

نشانگرهای زیستی: مشخصات و قابلیت‌ها در کاربردهای زیست محیطی

امین حسینی مطلق^۱، قاسم حسینی^{۱*}

^۱ گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی یاسوج، یاسوج، ایران

تاریخ وصول: ۱۴۰۲/۰۹/۱۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷

چکیده

زمینه و هدف: در سال‌های اخیر، آلودگی محیط زیست به انواع آلاینده‌های بیولوژیکی، شیمیایی، سموم و آفتکش‌ها و دیگر ترکیبات سرعت بیشتری گرفته است و به عنوان یکی از مهم‌ترین چالش‌های عصر حاضر به شمار می‌رود. آلاینده‌های مختلف را می‌توان با کمک روش‌های فیزیکی، شیمیایی و یا شاخص‌های زیستی اندازه‌گیری نمود. لذا هدف از این مطالعه تعیین و بررسی مشخصات و قابلیت‌های نشانگرهای زیستی در کاربردهای زیست محیطی بود.

روش بررسی: مطالعه حاضر یک مطالعه مروری است که در سال ۱۴۰۲ انجام شده است، روش‌های مختلف استفاده از موجودات زنده به عنوان یک شاخص در تعیین تغییرات زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی پایش زیستی با جستجو در پایگاه داده‌های PubMed، Google Scholar، Web of Science و Scopus با استفاده از کلید واژه‌های بیواندیکاتور، پایش زیستی، کنترل زیستی، پایش با میکروارگانیسم‌ها، تشخیص زیستی، bioindicator، biological index، biological indicator و biological monitoring در مقالات چاپ شده تا سال ۲۰۲۳ انجام شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان می‌دهد که موجودات زنده بسیاری به عنوان بیواندیکاتور در محیط‌های دریایی به کار گرفته می‌شوند. استفاده از موجودات زنده مختلفی مانند میکروفایتا، کروستاسه‌ها، فیتوپلانکتون‌ها، پروتوزوآ و موجودات زنده بزرگتر مانند: ماهی‌ها، قناری و حشرات در تشخیص و پایش آلاینده‌ها در محیط زیست رایج بوده است. این موجودات به روش‌های مختلفی براساس جنس و گونه می‌توانند به تشخیص یا پایش مداوم حضور آلاینده و تعین سطوح غلظتی آنها در محیط زیست مانند محیط‌های آبی کمک کنند.

نتیجه‌گیری: در پایش زیستی از موجودات زنده ای مانند خزها برای سنجش فلزات سنگین، قزل آلائی قاتل در نه‌های کوهستانی برای ارزیابی دمای آب، قناری در معدن زغال سنگ برای ارزیابی میزان منوکسیدکربن و گاز متان و بسیاری موجودات دیگر که به عنوان بیواندیکاتور شناخته شده‌اند که برای تشخیص اثرات آشفستگی‌ها و استرس‌ها از آنها بهره گرفته می‌شود. این موجودات زنده با مکانیسم‌هایی مانند تجمع زیستی، تغییرات بیوشیمیایی، تغییرات رفتاری و مورفولوژیکی و تغییرات جمعیتی توانایی تشخیص و تعیین مقدار آلاینده‌ها را امکانپذیر می‌کنند.

واژه‌های کلیدی: پایش زیستی، نشانگرهای زیستی، آلودگی محیط زیست، شاخص کیفی

***نویسنده مسئول:** قاسم حسینی، یاسوج، دانشگاه علوم پزشکی یاسوج، گروه بهداشت محیط

Email: ghhassani64@gmail.com

"نشریه علمی پژوهشی ارمغان دانش وابسته به دانشگاه علوم پزشکی یاسوج، یک نشریه با دسترسی آزاد است و تمامی مقالات منتشر شده در این نشریه به صورت دسترسی آزاد منتشر می‌شوند."

مقدمه

در سال‌های گذشته عوامل مختلفی مانند افزایش جمعیت، استفاده از سموم و آفت‌کش‌ها در کشاورزی مدرن، استخراج روزافزون از معادن، صنعتی شدن و دفع غیربهداشتی انواع پسماندهای جامد، مایع و گازی باعث افزایش میزان آلاینده‌ها در محیط زیست شده است، که این آلاینده‌ها باعث کاهش کیفیت آب، آلودگی رودخانه‌ها، نفوذ آلودگی به گیاهان و در نهایت ورود به چرخه غذایی انسانها شده است (۱-۳). رشد جمعیت انسانی و فناوری و استفاده از منابع طبیعی، چرخه عمده زیستی زمین را تغییر داده است و نیز گونه‌های بسیاری از جمعیت‌های ژنتیکی مجزا در بوم سازگان زمین نابود شده‌اند (۳). بسیاری از این تغییرات، قابل توجه هستند و به خوبی با تغییرات جهانی آب و هوا سنجیده می‌شوند. همچنین باعث زیان‌های غیرقابل برگشت به تنوع زیستی نیز می‌شوند. انتشار آلاینده‌های محیط زیست به طور عمده از منابع مربوط به پیدایش و تکامل انسان، به تنزل کیفیت آب، خاک و هوا منجر شده است (۴ و ۵). میزان آلودگی منابع مختلف در اثر آلاینده‌های مختلف را می‌توان با کمک روش‌های فیزیکی، شیمیایی و یا شاخص‌های زیستی اندازه‌گیری نمود و با استفاده از شاخص‌های متداول ارایه شده به وسیله منابع و مراجع مختلف از جمله شاخص‌های شیمیایی مانند اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، اکسیژن مورد نیاز شیمیایی (COD) یا شاخص‌های فیزیکی مانند میزان جامدات کل (TS) و کدورت یا

ترکیب تعدادی از شاخص‌های فیزیکی و شیمیایی و بیولوژیکی در کنار هم کیفیت آب را گزارش نمود (۶). طی سال‌های اخیر پژوهش‌های زیادی بر روی استفاده از عوامل بیولوژیکی مختلف در تشخیص آلودگی‌ها به جای عوامل شیمیایی یا شاخص‌های مختلف کیفی انجام شده است و منجر به توسعه علمی به نام پایش زیستی شده است. پایش زیستی، اطلاعات مربوط به کیفیت محیط زیست و یا تغییرات آن را فراهم می‌کند، که به عنوان جایگزینی برای نظارت بر آلاینده‌های شیمیایی استفاده می‌شود.

بیواندیکاتورها از علم سم شناسی محیط گرفته شده است و به عواملی اطلاق می‌شود که می‌توانند در جهت آشکارسازی آلودگی محیط زیست به آلاینده‌های مختلف مورد استفاده قرار بگیرند (۷). در پایش زیستی عموماً میکروارگانیسم‌ها برای تعیین کیفی و کمی آلاینده‌ها استفاده می‌شوند و به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱- میکروارگانیسم‌های حساس به یک آلاینده و ۲- تجمع‌کننده‌های یک آلاینده خاص. عوامل پایش زیستی حساس گروهی از موجودات زنده هستند که به غلظت خاصی از یک ترکیب یا عامل واکنش مشخصی مانند کاهش شدید رشد، تغییرات ظاهری و یا مورفولوژیکی و یا مرگ نشان می‌دهند و معمولاً به عنوان یک عامل هشداردهنده برای پیشگیری از آلودگی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۸). بیواندیکاتورهای تجمعی دارای توانایی ذخیره یک آلاینده در بافت‌های خود هستند و معمولاً برای اندازه‌گیری کمی و تجمعی غلظت آلاینده‌های مختلف

روش بررسی

در این مطالعه مروری که در سال ۱۴۰۲ انجام شده است، روش‌های مختلف استفاده از موجودات زنده به عنوان یک شاخص در تعیین تغییرات زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی پایش زیستی با جستجو در پایگاه داده‌های PubMed، Google Scholar، Web of Science و Scopus با استفاده از کلید واژه‌های بیواندیکاتور، پایش زیستی، کنترل زیستی، bioindicator، biomonitoring، monitoring by microorganism، biological index، detection و biological indicator در مقالات چاپ شده تا سال ۲۰۲۳ انجام شده است.

برای انجام مطالعه ابتدا با استفاده از جست و جوی کلمات کلیدی در بانک‌های اطلاعاتی مختلف، مقالات چاپ شده مرتبط با موضوع تا سال ۲۰۲۳، غربال و مورد بررسی قرار گرفتند و غربالگری براساس موضوع مرتبط و عناوین مشابه مقالات با هدف این مطالعه انجام شده است. مبنای انتخاب مقالات نهایی، مرتبط بودن عنوان یا چکیده مقاله به موضوع مطالعه که بررسی مشخصات و قابلیت موجودات زنده در زمینه پایش زیستی و تشخیص و تعیین آلاینده‌ها در محیط زیست، بوده است. پس از غربالگری و انتخاب مقالات نهایی، به بررسی انواع موجودات زنده رایج در استفاده به عنوان یک شاخص زیست محیطی در شناسایی آلاینده‌ها و تعیین مقدار آنها و همچنین مشخصات و مکانیسم‌های مختلف

مورد استفاده قرار می‌گیرند. تجمع‌پذیری در اثر فرآیندهای تعادل بین موجود زنده و محیط زنده اطراف آنها، جذب و دفع ترکیبات از به محیط اطراف صورت می‌گیرد(۹).

گونه‌های مختلفی از میکروارگانیسم‌ها به عنوان بیواندیکاتور برای شناسایی ترکیبات مختلف در محیط‌های گوناگون مانند؛ هوا، آب و خاک استفاده می‌شوند. تعداد زیادی از فلزات، فلزات سنگین، مواد سمی، ترکیبات آلی و معدنی در بدن موجودات زنده تجمع می‌یابد و به زنجیره غذایی دیگر موجودات زنده وارد می‌شوند. این ورود به زنجیره غذایی اثرات مضر می‌مانند؛ افزایش چربی، ایجاد متابولیسم‌های ناقص در بدن مصرف کننده، اثرات ضدایمنی، عوارض بهداشتی و نقص در ارگان‌های مختلف بدن موجودات زنده می‌گردد. پایش و کنترل غلظت آلاینده‌های مختلف به وسیله موجودات زنده از موضوعات مورد توجه در مهندسی بهسازی و علوم زیست محیطی می‌باشد.

فلزات در محیط‌های آبی در اثر فرسایش طبیعی خاک، سنگ‌ها، ورود فاضلاب‌های حاوی فلزات، تخلیه عمدی پساب‌ها افزایش می‌یابند و این افزایش غلظت در صورتی که تحت نظارت و پایش قرار نگیرند، باعث ایجاد عوارض مختلف در اکوسیستم آبی و مصرف کنندگان آن می‌شود. لذا هدف این مطالعه تعیین و بررسی مشخصات و قابلیت‌های نشانگرهای زیستی در کاربردهای زیست محیطی بود.

کارکرد آنها در محیط‌های مختلف در مقالات نهایی پرداخته شده است.

یافته‌ها

اولین پژوهش‌ها بر روی پایش زیستی از اوایل دهه ۱۹۶۰ شروع شد. در این دوره معمولاً از قارچ‌ها به عنوان یک میکروارگانیسم رایج در پایش و کنترل بعضی آلاینده‌ها در محیط‌های گوناگون مانند آب و هوا استفاده می‌شد. بعد از این دوره استفاده از دیگر عوامل بیولوژیکی مانند؛ حشرات، پروتوزوا، میکروفایتا، زئوپلانکتون‌ها و کروستاسه‌ها برای پایش آلاینده‌های مختلف، مفهوم پایش زیستی را توسعه بخشید و به عنوان یک شاخه جدید در بین مهندسين بهسازی، میکروبیولوژیست‌ها و علوم وابسته به محیط زیست، مورد توجه قرار داد (۱۰). انواع روش‌های کلی استفاده از بیواندیکاتورها در شکل ۱ نشان داده شده است.

از این بیواندیکاتورها به منظور شاخص استفاده می‌شود چون؛ ۱- به استرس‌های فیزیکی در محیط سریعاً واکنش نشان می‌دهند، ۲- در محیط به وفور مشاهده می‌شوند، ۳- شناسایی آن‌ها با کلید شناسایی به سرعت انجام می‌شود و ۴- نسبت به آلودگی‌های شیمیایی و فیزیکی بسیار حساس هستند.

امروزه موجودات بسیاری به عنوان بیواندیکاتور در محیط‌های دریایی به کار گرفته می‌شوند. خزها برای سنجش فلزات سنگین، قزل آلائی قاتل در نه‌های کوهستانی برای ارزیابی دمای آب،

قناری در معدن زغال سنگ برای ارزیابی میزان منوکسیدکربن و گاز متان و بسیاری موجودات دیگر که به عنوان بیواندیکاتور شناخته شده‌اند که برای تشخیص اثرات آشفته‌گی‌ها و استرس‌ها از آنها بهره گرفته می‌شود. از گیاهان آبرزی نیز به عنوان بیواندیکاتور جهت تعیین کیفیت و پالایش اکوسیستم‌های آبی استفاده می‌شود (۱۲ و ۱۱). یک گونه از درخت حرا به عنوان یک بیواندیکاتور برای ارزیابی آلودگی‌های نفتی در اکوسیستم‌های ساحلی در معرض تهدید آلاینده‌ها به کار گرفته می‌شود (۱۳). دیاتومه‌ها نیز یکی دیگر از شاخص‌های بیولوژیکی جهت بررسی کیفیت آب رودخانه‌ها می‌باشند (۱۴). به علاوه نماتودها نیز به عنوان بیواندیکاتور برای ارزیابی زیستگاه‌های دریایی و آب شیرین به کار گرفته می‌شوند. فرامینیفرا تک یاخته‌ای هستند که به عنوان بیواندیکاتور برای سنجش فلزات سنگین به کار می‌روند (۱۵). باکتری‌ها نیز به عنوان بیواندیکاتور به کار می‌روند، آنها آلودگی‌های فلزات را از محیط زیست خود گرفته و در بافت خود ذخیره می‌کنند. باکتری‌ها این توانایی را دارند که غلظت‌های بالای فلزات سنگین را در سیتوپلاسم بین سلولی ذخیره کنند، همچنین می‌توانند فلزات سنگین را در فضای خارجی ماتریس سلولی ته نشین کنند (۱۶).

کاربرد بیواندیکاتورها؛ ۱- ارزیابی غلظت آلاینده‌های مختلف در محیط، یکی از عمده‌ترین کاربردهای عوامل زیستی استفاده از آنها جهت سنجش حضور و همچنین غلظت آلاینده‌های مختلف در محیط زیست می‌باشد. استفاده از عوامل مختلف

در پساب‌های مختلف جهت تشخیص حضور فلزات سنگین یک نمونه بارز از این نوع کاربرد می‌باشد. در آب‌های مختلف بسته به کیفیت آنها، عوامل بیولوژیکی مختلفی قابلیت رشد دارند به عنوان مثال در آب‌های تمیز خرچنگ پتاموناتس وارینی، به عنوان یک اندیکاتور مناسب جهت تشخیص آلودگی منگنز به کار می‌رود (۱۶).

بر اساس ارزیابی غلظت آلاینده‌های مختلفی مانند؛ سرب، روی و کادمیوم در بقایای گیاهی، بی‌مهرگان و ماهی‌های موجود در منبع آبی، آلودگی آب بخش شمالی رودخانه می‌سی‌سی‌پی در اثر ورود پساب‌های ناشی از معادن سرب و معادن غیرفلزی نزدیک به این رودخانه، تشخیص داده شد (۱۷). سنجش غلظت فلزات سرب، کادمیوم و روی در بدن اسکافارسا سابکرناتا در دریای زرد چین نشان از این دارد که آب این ناحیه که دارای آلودگی بالایی بوده است، در طی سال‌های ۱۹۹۰ تا ۱۹۹۷ کاهش قابل ملاحظه‌ای در غلظت این آلاینده‌ها در اثر اجرای برنامه حفاظت از رودخانه‌های چین را تجربه کرده است (۱۸).

۲- احیاء زیستی، استفاده از عوامل مختلف زیستی جهت تجمع آلاینده‌های مختلف در محیط‌های گوناگون، به عنوان یک روش مناسب، ولی زمان‌بر جهت کاهش آلودگی پیشنهاد شده است. به عنوان مثال جلبک‌ها در محیط‌های مختلفی از آب‌های شور و حتی فاضلاب‌های آلوده به پساب مواد رادیواکتیو قابلیت رشد دارند، به همین دلیل از جلبک‌ها به عنوان ابزاری جهت کاهش غلظت اورانیوم و دیگر

رادیونوکلوئیدهای آن در فاضلاب‌های آلوده به مواد رادیواکتیو، استفاده شده است (۱۹). استفاده از فرآورده‌های مختلف بیولوژیکی جهت تصفیه فاضلاب‌های گوناگون نیز نمونه دیگری از استفاده از عوامل زنده جهت کاهش و حذف آلودگی از محیط می‌باشد.

عوامل مورد استفاده در پایش زیستی؛ روش عمده جهت انجام پایش زیستی استفاده از عوامل بیولوژیکی مختلف می‌باشد. تعداد زیادی از پژوهش‌های انجام شده بر روی پایش زیستی فلزات، از عوامل بیولوژیکی مانند؛ گیاهان، بی‌مهرگان، ماهی‌ها و موجودات میکروسکوپی استفاده کرده‌اند. برای پایش آلودگی آب‌ها به انواع آلودگی‌ها مانند؛ ترکیبات شیمیایی، فلزات سنگین و غیره استفاده از عواملی چون؛ فیتوپلانکتون‌ها، حشرات، ملوسک‌ها، ماهی‌ها و گیاهان رایج‌تر می‌باشد (۲۰ و ۲۱). در این محث به معرفی عوامل بیولوژیکی که استفاده بیشتری به عنوان بیواندیکاتور برای آلاینده‌های مختلف مانند فلزات سنگین، سموم و آفت‌کش‌ها و ترکیبات آلی دارند، پرداخته می‌شود.

۱- حشرات، حشرات زیادی در و یا در اطراف محیط‌های آبی زندگی می‌کنند که می‌توانند به عنوان یک عامل در پایش فلزات مختلف مورد استفاده قرار بگیرند. پژوهش‌های جدید در زمینه استفاده از حشرات به عنوان بیواندیکاتور در محیط‌های آبی به وسیله بوآندا و همکاران صورت گرفته است که در این مطالعه دوازده خصوصیت بر اساس خاصیت

تطابق‌پذیری و عملکرد حشرات برای یک حشره ایده-آل جهت پایش زیستی معرفی گردیده است (۲۲ و ۲۳). آنالیزهای مختلف بر روی کادمیوم به وسیله حشره سنجاک دم آبی و زنبور در نمونه‌های آبی محیطی نشان از این دارد که این حشره دارای توانایی ویژه‌ای جهت تجمع کادمیوم در محیط آبی اطراف خویش می‌باشد. بررسی‌ها در دریاچه دانگو چین توانایی این حشره جهت تجمع زیستی سرب را نیز اثبات کرده است (۲۴). مگس هارلکین در محیط‌های حاوی کادمیوم توانایی رشد و تولید و مثل را دارا می‌باشد که نشان از عدم خاصیت سمیت این عنصر برای این گونه از حشرات می‌باشد (۲۵). فلزات سنگین موجود در ته نشست‌ها به طور محسوسی باعث افزایش HSP70 (نوعی پروتئین موجود در بدن موجودات زنده که از سلول‌ها در مقابل استرس و شوک حرارتی محافظت می‌نماید)، می‌گردد (۲۶). لاروهای مگس اژدها و مورچه می‌توانند به عنوان یک بیواندیکاتور مناسب برای فلزات مختلف مانند آهن، منگنز، نیکل و سرب مورد استفاده قرار گیرند، قابلیت تجمع‌پذیری این گونه فلزات در بدن این حشرات به وسیله نومیلین و همکاران اثبات شده است (۲۷).

۲- کروستاسه‌ها، دافنیا به عنوان یکی از اعضای شناخته شده از گروه کروستاسه‌ها، به عنوان یک بیواندیکاتور با قابلیت حساسیت بالا نسبت به آلاینده‌های مختلف مانند فلزات سنگین و حشره کش‌ها در محیط‌های گوناگون مورد استفاده قرار گرفته است. واکنش‌های مشخص این گونه در برابر

آلاینده‌های مختلف شامل؛ تغییرات رشد، نقص در تولید مثل، تغییرات رفتاری و مورفولوژیکی و نقص در عملکردهای بیولوژیکی می‌باشد. تست سمیت دافنیا به عنوان یک روش جهانی ارزیابی کیفیت آب در سرتاسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲۸). خاصیت نورجذبی دافنیا مگنا در مواجهه با مس و کادمیوم به سرعت کاهش می‌یابد. حداقل غلظت محدود کننده برای دافنیا کاریناتا برای مواجهه با مس دوز ۰/۰۵۶ میلی‌گرم در لیتر در زمان تماس سه ساعته و دوز کشنده (LC50) کمتر از ۰/۰۳۱ میلی‌گرم در لیتر برای مدت زمان ۲۴ ساعت می‌باشد (۲۹).

آرتمیا نیز به طور وسیعی در آب‌های شور دنیا پراکنده شده است. پژوهش‌های مختلف استفاده از این گونه را جهت تشخیص سمیت، اثبات کرده‌اند و استانداردهای کاربردی برای این تست مورد تأیید و مباحثه قرار گرفته است. تست سمیت آرتمیا شامل دو نوع می‌باشد: سطح مسمومیت و سطح کشندگی. روش پایش بیولوژیکی با استفاده از آرتمیا نیاز به تجهیزات ساده‌ای دارد و به آسانی قابلیت کاربرد دارد (۳۰).

۳- پروتوزوا، پروتوزوا یکی از مهم‌ترین اجزاء موجود در بستر مواد غذایی موجود در محیط‌های آبی می‌باشد و از بسیاری از مواد غذایی موجود در این محیط‌ها استفاده می‌نماید. تجهیزات و روش نمونه‌برداری ساده‌ای جهت انجام کارهای پایش زیستی با استفاده از پروتوزوا نیاز می‌باشد. به خاطر اختلاف گونه‌ها، خصوصیات مورفولوژیکی و نوع

متابولیسم، پروتوزوآها گونه‌های مهمی جهت استفاده به عنوان یک بیواندیکاتور می‌باشند. به دلیل نرخ تولید مثل بالا، این نوع از میکروارگانیسم‌ها قابلیت سنجش سمیت آلاینده‌های مختلف در مدت زمان کوتاهی در زمان رشد، انجام متابولیسم و دیگر فرآیندهای بیوشیمیایی انجام شده در بافت خود را دارا هستند. تعداد زیادی از پروتوزوآها در آب‌های دنیا پراکنده هستند و به شرایط محلی حساسیت زیادی ندارند. تعداد ۱۰۸ گونه در دریاچه لونی در ایرلند، ۱۲۸ گونه در دریاچه استکلین آلمان و تعداد زیادی در آب‌های چین یافت شده‌اند (۲۱).

۴- مایکروفاایتا، گیاهان و جلبک‌هایی که در آب دریاچه ناینیتال هند رشد می‌کنند، میزان قابل توجهی از فلزات را در خود ذخیره می‌کنند، در بین این موجودات گونه بید سفید نسبت به دیگر گونه‌ها، قابلیت بالاتری در جذب فلزات دارد. این گونه قابلیت پایش زیستی فلزاتی همچون؛ کروم، مس، آهن، منگنز، نیکل، سرب و روی و مخصوصاً آهن، سرب و نیکل را در غلظت‌های محدود کننده بالاتری دارا هستند. در پژوهش‌های انجام شده، خز آبی در آب‌های با غلظت بالای کادمیوم و روی قابلیت رشد و انجام پایش زیستی فلزات سنگین را دارا هستند (۲۲). تفاوت قابل ملاحظه‌ای در تجمع زیستی فلزات سنگینی نظیر مس، روی و نیکل در بافت‌های گیاهی نظیر ریشه نسبت به دیگر بافت‌ها وجود دارد (۲۳).

۵- جلبک‌ها، جلبک‌های آبزی به خوبی در محیط‌های آبی مختلف حتی آب‌های شور رشد می‌کنند

و نقش مهمی در ایجاد تعادل در این اکوسیستم‌های آبی دارند. گونه جلبک موجود و همین‌طور میزان آنها به خوبی نشان دهنده کیفیت آب مورد نظر هستند. فلزات سنگین باعث ایجاد نقص در متابولیسم و عملکرد بیولوژیکی طبیعی جلبک‌ها می‌گردند. اثرات مضر ایجاد شده شامل؛ تغییر الگوی فتوسنتز، کاهش سیتوکروم، جهش سلولی، مردگی بافت و حتی مرگ می‌باشد. علاوه بر این فلزات سنگین می‌توانند در بافت این موجودات تجمع کنند و به زنجیره غذایی وارد شوند و به تهدیدی برای سلامت مصرف کنندگان، حیوانات و بهداشت انسان‌ها تبدیل شوند. نوع و سطح آلودگی آب‌ها می‌تواند با نوع، میزان، عکس العمل‌های فیزیولوژیکی و بیولوژیکی و باقیمانده جلبک‌ها به درستی مشخص شود.

توانایی تجمع کنندگی به عنوان یک خصوصیت در جلبک‌ها جهت پایش زیستی برای حذف و ذخیره‌ی فلزات سنگین کاربرد دارد که استفاده از آنها برای تشخیص آلودگی و تصفیه فاضلاب‌های مختلف را ممکن ساخته است (۲۴).

۶- ماهی‌ها، ماهی‌ها از عمده‌ترین موجودات قابل استفاده در پایش زیستی آلاینده‌های مختلف می‌باشند. پژوهش‌های زیادی استفاده از ماهی‌ها به عنوان یک ابزار مناسب جهت پایش زیستی آلاینده‌های مختلف را پیشنهاد داده‌اند (۳۶ و ۳۵). عواملی که استفاده از ماهی‌ها به عنوان یک بیواندیکاتور را میسر ساخته است شامل؛ طول بدن یا اندازه بزرگ بدن، طول عمر بالا و قابلیت تحرک بالاتر می‌باشد.

گونه‌های مهم ماهی قابل استفاده در پایش زیستی عموماً در لایه‌های بالایی منابع آبی زندگی می‌کنند. در اوایل دهه ۱۹۹۰، تست‌های کشندگی آلاینده‌ها بر روی ماهی‌ها جهت پایش زیستی در آلودگی آب‌های شور و دریاچه‌ها آغاز شد و به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت. پاسخ‌های رفتاری ماهی در مقابل آلاینده‌ها به دقت تحت کنترل قرار گرفت و روش‌های مناسب پایش و ارزیابی ارائه گردید (۳۸ و ۳۷).

۷- دیگر عوامل، Gastropod نوعی از ملوسک‌ها می‌باشد که شباهت زیادی به صدف‌های دوکفه‌ای و خرچنگ‌ها دارد. این موجودات پلی فاژ و عموماً کفزی هستند و از تخم ماهی تغذیه می‌کنند. تست مواجهه شبیه‌سازی شده نشان از این دارد که این موجودات می‌توانند به عنوان یک بیواندیکاتور مناسب برای سمیت و در دسترس‌پذیری زیستی سموم، آفت-کش‌ها و فلزات سنگین به کار برده شوند (۳۹).

موجودات دیگری نظیر؛ شیر دریایی، عروسک دریایی، باکتری‌های آبزی نیز می‌توانند به عنوان یک بیواندیکاتور مناسب جهت آلاینده‌های مختلف مورد استفاده قرار بگیرند (۴۰).

تقسیم‌بندی روش‌های پایش زیستی؛ ۱- تجمع زیستی (Bioaccumulation)، تجمع زیستی فرآیندی است که طی آن مواد شیمیایی به بافت‌های سلولی میکروارگانیسم‌ها می‌رسد و در آنجا تجمع می‌کند (شکل ۲). این افزایش غلظت مواد شیمیایی در بدن موجودات زنده می‌تواند مورد آنالیز قرار گیرد و نسبت به شرایط بدون آلودگی مورد مقایسه قرار

گیرد تا از آلودگی و میزان آن کسب اطلاع کرد. فرآیند تجمع زیستی شامل؛ جذب، ذخیره و حذف می‌باشد. به عنوان مثال در یک آزمایش صدف پوست نرم به عنوان بیوسنسور حساس به بوتیلین در محیط آلوده قرار گرفت. نتایج حاصل از آنالیز نشان می‌دهد که این گونه توانایی زیادی در جذب بوتیلین از محیط‌های آلوده دارد (۴۱).

۲- تغییرات بیوشیمیایی، با توسعه علم میکروبیولوژی دانشمندان با استفاده از رابطه بین آلاینده‌ها و ماکرومولکول‌ها مانند؛ پروتئین، آنزیم و نوکلئیک اسیدها توانستند مکانیسم‌های ایجاد شده در اثر ورود به بدن موجودات زنده را روشن کنند. نشانه‌های بیولوژیکی مختلفی مانند؛ تغییرات میزان ملاتونین، شوک‌های اکسید کننده، پاسخ‌های سمیتی و دفاعی از تغییرات ایجاد شده در اثر ورود آلاینده‌های مختلف به بدن موجودات زنده می‌باشد (۴۲). MTS یک فاکتور است که برای فرآیند هموستاز ضروری می‌باشد و برای انجام فرآیند به میزان خاصی از مس و روی نیاز دارد. تغییرات غلظت این دو عنصر در محیط باعث تغییرات خاص بر روی این فاکتور می‌شود و انجام فرآیند را با مشکل مواجه می‌کند (۴۳).

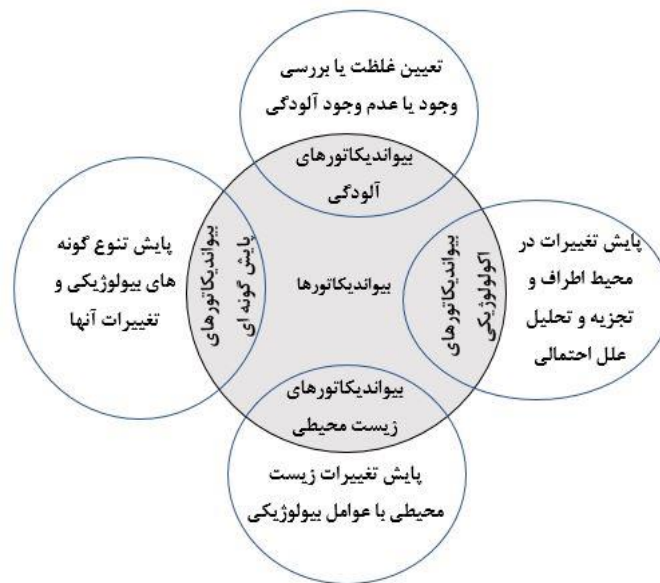
۳- تغییرات رفتاری و مورفولوژیکی، مشاهدات رفتاری و مورفولوژیکی می‌تواند به صورت مستقیم مواجهه ارگانیسم‌ها با مواد سمی را نشان دهد. در این روش از روش‌های گوناگونی می‌توان به مواجهه آلاینده با ارگانیسم‌ها پی برد، از جمله تغییرات تولید مثل و تغییرات ظاهری در ارگانیسم‌ها را نام برد.

۴- مشاهدات تغییرات جمعیتی و اجتماعات، موجودات زنده در مقابل غلظت‌های مختلف آلاینده‌ها واکنش‌های متفاوتی از خود نشان می‌دهند. کاهش جمعیت میکروارگانیسم‌ها یکی از تغییراتی است که در محیط زیست در واکنش به آلاینده‌های مختلف دیده می‌شود. پایش جمعیت یا تراکم جمعیتی ارگانیسم‌های مختلف در واحد سطح یا حجم از محیط زیست می‌تواند به عنوان یکی از روش‌های مختلف پایش زیستی با استفاده از بیواندیکاتورها مورد توجه قرار گیرد و در پژوهش‌های زیست محیطی به خصوص پژوهش‌هایی که هدف آنها پایش مداوم تغییرات زیست محیطی در یک منطقه یا فضا می‌باشد، می‌تواند روش کارآمدتری باشد (۴۵ و ۴۴).

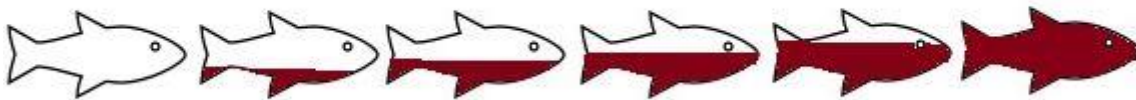
۵- مدلسازی پایش زیستی، بر اساس مشاهدات تجربی و نتایج به دست آمده می‌توان مدل‌های مختلفی را جهت فهم بیشتر فرآیندهای پایش از جمله تجمع زیستی توسعه داد (۴۷ و ۴۶).

۴- مزایا و معایب بیواندیکاتورها، تشخیص حضور و مقدار آلاینده‌های مختلف در محیط زیست یکی از اولویت‌های مهم در علوم زیست محیطی است. روش‌های پایش زیستی به دلیل قدمت بالایی که دارند در طی دهه‌های اخیر توجه و اقبال بیشتری را متوجه خود دیده‌اند. مزایای بسیاری در مورد استفاده از این روش‌ها در کنوانسیون‌ها و قراردادهای بین‌المللی ارایه شده است. برخی از مزایای عمده‌ای که برای

استفاده از روش‌های زیستی برای تشخیص آلاینده‌ها ذکر شده است، شامل موارد زیر می‌باشد؛ ۱- برای تشخیص آلاینده‌های در محیط‌های مختلف مانند آب و فاضلاب روش‌های آنالیز دستگاهی مختلف و گاهی پیشرفته‌ای نیاز است، ولی در روش ارزیابی زیستی آلاینده‌ها یک نشانگر بیولوژیکی به راحتی و بدون نیاز به تجهیزات خاصی می‌تواند حضور یا عدم حضور آلاینده را تشخیص دهد. ۲- پرورش و تولیدمثل کنترل شده موجودات زنده برای تشخیص آلاینده‌های هدف عمدتاً با هزینه اندکی امکان‌پذیر است که به توسعه روش پایش زیستی کمک می‌کند. ۳- سطح حساسیت موجودات زنده نسبت به بسیاری از آلاینده‌ها بالا می‌باشد و نسبت به مقادیر اندک آلاینده‌ها مانند؛ سموم، آفت کش‌ها، فلزات سنگین و ترکیبات آلی واکنش نشان می‌دهد که برای پایش مقدماتی مواجهه انسانی روش مطمئن‌تری می‌باشد. ۴- سرعت پاسخ بسیاری از موجودات زنده نسبت به آلاینده‌ها بالا می‌باشد که در مواقعی که انجام سریع و فوری یک فرآیند اولویت دارد، این روش می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. ۵- برای بسیاری از آلاینده‌ها، روش پایش زیستی، یک روش مناسب است و به دلیل پاسخ موجودات زنده نسبت به طیف گسترده‌ای از عوامل و آلاینده‌ها، امکان استفاده از این روش نیز ممکن است.



شکل ۱: انواع روش های کلی پایش زیستی



شکل ۲: تجمع زیستی در بافت ماهی

بحث

روش ها، دسترسی دایم به این دستگاه ها وجود ندارد، لذا استفاده از روش های با هزینه کمتر و دسترس پذیری بالاتر در طی سالیان گذشته مورد توجه قرار گرفته است. استفاده موجودات زنده به عنوان یک راهکار تشخیص سریع، قابل اعتماد و با دقت بالا

روش های مختلفی جهت تشخیص و تعیین غلظت آلاینده ها در محیط زیست مورد استفاده قرار گرفته اند که عمده این روش ها مبتنی بر روش های آنالیز دستگاهی می باشد که علاوه بر هزینه بالای این

اعتماد در پژوهش‌های مختلفی مورد بررسی قرار گرفته است. لذا هدف از این مطالعه، تعیین قابلیت‌ها و مشخصات موجودات زنده مختلف در تشخیص و تعیین مقدار آلاینده‌های مختلف در محیط زیست به خصوص محیط‌های آبی، خاکی و هوا بوده است.

افزایش روزافزون انواع آلاینده‌ها در محیط‌های آبی و منابع کشاورزی با ترکیباتی مانند؛ سموم، آفت‌کش‌ها، بقایای دارویی، فلزات سنگین خروجی از صنایع و وسایل مورد استفاده در زندگی روزمره، بقایای داروهای حیوانی و نیز داروهای ضد میکروبی مقاوم، پژوهشگران علوم زیستی و همچنین بسیاری از متخصصین علوم زیست محیطی، بیوشیمی و بیوتکنولوژی را به سمت مطالعه و پایش آلاینده‌ها با هدف کاهش غلظت آنها در جهت حفاظت از محیط زیست سوق داده است (۳)، به علاوه این محققین را بر آن داشته که فناوری‌های تشخیص و ردیابی سریع، دقیق و حساس با هزینه قابل قبول و مقرون به صرفه را توسعه داده و این روش‌ها را کاربردی نمایند تا بتوان به شکل ساده‌تر و مناسب‌تری از آنها استفاده نمود (۸). شاخص‌های بیولوژیکی یکی از ابزار مؤثر و کاربردی در تشخیص سریع و کارآمد آلاینده‌های مختلف در نمونه‌های آب، خاک و منابع غذایی می‌باشد (۶). به همین دلیل توسعه فناوری پایش زیستی با استفاده از بیواندیکاتورها می‌تواند اطلاعات مفیدی در شناسایی، پالایش و حذف آلاینده‌های محیط زیستی بویژه آلاینده‌های خروجی از صنایع مختلف، مراکز ارایه خدمات بهداشت و سلامت،

سموم و آفت‌کش‌های مورد استفاده در کشاورزی و باغبانی و دیگر ترکیبات آلی و غیرآلی تخلیه شده به محیط‌های آبی و هوا را فراهم آورد (۳۰ و ۱۰).

بیواندیکاتورها نیز مانند دیگر روش‌های پایش محیط زیست دارای محدودیت‌ها و معایبی نیز هستند که در استفاده از آنها باید مورد توجه قرار بگیرند، از جمله؛ استفاده از روش‌های بیولوژیکی در تشخیص آلاینده‌ها، قوانین و رهنمودهای اخلاق در پژوهش‌های زیستی می‌باشد که استفاده از برخی از گونه‌های گیاهی و به خصوص جانوری را در محیط‌های آلوده محدود می‌کنند، استفاده از عوامل زیستی به عنوان نشانگر آلودگی‌های زیست محیطی تأثیر هم‌زمان پارامترهای دیگری به جز آلاینده هدف بر روی متابولیسم یا جمعیت بیواندیکاتور می‌باشد به عنوان مثال استفاده از قناری در معادن برای تشخیص گازهای دی اکسیدکربن و متان از قدیم‌الایام رواج داشته است، ولی علاوه بر گازهای هدف عوامل دیگری مانند استرس، تغییرات دمایی، فشار و رطوبت نیز می‌تواند باعث ایجاد پاسخ در قناری گردد، عدم امکان تعمیم نتایج یا پاسخ شاخص زیستی نسبت به آلاینده به دیگر موجودات زنده در آن محیط است. مثلاً یک بیواندیکاتور مهره‌دار بزرگ ممکن است سطح پاسخ یا حتی نوع پاسخ متفاوتی نسبت به دیگر موجودات زنده بزرگ‌تر یا کوچک‌تر در مقابل یک آلاینده از خود نشان دهد که تصمیم‌گیری یا مدیریت منبع آلاینده یا روش حذف منبع آلودگی را دچار مشکل کند، روش‌های بیولوژیکی تشخیص آلاینده‌ها،

می‌باشند که این امر می‌تواند باعث تشخیص نادرست آلاینده گردد.

نتیجه‌گیری

باتوجه به این که روش‌های مختلفی برای تشخیص و تعیین غلظت آلاینده‌ها در محیط زیست مورد استفاده قرار می‌گیرند، سرعت و دقت در تشخیص، بیشتر مورد توجه محققین و سازمان‌ها قرار گرفته است. روش تشخیص زیستی یا پایش زیستی یکی از سریع‌ترین و دقیق‌ترین روش‌ها در بین این روش‌هاست. در پایش زیستی با استفاده از مکانیسم‌های پاسخ خاص در بدن موجودات زنده تشخیص و تعیین غلظت آلاینده‌ها امکان‌پذیر می‌شود. نتایج این مطالعه مروری بر استفاده از عمده‌ترین رایج‌ترین موجودات زنده مورد استفاده در پایش زیستی بوده است که با استفاده از روش‌های مختلف در تعیین آلودگی‌های زیست محیطی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان این پژوهش بر خورده لازم دانستند از همکاری معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی یاسوج و مدیریت اطلاع رسانی پزشکی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه که ما را در انجام این پژوهش یاری نمودند، صمیمانه تشکر نمایند.

قوانین حفاظت از گونه‌های خاص یا نادر و در معرض انقراض است که حتی در صورت پاسخ سریع و مناسب نسبت به یک آلاینده خطرناک، امکان استفاده از آن عامل زیستی برای تشخیص را غیرممکن می‌سازد. به همین دلیل، فرآیند پایش زیستی دارای موانع و مشکلات خاصی می‌باشد که استفاده بیشتر از آنها را محدود می‌نماید و امکان کاربرد آنها در اکوسیستم‌های مختلف را کاهش می‌دهد. از مهم‌ترین مشکلات موجود می‌توان به موارد زیر اشاره کرد؛ ۱- هزینه بالای این گونه فرآیندها به دلیل بالا رفتن کیفیت زندگی و تولید ترکیبات مختلف جدید در زندگی انسان‌ها، تعداد و میزان آلاینده‌ها به طور سریعی افزایش می‌یابد با توجه به این که ارگانیسم‌های مختلف نسبت به همه مواد و آلاینده‌ها، قابلیت تجمع‌کنندگی یا حساسیت ندارند، باید برای آلاینده‌های مشخص از موجودات خاصی نیز استفاده کرد که کشت و تلخیص این گونه‌های بیولوژیکی (مخصوصاً عوامل میکروبی)، هزینه‌های زیادی را بر متولیان امر تحمیل می‌نماید. ۲- نیاز به ابزارها و روش‌ها و تخصص‌های خاص جهت جداسازی آلاینده از موجود زنده حساسیت و قابلیت تجمع‌پذیری آلاینده‌های مختلف برای موجودات زنده در غلظت‌های خیلی کم می‌باشد، این غلظت‌های ناچیز نیاز به روش‌های دقیقی دارد تا بتوان آنها را شناسایی و اندازه‌گیری نمود. ۳- اثرات مشابه آلاینده‌های مختلف، گاهی آلاینده‌های مختلف دارای اثرات مشابه بر روی یک موجود زنده

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافی وجود ندارد.

حمایت مالی

این تحقیق با حمایت مالی و معنوی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی یاسوج انجام شده است.

ملاحظات اخلاقی

در این مقاله کلیه اصول اخلاقی در نظر گرفته شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان مقاله در تمام مراحل از جمله جستجوی منابع، غربالگری و تجزیه و تحلیل داده‌ها همکاری و مشارکت داشته‌اند.

REFERENCES

1. Zardosht Z, Khosravani F, Rezaei S, Ghaderi S, Hassani G. The impact of two insecticides on the pollutant cycle and quality of surface and groundwater resources in the irrigated lands of Yasuj, Iran. *Heliyon* 2023; 9: e17636.
2. Li D, Bu S, Li Q, Chen S, Zhen Z, Fu C. Water environment capacity estimation and pollutant reduction of Yanghe Reservoir Basin in Hebei Province, China, via 0-D water quality model. *Environmental Earth Sciences* 2021; 80(16): 508.
3. Qi D, Yan J, Zhu J. Effect of a reduced fertilizer rate on the water quality of paddy fields and rice yields under fishpond effluent irrigation. *Agric Water Manage* 2020; 231: 105999.
4. Gharibi H, Sowlat MH, Mahvi AH, Mahmoudzadeh H, Arabalibeik H, Keshavarz M, et al. Development of a dairy cattle drinking water quality index (DCWQI) based on fuzzy inference systems. *Ecol Indicators* 2012; 20: 228-37.
5. Pezhhan A, Reddy PM, Rezaei S, Motlagh AH. Ecological studies of Yasuj bashar river with reference to water quality in 2015-2016. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research* 2017; 8(4): 219-25.
6. Hassani G, Mahvi AH, Nasser S, Arabalibeik H, Yunesian M, Gharibi H. Designing fuzzy-based ground water quality index. *Journal of Health And Hygiene* 2012; 3(1): 18-31.
7. Tonneijck A, Posthumus A. Use of indicator plants for biological monitoring of effects of air pollution: the Dutch approach. *VDI Ber* 1987.
8. Mishra AK, Farooq SH. Trace metal accumulation in seagrass and saltmarsh ecosystems of India: comparative assessment and bioindicator potential. *Mar Pollut Bull* 2022; 174: 113251.
9. Conti ME, Cecchetti G. Biological monitoring: lichens as bioindicators of air pollution assessment—a review. *Environ Pollut* 2001; 114(3): 471-92.
10. Holt E, Miller S. Bioindicators: Using organisms to measure environmental impacts. *Nature Education Knowledge* 2010; 3(10): 8.
11. Ferrat L, Pergent-Martini C, Roméo M. Assessment of the use of biomarkers in aquatic plants for the evaluation of environmental quality: application to seagrasses. *Aquat Toxicol* 2003; 65(2): 187-204.
12. Kumari D, Paul DK. Assessing the role of bioindicators in freshwater ecosystem. *Journal of Interdisciplinary Cycle Research* 2020; 12(9): 58-74.
13. MacFarlane G, Pulkownik A, Burchett M. Accumulation and distribution of heavy metals in the grey mangrove, *Avicennia marina* (Forsk.) Vierh.: biological indication potential. *Environ Pollut* 2003; 123(1): 139-51.
14. Pezhhan A, Reddy PM, Rezaei S, Fattahi S, Motlagh AH. Freshwater Diatoms in the bashar river of the yasuj city, Iran. *International Journal of Advanced Biotechnology and Research* 2017; 8(4): 1210-3.
15. Panchang R, Nigam R, Baig N, Nayak G. A foraminiferal testimony for the reduced adverse effects of mining in Zuari Estuary, Goa. *Int J Environ Stud* 2005; 62(5): 579-91.
16. Zakaria ZA, Jaapar J, Ahmad WA. Bacteria as bioindicators for metal contamination. *Biomonitoring in Tropical Coastal Ecosystems*, Phang & Brown, Malaysia: Kuala Lumpur; 2004; 131-5.
17. Besser JM, Brumbaugh WG, May TW, Schmitt CJ. Biomonitoring of lead, zinc, and cadmium in streams draining lead-mining and non-mining areas, Southeast Missouri, USA. *Environ Monit Assess* 2007; 129: 227-41.
18. Feng Z, Ma M, Guan C, Bian Z, Lin F. Study on residual quantity of Hg, Cd, Pb and As in *Scapharca subcrenata* along coast of Bohai and Yellow Sea. *Marine Environmental Science/Haiyang Huanjing Kexue Dalian* 2000; 19(2): 50-3.
19. Kalin M, Wheeler W, Meinrath G. The removal of uranium from mining waste water using algal/microbial biomass. *J Environ Radioact* 2005; 78(2): 151-77.
20. Motlagh A, Navatha K, Manikya Reddy P. Diversity of phytoplankton in mir alam lake, hyderabad, AP, India. *Ecology, Environment and Conservation* 2014; 20(1): 45-50.
21. Chandel P, Mahajan D, Thakur K, Kumar R, Kumar S, Brar B, et al. A review on plankton as a bioindicator: A promising tool for monitoring water quality. *World Water Policy* 2023; 10(1): 213-32.
22. Bonada N, Prat N, Resh VH, Statzner B. Developments in aquatic insect biomonitoring: a comparative analysis of recent approaches. *Annu Rev Entomol* 2006; 51: 495-523.

23. Chowdhury S, Dubey VK, Choudhury S, Das A, Jeengar D, Sujatha B, et al. Insects as bioindicator: A hidden gem for environmental monitoring. *Frontiers in Environmental Science* 2023; 11: 273.
24. Han F, Xi Y, Bi H. Indicating function of *Ischnura elegans* in lead-polluted water. *Agro-Environmental Protection* 2002; 21(2): 169-70.
25. Gillis PL, Diener LC, Reynoldson TB, Dixon DG. Cadmium-induced production of a metallothioneinlike protein in *Tubifex tubifex* (Oligochaeta) and *Chironomus riparius* (Diptera): Correlation with reproduction and growth. *Environmental Toxicology and Chemistry: An International Journal* 2002; 21(9): 1836-44.
26. Werner I, Broeg K, Cain D, Wallace W, Hornberger M, Hinton D, et al. Biomarkers of heavy metal effects in two species of caddisfly larvae from Clark Fork River, Montana: stress proteins (HSP70) and lysosomal membrane integrity, Philadelphia, PA, USA, 2000; 154.
27. Nummelin M, Lodenius M, Tulisalo E, Hirvonen H, Alanko T. Predatory insects as bioindicators of heavy metal pollution. *Environ Pollut* 2007; 145(1): 339-47.
28. Belaid C, Sbartai I. Assessing the effects of Thiram to oxidative stress responses in a freshwater bioindicator cladoceran (*Daphnia magna*). *Chemosphere* 2021; 268: 128808.
29. Yong-gui WU, Yan X, Chu-xia LIN. Evaluating the Biototoxicity effect of Copper by the Phototactic Behaviour of *Daphnia carinata* and LC50. *Journal Of Yunnan Agricultural University (Natural Science)* 2006; 21(5): 657-62.
30. Qi L. The research of new method of biomonitoring. *Environmental Monitoring in China* 2000; 16: 38.
31. Yuan L, Michels E, De Meester L. Changes in phototactic behavior of *Daphnia magna* clone C 1242 in response to copper, cadmium and pentachlorophenol. *JEnvS* 2003; 15(6): 841-7.
32. Ali M, Tripathi R, Rai U, Pal A, Singh S. Physico-chemical characteristics and pollution level of lake Nainital (UP, India): Role of macrophytes and phytoplankton in biomonitoring and phytoremediation of toxic metal ions. *Chemosphere* 1999; 39(12): 2171-82.
33. Kumar NJ, Hiren S, Kumar RN. Biomonitoring of selected freshwater macrophytes to assess lake trace element contamination: a case study of Nal sarovar bird sanctuary, Gujarat, India. *J Limnol* 2006; 65(1): 9.
34. Hao Y, Li J, Pan X, Ma Y, Wang X. Tolerance of *Chlorella ellipsoidea* and its removal of heavy metals. *J Lake Sci* 2001; 13(2): 158-62.
35. de Paula Gutiérrez BF, Agudelo CAR. Fish as bioindicators: coal and mercury pollution in Colombia's ecosystems. *Environ Sci Pollut Res* 2020; 27(22): 27541-62.
36. Macali A, Bergami E. Jellyfish as innovative bioindicator for plastic pollution. *Ecol Indicators* 2020; 115: 106375.
37. Cairns Jr J. Biological monitoring Part VI—future needs. *Water Res* 1981; 15(8): 941-52.
38. Van der Oost R, Beyer J, Vermeulen NP. Fish bioaccumulation and biomarkers in environmental risk assessment: a review. *Environ Toxicol Pharmacol* 2003; 13(2): 57-149.
39. Reguera P, Couceiro L, Fernández N. A review of the empirical literature on the use of limpets *Patella* spp. (Mollusca: Gastropoda) as bioindicators of environmental quality. *Ecotoxicol Environ Saf* 2018; 148: 593-600.
40. Odsjö T, Roos A, Johnels AG. The tail feathers of osprey nestlings (*Pandion haliaetus* L.) as indicators of change in mercury load in the environment of southern Sweden (1969-1998): a case study with a note on the simultaneous intake of selenium. *Ambio* 2004; 1: 133-7.
41. Qun-fang Z, Zhong-yang L, Gui-bin J, Rui-qiang Y. Preliminary investigation of a sensitive biomarker of organotin pollution in Chinese coastal aquatic environment and marine organisms. *Environ Pollut* 2003; 125(3): 301-4.
42. Buenfil-Rojas AM, Alvarez-Legorreta T, González-Jáuregui M, Rendón-von Osten J, Cedeño-Vazquez JR. Effectiveness of morelet's crocodile as a bioindicator of metal pollution and metallothionein response to spatial variations of metal exposure. *Environmental Advances* 2022; 8: 100251.
43. Del Ramo J, Torreblanca A, Martinez M, Pastor A, Diaz-Mayans J. Quantification of cadmium-induced metallothionein in crustaceans by the silver-saturation method. *Mar Environ Res* 1995; 39(1-4): 121-5.

- 44.Gül MR, Griffen BD. Diet, energy storage, and reproductive condition in a bioindicator species across beaches with different levels of human disturbance. *Ecol Indicators* 2020; 117: 106636.
- 45.Borisova TY, Perevaryukha AY. On the physicochemical method of analysis of the formation of secondary immunodeficiency as a bioindicator of the state of ecosystems using the example of seabed biota of the caspian sea. *TePhL* 2022; 48(7): 251-7.
- 46.Cortelezzi A, Simoy MV, Siri A, Donato M, Cepeda RE, Marinelli CB, et al. New insights on bioindicator value of chironomids by using occupancy modelling. *Ecol Indicators* 2020; 117: 106619.
- 47.Gomez-Alvarez V, Revetta RP. Monitoring of nitrification in chloraminated drinking water distribution systems with microbiome bioindicators using supervised machine learning. *Frontiers in Microbiology*. 2020; 11: 571009.

Bioindicators: Characteristics and Capabilities in Environmental Applications

Hossaini Motlagh A, Hassani G*

¹Department of Environmental Health Engineering, Yasuj University of Medical sciences, Yasuj, Iran.

Received: 04 Dec 2023 Accepted: 06 May 2024

Abstract

Background & aim: In recent years, the pollution of the environment with all kinds of biological, chemical, poisons, pesticides and other compounds has accelerated and are considered as one of the most important challenges of the present age. Different pollutants can be measured with the use of physical, chemical or biological methods. However, a lot of information has been provided in the field of the ability of biological indicators to detect different pollutants in recent years. Therefore, the purpose of the present study was to determine and examine the characteristics and capabilities of biomarkers in environmental applications.

Methods: In the present review study conducted in 2023, different methods of using living organisms as an indicator in determining environmental changes were investigated. Biomonitoring by searching in PubMed, Google Scholar, Web of Science and Scopus databases using keywords "biological control", "bioindicator", "biomonitoring", "monitoring by microorganism", "bio detection", "biological index" and "biological indicator" in published articles until 2023.

Results: : The results show that many living organisms are used as bioindicators in environments. The use of various living organisms such as macrophytes, crustaceans, phytoplankton's, protozoa and larger living organisms such as fish, canaries and insects has been common in the detection and monitoring of pollutants in the environment. These organisms with different methods can help to detect or continuously monitor the presence of pollutants and determine their concentration levels in the environment such as aquatic environments.

Conclusion: In the biological monitoring by using of living organisms such as mosses to measure heavy metals, killer trout in mountain streams to assess water temperature, canaries in coal mines to assess the amount of carbon monoxide and methane gas and many other organisms known as bioindicators, are used to detect the effects of disturbances and stresses. With mechanisms such as bioaccumulation, biochemical changes, behavioral and morphological changes, and population changes, these living organisms enable the ability to detect and determine the amount of pollutants.

Keywords: Biomonitoring, Bioindicators, Environmental pollution, Quality index

***Corresponding author: Hassani G**, Department of Environmental Health Engineering, Yasuj University of Medical sciences, Yasuj, Iran

Email: Ghassani64@gmail.com

Please cite this article as follows: Hossaini Motlagh A, Hassani G. Bioindicators: Characteristics and Capabilities in Environmental Applications. Armaghane-danesh 2024; 29(2): 295-311.

The scientific research journal Armaghan Danesh, affiliated with Yasuj University of Medical Sciences, is an open-access publication. All articles published in this journal are freely available to the public.