

طراحی، ساخت و کنترل دستگاه سمیت شناسی آب با ماهی جهت حفاظت از منابع آب شرب

سعیده حسین آبادی^۱، عباس خاشعی سیوکی^{۲*}، مهران تقی پورگرگی کلایی^۳، علی شهیدی^۴

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، ۲ و ۳- دانشیار، ۴- استادیار، دانشگاه بیرجند

(دریافت: ۹۸/۰۹/۰۵، پذیرش: ۹۸/۱۰/۱۴)

چکیده

امنیت آبی و غذایی، بخش مهمی از امنیت ملی هر کشور است. پژوهش حاضر با هدف طراحی و ساخت دستگاه سمیت شناسی آب با ماهی جهت حفاظت از منابع آب شرب، کنترل و تعیین حساسیت آن در برابر سه نوع سم انجام گرفت. در دستگاه حاضر نمونه‌ای از آب، همواره مورد پایش زیستی قرار می‌گیرد. مطالعه و محاسبات پژوهش حاضر با تحقیق و آزمایش‌های سعی و خطا روی دو نوع ماهی مختلف (بارب ببری و تتراجوهر) صورت گرفت که در نتیجه، ماهی بارب ببری به‌عنوان مناسب‌ترین نوع ماهی مورد استفاده در دستگاه معرفی گردید. همچنین جهت انتخاب بخش الکترونیکی دستگاه از دو صفحه متشکل از لیزر به‌عنوان صفحه فرستنده و گیرنده استفاده شد. نتایج نشان داد در صورت استفاده از ماهی بارب ببری، زمان اعلام هشدار دستگاه برای غلظت ۵ ppm سم سیانید حدود ۵ دقیقه و برای سه غلظت متفاوت علف کش توفوردی+ ام‌سی‌پی‌آ (۱۷/۴، ۲۳/۲ و ۳۴/۸ گرم در لیتر) به ترتیب ۵۲۰، ۲۸۰ و ۱۰۰ ثانیه بعد از ورود سم به دستگاه و برای سه غلظت علف کش دلتامترین (۰/۴۶، ۰/۹۳ و ۱/۹۹ گرم در لیتر) نیز به ترتیب ۲۲۰، ۱۶۰ و ۶۰ ثانیه پس از ورود سم بود که این نتایج نشان‌دهنده کارایی مفید دستگاه حاضر است. نتایج عملکرد دستگاه حاکی از آن است که استفاده از دستگاه حاضر کمک شایانی در راستای پدافند غیرعامل، حفظ سلامت منابع آب شرب کشور و جلوگیری از حملات تروریستی می‌نماید.

کلیدواژه‌ها: آب شرب، پدافند غیرعامل، تهدیدات انسان‌ساخت، حمله بیوتروریستی

Design, Production and Control of the Toxicological System of Water using Fish, to Protecting the Drinking Water Supplies

S. Hoseinabadi, A. Khashei Suiki*, M. Taghipour Gorji Kolaie, A. Shahidi

Birjand University

(Received: 26/11/2019; Accepted: 04/01/2020)

Abstract

The most important parts of any country's national security, are water and food security. The purpose of this study was to produce and design a toxicological system of water using fish, to protect the drinking water resources and to determine its sensitivity against three types of toxins. In this system, always a sample of water is biologically monitored. The calculations were done by trial and error iterations on two different fish species (tiger barb and tetraodon). As a result, tiger barb fish was introduced as the most appropriate type of fish for using in this system. Also two laser plates were used as transmitter and receiver for electronic parts of the system. The results showed that after entering the toxin into the system, with using tiger barb fish, the alert time of system for concentration of Cyanide (5 ppm) 5 minute and for three different concentrations of 2,4-D+MCPA herbicide (17.4, 23.2, 34.8 g/l) would be 520, 280, 100 seconds and also for three different concentrations of Deltamethrin herbicide (0.46, 0.93, 1.99 g/l) would be 220, 160, 60 seconds respectively. These results demonstrate the effectiveness of the system. The performance of the system and its results shows that the use of this system can help so much in passive defense, maintaining the health of the country's water supplies and preventing terrorism attacks.

Keywords: Bioterrorist Attacks, Drinking Water, Human-Made Threats, Passive Defence

۱. مقدمه

تروریستی علیه تأسیسات آبی می‌توان به جنگ جهانی دوم و آلوده شدن منابع آب چین به باسیلوس آنتراسیس، گونه‌های سالمونلا توسط ژاپنی‌ها اشاره نمود [۳]. هادی و همکاران [۴]، در مطالعه‌ای بیان نمودند که انجام مطالعات در حوزه پایش آلاینده‌های منابع آب و بررسی اثرات بهداشتی آن‌ها بسیار ضروری است و در کشور می‌بایست برنامه‌ریزی، سرمایه‌گذاری و تخصیص اعتبارات پژوهش در جهت انجام مطالعات بیشتر و دقیق‌تر در این زمینه انجام شود. در تحقیقی نتایج یک حمله بیولوژیک به وسیله نیروهای نظامی و تروریست‌ها، روی انسان، حیوان و گیاهان و همین‌طور عواقب اجتماعی-روانی و درمانی-بهداشتی آن‌ها مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفته است که نتایج نشان داد که به دست آوردن و کاربرد سلاح‌های بیولوژیک برای تروریست‌ها امری امکان‌پذیر و عملی است [۵]. در این زمینه گریوز و همکاران [۶]، اقدام به تولید یک سیستم نظارت بر کیفیت آب نمودند که این سیستم به‌طور مداوم یا دوره‌ای کنترل کیفیت آب را به عهده دارد. دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی دارای نمونه مشابه خارجی است که شرکت محیط‌زیست بدر آذین بنا (BAB)، تنها نماینده رسمی توزیع این دستگاه در ایران است. دستگاه مشابه با عنوان Fish Toximeter ساخت کشور آلمان و ماهی مورد استفاده آن ماهی بارب ببری است و تفاوت آن با دستگاه حاضر علاوه بر هزینه هنگفت، نحوه بررسی حرکات ماهی است به این صورت که در آن حرکات و رفتار ماهی به‌طور پیوسته توسط دوربین CCD به‌صورت آنالاین بررسی و توسط کامپیوتر تحلیل می‌گردد [۷].

بدیهی است که با توجه به موقعیت خاص نظام مقدس جمهوری اسلامی به‌عنوان یک قدرت منطقه‌ای استکبارستیز و نقش سازنده آن در معادلات بین‌المللی و دارا بودن مؤلفه‌هایی همچون عدم سازش با نظام‌های فاسد استعماری و کشورهای سلطه‌گر، عملیات بیوتروریستی به‌عنوان مسئله مهم امنیتی در کشور مورد پذیرش قرار گرفته و لزوم مدیریت مقابله با آن امری ضروری تلقی می‌گردد؛ بنابراین پژوهش حاضر به‌ضرورت ساخت دستگاه سمیت‌شناسی آب به کمک ماهی و کارایی مفید آن در پیشگیری از حملات تروریستی می‌پردازد که سبب اطمینان بیشتر در بحث امنیت سلامت منابع آب می‌گردد. تولید داخلی دستگاه نامبرده، هزینه مناسب آن و تفاوت در نحوه شناسایی حرکات ماهی در برابر نمونه مشابه خارجی و اطمینان‌پذیری بالای آن در مقابل سادگی سیستم دستگاه از جنبه‌های نوآوری مطالعه حاضر به حساب می‌آید.

۲. روش تحقیق

در پژوهش حاضر، برای گردآوری اطلاعات از روش‌های متداول مانند مطالعه کتابخانه‌ای، جستجوی اینترنتی و تحقیقات آزمایشگاهی استفاده گردید. پس از تحقیق جهت انتخاب قطعات

دسترس به آب آشامیدنی سالم، همواره یکی از نیازهای حیاتی جوامع است. بخشی از مدیریت آب‌رسانی، تأمین امنیت آب‌رسانی در شبکه توزیع آب است که همچون دستگاه گردش خون در بدن، امکان ادامه فعالیت و حیات را در جامعه میسر می‌سازد. افزایش مصرف آب، تغییر اقلیم و افزایش رقابت‌های سیاسی بین کشورها باعث شده است که تأمین امنیت آبی به‌عنوان یک پیش‌نیاز الزامی امنیت ملی، به یکی از اصول شناخته‌شده در مباحث طرح‌ریزی استراتژیک هر کشور تبدیل شود. با توجه به اینکه در یک جامعه دسترسی به آب آشامیدنی سالم همواره یکی از نیازهای حیاتی آن جامعه است و در حال حاضر، در شرکت‌های آب و فاضلاب کشور، نمونه‌گیری و آزمایش‌هایی که از آب شرب قبل از توزیع آن در شبکه آب‌رسانی برای تعیین سلامت انجام می‌شود، به‌صورت دوره‌ای انجام می‌گیرد و اعلام نتایج آن نیازمند زمان و هزینه است، این موضوع بیان‌گر فقدان ضریب اطمینان بالا در امنیت منابع آب کشور است که در صورت استفاده از دستگاه سمیت‌شناسی آب در سامانه‌های منابع آب، آب به‌صورت لحظه‌ای و با ضریب اطمینان بالا پایش می‌گردد. دانشمندی به نام Mullen، انواع جدید تهدیدهای هسته‌ای، شیمیایی و سلاح‌های بیولوژیک را مورد ارزیابی قرارداد و نتیجه‌گیری کرد که از میان این تهدیدات، تهدید بیولوژیکی از همه ساده‌تر و عملی‌تر است [۱].

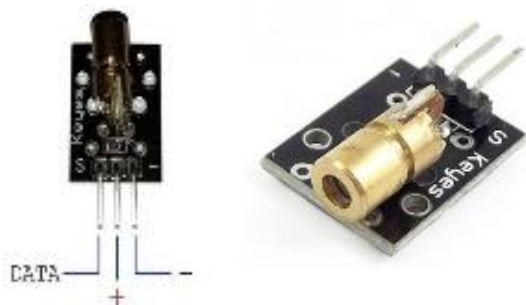
به‌طور کلی در مبحث پدافند غیرعامل، آمادگی‌ها و اقدامات قبل از شروع بحران شامل سه مرحله پیش‌بینی، پیشگیری و هشدار است و مقابله با وقوع بحران با آمادگی کامل سبب کاهش خسارت ناشی از بحران می‌شود [۲]. با توجه به اینکه منابع ذخیره آب، تصفیه‌خانه‌ها، چاه‌های مورد استفاده برای تأمین آب شرب و ... بهترین نقاط برای وارد کردن عوامل تروریستی است، دشمن با عملیات آلوده‌سازی منابع آب، می‌تواند هر بخشی از تأسیسات آبی را مورد حمله قرار دهد که در این شرایط جبران خسارت وارده یا جایگزین کردن آن‌ها بسیار سخت و زمان‌بر خواهد بود. یک حمله تروریستی یا بیوتروریستی روی تأسیسات آب‌رسانی، ممکن است صدها نفر را کشته و منجر به بروز شرایط بحرانی شود و علاوه بر آن حوادث ثانویه‌ای نیز مانند اثرات روانی و از بین رفتن اعتماد عموم مردم نسبت به مسئولان و نگرانی‌هایی رخ خواهد داد که جبران آن‌ها به‌سادگی امکان‌پذیر نخواهد بود. برای جلوگیری از این‌گونه حملات و تحقق هدف امنیت منابع آب از نظر آلودگی، ایجاد یک سیستم ایمن و مناسب جهت پیشگیری از تهدیدات و شناسایی به‌موقع، ضروری به نظر می‌رسد. در نتیجه بایستی با حفاظت مطمئن از منابع آب، از آلودگی‌های عمدی منابع و سامانه‌های تأمین آب آشامیدنی ممانعت نمود. به‌عنوان مثال برای بیان تاریخچه برخی حملات

لیافی و دو فیلتر کربن فعال است که تنها وظیفه حذف کلر از آب را جهت ایجاد شرایط زیستی مناسب برای ماهی به عهده دارد. باکس ورودی آب شامل پمپ‌های تعبیه‌شده در دستگاه که پمپ آب و پمپ اکسیژن است، است. باکس فرستنده و گیرنده شامل دو صفحه متشکل از لیزرهای به‌عنوان قسمت الکترونیکی دستگاه است که مشخصات آن در ادامه بیان می‌گردد.

در تحقیق حاضر، انتخاب ماژول‌های لیزر به دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن و در دسترس بودن آن نسبت به سایر قطعات و همچنین عدم شکست امواج در محیط آب، جهت استفاده در دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی انجام گرفت.

۲-۱-۲. ماژول لیزر فرستنده

ماژول لیزر فرستنده مدل KY-008، پرتو نور را به‌صورت نقطه‌ای انتشار می‌دهد و با استفاده از یک گیرنده لیزری می‌توان از آن در تشخیص موانع و فواصل (حرکت ماهی) استفاده کرد. از این نوع ماژول لیزر به‌عنوان فرستنده در بخش الکترونیکی دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی استفاده گردیده است (شکل ۱).



شکل ۱. لیزر فرستنده دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی

۲-۲-۲. ماژول لیزر گیرنده

ماژول لیزر گیرنده مدل PD438C، مناسب برای فرستنده‌های موجود و نسبت به نور آن‌ها حساس‌اند و در دستگاه نامبرده که لازم است دریافت نور لیزر توسط مدار حس شود از این نوع گیرنده استفاده گردیده است (شکل ۲).



شکل ۲. لیزر گیرنده دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی

باکس آکواریوم شامل یک آکواریوم از جنس پلکس و با حجم ۱۶ لیتر است. شکل (۳) نشان‌دهنده طرح کلی دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی و شکل (۴) نشان‌دهنده تصویر نمونه ساخته‌شده آن است. جنس غالب دستگاه حاضر فیبر و پلکس و

الکترونیکی دستگاه از بین حس‌گر تشخیص حرکت PIR، حس‌گر ضدآب آلتراسونیک و لیزر، سرانجام با جمع‌بندی نتایج انتخاب لیزر به دلیل مقرون‌به‌صرفه بودن و در دسترس بودن آن نسبت به سایر قطعات جهت استفاده در دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی صورت گرفت. پس از گردآوری اطلاعات، طراحی و ساخت دستگاه سمیت‌شناسی آب و بررسی آزمایشگاهی آن به‌نگام مقابله با شرایط بحران و تهدیدات بیولوژیکی انجام گرفت. اساس کار دستگاه سمیت‌شناسی آب بر پایه حرکت نوعی ماهی است که می‌توان از ماهی‌های محلی و ماهی بارب ببری (نام علمی: *Systemus tetrazona*) استفاده کرد [۷].

در پژوهش حاضر و دستگاه نامبرده از ماهی بارب ببری با توجه به حساسیت بیشتر آن هنگام مواجهه‌شدن با آب سمی و از سوی دیگر سازگاری بیشتر این نوع ماهی با شرایط طبیعی محیط نسبت به سایر ماهی‌ها استفاده گردید که در ادامه به معرفی این نوع ماهی پرداخته‌شده است. در پژوهش حاضر جهت اطمینان در انتخاب نوع ماهی، عملکرد دستگاه سمیت‌شناسی آب با استفاده از یک نوع ماهی دیگر به نام تتراجواهر (نام علمی: *Hyphessobrycon eques*) نیز مورد بررسی قرار گرفت.

۲-۱-۲. ماهی بارب ببری

نام علمی این ماهی *Systemus tetrazona* و یک کپور ماهی متعلق به مناطق استوایی است. این ماهی ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر طول و ۳ تا ۴ سانتی‌متر پهنا دارد. دارای رنگ نقره‌ای یا طلائی همراه با نوارهای مشکی بر روی بدن و همچنین دارای باله‌های نارنجی است. ماهی پر جنب و جوشی است و بهتر است که به‌صورت گروهی شامل ۶ تا ۸ ماهی در آکواریوم نگهداری شود. این ماهی‌ها با غذاهای مختلف از جمله غذاهای خشک تغذیه می‌شوند و در آب‌های تمیز یا گل‌آلود در جریان معتدل جوی و در آب‌های گرمسیری زندگی می‌کنند و در شرایط سمیت آب واکنش‌های خیلی سریع و غیر نرمال حرکتی از خود نشان می‌دهند که از این ویژگی آن می‌توان جهت تشخیص سمیت آب استفاده نمود. آبی با ویژگی‌های پی‌اچ ۶ تا ۸، سختی آب ۵ تا ۱۹ و دمای بین ۲۰ تا ۲۸ درجه سلسیوس را ترجیح می‌دهند [۸].

۲-۲. ساختار دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی

نمونه‌ای از آب همواره در حال عبور از آکواریوم دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی است و مورد پایش زیستی قرار می‌گیرد. دستگاه حاضر از چند قسمت تشکیل شده است که در تعامل باهم باعث پایش لحظه‌ای سلامت آب و تشخیص به‌موقع سمیت و اعلام هشدار می‌گردد. باکس‌های تعبیه‌شده در این دستگاه عبارت‌اند از: باکس پیش‌تصفیه، باکس ورودی آب، باکس فرستنده‌ها، باکس گیرنده‌ها، باکس آکواریوم، باکس منبع تغذیه و کنترلر و باکس خروجی آب. باکس پیش‌تصفیه شامل یک فیلتر

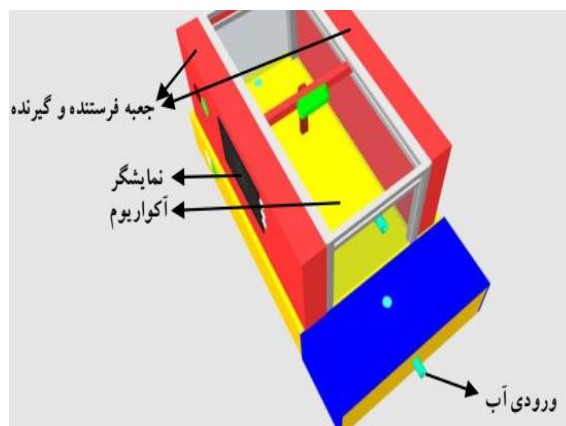
پس از ساخت دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی، کارایی دستگاه و عملکرد آن هنگام عبور آب آلوده طی آزمایش‌هایی با استفاده از دو نوع ماهی بارب ببری و تتراجواهر در آزمایشگاه به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفت که در این خصوص به عنوان مثال تأثیر علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ و آفت‌کش دلتامترین در سه غلظت مختلف (غلظت‌هایی پیرامون غلظت کشنده سموم برای انسان)، در دستگاه مورد بررسی و نتایج آن ارائه گردید.

علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ یکی از پرمصرف‌ترین علف‌کش‌ها در دنیا محسوب می‌شود [۹] و نوعی علف‌کش هورمونی است که در مزارع گندم و جو مورد استفاده قرار می‌گیرد و درجه سمیت آن برابر 1900 mg/kg است [۱۰]. از جمله مکانیسم‌های سمیت این علف‌کش می‌توان به القاء رادیکال‌های آزاد ناشی از فرآیند متابولیسم آن در پیکره آبزیان از جمله ماهی‌ها اشاره کرد به طوری که رادیکال‌های آزاد تولیدشده در نهایت مرگ سلول‌ها را به دنبال خواهد داشت [۱۱]. همچنین این علف‌کش می‌تواند سبب شکست در رشته‌های کروماتید و کروموزوم‌ها و همچنین ایجاد ریزه‌ستک‌ها در سلول‌های خون انسان شود [۱۲].

سمیت گوارشی آفت‌کش دلتامترین نیز، برای جانوران خونگرم و انسان زیاد است. سطح پوست جانوران خونگرم پوشیده از لایه کراتین است در نتیجه این سم برخلاف سموم فسفره غیرقابل نفوذ به پوست بدن انسان است، بنابراین نمی‌تواند وارد جریان خون شود، پس سمیت پوستی پایینی دارد. درجه سمیت آن نیز $5000-135 \text{ mg/kg}$ است. مهم‌ترین اثر سوء علف‌کش‌ها سرطان‌زایی آن‌هاست. در ایران به‌طور بی‌رویه‌ای از انواع علف‌کش‌ها استفاده می‌شود که توزیع آن به صورت 7 kg/h ذکر شده است. در حالی که میزان مصرف علف‌کش در دنیا به دلیل استفاده گسترده از آفت‌کش‌ها در فعالیتهای کشاورزی، تمرکز مطالعات بر بررسی آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد و انجام مطالعات بیشتر در زمینه پایش این آلاینده‌ها و کنترل و مدیریت آن‌ها جهت جلوگیری از آلودگی منابع آب ضرورت دارد [۴].

سم سیانور نیز در غلظت‌های بالا سمی کشنده، قوی و فوری برای موجودات زنده محسوب می‌شود. مقدار مجاز این سم در آب برابر 0.07 میلی‌گرم بر لیتر می‌باشد و مقادیر بیشتر از آن برای انسان خطرآفرین است. در بدن انسان وقتی سیانور وارد خون می‌شود با آنزیم اکسید سیتوکروم موجود در میتوکندری تشکیل یک کمپلکس پایدار می‌دهد و باعث اختلال در عملکرد تنفسی این آنزیم می‌شود. در چنین شرایطی سلول‌ها قادر به مصرف

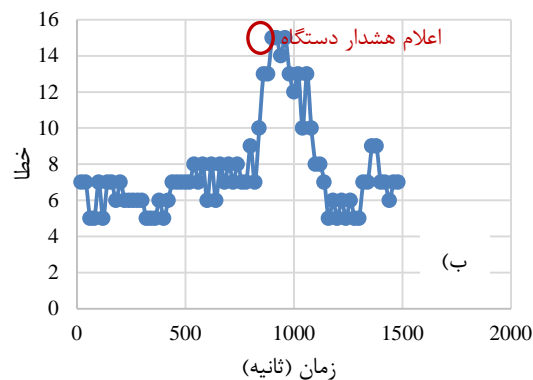
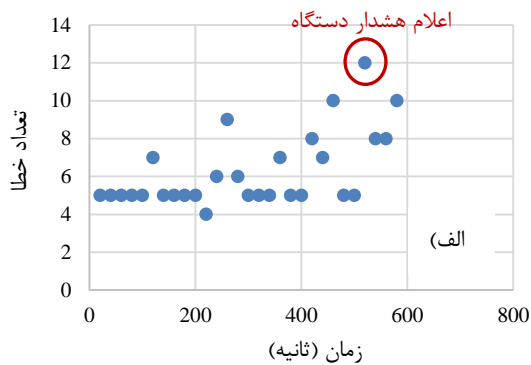
بدنه آن از جنس pvc ساخته شده است. پس از راه‌اندازی دستگاه و فعال نمودن آن، چراغ نمایشگر دستگاه در حالت سبز قرار می‌گیرد و به این ترتیب وضعیت دستگاه در حالت عادی است. حرکت ماهی که در شرایط عادی دارای الگوی مشخص و منظمی است، توسط قسمت الکترونیکی دستگاه بر اساس تعداد قطع و وصل شدن مسیر لیزرها توسط حرکت ماهی، تجزیه و تحلیل و ثبت می‌گردد. مسیر شنای دو ماهی به طور دائم توسط نرم‌افزار اجرایی دستگاه مورد تحلیل قرار می‌گیرد و در شرایطی که نمونه آب مسموم باشد فعالیت ماهی تحت تأثیر قرار خواهد گرفت و مسیر حرکت ماهی از الگوی منظم خود خارج می‌گردد و دستگاه هشدار را صادر و جریان ورودی به شبکه را قطع خواهد کرد. به این ترتیب می‌توان از ورود آب آلوده به درون شبکه و خسارت‌های ناشی از آن جلوگیری نمود.



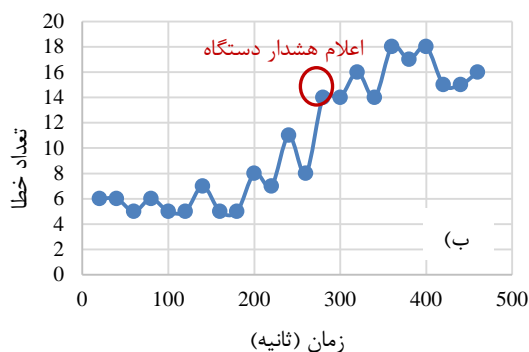
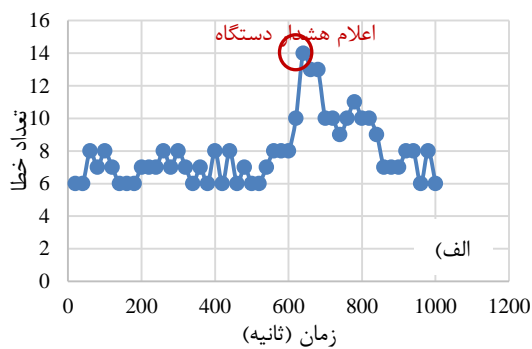
شکل ۳. طرح کلی دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی



شکل ۴. تصویر دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی



شکل ۵. عملکرد و خروجی دستگاه سمیت‌شناسی آب پس از ورود سم (علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ با غلظت ۱۷/۴ گرم در لیتر) (الف) ماهی بارب ببری (ب) ماهی تترا جواهر



شکل ۶. عملکرد و خروجی دستگاه سمیت‌شناسی آب پس از ورود سم (علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ با غلظت ۲۳/۲ گرم در لیتر) (الف) ماهی بارب ببری (ب) ماهی تترا جواهر.

اکسیژن خون نیستند و در نهایت منجر به مرگ می‌شود. قابل ذکر است ماهیان و آبزیان که در تحقیق حاضر از حرکت ماهی برای کارایی و عملکرد دستگاه استفاده می‌گردد، نسبت به سیانور حساس‌تر از انسان و دیگر موجودات گیاهی و جانوری هستند [۱۴].

۳. نتایج و بحث

پس از راه‌اندازی دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی، نرم‌افزار اجرایی آن به مدت ۲۰ ثانیه اولیه، حرکت ماهی‌ها را شناسایی و موردسنجش قرار می‌دهد و پس از پایان این زمان اولیه و شناسایی مقدار خطای اولیه (تعداد قطع‌شدگی مسیر لیزرها بر اثر حرکت ماهی‌ها)، در ادامه با توجه به این مقدار دستگاه کار پایش را انجام می‌دهد. به این صورت که در هر زمان اگر مقدار خطای خطای اولیه در حالت طبیعی بعلاوه یک مقدار به‌عنوان ضریب اطمینان بیشتر گردد، دستگاه هشدار را صادر می‌کند و جریان ورودی به شبکه قطع می‌گردد.

از ویژگی‌های نرم‌افزار اجرایی دستگاه حاضر امکان تغییر حساسیت هشدار دستگاه توسط کاربر است. با توجه به مطالعات انجام‌شده در پژوهش حاضر به‌منظور فراهم نمودن شرایط زیستی مناسب برای ماهی بارب ببری، در دستگاه حاضر سیستم غذادهی اتوماتیک ماهی تعبیه و علاوه بر استفاده از سیستم پیش تصفیه جهت حذف کلر آب، برای کنترل دمای آب از یک حس گر تشخیص دمای DS18B20 استفاده شد که با تعبیه هیتر مناسب درون باکس ورودی آکواریوم همواره این حس گر دمای آب را در بازه مناسب جهت حفظ حیات ماهی‌ها (۲۰-۳۰ درجه سلسیوس) نشان می‌دهد.

حس گر نامبرده شده، یک حس گر دمای دیجیتال قابل برنامه‌ریزی است که دارای خروجی دیجیتال است. این حس گر می‌تواند دمای محیط را با دقت ۹ تا ۱۲ بیت اندازه‌گیری کند. محدوده دمای اندازه‌گیری این حس گر ۵۵- تا ۱۲۵+ درجه سلسیوس می‌باشد. برای تغذیه این حس گر دما می‌توان از منبع با ولتاژ ۳ ولت تا ۵/۵ ولت استفاده نمود. این حس گر اندازه‌گیری و تبدیل دما به عدد را حداکثر ظرف مدت ۷۵۰ میلی‌ثانیه انجام می‌دهد.

۳-۱. عملکرد دستگاه در برابر غلظت‌های مختلف

علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ

برای بررسی عملکرد دستگاه حاضر، به‌عنوان مثال علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ در سه غلظت مختلف (۱۷/۴، ۲۳/۲ و ۳۴/۸ گرم در لیتر) طی آزمایش‌های جداگانه برای دو نوع ماهی متفاوت (بارب ببری و تتراجواهر) وارد دستگاه شد. شکل‌های (۵) تا (۷) نشان‌دهنده نتایج این آزمایش‌ها است.

ماهی‌ها در غلظت بیشتر سموم زودتر مورد تأثیر قرار گرفته و دستگاه در مدت زمان کمتری پس از ورود سم قادر به تشخیص آن است و هشدار را صادر می‌کند. در بالاترین غلظت مورد استفاده سم توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ (۳۴/۸ گرم در لیتر) و در صورت استفاده از ماهی بارب ببری، دستگاه در مدت زمان کم ۱۰۰ ثانیه توانست اعلام هشدار را صادر نماید و ماهی توانست در مدت زمان کم عکس‌العمل لازم جهت عملکرد دستگاه را از خود نشان داد. البته بدیهی است که در غلظت‌های بیشتر سم، این مدت زمان بازهم کاهش خواهد یافت. نتایج نشان داد که در صورت استفاده از ماهی تتراجواهر، دستگاه در مدت ۴۴۰ ثانیه اعلام هشدار را صادر نمود که این اختلاف زمان با توجه به کارایی دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی در مباحث امنیتی و پدافند غیرعامل، بسیار حائز اهمیت است.

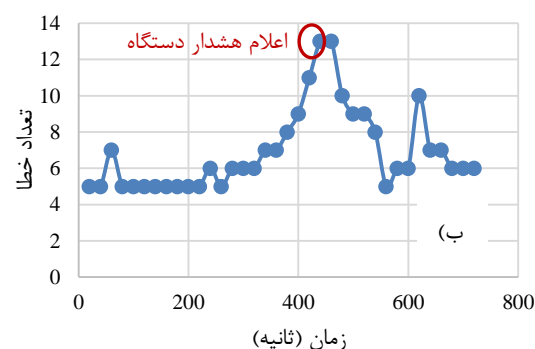
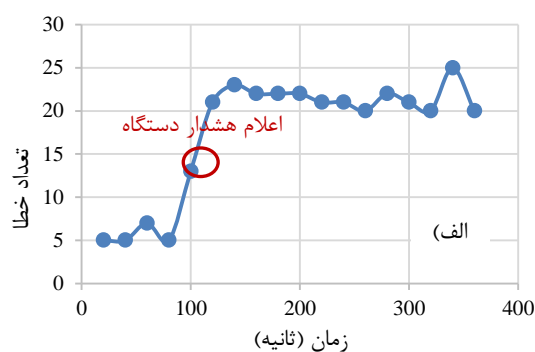
در پژوهشی با عنوان بررسی سمیت حاد علف‌کش توفوردی و تأثیر آن بر رفتارهای ماهی کپور معمولی نتایج نشان داد کمترین و بیشترین حد کشندگی آن به ترتیب ۵۵/۰۳ و ۷۱/۹۲ میلی‌گرم در لیتر است [۱۵]. در پژوهشی دیگر با عنوان تعیین غلظت کشنده دو سم علف‌کش پاراکوات و توفوردی در ماهی گطمان نتایج نشان داد که غلظت ایجادکننده ۵۰ درصد تلفات سم توفوردی بعد از ۹۶ ساعت برابر ۳۷/۸ میلی‌گرم در لیتر بود [۱۶]. مطالعه‌ای دیگر نیز باهدف بررسی سمیت حاد علف‌کش توفوردی بر لاروها و ماهیان بالغ تیلاپپای نیل انجام شد که در نتیجه این مطالعه غلظت حاد کشنده این سم برابر ۲۲/۵۵ میلی‌گرم در لیتر گزارش داده شد که علی‌رغم تفاوت گونه ماهی مشابهت سمیت این سم نشان می‌دهد که ماهی‌ها حساسیت تقریباً مشابهی در برابر سم توفوردی دارند و احتمالاً مکانیسم مسمومیت‌زایی این سم در ماهی‌ها یکسان است [۱۷].

نتایج مطالعات در مورد اثر این سم بر بدن انسان نیز نشان می‌دهد که سرطان تیروئید و نوعی سرطان خون از جمله سرطان‌هایی است که افرادی که در معرض سم توفوردی قرار دارند بیشتر به آن مبتلا می‌شوند. همچنین علف‌کش توفوردی برای دستگاه‌های تولیدمثلی بدن مسمومیت‌زاست.

۲-۳. عملکرد دستگاه در برابر غلظت‌های مختلف

آفت‌کش دلتامترین

آفت‌کش دلتامترین در سه غلظت ۰/۴۶، ۰/۹۳ و ۱/۹۹ گرم در لیتر، طی آزمایش‌هایی با استفاده از دو نوع ماهی بارب ببری و تتراجواهر برای تعیین عملکرد دستگاه استفاده گردید که شکل‌های ۹ تا ۱۱ نشان‌دهنده نتایج عملکرد دستگاه در برابر این سم است و شکل ۱۲ نیز، به‌طور خلاصه مقایسه زمان اعلام هشدار دستگاه را در صورت استفاده از دو نوع ماهی و در غلظت‌های مختلف سم انجام می‌دهد.

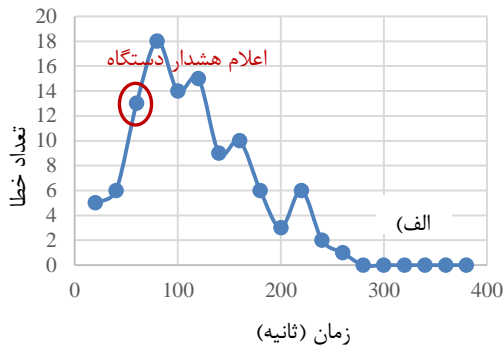


شکل ۷. عملکرد و خروجی دستگاه سمیت‌شناسی آب پس از ورود سم (علف‌کش توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ با غلظت ۳۴/۸ گرم در لیتر) (الف) ماهی بارب ببری (ب) ماهی تتراجواهر

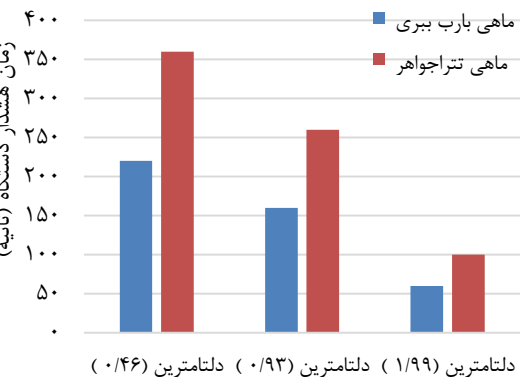
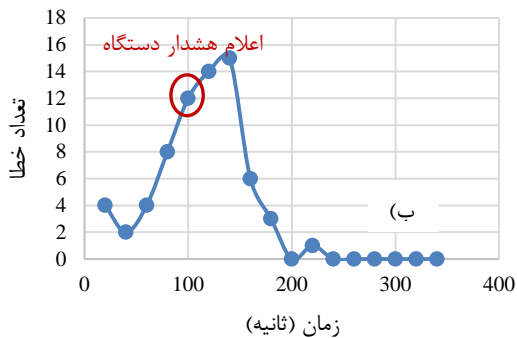


شکل ۸. مقایسه زمان هشدار دستگاه پس از ورود سم توفوردی+ام‌سی‌پی‌آ

نتایج تحقیق حاضر نشان داد که سم علف‌کش مورد استفاده در این قسمت از تحقیق برای هر دو نوع ماهی بارب ببری و تتراجواهر سمیت داشته و میزان سمیت آن با توجه به غلظت سم متفاوت است. با توجه به نمودار ارائه شده در شکل (۸) ملاحظه گردید که عملکرد دستگاه سمیت‌شناسی آب در صورت استفاده از ماهی بارب ببری بهتر است و این نوع ماهی همان‌طور که قبل هم بیان شد در شرایط آب آلوده زودتر واکنش حرکتی نشان داده و حساس‌تر است. همچنین این نمودار نشان داد که فعالیت

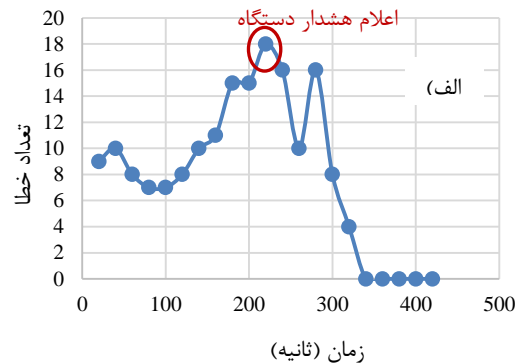


شکل ۱۱. عملکرد و خروجی دستگاه سمیت‌شناسی آب پس از ورود سم (علف‌کش دلتامترین با غلظت ۱/۹۹ گرم در لیتر) ماهی بارب ببری (ب) ماهی تترا جواهر

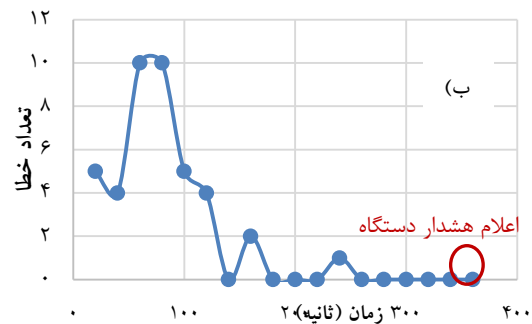


شکل ۱۲. مقایسه زمان هشدار دستگاه پس از ورود سم دلتامترین

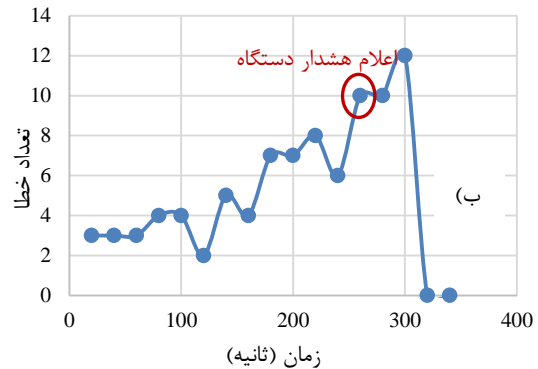
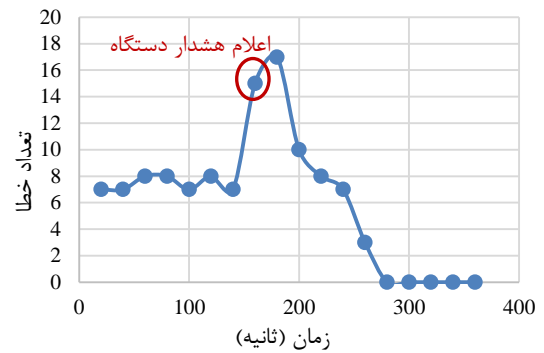
طبق نتایج ارائه‌شده و نمودار شکل (۱۲) که مقایسه زمان اعلام هشدار دستگاه را در حالات مختلف آزمایش نشان داده است، ملاحظه می‌گردد که در صورت استفاده از ماهی بارب ببری در غلظت ۰/۹۳ گرم در لیتر، دستگاه قادر خواهد بود در مدت زمان کمتر از سه دقیقه اعلام هشدار را صادر نماید اما در صورت استفاده از ماهی تترا جواهر این اعلام هشدار با ۱۰۰ ثانیه تأخیر انجام خواهد گرفت. به عبارتی، بیشتر از چهار دقیقه طول می‌کشد تا دستگاه هشدار سمیت آب را صادر کند. در صورت استفاده از سم ذکر شده با غلظت کمتر (۰/۴۶ گرم در لیتر)، نیز،

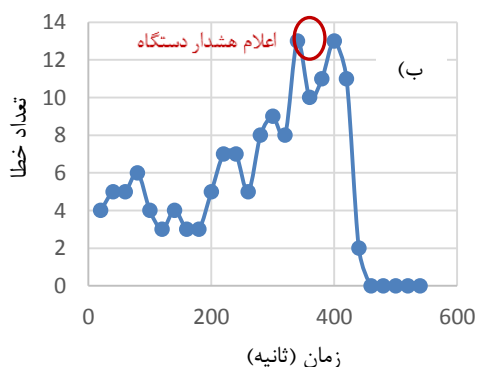
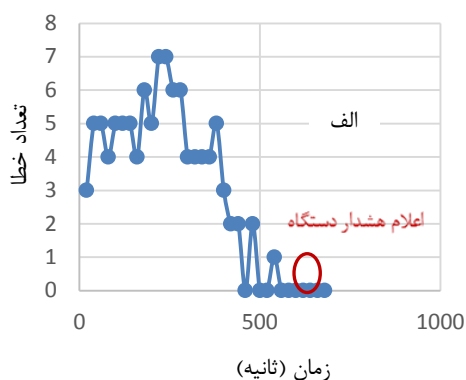


شکل ۹. عملکرد و خروجی دستگاه سمیت‌شناسی آب پس از ورود سم (علف‌کش دلتامترین با غلظت ۰/۴۶ گرم در لیتر) ماهی بارب ببری (ب) ماهی تترا جواهر

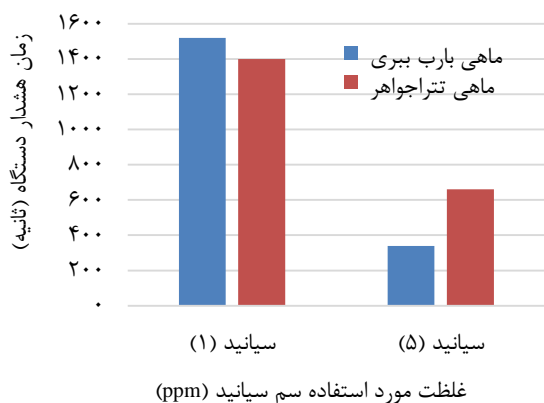


شکل ۱۰. عملکرد و خروجی دستگاه سمیت‌شناسی آب پس از ورود سم (علف‌کش دلتامترین با غلظت ۰/۹۳ گرم در لیتر) ماهی بارب ببری (ب) ماهی تترا جواهر





شکل ۱۴. عملکرد و خروجی دستگاه سمیت‌شناسی آب پس از ورود سم (سیانید با غلظت ۵ppm) (الف) ماهی بارب ببری (ب) ماهی تترا جواهر



شکل ۱۵. مقایسه زمان هشدار دستگاه پس از ورود سم سیانید

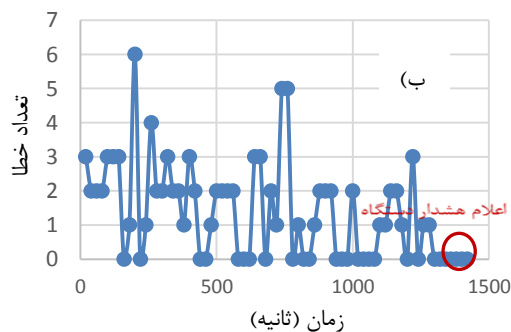
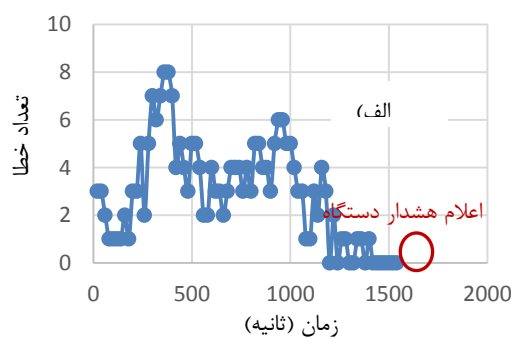
با توجه به نتایج ارائه شده ملاحظه گردید که دستگاه با استفاده از هر دو نوع ماهی بارب ببری و تترا جواهر در برابر غلظت‌های در دسترس سم سیانید، عملکرد مناسب را نشان داد و در خصوص این سم در غلظت ۵ ppm، ماهی بارب ببری عملکرد بهتری جهت استفاده در دستگاه از خود نشان داد و در مدت زمان حدود ۵ دقیقه پس از ورود سم، حرکات ماهی شدیدتر از حد نرمال گردید و دستگاه اعلام هشدار را صادر نمود. با توجه به اینکه در آزمایش‌های سیانید تحقیق حاضر، از غلظت‌های در دسترس سم سیانید استفاده شده است، پیش‌بینی می‌شود که در صورت

دستگاه با استفاده از ماهی بارب ببری قادر خواهد بود در مدت زمان ۲۲۰ ثانیه و با استفاده از ماهی تترا در مدت زمان ۳۶۰ ثانیه اعلام هشدار نماید که این اعداد نشان‌دهنده بیش از دو دقیقه اختلاف در عملکرد دستگاه با استفاده از دو نوع ماهی است و آزمایش با این غلظت نیز نشان‌دهنده کارایی بهتر و دقیق‌تر دستگاه با استفاده از ماهی بارب ببری است. نتایج نشان داد اختلاف زمان اعلام هشدار دستگاه در بیشترین غلظت مورد استفاده برای دو نوع ماهی مختلف، ۴۰ ثانیه و در کمترین غلظت مورد استفاده سم دلتامترین برای دو نوع ماهی مختلف، بیشتر از دو دقیقه است. همچنین طی آزمایش مشاهده گردید که در کمترین غلظت مورد آزمایش، پس از ورود سم به آب، فعالیت ماهی بارب ببری بیشتر تحت تأثیر قرار گرفت و حرکات آن در مدت زمان کمتری دچار شدت بیشتری شد. در صورتی که فعالیت ماهی تترا جواهر در پایین‌ترین غلظت، تحت تأثیر شدید قرار نگرفت و دستگاه هشدار را پس از تلف شدن ماهی صادر نمود به بیان دیگر ماهی پس از مدت ۳۶۰ ثانیه، به آرامی و بدون اینکه حرکات شدید از خود نشان دهد از بین رفت.

۳-۳. عملکرد دستگاه در برابر غلظت‌های مختلف سم

سیانید

در تحقیق حاضر، سم سیانید در دو غلظت مختلف ۱ppm و ۵ppm طی آزمایش‌های جداگانه و با استفاده از دو نوع ماهی بارب ببری و تترا جواهر، جهت بررسی عملکرد دستگاه مورد استفاده قرار گرفت (شکل‌های ۱۳ تا ۱۵).



شکل ۱۳. عملکرد و خروجی دستگاه سمیت‌شناسی آب پس از ورود سم (سیانید با غلظت ۱ppm) (الف) ماهی بارب ببری (ب) ماهی تترا جواهر

- [3] Ryan, C. A.; Nickels, M. K.; Hargrett-bean, N. T.; Potter, M. E.; Endo, T.; Mayer, L.; Langkop, C. W.; Gibson, C.; McDonald, R. C.; Kenney, R. T. "Massive Outbreak of Antimicrobial-Resistant Salmonellosis Traced to Pasteurized Milk"; *Jama*. 1987, 258, 3269-3274.
- [4] Hadi, M.; Mesdaghinia, A. R.; Nasseri, S.; Irvani, E., Askari, M. "A Systematic Review on Drinking Water Resources-Related Studies in Iran: Identification of Research Gaps"; *J. Health Environ*. 2018, 10, 573-594. (In Persian)
- [5] Huxsoll, D. L.; Patrick, W. C.; Parrott, C. D. "Veterinary Services in Biological Disasters"; *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 1988, 190, 714-722.
- [6] Greaves, J.; Wilson, R. S.; Smith, E. H. "Water Quality Early Warning System"; <https://patents.com/us-4626992.html>, 1986.
- [7] Babenviro, <http://www.babenviro.com/>, 2007.
- [8] Emadi, H. "Feed and Feeding of Aquarium Fishes"; *Aquatic Science Publications*: Tehran, 2009 (In Persian).
- [9] Aylward, L. L.; Morgan, M. K.; Arbuckle, T. E.; Barr, D. B.; Burns, C. J.; Alexander, B. H.; Hays, S. M. "Biomonitoring Data for 2, 4-dichlorophenoxyacetic Acid in the United States and Canada: Interpretation in a Public Health Risk Assessment Context Using Biomonitoring Equivalents"; *Environ. Health Persp.* 2009, 118, 177-181.
- [10] Grabinska-Sota, E.; Wiśniowska, E.; Kalka, J. "Toxicity of Selected Synthetic Auxines-2, 4-D and MCPA Derivatives to Broad-leaved and Cereal Plants"; *Crop Prot.* 2003, 22, 355-360.
- [11] Bukowska, B. "Toxicity of 2, 4-Dichlorophenoxyacetic Acid--Molecular Mechanisms Polish"; *J. Environ. Stud.* 2006, 15, 365-374.
- [12] Zeljezic, D.; Garaj-Vrhovac, V. "Chromosomal Aberrations, Micronuclei and Nuclear Buds Induced in Human Lymphocytes by 2, 4-Dichlorophenoxyacetic Acid Pesticide Formulation"; *Toxicology* 2004, 200, 39-47.
- [13] HajiSharafi, G.; Shokouhfar, A. "Replace Herbicide Sugarcanes to Reduce Consumption and Optimal Use of Pesticide in Agro Industrial Sugarcane Khuzestan"; *Crop Physiol.* 2009, 1, 49-57. (In Persian)
- [14] Dube, P. N., Hosetti, B. B. "Modulation in the Protein Metabolism by Subacute Sodium Cyanide Intoxication in the Freshwater Fish, *Labeo Rohita* (Hamilton)"; *Drug Chem. Toxicol.* 2012, 35, 25-31.
- [15] Sarikaya, R.; Yilmaz, M. "Investigation of Acute Toxicity and the Effect of 2, 4-D (2, 4-dichlorophenoxyacetic Acid) Herbicide on the Behavior of the Common Carp (*Cyprinus carpio* L., 1758; Pisces, Cyprinidae)"; *Chemosphere* 2003, 52, 195-201.
- [16] Bahrami, Z.; Alishahi, M.; Javadzadeh, N. "Comparative Acute Toxicity of Two Herbicides, Paraquat and 2,4-Dichlorophenoxy Acetic Acid on *Barbus Xanthopterus*"; *J. Wet. Ecobiol.* 2018, 10, 19-26. (In Persian)
- [17] Sarikaya, R.; Selvi, M. "Investigation of Acute Toxicity of (2, 4-dichlorophenoxy) Acetic Acid (2, 4-D) Herbicide on Larvae and Adult Nile Tilapia (*Oreochromis niloticus* L.)"; *Environ. Toxicol. Pharmacol.* 2005, 20, 264-268.
- [18] Sloman, K. A.; Scott, G. R.; Diao, Z.; Rouleau, C.; Wood, C. M.; McDonald, D. G. "Cadmium Affects the Social Behaviour of Rainbow Trout, *Oncorhynchus Mykiss*"; *Aquat. Toxicol.* 2003, 65, 171-185.
- [19] Xu, J.; Liu, Y.; Cui, S.; Miao, X. "Behavioral Responses of Tilapia (*Oreochromis Niloticus*) to Acute Fluctuations in Dissolved Oxygen Levels as Monitored by Computer Vision"; *Aquacult. Eng.* 2006, 35, 207-217.

استفاده از غلظت‌های بیشتر این سم، مدت‌زمان عملکرد دستگاه نیز کاهش یابد و دستگاه در مدت‌زمان کمتر از ۵ دقیقه ورود آلودگی به آب را تشخیص و عملکرد آن بهتر خواهد بود.

در صورت استفاده از ماهی تتراجواهر در غلظت نامبرده (۵ ppm)، دستگاه پس از گذشت مدت‌زمان ۱۱ دقیقه اعلام هشدار نمود. این نوع ماهی پس از ورود سم، به تدریج حرکاتش آرام و کند گردید تا اینکه پس از گذشت ۱۱ دقیقه بعد از ورود سم، ماهی از بین رفت و دستگاه اعلام هشدار نمود. همان‌طور که در نتایج شکل‌ها واضح است هنگام رویارویی با آب سمی، ماهی تتراجواهر حرکاتش به اندازه ماهی بارب ببری شدید نگردید و دستگاه هشدار لازم را پس از بین رفتن ماهی صادر نمود. در آزمایش غلظت ۱ ppm سم سیانید، حرکات هر دو نوع ماهی نسبت به غلظت ۵ ppm این سم، شدید نگردید و دستگاه با استفاده از هر کدام از دو نوع ماهی، بعد از بین رفتن ماهی‌ها صادر نمود که در این آزمایش ماهی بارب ببری پس از گذشت زمان حدود ۲۵ دقیقه و ماهی تتراجواهر پس از گذشت حدود ۲۳ دقیقه از بین رفتند و دستگاه اعلام هشدار نمود. تاکنون مطالعاتی در مانیورینگ و بررسی پاسخ‌های رفتاری ماهیان انجام گرفته است که نتایج نشان می‌دهد بررسی این تغییرات رفتاری ماهیان روش مناسبی جهت ارزیابی سلامت محیط، حضور آلاینده‌ها و مواد سمی در محیط‌زیست جانور است [۱۸-۱۹].

۴. نتیجه‌گیری

مطالعات انجام گرفته نشان داد که ماهی بارب ببری به دلیل فعالیت و حرکات شدید بهنگام رویارویی با شرایط سمی در مدت‌زمان کمتر، مناسب‌ترین نوع ماهی جهت استفاده در دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی است. همچنین نتایج ارائه شده برای دستگاه سمیت‌شناسی آب با ماهی نشان داد که دستگاه نامبرده قادر به تشخیص اولیه و زودهنگام ورود سم و آلودگی به منابع آب است. این دستگاه، دستگاهی مفید در زمینه پدافند غیرعامل است که با یک سیستم ساده و کمترین هزینه تولید، می‌تواند به‌عنوان یک راهکار مطمئن و منحصر به فرد در شرایط کنونی کشور برای تأمین امنیت ملی، اجتماعی و اقتصادی استفاده شود.

۵. مراجع‌ها

- [1] Mullen, R. K. "Mass Destruction and Terrorism"; *J. Int. Aff.* 1978, 32, 63-89.
- [2] Ranjbar, M. H.; Mardani, M.; Pirayesh, A. "Presenting a Model for Evaluation of the Physical Protection of Critical Installations for Passive Defense against Physical and Sabotage Threats"; *Adv. Defense Sci. Technol.* 2017, 8, 387-398. (In Persian)