# انواع آلودگی منابع آب

## دسته‌بندی منابع آبی

منابع آبی در سراسر جهان به منابع متعارف و نامتعارف تقسیم می‌شوند. در ادامه، مروری بر هر دو دسته از منابع آبی ارائه شده‌است:

### منابع آب متعارف

1. **آب سطحی[[1]](#footnote-1)**: این گروه شامل آب‌هایی مانند رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و مخازن است که منابع آب شیرین قابل رویت و در دسترس هستند. آب سطحی به طور معمول برای تأمین آب آشامیدنی، آبیاری، فرایندهای صنعتی و تولید برق از نیروگاه‌های آبی استفاده می‌شود.
2. **آب زیرزمینی[[2]](#footnote-2)**: آب زیرزمینی به آبی اطلاق می‌شود که در زیر سطح زمین در آبخوان‌ها[[3]](#footnote-3) ذخیره شده است. این آب از طریق چاه‌ها و حفره‌های عمقی به دست می‌آید. آب زیرزمینی در مناطق متعددی به‌عنوان منبع آب آشامیدنی و آبیاری مورداستفاده قرار می‌گیرد. آب زیرزمینی نسبتاً کمتر در معرض تبخیر است و می‌تواند در دوره‌های خشکسالی به‌عنوان یک گزینه‌ی پشتیبان عمل کند.
3. **دریاچه‌ها و مخازن**: دریاچه‌های طبیعی و مخازن مصنوعی حجم زیادی آب را ذخیره می‌کنند. این منابع آب برای مقاصد متعددی از جمله آبیاری، تأمین آب آشامیدنی، فعالیت‌های تفریحی و تولید برق از نیروگاه‌های آبی استفاده می‌شوند.

### منابع آب نامتعارف

1. **آب نمک‌زدایی شده[[4]](#footnote-4)**: نمک‌زدایی آب فرایندی است که نمک و سایر آلاینده‌ها را از آب دریا یا آب‌شور حذف کرده و آب شیرین تولید می‌کند. کارخانه‌های تصفیه آب عمدتاً در مناطق ساحلی با منابع آب شیرین محدود قرار دارند. استفاده از آب تصفیه شده برای تأمین آب شهری و مقاصد صنعتی کاربردی روزافزون دارد.
2. **استفاده مجدد از آب فاضلاب[[5]](#footnote-5)**: آب فاضلاب تصفیه شده، معروف به آب بازیافتی[[6]](#footnote-6)، می‌تواند برای کاربردهای غیرآشامیدنی مانند آبیاری، فرایندهای صنعتی و تغذیه‌ی مجدد منابع آب زیرزمینی مورد استفاده قرار گیرد. کارخانه‌های تصفیه فاضلاب از فرایندهای پیشرفته برای حذف آلاینده‌ها و اطمینان از ایمنی آب بازیافتی استفاده می‌کنند.
3. **جمع‌آوری آب باران[[7]](#footnote-7)**: جمع‌آوری و ذخیره آب باران برای مصارف مختلف کاربرد دارد. این روش معمولاً در مناطقی با دسترسی محدود به منابع متعارف آب مورداستفاده قرار می‌گیرد. آب باران می‌تواند از سقف‌ها، رواناب‌های سطحی[[8]](#footnote-8) یا مناطق جمع‌آوری ویژه تامین شود.
4. **جمع‌آوری مه[[9]](#footnote-9)**: در مناطق خشک و همراه با مه ساحلی، ساختارهایی با استفاده از شبکه‌های مش[[10]](#footnote-10) برای جمع‌آوری قطرات آب از مه استفاده می‌شود و آن را به آب مایع تبدیل می‌کند. جمع‌آوری مه می‌تواند منبع آب محلی برای جوامع ساکن در مناطقی که مستعد مه هستند فراهم کند.
5. **یخچال های طبیعی[[11]](#footnote-11) و ذوب برف**: یخچال‌های طبیعی و برف در مناطق کوهستانی، پس از ذوب، می‌توانند به عنوان منبع آبی مورد استفاده قرار گیرند. آب ذوب‌شده رودخانه ها را تغذیه می کند و اکوسیستم‌های پایین دست، کشاورزی و جوامع را حفظ می کند.
6. **کوه یخ جابه‌جا شده**
7. **آب فسیلی**
8. **آب دانه‌های ابر**

توجه به این نکته ضروری است که قابلیت و تناسب منابع آبی در مناطق مختلف متفاوت است و استفاده از منابع نامتعارف معمولاً نیازمند فناوری‌ها و زیرساخت‌هایی با خصوصیات ویژه است. بنابراین، مدیریت پایدار و توجه دقیق به تأثیرات محیطی برای استفاده مؤثر و مسئولانه از هر دو نوع منابع آبی متعارف و نامتعارف ضروری است.

## انواع آلودگی منابع آبی متعارف

هر یک از انواع منابع آبی متعارف به دلیل ویژگی‌ها و شرایط نگهداری متمایز در معرض آلودگی‌های متفاوتی قرار می‌گیرند. در ادامه به تعدادی از این آلودگی‌ها برای هر یک از سه گروه مذکور اشاره شده‌است.

### آلودگی‌های منابع آب سطحی

آلودگی شیمیایی منابع آب سطحی یک نگرانی قابل‌توجه در سراسر جهان است. منظور از این آلودگی، آلودگی منابع آب توسط مواد شیمیایی مختلف، از جمله آلاینده‌های صنعتی، مواد شیمیایی کشاورزی و مواد شیمیایی خانگی است. در ادامه برخی از جنبه‌های کلیدی آلودگی شیمیایی در آب سطحی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

#### آلاینده‌های صنعتی

صنایع می‌توانند مجموعه‌ای از آلاینده‌های شیمیایی را از طریق پساب[[12]](#footnote-12) خود در آب سطحی رها کنند. این آلاینده‌ها شامل فلزات سنگین[[13]](#footnote-13) (مانند جیوه، سرب، کادمیوم[[14]](#footnote-14))، ترکیبات آلی[[15]](#footnote-15) (مانند بی‌فنیل‌های پلی کلرید[[16]](#footnote-16) (PCBs) و حلال‌ها[[17]](#footnote-17)) و مواد شیمیایی سمی مورداستفاده در فرایندهای تولیدی هستند. فعالیت‌های صنعتی مانند معدن‌کاری و تولید برق می‌توانند این آلاینده‌ها را به آب‌ها وارد کنند و منجر به اثرات نامطلوب محیط‌زیستی و بهداشتی بلندمدت شوند.

#### مواد شیمیایی کشاورزی

مواد شیمیایی مورداستفاده در کشاورزی مانند سموم کشاورزی، علف‌کش‌ها[[18]](#footnote-18) و کودها[[19]](#footnote-19) می‌توانند از طریق رواناب از مزارع یا به دلیل نگهداری نامناسب و دفع نادرست وارد آب سطحی شوند. سموم کشاورزی و علف‌کش‌ها می‌توانند به‌خصوص برای آبزیان آسیب‌زننده باشند؛ زیرا طراحی شده‌اند تا به کنترل آفات و گیاهان هرز بپردازند. این مواد شیمیایی می توانند اکوسیستم‌های آبی[[20]](#footnote-20) را مختل کنند، به ارگانیسم های غیرهدف آسیب رسانده و در زنجیره غذایی تجمع کنند.

#### مواد شیمیایی خانگی

فعالیت‌های خانگی به آلودگی شیمیایی آب سطحی می‌انجامد. دفع نامناسب مواد شیمیایی خانگی مانند مواد تمیزکننده[[21]](#footnote-21)، رنگ‌ها، داروها و محصولات مراقبت از پوست می‌تواند منجر به ورود این مواد به منابع آبی از طریق سیستم‌های فاضلاب یا رواناب شود. این مواد می‌توانند تأثیرات منفی جبران‌ناپذیری روی زندگی آبزیان بگذارند و برخی داروها ممکن است موجب ایجاد اختلال در سیستم غدد درون‌ریز[[22]](#footnote-22) در آبزیان شوند.

#### آلاینده‌های آلی ماندگار[[23]](#footnote-23)

برخی مواد شیمیایی، شناخته شده به‌عنوان آلاینده‌های آلی ماندگار (POPs)، در برابر تجزیه [[24]](#footnote-24)مقاومت بسیار بالایی دارند و می‌توانند برای مدت طولانی در محیط‌زیست باقی بمانند. نمونه‌هایی از اینگونه مواد آلاینده‌های آلی ماندگار شامل بی‌فنیل‌های پلی کلرید، دی‌اکسین‌ها[[25]](#footnote-25) و برخی سموم کشاورزی مانند [[26]](#footnote-26)DDT هستند. این آلاینده‌ها می‌توانند در بافت چربی آبزیان تجمع یابند که منجر به تجمع زیستی[[27]](#footnote-27) و بزرگنمایی زیستی[[28]](#footnote-28) از طریق زنجیره غذایی می شود. به دلیل اثرات سمی بر سلامت انسان و محیط‌زیست، استفاده از آلاینده‌های آلی ماندگار در سراسر جهان با محدودیت‌هایی مواجه است.

#### نشت و حوادث

نشت مواد شیمیایی، حوادث یا شیوه‌های نادرست دفع می‌توانند به‌سرعت مقادیر زیادی از آلاینده‌ها را به آب سطحی وارد کنند. لکه‌های نفتی، حوادث صنعتی یا برخورد نادرست با مواد خطرناک می‌تواند منجر به آلودگی شدید سطح آب شود و به زندگی آبزیان و اکوسیستم‌ها خسارت جدی و جبران‌ناپذیر وارد کند.

تلاش‌ها برای جلوگیری و پاک‌سازی آلودگی شیمیایی در آب سطحی برای حفاظت از اکوسیستم‌ها، حفظ تنوع زیستی و حفظ سلامت انسان بسیار حائز اهمیت هستند.

### آلودگی‌های منابع آب زیرزمینی

آب‌های زیرزمینی منابع با ارزشی هستند که به‌عنوان منابع آبی برای آبیاری، آب شرب و استفاده‌های صنعتی به کار گرفته می‌شوند. آب‌های زیرزمینی نیز می‌توانند به‌شدت تحت‌تأثیر آلودگی قرار بگیرند. در ادامه به برخی از انواع آلاینده‌های آب زیرزمینی اشاره شده است.

#### آلودگی‌ فعالیت‌های صنعتی

آب زیرزمینی ممکن است به علت تخلیه پساب‌های صنعتی، نشتی از صنایع و تخلیه مواد شیمیایی [[29]](#footnote-29)خطرناک آلوده شود. نمونه‌هایی از آلاینده‌های صنعتی شامل فلزات سنگین (مانند جیوه، سرب و کادمیوم)، مواد شیمیایی خطرناک (مانند رنگ‌ها، حلال‌ها و آنتی‌بیوتیک‌ها[[30]](#footnote-30)) و ترکیبات آلی متنوع (مانند بنزن[[31]](#footnote-31) و تولوئن[[32]](#footnote-32)) است.

#### آلودگی نفتی

نشت و هدررفت نفت و مشتقات آن از مخازن زیرزمینی، تخلیه پساب‌های نفتی و تصادفات نفتی می‌تواند منجر به آلودگی آب زیرزمینی شود. آلودگی نفتی باعث کاهش کیفیت آب و ایجاد آسیب جدی به اکوسیستم‌های آب زیرزمینی می‌شود.

#### آلودگی کشاورزی

استفاده از کودهای شیمیایی و سموم کشاورزی در زمین‌های کشاورزی می‌تواند به آلودگی منابع آب زیر زمینی به نیترات[[33]](#footnote-33) و فسفات[[34]](#footnote-34) منجر شود. این آلاینده‌ها معمولاً از طریق نشتی و نفوذ از خاک وارد آب زیرزمینی می‌شوند.

#### آلودگی دفن زباله

زباله‌های تجزیه‌ناپذیر که به‌صورت درست دفن نشوند، می‌توانند منجر به آلودگی آب زیرزمینی شوند. مواد زباله مانند مواد شیمیایی، مواد زیستی تجزیه‌ناپذیر و پسماندهای صنعتی می‌توانند به آب زیرزمینی نفوذ کرده و آن را آلوده کنند.

#### آلودگی فاضلاب

تخلیه نامناسب فاضلاب شهری، فاضلاب صنعتی و فاضلاب کشاورزی می‌تواند منجر به آلودگی آب زیرزمینی شود. فاضلاب حاوی مواد آلی، فسفات، نیتروژن و مواد شیمیایی خطرناک است که به آب زیرزمینی نفوذ می‌شوند و کیفیت آن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند.

آلودگی آب زیرزمینی موجب کاهش کیفیت آب و تهدید بهداشت عمومی می‌شود. برای حفظ و حفاظت از منابع آب زیرزمینی، ضروری است که فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی و شهری به طور مسئولانه و با رعایت استانداردها و مقررات زیست‌محیطی انجام شود.

### آلودگی‌های منابع آب دریاچه‌ای و مخزنی

دریاچه‌ها و مخازن آب، به‌عنوان منابع آبی سنتی، ممکن است به انواع مختلف آلایندگی آلوده شوند. در ادامه به برخی از انواع متداول آلودگی که می‌تواند بر آب دریاچه‌ها و مخازن تأثیر می‌گذارد، اشاره شده است.

#### آلودگی شیمیایی

آلاینده‌های شیمیایی می‌توانند از طریق منابع مختلف مانند تخلیه‌های صنعتی، رواناب کشاورزی و دفع نامناسب پسماندها وارد دریاچه‌ها و مخازن شوند. این آلاینده‌ها شامل فلزات سنگین، آفت‌کش‌ها، کودها، داروها و سایر مواد سمی هستند. آلودگی شیمیایی می‌تواند تأثیرات مضری بر کیفیت آب داشته باشد و در صورت استفاده از آب آلوده برای آشامیدن یا آبیاری، بهداشت آبزیان و همچنین سلامت انسان را به خطر می‌افتد.

#### آلودگی مواد مغذی

مقادیر بیش از حد مواد مغذی، به‌ویژه نیتروژن و فسفر، می‌تواند منجر به آلودگی مغذی در دریاچه‌ها و مخازن شود. این نوع آلودگی عمدتاً ناشی از رواناب کشاورزی، تخلیه فاضلاب و تصفیه‌ی نامناسب فاضلاب است. آلودگی مغذی می‌تواند منجر به ایجاد شکوفه‌های جلبکی مضر[[35]](#footnote-35)، رشد بیش از حد گیاهان آبزی و کاهش اکسیژن در آب شده و منجر به تغییر در کیفیت آب و اختلال در اکوسیستم‌های آبی شود.

#### آلودگی رسوبی

رسوبات به معنی ذرات خاک و دیگر جامدات معلق است که در دریاچه‌ها و مخازن ته‌نشین می‌شوند. نتیجه‌ی آن کاهش شفافیت آب و افزایش آلودگی ظاهری است. این فرایند عمدتاً به دلیل فرسایش ناشی از تخریب جنگل، فعالیت‌های ساختمانی و روش‌های نامناسب مدیریت زمین اتفاق می‌افتد. رسوبات می‌توانند تأثیرات منفی بر محیط‌زیست آبی داشته باشند، نفوذ نور را کاهش داده و تعادل طبیعی اکوسیستم را مختل کنند.

#### آلودگی حرارتی[[36]](#footnote-36)

آلودگی حرارتی به افزایش یا کاهش دمای آب به خارج از محدوده طبیعی اشاره دارد که معمولاً ناشی از فعالیت‌های انسانی است. فرایندهای صنعتی، نیروگاه‌های حرارتی و تخلیه فاضلاب گرم می‌توانند دمای آب را افزایش داده و بر آبزیان حساس به تغییرات دما تأثیر منفی بگذارند. علاوه بر این، تخلیه آب سرد از مخازن عمیق می‌تواند تعادل حرارتی طبیعی اکوسیستم‌های پایین‌دست را به خطر بیندازد.

#### آلودگی شکوفه‌های جلبکی مضر

برخی از انواع جلبک‌ها می‌توانند سم‌های مضری تولید کنند که برای آبزیان و سلامت انسان آسیب‌زا هستند. هنگامی که شرایط مناسب، مانند دمای آب گرم، سطوح مواد مغذی بالا و آب آرام، برقرار باشد روند رشد آن‌ها را تسهیل می‌کند. این شکوفه‌ها می‌توانند منجر به تولید سم‌هایی شوند که منجر به کشته‌شدن ماهیان، کاهش اکسیژن در آب و خطراتی برای فعالیت‌های انسانی مانند شنا، ماهیگیری و تأمین آب آشامیدنی می‌شوند.

پیشگیری از و کاهش این نوع آلودگی‌ها نیازمند اجرای راهبردهای مدیریت منابع آبی مؤثر است. برخی از این راهبردها عبارت‌اند از: اجرای صحیح فرایندهای تصفیه آب، کاهش مصرف آب برای اهداف زراعی ناشی از مدیریت بهتر شیوه‌ها، اجرای مقررات مربوط به آبدهی صنایع و ارتقای شیوه‌های مدیریت پایدار زمین. نظارت و آزمایش‌های منظم بر کیفیت آب امری بسیار حیاتی است تا عوامل آلودگی به‌موقع شناسایی و رفع شوند.

## انواع آلودگی منابع آبی نامتعارف

منابع آبی نامتعارف دسته‌ی دیگری از منابع آبی مدنظر بر روی کره‌ی زمین است. این دست از منابع به صور معمول و در شرایط متعادل مورد استفاده قرار نمی‌گیرند، بلکه در زمان و مکان‌هایی با شرایط خاص و کمبود آب استفاده می‌شوند و ارزش به کارگیری دارند. همچون منابع آبی متعارف، هر یک از انواع منابع آبی نامتعارف به دلیل ویژگی‌ها و شرایط جمع‌آوری متمایز در معرض آلودگی‌های متفاوتی قرار دارند. در ادامه به تعدادی از این آلودگی‌ها برای هر یک از چهار گروه نام‌ برده شده اشاره شده‌است.

### آلودگی‌های آب نمک‌زدایی شده

آب نمک‌زدایی شده معمولاً عاری از بسیاری از آلودگی‌های متداول یافت شده در منابع آب تازه[[37]](#footnote-37) است. فرایند نمک‌زدایی معمولاً آلودگی‌ها را از طریق حذف آلاینده‌ها مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها، نمک‌ها و مواد معدنی از آب دریا یا آب‌شور پاک می‌کند تا آب نوشیدنی پاک تولید شود. با این حال، به دلیل مجموعه فرایند‌هایی که برای زدایش نمک و آلودگی‌ها از این آب طی می‌شود، احتمال تولید و یا ورود انواع متفاوتی از آلودگی بالا می‌رود که در ادامه هر یک به صورت جداگانه توضیح داده شده‌اند.

#### افزودنی‌های شیمیایی[[38]](#footnote-38)

در طول فرایند تصفیه، ممکن است افزودنی‌های شیمیایی مانند منعقدکننده‌ها، ضدعفونی‌کننده‌ها و ضداسکالانت‌ها[[39]](#footnote-39) برای کمک به پاک‌سازی و تصفیه آب اضافه شوند. این مواد شیمیایی به میزان کمی استفاده می‌شوند و برای پیش‌برد اهداف مجموعه‌ی تصفیه‌کننده ضروری هستند، اما حضور آنها در آب نمک‌زدایی شده ممکن است نگرانی هایی را در مورد اثرات بالقوه سلامتی یا ورود ترکیبات شیمیایی جدید به منبع آب ایجاد کند.

#### خوردگی و نشت

آب نمک‌زدایی شده گاهی اوقات می‌تواند، در سیستم‌های توزیع یا مخازن ذخیره‌سازی مصنوعی، با مواد خاصی تعامل پیدا کند که منجر به خوردگی تجهیزات و یا نشت فلزات و سایر مواد به آب می‌شود. این فرایند می‌تواند منجر به حضور مقادیر کمی از آلاینده‌ها، از جمله فلزات سنگین، در آب نمک‌زدایی شده شود.

#### فراورده‌های جانبی عملیات ضدعفونی[[40]](#footnote-40)

فرایندهای ضدعفونی مانند کلرزنی[[41]](#footnote-41) یا کلرامیناسیون[[42]](#footnote-42) ممکن است برای اطمینان از ایمنی میکروبیولوژیکی[[43]](#footnote-43) آب نمک‌زدایی شده استفاده شوند. بااین‌حال، این روش‌های ضدعفونی می‌توانند باعث تشکیل فرآورده‌های جانبی ضدعفونی (DBPs) شوند. این فراورده‌های جانبی حاصل واکنش مواد آلی و غیر آلی واکنش‌پذیر با یکدیگر هستن. در صورتی که غلظت این‌گونه مواد موجود در آب بالا باشد می‌تواند تهدیدی برای سلامتی انسان و محیط‌زیست پیرامونش تلقی شود.

#### شوری و محتوای معدنی

آب نمک‌زدایی شده، به‌ویژه آب‌شور تصفیه شده‌ی دریا، معمولاً غلظت بالاتری از نمک‌ها و مواد معدنی نسبت به منابع آب تازه دارد. اگرچه این نمک‌ها و مواد معدنی به‌طورکلی برای سلامتی انسان مضر نیستند، مصرف آب با سطوح شوری بالا ممکن است تأثیراتی بر طعم آب داشته باشد و به چالش‌هایی برای برخی فرایندهای صنعتی یا شیوه‌های آبیاری کشاورزی منجر شود.

دانستن این نکته مهم است که آلودگی یا نگرانی‌های مرتبط با آب نمک‌زدایی شده به‌طورکلی به فرایندهای پاک‌سازی و سیستم‌های توزیع مرتبط است و به خودی خود به محتویات آب ارتباط مستقیم ندارد. نظارت، پاک‌سازی و نگهداری صحیح زیرساخت‌های نمک‌زدایی، همراه با رعایت استانداردهای نظارتی، می‌تواند به‌حداقل‌رساندن هر گونه خطر بالقوه آلودگی و تأمین تولید آب نمک‌زدایی شده ایمن و باکیفیت کمک کند.

### آلودگی‌های بازیافت پساب‌ها

استفاده از آب فاضلاب به‌عنوان منبع آب نامتعارف یا منبع آبی جایگزین می‌تواند برای تأمین نیازهای آبی اجتماعی و صنعتی مؤثر باشد. بااین‌حال، استفاده از آب فاضلاب به‌عنوان منبع آبی جایگزین ممکن است با برخی آلودگی‌ها و نگرانی‌ها همراه باشد. در ادامه به برخی از این آلودگی‌ها و نگرانی‌ها اشاره شده‌است.

#### آلودگی‌های بیولوژیکی

آب فاضلاب شامل میکروب‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها، و انگل‌های متعددی است که می‌توانند بیماری‌زا باشند. قبل از استفاده از آب فاضلاب به‌عنوان منبع آبی جایگزین، باید فرایندهای تصفیه مؤثری صورت پذیرد تا میکروب‌ها و عوامل بیماری‌زا از آب حذف شوند و آب تصفیه شده به اندازه‌ی کافی برای استفاده ایمن باشد.

#### آلودگی‌های شیمیایی

آب فاضلاب ممکن است شامل مواد شیمیایی مختلفی باشد که از فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، خانگی و سایر منابع به آن اضافه می‌شوند. این مواد شیمیایی عبارتند از مواد آلی، مواد شیمیایی سمی، فلزات سنگین، کودها و آفت‌کش‌ها. پیش از استفاده از آب فاضلاب تصفیه شده برای مصارف آبی مختلف، باید فرایندهای تصفیه متناسب که قادر به حذف این مواد شیمیایی است، انجام شود.

#### آلودگی دارویی

استفاده از داروها و محصولات شیمیایی در جوامع بشری منجر به پیدایش آلودگی دارویی در آب فاضلاب می‌شود. این داروها ممکن است به طور مستقیم به آب فاضلاب اضافه شوند یا از بدن افراد مصرف‌کننده دفع شده ‌باشند. فرایندهای تصفیه پیشرفته می‌توانند برای حذف اثرات داروها از آب فاضلاب موثر واقع شوند.

#### آلودگی ناشی از مواد معدنی و نمک

آب فاضلاب ممکن است شامل غلظت‌های بالایی از مواد معدنی و نمک باشد. استفاده مداوم از آب فاضلاب با غلظت نمک بالا ممکن است به نفوذ نمک در خاک و آب زیرزمینی منجر شود که باعث کاهش کیفیت و طول عمر گیاهان و آلودگی خاک می‌شود؛ لذا، برای استفاده مؤثر از آب فاضلاب با غلظت نمک بالا، فرایندهای تصحیح آب مانند تصفیه از طریق تصفیه‌خانه‌های اسمز معکوس[[44]](#footnote-44) موردنیاز است.

استفاده از آب فاضلاب به‌عنوان منبع آبی جایگزین مزایای بسیاری دارد، از جمله کاهش نیاز به استفاده از منابع آبی طبیعی، حفظ منابع آبی، کاهش آلودگی زیست‌محیطی و حفاظت از محیط‌زیست. بااین‌حال، برای استفاده مؤثر و ایمن از آب فاضلاب تصفیه شده به‌عنوان منبع آبی جایگزین، نیاز به فرایندهای تصفیه مؤثر و رعایت استانداردها و مقررات مربوطه است.

### آلودگی‌های آب باران جمع‌آوری شده

جمع‌آوری آب باران[[45]](#footnote-45) به‌عنوان یک منبع نامتعارف برای تأمین نیازهای آبی می‌تواند یک رویکرد پایدار برای تأمین آب باشد. بااین‌حال، مهم است که آلودگی‌های احتمالی که می‌تواند کیفیت آب باران جمع‌آوری شده را تحت‌تأثیر قرار دهد، مدنظر قرار گیرد. در ادامه، به برخی از انواع متداول آلودگی‌ها که می‌توانند بر آب باران جمع‌آوری شده تأثیر بگذارند، پرداخته شده است.

#### آلودگی جوی

آب باران می‌تواند در حین سقوط، آلاینده‌های موجود در جو را جذب کند. این آلاینده‌ها ممکن است شامل ذرات معلق، گردوغبار، کربن سیاه و گازهای مختلف باشند. انتشارات صنعتی، گازهای خروجی خودروها و آلاینده‌های هوایی می‌توانند به آلودگی جوی منجر شوند. اگرچه غلظت این آلاینده‌ها در آب باران به‌طورکلی پایین است، مناطقی با سطح فعالیت صنعتی یا خودرویی بالا ممکن است سطح آلودگی بیشتری داشته باشند.

#### آلودگی سقفی

آب باران به طور معمول از روی سقف‌ها جمع‌آوری می‌شود و جنبه‌های آلوده‌کننده سقف می‌توانند مواد آلاینده را به آب باران وارد کنند. به‌عنوان‌مثال، سقف‌های ساخته شده از آزبست[[46]](#footnote-46)، سرب یا چوب پردازش شده[[47]](#footnote-47) ممکن است مواد مضری را وارد آب باران کنند. به طور مشابه، مواد آلی متراکم مانند برگ‌ها، فضولات پرندگان یا جلبک‌ها روی سقف می‌توانند آب باران جمع‌آوری شده را آلوده کنند.

#### آلودگی میکروبی

آب باران می‌تواند شامل میکروارگانیسم‌ها، باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها[[48]](#footnote-48) باشد. این میکروارگانیسم‌ها ممکن است حاصل از فضولات پرندگان، فضولات حیوانات یا مواد آلی موجود در سقف یا ناودان به وجود آیند. درصورتی‌که آب باران به طور صحیح تصفیه یا ذخیره نشود، آلودگی میکروبی می‌تواند خطرات بهداشتی را به همراه داشته باشد.

#### آلودگی شیمیایی

آلودگی‌های شیمیایی می‌توانند از طریق منابع مختلفی وارد آب باران جمع‌آوری شده شوند. منشا معمول شامل رسوب آلاینده‌های هوایی، مواد آلایشی از سقف و یا فعالیت‌های صنعتی نزدیک هستند. سموم کشاورزی، فلزات سنگین و سایر مواد سمی ممکن است آب باران را آلوده کنند، به‌ویژه در مناطق شهری یا صنعتی.

در هنگام جمع‌آوری آب باران، مهم است که شرایط محیطی محلی را مدنظر قرار دهید. این شرایط شامل کیفیت هوا و منابع آلاینده ممکن است. آزمایش‌های منظم بر روی آب باران جمع‌آوری شده برای شناسایی آلودگی‌های میکروبیولوژیکی و شیمیایی بسیار ضروری است تا اطمینان حاصل شود که آب برای کاربردهای مختلف مانند آبیاری یا استفاده در خانه برای مصارف فارغ از شرب ایمن است.

### آلودگی‌های آب حاصل از مه

جمع‌آوری آب از مه به‌عنوان یک منبع نامتعارف و نوآورانه آب، یک روش مفید برای تأمین منابع آب در مناطقی است که به‌شدت با محدودیت منابع آبی مواجه هستند، اما مانند سایر منابع آب، ممکن است آلودگی‌هایی را در خود جای دهد. در ادامه به برخی از انواع متداول آلودگی‌های آب جمع‌آوری شده از مه پرداخته شده است.

#### آلودگی جوی

آلودگی جوی می‌تواند بر آب جمع‌آوری شده از مه تأثیر بگذارد. در طول سقوط آب موجود در مه، ذرات و آلاینده‌های موجود در هوا می‌توانند به ذرات مه نفوذ کنند. آلودگی جوی می‌تواند شامل ذرات معلق، گردوغبار، آلاینده‌های صنعتی، آلاینده‌های خروجی خودروها و سایر آلاینده‌های هوایی باشد. این آلاینده‌ها ممکن است آب جمع‌آوری شده را آلوده کنند و کیفیت آن را تحت‌تأثیر قرار دهند.

#### آلودگی سطح جمع‌آوری

آب جمع‌آوری شده از مه از سطوحی مانند پنجره‌ها، سقف‌ها، تابلوها و سایر سطوح جمع‌آوری می‌شود. ممکن است در این سطوح، ذرات آلاینده مانند آلاینده‌های هوا، ذرات معلق و آلودگی‌های سطحی وجود داشته باشد؛ بنابراین، آب جمع‌آوری شده با آلودگی از سطح جمع‌آوری تماس پیدا می‌کند و کیفیت آن را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد.

#### آلودگی محیطی

آلودگی محیطی نیز می‌تواند به آب جمع‌آوری شده از مه انتقال پیدا کند. آلودگی محیطی شامل فعالیت‌های صنعتی، فاضلاب‌ها، کودها و آلاینده‌های موجود در محیط‌زیست است. در مناطق صنعتی یا شهری، آلودگی محیطی می‌تواند به آب جمع‌آوری شده از مه نفوذ کرده و کیفیت آن را تحت‌تأثیر قرار دهد.

#### آلودگی میکروبی

آب جمع‌آوری شده از مه ممکن است حاوی میکروارگانیسم‌های مختلفی مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها باشد. این میکروارگانیسم‌ها از منابع مختلف مانند حیوانات، فضای باز و تراکم جمعیت انسانی به آب جمع‌آوری شده وارد می‌شوند. اگر آب جمع‌آوری شده بدون اتخاذ راهکارهای مناسب برای پاکسازی مورداستفاده قرار گیرد، می‌تواند عامل انتقال بسیاری از بیماری‌های خطرناک باشد.

#### آلودگی شیمیایی

آب استخراج شده از مه ممکن است حاوی آلاینده‌های شیمیایی باشد که از منابع مختلف مانند آلاینده‌های صنعتی، آلاینده‌های کشاورزی یا آلاینده‌های موجود در هوا و محیط‌زیست به آن نفوذ کرده‌اند. این آلاینده‌ها برای مصرف آب در کشاورزی، آبیاری یا استفاده در خانه مناسب نیستند و برای محیط‌زیست و سلامتی انسان‌ها آسیب‌های جدی ایجاد می‌کنند.

به‌طورکلی، جهت استفاده ایمن از آب جمع‌آوری شده از مه، تست‌های منظم برای شناسایی آلودگی‌های میکروبی و شیمیایی ضروری است. همچنین، درنظرگرفتن شرایط محیطی محلی و منابع آلاینده احتمالی، همچون کیفیت هوا و منابع آلاینده در نزدیکی، از اهمیت ویژه برخوردار است تا از ایمنی آب جمع‌آوری شده اطمینان حاصل شود.

### آلودگی‌های منابع آب یخچال‌های طبیعی

آلودگی یخچال‌ها، که به‌عنوان منابع آب متعارف شناخته می‌شوند، می‌تواند تأثیرات محیطی و اجتماعی قابل‌توجهی داشته باشد. در این بخش تعدادی از انواع مختلف آلودگی که می‌توانند بر یخچال‌ها تأثیر بگذارند گزارش شده‌اند.

#### آلودگی هوا

آلاینده‌های موجود در هوا مانند مواد معلق، کربن سیاه[[49]](#footnote-49) و آلاینده‌های صنعتی می‌توانند بر روی یخچال‌ها رسوب کنند. این آلاینده‌ها سطح یخ را تیره‌تر می‌کنند و باعث کاهش تابش البدو[[50]](#footnote-50) (قدرت بازتاب) و شتاب‌دهی فرایند ذوب یخ‌ها می‌شوند. آلودگی هوا ممکن است از فعالیت‌های صنعتی محلی و حمل‌ونقل نشات گرفته باشد.

#### آلودگی رسوبی

رسوبات حاوی آلودگی می‌توانند توسط رودخانه‌ها حمل و بر روی یخچال‌ها ریخته شوند. این آلودگی‌ها ممکن است از فرسایش خاک‌های آلوده، فعالیت‌های معدنی یا پروژه‌های ساخت‌وساز ناشی شوند. ته‌نشینی رسوبات روی یخچال‌ها می‌تواند خواص فیزیکی آنها را تغییر داده، نرخ ذوب را افزایش داده و آلودگی را هنگام ذوب یخچال‌ها به بدنه‌های آبی پایین‌دست وارد کنند.

#### آلودگی میکروپلاستیک‌ها

میکروپلاستیک‌ها[[51]](#footnote-51) که ذرات پلاستیکی بسیار کوچکی با اندازه کمتر از ۵ میلیمتر هستند که در سراسر جهان در یخچال‌ها کشف شده‌اند. این ذرات می‌توانند از طریق رسوب جوی، رواناب‌ها و یا پساب فعالیت‌های انسانی مستقیما وارد یخچال‌ها شوند. میکروپلاستیک‌ها می‌توانند تأثیرات مخربی بر اکوسیستم‌های یخچالی داشته باشند و به صورت بالقوه فرایند تجزیه آن‌ها به آزادسازی سایر آلودگی‌ها کمک می‌کند.

#### آلودگی پرتوزا[[52]](#footnote-52)

آلاینده‌های پرتوزا می‌توانند از طریق رسوب جوی یا نتیجه حوادث هسته‌ای یا آزمایش سلاح‌های هسته‌ای وارد یخچال‌ها شوند. رادیونوکلیدها[[53]](#footnote-53) می‌توانند به مسافت‌های طولانی منتقل شوند و بر روی یخچال‌ها رسوب‌کرده و با گذر زمان تجمع یابند. آب ذوب شده‌ی یخچال حاوی آلودگی پرتوزا می‌تواند خطراتی را برای اکوسیستم‌ها و جمعیت‌های انسانی در حوضه آبی پایین‌دست ایجاد کند.

#### آلودگی زیستی[[54]](#footnote-54)

یخچال‌ها می‌توانند تحت‌تأثیر آلودگی زیستی قرار بگیرند، مانند واردشدن گونه‌های غیربومی و آلودگی‌های میکروبی[[55]](#footnote-55). فعالیت‌های انسانی از جمله گردشگری و اکتشافات تحقیقاتی می‌توانند گونه‌های غیربومی را به طور تصادفی به محیط‌های یخچالی وارد کنند. آلودگی‌های میکروبی مانند عوامل بیماری‌زا[[56]](#footnote-56) به‌جامانده از پسماندهای انسانی نیز می‌توانند بر اکوسیستم‌ها و کیفیت آب پایین‌دست یخچال‌ها تأثیر بگذارند.

آلودگی یخچال‌ها نه‌تنها بر سلامت و پایداری آن‌ها تأثیر می‌گذارد، بلکه منابع آب تازه پایین‌دست را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. کاهش آلاینده‌های هوا، تنظیم فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، مدیریت دفع پسماندها و ترویج گردشگری پایدار برای کاهش آلودگی و حفاظت از اکوسیستم‌های یخچالی به‌عنوان منابع ارزشمند آب بسیار ضروری است. علاوه بر این، همکاری بین‌المللی و مقررات محیط زیستی برای مقابله با حمل‌ونقل بلندمدت آلاینده‌ها که بر یخچال‌ها به‌صورت جهانی تأثیر می‌گذارد، ضروری است.

### کوه یخ جابه‌جا شده

### آب فسیلی

### آب دانه‌های ابر

### منابع آبی ژرف (2 تا سه کیلومتر عمق)

# روش‌های تشخیص آلودگی آب

## مقدمه

شناسایی[[57]](#footnote-57) آلودگی‌ها در منابع آبی به‌منظور حفظ سلامتی انسان، حفاظت از محیط‌زیست و اطمینان از رعایت قوانین و مقررات مربوطه از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. آلودگی آب می‌تواند تأثیرات منفی بر روی انسان‌ها و اکوسیستم‌ها داشته باشد. با شناسایی و پایش آلودگی‌ها، می‌توانیم خطرات محتمل را شناسایی کرده، اقدامات پیشگیرانه را به عمل‌آورده و تأثیرات آلودگی را کاهش دهیم.

شناسایی، به‌عنوان یک سیستم هشدار زودهنگام، امکان اتخاذ اقدامات سریع را فراهم می‌کند تا آلودگی را متوقف کرده و آسیب‌های بیشتر را کاهش دهیم. این عملیات به شناسایی منابع آلودگی نیز کمک می‌کند؛ بدین ترتیب می‌توانیم اقدامات کنترل آلودگی هدف‌مند را اجرا کرده و از آسیب‌های احتمالی پیشرو جلوگیری کنیم.

پایش و شناسایی منظم، پایه‌ای برای مدیریت منابع آبی مؤثر فراهم می‌کند. این امر اطلاعات حیاتی درباره روند کیفیت آب را در اختیار سیستم می‌گذارد، مناطق در معرض خطر را تشخیص می‌دهد و فرایندهای تصمیم‌گیری را هدایت می‌کند. با تجزیه‌وتحلیل نوع و غلظت آلودگی‌ها، افراد مسئول می‌توانند راهبُردهایی را برای جلوگیری از آلودگی، پاک‌سازی آلودگی و استفاده پایدار از منابع آبی تدوین کنند.

در نهایت، شناسایی آلودگی‌ها در منابع آبی برای تأمین ایمنی آب آشامیدنی، حفظ اکوسیستم‌های آبی و رعایت استانداردهای قانونی بسیار ضروری است. این امر ما را قادر می‌سازد تا سلامتی انسان‌ها را تامین، تنوع زیستی را حفظ و منابع آبی را به‌صورت پایدار مدیریت کنیم.

## انواع روش‌های شناسایی آلودگی آب

شناسایی انواع آلودگی موجود در آب امری ضروری است و روش‌های متنوعی برای اجرای آن وجود دارد. بسته به شرایط، نوع آلودگی، مورد مصرف آب و ... روش‌های شناسایی آلودگی به دو دسته‌ی روش‌های آزمایش سریع[[58]](#footnote-58) و متداول[[59]](#footnote-59) تقسیم‌بندی می‌شوند.

این روش‌های متداول معمولاً شامل مراحلی هستند که زمان بیشتری نسبت به آزمون‌های سریع نیاز دارند، مانند آماده‌سازی نمونه، واکنش‌های شیمیایی پیچیده یا تجزیه‌وتحلیل آزمایشگاهی جامع. دریافت نتایج ممکن است زمان بیشتری را نسبت به آزمون‌های سریع نیاز داشته باشد.

روش‌های تشخیصی معمولی شامل تکنیک‌هایی مانند کروماتوگرافی[[60]](#footnote-60)، اسپکتروفتومتری[[61]](#footnote-61)، تیتراسیون[[62]](#footnote-62) یا روش‌های مبتنی بر کشت[[63]](#footnote-63) می‌شوند. این روش‌ها هنوز به طور گسترده استفاده می‌شوند و می‌توانند نتایج دقیق و قابل‌اعتمادی ارائه دهند، اما ممکن است زمان بیشتری نسبت به آزمون‌های سریع برای دریافت نتایج نیاز باشد. این روش‌ها معمولاً در آزمایشگاه‌های تحقیقاتی، نظارت محیطی، آزمون‌های صنعتی و ارزیابی مطابقت با مقررات استفاده می‌شوند.

درحالی‌که آزمون‌های سریع تمرکز خود را بر تجزیه‌وتحلیل سریع و در محل قرار داده‌اند، روش‌های متداول عموماً در شرایطی که نیاز به‌دقت بالاتر یا تجزیه‌وتحلیل دقیق‌تری وجود دارد و زمان محدودیتی ندارد، استفاده می‌شوند. مهم است به‌خاطر داشت که تفکیک بین آزمون‌های سریع و روش‌های متداول همیشه مطلق نیست و ممکن است بسته به شرایط و پیشرفت‌های فناوری، تفاوت‌ها و تداخل‌هایی وجود داشته باشد. در ادامه برای هر یک از این روش‌ها توضیحاتی ارائه شده است.

### روش‌های آزمایش سریع

در این بخش به سه روش آزمایش سریع (حسگرهای زیستی[[64]](#footnote-64)، دستگاه‌های میکروسیال[[65]](#footnote-65)، سنسورهای برپایه‌ی گوشی‌های هوشمند[[66]](#footnote-66)) و جزئیات آن‌ها پرداخته شده است.

#### حسگرهای زیستی

حسگرهای زیستی دستگاه‌های تجزیه‌وتحلیل قدرتمندی هستند که عناصر تشخیصی بیولوژیکی را با مبدل‌ها[[67]](#footnote-67) ترکیب کرده‌اند تا عناصر آنالیت[[68]](#footnote-68) خاصی را تشخیص داده و مقدارش را اندازه‌گیری کنند. در زمینه تشخیص آلودگی آب، حسگرهای زیستی روش‌های تشخیص سریع و حساس را برای تشخیص آلاینده‌های مختلف ارائه می‌دهند. در ادامه اطلاعات بیشتری درباره حسگرهای زیستی به‌عنوان آزمون‌های سریع برای تشخیص آلودگی آب ارائه شده است.

##### اصول عملکرد

 حسگرهای زیستی معمولاً از سه بخش اصلی تشکیل شده‌اند: عنصر تشخیصی بیولوژیکی[[69]](#footnote-69) (مانند آنزیم‌ها[[70]](#footnote-70)، پادتن‌ها[[71]](#footnote-71) یا پروب‌های[[72]](#footnote-72) DNA)، مبدل و واحد پردازش سیگنال[[73]](#footnote-73). عنصر تشخیصی بیولوژیکی با آنالیت هدف منتخب در نمونه آب واکنش نشان داده و باعث واکنش بیولوژیکی می‌شود. سپس مبدل سیگنال را که ممکن است برخی از ویژگی‌های الکتریکی، نوری[[74]](#footnote-74) یا الکتروشیمیایی[[75]](#footnote-75) باشد، به یک سیگنال قابل‌اندازه‌گیری تبدیل می‌کند. واحد پردازش سیگنال تولید شده را به یک اندازه‌گیری کمّی یا کیفی آنالیت هدف ترجمه می‌کند.

1. **عناصر تشخیص بیولوژیکی:** حسگرهای زیستی از عناصر تشخیصی بیولوژیکی مختلفی استفاده می‌کنند که به آلاینده‌های هدف بستگی دارد. آنزیم‌ها به‌عنوان عناصر تشخیصی برای تشخیص آلودگی آب به کار می‌روند زیرا می‌توانند واکنش‌های خاصی با آلاینده‌ها را فعال کنند و تغییرات قابل‌اندازه‌گیری در سیگنال حسگر را ایجاد کنند. پادتن‌ها یا پلیمرهای مولکولی[[76]](#footnote-76) (MIPs) برای دسته‌بندی و تشخیص آلاینده‌های خاص استفاده می‌شوند. حسگرهای زیستی مبتنی بر DNA از پروب‌های DNA برای تشخیص و اتصال به توالی‌های مکمل[[77]](#footnote-77) در آلاینده‌های هدف استفاده می‌کنند.
2. **مبدل‌ها:** حسگرهای زیستی می‌توانند از انواع مختلف مبدل‌ها استفاده کنند تا پاسخ بیولوژیکی را به یک سیگنال قابل‌اندازه‌گیری تبدیل کنند. برخی از مبدل‌های معمول استفاده شده در حسگرهای زیستیی آلودگی آب عبارت‌اند از مبدل‌های الکتروشیمیایی، نوری و پیزوالکتریکی[[78]](#footnote-78).

##### ویژگی‌ها

1. **تجزیه و تحلیل در محل[[79]](#footnote-79) و سریع:** حسگرهای زیستی قابلیت تجزیه‌وتحلیل سریع و در محل را ارائه می‌دهند که برای تشخیص آلودگی آب بسیار حائز اهمیت است. این ابزار نتایج سریعی را ارائه می‌دهد، معمولاً در عرض چند دقیقه، که امکان نظارت بلادرنگ[[80]](#footnote-80) و تصمیم‌گیری فوری را فراهم می‌کند. حسگرهای زیستی قابل‌حمل، کوچک و کاربرپسند[[81]](#footnote-81) هستند و ازاین‌رو برای کاربردهای میدانی و آزمایش در محل بدون نیاز به تجهیزات آزمایشگاهی و کارکنان آموزش‌دیده مناسب هستند.
2. **حساسیت[[82]](#footnote-82) و انتخاب‌پذیری[[83]](#footnote-83):** حسگرهای زیستی حساسیت بالا و انتخاب‌پذیری نسبت به آنالیت‌های هدف را نشان می‌دهند که به تشخیص دقیق حتی در غلظت‌های پایین منجر می‌شود. عناصر تشخیص زیستی استفاده شده در حسگرهای زیستی تمایل بالایی نسبت به آنالیت‌های هدف خود دارند که باعث کاهش نتایج مثبت یا منفی نادرست می‌شود.
3. **قابلیت چندگانه سازی[[84]](#footnote-84):** حسگرهای زیستی می‌توانند برای تشخیص هم‌زمان چندین آلودگی طراحی شوند که قابلیت چندگانه‌سازی را ارائه می‌دهند. این امر به‌ویژه برای تشخیص آلودگی آب که ممکن است چندین آلاینده وجود داشته باشد، مفید است. حسگرهای زیستی چندگانه امکان تجزیه‌وتحلیل جامع نمونه‌های آب در یک آزمون را فراهم می‌کنند که زمان و هزینه مربوط به آزمون‌های جداگانه برای هر آلاینده را کاهش می‌دهد.
4. **قابلیت ادغام با دستگاه‌های هوشمند:** حسگرهای زیستی می‌توانند با دستگاه‌های هوشمند مانند تلفن‌های هوشمند یا تبلت‌ها ادغام شوند تا قابلیت‌های آنها را بهبود بخشند. این ادغام امکان جمع‌آوری داده‌ها، تجزیه‌وتحلیل و تفسیر آنها با استفاده از برنامه‌های تلفن همراه اختصاصی را فراهم می‌کند. دستگاه‌های هوشمند رابط کاربری کاربرپسند، اتصالی برای به‌اشتراک‌گذاری داده‌ها و دسترسی به الگوریتم‌های محاسباتی پیشرفته را فراهم می‌کنند و قابلیت دسترسی به حسگرهای زیستی را گسترش می‌دهند.
5. **کاربردهای میدانی:** حسگرهای زیستی کاربردهای با ارزشی در نظارت بر کیفیت آب، تجزیه‌وتحلیل محیطی و مدیریت آب صنعتی دارند. آنها می‌توانند برای تشخیص گسترده‌ی آلاینده‌های آب، از جمله فلزات سنگین، سموم کشاورزی، ترکیبات آلی و آلودگی‌های میکروبی استفاده شوند. حسگرهای زیستی امکان غربالگری سریع منابع آب، تشخیص زودهنگام عوامل آلودگی و نظارت مداوم بر کیفیت آب در محیط‌های طبیعی و صنعتی را فراهم می‌کنند.

حسگرهای زیستی مزایای قابل‌توجهی را برای تشخیص سریع آلودگی آب ارائه می‌دهند و تجزیه‌وتحلیل حساس، انتخاب‌پذیر و بلادرنگ را فراهم می‌کنند. پیشرفت‌های مستمر در فناوری حسگرهای زیستی، مانند کوچک‌نمایی[[85]](#footnote-85)، افزایش حساسیت و افزایش قابلیت چندگانه‌سازی، امیدوارکننده‌اند که بهبود کارایی آنها در نظارت بر کیفیت آب و مدیریت محیطی را فراهم کنند. نمونه‌ای از شماتیک ساختار و نحوه‌ی عملکرد یک حسگر زیستی در شکل 3-1 نمایش داده شده است.



شکل 3 - 1 شماتیکی از ساختار و نحوه‌ی عملکرد حسگر زیستی

#### دستگاه‌های میکروسیال

دستگاه‌های میکروسیال به‌عنوان ابزارهایی قدرتمندی در آزمون سریع در حوزه‌های مختلف، از جمله تشخیص آلودگی آب، طراحی و ساخته شده‌اند. این دستگاه‌ها از اصول میکروسیال استفاده می‌کنند که شامل کنترل حجم‌های کوچک مایعات، به طور معمول در محدوده میکرولیتر[[86]](#footnote-86) یا نانولیتر[[87]](#footnote-87)، درون میکرو کانال‌ها یا اتاق‌های[[88]](#footnote-88) میکرویی است. در زمینه تشخیص آلودگی آب، دستگاه‌های میکروسیال چندین مزیت ارائه می‌دهند:

1. **کوچک‌نمایی:** دستگاه‌های میکروسیال به طور قابل‌توجهی کوچک‌نمایی شده‌اند و شبکه‌های پیچیده‌ای از کانال‌ها و اتاق‌ها را در یک تراشه یا زیرساخت کوچک دارند. این کوچک‌نمایی امکان کنترل کارایی مناسب حجم نمونه‌های کوچک و کاهش مصرف راکتیوها[[89]](#footnote-89) را فراهم می‌کند و بدین ترتیب، آن‌ها را به ابزاری مقرون به صرفه و سازگار با محیط‌زیست تبدیل می‌کند.
2. **تحلیل سریع:** دستگاه‌های میکروسیال به صورت یکپارچه چندین مرحله تحلیلی را در یک پلتفرم[[90]](#footnote-90) تکمیل می‌کنند. این مراحل می‌توانند شامل آماده‌سازی نمونه، مخلوط‌کردن، واکنش، جداسازی و شناسایی باشند. با ترکیب این عملکردها در یک تراشه واحد، دستگاه‌های میکروسیال زمان موردنیاز برای تحلیل را به شکل قابل‌توجهی کاهش می‌دهند و نتایج را در عرض چند دقیقه یا حتی ثانیه ارائه می‌کنند.
3. **حساسیت افزوده:** دستگاه‌های میکروسیال با کنترل دقیق جریان مایع و شرایط واکنش، حساسیتی با دقت بالاتر ارائه می‌دهند. ابعاد کوچک میکرو کانال‌ها امکان انتقال گرما و جرم به‌صورت کارآمد را فراهم می‌کنند که منجر به بهبود سینتیک[[91]](#footnote-91) واکنش و تقویت سیگنال[[92]](#footnote-92) می‌شود. این حساسیت افزوده امکان شناسایی آلاینده‌ها در غلظت‌های بسیار پایین را فراهم می‌کند و دقت ارزیابی آلودگی آب را افزایش می‌دهد.
4. **خودکارسازی یکپارچه:** دستگاه‌های میکروسیال به‌راحتی قابل خودکارسازی هستند و این امکان را فراهم می‌کنند که روند آزمون‌ها را ساده و قابل‌تکرار کنند. اجزای مختلفی مانند پمپ‌ها، شیرها و حسگرها می‌توانند در دستگاه یکپارچه شوند و کنترل دقیق و نظارت بر جریان مایع را فراهم کنند. خودکارسازی احتمال خطاهای انسانی را کاهش داده و قابلیت اعتماد آزمون‌ها را افزایش می‌دهد.

#### سنسورهای برپایه‌ی گوشی‌های هوشمند

### روش‌های متداول

#### مانند کروماتوگرافی

#### اسپکتروفتومتری

#### تیتراسیون

#### روش‌های مبتنی بر کشت

# روش‌های پاک‌سازی آلودگی آب

## مقدمه

### فرآیندهای اکسیداسیون پیشرفته (AOPs)[[93]](#footnote-93):

### سیستم های فیلتراسیون غشایی[[94]](#footnote-94)

### انعقاد الکتریکی[[95]](#footnote-95):

### سیستم های تصفیه بیولوژیکی[[96]](#footnote-96):

### فن آوری های پیشرفته جذب[[97]](#footnote-97):

### تالاب های ساخته شده[[98]](#footnote-98):

### سیستم های تبادل یونی[[99]](#footnote-99):

### بارش شیمیایی پیشرفته[[100]](#footnote-100):

### سیستم های نظارت و کنترل پیشرفته[[101]](#footnote-101):

### سیستم های ضد عفونی پیشرفته[[102]](#footnote-102):

1. Surface water [↑](#footnote-ref-1)
2. Ground water [↑](#footnote-ref-2)
3. Aquifers [↑](#footnote-ref-3)
4. Desalinated water [↑](#footnote-ref-4)
5. Wastewater reuse [↑](#footnote-ref-5)
6. Recycled [↑](#footnote-ref-6)
7. Rainwater harvesting [↑](#footnote-ref-7)
8. Surface runoffs [↑](#footnote-ref-8)
9. Foh harvesting [↑](#footnote-ref-9)
10. Mesh [↑](#footnote-ref-10)
11. Glaceries [↑](#footnote-ref-11)
12. Wastewater discharge [↑](#footnote-ref-12)
13. Heavy metals [↑](#footnote-ref-13)
14. Cadmium [↑](#footnote-ref-14)
15. Organic compounds [↑](#footnote-ref-15)
16. PolyChlorinated Biphenyls (PCBs) [↑](#footnote-ref-16)
17. Solvents [↑](#footnote-ref-17)
18. Herbicides [↑](#footnote-ref-18)
19. Fertilizers [↑](#footnote-ref-19)
20. Aquatic ecosystems [↑](#footnote-ref-20)
21. Cleaning agents [↑](#footnote-ref-21)
22. Endocrine systems [↑](#footnote-ref-22)
23. Persistent Organic Pollutants (POPs) [↑](#footnote-ref-23)
24. Degradation [↑](#footnote-ref-24)
25. Dioxins [↑](#footnote-ref-25)
26. DichloroDiphenylTrichloroethane (DDT) [↑](#footnote-ref-26)
27. Bioaccumulation [↑](#footnote-ref-27)
28. Biomagnification [↑](#footnote-ref-28)
29. [↑](#footnote-ref-29)
30. Antibiotic [↑](#footnote-ref-30)
31. Benzen (C6H6) [↑](#footnote-ref-31)
32. Toluene (C6H5CH3) [↑](#footnote-ref-32)
33. Nitrate (NO3) [↑](#footnote-ref-33)
34. Phosphate (H3PO4) [↑](#footnote-ref-34)
35. Harmeful Algal Blooms (HABs) [↑](#footnote-ref-35)
36. Thermal [↑](#footnote-ref-36)
37. Fresh water [↑](#footnote-ref-37)
38. Chemical additives [↑](#footnote-ref-38)
39. Antiscalants [↑](#footnote-ref-39)
40. Disinfection ByProducts (DBPs) [↑](#footnote-ref-40)
41. Chlorination [↑](#footnote-ref-41)
42. Chloramination [↑](#footnote-ref-42)
43. Microbiological safety [↑](#footnote-ref-43)
44. Reverse Osmosis [↑](#footnote-ref-44)
45. Rainwater harvesting [↑](#footnote-ref-45)
46. Asbestos [↑](#footnote-ref-46)
47. Treated wood [↑](#footnote-ref-47)
48. Protozoa [↑](#footnote-ref-48)
49. Black Carbon [↑](#footnote-ref-49)
50. Albedo [↑](#footnote-ref-50)
51. Mocroplastices [↑](#footnote-ref-51)
52. Radioactive [↑](#footnote-ref-52)
53. Radionuclides [↑](#footnote-ref-53)
54. Biological [↑](#footnote-ref-54)
55. Microbial [↑](#footnote-ref-55)
56. Pathogens [↑](#footnote-ref-56)
57. Detection [↑](#footnote-ref-57)
58. Rapid tests [↑](#footnote-ref-58)
59. Traditional tests [↑](#footnote-ref-59)
60. Chromatography [↑](#footnote-ref-60)
61. Spectrophotometry [↑](#footnote-ref-61)
62. Titration [↑](#footnote-ref-62)
63. Culture-based [↑](#footnote-ref-63)
64. Biosensors [↑](#footnote-ref-64)
65. Microfluidic devices [↑](#footnote-ref-65)
66. Smartphone-based sensors [↑](#footnote-ref-66)
67. Trancducers [↑](#footnote-ref-67)
68. Analytes [↑](#footnote-ref-68)
69. Biological recognition element [↑](#footnote-ref-69)
70. Enzymes [↑](#footnote-ref-70)
71. Antibodies [↑](#footnote-ref-71)
72. Probes [↑](#footnote-ref-72)
73. Signal processing unit [↑](#footnote-ref-73)
74. Optical [↑](#footnote-ref-74)
75. Electrochemical [↑](#footnote-ref-75)
76. Molecularly Imprinted Polymers (MIPs) [↑](#footnote-ref-76)
77. Complementary sequences [↑](#footnote-ref-77)
78. Piezoelectric [↑](#footnote-ref-78)
79. On-site analysis [↑](#footnote-ref-79)
80. Real time [↑](#footnote-ref-80)
81. User-friendly [↑](#footnote-ref-81)
82. Sensitivity [↑](#footnote-ref-82)
83. Selectivity [↑](#footnote-ref-83)
84. Multiplexing capabilities [↑](#footnote-ref-84)
85. Miniaturization [↑](#footnote-ref-85)
86. Micro-Liter [↑](#footnote-ref-86)
87. Nono-Liter [↑](#footnote-ref-87)
88. Chambers [↑](#footnote-ref-88)
89. Reagents [↑](#footnote-ref-89)
90. Platform [↑](#footnote-ref-90)
91. Kinetics [↑](#footnote-ref-91)
92. Signal amplification [↑](#footnote-ref-92)
93. Advanced Oxidation Processes (AOPs) [↑](#footnote-ref-93)
94. Membrane Filtration Systems [↑](#footnote-ref-94)
95. Electrocoagulation [↑](#footnote-ref-95)
96. Biological Treatment Systems [↑](#footnote-ref-96)
97. Advanced Adsorption Technologies [↑](#footnote-ref-97)
98. Constructed Wetlands [↑](#footnote-ref-98)
99. Ion Exchange Systems [↑](#footnote-ref-99)
100. Advanced Chemical Precipitation [↑](#footnote-ref-100)
101. Advanced Monitoring and Control Systems [↑](#footnote-ref-101)
102. Advanced Disinfection Systems [↑](#footnote-ref-102)