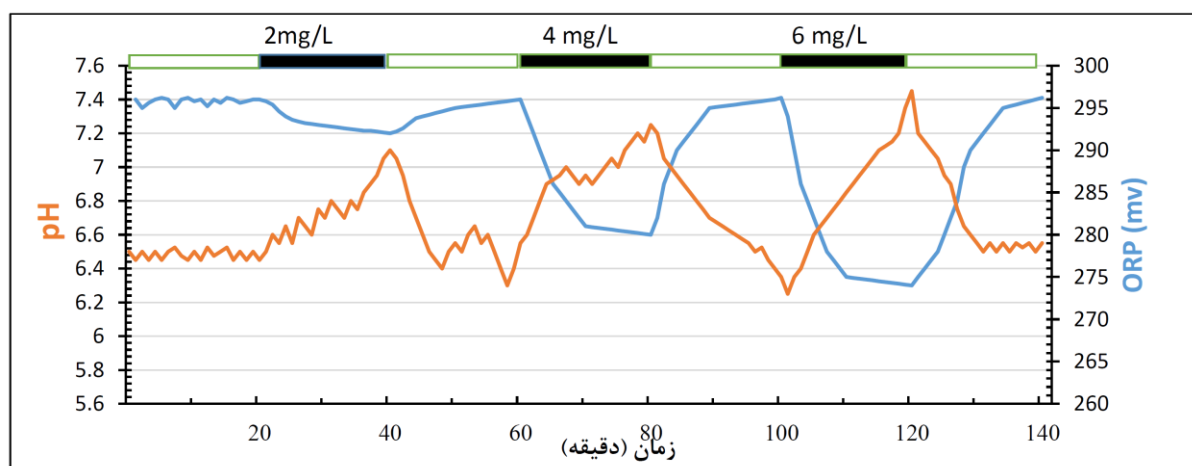
شکل ۴-۶ نمایش تغییرات عدد جذب در اثر تغییر غلظت گلایفوزیت

آزمایش UV-254 با چهار نمونه از آلاینده با غلظت‌های متفاوت انجام شد که خارج از چرخه پایلوت، طبق نمودار منتج شده عدد جذب با افزایش غلظت در یک طول موج ثابت، افزایش یافت. پارامتر جذب طیفی در طول موج‌های مختلف یکی از بهترین پارامترهای تشخیص ورود آلاینده‌ها محسوب می‌شود که از حساسیت نسبتاً بالایی برخوردار می‌باشد. جذب نور یک محلول عبارت است از مقدار شدت نوری که توسط آن محلول در یک طول موج مشخص λ جذب می‌شود. هر چند ممکن است هر آلاینده‌ای بیشترین جذب طیفی را در یک طول موج مشخصی در آب داشته باشد که نیاز به ارزیابی تفصیلی برای هر آلاینده در این خصوص می‌باشد ولی برای محلول‌های آبی معمولاً از طول موج ۲۵۴ نانومتر استفاده می‌شود. دستگاه اسپکتروفتومتر DR6000 طیفی وسیعی از طول موج‌ها را برای آلاینده‌های مختلف دارد. در این تحقیق نیز از طول موج ۲۵۴ نانومتر برای تشخیص سم گلایفوزیت استفاده شده است. ارتباط خطی قوی ($R^2=0.953$) بین غلظت آلاینده و عدد جذب در طول موج ۲۵۴ نانومتر بخوبی بیانگر حساسیت سنسور جذب نوری در تشخیص سریع و دقیق

و پارامتر جذب طیفی در طول موج ۲۵۴ نانومتر بخوبی بیانگر قابلیت بالای سنسور جذب طیفی در تشخیص دقیق و سریع آلاینده می‌باشد. به این ترتیب از سنسورهای جذب نوری که معمولاً در بازار با هزینه‌های نسبتاً پائینی در دسترس هستند بخوبی می‌تواند برای تشخیص سریع و دقیق بسیاری از آلاینده‌های استفاده نمود و سنسورهای جذب طیفی یکی از اقتصادی‌ترین و حساس‌ترین سنسورهای تشخیص آنلاین بسیاری از آلاینده‌ها محسوب می‌شوند که در صورت چند پارامتری نمودن آنها بخصوص با pH، ORP و EC که از جمله سنسورهای روتین و کم هزینه سامانه‌های پایش کیفی آب محسوب می‌شوند، بخوبی می‌توان به یک سامانه جامع و کم هزینه برای پایش بسیاری از آلاینده‌ها دست یافت.

۷-۴ نمایش همزمان دو پارامتر pH و ORP

نمایش توأم تغییرات pH و ORP در شکل (۷-۲) نشان داده شده است.



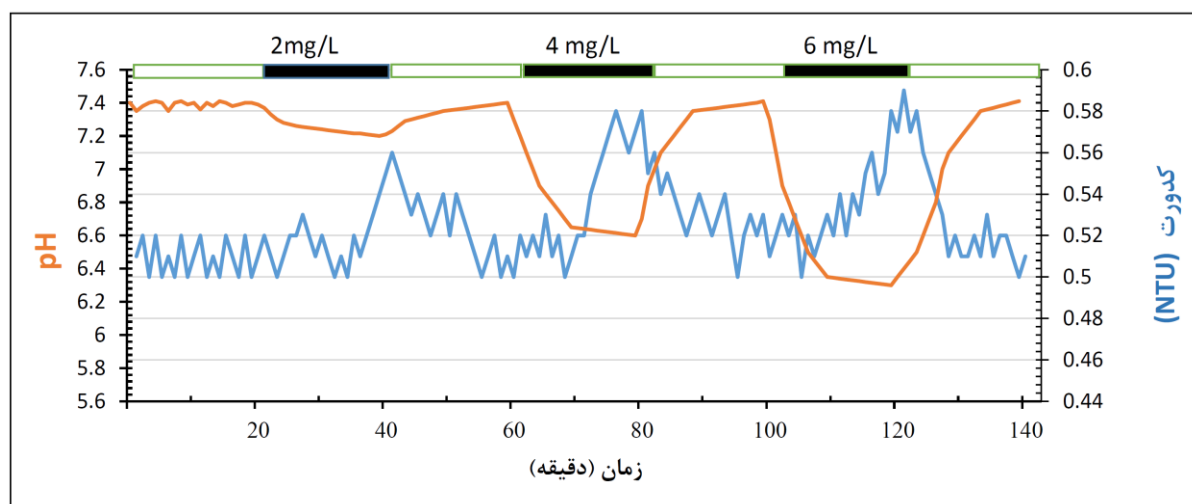
شکل ۷-۴ نمایش پارامتر pH و ORP در یک نمودار

با توجه به نمودار فوق برای آلاینده سمی گلايفوزیت، پارامتر pH بالعکس پارامتر ORP در مواجه با آلودگی عمل می‌کند در نقاطی که pH مینیمم است ORP ماکزیمم است این تغییرات برای دو پارامتر ذکر شده به این دلیل است که آلاینده مورد استفاده دارای خاصیت اسیدی در عین حال خاصیت اکسید شونده دارد. براین اساس می‌توان نتیجه گرفت که برای تشخیص سریع و دقیق بسیاری از آلاینده‌ها بخوبی می‌توان از دو سنسور ساده و کم هزینه pH-ORP که در بازار براحتی در دسترس هستند استفاده نمود و این دو سنسور از ضریب اطمینان نسبتاً بالایی در تشخیص به موقع و دقیق ورود آلاینده برخوردار می‌باشند. هر چند که

انتظار نمی‌رود با این پارامترها نوع آلودگی را بتوان تشخیص داد، ولی حساسیت و تشخیص به موقع ورود آلاینده خود گام مهمی در بالا بردن ضریب ایمنی تأسیسات آبرسانی محسوب می‌شود. به این ترتیب می‌توان سیستم‌های هشدار را بر اساس این دو پارامتر ساده و کم هزینه برای افزایش ضریب ایمنی سامانه‌های آبرسانی به عنوان مهمترین تأسیسات زیربنایی شهرها و روستاها طراحی و بصورت آنلاین مورد استفاده قرار داد.

۴-۸ تغییرات توأم pH و کدورت

در شکل (۴-۸) نمودار تغییرات توأم دو پارامتر pH و کدورت ارائه شده است.



شکل ۴-۸ نمایش ترکیب دو پارامتر pH و کدورت

همان طور که در شکل (۴-۸) مشاهده می‌شود در فواصل زمانی که آلودگی وارد سیستم می‌شود pH کاهش و کدورت افزایش پیدا می‌کند. بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت که با افزودن سنسور کدورت سنج توأم با pH-ORP می‌توان آن دسته از آلاینده‌هایی که منجر به افزایش کدورت آب می‌شوند را نیز با سرعت و دقت مناسب تشخیص داده و ضریب اطمینان سیستم هشدار پایش کیفی سامانه آبرسانی را تا حدود زیادی افزایش داد.

.

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱ مقدمه

با توجه به اهمیت حیاتی امنیت سامانه‌های آبرسانی شرب و با توجه به پرهزینه بودن خرید و نصب سنسورهای تشخیص سمیت برخط TOC و غیره چنانچه بتوان با سنسورهای روتین، ساده و کم هزینه‌ای نظیر pH-ORP، کدورت و جذب طیفی، سامانه‌های آلام و هشدار را برای ورود آلاینده‌های تصادفی و یا تعمدی ناشی از حملات تروریستی طراحی و پیاده سازی نمود، کمک شایانی به ارتقای سطح امنیت این سامانه ها شده است. همچنین می‌توان با ارتباط بین شیرهای کنترل خروجی مخازن و یا شیرهای قرار گرفته در نقاط حساس شبکه، سامانه هشدار وضعیت اضطراری را به این شیرها متصل نمود تا در مواقع با سطح هشدار بالا بصورت خودکار این شیرها با قطع جریان آب از توزیع مواد سمی آلاینده به سیستم توزیع آب جلوگیری نمایند. طراحی و پیاده‌سازی این سامانه مستلزم تحقیق در خصوص انواع احتمالی آلاینده‌های تصادفی و تعمدی ورودی به سامانه‌های آبرسانی می‌باشد که در این تحقیق یکی از آلاینده‌های سمی آلی مورد ارزیابی قرار گرفته است. با توجه به ضرورت رعایت اصول پدافند غیر عامل در ارتقای سطح امنیت سامانه آبرسانی، تجهیز این سامانه‌ها به این قبیل سیستم‌های هشدار و اعلان وضعیت اضطراری بسیار حائز اهمیت است. در این بخش به جمع‌بندی نتایج حاصل از تحقیق حاضر پرداخته شده است. نتایج تاثیرات ماده آلاینده مورد نظر بر روی سنسورهای مختلف در غلظت‌های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته و پس از تنظیم، جمع بندی و ارائه گردیده است. در پایان پیشنهاداتی پیرامون تحقیقات آتی ارائه شده است.

۵-۲ جمع‌بندی نتایج تشخیص آلودگی در ارزیابی سنسورهای کیفیت آب

در این تحقیق، آزمایش‌های پاسخ حسگر برای گلایفوزیت با غلظت‌های مختلف انجام شد، نتایج حاصل از آزمایش گلایفوزیت توسط نمودارهای مربوط به هر پاسخ حسگر نمایش داده شده است. حضور آلودگی با یک نوار مشکی در قسمت بالای نمودارها مشخص شده است. بر اساس نتایج بدست آمده موارد ذیل قابل ارائه می باشد.

۱- پارامتر pH از حساسیت کافی برای تشخیص بسیاری از آلاینده‌ها برخوردار می‌باشد. این پارامتر ساده، کم هزینه و روتین می‌تواند به عنوان یکی از سنسورهای اساسی در سامانه‌های پایش کیفی منابع آب و همچنین سیستم‌های آبرسانی مورد استفاده قرار گیرد.

۲- ORP نیز یکی از پارامترهای حیاتی در سامانه‌های پایش کیفی محسوب می‌شود. این پارامتر برای بسیاری از آلاینده‌های سمی آلی و معدنی نظیر سموم آلی، فلزات سنگین و نیترات بخوبی می‌تواند در تشخیص سریع آلاینده مورد استفاده قرار گیرد.

۳- استفاده توأم از سنسور pH-ORP می‌تواند منجر به ازدیاد قابل ملاحظه دقت سامانه پایش برخط در ورود بسیاری از آلاینده‌ها گردد. در واقع می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از این سنسور دو پارامتری بخوبی می‌تواند سطح امنیت سامانه‌های آبرسانی را بطور قابل ملاحظه ای ارتقا بخشد.

۴- پارامتر جذب طیفی نیز یکی دیگر از مهم‌ترین سنسورهای با حساسیت بالا برای هشدار ورود آلودگی در سامانه‌های آبرسانی محسوب می‌شود. حساسیت بسیار بالای این پارامتر می‌تواند تشخیص طیف وسیعی از آلاینده‌های آلی و معدنی نظیر سموم، نیترات و فلزات سنگین را بخوبی قابل تشخیص نماید. حساسیت بالای این سنسور در کنار سادگی و در دسترس بودن آن بخوبی می‌تواند حتی به تنهایی منجر به طراحی یک سیستم هشدار اضطراری برای ارتقای سطح امنیت سامانه‌های آبرسانی گردد. در صورت استفاده همزمان این سنسور با سنسور دو پارامتری pH-ORP بخوبی می‌توان یک سیستم دقیق و سریع هشدار آلودگی و همچنین کنترل شرایط اضطراری را برای سامانه‌های آبرسانی طراحی و اجرایی نمود.

۵- با توجه به تغییرات زیاد دما ناشی از شرایط محیطی، از این پارامتر نمی‌توان در سامانه‌های پایش استفاده نمود ولی داشتن پارامتر دما برای شناخت وضعیت سیستم‌های آبرسانی کمک شایانی می‌نماید.

۵-۳ پیشنهاد جهت مطالعات آتی

پیشنهادهای جهت انجام مطالعات آتی به شرح زیر می‌باشد:

- ارزیابی آلاینده‌های شیمیایی و بیولوژیکی دیگر جهت تعمیم روند تشخیص آلودگی
- اضافه کردن سنسورهای اندازه‌گیری دیگر مانند DO متر و ...

- تحلیل عددی نتایج آزمایشات توسط روش‌های مرسوم

مراجع

- [1] غنی‌زاده، ق.، م و قانعیان، م.، (۱۳۹۴). "مدیریت کیفیت آب". انتشارات آثار سبحان، تهران، ص ۱۳۰.
- [2] عرفان، م.، افیونی، م.، (۱۳۹۴)، "آلودگی محیط‌زیست (آب، خاک و هوا)، چاپ یازدهم، انتشارات ارکان دانش، اصفهان، ص ۲۸۴.
- [3] H. S. Peavy, D. R. Rowe, and G Tchobannoglous, ENVIROMENTAL ENGINEERING. McGraw-Hill Book Co (McGraw-Hill Ser in Water Resiur and environ Eng), 1985.
- [4] Hawkins, P.R.; Novic, S.; Cox, P.; Neilan, B.A.; Burns, B.P.; Shaw, G.; Wickramasinghe, W.; Peerapornpisal, Y.; Ruangyuttikarn, W.; Itayama, T.; et al. A review of analytical methods for assessing the public health risk from microcystin in the aquatic environment. J. Water Supply Res. Technol. 2005, 54, 509–518.
- [5] Che, H.; Liu, S. Contaminant detection using multiple conventional water quality sensors in an early warning system. Procedia Eng. 2014, 89, 479–487.
- [6] Steffen, W., et al. (2007). "The Anthropocene: are humans now overwhelming the great forces of nature." AMBIO: A Journal of the Human Environment 36(8): 614-621.
- [7] AghaKouchak, A., et al. (2015). "Aral Sea syndrome desiccates Lake Urmia: call for action." Journal of Great Lakes Research 41(1): 307-311.
- [8] Nuzzo, J. B. (2006). "The biological threat to US water supplies: toward a national water security policy." Biosecurity and bioterrorism: biodefense strategy, practice, and science 4(2): 147-159.
- [9] Jordy, R., (2013), "Review of sensors to monitor water quality", Water Technology Center Agbar Group, European Union, Page 6.
- [10] Gullick, R. W., et al. (2003). "Design of early warning monitoring systems for source waters." Journal-American Water Works Association 95(11): 58-72.
- [11] Liu, S., et al. (2015). "A method of detecting contamination events using multiple conventional water quality sensors." Environmental monitoring and assessment 187(1): 4189.
- [12] Payment, P., Siemiatycki, J., Richardson, L., Renaud, G., Franco, E., and Prevost, M. (1997). A prospective epidemiological study of gastrointestinal health effects due to the consumption of drinking water. International Journal of Environmental Health Research 7, 5-31.

- [13] GRAYMAN, W. M. (2006). Use of distribution system water quality models in support of water security. *Security of Water Supply Systems: from Source to Tap*, Springer: 39-50.
- [14] Gillezeau, C., et al. (2019). "The evidence of human exposure to glyphosate: a review." *Environmental Health* **18**(1): 2.
- [15] Benbrook, C. M. (2016). "Trends in glyphosate herbicide use in the United States and globally." *Environmental Sciences Europe* **28**(1): 3.
- [16] Curwin, B. D., et al. (2005). "Pesticide contamination inside farm and nonfarm homes." *Journal of occupational and environmental hygiene* **2**(7): 357-367.
- [17] Panzacchi, S., et al. (2018). "The Ramazzini institute 13-week study on glyphosate-based herbicides at human-equivalent dose in Sprague Dawley rats: study design and first in-life endpoints evaluation." *Environmental Health* **17**(1): 52.
- [18] Van Bruggen, A., et al. (2018). "Environmental and health effects of the herbicide glyphosate." *Science of the Total Environment* **616**: 255-268.
- [19] Yaroshenko, I., et al. (2020). "Real-time water quality monitoring with chemical sensors." *Sensors* **20**(12): 3432.
- [20] Hall, J., et al. (2007). "On-line water quality parameters as indicators of distribution system contamination." *Journal-American Water Works Association* **99**(1): 66-77.
- [21] Wong, B. P. and B. Kerkez (2016). "Real-time environmental sensor data: An application to water quality using web services." *Environmental Modelling & Software* **84**: 505-517.
- [22] Kruse, P. (2018). "Review on water quality sensors." *Journal of Physics D: Applied Physics* **51**(20): 203002.
- [23] Che, H., et al. (2015). "Performance evaluation for a contamination detection method using multiple water quality sensors in an early warning system." *Water* **7**(4): 1422-1436.
- [24] Reifels L, Arbon P, Capon A, Handmer J, Humphrey A, Murray V, et al. Health and disaster risk reduction regarding the Sendai Framework. *Aust J Emerg Manage.* 2018;2:16–21.
- [25] Khankeh, H. R., et al. (2019). "Early warning system models and components in emergency and disaster: a systematic literature review protocol." *Systematic reviews* **8**(1): 315.

- [26] Quansah, J. E., et al. (2010). "Early warning systems: a review." *Journal of Terrestrial Observation* 2(2): 5.
- [27] Foran, J. A. and T. M. Brosnan (2000). "Early warning systems for hazardous biological agents in potable water." *Environmental Health Perspectives* 108(10): 993-995.
- [28] Wessels, K., et al. (2003). Monitoring land degradation in Southern Africa based on net primary productivity. IGARSS 2003. 2003 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium. Proceedings (IEEE Cat. No. 03CH37477), IEEE.
- [29] Park, J., et al. (2020). "Recent Advances in Information and Communications Technology (ICT) and Sensor Technology for Monitoring Water Quality." *Water* 12(2): 510.
- [30] Geetha, S. and S. Gouthami (2016). "Internet of things enabled real time water quality monitoring system." *Smart Water* 2(1): 1-19.
- [31] Nikhil, R.; Rajender, R.; Dushyantha, G.; Jagadevi, N. Smart Water Quality Monitoring System Using IoT Environment. *Int. J. Innov. Eng. Technol.* 2018, 10,74–78.
- [32] Adamo, F.; Attivissimo, F.; Carducci, C.G.C.; Lanzolla, A.M.L. A smart sensor network for sea water quality monitoring. *IEEE Sens. J.* 2014, 15, 2514–2522.
- [33] Leigh, C.; Kandanaarachchi, S.; McGree, J.M.; Hyndman, R.J.; Alsibai, O.; Mengersen, K.; Peterson, E.E. Predicting Sediment and Nutrient Concentrations in Rivers Using High Frequency Water Quality Surrogates. *arXiv* 2018, arXiv:1810.12499.
- [34] USEPA. (2005b). Protecting water quality from agricultural runoff. Washington, D.C. EPA 841-F-05-001
- [35] Leigh, C.; Kandanaarachchi, S.; McGree, J.M.; Hyndman, R.J.; Alsibai, O.; Mengersen, K.; Peterson, E.E. Predicting Sediment and Nutrient Concentrations in Rivers Using High Frequency Water Quality Surrogates. *arXiv* 2018, arXiv : 1810 . 12499
- [36] Hart, D.; McKenna, S.A.; Klise, K.; Cruz, V.; Wilson, M. CANARY: A water quality event detection algorithm development tool. In *Proceedings of the World Environmental and Water Resources Congress, Tampa, FL, USA, 15–19 May 2007*; pp. 1–9.
- [37] Yang, Y. J., et al. (2009). "Real-time contaminant detection and classification in a drinking water pipe using conventional water quality sensors: Techniques and experimental results." *Journal of environmental management* 90(8): 2494-2506.

- [38] Legin, A., et al. (1995). "Development and analytical evaluation of a multisensor system for water quality monitoring." *Sensors and Actuators B: Chemical* **27**(1-3): 377-379.
- [39] Krantz-Rülcker, C., et al. (2001). "Electronic tongues for environmental monitoring based on sensor arrays and pattern recognition: a review." *Analytica chimica acta* **426**(2): 217-226.
- [40] Martínez-Máñez, R., et al. (2005). "A multisensor in thick-film technology for water quality control." *Sensors and Actuators A: Physical* **120**(2): 589-595.
- [41] Men, H., et al. (2005). "A novel electronic tongue combined MLAPS with stripping voltammetry for environmental detection." *Sensors and Actuators B: Chemical* **110**(2): 350-357.
- [42] Capella, J., et al. (2010). "A wireless sensor network approach for distributed in-line chemical analysis of water." *Talanta* **80**(5): 1789-1798.
- [43] Thompson, K. C. and J. Gray (2006). The utilisation on-line of common parameter monitoring as a surveillance tool for enhancing water security. *Water Contamination Emergencies*: 89-98.
- [44] Liu, S., et al. (2015). "A real time method of contaminant classification using conventional water quality sensors." *Journal of environmental management* **154**: 13-21.
- [45] Liu, S., et al. (2014). "Contamination event detection using multiple types of conventional water quality sensors in source water." *Environmental Science: Processes & Impacts* **16**(8): 2028-2038.
- [46] Hou, D., et al. (2013). "Detection of water-quality contamination events based on multi-sensor fusion using an extended Dempster-Shafer method." *Measurement Science and Technology* **24**(5): 055801.
- [47] Demetillo, A. T., et al. (2019). "A system for monitoring water quality in a large aquatic area using wireless sensor network technology." *Sustainable Environment Research* **29**(1): 12.
- [48] Srivastava, S., et al. (2018). "Smartphone-based System for water quality analysis." *Applied Water Science* **8**(5): 1-13.
- [49] Dejus, S., et al. (2017). On-line Drinking Water Contamination Event Detection Methods. ENVIRONMENT. TECHNOLOGIES. RESOURCES. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference.

- [50] Tinelli, S. and I. Juran (2019). "Artificial intelligence-based monitoring system of water quality parameters for early detection of non-specific bio-contamination in water distribution systems." *Water Supply* **19**(6): 1785-1792.
- [51] Putra, D. A. and T. Harsono (2016). Smart sensor device for detection of water quality as anticipation of disaster environment pollution. 2016 International electronics symposium (IES), IEEE.
- [52] Liu, S., et al. (2018). "A multivariate based event detection method and performance comparison with two baseline methods." **180**: 109-118.
- [53] کیانی، ف.، علیخانی، م.، (۱۳۹۸)، "تاثیرات فیزیولوژیک سم گلایفوزیت (راندپ) بر بافت آبشش و کبد قزل آلاهی رنگین کمان"، انتشارات فصل نامه علمی محیط زیست جانوری، ایران، ص ۲۱۳ تا ۲۲۲.

Abstract

Continuous monitoring of water quality parameters is a vital issue in providing safe and healthy drinking water. Contaminants and toxicants can endanger the safety of drinking water resources in various ways, intentionally or accidentally. Also, the short time required for the toxicants to spread to the consumers increases the need for emergency response to this vital issue. On the other hand, equipping water supply systems with a network of different online monitoring sensors is very expensive and almost non-operational. In this study, the performance of simple and low-cost water quality parameters was evaluated with the aim of emergency detection of accidental or intentional pollution caused by conventional toxic substances.

Unlike natural and conventional pollutions, accidental and intentional pollutions require a quick response due to their nature of occurrence and lack of knowledge of the time of occurrence. The design of a network of sensors to detect contamination in water supply systems and water sources is due to this uncertain and unpredictable nature of contamination. For this purpose, in this research, performance evaluation of simple and low-cost water quality sensors (pH, UV-254, redox potential or ORP, electrical conductivity or EC, turbidity and temperature) in detection of a conventional herbicide (glyphosate) as a toxic contaminant, with a maximum allowable value of 7 ppm in water, has been investigated.

A pilot has been designed to simulate contamination injection by the pump and record online monitoring parameters. Changes in water quality parameters were recorded in the presence of three concentrations of 2, 4 and 6 ppm of glyphosate herbicide. All experiments were performed at laboratory temperature in the range of 20 to 25 ° C. The results showed that pH and ORP have the highest sensitivity during the experimental stages, so that at a concentration of 0.6 mg/L, the pH decreased from 7.4 to 6.3 (about 15%) and ORP increased from 273 mV to 297 mV (about 9%). Electrical conductivity and turbidity also changed in the presence of contamination, but less than the previous two parameters. The turbidity and temperature changes were such that the range of fluctuations due to water velocity and turbulence within the canal covered these changes. The UV-254 experiment was performed with four samples of pollutants with different concentrations outside the pilot cycle, which, according to the resulting diagram, by increasing the concentration of contaminants the adsorption also increased at a constant wavelength.

Keywords: water quality monitoring sensors, glyphosate, emergency contaminant detection



Shahrood University of
Technology

Faculty of Civil Engineering
M.Sc. Thesis in Civil and Enviromental engineering

Performance Evaluation of Multivariate Water Quality Sensors in the Rapid Identification of Contamination of Drinking Water Resources

By: Mohammad Rajabi

Supervisor:
Dr. Ramazan Vagheei

January 2021