

جمهوری اسلامی ایران  
سازمان برنامه و بودجه کشور

# راهنمای شناسایی، پایش و حذف آلاینده‌های نوظهور از منابع آب

نشریه شماره ۸۹۵

ویرایش ۲۶-۰۲-۱۴۰۵

وزارت نیرو  
دفتر توسعه نظام‌های فنی، بهره‌برداری و  
دیسپاچینگ برقآبی

[waterstandard.wrm.ir](http://waterstandard.wrm.ir)

معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی

امور نظام فنی و اجرایی

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)



## اصلاح مدارک فنی

### خواننده گرامی:

امور نظام فنی و اجرایی معاونت فنی، امور زیربنایی و تولیدی سازمان برنامه و بودجه کشور، با همکاری دفتر توسعه نظام‌های فنی، بهره‌برداری و دیسپاچینگ برقایی - شرکت مدیریت منابع آب ایران - وزارت نیرو و با استفاده از نظر کارشناسان برجسته در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور مبادرت به تهیه این ضابطه کرده و آن را برای استفاده به جامعه‌ی مهندسی کشور عرضه نموده است.

نظر به تخصصی بودن موضوع، مسئولیت مطالب تهیه شده، تفسیر و اصلاح آن با مجموعه مرتبط در وزارت نیرو می‌باشد. طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، دریافت‌کننده نظرات و پیشنهادهای اصلاحی در مورد این ضابطه بوده و اصلاحات لازم را امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور اعلام خواهد کرد.

با وجود تلاش فراوان، این اثر مصون از ایرادهایی نظیر غلطهای مفهومی، فنی، ابهام، ابهام و اشکالات موضوعی نیست از این‌رو، از شما خواننده‌ی گرامی صمیمانه تقاضا دارد در صورت مشاهده هرگونه ایراد و اشکال فنی، مراتب را منعکس فرمایید. کارشناسان مربوط نظرهای دریافتی را به دقت مطالعه نموده و اقدام مقتضی را معمول خواهند داشت. پیشاپیش از همکاری و دقت نظر جنابعالی قدردانی می‌شود.

### نشانی برای مکاتبه

تهران، میدان بهارستان، خیابان صفی علی‌شاه - مرکز تلفن ۳۳۲۷۱ سازمان برنامه و بودجه کشور، امور نظام فنی و اجرایی

**Email:** nezamfanni@mporg.ir

**web:** nezamfanni.ir

### طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور

تهران، خیابان فلسطین شمالی، پایین‌تر از زرتشت، کوچه پرویز روشن، پلاک ۲۷ - شرکت مدیریت منابع آب ایران - دفتر توسعه نظام‌های فنی، بهره‌برداری و دیسپاچینگ برقایی - تلفن: ۰۲۱۴۳۶۸۰۲۶۱ و ۰۲۱۴۳۶۸۰۲۸۹

**Email:** waterstandard@wrm.ir

**web:** waterstandard.wrm.ir



## بسمه تعالی

### پیشگفتار

به موازات توسعه فناوری‌ها و صنایع مختلف، طیف گسترده‌ای از مواد انسان ساخت و مصنوعی جدید وارد چرخه تولید و مصرف شده‌اند که به دنبال آن، انواع مختلفی از آلاینده‌ها در مراحل گوناگون از جمله استخراج، فرآوری، توزیع و مصرف ایجاد و به طرق مختلف وارد منابعی آبی و شبکه‌های فاضلاب می‌شوند.

اگرچه بسیاری از این آلاینده‌ها از گذشته شناسایی شده و برای آن‌ها استانداردها و دستورالعمل‌های مشخصی تدوین گردیده است، اما در سال‌های اخیر، گروه جدیدی از آلاینده‌ها با ماهیت ناشناخته‌تر و رفتار پیچیده‌تر در محیط زیست شناسایی شده‌اند که به عنوان «آلاینده‌های نوظهور» شناخته می‌شوند. این ترکیبات ممکن است از منابع مختلفی نظیر فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، مصرف داروها و مواد آرایشی و حتی فعالیت‌های شهری وارد چرخه آب شوند. به دلیل غلظت پایین، ترکیب پیچیده، فقدان یا کمبود فناوری‌ها و تجهیزات شناسایی و پایش و همچنین عدم قطعیت‌های زیاد در مورد آثار و پیامدهای آن‌ها بر محیط زیست و منابع آبی و نبود استانداردهای مدون، شناسایی و کنترل این آلاینده‌ها نه تنها در ایران، بلکه در کشورهای توسعه یافته نیز با دشواری‌های فراوانی همراه است.

با توجه به اهمیت مبحث فوق، امور آب و آبغای وزارت نیرو در قالب طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور، تهیه «راهنمای شناسایی، پایش و حذف آلاینده‌های نوظهور از منابع آب» را با هماهنگی امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور در دستور کار قرارداد که به منظور بهره‌برداری جامعه فنی مهندسی کشور، در دسترس عموم قرار گرفته است.

علی‌رغم تلاش، دقت و وقت زیادی که برای تهیه این مجموعه صرف گردید، این مجموعه مصون از وجود اشکال و ابهام در مطالب آن نیست. لذا در راستای تکمیل و پربار شدن این راهنما از کارشناسان محترم درخواست می‌شود موارد اصلاحی را منعکس فرمایند. نظرات و پیشنهادهای اصلاحی دریافت شده مورد بررسی قرار گرفته و در صورت نیاز به اصلاح در متن راهنما، با هم‌فکری نمایندگان جامعه فنی کشور و کارشناسان مجرب این حوزه، نسبت به تهیه متن اصلاحی، اقدام و از طریق پایگاه اطلاع‌رسانی نظام فنی و اجرایی کشور برای بهره‌برداری عموم، اعلام خواهد شد. به همین منظور و برای سهولت رصد آخرین تغییرات معتبر، در بالای صفحات راهنما، تاریخ تدوین مطالب آن صفحه درج شده است که در صورت هرگونه تغییر در مطالب هر یک از صفحات، تاریخ آن صفحه نیز اصلاح خواهد شد. از این‌رو همواره مطالب صفحات دارای تاریخ جدیدتر معتبر خواهد بود.

معاونت فنی، زیربنایی و تولیدی

بهار ۱۴۰۵

## تهیه و کنترل «راهنمای شناسایی، پایش و حذف آلاینده‌های ظهور از منابع آب»

[نشریه شماره ۸۹۵]

مجری: شرکت مهندسين مشاور رویان

مسئول پروژه: فرزام پوراصغر سنگاچين

اعضای گروه تهیه‌کننده:

فرزام پوراصغر سنگاچين      کارشناس آزاد      دکترای برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط

زیست

محمدعلی حامدی      شرکت مهندسين مشاور رویان      دکترای برنامه‌ریزی توسعه منطقه‌ای

مهدی زرغانی      شرکت مهندسين مشاور رویان      فوق‌لیسانس آب و خاک

جواد رضانی      سازمان حفاظت محیط زیست کشور      دکترای علوم محیط زیست

پژوهشکده توسعه پایدار

اعضای گروه نظارت:

مهتاب باغبان      شرکت آب و فاضلاب استان تهران      دکترای نانوفناوری

بهروز دهزاد      کارشناس آزاد      دکترای اکولوژی آب‌های داخلی

الهام رسولپور شبستری      شرکت مدیریت منابع آب ایران- طرح تهیه      فوق‌لیسانس برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش

ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور      محیط زیست

سیدحسین هاشمی      کارشناس آزاد      دکترای مهندسی محیط زیست

اعضای گروه تاییدکننده (کمیته تخصصی محیط زیست طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور):

محسن اسلامی‌زاده      کارشناس آزاد      دکترای مهندسی محیط زیست

محمدعلی حامدی      شرکت مهندسين مشاور رویان      دکترای برنامه‌ریزی توسعه منطقه‌ای

جواد حسن‌نژاد      شرکت مدیریت منابع آب ایران      فوق‌لیسانس مدیریت محیط زیست

بهروز دهزاد      کارشناس آزاد      دکترای اکولوژی آب‌های داخلی

الهام رسولپور شبستری      شرکت مدیریت منابع آب ایران- طرح تهیه      فوق‌لیسانس برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش

ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور      محیط زیست

مریم سلطانی      سازمان حفاظت محیط زیست      دکترای مهندسی عمران- محیط زیست

دکترای محیط زیست  
فوق لیسانس مهندسی محیط زیست- آب و  
فاضلاب

دکترای مهندسی محیط زیست  
فوق لیسانس مهندسی محیط زیست

شرکت مدیریت منابع آب ایران  
شرکت مهندسی آب و فاضلاب کشور

کارشناس آزاد  
شرکت اندیشه زلال

زهره قائمی  
احمد منتظری

سیدحسین هاشمی  
سیدرضا یعقوبی

## فهرست مطالب

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u>                                                               |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------|
| ۱           | مقدمه                                                                      |
| ۵           | فصل اول - واژگان                                                           |
| ۱۱          | فصل دوم - حفاظت از کیفیت آب در برابر آلودگی در اسناد فرادست و قوانین کشور  |
| ۱۳          | ۱-۲- اسناد فرادست                                                          |
| ۱۳          | ۲-۲- قوانین و مقررات مرتبط با حفاظت از کیفیت منابع آب                      |
| ۱۵          | ۳-۲- مطالعات داخلی و خارجی                                                 |
| ۱۹          | فصل سوم - وضعیت و پیشینه آلاینده‌های نوظهور در جهان                        |
| ۲۵          | فصل چهارم - تعریف و طبقه‌بندی آلاینده‌های نوظهور                           |
| ۳۰          | ۱-۴- طبقه‌بندی آلاینده‌های نوظهور در محیط‌های آبی                          |
| ۳۸          | ۲-۴- انواع آلاینده‌های نوظهور                                              |
| ۶۵          | فصل پنجم - شناسایی منابع انتشار آلاینده‌های نوظهور                         |
| ۶۸          | ۱-۵- منابع نقطه‌ای انتشار آلاینده‌های نوظهور                               |
| ۷۲          | ۲-۵- منابع انتشار غیر نقطه‌ای (پراکنده)                                    |
| ۷۳          | فصل ششم - آثار و پیامدهای آلاینده‌های نوظهور بر سلامت محیط‌زیست و منابع آب |
| ۸۷          | فصل هفتم - ارزیابی ریسک زیست‌محیطی و بهداشتی آلاینده‌های نوظهور            |
| ۱۰۱         | فصل هشتم - پایش و ردیابی آلاینده‌های نوظهور از آب                          |
| ۱۰۴         | ۱-۸- نمونه‌برداری آلاینده‌های نوظهور                                       |
| ۱۰۹         | ۱-۱-۸- تکنیک‌های نمونه‌برداری                                              |
| ۱۱۳         | ۲-۸- استخراج نمونه‌های آلاینده نوظهور                                      |
| ۱۱۷         | فصل نهم - تجزیه آلاینده‌های نوظهور                                         |
| ۱۱۹         | ۱-۹- روش‌های طیف‌سنجی نوری                                                 |
| ۱۱۹         | ۱-۱-۹- جذب طیف‌سنجی نوری                                                   |
| ۱۲۱         | ۲-۱-۹- جذب اتمی و تجزیه انتشار                                             |
| ۱۲۲         | ۲-۹- روش‌های تجزیه الکتروشیمیایی                                           |
| ۱۲۳         | ۳-۹- کروماتوگرافی                                                          |

## فهرست مطالب

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u>                                                                 |
|-------------|------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۲۵         | ۹-۳-۱- کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC)                               |
| ۱۲۶         | ۹-۳-۲- تجزیه کروماتوگرافی آلاینده‌های آب                                     |
| ۱۲۷         | ۹-۳-۳- یون کروماتوگرافی                                                      |
| ۱۲۷         | ۹-۴- طیف‌سنجی جرمی یا اسپکترومتری جرمی                                       |
| ۱۲۹         | ۹-۵- نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و سنجش میکرو پلاستیک‌ها                       |
| ۱۳۰         | ۹-۶- نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و سنجش سموم کشاورزی                           |
| ۱۳۳         | فصل دهم - کنترل کیفیت                                                        |
| ۱۳۹         | فصل یازدهم - تصفیه و حذف آلاینده‌های نوظهور                                  |
| ۱۴۳         | ۱۱-۱- روش بیولوژیکی (زیستی) حذف آلاینده‌های نوظهور                           |
| ۱۵۵         | ۱۱-۲- کاربرد هوش مصنوعی در پایش، کنترل و حذف آلاینده‌های نوظهور از منابع آبی |
| ۱۵۹         | پیوست ۱ - آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن                                |
| ۱۷۹         | منابع و مراجع                                                                |

## فهرست شکل‌ها

| <u>صفحه</u> | <u>عنوان</u>                                                                                                   |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۳۱          | شکل ۴-۱- گروه‌های اصلی آلاینده‌های نوظهور و محیط‌های متأثر از آن‌ها                                            |
| ۳۵          | شکل ۴-۲- منابع انتشار و مسیر انتشار آلاینده‌های نوظهور به منابع پذیرنده                                        |
| ۳۶          | شکل ۴-۳- فرایندهای انتقال و سرنوشت آلاینده‌های نوظهور در منابع آب                                              |
| ۳۷          | شکل ۴-۴- قطبیت و فراریت برخی آلاینده‌های نوظهور                                                                |
| ۴۰          | شکل ۴-۵- منابع انتشار و مسیر انتقال آلاینده‌های نوظهور دارویی و بهداشتی به محیط‌زیست و منابع آب                |
| ۴۹          | شکل ۴-۶- نمونه حشره‌کش‌های آلی کلردار                                                                          |
| ۵۰          | شکل ۴-۷- حشره‌کش‌های فسفردار فسفرو تیونات (متیل پاراتیون و کلرپیریفوز) و فسفرو دی تیونات (آذین فوس-متیل فوسمت) |
| ۵۱          | شکل ۴-۸- اسید کاربامیک و سه حشره‌کش کاربامات                                                                   |
| ۵۲          | شکل ۴-۹- چرخه نانوذرات در محیط‌زیست                                                                            |

## فهرست شکل‌ها

| عنوان                                                                                                                                                                                                                | صفحه |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| شکل ۴-۱۰- تماس و سمیت نانوذرات در منابع آب                                                                                                                                                                           | ۵۵   |
| شکل ۴-۱۱- مسیرهای احتمالی انتقال کووید ۱۹ در چرخه آب شهری و روستایی و پتانسیل تماس شهروندان با ویروس                                                                                                                 | ۶۲   |
| شکل ۵-۱- منابع انتشار آلاینده‌های نوظهور نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای                                                                                                                                                       | ۶۸   |
| شکل ۶-۱- سمیت نسبی تعدادی از مواد شیمیایی                                                                                                                                                                            | ۷۷   |
| شکل ۶-۲- منحنی رابطه دوز- واکنش مرگ موجود زنده در نتیجه تماس با آلاینده‌های سمی                                                                                                                                      | ۷۸   |
| شکل ۶-۳- اثرات و واکنش به مواد سمی                                                                                                                                                                                   | ۷۹   |
| شکل ۶-۴- محل‌های تماس، سوخت‌وساز، انباشت، مسیرهای پراکنش و حذف مواد سمی در بدن                                                                                                                                       | ۸۰   |
| شکل ۶-۵- منابع انتشار آلاینده‌های نوظهور مسیرهای انتقال آن‌ها در محیط‌زیست                                                                                                                                           | ۸۵   |
| شکل ۷-۱- اجزا و مولفه‌های برنامه‌ریزی مدیریت ریسک                                                                                                                                                                    | ۹۰   |
| شکل ۷-۲- فرایند جامع مدیریت ریسک                                                                                                                                                                                     | ۹۱   |
| شکل ۷-۳- فرایندهای اصلی مدیریت ریسک                                                                                                                                                                                  | ۹۲   |
| شکل ۷-۴- سه منحنی واکنش‌های دوز- واکنش                                                                                                                                                                               | ۹۵   |
| شکل ۷-۵- تحلیل تصمیم‌گیری مبتنی بر ریسک                                                                                                                                                                              | ۹۶   |
| شکل ۸-۱- نمونه‌برداری سه مرحله‌ای                                                                                                                                                                                    | ۱۰۹  |
| شکل ۸-۲- انواع متداول تجهیزات نمونه‌بردار برای جمع‌آوری نمونه از آب‌های سطحی                                                                                                                                         | ۱۱۰  |
| شکل ۸-۳- د ستگاه‌های نمونه‌بردار غیرفعال برای اندازه‌گیری آلاینده‌های نوظهور در ستون آب. د ستگاه‌های نمونه‌بردار یکپارچه مواد شیمیایی آلی قطبی (POCIS) و دستگاه نمونه‌بردار غیرفعال نیمه تراو (SPMD) با محفظه حفاظتی | ۱۱۲  |
| شکل ۸-۴- مراحل استخراج فاز جامد                                                                                                                                                                                      | ۱۱۴  |
| شکل ۹-۱- اجزای اصلی جذب طیف‌سنجی اتمی شعله‌ای                                                                                                                                                                        | ۱۲۱  |
| شکل ۹-۲- نمای بخش‌های اصلی گاز کروماتوگراف (GC)                                                                                                                                                                      | ۱۲۵  |
| شکل ۹-۳- طیف‌سنجی جرمی قسمتی از علف کش ۲، ۴- دی کلرو فنوکسی استیک اسید (۲،۴-D)                                                                                                                                       | ۱۲۷  |
| شکل ۱۱-۱- فرایندهای فیزیکو- شیمیایی و زیستی حذف آلاینده‌های نوظهور از محیط‌زیست                                                                                                                                      | ۱۴۱  |
| شکل ۱۱-۲- رآکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) متداول                                                                                                                                                              | ۱۴۹  |
| شکل ۱۱-۳- انواع مواد جاذب برای حذف آلاینده‌های نوظهور                                                                                                                                                                | ۱۵۰  |
| شکل ۱۱-۴- مزایای کاربرد فرایند جذب زیستی برای حذف آلاینده‌های نوظهور از فاضلاب                                                                                                                                       | ۱۵۱  |

## فهرست جدول‌ها

| <u>عنوان</u>                                                                                                 | <u>صفحه</u> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| جدول ۱-۲- چکیده برخی پژوهش‌های داخلی و خارجی در زمینه آلاینده‌های نوظهور                                     | ۱۵          |
| جدول ۱-۳- غلظت آلاینده‌های نوظهور به تفکیک در منابع آب کشورهای منتخب                                         | ۲۱          |
| جدول ۱-۴- طبقه‌بندی سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) درباره آلاینده‌های نوظهور موجود در آب              | ۳۲          |
| جدول ۲-۴- آفت‌کش‌های آلاینده منابع آب                                                                        | ۴۷          |
| جدول ۳-۴- فرایند زیست‌محیطی، رفتار و ویژگی‌های ذرات نانو                                                     | ۵۶          |
| جدول ۴-۴- شماری از پاتوژن‌های بیماری‌زای نوظهور و بازپدید در بازه‌های زمانی مختلف                            | ۵۹          |
| جدول ۱-۵- مهم‌ترین ترکیبات دارویی شناسایی‌شده در فاضلاب خانگی بریتانیا                                       | ۷۰          |
| جدول ۱-۶- طبقه‌بندی میزان سمیت یک ماده شیمیایی بر اساس میزان دوز کشنده احتمالی از راه خوراکی                 | ۷۷          |
| جدول ۲-۶- میزان سمیت باقیمانده مواد دارویی بر گیاهان و جانوران آبی                                           | ۸۱          |
| جدول ۳-۶- اثرات سمی آلاینده‌های نوظهور متداول بر محیط‌زیست                                                   | ۸۲          |
| جدول ۱-۷- توصیف و طبقه‌بندی ریسک بر اساس نسبت ریسک مبتنی بر فراوانی (RQf)                                    | ۹۸          |
| جدول ۱-۹- روش‌های طیف‌سنجی نوری (نورسنجی) محلول                                                              | ۱۲۰         |
| جدول ۲-۹- روش‌های مبتنی بر کروماتوگرافی آژانس حفاظت محیط‌زیست امریکا (EPA) برای انواع آلاینده‌های آلی در آب  | ۱۲۶         |
| جدول ۱-۱۱- مزایا و چالش‌های روش‌ها و فناوری‌های مختلف حذف و تصفیه آلاینده‌های نوظهور                         | ۱۴۲         |
| جدول ۲-۱۱- کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور منتخب در تالاب‌های مصنوعی                                           | ۱۴۴         |
| جدول ۳-۱۱- کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور در سامانه راکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR)                    | ۱۴۹         |
| جدول ۴-۱۱- کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور با استفاده از سامانه جذب زیستی                                      | ۱۵۲         |
| جدول ۵-۱۱- مقایسه کارایی حذف برخی فرایندهای مبتنی بر فناوری‌های تجزیه زیستی برای حذف برخی آلاینده‌های نوظهور | ۱۵۳         |
| جدول ۶-۱۱- کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور با سامانه‌های تصفیه هیبرید                                          | ۱۵۴         |
| جدول پ.۱-۱- آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن                                                              | ۱۶۱         |



## مقدمه

یکی از نگرانی‌های زیست‌محیطی سال‌های اخیر، وجود آلاینده‌های نوظهور<sup>۱</sup> در منابع آب است. در گذشته، به‌ویژه تا اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی، بیش‌تر پژوهش‌های زیست‌محیطی بر ترکیبات سمی و قابل تجمع زیستی آلی پایدار (POPs)<sup>۲</sup> معطوف بوده است و بسیاری از آن‌ها جزو آلاینده‌های اولویت‌دار شناخته شدند. با این حال در سال‌های اخیر، ابداع روش‌های آنالیز جدید شواهدی از وجود بسیاری ترکیبات بالقوه خطرناک با عنوان آلاینده‌های نوظهور در غلظت‌های بسیار کم در محیط‌های مختلف به‌ویژه آب را نشان داده‌اند. در حال حاضر، اغلب اطلاعات کمی در مورد وجود، سرنوشت و سمیت آن‌ها در محیط‌های آبی وجود دارد و روش‌های آنالیز محدودی برای سنجش آن‌ها عرضه شده است. همچنین، به دلیل اطلاعات ناکافی درباره غلظت و اثرات آلاینده‌های نوپدید بر انسان و محیط‌زیست، بیش‌تر این مواد در مقادیر بالا تولید و مصرف می‌شوند و ورود آن‌ها به محیط‌زیست همچنان ادامه دارد. در این میان، برخی آلاینده‌های نوظهور را شبه مقاوم<sup>۳</sup> می‌نامند چرا که نرخ حذف بالای آن‌ها با انتشار مستمرشان به محیط جبران می‌شود، و برای ایجاد اثرات سوء نیازی نیست که نسبت به شرایط محیطی، مقاوم باشند.

با توجه به مشکلات بالقوه زیست‌محیطی آلاینده‌های نوظهور، در سال‌های اخیر پایش این آلاینده‌ها در خاک، آب و هوا شروع شده است و پیش‌بینی می‌شود که در سال‌های آتی، تعداد بیش‌تری از این ترکیبات در سطح جهان شناسایی شود. برای مثال، اکنون حدود ۳۰۰۰ ماده مختلف به‌عنوان مواد اصلی دارویی استفاده می‌شوند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به آنتی‌بیوتیک‌ها، مسکن‌ها، داروهای ضد دیابت، داروهای ضدبارداری، داروهای ضدافسردگی، داروهای تقویت قوای جنسی نام برد. مقدار کمی از این مواد به همراه مواد متابولیت‌های آن‌ها وارد منابع آب می‌شوند، که همواره شناسایی و ردیابی و تصفیه آن‌ها بسیار مشکل است، اما با توجه به ماهیتشان می‌توانند اثرات و پیامدهای منفی بر سلامت انسان و محیط‌زیست داشته باشند.

گروه‌های اصلی آلاینده‌های نوظهور شامل مواد زیر است:

- داروها و متابولیت‌های آن‌ها
- مختل‌کننده‌های غدد درون‌ریز<sup>۴</sup>
- ترکیبات پلی‌برم
- سموم میکروبی
- فرآورده‌های بهداشتی

۱- Emerging pollutants

۲- Persistent Organic Pollutants

۳- Pseudo-persistent

۴- Endocrine disruptors

- فرآورده‌های ضد عفونی کننده

- ترکیب‌های آلی حاوی فلزات

- مواد نانو<sup>۱</sup> (ریز مواد)

همچنین، بنزوتری آزول‌ها<sup>۲</sup> (عامل کمپلکس کننده و ماده ضد خوردگی)، نفتتیک اسیدها (ماده‌ای سمی و مختل کننده غدد درون ریز ناشی از استخراج نفت شیل به‌ویژه در آلبرتای کانادا)، اتیلن دی برمید (افزودنی بنزین سرب‌دار)، دی اکسان (پایدار کننده حلال‌ها با استفاده گسترده) به‌تازگی به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور شناخته شده‌اند.

سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS)<sup>۳</sup> آلاینده‌های نوظهور شیمیایی در محیط‌های آبی به‌ویژه آب و فاضلاب را در چهار گروه اصلی به شرح زیر طبقه‌بندی کرده است:

۱- آنتی‌بیوتیک‌های حیوانی و انسانی،

۲- داروهای تجویزی و غیرتجویزی انسانی،

۳- فرآورده‌های موجود در فاضلاب صنعتی و خانگی

۴- هورمون‌های جنسی و استروئیدی

نگرانی‌ها در مورد حضور آلاینده‌های ذره‌ای نوظهور (میکروپلاستیک‌ها و نانوذرات) در محیط‌های آبی نیز در سال‌های اخیر افزایش یافته است. از سوی دیگر پاتوژن‌های نوظهور نیز از زمان شیوع کووید ۱۹ بیش از گذشته مورد توجه‌اند.

همواره وجود آلاینده‌های نوظهور در آب آشامیدنی نشانه‌ای از تصفیه ناقص فاضلاب است. مواد دارویی و متابولیت‌های آن‌ها پتانسیل زیادی برای بروز اثرات بهداشتی دارند. مختل کننده‌های غدد درون ریز هم مستقیم سلامت جانداران را تهدید می‌کنند و هم موجب اختلالات جنسی در آبزیان می‌شوند. ترکیبات آلی حاوی فلز که کاربردهای صنعتی دارند و به‌عنوان آفت‌کش نیز استفاده می‌شده‌اند. سموم تولیدی باکتری‌ها و جلبک‌هایی مانند میکروسیستین‌ها<sup>۴</sup> که توسط سیانوباکترها<sup>۵</sup> تولید می‌شود، حتی در غلظت‌های اندک می‌توانند اثرات مخربی بر انسان و سایر جانداران داشته باشند و گاهی نیز شناسایی و تصفیه آن‌ها بسیار مشکل و پرهزینه است. بدین ترتیب ارزیابی ریسک محیط‌زیستی و مخاطرات سلامت آلاینده‌های نوظهور اهمیت بسیار زیادی در مدیریت کیفیت منابع آب دارد.

از این‌رو با توجه به ماهیت آلاینده‌های نوظهور و آثار و پیامدهای آن‌ها بر محیط زیست و انسان، شناسایی و سنجش و حذف آن‌ها در زمره مهم‌ترین اولویت‌های محیط زیست و منابع آب در سراسر جهان از جمله ایران قرار گرفته است.

۱- Nanomaterial

۲- Benzotriazoles

۳- United States Geological Survey

۴- Microcystins

۵- Cyanobacter

**- هدف**

این راهنما باهدف شناسایی، طبقه‌بندی و پایش و حذف آلاینده‌های نوظهور در منابع آب تهیه شده است. گستره مطالب این راهنما شامل شناسایی و طبقه‌بندی، منابع انتشار، آثار و پیامدهای زیست‌محیطی، قوانین و مقررات و استانداردهای مرتبط در کشورهای منتخب و روش‌های پایش و ردیابی آلاینده‌ها نوظهور در منابع آب است.

**- دامنه کاربرد**

این راهنما برای وزارت نیرو، وزارت جهاد کشاورزی، سازمان حفاظت محیط‌زیست، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی و زیرمجموعه‌های آن‌ها، دانشگاه‌ها و مراکز پژوهشی، شرکت‌های مهندسی مشاور و شرکت‌های دانش بنیان فعال در زمینه‌های آب و محیط زیست، واحدهای بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE) مستقر در صنایع و سایر ذینفعان مرتبط قابل استفاده است.



# فصل ۱

---

## واژگان



### - آلاینده‌های نوظهور (EP)<sup>۱</sup>

گروه متنوعی از مواد شیمیایی که به دلیل ویژگی‌ها یا غلظت بسیار پایین در محیط با روش‌های متداول قابل‌شناسایی نیستند و به علت غلظت بسیار پایین در محیط مورد پایش و سنجش قرار نمی‌گیرند.

### - ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDC)<sup>۲</sup>

ترکیباتی که ویژگی‌های شبه هورمونی دارند و با ورود به بدن انسان و سایر جانوران موجب اختلال در کارکرد غدد درون‌ریز بدن مانند غده تیروئید می‌شوند.

### - آلاینده‌های ریز نوظهور (EMPs)<sup>۳</sup>

آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسان که در غلظت‌هایی فراتر از غلظت طبیعی خود در محیط مشاهده می‌شوند و با وجود غلظت‌های بسیار پایین (pg/L تا µg/L) ممکن است تماس طولانی‌مدت با آن‌ها موجب اثرات سمی شدیدی شود.

### - فرآورده‌های جانبی گندزدایی (DBPs)<sup>۴</sup>

ترکیبات خطرناک حاصل از واکنش گندزداها با ناخالصی‌های آب به‌ویژه مواد آلی طبیعی (NOMs)<sup>۵</sup> ناشی از تجزیه مواد آلی در زیست‌بوم‌ها از جمله اسیدهای هیومیک.

### - تری هالو متان‌ها (THMs)<sup>۶</sup>

ترکیبات ناشی از جایگزینی اتم‌های هالوژن شامل فلوئور (F)، برم (Br)، کلر (Cl) و ید (I) به جای هیدروژن در مولکول متان.

### - آلاینده‌های آلی پایدار (POPs)<sup>۷</sup>

ترکیبات آلی بسیار مقاوم در برابر تجزیه نوری، شیمیایی و بیولوژیکی و پایدار در محیط‌زیست که با قابلیت انحلال بسیار کم در آب و بالا در چربی، به تدریج در بافت چربی موجودات زنده و زنجیره غذایی آن‌ها تجمع می‌کنند و تقریباً تجزیه ناپذیر هستند. از شناخته‌شده‌ترین آن‌ها مواد آلی کنوانسیون آلاینده‌های آلی پایدار یا کنوانسیون POPs می‌باشند.

۱- Emergent Pollutants

۲- Endocrine-disrupting compounds

۳- Emergent Micro Pollutants

۴- Disinfection By-Products

۵- Natural Organic Matters

۶- Trihalomethanes

۷- Persistent Organic Pollutant

که شامل ۸ آفت‌کش ارگانو کلره: کلردان<sup>۱</sup>، ددت، دیلدترین، اندرین، هپتا کلر، میرکس و توکسافن و ۲ ماده شیمیایی: هگزا کلرو بنزن (HCB) و گروه بی فنیل پلی کلرینه (PCB)، و دیوکسین و فوران هستند<sup>۲</sup>.

#### – آلاینده‌های شبه آلی شبه پایدار (P-POPs)<sup>۳</sup>

به گروهی مواد شیمیایی آلی م صنوعی تولید شده می‌گویند که از پتانسیل پایدار، تجمع زیستی و سمی کم‌تری نسبت به آلاینده‌های آلی پایدار (POPs) کلاسیک و شناخته شده برخوردار هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به انواع مواد دارویی، محصولات مراقبت‌های بهداشتی، آلاینده‌های مواد غذایی و غیره اشاره کرد.

#### – آنالیت<sup>۴</sup>

اجزا یا انواع گونه‌ها و ترکیبات شیمیایی موجود در یک ماده یا ترکیب شیمیایی که باید در محیط مورد بررسی شناسایی و اندازه‌گیری شوند.

#### – پنتا کلروفلن‌ها (PCPs)<sup>۵</sup>

ترکیبات فنلی، آب‌گریز و مقاوم به تجزیه بیولوژیکی بسیار سمی طبقه‌بندی شده در دسته آلاینده‌های اولویت‌دار که به مقدار زیاد در ساخت بیوساید، نگهدارنده چوب و ترکیبات علف‌کش استفاده می‌شود که حضور آن‌ها در آب و فاضلاب مشکلات بهداشتی و محیط‌زیستی در پی دارد.

#### – سورفکتانت‌ها یا مواد فعال سطحی<sup>۶</sup>

موادی که کشش سطحی بین دو مایع یا بین یک مایع و یک جامد را کاهش می‌دهند و ممکن است به عنوان عامل مرطوب‌کننده، امولسیون‌کننده، کف‌کننده و پخش‌کننده نیز عمل کنند و در رنگ‌ها، چسب‌های امولسیون، جوهر، گندزداها، شامپوها، خمیردندان‌ها، خاموش کردن آتش، شوینده‌ها، حشره‌کش‌ها، پاک کردن کاغذهای بازیافتی و ... کاربرد دارند.

۱- Chlordane

۲- کنوانسیون آلاینده‌های آلی پایدار (POPs) (کنوانسیون استکهلم) در تاریخ ۲۳ می سال ۲۰۰۱ در استکهلم سوئد برای امضا افتتاح شد و تاکنون ۱۲۶ کشور جهان از جمله ایران برای حذف این مواد آن را امضا کرده‌اند.

۳- Pseudo-persistent organic pollutants

۴- Analyte

۵- Pentachlorophenol

۶- Surfactants

### - متوسط دوز کشنده (LD<sub>50</sub>)<sup>۱</sup>

شاخصی برای تعیین درجه سمیت و معادل مقداری از یک ماده (برحسب میلی گرم بر کیلوگرم وزن بدن جانور) که در صورت مصرف توسط جانوران آزمایشگاهی به طور متوسط ۵۰ درصد آن‌ها را می‌کشد.

### - شبکه مرجع آزمایشگاه‌ها، مراکز پژوهشی و سازمان‌های وابسته برای پایش مواد نوظهور در محیط زیست (NORMAN)

یک انجمن غیرانتفاعی تحت حمایت کمیسیون اروپا که از سال ۲۰۰۵ آلاینده‌های نوظهور را در محیط زیست پایش و سالانه بانک اطلاعاتی مواد آلاینده نوظهور را منتشر می‌کند.

### - آلودگی آب

تغییر مواد محلول یا معلق یا تغییر درجه حرارت و دیگر خواص فیزیکی، شیمیایی، زیستی و رادیواکتیو آب در حدی که آن را برای مصرفی که برای آن مقرر است، مضر یا غیرمفید سازد [۹۵].

### - آلاینده

هر نوع مواد یا عوامل فیزیکی، شیمیایی و زیستی که باعث آلودگی آب شده یا به آلودگی آن بیافزاید [۹۵].

### - آب‌های پذیرنده

کلیه آب‌های سطحی و زیرزمینی از جمله قنوات، چاه‌ها و سفره آب‌های زیرزمینی و چشمه‌ها و نیز دریاها، دریاچه‌ها، رودخانه‌ها، نهرها، تالاب‌ها، آبگیرها و برکه‌ها که پذیرنده هر گونه آلاینده باشند.

### - معیار استاندارد

حدود مجاز و مشخصات ویژه‌ای که با توجه به اصول حفاظت و بهسازی محیط زیست برای آلوده‌کننده‌ها و جلوگیری از آلودگی آب تعیین می‌شود.

### - پایش کیفیت آب

فرایند برنامه‌ریزی شده نمونه‌برداری، سنجش ویژگی‌های نمونه‌ها و ثبت نتایج یا ارسال آن‌ها (یا هر دو) و اغلب با هدف تأیید ارزیابی کیفیت آب برای اهداف مشخص، می‌باشد.



## فصل ۲

---

---

حفاظت از کیفیت آب در برابر آلودگی  
در اسناد فرادست و قوانین کشور



## ۲-۱- اسناد فرادست

حفاظت از منابع آب و حفظ کیفیت آن در زمره مهم‌ترین مسائلی است که همواره موردتوجه قانون‌گذار در ایران بوده است و از مهم‌ترین مصوبه‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- اصل ۵۰ قانون اساسی جمهوری اسلامی ایران

- سیاست‌های کلی محیط‌زیست ابلاغی مقام معظم رهبری (۱۳۹۴)

بند ۵ - پایش مستمر و کنترل منابع و عوامل آلاینده هوا، آب، خاک، آلودگی‌های صوتی، امواج و اشعه‌های مخرب و تغییرات نامساعد اقلیم و الزام به رعایت استانداردها و شاخص‌های زیست‌محیطی در قوانین و مقررات، برنامه‌های توسعه و آمایش سرزمین.

- راهبردهای بلندمدت توسعه بخش آب از منظر آمایش سرزمین شورای آمایش سرزمین مصوب ۱۳۹۱/۷/۱۷

تعیین و حفظ حریم‌های کمی و کیفی و کنترل عوامل آلاینده منابع آب (آب‌های زیرزمینی، سطحی، تالاب‌ها و سایر زیست‌بوم‌های آبی) در مکان‌یابی و توسعه مراکز زیست و فعالیت

- اهداف کلی، راهبردها و سیاست‌های بخش آب در سند تفصیلی برنامه ششم توسعه

در سند برنامه راهبردی بخش آب در برنامه ششم توسعه برای مدیریت پایدار منابع آب به حفظ و صیانت از منابع آب و اعمال مدیریت کیفی منابع آب اشاره شده است.

- برنامه هفتم پیشرفت (۱۴۰۳-۱۴۰۷)

بند (الف) ماده (۴۱) در خصوص ممنوعیت رهاسازی آب آلوده و آلوده نمودن منابع آب سطحی و زیرزمینی

## ۲-۲- قوانین و مقررات مرتبط با حفاظت از کیفیت منابع آب

هرچند در ایران حفاظت از محیط‌زیست به‌طور عام و حفاظت از منابع آب کشور با چارچوب‌های نوین از پیشینه طولانی برخوردار نیست، اما بر مبنای مستندات و سوابق قوانین و مقررات نشان می‌دهد که پیشینه برخی این قوانین از سابقه نسبتاً طولانی برخوردار است و قانون‌گذاران نسبت به تهیه و تدوین برخی قوانین اقدام کرده‌اند. به‌طور خلاصه از مهم‌ترین قوانین و مقررات در این خصوص می‌توان به قوانین و مقررات زیر اشاره کرد:

- ماده (۲۰) قانون جلوگیری از بیماری‌های واگیر مصوب ۱۳۲۰/۳/۱۱

- مواد ۱ و ۲ قانون تعیین حریم دریاچه احداثی در پشت سدها مصوب ۱۳۴۴/۴/۲۷

مواد (۱)، (۲)، (۱۵)، (۲۳)، (۲۴)، (۲۵)، (۲۷)، (۳۰)، (۵۵)، (۵۶) و (۵۸) قانون آب و نحوه ملی شدن آن مصوب ۱۳۴۷/۴/۲۷

مواد (۱۲) و (۱۳) قانون شکار و صید مصوب ۱۳۴۶/۳/۱۶ و اصلاحیه ۱۳۷۵/۹/۲۵

مواد (۴)، (۱۷) و (۲۵) قانون تجدید تشکیلات و تعیین وظایف سازمان‌های وزارت کشاورزی و منابع طبیعی و انحلال وزارت منابع طبیعی مصوب ۱۳۵۰/۷/۱۲

مواد (۱)، (۶)، (۹) و (۱۶) قانون حفاظت و بهسازی محیط زیست مصوب ۱۳۵۳/۳/۲۸ و اصلاحیه آن مصوب ۱۳۷۱/۸/۲۴

مواد (۲)، (۳)، (۱۶) و (۱۸) قانون حفاظت دریا و رودخانه‌های مرزی با مواد نفتی مصوب ۱۳۵۴/۱۱/۱۴

مواد (۱)، (۲)، (۶)، (۹)، (۲۱) و (۴۶) قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۶۱/۱۲/۱۶

ماده (۱) قانون حفظ و تثبیت کناره و بستر رودخانه‌های مرزی مصوب ۱۳۶۲/۵/۱۸

ماده (۷) قانون نفت مصوب ۱۳۶۶/۷/۷

ماده (۱) قانون تشکیل شرکت‌های آب و فاضلاب مصوب ۱۳۶۹/۱۰/۱۶

مواد (۶)، (۹) و (۱۸) قانون مناطق دریایی جمهوری اسلامی ایران در خلیج فارس و دریای عمان مصوب ۱۳۷۱/۱/۳۱

مواد (۱)، (۱۸)، (۱۹) و (۲۲) قانون حفاظت و بهره‌برداری از منابع آبی جمهوری اسلامی ایران مصوب ۱۳۷۴/۶/۱۴

مواد (۶۸۸) و (۶۹۰) قانون مجازات اسلامی مصوب ۱۳۷۵/۳/۲

تبصره (۵) ماده (۱) قانون اصلاح قانون ایمنی راه و راه آهن مصوب ۱۳۷۹/۲/۱۱

مواد (۱۱)، (۱۶) و (۱۸) قانون مدیریت پسماندها مصوب ۱۳۸۳/۲/۲۰

قانون الحاق یک ماده به قانون وصول برخی از درآمدهای دولت و مصرف آن در موارد معین مصوب ۱۳۸۴/۴/۱۲ (ماده واحده)

ماده (۳) قانون هدفمند کردن یارانه‌ها مصوب ۱۳۸۸/۱۰/۱۵

مواد (۲)، (۷)، (۹)، (۱۰) و (۱۷) قانون حفاظت از دریاها و رودخانه‌های قابل کشتیرانی در مقابل آلودگی با مواد نفتی مصوب ۱۳۸۹/۵/۲۷

علاوه بر این، بیش از ۲۸ آیین‌نامه و مصوبات مرتبط با حفاظت از کیفیت منابع آب تصویب شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

آیین‌نامه اجرایی فصل دوم قانون توزیع عادلانه آب مصوب ۱۳۶۳/۸/۲۷

آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب مصوب ۱۳۷۳/۳/۱۶

آیین‌نامه بهداشت محیط مصوب ۱۳۷۱/۴/۲۴

- آیین‌نامه مربوط به بستر رودخانه‌ها، انهار، مسیل‌ها، مرداب‌ها، برکه‌های طبیعی و شبکه‌های آبرسانی، آبیاری و زهکشی مصوب ۱۳۷۹/۸/۱۱
- آیین‌نامه تشکیل شورای حفاظت کیفی رودخانه کارون مصوب ۱۳۸۱/۴/۱۲ و رودخانه زاینده‌رود مصوب ۱۳۸۳/۹/۲۹
- آیین‌نامه رفع آلودگی زیست‌محیطی فعالیت‌های نفتی، مصوب ۱۳۸۸/۴/۶
- استاندارد تخلیه به دریا‌های ایران (دریای عمان، خلیج فارس، دریای خزر)، سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۹
- استاندارد تخلیه پساب موضوع ماده (۵) آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب مصوب ۱۳۶۴/۹/۲۴ هیئت دولت
- تصویب‌نامه در خصوص تعیین حد مجاز استانداردهای خروجی از کارخانجات و کارگاه‌های صنعتی مصوب ۱۳۹۵/۱/۳۱ هیئت دولت
- استاندارد کیفیت آب‌های ایران، سازمان حفاظت محیط زیست، ۱۳۹۹
- استاندارد ملی ۱۰۵۳، آب آشامیدنی (ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی)، سازمان ملی استاندارد ایران، ۱۴۰۳

## ۲-۳- مطالعات داخلی و خارجی

بررسی مطالعات انجام شده در این خصوص در سطوح ملی و بین‌المللی نشان می‌دهد که موضوع آلاینده‌های نوظهور به دلیل ماهیت و تنوع این آلاینده‌ها و همچنین اثرات آن‌ها بر سلامت انسان و محیط‌زیست در کانون توجه بسیاری از دولت‌ها و بر این اساس نیز مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده است که چکیده برخی مطالعات ملی و بین‌المللی در زمینه آلاینده‌های نوظهور در جدول (۲-۱) ارائه شده است.

جدول ۲-۱- چکیده برخی پژوهش‌های داخلی و خارجی در زمینه آلاینده‌های نوظهور

| ردیف                 | عنوان پژوهش                                                                | نام نویسنده / نویسندگان، تاریخ | محل پژوهش                         | نتیجه‌گیری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>مطالعات داخلی</b> |                                                                            |                                |                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| ۱                    | آلاینده‌های نوظهور در آب و فاضلاب و روش‌های آنالیز و حذف آن‌ها             | وصالی ناصح و همکاران (۱۳۹۵)    | ایران                             | بازبینی و بازنگری تأسیسات و فرایندهای تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب با توجه به وجود آلاینده‌ها در صنایع مختلف باید طراحی گردند.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| ۲                    | بررسی آلاینده‌های نوظهور در منابع آب شهری                                  | گلشیری و همکاران (۱۳۹۴)        | ایران                             | بهترین روش کنترل آلاینده‌های نوظهور در منابع آب شهری پیشگیری از آلودگی آب با اقدامات بهداشتی و جلوگیری از تماس منابع آلوده‌کننده نظیر محصولات مراقبت شخصی و مواد دارویی با منابع آب در این پژوهش اعلام شد.                                                                                                                                                                                                                             |
| ۳                    | اندازه‌گیری هم‌زمان میکرو آلاینده‌های نوظهور در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری | هوشمند و همکاران (۱۴۰۰)        | سامانه تصفیه‌خانه‌های استان تهران | پایداری طولانی‌مدت داروهای (آلاینده‌های نوظهور) تخلیه‌شده در فاضلاب حتی در مقادیر کم، در زمره مسائل و مشکلاتی است که از لحاظ زیست‌محیطی و بهداشتی آثار و پیامدهای متعددی برای محیط‌زیست و سلامت شهروندان دارد. به همین دلیل پایش و ردیابی و شناسایی این دسته از آلاینده‌ها از طریق بهبود و ارتقای تجهیزات آنالیز آزمایشگاهی و نیز روش‌های آزمون، شناسایی این داروها در محیط‌زیست و منابع آب امکان‌پذیر بوده و باید موردتوجه قرار گیرد. |

ادامه جدول ۱-۲- چکیده برخی پژوهش‌های داخلی و خارجی در زمینه آلاینده‌های نوظهور

| ردیف | عنوان پژوهش                                                                                                  | نام نویسنده / نویسندگان، تاریخ | محل پژوهش                                 | نتیجه‌گیری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۴    | آلاینده‌های نوظهور میکروپلاستیک در اکوسامانه آبی خلیج فارس، دریای عمان و خزر                                 | کاظمی درسنگی و همکاران (۱۴۰۱)  | اکوسامانه آبی خلیج فارس، دریای عمان و خزر | در این مطالعه فراوانی آلودگی نوظهور میکرو پلاستیک در آبریان، آب سطحی و رسوبات خلیج فارس، دریای عمان و دریای خزر پرداخته شده و روش‌های شناسایی آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت.                                                                                                                                                                                                                                                  |
| ۵    | میکرو پلاستیک‌ها به عنوان یک چالش جدید در مدیریت منابع آب: اشکال مختلف و روش‌های حذف آن‌ها (یک مطالعه مروری) | اسدی قاله‌ری و همکاران (۱۳۹۹)  | ایران                                     | پیشنهاد شد تا مطالعات بیش‌تری درباره این آلاینده در محیط‌های آبی به‌ویژه در ایران انجام و نسبت به آگاهی دادن به مردم مبنی بر استفاده کم‌تر از مواد پلاستیکی در زندگی روزمره، آموزش صحیح بازیافت به آن‌ها و کمک گرفتن از صنایع تا یک جایگزین مناسب برای پلاستیک ارائه گردد.                                                                                                                                                 |
| ۶    | کاربرد روش‌های نوین حذف آلاینده‌های خطرناک زیست محیطی و بهداشتی با استفاده از نانوفتوکاتالیست‌ها             | ناصری‌نیا و همکاران (۱۳۹۵)     | ایران                                     | فتوکاتالیست‌های نانو ساختار با خواص آب‌دوستی و قدرت کاتالیستی زیاد به علت سطح به حجم بالای آن‌ها یکی از فناوری‌های مهم در کنترل آلودگی‌های زیست محیطی می‌باشند. از این فناوری می‌توان در سامانه‌های تصفیه آب، پساب و هوا برای حذف آلاینده‌های مقاوم و خطرناک نوظهور نیز به نحو مطلوبی بهره برد.                                                                                                                            |
| ۷    | آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست: چالشی برای مدیریت منابع آب                                                  | یوسفی و همکاران (۱۳۹۵)         | ایران                                     | تدوین مجموعه‌ای از قوانین و اقدامات مدیریتی با توجه به انتشار آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست، همچنین احتمال وقوع پیامدهایی در محیط، برای رسیدن به مدیریت کارآمد منابع آب و تضمین سلامت مردم در همه کشورها در برابر آلاینده‌های نوظهور مورد نیاز است.                                                                                                                                                                      |
| ۸    | شناسایی و تعیین مقدار آلاینده‌های نوظهور منتخب در آب آشامیدنی تهران                                          | جعفری و همکاران (۱۳۹۸)         | تهران                                     | وجود آلاینده‌های نوظهور در منابع آب به یکی از اساسی‌ترین مشکلات شهرها تبدیل شده است، زیرا منابع مختلف مورد استفاده برای تأمین آب شرب شهرها، از جمله آب سطحی و آب زیرزمینی در معرض انواع آلاینده‌ها قرار داشته و باعث افزایش غلظت آلاینده‌های آلی آب می‌شود. با توجه به اینکه جهت گندزدایی آب شرب از کلر استفاده می‌شود، که به دلیل فعالیت شیمیایی بسیار زیاد، احتمال تولید محصولات جانبی گندزدایی (DBPs) را افزایش می‌دهد. |
| ۹    | آلاینده‌های نوظهور در آب زیرزمینی و منابع آب‌ها                                                              | ساری مطلق و همکاران (۱۳۹۹)     | ایران                                     | با گسترش علم و تولید مداوم ترکیبات شیمیایی جدید و اثرات سوء این ترکیبات بر سلامت انسان و محیط‌زیست، شناسایی و شناخت آلاینده‌های نوظهور به‌طور مداوم توسط محققین امری ضروری است. لذا ضرورت بررسی نحوه تصفیه ترکیبات و مواد شیمیایی جدید و بررسی تأثیر آن‌ها بر کیفیت آب زیرزمینی قبل از استفاده گسترده از آن‌ها در این پژوهش مورد تأکید قرار گرفت.                                                                          |
| ۱۰   | بررسی پتانسیل فناوری‌های نوین زیستی در حذف آلاینده‌های نوظهور از فاضلاب                                      | عسگری لجایر و همکاران (۱۳۹۷)   | ایران                                     | با توجه به استفاده از سامانه لجن فعال برای تصفیه زیستی در اکثر تصفیه‌خانه‌های فاضلاب ایران و عدم توانایی و یا کارایی کم‌تر این سامانه در حذف آلاینده‌های نوظهور به‌غیر از مواد فعال سطحی، تنظیم‌کننده‌های چربی و ضد التهاب‌ها، باید تحقیقات جامع و فراگیری در سطح ملی برای بررسی حذف آلاینده‌های مذکور با فرایندهای زیستی در مطالعات آینده انجام شود.                                                                      |
| ۱۱   | بررسی فرایندهای اکسیداسیون پیشرفته در فناوری آب و فاضلاب با تأکید بر حذف آلاینده‌های پایدار نوظهور           | معطر و همکاران (۱۳۹۵)          | ایران                                     | در این پژوهش نشان داده است که این مواد با استفاده از روش‌های متداول قابل تصفیه از فاضلاب یا منابع آب نیستند و به همین دلیل به فناوری‌های نوینی در این زمینه نیاز است.                                                                                                                                                                                                                                                      |

## ادامه جدول ۲-۱- چکیده برخی پژوهش‌های داخلی و خارجی در زمینه آلاینده‌های نوظهور

| ردیف          | عنوان پژوهش                                                                                                                                         | نام نویسنده / نویسندگان، تاریخ      | محل پژوهش  | نتیجه‌گیری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۲            | استرهای فتالیک اسید<br>به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور<br>فراگیر در محیط‌زیست و<br>نقش آن‌ها در تهدید امنیت<br>غذایی و سلامت انسان (یک<br>مطالعه مروری) | شریعتی و همکاران<br>(۱۴۰۰)          | ایران      | در این مطالعه نتیجه‌گیری شد که غلظت استرهای فتالیک اسید به‌ویژه دی اتیل هگزیل فتالات (پرکاربردترین نرم‌کننده جهان) بسیار بیش‌تر از آستانه و استانداردهای زیست‌محیطی این آلاینده‌ها در اکوسامانه است. لذا باید مطالعات و دستورالعمل‌های بیش‌تر در زمینه‌ی شناسایی، پایش و حذف آن‌ها از محیط‌زیست و منابع آب انجام شود.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
| ۱۴            | ضرورت پایش و انجام<br>اقدامات تقنینی جهت مقابله<br>با آلاینده‌های نوظهور در<br>محیط زیست                                                            | مرکز پژوهش‌های<br>مجلس شورای اسلامی | ایران      | در این پژوهش پس از معرفی انواع آلاینده‌های نوظهور و اثرات آن‌ها بر محیط زیست بر اتخاذ تدابیر لازم برای شناسایی و پایش این دسته از آلاینده‌ها تاکید شده است و در پایان پیشنهادات تقنینی به شرح زیر ارائه شد:<br>- تشکیل کارگروهی به ریاست سازمان حفاظت محیط زیست و با عضویت نمایندگان وزارتخانه‌های بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، وزارت صنعت، معدن و تجارت، نفت، نیرو، جهاد کشاورزی، سازمان ملی استاندارد، سازمان غذا و دارو، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، اساتید صاحب نظر دانشگاه، مراکز پژوهشی و سایر دستگاه‌های مربوطه به منظور تدوین برنامه جامع راهبردی غربالگری، ارزیابی، پایش، ممنوعیت، کاهش و تصفیه آلاینده‌های نوظهور و تصویب آن در هیئت وزیران<br>- تهیه و ابلاغ فلودیاگرام حذف و اضافه کردن نام آلاینده‌های نوظهور با بهره‌گیری از نظرات خبرگان، مراکز پژوهشی داخلی و ترجمه متون علمی معتبر در استانداردهای ملی ایران در بازه‌های زمانی پنج ساله توسط سازمان ملی استاندارد ایران<br>- استفاده از ظرفیت‌های شرکت‌های فناوری و دانش بنیان در زمینه تجهیز آزمایشگاه‌های معتمد محیط زیست و آزمایشگاه‌های مرجع استاندارد توسط معاونت علمی، فناوری و اقتصاد دانش بنیان ریاست جمهوری. |
| مطالعات خارجی |                                                                                                                                                     |                                     |            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| ۱             | حضور و سرنوشت<br>آلاینده‌های نوظهور در<br>محیط‌های آبی و گزینده‌های<br>حذف آن‌ها از منابع آب                                                        | Vasilachi و همکاران<br>(۲۰۲۱)       | رومانی     | مهم‌ترین چالش‌های مرتبط با شناسایی، پایش و حذف آلاینده‌های نوظهور اشاره شده و در پایان نیز توصیه‌هایی مبنی بر رویارویی با این چالش‌ها برای مدیریت کارآمد و کاهش آثار و پیامدهای آلاینده‌های نوظهور و روش‌های کارآمد حذف آن‌ها از منابع آب ارائه شد.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| ۲             | مطالعات موردی جهانی<br>آلودگی آب ناشی از<br>آلاینده‌های نوظهور                                                                                      | Morin-Crini و همکاران<br>(۲۰۲۲)     | بازل سوئیس | با توجه به روند رو به افزایش ورود آلاینده‌های نوظهور به محیط‌زیست، لازم است تا مطالعات جامع‌تر و فراگیرتری در این زمینه صورت گیرد و روش‌های شناسایی و ردیابی کارآمدتری در این زمینه به کار گرفته شود و ارزیابی ریسک این مواد به نحو مؤثری تدوین و اجرا شود. این موضوع به‌ویژه در نتیجه تغییر اقلیم و افزایش روزافزون جمعیت و مصرف انواع مواد جدید و نوظهور از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |

ادامه جدول ۱-۲- چکیده برخی پژوهش‌های داخلی و خارجی در زمینه آلاینده‌های نوظهور

| ردیف | عنوان پژوهش                                                                                             | نام نویسنده / نویسندگان، تاریخ                  | محل پژوهش                  | نتیجه‌گیری                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۳    | آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست: چالش‌های حال و آینده در پایش ریسک اکولوژیکی و زیست‌پالایی              | Gavrilescu و همکاران (۲۰۱۴)                     | فدراسیون بیوتکنولوژی اروپا | معرفی آخرین روش‌ها و تکنیک‌های شناسایی و حذف آلاینده‌های نوظهور از جمله استفاده از روش‌های زیست‌پالایی برای برخی آلاینده‌های نوظهور است. همچنین در این پژوهش در مورد برخی سنجنده‌های زیستی (بیوسنسور) و کارکردهای آن‌ها در منابع آب ارائه شد. لذا لازم است تا تصفیه‌خانه‌های فاضلاب نسبت به تجهیز تصفیه‌خانه‌های خود به این تجهیزات اقدام نمایند.                                    |
| ۴    | عنوان آلاینده‌های نوظهور در محیط‌های آبی: منشأ، اثرات و چالش‌ها در سنجش زیستی و زیست‌پالایی: مرور منابع | Patel و همکاران (۲۰۲۰)                          | هند                        | استفاده از انواع سنجنده‌های زیستی (بیوسنسورها) برای پایش و ردیابی این دسته از مواد از جمله موضوعاتی بود که در این پژوهش به آن پرداخته و چالش‌هایی که سنجش زیستی این دسته از آلاینده‌ها با آن مواجه هستند در این پژوهش به بحث گذاشته شد و مزایا، ظرفیت‌ها و مشکلات این شیوه از پایش در این پژوهش مورد بحث قرار گرفته و در پایان نیز توصیه‌هایی در این خصوص ارائه شد.                  |
| ۵    | آلاینده‌های نوظهور و اثرات آن‌ها بر سلامت انسان                                                         | لی و همکاران (۲۰۱۵)                             | چین                        | انسان و همه زیست‌بوم‌های آبی و خشکی در نتیجه فعالیت‌های انسانی به روش‌های مختلف در معرض آلاینده‌های نوظهور قرار دارند. زیرا از یک‌سو آلاینده‌های جدیدی تولید می‌شوند و از سوی دیگر نیز آلاینده‌های نوظهوری که در گذشته تولید و در محیط‌های آبی و خشکی رها شده‌اند، تجمع پیدا می‌کنند که بعضاً در واکنش با سایر مواد موجود در آب و محیط‌زیست می‌توانند به ترکیبات جدیدتری تبدیل شوند. |
| ۶    | بررسی و مرور آلاینده‌های نوظهور در آب و کاربرد فناوری‌های پایدار حذف آن‌ها                              | کومار و همکاران (۲۰۲۲)                          | هند                        | یکی از فناوری‌هایی که در این پژوهش به آن پرداخته شد، تکنولوژی غشایی است که می‌تواند ذرات آلاینده با قطر ۱۰ میکرون و همچنین ذرات کلوئیدی را حذف نماید. همچنین فناوری‌هایی مانند روش اسمز معکوس، الترافیلتراسیون و نانوفیلتراسیون نیز قادرند تا ۹۹ درصد آلاینده‌های نوظهور را در آب حذف نمایند.                                                                                        |
| ۷    | آلاینده‌های نوظهور در آب شرب و فاضلاب، اثرات بر محیط‌زیست و تصفیه آن‌ها                                 | J K Bwapwa و همکاران                            | هند                        | در این پژوهش نتیجه‌گیری شد که در وهله اول از انتشار آلاینده‌های نوظهور در منابع آب و کنترل آن‌ها در منبع تولید مورد توجه قرار گیرد، زیرا به دلیل ماهیت و غلظت بسیار محدود این دسته از آلاینده‌ها حذف و تصفیه آن‌ها در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب مشکل‌تر و پرهزینه‌تر خواهد شد.                                                                                                      |
| ۸    | پژوهش مقدماتی درباره حضور آلاینده‌های نوظهور در آب شرب و منابع آب در برزیل                              | کلی و همکاران (۲۰۱۶)                            | فرانسه                     | این بررسی‌ها نشان داد که در بیش‌تر نمونه‌ها کافئین و آترازین بیش از سایر آلاینده‌های نوظهور در آب شرب و همچنین منابع آب مشاهده می‌شود. غلظت کافئین در آب شرب از ۱/۸ نانوگرم بر لیتر تا ۲ نانوگرم بر لیتر در نمونه‌های آب شرب در نوسان بوده است، در حالی که این غلظت در منابع آب از ۴۰ نانوگرم بر لیتر تا حدود ۱۹ نانوگرم بر لیتر در نوسان بوده است.                                  |
| ۹    | تصفیه و پالایش آلاینده‌های نوظهور                                                                       | مورین کرینی و Nadia Morin-Crini همکاران، (۲۰۲۱) | فرانسه                     | پس از معرفی ملاحظات کلی در مورد تصفیه فاضلاب، به روش‌های مختلف تصفیه فاضلاب‌ها شامل کربن فعال، روش عبور از بسترهای شنی و رسی و روش‌های نامتعارف تصفیه مانند پلیمرهای سیکلو دکسترین، روش‌های فلزات آلی، پلیمرهای جذب مولکولی، نانو سلولز و سایر روش‌های جذب و حذف آلاینده‌های نوظهور اشاره شد.                                                                                        |

## فصل ۳

---

---

وضعیت و پیشینه آلاینده‌های نوظهور در  
جهان



سالانه مقدار زیادی از انواع آلاینده‌های نوظهور در جهان تولید می‌شوند که بخش زیادی از این مواد پس از مصرف به طرق مختلف در محیط زیست و منابع آب منتشر می‌شوند. به دلیل ماهیت این مواد و عدم امکان پایش آن‌ها به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه اطلاع چندانی از میزان تولید این مواد و همچنین میزان انتشار آن‌ها در منابع آب وجود ندارد. در مورد برخی آلاینده‌های نوظهور در منابع آب برخی کشورها مطالعاتی انجام شده است (جدول ۱-۳).

جدول ۱-۳- غلظت آلاینده‌های نوظهور به تفکیک در منابع آب کشورهای منتخب [۹۵]

| نام کشور | نمونه منبع آبی | آلاینده نوظهور                                            | غلظت (ng/L) |
|----------|----------------|-----------------------------------------------------------|-------------|
| کنیا     | آب زیرزمینی    | Paracetamol                                               | ۳۰-۱۰       |
|          |                | Metronidazole                                             | ۱۰-۷        |
|          |                | Carbamazepine                                             | ۴۰-۳۰       |
| ژاپن     | آب شرب         | Acemetacin                                                | ۵           |
|          |                | Acetaminophen                                             | ۲/۸         |
|          |                | Antipyrine                                                | ۸/۳         |
|          |                | Aspirin                                                   | ۶           |
|          |                | Diclofenac                                                | ۲/۵         |
|          |                | Diflunisal                                                | ۲/۱         |
| چین      | آب خام         | Acetaminophen                                             | ۱۵/۲        |
|          |                | Antipyrine                                                | ۳/۸         |
|          | آب سطحی        | Carbamazepine                                             | ۰/۸         |
|          |                | N,N-Diethyl-meta-toluamide (DEET)                         | ۱۰/۲-۰/۸    |
|          |                | Carbamazepine                                             | ۳/۵ - ۰/۰۱  |
| هلند     | آب شرب         | Oxazepam                                                  | ۱۳-۳        |
|          |                | Temazepam                                                 | ۱۰-۱        |
|          |                | Benzoylcegonine                                           | ۳-۱         |
| اسپانیا  | آب زیر زمینی   | Cocaine                                                   | ۶۰/۲        |
|          |                | Benzoylcegonine                                           | ۱۹/۶        |
|          |                | Cocaethylene                                              | ۱/۸         |
|          |                | Morphine                                                  | ۲۷/۲        |
|          |                | Methadone                                                 | ۶۸/۳        |
|          |                | 2-Ethylidene-1,5-dimethyl-3,3- diphenylpyrrolidine (EDDP) | ۸/۲         |
|          | آب شرب         | Benzoilecgonine                                           | ۲/۴۷        |
|          |                | Cocaine                                                   | ۲/۱۱        |
|          |                | Methadone                                                 | ۰/۴۷        |
|          |                | 2-Ethylidene-1,5-dimethyl-3,3-diphenylpyrrolidine (EDDP)  | ۰/۳۴        |
| کانادا   | آب شرب         | Ephedrine                                                 | ۰/۷         |
|          |                | Carbamazepine                                             | ۶۰۱         |
|          |                | Erythromycin                                              | ۱۵۵         |
|          |                | Ibuprofen                                                 | ۲۵          |
|          |                | Lincomycin 1413                                           | ۱۴۱۳        |
|          |                | Monensin Na                                               | ۷۶          |
|          |                | Tylosin                                                   | ۳۱          |

ادامه جدول ۳-۱- غلظت آلاینده‌های نوظهور به تفکیک در منابع آب کشورهای منتخب

| نام کشور            | نمونه منبع آبی   | آلاینده نوظهور                   | غلظت (ng/L) |
|---------------------|------------------|----------------------------------|-------------|
| کانادا              | شرب              | Tetracycline                     | ۱۵          |
|                     |                  | Enrofloxacin                     | ۱۳          |
|                     |                  | Roxithromycin                    | ۴۱          |
|                     |                  | Bezafibrate                      | ۱           |
|                     |                  | Sulfamethoxazole                 | ۲           |
|                     |                  | Acetaminophen                    | ۱۷          |
|                     |                  | Trimethoprim                     | ۱۵          |
| فرانسه              | آب شرب           | Carbamazepine                    | ۴۱/۶        |
|                     |                  | Oxazepam                         | ۵۷          |
|                     |                  | Paracetamol                      | ۷۱          |
|                     |                  | Atenolol                         | ۳۴          |
|                     |                  | Bezafibrate                      | ۱۲/۴        |
|                     |                  | Diclorafenac                     | ۳۵          |
|                     |                  | Fenofibric acid                  | ۱           |
|                     |                  | Ibuprofen                        | ۸           |
|                     |                  | Ketoprofen                       | ۲۲          |
|                     |                  | Lorazepam                        | ۰.۷         |
|                     |                  | Metoprolol                       | ۲           |
|                     |                  | Metronidazole                    | ۰/۱         |
|                     |                  | Naproxen                         | ۶/۴         |
|                     |                  | Pravastatine                     | ۱/۶         |
|                     |                  | Propranolol                      | ۲           |
|                     |                  | Roxithromycine                   | ۱۸/۱        |
|                     |                  | Salicylic acid                   | ۲۹          |
|                     |                  | Sulfamethoxazole                 | ۴           |
|                     |                  | Trimethoprime                    | ۲           |
|                     |                  | Acetaminophen                    | ۱/۸۹        |
| ایالات متحده امریکا | آب‌های زیر زمینی | Caffeine                         | ۰/۲۹        |
|                     |                  | Carbamazepine                    | ۰/۴۲        |
|                     |                  | Codeine                          | ۰/۲۱۴       |
|                     |                  | p-Xanthine                       | ۰/۱۲        |
|                     |                  | Sulfamethoxazole                 | ۰/۱۷        |
|                     |                  | Phenytoin                        | ۶۶          |
|                     |                  | Perfluorooctane sulfonate (PFOS) | ۰/۰۲۵       |
| هند                 | آب‌های سطحی      | Perfluorooctanoic acid (PFOS)    | ۰/۰۳۳       |
|                     |                  | PCBs                             | ۲۳/۳-۱۶/۱   |
|                     |                  | Perfluorooctanoic acid (PFOA)    | ۹۳-۴        |
|                     | آب‌های زیرزمینی  | Perfluorooctane sulfonate (PFOS) | ۲۹-۳        |
|                     |                  | propiconazole                    | ۴۴۹۳/۱-۱۷/۶ |
| مالزی               | آب‌های سطحی      | pymetrozine                      | ۲۶۰/۸-۱/۳   |
|                     |                  | Imidacloprid                     | ۵۷/۷-۴/۶    |

ادامه جدول ۳-۱- غلظت آلاینده‌های نوظهور به تفکیک در منابع آب کشورهای منتخب

| نام کشور | نمونه منبع آبی | آلاینده نوظهور   | غلظت (ng/L) |
|----------|----------------|------------------|-------------|
| مالزی    | آب شرب         | Tebuconazole     | ۵۱۲/۱ - ۴/۰ |
|          |                | Ethinylestradiol | ۱۳۰         |
|          |                | Norgestrel       | ۳۰          |
|          |                | Metoprolol       | ۳۹          |

در حال حاضر نگرانی فزاینده‌ای درباره آب سالم ناشی از وجود آلاینده‌های نوظهور وجود دارد. اولین بار آلاینده‌های نوظهور در محیط‌های آبی اوایل سال‌های ۱۸۰۰ و مقارن با انقلاب صنعتی و تولید محصولات صنعتی و انسان ساخت مشاهده شد. بروز برخی حوادث پس از جنگ جهانی دوم از جمله آشکار شدن پیامدهای استفاده از حشره‌کش‌هایی مانند DDT بر محیط‌زیست و سلامت انسان، رخدادهای میناماتا در ژاپن (۱۹۵۶) در نتیجه تماس با ترکیبات متیل جیوه، ایتایی-ایتایی<sup>۱</sup> در ژاپن (۱۹۱۲) در نتیجه تماس با کادمیم، کانال لاو در آمریکا (۱۹۷۰) در کانون توجه قرار گرفت [۳]. در ایران نیز می‌توان گفت حادثه واژگونی تانکر حامل حدود ۳۰ هزار لیتر افزودنی بنزین بدون سرب متیل ترشیاری بوتیل اتر (MTBE)<sup>۲</sup> در اسفند سال ۱۳۸۱ در بالادست سد قشلاق که منبع تامین آب شرب شهر سهند می‌باشد، سرآغازی برای توجه گسترده جامعه به موضوع آلاینده‌های نوظهور بود. در گذشته بیشتر مطالعات و نگرانی‌ها معطوف به مواد شیمیایی مانند فلزات سنگین، آلاینده‌های آلی پایدار (POPs)، آفت‌کش‌ها و سایر آلاینده‌های مشابه در آب بود، اما به تدریج با ظهور مواد جدید مانند مواد نانو، داروها و افزودنی‌های صنعتی، دامنه و گستره آن‌ها در منابع آب بیش‌تر شده است.

به همین دلیل در سال‌های اخیر مطالعات و سرمایه‌گذاری‌های بسیاری برای شناسایی، پیشگیری، کنترل و حذف آلاینده‌های نوظهور از منابع آب در بسیاری از کشورها انجام شده است. با این وجود، به دلیل شمار بسیار زیاد این مواد و پیآمدهای ترکیبی آن‌ها بر فرایندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی، تنها شمار اندکی از این مواد تحت ضوابط و مقررات قرار گرفته‌اند. ولی از یک سو با شناسایی بیش‌تر آلاینده‌های نوظهور در منابع آب، به تدریج این فهرست در حال گسترش است و از سوی دیگر هر ساله ترکیبات جدیدی تولید می‌شوند که وضعیت و سرنوشت آن‌ها در محیط ناشناخته است و عدم قطعیت‌های زیادی در مورد آثار و پیامدهای بالقوه آن‌ها و ریسک آن‌ها بر سلامت انسان، آبزیان، حیات وحش و زیست‌بوم آن‌ها وجود دارد. اغلب این آلاینده‌ها فعال زیستی هستند<sup>۳</sup> و خاصیت تجمع زیستی<sup>۴</sup> دارند و می‌توانند در گستره وسیعی پراکنده شوند و برخی نیز در برابر تجزیه زیستی بسیار مقاوم هستند. پیشرفت‌های دهه‌های اخیر تکنیک‌های سنجش موجب شده تا شمار زیادی از این مواد و مشتقات آن‌ها در محیط‌های آبی شناسایی شوند. با توجه به تنوع این مواد بایستی سازوکارهای جمع‌آوری اطلاعات در مورد آن‌ها به صورت مستمر به روزرسانی و ارتقا یابد تا بتوان ریسک‌های بهداشتی و زیست‌محیطی آن‌ها را در منابع آب، جانداران و انسان کنترل کرد [۱۱].

۱- Itai-Itai

۲- Methyl tert-butyl ether

۳- Bioactive

۴- Bioaccumulative



## فصل ۴

---

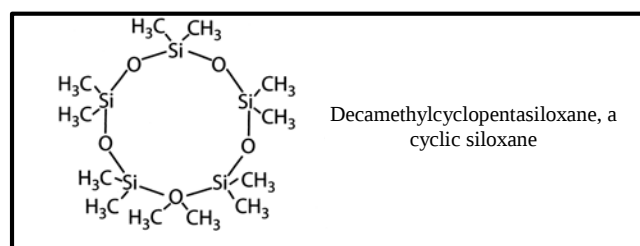
---

تعریف و طبقه‌بندی آلاینده‌های نوظهور



اصطلاح «آلاینده نوظهور» به هر ماده شیمیایی طبیعی و انسان‌ساخت و یا میکروارگانیزی اطلاق می‌گردد که همواره در محیط‌زیست پایش نمی‌شود، اما پتانسیل ورود به محیط و ایجاد اثرات سوء مشخص یا مشکوک بر محیط‌زیست (اکولوژی) و یا سلامت انسان را دارد. با توجه به تنوع این مواد تعاریف و طبقه‌بندی‌های گوناگونی برای آن‌ها ارائه شده است. از نمونه‌های بارز این گروه از مواد جدید، «مواد نانو»<sup>۱</sup> هستند. این مواد شامل ذرات بسیار ریزی با اندازه ۱ الی ۱۰۰ نانومتر هستند. مواد نانو ویژگی‌های منحصربه‌فردی مانند مقاومت زیاد در برابر گرما، نفوذپذیری کم، استحکام زیاد و قابلیت هدایت زیاد دارند. این ویژگی‌ها موجب شده تا این مواد کاربردهای روزافزونی در صنایع الکترونیک، اتومبیل، پوشاک، صفحات خورشیدی، وسایل آرایشی، تصفیه آب، داروسازی و سایر محصولات داشته باشند. این درحالی است که اطلاعات اندکی درباره اثرات سمی مواد نانو وجود دارد.

از دیگر آلاینده‌های نوظهور سیلوهگزان‌ها<sup>۲</sup> هستند (شکل زیر). سیلوهگزان‌ها مقاوم به گرما و از نظر شیمیایی بسیار پایدار هستند که موجب کاربرد گسترده آن‌ها در خنک‌کننده ترانسفورماتورها، مواد محافظ در نیمه‌رساناها، روان‌کننده‌ها، روکش‌ها، درزگیرها، محصولات بهداشتی (مانند ضد بوها، لوازم آرایشی، صابون‌ها، حالت‌دهنده مو، رنگ‌مو)، روکش‌های ضد آب جلو اتومبیل، ضدکف‌ها و حتی افزودنی‌های غذایی شده است. از آنجا که سیلوهگزان‌ها در برابر تجزیه زیستی مقاوم هستند، ممکن است در آب مشاهده شوند.



سیلوهگزان‌ها

محصولات جانبی گندزدایی آب حاوی هالوژن‌ها و نیتروژن ناشی از واکنش گندزداهایی مانند کلر، هیپوکلریت و دی‌اکسید کلر با مواد درون آب، نگرانی‌هایی را به‌عنوان آلاینده‌های آب مطرح کرده‌اند. این مواد علاوه بر تماس از طریق آب شرب، ممکن است از طریق پوست هنگام حمام کردن یا شنا یا به‌صورت بخار منتشره از آب هنگام دوش گرفتن وارد بدن شوند. همچنین، همواره در نواحی که آب دریا یا آب زیرزمینی شور به منابع آب شیرین نفوذ کرده باشد، بر اثر واکنش برم و ید در آب کلردار ترکیبات برم‌دار و یددار مشاهده می‌شوند. فراوان‌ترین فرآورده‌های جانبی گندزداهای آب، می‌توان به تری‌هالومتان‌ها<sup>۳</sup> از جمله کلروفرم ( $\text{CHCl}_3$ )، دی‌برموکلرومتان ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ )<sup>۴</sup>، برومو دی‌کلرومتان ( $\text{CHClBr}_2$ )<sup>۵</sup>، و تری برومو متان ( $\text{CHBr}_3$ )<sup>۶</sup> اشاره کرد. این مواد از گروه B مواد سرطان‌زا هستند که در حیوانات

1- Nonomaterials

2- Siloxane (octamethylcyclotetrasiloxane, decamethylcyclotetrasiloxane و dodecamethylcyclotetrasiloxane)

3- Trihalomethanes

4- Dibromochloromethane

5- Bromodichloromethane

۶- tribromomethane

آزمایشگاهی باعث سرطان شده‌اند. هر چند کلروفرم فراوان‌ترین این موارد در آب می‌باشد ولی خطر سرطان‌زایی دی برومو کلرومتان حدود ۱۰ برابر کلروفرم است. در سال ۲۰۰۹ بیشینه غلظت مجاز کل تری‌هالومتان‌ها در آب شرب ۱۰۰ میکروگرم بر لیتر توصیه شده است.

پسماندهای جامد و فاضلاب خانگی منبع بسیاری از آلاینده‌های نوظهور مانند استروئیدها، مواد فعال سطحی (سورفکتانت‌ها)، خاموش کننده‌های آتش، عطرها، پلاستیک‌ها و داروها و متابولیت‌های هستند که با کمک تکنیک‌ها و تجهیزات نوین در غلظت‌های بسیار پایین در آب‌های زیرزمینی و مخازن آب شناسایی شده‌اند. نمونه‌های این مواد کلسترول، متابولیت نیکوتین از جمله کاتنین<sup>۱</sup>، B- سیتو استرول<sup>۲</sup> (نوعی استرول گیاهی طبیعی)، ۱- دی متیل گزانترین<sup>۳</sup> (متابولیت کافئین)، ماده نرم‌کننده بی‌فنل-A<sup>۴</sup> و ماده ضد آتش فسفات (۲- کلرو اتیل) هستند.

ترکیبات دارویی و متابولیت‌های آن‌ها اغلب از طریق فاضلاب دفع می‌شوند. برآورد می‌شود مقدار این مواد در فاضلاب کشورهای توسعه‌یافته به ۱۰۰ تن در سال می‌رسد. هرچند غلظت این مواد در منابع آب بسیار کم و تا حدود یک میکروگرم بر لیتر مشاهده شده است، اما به دلیل فعالیت ذاتی محصولات دارویی، قابلیت دسترسی زیستی<sup>۵</sup> و مقاومت در برابر تجزیه می‌توانند طیف گسترده‌ای از بیماری‌ها مانند اختلال در اندام‌ها و غدد درون‌ریز و بیماری‌های هورمونی و سایر عوارض ناشناخته را در انسان و سایر موجودات زنده در پی داشته باشند [۴۵].

از آنجا که آلاینده‌های نوظهور همواره توسط پژوهشگران و همگام با توسعه مداوم تکنیک‌ها و روش‌های آزمایشگاهی در حال بررسی هستند، گستره این ترکیبات در حال افزایش است. بنابراین ارائه اطلاعات دقیق و کامل درباره تعداد و ماهیت دقیق این آلاینده‌ها بسیار دشوار است و هنوز عدم قطعیت زیادی در مورد ماهیت، سرنوشت، انتقال و آثار و پیامدهای محیط‌زیستی و بهداشتی آن‌ها وجود دارد. با این حال، سازمان‌ها و نهادهای علمی مختلف در سطح جهان بر اساس معیارهای خود اقدام به شناسایی و طبقه‌بندی این ترکیبات کرده‌اند، به طوری که در شیمی، آلاینده‌های نوظهور به عنوان مواد به نسبت «جدید» شناخته می‌شوند و در محیط‌زیست، آلاینده‌های نوظهور اغلب با مواد نوظهور یکسان فرض می‌شود. بر این اساس، متداول‌ترین تعاریف در این زمینه عبارتند از [۱۴]:

- ترکیباتی که تحت ضوابط و مقررات موجود کیفیت آب قرار ندارند و پیش‌تر مطالعه نشده‌اند و تصور می‌شود که تهدید بالقوه‌ای برای زیست‌بوم‌ها و سلامت و امنیت جامعه هستند.
- گروهی از مواد شیمیایی که تاکنون به صورت گسترده مطالعه نشده‌اند و به دلیل اثرات بالقوه زیست‌محیطی و بهداشتی‌شان در کانون توجه دانشمندان، قانون‌گذاران، سازمان‌های غیردولتی و سایر ذی‌نفعان قرار دارند [۱۵].

---

۱- Cotinine

۲- B-sitosterol

۳- 1,7-dimethylxanthine

۴- A- bisphenol

۵- Bioavailability

- شبکه NORMAN<sup>۱</sup> اتحادیه اروپا آلاینده‌های نوظهور را موادی می‌داند که در محیط‌زیست شناسایی، اما در برنامه‌های پایش مستمر اتحادیه اروپا قرار ندارند و هنوز سرنوشت، رفتار و اثرات سم‌شناسی آن‌ها در محیط‌زیست شناسایی نشده است. این شبکه حدود ۷۰۰ آلاینده نوظهور را شناسایی کرده است.
  - مواد شیمیایی که در سال‌های اخیر به صورت گسترده‌ای در منابع آب مشاهده و بالقوه قابلیت آلودگی محیط‌زیست و سلامت انسان و سایر جانداران آبی و خشکی را دارند، اما هنوز داده‌ها و اطلاعات کافی برای شناسایی و ارزیابی ریسک آن‌ها برای محیط‌زیست و سلامت انسان در دسترس نیست [۱۵].
  - مواد خطرناک (شیمیایی، میکروبی یا رادیولوژیکی) یا ترکیبی از آن‌ها که تهدیدی واقعی برای سلامت انسان و امنیت عمومی و محیط‌زیست هستند و استانداردهای آن‌ها در حال بازبینی است و اطلاعات در مورد سم شناسی یا محل تولید، مسیر انتقال و شناسایی آن‌ها محدود است و ممکن است به صورت طبیعی یا انسان‌ساخت در محیط مشاهده شوند (ایالت ماساچوست ایالات متحده).
  - گروهی از آلاینده‌ها که به صورت بالقوه سلامت و محیط‌زیست را تهدید می‌کنند و استانداردهای قانونی ندارند (ایالت کارولینای جنوبی، ایالات متحده).
  - مواد شیمیایی که از مسیرهای گوناگون وارد محیط‌زیست می‌شوند و مخاطرات بهداشتی برای انسان و محیط‌زیست دارند ولی استاندارد و ضابطه محیط‌زیستی ندارند و شناسایی، قابلیت‌ها و اثرات بر محیط‌زیست و سلامت انسان و مسیرهای انتقال آن‌ها در حال مطالعه است [۱۵].
  - مواد شیمیایی یا طبیعی یا میکروارگانیسم‌هایی که همواره در محیط‌زیست پایش نمی‌شوند، اما قابلیت بالقوه بسیاری برای انتشار در محیط‌زیست و اثرات سوء شناخته‌شده یا ناشناخته بوم‌شناختی و بهداشتی برای انسان دارند. در برخی موارد انتشار مواد شیمیایی نوظهور یا آلاینده‌های میکروبی نوظهور در محیط‌زیست ممکن است بلندمدت باشد اما تا هنگامی که روش‌های نوین شناسایی توسعه نیابند، ممکن است ناشناخته باقی بمانند. همچنین، در برخی شرایط ساخت مواد شیمیایی جدید یا تغییر کاربرد و دفع آلاینده‌های نوظهور ممکن است موجب شکل‌گیری انواع جدیدی آلاینده‌های نوظهور شود [۱۵].
- به طور خلاصه، اصطلاح «آلاینده‌های نوظهور» هر ماده شیمیایی طبیعی یا انسان‌ساخت یا میکروارگانیسمی است که همواره در محیط‌زیست پایش نمی‌شود، اما پتانسیل ورود به محیط و ایجاد اثرات سوء مشخص یا مشکوک بر محیط‌زیست (اکوسامانه) یا سلامت انسان را دارد. بدین ترتیب، سرنوشت، رفتار و اثرات سمی آن‌ها بر محیط‌زیست اغلب

۱- شبکه NORMAN فعالیت‌های خود را از سپتامبر سال ۲۰۰۵ با حمایت مالی کمیسیون اروپا آغاز کرد. در سال ۲۰۰۹ این شبکه به آزمایشگاه مرجع و مرکز پژوهش برای پایش زیستی مواد نوظهور زیست‌محیطی پذیرفته شد. این نهاد به عنوان یک انجمن غیرانتفاعی متشکل از ذی‌نفعان مختلف مرتبط با صاحب‌نظران مواد نوظهور فعالیت‌های گسترده‌ای در مورد مواد و آلاینده‌های نوظهور از جمله مبادله و به اشتراک‌گذاری اطلاعات در مورد مواد نوظهور، توسعه روش‌های استاندارد برای روش‌ها و ابزارهای اندازه‌گیری مواد نوظهور، ایجاد رویه‌های مشترک، تهیه فهرست مواد و آلاینده‌های نوظهور و غیره فعالیت می‌کند.

به‌خوبی درک و شناسایی نشده است، تحت پوشش قوانین موجود محیط‌زیستی به‌ویژه کیفیت آب قرار ندارند و استانداردهای مرتبط با سلامت انسان برای آن‌ها تدوین نشده است [۳].

اصطلاح آلاینده‌های نوظهور تنها معادل آلاینده‌های جدید نیست چون بسیاری از این مواد در دهه‌های گذشته هم‌زمان با استفاده توسط انسان وارد محیط شده‌اند، اما اثرات سوء آن‌ها ناشناخته باقیمانده و تنها با کمک تکنیک‌های آنالیز جدید حضور آن‌ها در محیط‌های مختلف تایید شده است. بر اساس نتایج پژوهش‌های مربوط به سمیت آلاینده‌های نوظهور بر انسان و محیط، اثرات بهداشتی بالقوه و درک عمومی در مورد آن‌ها و نتایج داده‌های پایش محیط‌های مختلف احتمال وضع قانون و تعیین سطوح استاندارد برای آن‌ها در آینده وجود دارد.

#### ۴-۱- طبقه‌بندی آلاینده‌های نوظهور در محیط‌های آبی

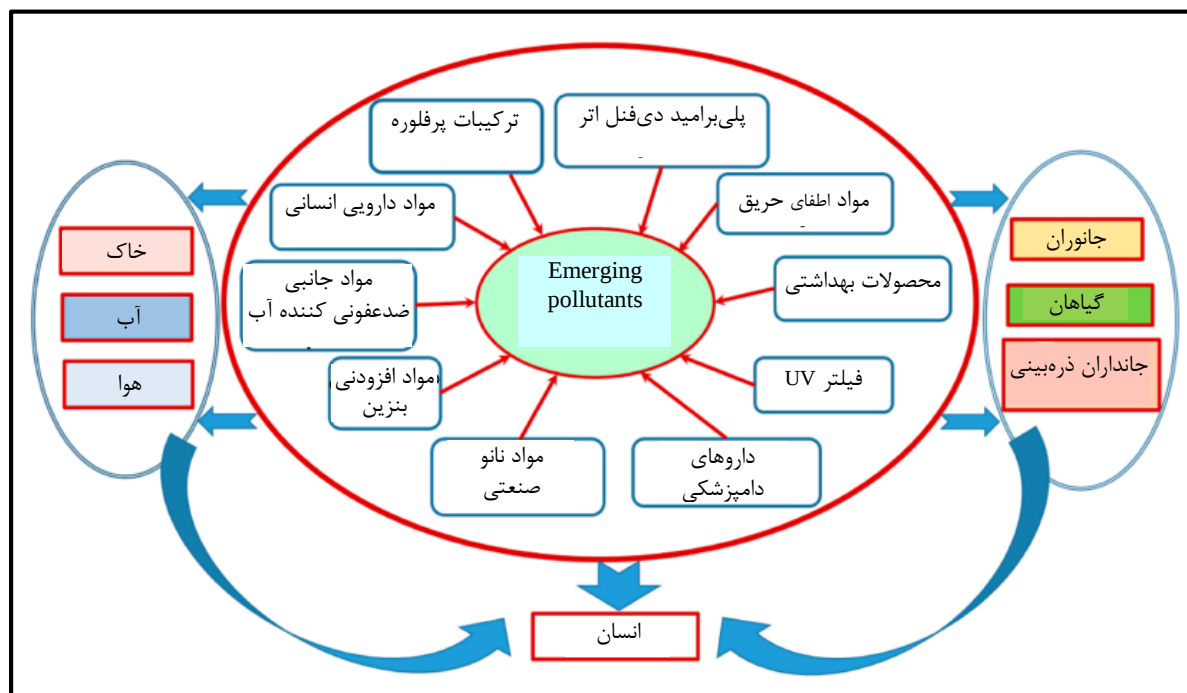
بیش‌تر آلاینده‌های نوظهور مواد شیمیایی آلی پایدار مصنوعی هستند که همواره در محیط‌زیست پایش و رصد نمی‌شوند، اما می‌توانند اثرات شدیدی بر محیط‌زیست و سلامت انسان و سایر جانداران بگذارند. بر اساس بانک اطلاعاتی NORMAN<sup>۱</sup> بیش از ۷۰۰ ترکیب شیمیایی مختلف در ۲۰ دسته به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور شناسایی شده‌اند (پیوست ۱) که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به سورفکتانت‌ها، آنتی‌بیوتیک‌ها و سایر مواد دارویی، هورمون‌های استروئیدی و سایر ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDCs)<sup>۲</sup>، مواد شیمیایی خاموش‌کننده آتش، کرم‌های ضدآفتاب، فرآورده‌های جانبی مواد ضدعفونی‌کننده، آفت‌کش‌های جدید و متابولیت‌های آفت‌کش‌ها، توکسین‌های جلبکی طبیعی و غیره اشاره کرد.

این دسته از آلاینده‌ها از صنایع، تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، مراکز بهداشتی و درمانی، شیرابه پسماندهای تولیدی، مواد و محصولات کشاورزی و دامپروری تولید می‌شوند و از مسیرهای مختلف وارد محیط زیست و منابع آبی می‌شوند که سرانجام به صورت مستقیم و غیرمستقیم انسان‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد. برای مثال، ترکیبات دارویی و فرآورده‌های حاصل از تجزیه زیستی ناقص آن‌ها همراه با فضولات انسانی به سیستم فاضلاب تخلیه می‌شوند. مقدار این مواد در فاضلاب کشورهای توسعه یافته می‌تواند به ۱۰۰ تن در سال برسد. غلظت مواد دارویی در فاضلاب حدود ۱ نانوگرم در لیتر (ng/l) در آب رودخانه مشاهده شده است. هرچند غلظت این مواد در آب تا حدودی کم است، می‌توانند نگرانی‌های زیادی را به وجود آورند. این مسأله از فعالیت ذاتی محصولات دارویی، قابلیت دسترسی زیستی و مقاومت در برابر تجزیه ناشی می‌شود. این دسته از آلاینده‌های نوظهور از طریق فاضلاب‌ها و دفع غیراصولی مواد دارویی وارد منابع آبی می‌شوند. بسیاری از این دسته از مواد باعث اختلال در غدد درون‌ریز آبزیان و همچنین پستانداران و انسان می‌شوند. برای مثال، بارزترین اثر مواد دارویی و محصولات متابولیکی آن‌ها در آب، تغییر جنسیت ماهی‌های نر در پایین‌دست رودخانه‌هایی بود که فاضلاب‌های تصفیه شده آلوده به مواد دارویی در آن‌ها تخلیه شد. علت این پدیده وجود ترکیبات استروئیدی در فاضلاب بوده است. این پدیده برای نخستین بار در انگلستان و سپس در ایالات متحده آمریکا و اروپا مشاهده شد. بررسی

۱- [www.norman-network.net](http://www.norman-network.net)

۲- Endocrine-disrupting compounds

ماهی‌ها نشان داد که ماهی‌های نر، پروتئین‌هایی مشابه پروتئین‌های تولید تخمی را تولید کرده‌اند که توسط ماهی‌های ماده تولید می‌شوند. در این نمونه‌برداری‌ها تخم‌های نارس تولید شده بود. شکل (۴-۱) گروه‌های اصلی آلاینده‌های نوظهور که ممکن است در محیط‌زیست و منابع آب یافت شوند، را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- گروه‌های اصلی آلاینده‌های نوظهور و محیط‌های متاثر از آن‌ها [۱۱]

هرچند مطالعات متعددی، بیش‌تر در کشورهای توسعه‌یافته، درباره روش‌های شناسایی، منابع انتشار، سرنوشت، اثرات و ریسک آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست انجام‌شده است، با این وجود، اطلاعات و داده‌های جامع و فراگیری در مورد سمیت آن‌ها وجود ندارد. کمبود اطلاعات همراه با ویژگی‌های پیچیده آن‌ها موجب شده تا رفتار آن‌ها در آب، هوا و خاک بسیار غیرمنتظره و گاهی غیرقابل‌پیش‌بینی باشد. ممکن است آلاینده‌های نوظهور با غلظت‌های متفاوتی از نانوگرم بر لیتر تا گرم بر لیتر در منابع آب مشاهده شوند. همچنین آثار و پیامدهای آن‌ها بر جانداران زنده بسیار متفاوت است و می‌توانند سمیت حاد و مزمن، اختلال در غدد درون‌ریز جانوران، مقاومت میکروب‌ها به آنتی‌بیوتیک‌ها را همراه داشته باشند. گروهی دیگری از آلاینده‌های نوظهور که با عنوان «آلاینده‌های در حال ظهور نگرانی‌های زیست‌محیطی»<sup>۱</sup> شناخته می‌شوند، شامل مواد شیمیایی شناخته‌شده‌ای هستند که دهه‌های متمادی استفاده می‌شده‌اند (برخی در محیط‌زیست پایدار و برخی نیمه پایدار هستند) که به تدریج در محیط‌زیست و منابع آب منتشر و فرآورده‌های جانبی و متابولیت‌های آن‌ها در آب‌های سطحی و زیرزمینی، خاک و رسوبات تجمع یافته‌اند، اما در گذشته اطلاعات اندکی در مورد شدت و فراوانی ریسک‌های ناشی از آن‌ها در محیط‌زیست و انسان‌ها وجود داشته است [۱۶].

به دلیل فقدان اطلاعات درباره اثرات مزمن تماس با آلاینده‌های نوظهور، بسیاری از این مواد فاقد استانداردهای بهداشتی و زیست‌محیطی هستند. به‌طور کلی این آلاینده‌ها در چند گروه اصلی شامل مواد دارویی (به‌ویژه مواد شیمیایی فعال دارویی)<sup>۱</sup> فرآورده‌های بهداشت فردی، استروئیدها و هورمون‌ها (بیش‌تر ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز)<sup>۲</sup>، سورفاکتانت‌ها، ترکیبات پرفلوئورینه، خاموش‌کننده‌های آتش، افزودنی‌های صنعتی، افزودنی‌های نرم‌کننده مواد پلیمری<sup>۳</sup>، محصولات جانبی گندزداها افزودنی‌های بنزین مانند متیل ترشیاری اتیل اتر (MTBE)<sup>۴</sup>، سموم جلبکی و سیانوباکتریایی، آفت‌کش‌های قطبی و فرآورده‌های ناشی از تغییر شکل این ترکیبات طبقه‌بندی می‌شوند [۳].

سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) نیز آلاینده‌های نوظهور را در محیط‌های آبی به‌ویژه آب و فاضلاب در چهار گروه (۱) آنتی‌بیوتیک‌های حیوانی و انسانی؛ (۲) داروهای تجویزی و غیرتجویزی انسانی؛ (۳) فرآورده‌های موجود در فاضلاب صنعتی و خانگی و (۴) هورمون‌های جنسی و استروئیدی طبقه‌بندی می‌کند (جدول (۴-۱)).

جدول ۴-۱- طبقه‌بندی سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) درباره آلاینده‌های نوظهور موجود در آب [۳]

| ۱- آنتی‌بیوتیک‌های حیوانی و انسانی |                                            |                     |
|------------------------------------|--------------------------------------------|---------------------|
| تتراسیکلین‌ها                      | ماکرولیدها                                 | سولفامتiazول        |
| کلر تتراسیکلین                     | اریترومایسین - H <sub>2</sub> O (متابولیت) | سولفامتوکسازول      |
| دوکسی سیکلین                       | تایلوزین                                   | دیگر آنتی‌بیوتیک‌ها |
| اکسی تتراسیکلین                    | روکسی‌ترومایسین                            | لینکومایسین         |
| فلوروکونینولون‌ها                  | سولفونامیدها                               | تریمتوپریم          |
| سپیروفلوکسین                       | سولفاکلر پیریدازین                         | میرجینامایسین       |
| انروفلوکسازین                      | سولفامرازین                                |                     |
| نورفلوکسازین                       | سولفانیزول                                 |                     |
| سارافلوکسازین                      | سولفادی متوکسین                            |                     |
| ۲- داروهای انسانی                  |                                            |                     |
| تجویزی (نسخه‌دار)                  | غیرتجویزی                                  |                     |
| متفورمین (عامل ضد دیابت)           | استامینوفن (ضد درد)                        |                     |
| سیمتیدین (ضد اسید معده)            | ایبوبروفن (ضد التهاب، ضد درد)              |                     |
| رانیتیدین (ضد اسید معده)           | کدئین (ضد درد)                             |                     |
| اتلابریلات (ضد فشار خون)           | کافئین (محرک)                              |                     |
| دایکوکسین                          | ۱-۷- دی متیل گزانتین (متابولیت کافئین)     |                     |
| دیلتiazم (ضد فشار خون)             | کوتینین (متابولیت نیکوتین)                 |                     |
| فلوکستین (ضد افسردگی)              |                                            |                     |
| پاروکستین (ضد افسردگی، ضد اضطراب)  |                                            |                     |
| وارفارين (ضد انعقاد)               |                                            |                     |

ادامه جدول ۴-۱- طبقه‌بندی سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) درباره آلاینده‌های نوظهور موجود در آب [۳]

|                     |  |  |
|---------------------|--|--|
| سالبوتامول (ضد آسم) |  |  |
|---------------------|--|--|

۱- Pharmaceutically Active Chemicals

۲- Endocrine Disrupting Compounds

۳- Plasticizers

۴- Methyl tert-butyl ether

|                                                     |                                                                   |  |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--|
| جسم فیروزیل (عامل کاهش چربی خون)                    |                                                                   |  |
| دهیدرونیفدیین (متابولیت ضد آنژین)                   |                                                                   |  |
| دایکوکسیژنین (متابولیت دایکوکسین)                   |                                                                   |  |
| <b>۳- فرآورده‌های موجود در فاضلاب صنعتی و خانگی</b> |                                                                   |  |
| حشره‌کش‌ها                                          | هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (شاخص سوخت‌های فسیلی و احتراق) |  |
| دبازینون                                            | نفتالین                                                           |  |
| کاربایل                                             | فنانترن                                                           |  |
| کلرپیریفوس                                          | آنتراسن                                                           |  |
| سیس-کلرادن                                          | فلورانتن                                                          |  |
| N، N - دی اتیل تولوآمید (DEET)                      | پیرن                                                              |  |
| لیندان                                              | بنزواپرن                                                          |  |
| متیل پاراتیون                                       | آنتی‌اکسیدان‌ها                                                   |  |
| دیلدرین                                             | ۲، ۶- دی -ترت- بوتیل فنول                                         |  |
| نرم کننده مواد پلیمری                               | ۵- متیل - H1- بنزوتتری آزول                                       |  |
| بیس (۲- اتیل هگزیل) آدیپات                          | هیدروکسی آنیزول بوتیل (BHA)                                       |  |
| اتانول- ۲- بوتوکسی- فسفات                           | هیدروکسی تولوئن بوتیل (BHT)                                       |  |
| بیس (۲- اتیل هگزیل) فتالات                          | ۲، ۶- دی -ترت- بوتیل - پارا- بنزوکوئینون                          |  |
| دی اتیل فتالات                                      | فرآورده‌های دیگر                                                  |  |
| تری فنیل فسفات                                      | تتراکلرو اتیلن (حلال)                                             |  |
| متابولیت‌های دترجنت                                 | فنول (گندزدا)                                                     |  |
| بی- نانیل فنول                                      | ۱، ۴ دی کلرو بنزن (گاز تدخینی)                                    |  |
| نانیل فنول مونواتو کسیلات (NPEO1)                   | استوفنون (ماده معطر)                                              |  |
| نانیل فنول دی اتو کسیلات (NPEO2)                    | پارااکرزول (محافظ چوب)                                            |  |
| اکتیل فنول مونواتو کسیلات (OPEO1)                   | انیدرید فتالیک (مورد استفاده در پلاستیک‌ها)                       |  |
| اکتیل فنول دی اتو کسیلات (OPEO2)                    | بیسفنول A (مورد استفاده در پلیمرها)                               |  |
| اطفاء کننده‌های حریق                                | تری کلوزان (گندزدایی میکروب)                                      |  |
| ۲- کلرواتیل فسفات                                   |                                                                   |  |
| دی کلرو پروپیل فسفات                                |                                                                   |  |
| <b>۴- هورمون‌های جنسی و استروئیدی</b>               |                                                                   |  |
| بیوژنیک                                             | داروها                                                            |  |
| ۱۷ بی - استرادیول                                   | ۱۷ آ- اتنیل استرادیول (بازدارنده تخمک‌گذاری)                      |  |
| ۱۷ آ - استرادیول                                    | مسترانول (بازدارنده تخمک‌گذاری)                                   |  |
| استرون                                              | ۱۹- نورتسترون (بازدارنده تخمک‌گذاری)                              |  |
| استریول                                             | اکوئیلین (hormone replacement therapy)                            |  |
| تستوسترون                                           | اکوئیلین (hormone replacement therapy)                            |  |
| پروژسترون                                           | استرول‌ها                                                         |  |
| سیس- آندروسترون                                     | کلسترول (شاخص مدفوعی)                                             |  |
|                                                     | ۳ بی- کوپروستانول (شاخص مدفوعی گوشتخواران)                        |  |
|                                                     | استیگماستانول (استرول گیاهی)                                      |  |

از مهم‌ترین منابع انتشار آلاینده‌های نوظهور در بخش خانگی می‌توان به دفع داروها و هورمون‌ها (مصرف نشده و دفعی از بدن)، فرآورده‌های بهداشت فردی و سورفاکتانت‌ها؛ در بخش صنعتی به دفع دسته گسترده‌ای از ترکیبات مانند

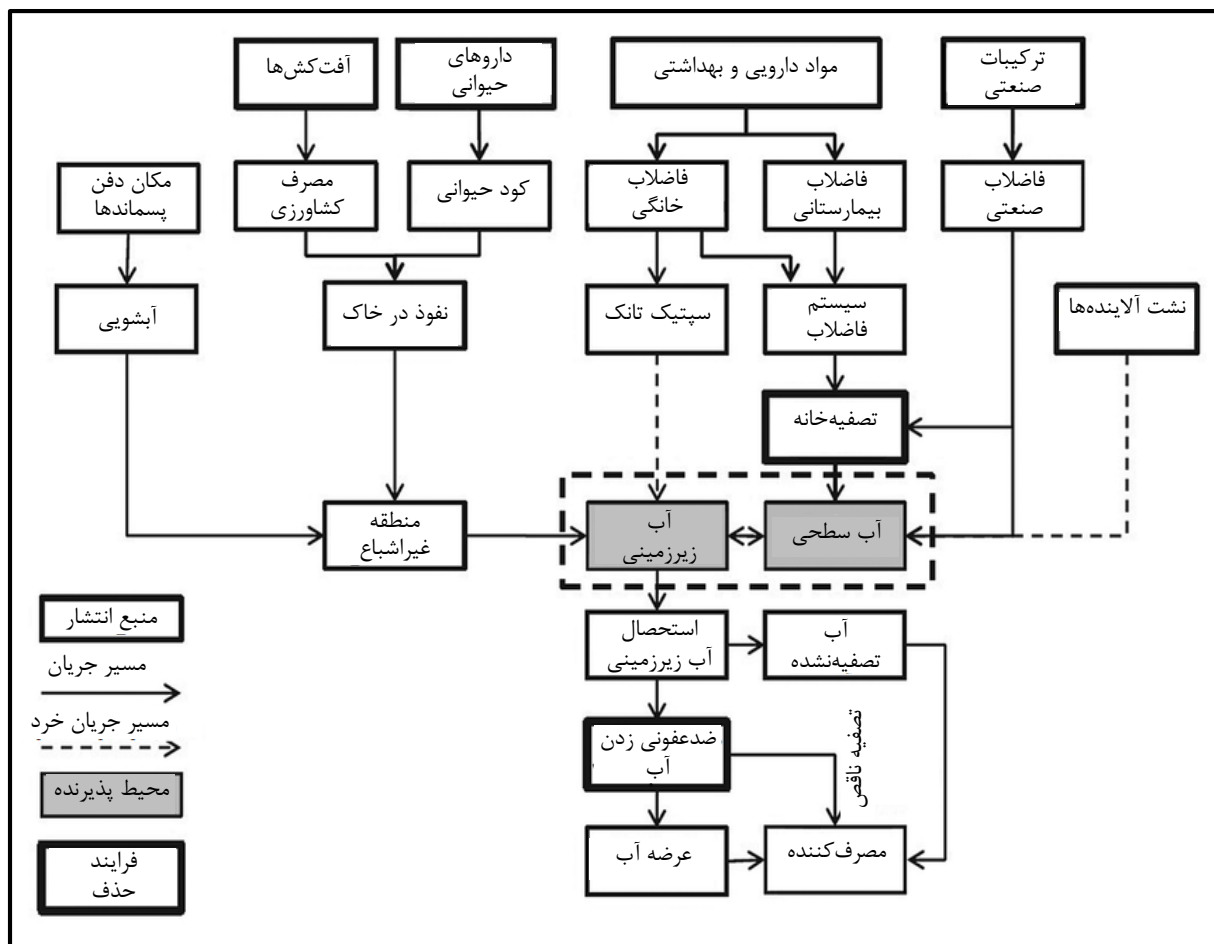
افزودنی‌های صنعتی و نرم‌کننده‌های مواد پلیمری و در بخش کشاورزی و دامپروری به دفع آفت‌کش‌ها و داروها و هورمون‌های مورد استفاده برای دام و طیور اشاره کرد. رها شدن افزودنی‌های بنزین از طریق هدر رفت این فرآورده در بخش حمل و نقل و استفاده از آنتی‌اکسیدان‌ها و خاموش‌کننده‌های آتش در بخش صنعت و خانگی نیز از دیگر منابع انتشار آلاینده‌های نوظهور می‌باشند که در نهایت بخش عمده‌ای از آن‌ها به منابع آب راه می‌یابند. بیش‌تر آلاینده‌های نوظهور توسط انسان تولید و بخش عمده‌ای از آن‌ها وارد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌شوند و بخشی نیز روی سطوح مختلف محیط رسوب می‌کنند. بدین ترتیب مسیر اصلی ورود آلاینده‌های نوظهور به محیط‌زیست پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و پس از آن رواناب‌های سطحی و شیرابه محل‌های دفن پسماند می‌باشد. البته بیش‌تر ترکیبات مورد استفاده در کشاورزی و دامپروری مستقیم یا از راه فضولات حیوانی وارد خاک و از آنجا توسط رواناب سطحی یا تراوش وارد منابع آبی سطحی و زیرزمینی می‌شوند. شکل (۴-۲).

هنگامی که آلاینده‌های نوظهور در محیط رها می‌شوند، ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی آن‌ها (مانند حلالیت در آب، فشار بخار و قطبیت) رفتارشان را در محیط تعیین می‌کنند. بر اساس ماهیت محیط‌های طبیعی (مانند آب زیرزمینی، آب سطحی و رسوبات) یا محیط‌های انسان‌ساخت (مانند تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و تاسیسات تأمین آب شرب) این آلاینده‌ها تحت تأثیر برخی فرآیندهای فیزیکوشیمیایی و زیستی قرار می‌گیرند و ممکن است از محیط حذف، به محیطی دیگر منتقل یا به ترکیبات دیگر تبدیل شوند. البته برخی آلاینده‌های نوظهور نسبت به فرآیندهای مختلف مقاوم هستند و در محیط دوام می‌آورند. به‌طور کلی، بخشی از آلاینده‌های نوظهور ورودی به محیط توسط پدیده‌های طبیعی، مانند جذب سطحی روی رسوبات و مواد معلق و حذف از آب، فتولیز مستقیم و غیرمستقیم بر اثر نور خورشید، تغییر شکل میکروبی، حذف می‌شوند. همچنین مشخص شده است که حیوانات و گیاهان می‌توانند پس از جذب آلاینده‌های نوظهور آن‌ها را سمیت‌زدایی یا دفع کنند، اما تجمع در بافت چربی یا فقدان سیستم‌های آنزیمی لازم برای تغییر شکل زیستی می‌تواند در حذف این آلاینده‌ها اختلال ایجاد کنند.

به‌طور کلی نگرانی جدی در مورد آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست، ورود این مواد به منابع آب می‌باشد. چرا که اغلب آلاینده‌های تولیدی در بخش‌های مختلف در آخر وارد منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌شوند. بنابراین پتانسیل ورود آن‌ها به بدن انسان و جانوران از راه آب بسیار بالاست و برای کاهش بار آلودگی ورودی به منابع آب می‌بایست از ورود آن‌ها به این منابع جلوگیری کرد.

از آن‌جا که آلاینده‌های نوظهور طیف گسترده‌ای از مواد با ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی مختلف را شامل می‌شوند، تصفیه و حذف آن‌ها از محیط‌زیست و منابع آب بسیار مشکل است. برای مثال، تصفیه آب‌های زیرزمینی و سطحی حاوی آلاینده‌های نوظهور، نیازمند بررسی و شناسایی کنش‌های متقابل بین آلاینده‌ها و شرایط محیطی مانند فصل سال، شدت تابش نور خورشید، دما، ویژگی‌های هیدرولیکی محیط آبی و سایر پارامترها و مؤلفه‌های محیط پذیرنده است. همچنین بسیاری از آلاینده‌های نوظهور ممکن است در نواحی دوردست و دور از محل مصرف مشاهده شوند، زیرا برخی ویژگی‌های

این مواد مانند مقاومت در برابر تجزیه باعث می‌شود تا زمان کافی برای انتقال به فاصله دور را داشته باشند. از سوی دیگر به دلیل خاصیت تجمع زیستی ممکن است این فرایند انتقال تسریع شود و به سایر مناطق نیز منتقل شوند [۱۹]. آلاینده‌های نوظهور ممکن است از منابع نقطه‌ای<sup>۱</sup> وارد محیط‌های پذیرنده خاک، هوا و آب شوند که سازوکارهای انتقال و مسیر انتقال آن‌ها به عوامل متعددی مانند قطبیت مولکول‌های آن‌ها، فراریت، مقاومت به تجزیه در محیط پذیرنده و همچنین ویژگی‌های محیط پذیرنده بستگی دارد.

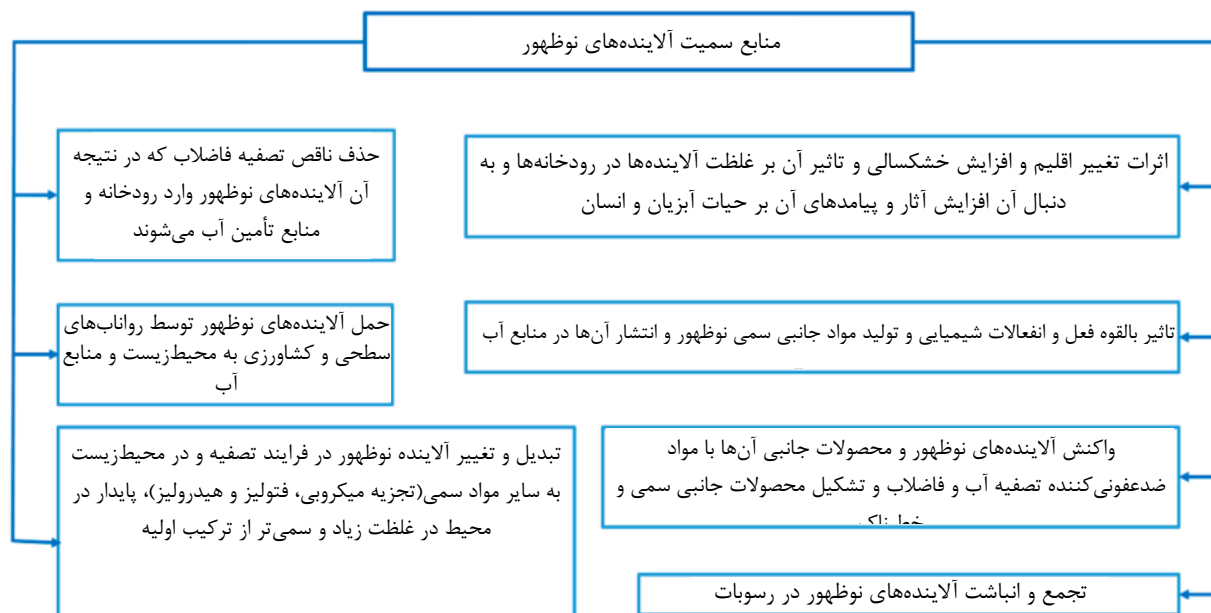


شکل ۴-۲- منابع انتشار و مسیر انتشار آلاینده‌های نوظهور به منابع پذیرنده [۱۷]

آلاینده‌های نوظهور به راحتی می‌توانند زیست‌بوم‌های رودخانه‌ای را آلوده کنند شکل (۴-۳). این موضوع به‌ویژه در نواحی که فاضلاب به رودخانه‌ها تخلیه می‌شوند یا تصفیه‌خانه‌ها کارایی ندارند، بیش‌تر مشاهده می‌شود. زیرا بسیاری از این آلاینده‌ها به راحتی در رسوبات یا در بافت‌های جانوری و گیاهی تجمع می‌یابند. برخی باکتری‌ها می‌توانند اثرات آلاینده‌های نوظهور را تعدیل و به‌سادگی آن‌ها را تغییر و نرخ تجزیه آن‌ها را افزایش دهند. البته، مطالعات اندکی درباره تجزیه زیستی آلاینده‌های نوظهور مانند هورمون‌ها و برخی شوینده‌ها یا ترکیبات دارویی انجام شده است. همچنین بیش‌تر این مطالعات در آزمایشگاه انجام شده‌اند و قابل تعمیم به مقیاس کلان و شرایط طبیعی نمی‌باشند. به همین دلیل

۱- Point source & diffuse sources

پژوهش در زمینه شناسایی باکتری‌ها و سایر جاندارانی که بتوانند آلاینده‌های نوظهور را از محیط‌زیست و منابع آب حذف کنند، اولویت بالایی دارد.



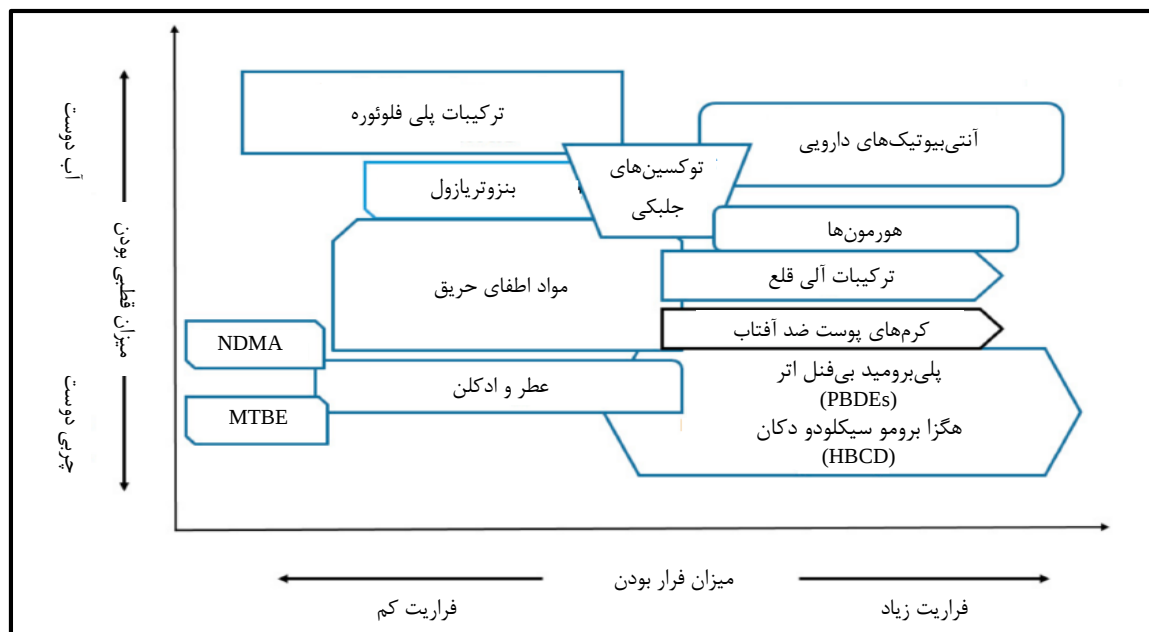
شکل ۴-۳- فرایندهای انتقال و سرنوشت آلاینده‌های نوظهور در منابع آب [۱۱]

از بین آلاینده‌های نوظهور ترکیباتی که بر سامانه غدد درون‌ریز تأثیر می‌گذارند بیش از سایر آلاینده‌ها بررسی شده‌اند. بیش از ۲۰۰ نوع از این آلاینده‌ها در محیط‌زیست و منابع آب شناسایی شده‌اند. همچنین در بین آلاینده‌های نوظهور، آلاینده‌های دارویی به دلیل مصرف بسیار زیاد برای مقابله با بیماری و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیش از بقیه مورد توجه قرار دارند. تقریباً همه گروه‌های داروها به دلیل مقاومت به تجزیه در فاضلاب‌ها شناسایی شده‌اند [۱۸]. ترکیبات دارویی (مانند هورمون‌ها، داروهای ضدالتهاب، داروهای ضد سرع، استاتین، بتابلاکرها، آنتی‌بیوتیک‌ها، داروهای ردیاب و غیره) که به شکل اولیه خود یا به صورت متابولیت‌ها دفع می‌شوند، همواره در فاضلاب‌های شهری، بیمارستانی و آب‌های سطحی یافت می‌شوند. در این میان آنتی‌بیوتیک‌ها به مقدار بسیار زیاد در محیط‌زیست منتشر می‌شوند و به همین دلیل تنوع بالایی از این مواد در محیط‌زیست مشاهده می‌شود. مطالعات نشان داده است که غلظت آنتی‌بیوتیک‌ها در برخی رودخانه‌های جهان بیش از ۳۰۰ برابر حد مجاز است. بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی، یکی از مهم‌ترین چالش‌ها و تهدیدات سلامت جامعه جهانی و امنیت غذایی، مقاومت میکروب‌ها به آنتی‌بیوتیک‌ها است. زیرا در نتیجه این مقاومت، شمار زیادی از بیماری‌های عفونی را نمی‌توان به‌سادگی درمان کرد، چرا که تخلیه مستمر آن‌ها به محیط‌زیست باعث مقاومت بسیاری از عوامل بیماری‌زا به آنتی‌بیوتیک‌ها شده است.

آلاینده‌های ریز نوظهور (EMPs)<sup>۱</sup> گروه دیگری از آلاینده‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی هستند که در محیط‌های آبی در غلظتی فراتر از غلظت طبیعی خود مشاهده می‌شوند و در مواجهه طولانی‌مدت می‌توانند با غلظت‌های پیکوگرم بر لیتر تا میکروگرم بر لیتر،  $\mu\text{g/L}$  تا  $\text{pg/L}$  اثرات سمیت شدید نشان دهند.

در یک دسته‌بندی دیگر، آلاینده‌های نوظهور را می‌توان بر اساس ویژگی‌های فیزیکی-شیمیایی مانند مواد آلی قطبی (مانند داروها، مواد شیمیایی صنعتی، آفت‌کش‌ها)، ذرات جامد (مانند، نانوپلاستیک‌ها و میکروپلاستیک‌ها) دسته‌بندی کرد.

این آلاینده‌های نوظهور می‌توانند چربی‌دوست و یا آبدوست باشند و یا میزان فراریت آن‌ها کم یا زیاد باشد. پس از ورود این مواد به محیط‌زیست، بیش از مواد شیمیایی طبیعی خاصیت قطبی، اسیدی یا قلیایی نشان می‌دهند که موجب می‌شود در برخی غلظت‌ها خطرناک‌تر شوند. بسیاری از آلاینده‌های نوظهور آب‌گریز<sup>۲</sup> هستند و به همین دلیل می‌توانند در زنجیره‌های غذایی منتقل شوند و در بافت‌های چربی تجمع یابند یا در نتیجه تماس مستقیم و غیرمستقیم بر غدد درون‌ریز جانوران و انسان تأثیر بگذارند شکل (۴-۴) [۱۹].



شکل ۴-۴- قطبیت و فراریت برخی آلاینده‌های نوظهور

گروه جدیدی از ترکیبات آلی که وارد فهرست آلاینده‌های نوظهور شده‌اند ترکیبات کرم‌های بهداشتی ضدپرتوهای فرابنفش یا فیلترهای UV آلی هستند. این ترکیبات که به‌عنوان ترکیبات مراقبت شخصی هم شناخته می‌شوند، در سال‌های اخیر بیش‌ازپیش در کانون توجه قرار گرفته‌اند. این ترکیبات که به صورت گسترده در ترکیب کرم‌های آرایشی استفاده می‌شوند، توانایی جذب پرتوهای نور خورشید را دارند که دلیل آن ضریب جذب مولی بسیار زیاد آن‌ها برای جلوگیری از پرتوهای فرابنفش است (طول موج‌های ۴۰۰-۳۲۰ تا ۳۲۰-۲۸۰ نانومتر). به همین دلیل، فیلترهای

۱- Micropollutants

۲- Hydrophobic

فرابنفش می‌توانند افراد را از اثرات مضر پرتوهای خورشیدی حفاظت کنند.

استفاده گسترده از این مواد و پایش آن‌ها نشان داده است که این ترکیبات می‌توانند در اندام‌های بدن (به‌ویژه بافت‌های چربی) و بخش‌های مختلف زیست‌بوم‌ها تجمع کنند. علاوه بر این، برخی مطالعات اولیه در جانوران نشان داده است که برخی فیلترهای UV به‌عنوان مواد مختل‌کننده غدد درون‌ریز عمل می‌کنند. با این وجود، گستره و شدت حضور این مواد در محیط‌زیست هنوز ناشناخته است [۲۰].

در آب‌های ساحلی و خلیج‌ها و دریاها ممکن است غلظت بالایی از فیلترهای UV ناشی از مصرف کرم‌های ضد آفتاب گردشگران وجود داشته باشد که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به EHMC, Ethylhexyl methoxycinnamate, BP3, benzophenone-3, BM-DBM, butyl methoxydibenzoylmethane, OC, octocrylene [۲۱]. همچنین این آلاینده‌ها در رودخانه‌ها، دریاچه‌ها، آب‌های زیرزمینی، رسوبات و جانداران زنده مشاهده شده‌اند. اما بیش‌ترین آلودگی در پساب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب مشاهده می‌شود. زیرا بسیاری از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب توانایی حذف فیلترهای UV را ندارند [۲۳].

غلظت بالای این آلاینده‌ها در پساب می‌تواند استفاده از پساب را محدود کند. تجزیه و شناسایی این ترکیبات در ماتریس‌های (مواد سیال) پیچیده‌ای مانند فاضلاب مستلزم به‌کارگیری روش‌های تخصصی و بسیار ویژه است و به همین دلیل استفاده از روش‌های کروماتوگرافی مایع به همراه طیف‌سنجی جرمی متوالی<sup>۱</sup> توصیه می‌شود. در حال حاضر، اتحادیه اروپا برای ۲۷ نوع فیلتر UV غلظت مجاز در آب را اعلام کرده است. بایستی توجه داشت که برخی فیلترهای UV آلی ممکن است به دلیل تجزیه نوری یا تجزیه زیستی به سایر فرآورده‌های جانبی تبدیل شوند و در نتیجه ممکن است هنگام پایش شناسایی نشوند. به همین دلیل نیاز به پژوهش‌های جامع در زمینه انواع فیلترهای UV و سرنوشت آن‌ها در محیط‌زیست می‌باشد.

#### ۴-۲- انواع آلاینده‌های نوظهور

طی چند دهه گذشته و به‌موازات توسعه صنعتی و تولید انواع محصولات مصرفی و دارویی، میزان آلاینده‌های نوظهور بسیاری تولید و پس از مصرف به طرق مختلف وارد محیط‌زیست، به‌ویژه منابع آب شده‌اند که آثار و پیامدهای اکولوژیکی، بهداشتی برای انسان و سایر موجودات زنده در پی دارند. بر اساس پایگاه شبکه نورمن، حداقل ۷۰۰ ماده نوظهور در ۲۰ دسته در محیط‌های آبی اروپا شناسایی شده‌اند و شناسایی، پایش، ردیابی و حذف آن‌ها و انجام سایر اقدامات پیشگیرانه جزو مهم‌ترین اولویت‌های سازمان‌های بهداشت و محیط‌زیست قرار دارد. باید یادآوری کرد که استانداردهای ملی کیفیت آب در بسیاری از کشورها از جمله ایران، آلاینده‌های نوظهور را شامل نمی‌شوند. اما در سال‌های اخیر در برخی کشورهای توسعه‌یافته آلاینده‌های نوظهور مورد توجه قرار گرفته‌اند و مجموعه‌ای از قوانین، دستورالعمل‌ها، استانداردها و اقدامات

۱- Tandem mass spectrometry

مدیریتی برای ارزیابی ریسک محیط‌زیستی و بهداشتی آن‌ها با هدف دستیابی به مدیریت کارآمد منابع آب و تضمین سلامت مردم و سایر جانداران زنده، وضع شده است.

بررسی سیر تحولات این مواد در محیط‌زیست و منابع آب نشان می‌دهد که انتشار برخی آلاینده‌های نوظهور احتمالاً در بازه‌های زمانی طولانی رخ داده است، اما به دلیل غلظت بسیار کم آن‌ها و فقدان فناوری‌های شناسایی و پایش مناسب، تا مدت‌ها ردیابی و شناسایی نشده‌اند. باید یادآور شد که تا اوایل دهه ۱۹۹۰ میلادی، بیش‌تر پژوهش‌های آلاینده‌های نوظهور در سطح جهان معطوف به آلاینده‌های آلی پایدار (POPs)<sup>۱</sup> بودند که بیش‌تر شامل ترکیبات سمی و قابل تجمع زیستی مانند هیدروکربن‌های آروماتیک چندحلقه‌ای (PAHs)<sup>۲</sup> می‌باشند. با توجه به پژوهش‌های وسیع بر روی این مواد بسیاری از آن‌ها تحت عنوان آلاینده‌های اولویت‌دار شناخته شدند و تحت پایش و نظارت قوانین زیست‌محیطی قرار گرفتند و با اقدامات مناسب و حذف منابع اصلی تولید آن‌ها کاهش قابل توجهی در انتشار این ترکیبات رخ داده است. به‌طور خلاصه مهم‌ترین گروه‌های آلاینده‌های نوظهور عبارتند از:

#### - مواد دارویی و محصولات مراقبت از سلامت

داروها گروهی از آلاینده‌های نوظهور هستند که به‌طور گسترده برای درمان بیماری‌های انسان و جانوران استفاده می‌شوند. اولین ماده دارویی که آنالیز شد، اسید کلوفیریک بود که یک داروی کاهش چربی خون است. هورمون‌ها نیز در منابع آب در دهه هفتاد شناسایی شدند. در ایالات متحده مواد دارویی ابتدا در فاضلاب و سپس داروهایی مانند ایپوبروفن و ناپروکسن در رودخانه‌ها مشاهده شد. در سال ۲۰۰۴، گزارش شد که سه گونه کرکس‌ها تحت تأثیر داروی دیکلوفناک قرار گرفته‌اند که مرگ و میر زیادی در این پرندگان در کشورهای پاکستان و هند در پی داشته است [۲۴]. پژوهش‌های بعدی نشان داد امروزه داروهای انسانی و حیوانی بسیاری پیوسته در طبیعت و به‌ویژه منابع آب در حال انتشار هستند که می‌توانند اثرات منفی متعددی در پی داشته باشند.

در مطالعات دیگری داروهای انسانی مختلفی در آب‌های سطحی با غلظت‌های حدود ۱ میکروگرم بر لیتر شناسایی شده‌اند. اما بررسی‌های مختلف نشان داده که اغلب داروهای حیوانی (دامپزشکی) غلظت چندانی در خاک و آب‌های زیرزمینی ندارند که دلیل اصلی آن مصرف کم‌تر آن‌ها در مقایسه با داروهای انسانی و قوانین و مقررات سخت‌گیرانه‌تر مصرف و انتشار آن‌ها می‌باشد. این بررسی‌ها نشان می‌دهد که مواد و پسماندهای دارویی اصلی‌ترین ریزآلاینده‌ها<sup>۳</sup> در منابع آب خواهند بود. بنابراین، پایش، کنترل و حذف پسماندهای دارویی از منابع آب، با توجه به ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی و غلظت اندک آن‌ها در آب، یک چالش اساسی می‌باشد.

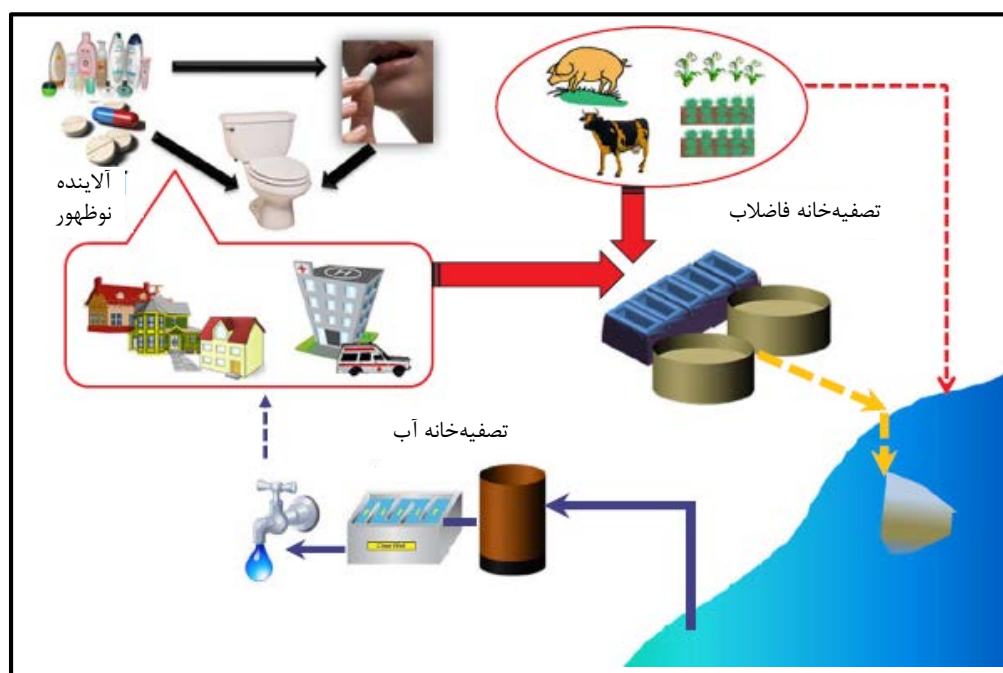
۱- Persistent Organic Pollutants

۲- Polycyclic aromatic hydrocarbon

۳- Micropollutants

مصرف برخی داروها و متابولیسم (سوخت و ساز) آن‌ها در بدن انسان ممکن است بدون تغییر باقی بمانند یا ممکن است در بدن تغییر ماهیت دهند. سپس از طریق دفع فضولات انسانی از راه منابع نقطه‌ای مانند فاضلاب‌های بیمارستانی، صنایع داروسازی و فاضلاب خانگی یا غیرنقطه‌ای مانند رواناب‌های سطحی یا فاضلاب خانگی در شهرهای فاقد سامانه‌های جمع‌آوری فاضلاب وارد آب‌های سطحی و زیرزمینی، شوند.

در سال‌های اخیر تولید و مصرف انواع داروها در حال افزایش است و هم‌زمان انواع متابولیت‌های دارویی در منابع آب افزایش چشمگیری یافته است. برای مثال، در آلمان حدود ۲۲۰۰ داروی مختلف در گردش است. حدود ۳۰۰ داروی انسانی و دامپزشکی مورد استفاده را در اروپا شناسایی کردند. متداول‌ترین و پرمصرف‌ترین داروها شامل داروهای ضدالتهاب/ضد درد، آنتی‌بیوتیک‌ها، داروهای تنظیم‌کننده چربی خون، داروی کاهش استرس قلب، استروئیدها و هورمون‌های مختل‌کننده غدد برون‌ریز بوده‌اند. شکل (۴-۵) منابع انتشار و مسیر انتقال آلاینده‌های نوظهور دارویی به محیط‌زیست و منابع آب را نشان می‌دهد [۱۴].



شکل ۴-۵- منابع انتشار و مسیر انتقال آلاینده‌های نوظهور دارویی و بهداشتی به محیط‌زیست و منابع آب [۲۶] [۲۷]

اطلاعات در مورد اثرات سم‌شناسی اکولوژیکی<sup>۱</sup> ترکیبات دارویی بر جانداران خشکی و به‌ویژه آبی اندک است، زیرا از یک سو این مواد در غلظت‌های اندک در محیط‌زیست وجود دارند و از سوی دیگر در زمره آلاینده‌هایی هستند که زمان زیادی از انتشار آن‌ها در محیط‌زیست نمی‌گذرد. با توجه به کمبود اطلاعات در مورد اثرات، سرنوشت و غلظت آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست و منابع آب، کنترل و مدیریت آن‌ها برای دولت‌ها و مسئولین محیط‌زیست و منابع آب یک چالش است. به همین دلیل نیز در حال حاضر استانداردها و معیارهایی برای تعیین حد مجاز تخلیه این مواد به

سامانه‌های فاضلاب و محیط‌زیست یا در آب شرب وجود ندارد [۲۶]. با این وجود برخی کشورها استانداردهای مقدماتی برای برخی آلاینده‌های نوظهور دارویی و محصولات مراقبت شخصی<sup>۱</sup> ارائه کرده‌اند. در سال ۱۹۹۵، اتحادیه اروپا غلظت برخی آلاینده‌های دارویی<sup>۲</sup> و محصولات مراقبت شخصی را در آب‌های سطحی و خاک به ترتیب ۱۰ نانوگرم بر لیتر و ۱۰ میکروگرم بر کیلوگرم خاک پیشنهاد کرد. همچنین، این اتحادیه، بر اساس دستورالعمل چارچوب منابع آب در سال ۲۰۱۳، حدود ۴۵ ترکیب دارویی و مراقبت بهداشتی را به‌عنوان آلاینده‌های با اولویت زیاد معرفی کرد که باید برای آن‌ها استاندارد تهیه شود. سازمان غذا و داروی ایالات متحده آمریکا<sup>۳</sup> دستورالعمل‌هایی را برای ارزیابی داروهای انسانی ارائه کرد و اعلام کرد که باید در مورد داروهایی که غلظت آن‌ها در محیط‌های آبی بیش از ۱ میکروگرم بر لیتر است، ارزیابی‌های زیست‌محیطی انجام شود [۲۶].

شوینده‌ها و مواد پاک‌کننده به دلیل وجود انواع ترکیبات شیمیایی در آن‌ها از دیگر مواد و محصولاتی هستند که در نتیجه استفاده و مصرف آن‌ها آلاینده‌های نوظهور متعددی در محیط‌زیست و منابع آب تخلیه می‌شود. محصولات مراقبت بهداشتی به دلیل تولید و مصرف بیش‌تر در مقایسه با مواد دارویی، در مقادیر بالاتری در منابع آب یافت می‌شوند. در این میان، شوینده‌ها از مهم‌ترین مواد مصرفی برای مراقبت از سلامت هستند. این مواد با وجود دارا بودن جنبه‌های مثبت فراوان، آلودگی‌های نوینی وارد محیط‌زیست کرده‌اند. همچنین شوینده‌ها پدیده تغذیه‌گرایی، تجزیه‌ناپذیری گروه سخت شوینده‌ها، ایجاد کف و سایر مشکلات را در منابع آب و محیط‌زیست در پی داشته‌اند. شوینده‌های مصنوعی ویژگی‌های پاک‌کنندگی خوبی دارند و با یون‌های سختی مانند کلسیم و منیزیم، نمک‌های نامحلول تشکیل نمی‌دهند. همچنین به دلیل نمک‌های به نسبت قوی اسیدی‌شان در آب‌های اسیدی به صورت اسیدهای نامحلول که از ویژگی‌های نامطلوب صابون‌هاست، رسوب نمی‌کنند. با این وجود، پتانسیل آلودگی آب توسط پاک‌کننده‌ها بسیار زیاد است، زیرا این مواد کاربرد گسترده‌ای دارند به طوری که سالانه حدود یک میلیارد پوند پاک‌کننده‌های فعال سطحی<sup>۴</sup> در بازار خانگی ایالات متحده آمریکا و بیش از این مقدار در اروپا مصرف می‌شود. بیش‌تر این مواد همراه با سایر مواد تشکیل‌دهنده پاک‌کننده‌ها در نهایت با فاضلاب به محیط تخلیه می‌شوند.

ماده اصلی تشکیل‌دهنده شوینده‌ها، ماده‌ای فعال سطحی است که به‌عنوان عامل پاک‌کننده عمل می‌کند. به دلیل ساختار چربی‌دوست-آبدوست آن‌ها یک قسمت از مولکول که قطبی یا گروه یونی است تمایل زیادی به چسبیدن به مولکول‌های آب دارد و قسمت دیگر که گروه هیدروکربنی دارد مولکول‌های آب را دفع می‌کند. شکل زیر این نوع ساختمان مولکولی برای ماده فعال سطحی آلکیل بنزن سولفونات<sup>۵</sup> را نشان می‌دهد [۴۵].

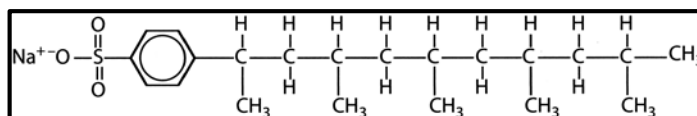
۱- PCPs

۲- PhACs

۳- Food and Drug Administration, FDA

۴- Surfactants

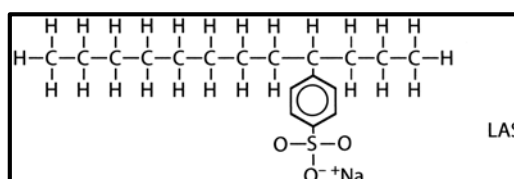
۵- Alkyl Benzene Sulfonate, ABS



ساختار مولکولی برای ماده فعال سطحی آلکیل بنزن سولفونات

تا اوایل دهه ۱۹۶۰، آلکیل بنزن سولفونات فراوان‌ترین ماده فعال سطحی برای تولید پاک‌کننده‌ها محسوب می‌شد. با این‌وجود، یکی از مهم‌ترین مشکلات این ماده تجزیه زیستی کند آن است. علت این پدیده شکل ساختمان مولکولی زنجیره‌ای شاخه‌ای آن‌هاست. یکی از نشانه‌های نامطلوب پاک‌کننده‌های غیرقابل تجزیه، سرباره کف است که در آب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب و نه‌رهایی که فاضلاب دریافت می‌کردند، مشاهده می‌شود. از سایر اثرات نامطلوب پاک‌کننده‌های مقاوم به تجزیه در فرایندهای تصفیه فاضلاب، می‌توان به کاهش کشش سطحی آب، واپاشی لخته‌های کلوئیدی، شناور شدن مواد جامد، امولسیون شدن چربی و روغن و مرگ باکتری‌های مفید اشاره کرد. به همین دلیل، ماده قابل تجزیه فعال سطحی آلکیل سولفونات خطی (LAS)<sup>۱</sup> جایگزین ماده فعال سطحی آلکیل بنزن سولفونات (ABS) شد.

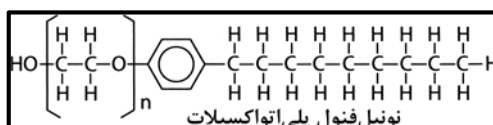
شکل زیر ساختار عمومی LAS یا a- بنزن سولفونات را نشان می‌دهد که در آن حلقه بنزن ممکن است در هر نقطه، به‌استثنای بخش انتهایی مولکول، به زنجیره آلکیل بچسبد.



فرمول ساختار عمومی مولکول آلکیل سولفونات خطی (LAS)

LAS در مقایسه با ABS قابلیت تجزیه زیست‌بیش‌تری دارد، زیرا بخش آلکیلی مولکول LAS شاخه فرعی ندارد و کربن نوع سوم هم که در تجزیه زیستی بسیار تعیین‌کننده است، ندارد. از آنجا که LAS جایگزین ABS شده است، در نتیجه مشکلات ناشی از عامل فعال سطحی در پاک‌کننده‌ها (مانند سمی بودن برای بچه ماهی‌ها) به میزان زیادی کاهش یافته است.

برخی پاک‌کننده‌های فعال سطحی غیریونی هستند. یک گروه از آن‌ها که می‌تواند مشکلاتی را به وجود آورد، آلکیل فنل پلی‌اتوکسیلات‌ها است (شکل زیر).



فرمول ساختار مولکول فنل پلی اتوکسیلات‌ها

<sup>۱</sup>- Linear alkyl benzene

آلکیل فنل پلی اتوکسیلات‌ها به‌عنوان پاک‌کننده، پراکنده‌کننده، امولسیون‌کننده، حل‌کننده و مرطوب‌کننده، مواد بسیار مفیدی هستند و مصرف سالانه آن‌ها در ایالات متحده میلیون‌ها کیلوگرم است. زنجیره‌های پلی‌اتوکسیلات این مواد و محصولات حاصل از تجزیه آن‌ها از طریق هیدرولیز میکروبی کوتاه‌تر می‌شوند و تمایل زیادی به تصفیه‌زیستی دارند. همچنین این مواد در لجن فاضلاب تجمع می‌یابند. تصور می‌شود که این مواد ممکن است به صورت هورمون استروژن خارجی (تقلیدکننده هورمون استروژن) عمل کنند. در نتیجه به‌دلیل پتانسیل ورود آن‌ها به زنجیره غذایی از راه کاربردهای جامدات زیستی در خاک، نگرانی‌هایی در پی داشته است. به دلیل این نگرانی‌ها، مصرف این ترکیبات در برخی کشورهای اروپایی به‌شدت محدود شده است.

انواع صابون‌ها، خمیردندان‌ها، شامپوها، کرم‌های پوست و شوینده‌های لباس و ظروف از مهم‌ترین مواد مصرفی روزانه محسوب می‌شوند. همواره برای افزایش عملکرد و اثر این شوینده‌ها به آن‌ها موادی مانند پاربن‌ها، عطرها، مصنوعی، مواد ضد میکروبی، فیلترهای ضد اشعه ماوراءبنفش و انواع افشانده‌ها اضافه می‌کنند. پژوهش‌های متعدد نشان داده‌اند که این مواد می‌توانند اثر منفی بر زیست‌بوم‌ها و انسان داشته باشند. همچنین با توجه به وجود چربی در ترکیب این مواد، خاصیت تجمع در بافت‌های چربی جانداران آبی را دارند. یکی از مواد متداول سمی که کاربرد گسترده‌ای در شوینده‌ها دارد، نیتروموسک گزین (nitromusk xylol) است. همچنین، پروپن‌هایی که به‌عنوان نگهدارنده در انواع شوینده‌ها استفاده می‌شوند، و موادی مانند اتیل هگزیل متوکسی سیانامات (Ethylhexyl methoxycinnamate) که در فیلترهای ماوراءبنفش استفاده می‌شوند، به‌عنوان مختل‌کننده‌های غدد درون‌ریز عمل می‌کنند.

#### - میکرو پلاستیک‌ها

میکرو پلاستیک‌ها، ذرات پلاستیکی مصنوعی با قطر کمتر از ۵ میلی‌متر و بیش از یک میکرومتر، در زمره آلاینده‌های نوظهور شناخته می‌شوند. میکرو پلاستیک‌ها از نظر مورفولوژی به پنج دسته شامل الیاف، فوم، گلوله، فیلم و ذرات بسیار ریز و از نظر منشأ تولید به دو دسته اولیه و ثانویه تقسیم می‌شوند. میکرو پلاستیک‌های اولیه به‌طور عمده در اندازه‌های کوچک مانند ریزدانه‌های موجود در محصولات مراقبت شخصی و لوازم آرایشی و بهداشتی مانند لوسیون‌ها، صابون‌ها، لایه‌بردارهای صورت و بدن، خمیردندان، تمیزکننده‌ها و الیاف لباس وجود دارند. بر اساس برآوردها در انگلستان سالیانه بین ۱۰۵ تا ۱۰۵۴ تن میکروپلاستیک اولیه (معادل ۵ تا ۵۳ میلیارد عدد) به شکل گلوله‌های کوچک به محیط‌زیست راه می‌یابند. میکروپلاستیک‌های ثانویه نیز در نتیجه تخریب قطعات پلاستیکی بزرگ‌تر تولید می‌شوند. این تخریب و تکه‌تکه شدن ممکن است هنگام استفاده از موادی مانند منسوجات پلاستیکی، رنگ و لاستیک یا پس از رها شدن پلاستیک‌ها در طبیعت، از طریق هوازدگی، فتولیز، سایش مکانیکی، اشعه فرابنفش خورشید و عوامل فیزیکی و شیمیایی و زیست‌محیطی رخ دهد. امروزه این مواد به یک نگرانی جدی برای محیط‌زیست تبدیل شده‌اند، به طوری که در محیط‌های خاکی و آبی، هوا، اقیانوس، رودخانه، دریاچه، رواناب‌های شهری، آب، فاضلاب، پساب، کود و کمپوست یافت می‌شوند. میکروپلاستیک‌ها با اندازه کوچک، نسبت سطح به حجم بالا و آب‌گریز بودن می‌توانند آلاینده‌های دیگر، مانند

داروها و محصولات مراقبت شخصی و آلاینده‌های آلی پایدار مانند پلی‌کلروبی‌فنل‌ها (PCB) و هیدروکربن‌های معطر چند حلقوی (PAH)، را جذب کنند و موجب افزایش دسترسی موجودات زنده به این آلاینده‌ها شوند. برای نمونه، انتقال و جذب میکروپلاستیک‌ها توسط ماهی‌ها و زئوپلانکتون‌ها و سایر جانداران میکروسکوپی در محیط‌های آبی گزارش شده است [۸۴]. کمبود اطلاعات میکرو پلاستیک‌ها از جنبه اثرات بر سلامت انسان‌ها، حیوانات و محیط‌زیست، سنجش و مطالعه آن‌ها در محیط‌های مختلف را ضروری کرده است.

#### مواد ضد آتش<sup>۱</sup> و نرم‌کننده‌ها<sup>۲</sup>

امروزه استفاده از انواع مواد ضد آتش هم برای مقابله با آتش‌سوزی و هم در تجهیزات مختلف در سراسر جهان رو به افزایش است. این مواد از اثربخش‌ترین عوامل بازدارنده، فرونشاندنده و خاموش‌کننده آتش ترکیبات نفتی قابل اشتعال محسوب می‌شوند. این مواد کاربرد گسترده‌ای در جلوگیری از آتش‌سوزی در موادی مانند پلاستیک‌ها، پارچه‌ها و چوب، و در تجهیزات الکتریکی، خودروها و ساختمان‌ها دارند. با توجه به استفاده از حلال‌ها و مواد فعال‌کننده سطحی در ساختار این مواد و آلودگی ناشی از آن‌ها در محیط‌زیست و منابع آب، بررسی اثرات زیست‌محیطی این ترکیبات مورد توجه است. از جمله چالش‌های زیست‌محیطی این ترکیبات، ورود آن‌ها به منابع آب و خاک از راه تخلیه آن‌ها به شبکه جمع‌آوری فاضلاب‌های صنعتی و بهداشتی و کانال‌های جمع‌آوری آب‌های سطحی بر اثر مصرف، ریزش اتفاقی یا نابود کردن آن‌ها به دلیل سرآمدن تاریخ مصرف می‌باشد. در بین انواع مواد ضد آتش، مواد دارای برم، از موثرترین مواد ضد آتش شناخته می‌شوند که برآورد می‌شود سالانه حدود ۲۰۰ هزار تن از آن تولید می‌شود. این ترکیبات در محیط‌زیست بسیار مقاوم هستند و ویژگی تجمع زیستی<sup>۳</sup> دارند. از مهم‌ترین ترکیبات این گروه که در محیط‌زیست و منابع آب شناسایی شده‌اند و به مقدار زیادی تولید می‌شوند می‌توان به Hexabromocyclododecane (HBCD)، Tetrabromobisphenol (TBBPA) و Decabromodiphenylether (DecaBDE) اشاره کرد. منابع اصلی انتشار این آلاینده‌ها تولید پلاستیک است که به صورت نقطه‌ای وارد محیط‌های آبی می‌شوند. این مواد مقاوم و پایدار و با ویژگی تجمع زیستی می‌توانند در رسوبات، گردوغبار و در بدن جانوران وحشی و انسان‌ها هم یافت شوند و به فراوانی در آب‌های سطحی نیز مشاهده می‌شوند. افزایش غلظت آن‌ها در محیط‌های آب را اثبات کرده‌اند. با توجه به آثار و پیامدهای این مواد در محیط‌زیست و منابع آب موسسه ثبت و ارزیابی مواد شیمیایی (REACH)<sup>۴</sup> ضوابط و مقرراتی را در سطح اتحادیه اروپا برای استفاده و تخلیه این مواد در محیط‌زیست ارائه کرده است.

پرکاربردترین شکل پلاستیک شامل بطری‌های آبمیوه، بسته‌بندی‌های پلاستیکی، ظروف پلاستیکی، ظروف غذای آماده، بطری‌های پلاستیکی شفاف، ظروف ادویه، لیوان و بطری‌های پلاستیکی، پلاستیک‌های بسته‌بندی، پاکت‌های

۱- Flame retardants

۲- Plasticizer

۳- Bioaccumulative

۴- Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

پلاستیک و سایر محصولات مشابه هستند. بسته به نوع کالا، ممکن است پلی‌وینیل کلرید (PVC)، پلی‌استایرن (PS)، پلی‌کربنات و بیس‌فنول (BPA) در این محصولات وجود داشته باشد. نرم‌کننده‌ها که افزودنی‌های بهبود انعطاف‌پذیری و قابلیت کشسانی می‌باشند، از مهم‌ترین موادی هستند که در ترکیبات پلاستیکی استفاده می‌شوند. نرم‌کننده‌ها، بیش‌تر از اسید استرها، اسید فسفریک استرها، اسید سولفونیک استرها و به طور کلی خانواده آروماتیک‌ها یا آلیفاتیک‌ها می‌باشند. این مواد شیمیایی مصنوعی با بسیاری از مشکلات سلامتی، از جمله سرطان، دیابت، بیماری‌های قلبی و ناهنجاری‌های تولیدمثل مرتبط هستند.

امروز نرم‌کننده‌های فتالات<sup>۱</sup> کاربرد گسترده‌ای در تولید محصولات پلاستیکی PVC دارند. PVC به صورت گسترده برای تولید محصولاتی مانند پوشش سیم‌های مسی، بسته‌بندی محصولات، پوشش کف ساختمان‌ها، چرم مصنوعی، اسباب‌بازی، تجهیزات ورزشی و پزشکی استفاده می‌شود. در اروپا سالانه حدود یک میلیون تن از فتالات‌ها به عنوان نرم‌کننده و مواد واسطه‌ای (ECPI)<sup>۲</sup> استفاده می‌شود که بیش‌تر شامل DINP (Di-isononyl-phthalat)، DIDP (Di-isodecyl-phthalate) و DPHP (Di-2-propyl-heptyl-phthalat) است. فتالات‌ها به دو گروه با وزن مولکولی پایین یا LMW<sup>۳</sup> (با ۳ تا ۶ اتم کربن در زنجیره اصلی) و با وزن مولکولی بالا یا HMW<sup>۴</sup> (با بیش از ۷ اتم کربن در زنجیره اصلی) طبقه‌بندی می‌شوند. فتالات به‌سادگی از محصولات جدا و در محیط‌زیست منتشر می‌شوند، زیرا این مواد با محصولات پیوند شیمیایی ندارند. پس از ورود این مواد به زیست‌بوم‌ها و محیط‌های آبی، ترکیبات آلی نیمه فرار<sup>۵</sup> تشکیل می‌دهند که می‌توانند اثرات منفی بر حیوان‌ها و انسان‌ها بگذارند. این ویژگی‌ها باعث می‌شود تا این مواد به‌وفور در آب‌های سطحی هم مشاهده شوند.

فتالات‌ها به‌دلیل حجم بالای تولید، استفاده گسترده در محصولات مختلف به‌ویژه مواد پلاستیکی، رهاسازی، انتقال آسان و پراکنش وسیع در بخش‌های مختلف محیط‌زیست به‌عنوان یک آلاینده مختل‌کننده سیستم هورم-وونی درون‌ریز (EDCs)، ایجاد صدمات کبدی، کلیوی، سمیت تولیدمثلی، ناهنجاری‌های تولیدمثلی و حتی سرطان‌زایی در انسان اهمیت ویژه‌ای در زمینه آلودگی محیط‌زیست دارند، و پژوهش‌های مختلف نشان داده‌اند که در همه گروه‌های جانوری بر کارکرد سیستم هورمونی بدن و تولیدمثل تأثیرگذار هستند [۴]. این مواد با اتصال به گیرنده‌های هورمونی در بدن موجب بروز فعالیت‌های آنتی‌اندروژنی، تغییر در ساختار و کارکرد سلول‌های سرتولی بیضه، کاهش تعداد و کیفیت تحرک اسپرم‌ها در جنس نر و تغییر در مقادیر هورمون‌های استروئیدی جنس ماده، بلوغ زودرس، زایمان زودرس و مرگ جنین می‌شوند. با توجه به سمیت این مواد و تأثیر آن در تولید مثل جانوران آزمایشگاهی، فتالات‌های با وزن مولکولی

۱- Phthalates

۲- European Council for Plasticizers and Intermediates

۳- Low molecular weight

۴- High molecular weight

۵- Semi-volatile Organic Compounds

کم تحت نظارت اداره ثبت، ارزیابی و محدودیت‌های مواد شیمیایی اروپا (REACH)<sup>۱</sup> قرار گرفته‌اند. البته فتالات‌های با وزن مولکولی بالا نیز ممکن است اثرات منفی بر محیط‌زیست داشته باشند، اما هنوز اطلاعات موثقی در مورد اثرات آن‌ها بر محیط‌زیست وجود ندارد.

### - افزودنی‌های غذایی

افزودنی‌های غذایی در زمره مواد مصرفی هستند که برخی ترکیبات آن‌ها می‌توانند انواع آلاینده‌های نوظهور مانند Sucralose, Triacetin و Triethylcitrat در فهرست پایگاه اطلاعات NORMAN، را در محیط‌زیست و منابع آب منتشر کنند. از دیگر افزودنی‌های غذایی با کاربرد گسترده در شیرین‌سازی مواد غذایی می‌توان به Cyclamate, Saccharin, Aspartame و Acesulfame Sucralose اشاره کرد که در نوشابه‌ها، غذاها و داروها استفاده می‌شوند. افزودنی Sucralose نمونه خوبی از افزودنی‌ها است که می‌تواند اثرات منفی بر محیط‌زیست داشته باشد. این ماده به دلیل ساختار مولکولی‌اش، بسیار پایدار است و با داشتن مولکول‌های قطبی به شدت در آب محلول است. این ماده با کلرزنی ساکارز و جایگزینی سه گروه هیدروکسیل با اتم‌های کلر تهیه می‌شود. این مواد در فاضلاب و آب‌های سطحی شناسایی شده‌اند. اگر چه تاکنون برای این مواد اثرات حادی بر محیط‌های آبی و سلامت انسان شناسایی نشده است، اما با توجه به نرخ پایین تجزیه آن‌ها ممکن است به تدریج غلظت آن‌ها در منابع آب افزایش یابد و وارد سامانه توزیع آب شرب شوند. همچنین از آنجا که ممکن است این ترکیبات اثرات نامطلوبی بر برخی جانداران آبی حساس داشته باشند، در پایگاه اطلاعاتی NORMAN برخی از آن‌ها در زمره آلاینده‌های نوظهور طبقه‌بندی شده‌اند.

### - آفت‌کش‌ها

معرفی DDT در خلال جنگ جهانی دوم، آغاز دوره رشد بسیار سریع مصرف آفت‌کش‌ها بود. آفت‌کش‌ها برای هدف‌های گوناگونی استفاده می‌شوند. از جمله می‌توان به حشره‌کش‌ها و نرم‌تن‌کش‌ها<sup>۲</sup> برای حلزون‌ها، نماتدکش‌ها برای کرم‌های لوله‌ای میکروسکوپی، جو نده‌کش‌ها<sup>۳</sup> برای مهره‌داران، پر نده‌کش‌ها<sup>۴</sup> برای دفع و فراری دادن پرندگان، ماهی‌کش‌ها<sup>۵</sup> نیز برای ماهی‌ها، علف‌کش‌ها<sup>۶</sup> برای از بین بردن گیاهان به‌ویژه علف‌های هرز زمین‌های کشاورزی اشاره کرد. تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهان، برگ‌زداها و خشک‌کننده‌های گیاهان برای مقاصد گوناگون در کشاورزی استفاده می‌شوند. قارچ‌کش‌ها برای مبارزه با قارچ‌ها، باکتری‌کش‌ها برای مقابله با باکتری‌ها، لجن‌کش‌ها برای مبارزه با موجودات

۱- Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals

۲- Molluscicides

۳- Rodenticides

۴- Avicides

۵- Piscicides

۶- Herbicides

لجن‌ساز در آب و جلبک‌کش‌ها برای از بین بردن جلبک‌ها استفاده می‌شوند. در اواسط دهه ۱۹۹۰، بخش کشاورزی ایالات متحده آمریکا سالانه حدود ۳۶۵ میلیون کیلوگرم آفت‌کش مصرف می‌کرد. تولید حشره‌کش‌ها طی سه یا چهار دهه گذشته تا حدودی ثابت باقی مانده است. با این وجود، حشره‌کش‌ها و قارچ‌کش‌ها مهم‌ترین آفت‌کش‌هایی هستند که انسان بیش‌تر در معرض تماس با آن‌ها قرار دارد، زیرا این آفت‌کش‌ها اندکی پیش یا پس از برداشت محصول استفاده می‌شوند. از هنگامی که مواد شیمیایی، جایگزین سایر روش‌های کنترل علف‌های هرز شده‌اند، تولید علف‌کش‌ها افزایش یافته است، به‌طوری که در حال حاضر بیش‌ترین سهم مصرف آفت‌کش‌ها را دارند. احتمال دارد که مقدار زیادی آفت‌کش از مسیرهایی مانند زه آب کشاورزی وارد منابع آب شود.

در این میان آفت‌کش‌ها را می‌توان بر اساس اثرات‌شان به‌صورت زیر گروه‌بندی کرد:

- ترکیبات بسیار مقاوم به تجزیه زیستی
- مواد سرطان‌زا یا احتمالاً سرطان‌زا،
- مواد سمی با اثرات نامطلوب بر تولید مثل
- سموم اعصاب مهارکننده فعالیت آنزیم‌های کولینستراز
- مواد با سمیت حاد
- مواد آلوده‌کننده‌های آب‌های زیرزمینی

برخی متداول‌ترین آفت‌کش‌ها که می‌توانند به‌عنوان آلاینده‌های منابع آب باعث بروز نگرانی‌هایی شوند، در جدول (۲-۴) فهرست شده‌اند.

جدول ۴-۲- آفت‌کش‌های آلاینده منابع آب

| آفت‌کش          | مصرف                   | نوع ترکیب                                    |
|-----------------|------------------------|----------------------------------------------|
| Alachlor        | Herbicide              | Chloroacetanilide                            |
| Aldicarb        | Insecticide            | Carbamate                                    |
| Allethrin       | Insecticide            | Pyrethroid                                   |
| Atrazine        | Herbicide              | Triazine                                     |
| Azadirachtin    | Insecticide            | nematicide Complex botanical compound        |
| Azinphos-methyl | Insecticide            | Organophosphate                              |
| Azoxystrobin    | Fungicide              | Strobin                                      |
| Captan          | Fungicide              | Thiophthalimide                              |
| Carbaryl        | Insecticide            | plant growth regulator, nematicide Carbamate |
| Carbofuran      | Insecticide            | nematicide Carbamate                         |
| Chlorothalonil  | Fungicide              | Substituted benzene                          |
| Chlorpyrifos    | Insecticide            | nematicide Organophosphate                   |
| Cypermethrin    | Insecticide            | Pyrethroid                                   |
| Deltamethrin    | Insecticide            | Pyrethroid                                   |
| Diazinon        | Insecticide            | Organophosphorus                             |
| Diclofop-methyl | Herbicide              | Chlorophenoxy acid/ester                     |
| Diuron          | Herbicide              | Urea                                         |
| EPTC            | Herbicide              | Thiocarbamate                                |
| Ethephon        | Plant growth regulator | Organophosphate                              |

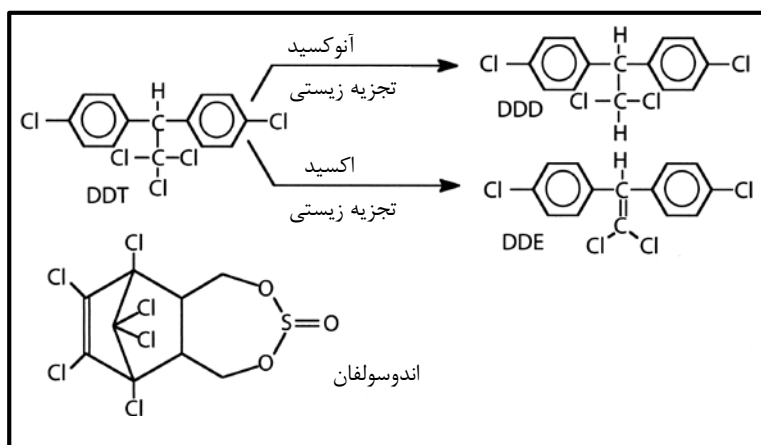
| آفت‌کش          | مصرف        | نوع ترکیب        |
|-----------------|-------------|------------------|
| Fenvalerate     | Insecticide | Pyrethroid       |
| Fluquinconazole | Fungicide   | Azole            |
| Glyphosate      | Herbicide   | Phosphonoglycine |
| Iprodione       | Fungicide   | Dicarboximide    |

ادامه جدول ۴-۲- آفت‌کش‌های آلاینده منابع آب

| آفت‌کش                | مصرف                              | نوع ترکیب                              |
|-----------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|
| Kresoxim-methyl       | Fungicide                         | Strobin                                |
| Linuron               | Herbicide                         | Urea                                   |
| Malathion             | Insecticide                       | Organophosphate                        |
| Mecoprop              | Herbicide                         | Chlorophenoxy compound                 |
| Metam-sodium Fumigant | herbicide                         | microbiocide, algicide Dithiocarbamate |
| Methiocarb            | Insecticide                       | molluscicide Carbamate                 |
| Metolachlor           | Herbicide                         | Chloroacetanilide                      |
| Metribuzin            | Herbicide                         | Triazinone                             |
| Phosmet               | Insecticide                       | Organophosphate                        |
| Pirimicarb            | Insecticide                       | Carbamate                              |
| Prometon              | Herbicide                         | Triazine                               |
| Propachlor            | Herbicide                         | Chloroacetanilide                      |
| Propanil              | Herbicide                         | Anilide                                |
| Propiconazole         | Fungicide                         | Azole                                  |
| Simazine              | Herbicide                         | Triazine                               |
| Spinosad              | Insecticide                       | Compound from bacteria                 |
| Tebuconazole          | Fungicide                         | Azole                                  |
| Tebuthiuron           | Herbicide                         | Urea                                   |
| Terbacil              | Herbicide                         | Uracil                                 |
| Terbuthylazine        | Algicide, herbicide, microbiocide | Triazine                               |
| Thifensulfuron-methyl | Herbicide                         | Sulfonyleurea                          |
| Thiophanate-methyl    | Fungicide                         | Benzimidazole                          |
| Tri-allate            | Herbicide                         | Thiocarbamate                          |
| Triclopyr             | Herbicide                         | Chloropyridinyl                        |
| Trifl oxystrobin      | Fungicide                         | Strobin                                |
| Trifl uralin          | Herbicide                         | 2,6-Dinitroaniline                     |

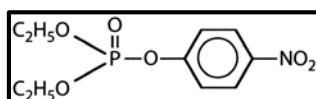
محصولات تجزیه (بیش‌تر هیدرولیز) برخی آفت‌کش‌ها در آب با غلظتی برابر یا حتی بیش از غلظت آفت‌کش اصلی مشاهده می‌شوند. در برخی موارد، این محصولات سمی‌تر از آفت‌کش اصلی هستند. برای نمونه می‌توان به اسید آمینومتیل فسفونیک اشاره کرد که بر اثر تجزیه علف‌کش گلی‌فوسات تولید می‌شود. این آفت‌کش که با نام تجاری «راندآپ» شناخته می‌شود، بیش‌ترین سهم تولید آفت‌کش در جهان را دارد.

آفت‌کش‌ها به سه دسته آفت‌کش‌های کلردار، آفت‌کش‌های فسفردار و کاربامات‌ها طبقه‌بندی می‌شوند. دی‌کلرودی‌فنیل‌تری‌کلرواتان با نام تجاری DDT و حشره‌کش‌های آلی کلردار از معروف‌ترین آفت‌کش‌های کلردار هستند (شکل ۴-۶). شواهد مختلف نشان می‌دهد که ممکن است DDT سرطان‌زا باشد. در واقع حشره‌کش بسیار مقاومی است و در زنجیره‌های غذایی انباشته می‌شود. مصرف این حشره‌کش از سال ۱۹۷۲ در ایالات متحده آمریکا ممنوع شده است.



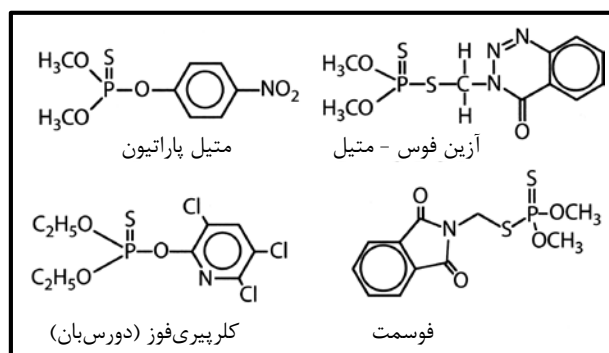
شکل ۴-۶- نمونه حشره‌کش‌های آلی کلردار

در دهه‌های گذشته مقدار بسیار زیادی حشره‌کش‌های آلی کلردار استفاده شده‌اند، اما به دلیل خواص سمی شدید آن‌ها و به‌ویژه تجمع و دوام آن‌ها در زنجیره‌های غذایی، مصرف آن‌ها ممنوع شده است. از مهم‌ترین حشره‌کش‌های این گروه می‌توان به متوکسی‌کلر (که زمانی یک جایگزین مناسب برای DDT به حساب می‌آمد)، دیلدین، اندرین، کلرادن، آلدین، دیلدین/ اندرین، هپتاکلر، توگزان، لیندن و اندوسولفان اشاره کرد که در حال حاضر مصرف آن‌ها ممنوع شده است. دسته دیگر، آفت‌کش‌های آلی فسفردار هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به حشره‌کش‌های آلی فسفردار، اشاره کرد که برخی آن‌ها استرهای آلی اسید اورتوفسفریک، مانند پاراکسون،<sup>۱</sup> (شکل زیر) هستند:



پاراکسون

متداول‌ترین ترکیبات حشره‌کش فسفردار، ترکیبات فسفروتیونات و فسفودی‌تیونات هستند (شکل ۴-۷). در این ترکیبات به جای گروه  $O=$ ، گروه  $S=$  قرار دارد که با  $P$  پیوند برقرار می‌کند. خواص سمی حشره‌کش‌های فسفردار بسیار متغیر است. مهم‌ترین تأثیر این سموم جلوگیری از فعالیت آنزیم استیل کولین استراز است. این آنزیم برای عملکرد سیستم عصبی ضروری است. برای مثال، حدود 120 mg سم پاراتیون می‌تواند یک انسان بالغ را بکشد و یک دوز پنج میلی‌گرمی از این سم می‌تواند موجب مرگ یک فرد نابالغ شود. بیش‌ترین مسمومیت‌های تصادفی ناشی از تماس با این آفت‌کش‌ها، جذب از راه پوست است. از زمانی که کاربرد پاراتیون شروع شد، صدها نفر توسط آن کشته شده‌اند. در مقابل، مالاتیون نشان می‌دهد که چگونه تفاوت در فرمول ساختاری می‌تواند باعث تفاوت در ویژگی‌های آفت‌کش‌های فسفردار شود.

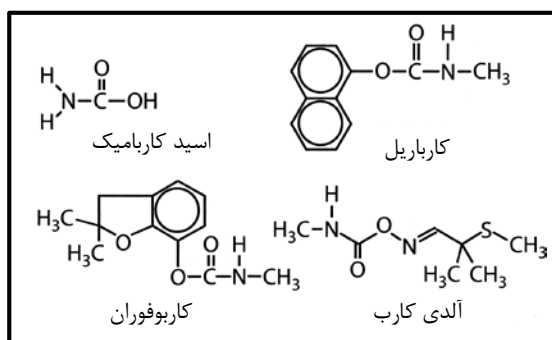


شکل ۴-۷- حشره‌کش‌های فسفردار فسفروتیونات (متیل پاراتیون و کلرپیریفوز) و فسفرودی تیونات (آذین فوس-متیل فوسمت)

پستانداران، آنزیم‌هایی دارند که می‌توانند مالاتیون را هیدرولیز کنند اما حشرات ندارند. به همین دلیل پستانداران می‌توانند مسمومیت را دفع کنند، اما حشرات قادر به این کار نیستند. در نتیجه مالاتیون خاصیت حشره‌کشی انتخابی دارد. برای مثال، گرچه مالاتیون حشره‌کش بسیار مؤثری است ولی سمیت آن برای پستانداران در مقایسه با پاراتیون کم‌تر است. همچنین، برخلاف ترکیبات آلی کلردار که در گستره وسیعی از محیط‌زیست انتقال می‌یابند، ترکیبات آلی فسفردار به‌سادگی در محیط‌زیست تجزیه می‌شوند و در محیط‌زیست تجمع نمی‌یابند.

گروه سوم آفت‌کش‌ها، مشتقات آلی اسیدکاربامیک یا کاربامات‌ها هستند (شکل ۴-۸). با توجه به تجزیه‌پذیری زیستی بیش‌تر کاربامات‌ها در مقایسه با حشره‌کش‌های آلی کلردار و سمیت کم‌تر برای پوست در مقایسه با آفت‌کش‌های آلی فسفردار، این مواد کاربرد گسترده‌ای یافته‌اند. برای نمونه می‌توان به کاربرد گسترده کاربaryl به‌عنوان حشره‌کش در باغ و چمن سبز، کاربوپوران (حلالیت بسیار بالا در آب) به‌عنوان حشره‌کش سیستمیک گیاهی (این سم توسط ریشه‌ها و برگ‌های گیاهان جذب شده و حشرات با تغذیه از مواد گیاهی، مسموم می‌شوند)، پرمی‌کارب به‌عنوان سم شته‌کش سیستمیک در کشاورزی اشاره کرد. برخلاف بسیاری از کاربامات‌ها، پرمی‌کارب حدودی پایدار است و تمایل زیادی برای اتصال به خاک دارد.

کاربامات‌ها برای حیوانات سمی هستند زیرا از فعالیت آنزیم استیل‌کولین استراز جلوگیری می‌کنند. برخلاف برخی حشره‌کش‌های آلی فسفردار، این حشره‌کش‌ها به انجام تغییر زیستی اولیه نیاز ندارند، به همین دلیل به عنوان جلوگیری‌کننده مستقیم فعالیت آنزیمی طبقه‌بندی می‌شوند. البته جلوگیری از فعالیت آنزیم استیل‌کولین استراز تا حدودی برگشت‌پذیر است و کاهش فعالیت آنزیم استیل‌کولین استراز بر اثر هیدرولیز استرکاربامات رخ می‌دهد که در نتیجه فعالیت‌های متابولیکی می‌باشد.



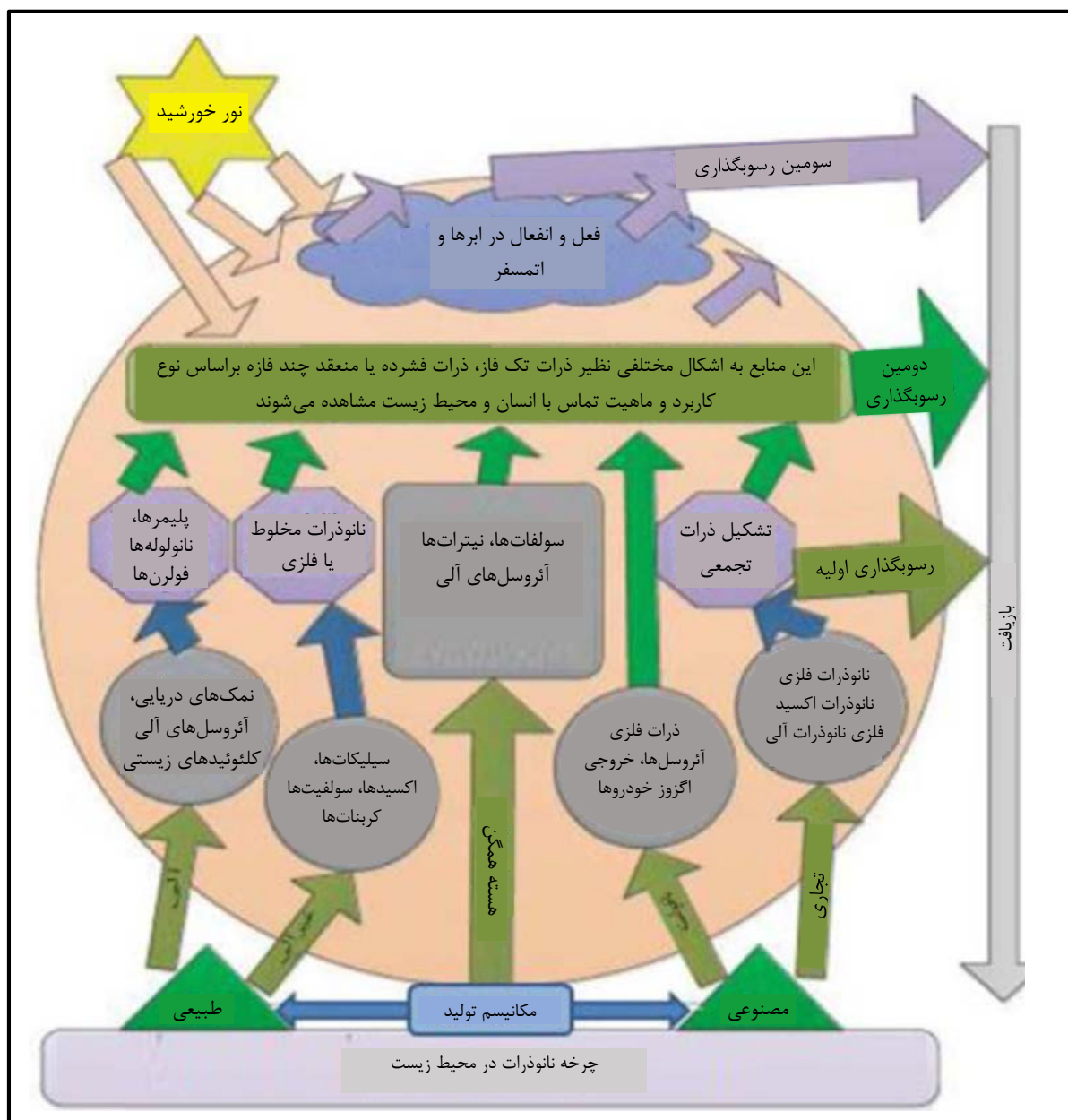
شکل ۴-۸- اسید کاربامیک و سه حشره‌کش کاربامات

آفت‌کش‌ها نیز مانند سایر مواد از راه‌های مختلف به‌ویژه استفاده بی‌رویه در زمین‌های کشاورزی و در نتیجه آب‌شویی و رواناب‌های شهری وارد محیط‌زیست و منابع آب سطحی و زیرزمینی می‌شوند.

#### - نانو ذرات

در سال‌های اخیر پیشرفت سریع فناوری نانو، تحولات عظیمی را در زمینه‌های محیط‌زیست، پزشکی و دارو، کشاورزی، صنعت و سایر علوم ایجاد کرده است. نانوذرات کاربردهای گسترده‌ای در بسیاری از حوزه‌های محیط‌زیستی، دارویی، غذایی، تشخیصی و درمانی بالینی، مواد آرایشی، کشاورزی، انرژی، نساجی و الکترونیک دارند. در کاربردهای محیط زیستی نانوذرات می‌توان به حذف تصفیه آب، فاضلاب، هوا و استفاده در تجهیزات کنترل و پایش آلاینده‌های محیط‌زیست مانند سنسورها و نانوفناوری سبز در کاهش گازهای گلخانه‌ای اشاره کرد. در سوی دیگر نانوذرات علاوه بر کاربردهای سودمند متعدد، در مراحل مختلف تولید تا دفع پسماندها مخاطرات متعددی برای محیط‌زیست، انسان و حیوانات ایجاد می‌کنند. بدین دلیل ارزیابی مخاطرات زیست‌محیطی نانوذرات در طول چرخه عمرشان مورد توجه پژوهشگران است [۵].

منشأ تولید و انتشار نانوذرات در محیط‌زیست می‌تواند طبیعی یا انسانی باشد. انتشار انسانی ممکن است آگاهانه یا تصادفی باشد. شکل (۴-۹) منابع تولید و انتشار نانوذرات و چرخه آن‌ها در محیط‌زیست را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۹- چرخه نانوذرات در محیط زیست [۵]

کوچک بودن اندازه ذرات و قابلیت نفوذ در بدن موجودات زنده از جمله انسان و اثرات آن‌ها در زمره مهم‌ترین نگرانی‌های درباره انتشار آن‌ها در محیط زیست است. زیرا با کوچک شدن اندازه نانوذرات، نسبت سطح به حجم آن‌ها به‌طور نمایی افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش اندازه آن‌ها، امکان نفوذشان در بافت‌های گیاهی و جانوری افزایش می‌یابد. با چنین اندازه کوچکی، حتی ترکیبات معمولی نیز به شیوه غیرمتعارفی عمل می‌کنند. عبور نانوذرات از موانع سلولی به اندازه آن‌ها بستگی دارد. برای مثال، ذرات با اندازه کمتر از ۳۵ نانومتر می‌توانند به سد محافظ خونی مغز<sup>۱</sup> نفوذ کنند و ذرات با اندازه کمتر از ۴۰ نانومتر می‌توانند وارد هسته سلول‌ها شوند، در حالی که ذرات با اندازه کمتر از ۱۰۰

۱- Blood-brain barrier

نانومتر می‌توانند با عبور از غشای سلولی وارد سلول شوند. بررسی‌ها نشان داده است که نانوذرات حاوی نقره با آزادسازی نقره در محیط سلولی می‌توانند در سلول‌های ریوی انسان سمیت سلولی کنند که این سمیت به اندازه ذرات بستگی دارد [۵]. علاوه بر اندازه نانوذرات، شکل آن‌ها نیز بر اثرات سمیت‌شان تأثیر می‌گذارد به‌طوری‌که مطالعات شبیه‌سازی نشان داده است که شکل و بار نانوذرات می‌تواند فرآیند قرارگیری آن‌ها در غشای سلولی را تا ۶۰ مرتبه افزایش دهد [۲۸]. هنگامی که اندازه و مساحت یک گونه نانوذرات مشابه با شد، آنگاه تأثیر شکل آن‌ها در میزان سمیت‌شان، برجسته‌تر می‌شود. برای مثال نانوذرات اکسید روی لوله‌ای شکل سمیت بیشتری را برای سیستم تنفسی انسان (سلول‌های اپی‌تلیوم ریه) در مقایسه با نانوذرات کروی ایجاد می‌کنند. به‌طور مشابه نانوذرات طلا کروی در مقایسه با ذرات میله‌ای، سمیت بیشتری دارند که دلیل آن ممکن است رهاسازی سریع مولکول‌های عملکردی از سطح کروی به دلیل کنش‌های متقابل سلولی باشد. نانوذرات بر اساس ماهیت یا اندازه طبقه‌بندی می‌شوند. از نظر ماهیت نانو ذرات به سه گروه به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

نانو ذرات به چهار گروه عمده زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

- **نانوذرات غیرآلی:** شامل تمامی نانوذرات فلزی و اکسید فلزی.
- **نانوذرات آلی:** شامل نانوذرات پلیمری و بیولوژیکی.
- **نانوذرات کربن محور:** شامل نانولوله‌ها، گرافن، نانو الیاف کربن، دوده کربن، نانو فوم کربن و میله‌های کربنی و غیره.

از نظر ابعاد نیز نانوذرات به چهار گروه به شرح زیر طبقه‌بندی می‌شوند<sup>۱</sup>:

- **نانومواد صفربعدی یا بدون بعد:** نانو مواد صفربعدی که عمدتاً به نانوذرات معروف‌اند، در همه ابعاد خود (طول، عرض، ارتفاع) به اندازه نانومتر کوچک شده‌اند و هیچ بعد آزادی ندارند.
- **نانو ساختارهای تک بعدی:** دو شکل از نانومواد وجود دارند که به آن‌ها ساختار تک بعد می‌گویند. موادی که دوبعد آن‌ها اندازه نانومقیاس‌اند و بعد دیگر، آزاد است. و دسته بعدی به موادی که هر سه بعد در مقیاس نانو باشند اما یکی از بعدها بزرگ‌تر از دو بعد دیگر باشد. به همین دلیل ساختار عمده شکل آن‌ها به صورت استوانه است که به اسامی مختلفی مانند نانولوله، نانو میله، نانو سیم و نانوالیاف می‌باشند. مهم‌ترین مصرف این نوع ساختارها در صنایع حسگرهای زیستی و شیمیایی و همچنین در صنعت الکترونیک می‌باشد که هدایتگرهای خوبی در راستای سیم می‌باشند. از کاربرد و خواص دیگر آن‌ها می‌توان به خواص نوری و لیزی و انواع حسگرها و همچنین خاصیت پایداری و انتقال حرارت نام برد.
- **نانو ساختار دوبعدی:** این نوع از نانو ساختارها دارای دوبعد آزاد و یک بعد در مقیاس نانو هستند. همین خاصیت باعث شده که آن‌ها در اشکال صفحه مانند و تخت به خود فرم بگیرند و به عنوان لایه‌های نازک و

پوشش کاربرد داشته باشند. این نوع لایه‌ها که به دلیل نازک بودن خود ظاهر بدی ندارند، در کاربردهای مختلف مانند بسته‌بندی و یا ایجاد لایه‌های پوششی مانند ضد آب و غیره کاربرد فراوانی دارند. این لایه‌های نازک که در چندین سال اخیر کاربردهای گوناگونی در زمینه‌های مختلف مانند الکترونیک شیمی و فیزیک دارند می‌توانند به شکل خالص و یا ترکیبی از چند جز باشند.

- نانو مواد سه بعدی: این نانومواد در هر سه بعد آزاد هستند. این نوع از مواد به مواد کامپوزیتی که با ترکیب چند جز مختلف که حداقل یکی از این اجزا ساختار نانویی دارند اطلاق می‌شود و در نانو کامپوزیت‌ها کاربردهای فراوانی دارند.

### - نانوذرات هیبریدی آلی - غیر آلی

محیط‌های آبی به دلیل افزایش کاربرد محصولات نظیر کرم‌های ضد آفتاب و لوازم آرایشی که حاوی ذراتی مانند اکسید تیتانیوم  $\text{TiO}_2$  هستند، به شدت در معرض آلاینده‌های نانو قرار دارند [۲۹].

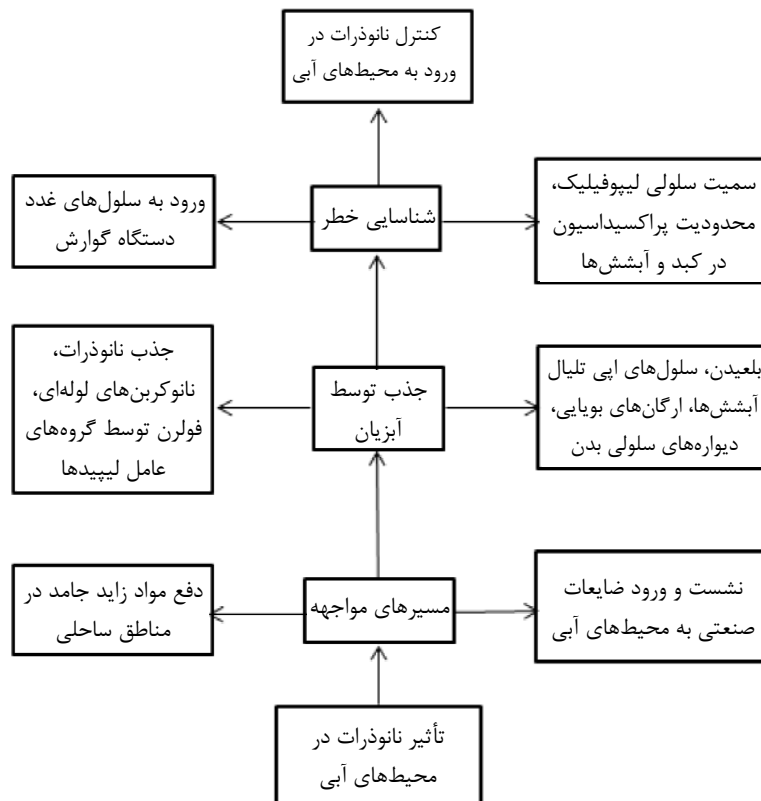
ذرات اکسید تیتانیوم به شدت در آب تجمع یافته و رسوب می‌کنند و شستشوی آن‌ها از رسوبات غیر ممکن است. همچنین، در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب تنها بخش کوچکی از ذرات اکسید تیتانیوم وارد لجن می‌شود و بقیه از راه پساب وارد منابع آب می‌شوند. از دیگر مواد نانو با کاربرد گسترده، لوله‌های کربنی نانو هستند. این ذرات تجزیه زیستی بسیار اندکی دارند و به همین دلیل به راحتی وارد هوا، آب و رسوبات می‌شوند. این مواد می‌توانند بر رفتار و سرنوشت مواد آلی در آب تأثیر بگذارند. نانو لوله‌های کربنی می‌توانند با مواد محلول آلی موجود در آب واکنش دهند و از این راه سطح تماس خود را افزایش دهند که این فرایند بر غلظت و حضور مواد آلی در ستون آب تأثیر می‌گذارد.

میزان تأثیرپذیری در برابر سمیت نانوذرات در گونه‌های مختلف موجودات آبی باهم متفاوت است. تعیین میزان دقیق نانوذرات در محیط‌های آبی هنوز چالش برانگیز است. نانوذرات مهندسی شده بسیار سمی هستند و در مورد ماهیان و جوندگان مسیر مکانیسمی انتخابی جداگانه‌ای وجود دارد. علاوه بر اندازه ذره که نسبت سطح بالایی را نسبت به حجم نانوذرات ایجاد می‌کند، سازگاری زیستی نانوذرات با ارگانیسم به بار سطحی و واکنش‌پذیری شیمیایی آن‌ها نیز بستگی دارد [۳۰].

اندازه ذره و تجزیه زیستی ذرات ممکن است اثرات بیولوژیکی خطرناکی بر موجودات آبی داشته باشد. ذرات کوچک به دلیل مساحت سطحی بالا می‌توانند گونه‌های واکنش‌پذیر اکسیژن را تولید کنند که بسیار مضر بوده و آسیب‌های جدی به پروتئین‌ها، DNA و غشاهای وارد می‌کنند. نانوذرات ممکن است از طریق آب‌شش‌ها و یا سیستم گوارشی و یا از طریق بلعیدن وارد بدن موجودات دریایی شوند.

انتقال نانوذرات در زنجیره غذایی به عنوان یکی از موضوعات اساسی محیط‌زیست مورد توجه بسیاری از صاحب‌نظران محیط‌زیست و منابع آب قرار گرفته است. به همین دلیل مطالعات و پژوهش‌های بیش‌تری مورد نیاز است تا بتوان بر مبنای آن‌ها آثار و پیامدهای نانوذرات مختلف را بر منابع آب، آبزیان و انسان مورد ارزیابی قرار داد. در شکل (۴-۱)

به صورت خلاصه مسیرهای تماس، جذب توسط ارگان‌های آبی و تشخیص خطرات نانوذرات در محیط‌های آبی نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۰- تماس و سمیت نانوذرات در منابع آب

بر اساس اطلاعات موجود، در حال حاضر بیش از ۸۰۰ محصول نانوذرات وجود دارند که در بخش فناوری‌های نانو فناوری‌های پزشکی و داروسازی، انرژی و محیط‌زیست، ارتباطات، صنعت، نساجی و همچنین بخش ساختمان مورد استفاده قرار می‌گیرند. همان‌گونه که عنوان شد، با توجه به کاربردهای گوناگون این مواد بر سلامت و محیط‌زیست، باید ارزیابی ریسک تماس انسان و محیط‌زیست برای بسیاری از این مواد انجام شود. میزان تماس و اثرات بهداشتی و محیط‌زیستی این ذرات به نوع ماده، اندازه، شکل و سایر ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی آن‌ها بستگی دارد. این ویژگی‌ها باعث می‌شود تا اثرات مختلف فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی متعددی در محیط پذیرنده مانند، خاک، آب، انسان و سایر موجودات داشته باشند.

نانوذرات در محیط‌های پذیرنده آبی فرایندهای شیمیایی متعددی را متحمل می‌شوند که این فرایندها به عوامل متعددی بستگی دارد (برای مثال، PH، شوری، غلظت، مواد آلی و معدنی موجود در آب). به دلیل تنوع زیاد مواد نانو و همچنین خواص سمی متفاوت، پیش‌بینی سرنوشت و رفتار مواد نانو در محیط‌های پذیرنده بسیار مشکل است.

یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های مواد نانو، جذب این مواد توسط برخی مواد آلی در محیط‌های پذیرنده از جمله محیط‌های آبی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به فنل‌ها، استر فتالات‌ها، دی‌اکسین‌ها، نانیل فنل، DDT و متابولیت‌های آن اشاره

کرد که ممکن است اثرات تشدید بر محیط‌زیست و جانداران داشته باشند. علاوه بر این، برخی نانو ذرات می‌توانند به‌عنوان ناقل و انتقال‌دهنده سایر آلاینده‌های نوظهور عمل کنند که این پدیده ممکن است باعث افزایش غلظت آن‌ها در آب شود. در جدول (۳-۴) فرایندهای زیست‌محیطی، رفتار و ویژگی‌های نانو ذرات ارائه شده است.

جدول ۳-۴- فرایند زیست‌محیطی، رفتار و ویژگی‌های ذرات نانو [۱۴]

| فرایند زیست‌محیطی                     | رفتار و ویژگی‌های مواد نانو                                                                                                                      |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| انحلال                                | مواد جامد نانو در محلول‌ها حل می‌شوند و یک محلول شیمیایی تولید می‌کند. مواد نانو از سوسپانسیون یا محلول جدا می‌شوند.                             |
| تغییر ماهیت                           | تشکیل شیمیایی انواع نانوذرات در نتیجه واکنش برای رسیدن به تعادل با سایر مواد نانو ذرات                                                           |
| پیوند با موجودات زنده یا ذرات غیرزنده | مواد نانو با سایر موجودات زنده یا مواد غیرزنده در آب واکنش یافته و به آن‌ها می‌چسبند.                                                            |
| تبدیل                                 | مواد نانو احتمالاً باعث تغییرات بیولوژیکی و شیمیایی می‌شوند.                                                                                     |
| انعقاد/واپاشی                         | مواد نانو تشکیل واحدهای بزرگ‌تر می‌دهند یا دوباره از هم جدا می‌شوند.                                                                             |
| معدنی شدن                             | تبدیل مواد نانو حاوی کربن به مواد غیر آلی در نتیجه تجزیه زیستی و غیر زیستی                                                                       |
| پراکنش                                | انتقال مواد نانو از یک ناحیه با غلظت بیش‌تر به یک ناحیه با غلظت کم‌تر                                                                            |
| رسوب                                  | رسوب مواد نانو از هوا به درون آب                                                                                                                 |
| معلق شدن دوباره                       | توزیع و معلق شدن دوباره مواد نانو غیر محلول در مایع یا گاز (برای مثال از یک سطح به‌صورت گاز یا از رسوبات به آب) پس از جدا شدن از طریق رسوب‌گذاری |

#### - نانوذرات کربن محور<sup>۱</sup>

اتم‌های کربن به اشکال مختلف و با پیوندهای متفاوتی می‌توانند در کنار هم قرار گیرند. به همین دلیل دگرشکل‌های فراوانی از کربن همچون الماس، کربن سیاه، گرافیت، گرافن، نانولوله کربنی، الیاف کربنی، فولرین و غیره وجود دارند. هرکدام از این ساختارها دارای شکل متفاوتی از جهت نحوه قرارگیری اتم‌ها در کنار هم و اندازه ساختار می‌باشند. از ساختارهای کربنی و همین‌طور نانو ساختارهای کربنی به وفور در صنعت استفاده می‌شود. این گروه از نانو ذرات یکی از مهم‌ترین نانو ساختارها از جهت کاربرد و خواص ویژه، نانو ساختارهای کربنی همچون فولرین، نانولوله‌های کربنی و گرافن می‌باشند. تمامی این نانو ساختارها از یک ماده یکسان یعنی کربن تشکیل شده‌اند؛ اما تفاوت میان آن‌ها در نحوه قرارگیری اتم‌ها و پیوندهای بین آن‌هاست. برای مثال، الیاف کربنی به‌عنوان یکی از بهترین تقویت‌کننده‌ها در مواد کامپوزیتی نام برده می‌شود که کاربردهای فراوانی دارند. دلیل آن خواص مکانیکی ویژه بسیار بالای آن است. منظور از خواص ویژه، خاصیت تقسیم بر چگالی است. الیاف کربنی استحکام و سفتی بسیار بالایی دارند و همچنین وزنشان نیز بسیار کم است. با استفاده از کامپوزیت حاوی الیاف کربنی در بدنه خودرو، کشتی، موشک و لوازم ورزشی می‌توان آن‌ها را بسیار مستحکم ولی سبک ساخت. با توجه به کاربرد فراوان این مواد در تجهیزات مختلف می‌توانند وارد محیط زیست و منابع آبی شوند.

۱- بر گرفته از پایگاه اطلاعاتی باشگاه نانو قابل دسترس از:

### - مواد پلی و پرفلوئوروآلکیل (PFAS)

مواد پلی و پرفلوئوروآلکیل (PFAS)<sup>۱</sup> که PFAS نامیده می‌شوند، گروه بزرگی از مواد شیمیایی ارگانوفلوئورین مصنوعی را دربرمی‌گیرند که از دهه ۱۹۴۰ به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته‌اند. گرچه این دسته از آلاینده‌ها ممکن است با سایر گروه‌های آلاینده‌های نوظهور اشتراکاتی داشته باشند، اما به دلیل اهمیت، تنوع، اثرات و همچنین استفاده‌های گسترده توسط انسان و در نتیجه تماس با آن‌ها معمولاً در ادبیات آلاینده‌های نوظهور در مبحث جداگانه طبقه‌بندی و بررسی می‌شوند.

طبق تعریف، همه PFAS حداقل یک گروه متیل فلوراید ( $\text{CF}_3$ ) یا متیلن ( $\text{CF}_2$ -) دارند. پیوند کووالانسی کربن و فلور (C-F) در این ترکیبات بسیار مستحکم است و به همین دلیل در برابر تجزیه زیستی، شیمیایی و گرما از مقاومت بسیار زیادی برخوردار هستند. حدود ۱۰۰ نوع از PFAS در بریتانیا با حجم حدود ۱ تن در سال وارد محیط زیست و منابع آبی می‌شوند. با توجه به تنوع این مواد، هنوز آثار و پیامدهای آن‌ها بر محیط زیست محدود است و شکاف‌های اطلاعاتی زیادی در این زمینه وجود دارد. به همین دلیل ارزیابی منابع انتشار و مسیرهای تماس آن‌ها بر افراد برای مدیریت ریسک این مواد به علت تنوع و انتشار آن‌ها در یک بازه زمانی طولانی بسیار پیچیده و مشکل است [۹۹].

این ویژگی‌ها باعث شده است تا ترکیبات پلی و پرفلوئوروآلکیلی (PFAS) به عنوان گروهی از آلاینده‌های مصنوعی نوظهور مطرح شده و به عنوان یکی از معضلات محیط زیستی و بهداشتی در کانون توجه برنامه‌ریزان و مدیران محیط زیست و به‌ویژه منابع آبی قرار گیرند. همان‌گونه که عنوان شد این ترکیبات شیمیایی انسان ساخت به دلیل ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی خاص خود، در محیط زیست به سختی تجزیه زیستی می‌شوند و به همین دلیل نیز می‌توانند مدت‌های بسیار طولانی در طبیعت باقی بمانند. این دوام و پایداری باعث می‌شود به مدت طولانی در طبیعت باقی بمانند پایداری و دوام این مواد و خاصیت تجزیه‌پذیری زیستی بسیار کند این مواد باعث می‌شود هم از خاصیت تجمع (انباشتگی) زیستی<sup>۲</sup> و هم از خاصیت بزرگنمایی زیستی<sup>۳</sup> در طبیعت و محیط‌های آبی برخوردار باشند که این پدیده اثرات بسیار شدیدی بر جانداران و به‌ویژه انسان دارد [۱۰۰].

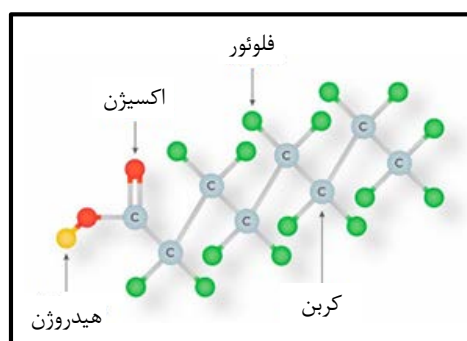
در تجمع زیستی به تدریج این مواد در بافت‌های چربی موجودات زنده در محیط زیست و منابع آبی (مانند ماهیان و انسان) تغلیظ می‌شوند که این پدیده می‌تواند با گذشت زمان و به موازات رشد و نمو جانداران زنده در این بافت‌ها تجمع یافته و به تدریج با ضعیف شدن موجودات و بروز بیماری در بدن آزاد شده و به طیف گسترده‌ای از انواع بیماری‌ها به‌ویژه سرطان تبدیل گردند.

۱- Poly- and perfluoroalkyl substances

۲- Bioaccumulation

۳- Biomagnification

در بزرگنمایی زیستی، این مواد به تدریج در زنجیره غذایی و در ترازهای غذایی<sup>۱</sup> مختلف این زنجیره در بدن موجودات زنده افزایش پیدا می‌کنند. برای مثال، غلظت این مواد در بدن موجودات در محیط‌های آبی در هر تراز غذایی از تولیدکنندگان (فیتوپلانکتون‌ها) به مصرف‌کنندگان اولیه (زئوپلانکتون‌ها) و مصرف‌کنندگان ثانویه (مانند ماهی کپور) و مصرف‌کننده سوم یا گوشتخوار (مانند اردک ماهی) و سرانجام انسان یا عقاب به عنوان راس زنجیره غذایی تجمع پیدا کرده و غلظت زیادی از آن‌ها در جانداران راس زنجیره غذایی از جمله انسان انباشته می‌گردد. ترکیبات PFAS در صنایع مختلفی مانند تولید مواد نساجی ضدآب، ظروف پخت و پز نسوز، بسته‌بندی‌های مواد غذایی، و مواد اطفای حریق به کار می‌روند و از طریق فعالیت‌های صنعتی، فاضلاب و محصولات مصرفی به محیط زیست وارد می‌شوند. تماس طولانی‌مدت با این ترکیبات باعث مشکلات بهداشتی متعدد مانند سرطان، اختلالات غدد درون ریز، کاهش عملکرد سیستم ایمنی بدن، مخاطرات ژنتیکی و به‌ویژه خطرات بارداری در زنان و غیره می‌شوند. در شکل فرمول ساختمانی نمونه‌ای از مولکول PFAS ارائه شده است.



فرمول ساختمانی PFAS

#### – پاتوژن‌های نوپدید و بازپدید به‌منزله آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست و منابع آب

یکی از مهم‌ترین مسائلی که متولیان امر سلامت با آن ممکن است روبرو شوند ظهور بیماری‌هایی است که به یک‌باره در جامعه پدیدار می‌شوند، درحالی‌که اطلاعات بسیار کمی از ماهیت پاتوژن‌های مسئول آن و منابع و روش‌های انتقال آن‌ها وجود دارد یا ممکن است کاملاً ناشناخته باشند. این بیماری‌ها ممکن است صرفاً منشأ بیمارستانی داشته باشند یا اینکه محیط‌زیست در ظهور آن‌ها نقش داشته باشد. میکروارگانیسم‌های عامل چنین بیماری‌هایی تحت عنوان پاتوژن‌های نوپدید<sup>۲</sup> یا بازپدید<sup>۳</sup> شناخته می‌شوند. طبق تعریف سازمان جهانی بهداشت پاتوژن‌های نوپدید، پاتوژن‌هایی هستند که برای اولین بار در انسان ایجاد بیماری می‌کنند یا اینکه قبلاً در انسان بیماری‌زایی کرده‌اند اما همواره خلال دو و سه دهه اخیر شیوع آن‌ها بیش‌تر شده یا در نواحی و مناطقی که قبلاً در آنجا وجود نداشته‌اند، گسترش یافته‌اند. در جدول (۴-۴) شماری از پاتوژن‌ها به عنوان آلاینده‌های که باعث بیماری‌های گسترده شده‌اند، نشان داده شده است.

۱- Trophic level

۲- Emerging Pathogens

۳- Re-emerging Pathogens

جدول ۴-۴- شماری از پاتوژن‌های بیماری‌زای نوظهور و بازپدید در بازه‌های زمانی مختلف [۳]

| پاتوژن                             | بیماری                                   | سال  |
|------------------------------------|------------------------------------------|------|
| Influenza A Virus subtype H1N1     | آنفلوآنزا                                | 1918 |
| ZIKA Virus                         | سندروم مادرزادی زیکا، تب زیکا            | 1952 |
| Arenaciridae family                | تب لسا                                   | 1969 |
| Compylobacter ssp.                 | اسهال                                    | 1973 |
| Rotavirus                          | گاسترو آنتریت کودکان                     | 1973 |
| Clostridium difficile              | التهاب روده بزرگ، مگا کولون سمی          | 1974 |
| Streptococcus bovis group          | اندوکاردیت                               | 1974 |
| Legionella pneumophila             | عفونت ریه                                | 1976 |
| Copnocytophaga conimorsus          | سیتسمی                                   | 1976 |
| Filoviridae family (Ebola virus)   | هموراژیک ابول                            | 1977 |
| Staphylococcus aureus tocxin       | سندروم شوک سمی                           | 1981 |
| Escherichia Coli O157:H7           | التهاب روده بزرگ، سندروم همولیتیک ارومیک | 1982 |
| Borrelia burgdorferi               | بیماری لایم                              | 1982 |
| Human Immunodeficiency Virus (HIV) | AIDs                                     | 1983 |
| Chamydia pneumonia                 | عفونت ریه                                | 1983 |
| Helicobacter pylori                | Gastric ulcer                            | 1983 |
| Rhodococcus equi                   | سینه پهلوی با سیستم ایمنی سرکوب شده      | 1986 |
| Hepatitis C virus                  | هپاتیت                                   | 1989 |
| Vibrio cholerae O139               | وبا                                      | 1992 |
| Simkania negevensis                | عفونت ریه                                | 1997 |
| Actinobaculum schaalii             | عفونت مجاری ادراری                       | 1997 |
| Parachlamydia acanthamoebae        | عفونت ریه                                | 1997 |
| SARS coronavirus                   | سندرم حاد تنفسی                          | 2002 |
| Alloscardovia onmicolens           | عفونت مجاری ادراری                       | 2007 |
| Influenza A virus subtype H7N9     | آنفلوآنزا                                | 2013 |
| (SARS-CoV-2) COVID-19              | کرونا                                    | 2019 |

به‌طور کلی پاتوژن‌های نوپدید به ۳ گروه طبقه‌بندی می‌شوند: پاتوژن‌هایی که کاملاً جدید هستند (مانند ویروس نقص ایمنی انسان؛ عامل ایدز، کووید ۱۹)، آن‌هایی که قبلاً شناخته شده‌اند اما به‌تازگی به‌عنوان پاتوژن شناسایی شده‌اند (مانند هلیکوباکتر پیلوری)، یا آن‌هایی که قدیمی هستند اما دستخوش تغییراتی شده‌اند (مانند میکروارگانیزم‌های مقاوم به عوامل ضد میکروبی). از سوی دیگر بعضی از پاتوژن‌هایی که در سالیان دور شناسایی شده و در گذشته عامل بسیاری از اپیدمی‌ها (همه‌گیری) بوده‌اند ممکن است بعد از کنترل بلندمدت آن‌ها، مجدداً شیوع پیدا کنند که ازجمله این پاتوژن‌های بازپدید می‌توان به عامل وبا، تب دانگ و تب زرد در بعضی از مناطق، اشاره کرد. برای مثال، سازمان جهانی بهداشت برآورد کرده که تا سال ۲۰۰۰ تعداد ۱۷۵ گونه عامل بیماری‌زا از ۹۶ جنس مختلف به‌عنوان پاتوژن‌های نوپدید طبقه‌بندی شده‌اند که ۷۵ درصد آن‌ها گونه‌های منتقله از حیوان به انسان می‌باشند.

مسائل مرتبط با پاتوژن‌های نوپدید و بازپدید در محیط‌زیست نیز از اهمیت خاصی برخوردارند. بدیهی است که در صورت عدم رعایت مسائل بهداشت اولیه امکان ظهور مجدد پاتوژن‌های قدیمی مانند عامل وبا وجود دارد که البته این وضعیت بیش‌تر در کشورهای در حال توسعه ممکن است مشکل‌ساز شود. محیط‌زیست به‌ویژه محیط آبی در پدیده ظهور پاتوژن‌های نوپدید عمدتاً نقش انتقال‌دهنده پاتوژن‌ها را ایفا می‌کند، به‌طوری که یکی از مراحل اصلی شیوع اکثر

بیماری‌ها، انتقال عامل بیماری‌زا از بدن انسان و حیوان آلوده به محیط و به دنبال آن انتقال از محیط به عموم افراد جامعه می‌باشد. از دهه ۱۹۷۰، چندین گونه میکروارگانیسم از مدفوع انسان و حیوانات و از منابع محیطی مختلف شامل آب به‌عنوان پاتوژن شناسایی شده‌اند که از آن جمله می‌توان به کریپتوسپوریدیوم، اشرشیاکلی O157 (E. coli O157)، روتاویروس، ویروس هپاتیت E و نوروویروس اشاره کرد.

یکی از مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی و پزشکی جهانی مرتبط با پاتوژن‌های نوپدید در سال‌های اخیر ظهور باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک‌ها<sup>۱</sup> می‌باشد. در این مورد محیط‌زیست علاوه بر نقش انتقال پاتوژن می‌تواند به‌عنوان منشأ پاتوژن‌ها نیز عمل کند. مقاومت آنتی‌بیوتیکی در واقع توانایی باکتری‌ها در برابر اثرات بازدارندگی (باکتریواستاتیک) یا کشندگی (باکتریوسیدال) آنتی‌بیوتیک می‌باشد. مقاومت آنتی‌بیوتیکی به‌طور بسیار وسیعی در چند سال اخیر افزایش یافته است و تهدیدی جدی برای درمان موفقیت‌آمیز عفونت‌های باکتریایی می‌باشد. مقاومت آنتی‌میکروبی باعث افزایش شیوع بیماری، مرگ‌ومیر، افزایش طول دوره درمان و افزایش هزینه‌های درمان می‌گردد و در نهایت ممکن است منجر به عدم کارایی آنتی‌بیوتیک‌ها در درمان بیماری‌ها گردد.

به همین دلیل می‌توان اذعان نمود که ظهور باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک در محیط‌های آبی مهم‌ترین نگرانی مرتبط با پاتوژن‌های نوپدید در محیط‌زیست می‌باشد که پژوهش‌های زیادی را به خود معطوف ساخته است. پژوهش‌ها نشان می‌دهد آنتی‌بیوتیک‌ها هنگام استفاده توسط انسان همواره به‌طور ضعیفی در بدن جذب می‌گردند و بنابراین بخش عمده این مواد یا متابولیت‌هایشان به‌صورت تغییر شکل نیافته یا با تغییری جزئی از طریق ادرار و مدفوع از بدن دفع و عمدتاً وارد شبکه‌های فاضلاب می‌شوند و نهایتاً وارد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب می‌گردند. برخی این مواد یا متابولیت‌های آن‌ها به‌طور کامل در سیستم‌های تصفیه فاضلاب حذف نمی‌شوند، به طوری که غلظت‌های قابل توجهی از آن‌ها در پساب‌های تصفیه‌خانه‌های فاضلاب یافت شده‌اند. دفع پساب تصفیه‌خانه‌ها به محیط باعث می‌شود که این مواد وارد بخش‌های مختلف محیط آبی شوند، به طوری که غلظت‌های در محدوده نانوگرم تا میکروگرم بر لیتر این مواد در رودخانه‌ها، دریاها، دریاچه‌ها، آب زیرزمینی، رسوبات و خاک‌ها شناسایی شده‌اند. با توجه به ورود مداوم این مواد به محیط شرایط برای تماس مداوم باکتری‌های محیطی با سطوح پایین آنتی‌بیوتیک فراهم می‌شود و به‌مرور زمان باکتری‌ها ژن‌های مقاوم به این مواد را تولید می‌کنند و در برابر آن مقاوم می‌شوند و باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک تکثیر می‌یابند. برخی باکتری‌های مقاوم به آنتی‌بیوتیک می‌توان به استرپتوکوک پنومونی (مقاوم به پنی‌سیلین)، استافیلوکوک اورئوس مقاوم به متیسیلین و انتروکوکسی مقاوم به وانکومایسین اشاره کرد.

بیماری‌های ناشی از جانداران ذره‌بینی (پاتوژن‌ها) که به بیماری‌های آب‌زاد<sup>۲</sup> موسوم است، در نتیجه آلودگی آب با منشأ زیستی شناخته می‌شوند، که از نظر ماهیت آن‌ها ۵ گروه به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌کنند [۸۵]:

۱- Antibiotic resistant bacteria

۲- Waterborne Diseases

**الف- باکتری‌ها:** وبا، حصبه، اسهال خونی باکتریال، اسهال به علت اشریشیاکولی، لپتوسپیروزیس و بیماری ناشی از یرسینیا آنتروکولیتیکا و ناراحتی گوارشی ناشی از کمپیلوباکترها.

**ب- ویروس‌ها:** هپاتیت‌های ویروسی، فلج اطفال، بیماری‌های ناشی از ویروس‌های کوکساکسی، اکو و گاستروانتریت ویروسی.

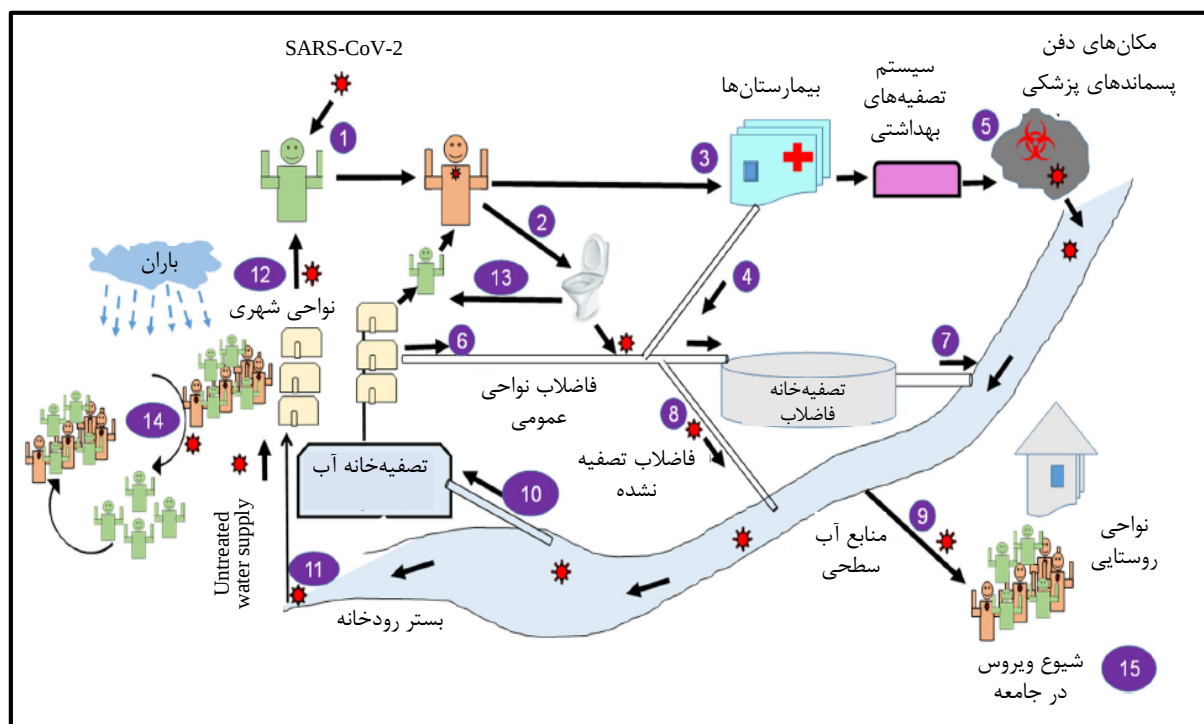
**ج- پروتوزوئرها:** آمیبیازیس، ژiardیازیس، بالانتیدیازیس، نگلریافاولری مولد مننگوآنسفالیت آمیبی و اکانتاموبای عامل مننژیت و ناراحتی تنفسی.

**د- کرم‌های انگلی:** شیسستوزومیازیس، بیماری خارش شناگران، آسکاریازیس، هیداتیدوز، دراکونکولوس، بیماری ناشی از کرم قلاب‌دار و کرم نواری ماهی.

**ه- سموم تولیدی از سیانوباکتری‌ها:** سمومی که ایجاد ناراحتی کبدی می‌کنند، این سموم توسط میکروسیستیس، اسپلاتوریا، آنابنا و نودولاریا که مسمومیت کبدی ناشی از آن‌ها طی ۲۴ ساعت پس از خوردن، فرد را از پای در می‌آورد.

همان‌گونه که عنوان شد، میکروارگانیسم‌ها (جانداران ذره‌بینی)، آلودگی‌های بیولوژیکی (زیستی) هستند و در ادبیات عامیانه، از آن‌ها به میکروب یا آلاینده‌های میکروبیولوژیکی یاد می‌شود. تحقیقات نشان می‌دهند که حتی در صورتی که از کلر به عنوان عامل گندزدا استفاده شود، ممکن است فیلم نازکی از میکروارگانیسم‌ها موسوم به فیلم‌های زیستی میکروبی در سامانه‌های توزیع آب شهری (به‌ویژه اگر فرسوده باشند) تشکیل شود. از آنجایی که بسیاری از پاتوژن‌ها به‌درستی قابل کشت و شناسایی نیستند، تعداد زیادی از منابع علمی، دلیل شیوع برخی بیماری‌ها را به پاتوژن‌های ناشناخته نسبت می‌دهند. طبق گزارش‌های مرکز کنترل و پیشگیری از بیماری ایالات متحده، روتاویروس به عنوان شاخص آلودگی ویروسی آب‌های سطحی و زیرزمینی به شمار می‌آید و عموماً در مطالعات به عنوان مدل شاخص آلودگی‌های ویروسی آب مورد بررسی قرار می‌گیرد.

ویروس‌ها به‌مانند سایر عوامل میکروبی در زمره مهم‌ترین عوامل بیماری‌زا در آب قلمداد می‌شوند. اما برخلاف سایر عوامل بیماری‌زای باکتریایی، ردیابی، پایش و حذف آن‌ها از منابع آب دشوار است. بیماری کووید ۱۹ به عنوان یک پاتوژن نوظهور، نیز از این قاعده مستثنی نبوده و این عامل بیماری‌زا می‌تواند به شیوه‌های مختلف وارد منابع آب و سامانه‌های تصفیه فاضلاب شود. فاضلاب‌های خانگی، فاضلاب‌های مراکز درمانی و بیمارستان‌ها، تخلیه تجهیزات مراقبت‌های بهداشتی مانند ماسک و رهاسازی آن‌ها در منابع آب و سایر منابع در زمره مهم‌ترین مسیرهای ویروس کرونا به منابع آب قلمداد می‌شوند. در شکل (۴-۱۱) مسیرهای انتقال ویروس کووید ۱۹ را در آب نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۱- مسیرهای احتمالی انتقال کووید ۱۹ در چرخه آب شهری و روستایی و پتانسیل تماس شهروندان با ویروس [۳۱]

گرچه در مورد انتقال ویروس کووید ۱۹ از طریق سامانه تأمین آب و شبکه فاضلاب هنوز اطلاعات موثقی وجود ندارد. اما اگر آب یا فاضلاب آلوده به ویروس‌ها به‌طور عام و ویروس کووید ۱۹ به‌طور خاص به‌خوبی تصفیه نشود، این پدیده می‌تواند شمار زیادی از جمعیت را در معرض ریسک ابتلا به عفونت کووید ۱۹ قرار دهد. حتی در نواحی که بیماران عفونت کووید ۱۹ در مراکز قرنطینه قرار داشته باشند، همچنان خطر انتشار ویروس‌ها از طریق سامانه انتقال آب و فاضلاب، به‌ویژه در نواحی مراکز درمانی و بیمارستان‌ها همچنان زیاد است. لذا عدم توجه به این موضوع می‌تواند تمامی اقدامات قرنطینه و همچنین درمان را برای جلوگیری از شیوع کووید ۱۹ بی‌اثر نماید و دوباره این بیماری در مناطق موردنظر شیوع پیدا کند. به همین دلیل تصفیه پیشرفته (تصفیه سوم) فاضلاب برای حذف کامل فاضلاب‌های حاوی ویروس‌ها توصیه می‌شود، زیرا در تصفیه ثانویه به دلیل فرایندهای پیشرفته‌ای که انجام می‌شود، تمامی ویروس‌های موجود در آب یا فاضلاب حذف می‌شوند [۳۱].

باید یادآور شد که برای شناسایی و پایش ویروس‌ها در منابع آب به تجهیزات حساس و دقیقی نیاز است. با این وجود، بررسی‌ها از وجود RNA ویروسی در بسیاری از فاضلاب‌ها حکایت دارد، البته این موضوع لزوماً به معنای ریسک عفونت ویروس و انتقال بیماری نیست، زیرا مولکول‌های RNA ویروسی بدون وجود لایه چربی محافظ قادر به ورود و ایجاد عفونت در میزبان نمی‌باشد. همچنین مطالعات مختلف نشان می‌دهد که ویروس کرونا به‌سرعت در فاضلاب از بین می‌رود. این ویروس در آب‌های گرم‌تر به سرعت غیرفعال‌تر می‌شود (برای مثال این ویروس در آبی با دمای ۲۳ درجه تا ۱۰ روز و در آب با دمای ۴ درجه سانتی‌گراد تا بیش از ۱۰۰ روز فعال باقی می‌ماند) [۳۲].

البته پیش‌بینی می‌شود در نواحی که تراکم جمعیت در آن‌ها بسیار زیاد و حاشیه‌نشینی در آن‌ها مشاهده می‌شود، بسیاری از فاضلاب‌ها به‌خوبی تصفیه نمی‌شوند و به همین دلیل احتمال ابتلا به انواع بیماری‌های ویروسی مانند کووید ۱۹، به‌ویژه در نواحی که شرایط دمایی برای ویروس مناسب است، همچنان وجود دارد که در این خصوص می‌توان به کشور هند اشاره کرد. در حال حاضر حدود ۶۰ درصد از فاضلاب تصفیه نشده و بدون هرگونه تصفیه در محیط‌زیست و منابع آب تخلیه می‌گردند.

همچنین بر اساس اعلام سازمان بهداشت جهانی، ویروس کووید ۱۹ می‌تواند در آب شرب وجود داشته و حتی توسط آن نیز منتقل شود، اما در حال حاضر شواهدی مبنی بر انتقال آن از آب‌های سطحی و زیرزمینی به انسان وجود ندارد. از آنجایی که ویروس کرونا، ویروسی با پوشش چربی است، این نوع ویروس‌ها عموماً در محیط‌زیست کم‌تر پایدار بوده و در برابر عوامل اکسیدکننده مانند نور خورشید و مواد ضدعفونی‌کننده‌ای مانند الکل‌ها آسیب‌پذیری بیشتری دارند و سریع غیرفعال می‌شوند.

همچنین، تحقیقات و توصیه‌های سازمان بهداشت جهانی و آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) نیز نشان داده که ویروس کووید ۱۹ در شرایط آزمایشگاهی و با توجه به دما و سایر پارامترهای کیفی آب می‌تواند از روزها تا هفته‌ها در آب باقی بماند. این تحقیقات نشان داده است که روش‌های معمول تصفیه آب از جمله گذراندن از فیلتر و همچنین گندزدایی تا حد زیادی در از بین بردن این ویروس مؤثر خواهد بود. در این راستا گندزدایی به‌وسیله کلر که ماده اکسیدکننده قوی محسوب می‌شود و همچنین استفاده از نور ماوراءبنفش می‌تواند در نابودی ویروس‌ها در آب بسیار کارایی داشته باشد [۶].

همچنین، در ارتباط با ویروس سارس، تحقیقات نشان داده است که مقدار این ویروس در بافت‌های روده افراد آلوده به این ویروس از ریه‌های آن‌ها (که بافت هدف این ویروس است) بیش‌تر بوده است. در عین حال، این ویروس (سارس) در مدفوع افراد بیمار نیز شناسایی شده است. لذا نتایج این تحقیقات نشان داد در شرایط اپیدمی شدن بیماری سارس، فاضلاب‌ها می‌توانند منبع مهمی برای ویروس‌های مولد بیماری و انتشار آن باشند. همچنین بررسی‌های دیگری نشان می‌دهند که برخی از ویروس‌های خانواده کرونا می‌توانند حدود سه روز در دمای ۲۳ درجه سانتی‌گراد در محیط فاضلاب به صورت فعال باقی بمانند [۶].

با این وجود، هنوز شواهدی مبنی بر انتقال ویروس کووید ۱۹ از فاضلاب به انسان وجود ندارد. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده در زمان اپیدمی بیماری سارس (نوعی دیگر از کرونا ویروس‌ها) در سال ۲۰۰۳ انتقال بیماری از طریق فاضلاب توسط این ویروس به تکنسین‌ها و کارگران شاغل در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب گزارش نشد. لیکن با توجه به قدرت جهش (موتاسیون) بسیار بالای این دسته از ویروس‌ها در محیط‌های آبی باید با احتیاط در این مورد عمل کرد. توصیه‌های سازمان بهداشت جهانی و آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا حاکی از آن است که روش‌های معمول تصفیه فاضلاب از جمله ترقیق و تزریق اکسیژن، می‌تواند بسیاری از عوامل بیماری‌زا، از جمله ویروس‌ها را تا حد زیادی از بین

ببرد. بنابراین، در حال حاضر و بر اساس نتایج تحقیقات فعلی، انتقال و بیماری‌زایی ویروس کووید ۱۹ از طریق فاضلاب، در صورت رعایت صحیح دستورالعمل‌های تصفیه فاضلاب به‌عنوان یک عامل مهم و نگران‌کننده، مطرح نمی‌باشد [۶].

## فصل ۵

---

---

شناسایی منابع انتشار آلاینده‌های نوظهور

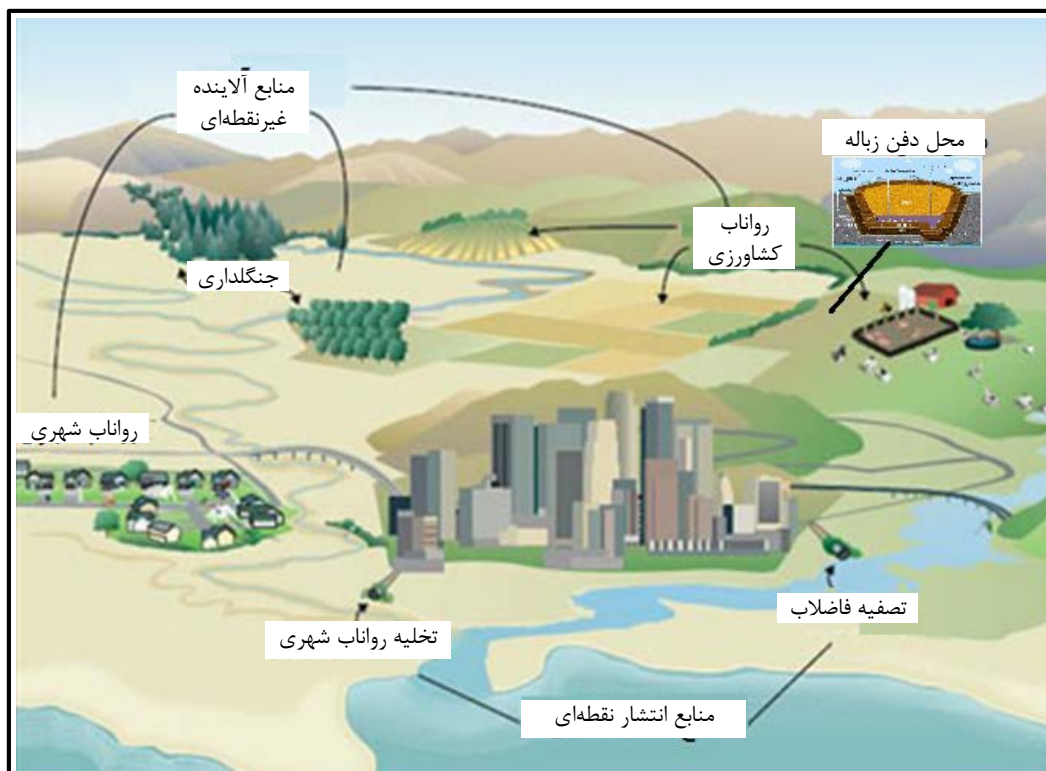


با توجه به آثار و پیامدهای بهداشتی و زیست‌محیطی آلاینده‌های نوظهور، اهمیت و نقش منابع مختلف انتشار و انتقال این آلاینده‌ها در محیط‌زیست به‌طور عام و در منابع آب به‌طور خاص بیش‌ازپیش مورد توجه قرار گرفته و به همین دلیل در سال‌های اخیر پروژه‌های مطالعاتی متعددی به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته برای شناسایی و تعیین سرنوشت این دسته از آلاینده‌های محیط‌زیست در آثار و پیامدهای آن‌ها بر سلامت انسان و سایر جانداران در دست انجام می‌باشد. بیش‌تر مطالعات موجود در مورد آلاینده‌ها معطوف به آلاینده‌های دارای اولویت مانند فلزات سنگین و سایر آلاینده‌های مشابه بوده است، به همین دلیل اطلاعات در زمینه‌ی آلاینده‌های نوظهور نسبتاً محدود است. با این‌وجود طی ده سال اخیر مطالعات نسبتاً خوبی در مورد مواد دارویی و سایر آلاینده‌های نوظهور انجام شده است. با توجه به اینکه غلظت بسیاری از آلاینده‌های نوظهور در آب در حد نانوگرم بر لیتر یا میکروگرم بر لیتر ( $\text{ng/L to } \mu\text{g/L}$ ) قابل مشاهده می‌باشند، به همین دلیل شناسایی، اندازه‌گیری و سنجش آن‌ها یک چالش است و بسیار زمان‌بر بوده و پرهزینه است و به تجهیزات و ابزارهای اندازه‌گیری پیشرفته و پیچیده‌ای نیاز است. با این‌وجود، روش‌هایی مانند کروماتوگرافی مایع و طیف‌سنجی جرمی امکان شناسایی و مطالعه در مورد آلاینده‌های نوظهور به‌ویژه در آب‌های سطحی و فاضلاب‌های تصفیه شده را فراهم کرده است.

همان‌گونه که عنوان شد، آلاینده‌های نوظهور هم در آب‌های سطحی و هم در آب‌های زیرزمینی مشاهده می‌شوند. این آلاینده‌ها هم از منابع نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای (پراکنده) در منابع آب سطحی و زیرزمینی منتشر می‌شوند و باعث آلودگی این منابع آبی می‌شوند (شکل ۵-۱). عموماً غلظت این آلاینده‌ها در آب‌های سطحی همواره کم‌تر از غلظت آن‌ها در فاضلاب است، زیرا این آلاینده‌ها در آب‌های سطحی رقیق می‌شوند و فرایندهایی طبیعی مانند تجزیه زیستی، فتولیز، جذب و تبخیر و ترکیبی از آن‌ها نیز باعث رقیق‌تر شدن آن‌ها در آب‌های سطحی می‌شود. میزان مصرف داروها و مواد بهداشتی و همچنین اثربخشی و کارایی تصفیه‌خانه‌های فاضلاب بر میزان غلظت آلاینده‌های نوظهور در محل تخلیه به منابع آب سطحی تأثیر دارد [۳۳].

همچنین دامنه و غلظت آلاینده‌های نوظهور اندازه‌گیری شده در آب‌های سطحی همواره بیش از آب‌های زیرزمینی است، زیرا آب‌های سطحی به‌صورت مستقیم فاضلاب‌ها را از تصفیه‌خانه‌ها دریافت می‌کند و زمان ماند آن‌ها در آب‌های سطحی کم‌تر از آب‌های زیرزمینی است. اطلاعات و داده‌های موجود در بسیاری از نقاط جهان نشان می‌دهد که میزان غلظت آلاینده‌های نوظهور در آب‌های زیرزمینی کم بوده و به همین دلیل اثرات سمی و مضر آن‌ها در مقایسه با آب‌های سطحی نیز کم‌تر است. از سوی دیگر در نتیجه فرایندهای طبیعی در آب‌های زیرزمینی غلظت آن‌ها ممکن است کاهش پیدا کند. با این‌وجود، در شرایطی که سفره آب زیرزمینی در نزدیکی منبع انتشار آلودگی آلاینده‌های نوظهور باشد، غلظت آن‌ها ممکن است به سطح نگران‌کننده‌ای برسد. بررسی‌ها نشان داده است که بیش‌تر آلاینده‌های نوظهور و موادی که همواره در آب‌های زیرزمینی مشاهده می‌شوند شامل موادی مانند carbamazepine، کافئین، دیکلوفناک و bisphenol A هستند [۳۵].

حضور، توزیع و سرنوشت انواع آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست و زیست‌بوم‌های آبی به عوامل متعددی بستگی دارد. نوع منبع انتشار میزان تماس و ویژگی‌های مواد را کنترل می‌کند. از مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی- شیمیایی آلاینده‌های نوظهور می‌توان به قابلیت انحلال در آب، خاصیت قطبی بودن مولکول‌ها، خاصیت فرار بودن و از مهم‌ترین پارامترهای محیط‌زیست نیز می‌توان به دما، PH، محتوای مواد آلی موجود در محیط پذیرنده و غیره اشاره کرد که نقش بسیار مهمی در انتقال و تغییر شیمیایی آلاینده‌های نوظهور در محیط پذیرنده ایفا می‌کنند. این ویژگی‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار هستند، زیرا عمر و زمان ماندگاری آلاینده‌های نوظهور در محیط پذیرنده را تعیین می‌کنند. آلاینده‌های نوظهور می‌توانند در آب به صورت محلول درآیند، به همین دلیل می‌توانند از طریق رواناب‌ها وارد محیط‌های آبی شوند. خاصیت قطبی بودن مولکول‌ها مبین تمایل ترکیبات شیمیایی به صورت فاز آلی و مایع است، به همین دلیل ترکیباتی که ضریب تقسیم اکتانول - آب<sup>۱</sup> آن‌ها بالا است، تمایل بیش‌تر برای تجمع زیستی در بدن جانداران دارند.



شکل ۵-۱- منابع انتشار آلاینده‌های نوظهور نقطه‌ای و غیر نقطه‌ای

## ۵-۱- منابع نقطه‌ای انتشار آلاینده‌های نوظهور

منابع انتشار آلاینده‌های نوظهور هم از منظر تعداد و هم ماهیت بسیار متنوع است. این منابع همان‌گونه که عنوان شد، ممکن است نقطه‌ای یا غیر نقطه‌ای (پراکنده) باشند. از مهم‌ترین منابع انتشار نقطه‌ای می‌توان به پسماندهای انسانی

<sup>۱</sup>- High octanol-water partition coefficient

و حیوانی، دفع داروهای مصرف نشده و فاضلاب‌های حاصل از استحمام، فاضلاب‌های تصفیه‌شده تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری و صنعتی اشاره کرد.

در نتیجه حلالیت زیاد آلاینده‌های نوظهور و خاصیت فرار بودن کم و همچنین تجزیه بسیار کند در محیط پذیرنده، این مواد می‌توانند بدون هرگونه تغییر از فرایندهای تصفیه مختلف (برای مثال تصفیه لجن فعال) عبور نمایند. این مواد می‌توانند به همراه رواناب‌های شهری نیز وارد تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شوند. همان‌گونه که عنوان شد، بسیاری از پارامترهای آلاینده‌های نوظهور مانند قابلیت تصفیه آن‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، پایداری و ماندگاری و انتقال آن‌ها در محیط پذیرنده به ویژگی‌های شیمیایی آن‌ها بستگی دارد. کارخانجات فرآوری محصولات غذایی، کارخانجات تولیدی محصولات صنعتی و مکان‌های دفن پسماندها نیز از دیگر محل‌های انتشار آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست و منابع آب هستند. با توجه به ماهیت و تنوع آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست و منابع آب هنوز اطلاعات در مورد آن‌ها محدود است. به‌طور خلاصه از مهم‌ترین منابع انتشار آلاینده‌های نقطه‌ای می‌توان به منابع انتشار زیر اشاره کرد:

- تصفیه‌خانه‌های فاضلاب: پسماندها و فاضلاب‌های حاوی هورمون‌ها و داروها
- صنایع داروسازی: پسماندهای صنعتی حاوی داروها و رواناب‌های شهری حاوی ذرات داروها
- بیمارستان‌ها: تخلیه پسماندها و داروهای تاریخ گذشته
- مزارع پرورش احشام و مرغداری‌ها: ضایعات و پسماندهای حاصل از تزریق داروها و هورمون‌ها به احشام و ماکیان
- آبی‌پروری: هورمون‌های استفاده‌شده برای پرورش آبزیان و آنتی‌بیوتیک‌های اضافه‌شده به غذای ماهیان و آب
- خانوارها: فاضلاب‌های حاوی داروهای مصرف‌شده و منقضی شده

خانوارها در زمره مهم‌ترین منابع انتشار نقطه‌ای بسیاری از آلاینده‌های نوظهور هستند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به انتشار انواع داروها و تجهیزات و مواد بهداشتی شخصی (PCPs) <sup>۱</sup> اشاره کرد (برای مثال، هورمون‌های طبیعی، مواد استروئیدی مصنوعی). داروهای منقضی شده و مصرف نشده در اروپا همواره از طریق زباله‌های جامد خانگی یا از طریق توالت‌های بهداشتی دفع می‌شوند. برای مثال، بررسی‌ها نشان داده است که در کشور اتریش حدود ۲۵ درصد از این مواد از این طریق دفع می‌شوند [۳۶].

این موضوع در مورد بریتانیا نیز صادق است و دفع داروهای مصرف نشده و منقضی شده از طریق پسماندهای جامد خانگی یا از طریق سینک توالت‌های بهداشتی در زمره مهم‌ترین مسیرهای انتشار و ورود آلاینده‌های نوظهور دارویی به منابع آب و محیط‌زیست است. در مطالعه‌ای که در ایالات متحده آمریکا انجام شد نیز حدود نیمی از این مواد در توالت‌های بهداشتی توسط بیماران تخلیه می‌شوند. در جدول (۵-۱) برخی مهم‌ترین ترکیبات دارویی که در فاضلاب بریتانیا یافت شده و عمدتاً در فاضلاب‌های خانگی مشاهده می‌شوند را نشان می‌دهد. این موضوع نشان می‌دهد که انتشار

آلاینده‌های نوظهور از طریق فاضلاب‌های خانگی باید بیش‌ازپیش موردتوجه قرار گیرد. به همین دلیل در دستورالعمل ۲۰۰۴/۲۷ (کمسیون اروپا، ۲۰۰۴)<sup>۱</sup> از کشورهای عضو درخواست کرده است تا نسبت به نصب و تجهیز سامانه‌های تصفیه فاضلاب برای تصفیه محصولات دارویی اقدام نمایند. دفع پسماندها و ضایعات دارویی به همراه پسماندهای خانگی عموماً باعث انتقال آن‌ها به شیرابه‌های مکان‌های دفن پسماندها شده و در صورتی که به‌خوبی این شیرابه‌ها تصفیه نشوند، این مواد در نهایت وارد آب‌های زیرزمینی می‌شوند.

جدول ۵-۱- مهم‌ترین ترکیبات دارویی شناسایی‌شده در فاضلاب خانگی بریتانیا [۳۷]

| نام ترکیب                      | گروه دارویی       | درصد ترکیب دفع شده (%) |
|--------------------------------|-------------------|------------------------|
| آتنول (Atenolol)               | بتا بلاکر         | ۹۰                     |
| آموکسی سیلین                   | آنتی‌بیوتیک       | ۶۰                     |
| بنزافبرات (Bezafibrate)        | تنظیم‌کننده چربی  | ۵۰                     |
| سیترازین (Cetirizine)          | ضد حساسیت         | ۵۰                     |
| فلبامات (Felbamate)            | ضد بیماری صرع     | ۴۰-۵۰                  |
| اریترومایسین (Erythromycin)    | آنتی‌بیوتیک       | ۲۵                     |
| دیکلوفناک                      | ضدالتهاب          | ۱۵                     |
| ایبوپروفن                      | ضد درد            | ۱۰                     |
| اسید کلوفبریک (Clofibric acid) | متابولیت‌های فعال | ۶                      |
| کاربامازپین (Carbamazepine)    | ضد بیماری صرع     | ۳                      |

تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی برای حفاظت از این منابع و همچنین افزایش سطح آن‌ها در زمره یکی از راهبردهای اصلی برقراری بیلان این منابع آبی و حفاظت از آن‌ها است. اما تغذیه سفره‌های آب‌های زیرزمینی با فاضلاب‌های تصفیه‌شده (هم فاضلاب‌های خانگی و صنعتی تصفیه‌شده) یا تغذیه با رواناب‌های شهری حاوی انواع مواد شیمیایی و به‌ویژه آلاینده‌های نوظهور می‌تواند باعث آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی شود [۸۶].

به همین دلیل، این شیوه تغذیه آب‌های زیرزمینی ممکن است اثرات سویی بر کیفیت این منابع و در نتیجه سلامت جامعه داشته باشد، زیرا در بسیاری از کشورها از منابع آب زیرزمینی برای تأمین آب شرب استفاده می‌شود. در چنین شرایطی، همواره باید پیش‌تصفیه شوند تا به استانداردهای لازم برای شرب برسند. علاوه بر این، ضدعفونی کردن آب برای تأمین آب شرب ممکن است باعث تشکیل تری هالومتان‌ها (THMs) و اسیدهای هالوژنه شود که همواره طی فرایند کلرزنی اتفاق می‌افتد که ممکن است این مواد وارد آب سطحی و زیرزمینی شوند. بررسی‌های متعدد نشان داده است که برخی مواد دارویی و سایر ترکیبات شیمیایی آلی موجود در فاضلاب تصفیه‌شده مانند carbamazepine, tributylphosphate, N,N-diethyltoluamide, methyl-1H-benzotriazole-۵, benzophenone, sulfamethoxazole

۱- Directive 2004/27/EC of the European Parliament and of the Council of 31 March 2004 amending Directive 2001/83/EC on the Community code relating to medicinal products for human use (Text with EEA relevance) acces at: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2004/27/oj/eng>

cholesterol و tri(2-chloroethyl) phosphate ممکن است در نتیجه تغذیه مصنوعی با فاضلاب‌ها وارد آب‌های زیرزمینی شوند.

همین موضوع در مورد تغذیه آب‌های سطحی نیز صادق است. در مطالعه‌ای که در شهر برلین در آلمان انجام شد، مشخص شد که مواد و ترکیبات دارویی مانند bezafibrate, indomethacine, diclofenac, carbamazepine و propyphenazone و دو متابولیت دارویی و ۱-acetyl-1-methyl-2-dimethyloxamoyl-2-phenylhydrazide (AMDOPH) در حوضچه‌های تغذیه آب‌های سطحی و همچنین چاه‌ها مشاهده شدند. زیرا شش نوع از این آلاینده‌های دارویی نوظهور در فاضلاب تصفیه شده وجود داشتند و تصفیه‌خانه قادر به تصفیه آن‌ها نبوده است و به همین دلیل پایداری در دریاچه Tegel که محل تخلیه فاضلاب تصفیه شده است، نیز مشاهده شدند [۳۸].

فاضلاب‌های بیمارستانی یکی دیگر از منابع نقطه‌ای انتشار آلاینده‌های نوظهور است که در آن‌ها طیف گسترده‌ای از پسماندهای پزشکی و دارویی، مواد رادیولوژیکی هستند که بخش زیادی از ید آلی قابل جذب در آب، حلال‌ها و مواد ضد عفونی‌کننده مشاهده می‌شوند. فاضلاب‌های بیمارستانی در مقایسه با فاضلاب‌های خانگی دارای ترکیبات بیش‌تری از مواد دارویی هستند. برخی موادی که در فاضلاب‌های بیمارستانی مشاهده می‌شوند (مانند iopamidol, iopromide, diatrizoate) در محیط‌های آبی بسیار مقاوم و پایدار هستند که بعضاً در آب‌های زیرزمینی هم مشاهده می‌شوند [۳۹].

مکان‌های دفن زباله‌ها نیز یکی دیگر از منابع نقطه‌ای انتشار آلاینده‌های نوظهور هستند (برای مثال ترکیبات چند کلره) که به‌ویژه در آب‌های زیرزمینی این مناطق مشاهده می‌شوند. آلودگی سفره‌های آب زیرزمینی در پیرامون محل‌های دفن زباله برای سالیان متمادی شناخته شده است، که عمدتاً ناشی از انتخاب نامناسب مکان‌های دفن و همچنین طراحی نامناسب آن‌ها است. البته طی سال‌های گذشته به‌ویژه در کشورهای توسعه‌یافته با مکان‌یابی مناسب و طراحی اصولی مکان‌های دفن تا حدودی این مشکل حل شده است، اما هنوز این مسئله در بسیاری از کشورها مشاهده می‌شود. برای مثال، آلودگی آب‌های زیرزمینی ناشی از مواد دارویی در پیرامون مکان‌های دفن زباله‌ها در کشور کرواسی و همچنین ایالات متحده مشاهده شده است [۴۰].

فاضلاب‌های حاصل از مکان‌های پرورش دام و طیور از دیگر منابع نقطه‌ای انتشار آلاینده‌های نوظهور هستند که عمدتاً حاوی ترکیبات استروژنی هستند. بررسی‌ها نشان داده است که فاضلاب ناشی از تصفیه‌خانه‌های پرورش دام حاوی مقادیر بیش‌تر از ترکیبات استروژنی در فاضلاب‌های خود در مقایسه با فاضلاب تصفیه‌خانه‌های فاضلاب شهری هستند. در فعالیت‌های پرورش دام میزان نسبتاً زیادی انواع آنتی‌بیوتیک مصرف می‌شود که در نهایت وارد لاگون‌های تصفیه‌شده و از این طریق وارد آب‌های زیرزمینی می‌شوند [۴۲].

علاوه بر این، انتشار آلاینده‌های نوظهور از طریق سپتیک تانک‌های فاضلاب، به‌ویژه در مناطقی که سطح آب‌های زیرزمینی در آن‌ها بالا است نیز مشاهده می‌شود. سپتیک تانک‌ها به‌صورت گسترده‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند که این موضوع باعث می‌شود تا پایش انتشار آلاینده‌های نوظهور در آن‌ها و تخمین واقعی انتشار آلاینده‌ها از این نوع از منابع نقطه‌ای مشکل شود. در مطالعه‌ای در کشور کانادا مشخص شد که مواد دارویی (برای مثال، gemfibrozil, ibuprofen) و

(naproxen) در نمونه‌های برداشت‌شده از سپتیک تانک‌ها ممکن است باعث آلودگی آب‌های زیرزمینی با آلاینده‌های نوظهور شوند [۴۳].

## ۵-۲- منابع انتشار غیر نقطه‌ای (پراکنده)

شناسایی منابع انتشار آلودگی غیرنقطه‌ای (پراکنده) آلاینده‌های نوظهور به دلیل پراکنش و گستردگی انتشار آن‌ها بسیار مشکل‌تر است و به همین دلیل نیز تعریف و تعیین دقیق مکان‌های انتشار آن‌ها کار دشواری است. از مهم‌ترین این دسته از منابع انتشار می‌توان به رواناب‌های حاصل از بارندگی‌ها، رواناب‌های حاصل از جاده‌های نواحی شهری، بزرگراه‌ها، اراضی کشاورزی و غیره اشاره کرد. در مقایسه با منابع انتشار نقطه‌ای، بار آلاینده‌های منابع غیرنقطه‌ای در محیط‌زیست کم‌تر است [۳۵]. مصرف آفت‌کش‌ها در کشاورزی در زمره مهم‌ترین منابع انتشار آلاینده‌های غیر نقطه‌ای قلمداد می‌شود. برای مثال، حشره‌کش‌ها (دو متابولیت DDT) و علف‌کش‌ها (bentazone و mecocrop) و همچنین ترکیبات اطفای حریق از جمله، (tris(2-chloroethyl)-phosphate and tris(2-chloroisopropyl)-9-phosphate) در دریاچه‌های Tegel و Wannsee در آلمان مشاهده شدند. علاوه بر این، انواع دیگری از آلاینده‌های نوظهور ناشی از مصرف مواد شیمیایی کشاورزی در آب‌های زیرزمینی منطقه نیز مشاهده شد، زیرا پساب‌های اراضی کشاورزی در پیرامون حوضه آبریز این دریاچه‌ها برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی مورد استفاده قرار می‌گیرند [۳۸]. علاوه بر این، فعالیت‌های کشاورزی مانند استفاده از داروهای دامپزشکی، هورمون‌ها، توکسین‌های طبیعی و مواد شیمیایی مورد استفاده در کشاورزی باعث انتشار و نفوذ انواع آلاینده‌ها به منابع آب می‌شوند.

بسیاری از آلاینده‌های شیمیایی ممکن است به ذرات لجن در سامانه‌های تصفیه لجن فعال بچسبند. با توجه به اینکه لجن تولیدشده در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب به صورت مستمر تخلیه می‌شوند و همواره در بسیاری از مناطق به عنوان کود در اراضی کشاورزی استفاده می‌شوند، در نتیجه ممکن است آلاینده‌های نوظهور موجود در این لجن‌ها وارد محیط‌زیست و منابع آب شوند. زمانی که مواد جامد زیستی<sup>۱</sup> حاصل از تصفیه‌خانه‌های فاضلاب در اراضی کشاورزی استفاده می‌شوند، آلاینده‌های نوظهور موجود در مواد جامد زیستی ممکن است به آب‌های زیرزمینی نفوذ کنند و باعث آلودگی آن‌ها شوند. دو نوع از هیدروکربن‌های هالوژنه (polychlorinated alkanes و perfluorochemicals) به عنوان مهم‌ترین آلاینده‌های آب‌های زیرزمینی ناشی از استفاده از مواد جامد زیستی در خاک و رواناب‌های سطحی شناسایی و گزارش شده‌اند [۴۴].

## فصل ۶

---

---

آثار و پیامدهای آلاینده‌های نوظهور بر  
سلامت محیط‌زیست و منابع آب



خاصیت سمی بسیاری از آلاینده‌های نوظهور باعث شده است تا این مواد خطرات زیادی برای محیط‌زیست و سلامت داشته باشند. عموماً آلاینده‌های نوظهور بسیار سمی هستند، به همین دلیل در غلظت‌های نانوگرم بر لیتر می‌توانند هم برای انسان و هم جانداران آبی بسیار سمی باشند. بررسی‌ها نشان داده است که این دسته از مواد خاصیت سمیت ژنی، سرطان‌زایی در جانوران آزمایشگاهی، اختلالات هورمونی غدد درون‌ریز و خاصیت سمی برای سامانه ایمنی در جانوران آزمایشگاهی دارند. تخمین اثرات بلندمدت بیش‌تر آلاینده‌های نوظهور بر محیط‌زیست و سلامت انسان بسیار مشکل است، زیرا هنوز اطلاعات کافی در مورد رفتار، خطرات و ریسک‌های بوم‌شناختی آن‌ها وجود ندارد. لذا تعیین رابطه بین سطوح تماس با مواد آلاینده در محیط‌زیست با اثرات سمی حاد و مزمن آلاینده‌های نوظهور در انسان و محیط بسیار زمان‌بر و پیچیده است. با توجه به اینکه تنها در سال‌های اخیر پژوهشگران محیط‌زیست با کمک تکنیک‌های تجزیه پیشرفته تا حدود زیادی به ماهیت و رفتار شماری محدودی از آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست و منابع آب پی برده‌اند و از سوی دیگر گستره و دامنه انواع آلاینده‌های انسان‌ساخت به‌موازات تولید انواع محصولات همواره در حال افزایش است، لذا نمی‌توان انتظار داشت که اثرات حاد و مزمن این آلاینده‌ها بر سلامت انسان و سایر موجودات زنده خشکی و آبی به‌طور دقیق تعیین شده باشند. در حال حاضر نیز بیش‌تر پژوهش‌ها در این زمینه معطوف به اثرات این آلاینده‌ها بر روی حیوانات آزمایشگاهی است و به همین دلیل اثرات آن‌ها بر انسان‌ها هنوز ناشناخته بوده و عدم قطعیت‌های زیادی در این خصوص وجود دارد.

ریسک بهداشتی زیست‌محیطی آلاینده‌های نوظهور عمدتاً ناشی از خاصیت سمی این دسته از آلاینده‌ها است. زیرا بیش‌تر این مواد بسیار سمی هستند و در غلظت‌های بسیار اندک (نانوگرم بر لیتر) می‌توانند هم برای انسان و هم سایر جانداران موجود در محیط‌زیست و به‌ویژه محیط‌های آبی خطرناک باشند. مواد سمی در آلاینده‌های نوظهور موادی هستند که به علت اثرات ویژه آن‌ها بر بافت‌ها، اندام‌ها یا فرایندهای بیولوژیکی موجودات زنده مضر شناخته می‌شوند. اثرات نهایی مشترک مواد سمی تخریب سلول‌ها و ایجاد جهش در DNA و درنهایت ایجاد سرطان و قطع مکانیسم‌های علامت‌دهنده‌ای است که رشد و عملکرد سلول را تحت کنترل دارد. بیش‌تر سمومی که وارد بدن می‌شوند مواد بیگانه‌ای هستند که تمایل زیادی به تشکیل پیوند با چربی‌ها دارند، بنابراین، این مواد با چربی‌های موجود در غشای سلول‌ها پیوند و باعث سمی شدن آن می‌شود. در برخی موارد، سموم با تولید ترکیبات فعال در متابولیسم سلولی دخالت می‌کنند و باعث مسمومیت سلول‌ها می‌شوند.

سموم موجود در آلاینده‌های نوظهور اثرات گوناگونی بر موجودات زنده دارند. از نظر کمی این اثرات شامل مشاهده حداقل اثر تا ایجاد اثرات حساسیت و در شرایط حادتر، بروز اثرات شدید (به‌ویژه مرگ) بر اثر تماس با مواد سمی، در نوسان می‌باشد. برخی مواد مغذی مانند مواد مغذی معدنی در یک دامنه معین اثرات چندانی را از خود بروز نمی‌دهند، اما در فراتر از این دامنه اثرات شدیدی را بروز می‌دهند عواملی که توسط روابط دوز-واکنش تبیین می‌شوند، یکی از مفاهیم اساسی علم سم‌شناسی است. میزان سم دریافتی یا دوز همواره مقدار سم برحسب واحد جرم بدن موجود زنده است که در تماس با سم قرار گرفته است. واکنش به سم نیز نتیجه تأثیر سم بر موجود زنده است که در معرض تماس با سم قرار گرفته است. به‌منظور تبیین رابطه بین

مقدار سم (دوز) دریافت شده و واکنش دفاعی بدن، تعیین واکنش‌های خاصی مانند مرگ موجود زنده بر اثر تماس با سم و همچنین شرایط تماس و طول واکنش به سم بسیار حائز اهمیت است. برای این منظور، باید واکنش‌های خاص در جمعیت‌های مشابه مورد بررسی قرار گیرد. در تماس با دوزهای نسبتاً کم، هیچ‌کدام از موجودات زنده واکنشی را از خود بروز نمی‌دهند (همه زنده می‌مانند)، درحالی‌که در دوزهای بالاتر همه موجودات واکنش نشان می‌دهند (همه می‌میرند). در بین این دو دامنه، دوزهای معینی از سم وجود دارد که در این دامنه برخی موجودات با شیوه‌های منحصربه‌فردی واکنش نشان می‌دهند و برخی نیز واکنشی از خود نشان نمی‌دهند، لذا بر اساس این بررسی می‌توان منحنی دوز-واکنش را شناسایی و تبیین کرد. رابطه دوز-واکنش بدن موجودات به نوع، نژاد، نوع بافت‌ها و جمعیت سلول‌های آن‌ها بستگی دارد و با یکدیگر متفاوت است.

یکی از معیارهایی که برای شناسایی سمیت مواد و ترکیبات مورد استفاده قرار می‌گیرد، دوز کشنده (LD50) است که بر مبنای آن استانداردهایی تدوین شده است. دوز کشنده (LD50) مقدار معینی از یک سم که اگر روی یک عده از حیوانات آزمایشگاهی مورد مصرف قرار گیرد به‌طور متوسط مرگ‌ومیر ۵۰ درصد آنان را از بین می‌برد. هرچه مقدار دوز کشنده (LD50) بزرگ‌تر باشد سمیت ماده کم‌تر است. دوز کشنده (LD50) برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن حیوان استفاده شده برای تعیین درجه سمیت بیان می‌شود.

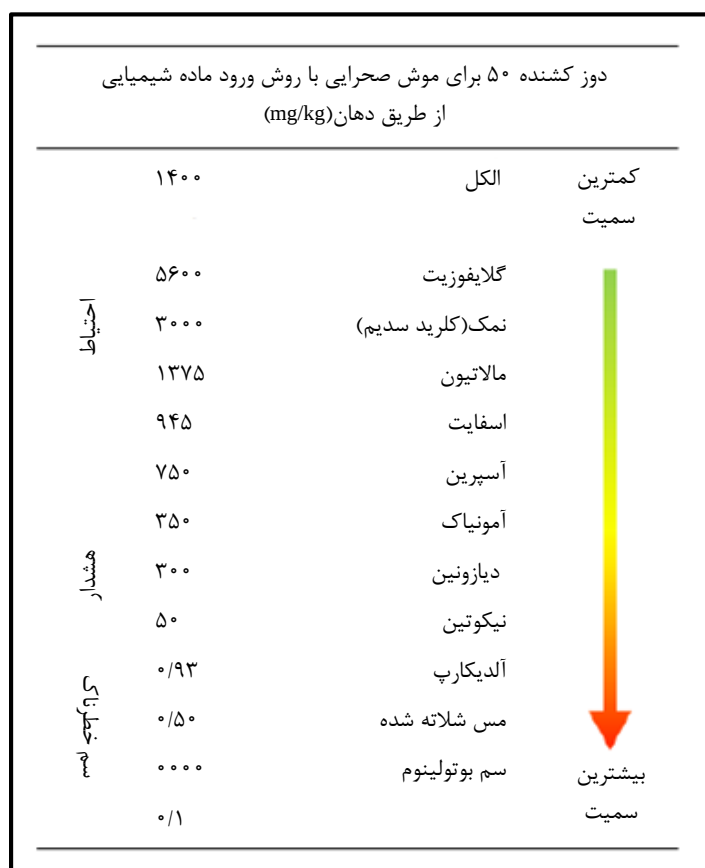
همچنین بر اساس آیین‌نامه حفاظتی کار با سموم دفع آفات در کارگاه‌ها مصوب ۱۳۸۹/۳/۱۹، دوز کشنده (LD ۵۰) مقدار ماده سمی است که اگر از یک راه مشخص و معین وارد بدن یک گونه حیوان آزمایشگاهی مشخص شود باعث مرگ ۵۰ درصد از حیوانات مورد مطالعه می‌گردد. این مقدار که بر حسب میلی‌گرم سم بر کیلوگرم وزن بدن حیوانات ذکر می‌شود و معیاری برای طبقه‌بندی سموم است در آزمایشات انجام شده و باید نوع حیوان و راه ورود ماده به بدن را نیز مشخص نمود. هرچه مقدار دوز کشنده (LD۵۰) کم‌تر باشد آن سم مهلک‌تر است. بر این اساس سمیت مواد بر حسب (LD50) به شرح زیر در این آیین‌نامه طبقه‌بندی شده است:

- سمومی که LD ۵۰ آن‌ها کم‌تر از ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، سموم فوق‌العاده سمی هستند.
  - سمومی که LD ۵۰ آن‌ها بین ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، سموم با سمیت متوسط هستند.
  - سمومی که LD ۵۰ آن‌ها بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، سموم با سمیت ضعیف هستند.
  - سمومی که LD۵۰ آن‌ها بیش از ۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، سموم فاقد سمیت حاد می‌باشند.
- همچنین برخی سازمان‌ها از دوز کشنده به عنوان معیاری برای طبقه‌بندی مواد شیمیایی و سموم استفاده می‌کنند. برای مثال، تقسیم‌بندی مواد برحسب دوز کشنده احتمالی از راه خوراکی برای انسان توسط انجمن بهداشت صنعتی آمریکا (AIHA) <sup>۱</sup> در جدول (۶-۱) نشان داده شده است [۸۷].

جدول ۶-۱- طبقه‌بندی میزان سمیت یک ماده شیمیایی بر اساس میزان دوز کشنده احتمالی از راه خوراکی [۸۷]

| ردیف | طبقه‌بندی سمیت | دوز (mg/kg) |
|------|----------------|-------------|
| ۱    | عملاً غیر سمی  | > ۱۵۰۰۰     |
| ۲    | اندکی سمی      | ۱۵۰۰۰-۵۰۰۰  |
| ۳    | سمیت متوسط     | ۵۰۰۰۰-۵۰۰   |
| ۴    | خیلی سمی       | ۵۰۰-۵۰      |
| ۵    | به شدت سمی     | ۵۰-۵        |
| ۶    | فوق سمی        | < ۵         |

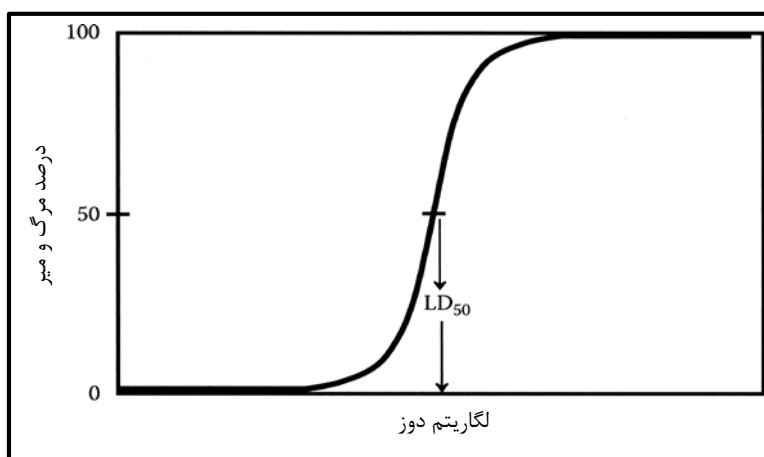
بر اساس این معیار و بر اساس اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی جانوران آزمایشگاهی و با آزمایشات متعدد پژوهشگران قادر هستند تا دوز کشنده و میزان سمیت را برای جانوران آزمایشگاهی و انسان مشخص نمایند. در شکل (۶-۱) سمیت برخی مواد شیمیایی و دوز کشنده ( $LD_{50}$ ) نشان داده شده است.



شکل ۶-۱- سمیت نسبی تعدادی از مواد شیمیایی [۸۷]

شکل (۶-۲) منحنی عمومی دوز-واکنش را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، چنین منحنی را می‌توان با آزمایش دوزهای مختلفی از یک سم در یک جمعیت همگن از حیوانات آزمایشگاهی بررسی کرد و در صد تجمعی مرگ‌ومیرهای ناشی از تماس با آلاینده‌های سمی نوظهور را به عنوان تابعی از لگاریتم دوز رسم کرد. در منحنی S شکل نقطه و سط نمودار (نقطه شکستگی) بر اساس تخمین آماری نقطه‌ای است که سم می‌تواند ۵۰ درصد جانورانی را که در تماس با سم

قرار گرفته‌اند را بکشد که این نقطه در شکل ۶-۲ با  $LD_{50}$  نشان داده شده است. از منظر آماری میزان مرگومیر ۵٪ ( $LD_5$ ) و ۹۵٪ ( $LD_{95}$ ) در شکل یاد شده به معنای مقدار سمی است که به ترتیب ۵٪ و ۹۵٪ جانورانی را که در تماس با آلاینده سمی قرار گرفته‌اند را می‌کشد. اختلاف درصد تجمعی مرگ و میر روی محور Y نشان داده شد.



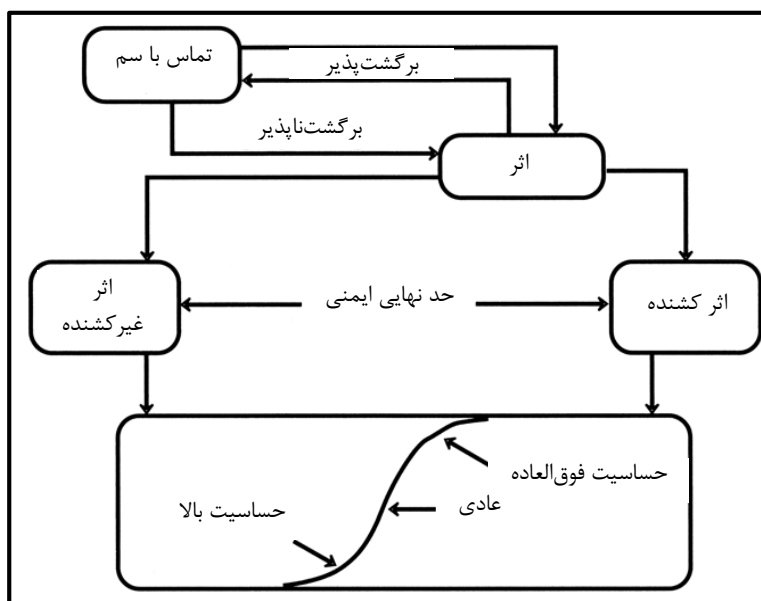
شکل ۶-۲- منحنی رابطه دوز- واکنش مرگ موجود زنده در نتیجه تماس با آلاینده‌های سمی

در رابطه با آلاینده‌های سمی نوظهور، در صورتی که اثر ماندگاری بر اثر تماس با سم آلاینده نوظهور در بدن باقی نماند به آن اثر برگشت‌پذیر گفته می‌شود. در صورتی که اگر اثر ماندگار باشد، اثر برگشت‌ناپذیر نامیده می‌شود. اثرات برگشت‌ناپذیر بر اثر تماس با آلاینده‌های سمی، پس از حذف ماده سمی از بدن، همچنان در بدن موجودات زنده باقی می‌ماند. در شکل (۶-۳) نوع اثر یاد شده نشان داده شده است. برای مواد شیمیایی مختلف و موجودات زنده مختلف، تماس با آلاینده‌های سمی، ممکن است دارای دامنه‌ای از اثرات برگشت‌پذیر تا اثرات برگشت‌ناپذیر باشد.

#### ۱- Lethal dosage

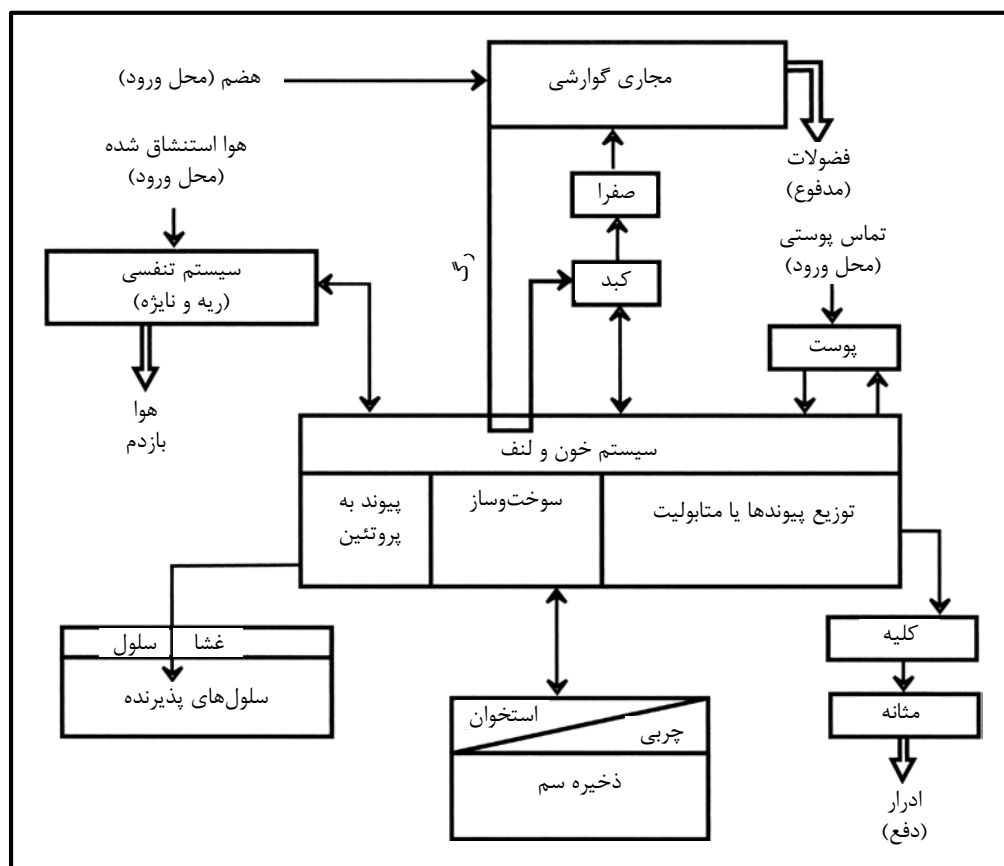
بر اساس آیین‌نامه حفاظتی کار با سموم دفع آفات در کارگاه‌ها مصوب ۱۳۸۹/۳/۱۹  $LD_{50}$  مقدار ماده سمی است که اگر از یک راه مشخص و معین وارد بدن یک گونه حیوان آزمایشگاهی مشخص شود باعث مرگ ۵۰ درصد از حیوانات مورد مطالعه می‌گردد. این مقدار که بر حسب میلی‌گرم سم بر کیلوگرم وزن بدن حیوانات ذکر می‌شود و معیاری برای طبقه‌بندی سموم است در آزمایشگاه انجام شده و باید نوع حیوان و راه ورود ماده به بدن را نیز مشخص نمود. هرچه مقدار  $LD_{50}$  کمتر باشد آن سم مهلک‌تر است. بر این اساس سمیت مواد بر حسب  $LD_{50}$  به شرح زیر در این آیین‌نامه طبقه‌بندی شده است:

- سمومی که  $LD_{50}$  آن‌ها کمتر از ۲۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، سموم فوق‌العاده سمی هستند.
- سمومی که  $LD_{50}$  آن‌ها بین ۲۰۰ تا ۲۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، سموم با سمیت متوسط هستند.
- سمومی که  $LD_{50}$  آن‌ها بین ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، سموم با سمیت ضعیف هستند.
- سمومی که  $LD_{50}$  آن‌ها بیش از ۳۰۰۰ میلی‌گرم در کیلوگرم باشد، سموم فاقد سمیت حاد می‌باشند.



شکل ۶-۳- اثرات و واکنش به مواد سمی [۴۵]

در ارزیابی آثار و پیامدهای بهداشتی آلاینده‌های نوظهور، بررسی محل‌های تماس با سموم، بررسی مسیر و محل‌های اصلی تماس، نحوه پراکنش سموم و حذف آن‌ها از بدن بسیار حائز اهمیت است که فرایند آن در شکل (۶-۴) نشان داده شده است. راه‌های اصلی تماس تصادفی یا عمدی تماس این مواد سمی با اندام‌های مختلف از انسان و حیوانات شامل پوست (تماس جلدی و زیر جلدی)، ریه‌ها (استنشاق، مجاری تنفسی) و دهان (مجاری گوارشی) است. از راه‌های دیگر تماس با سموم می‌توان به ورود از راه مقعد، اندام‌های تناسلی، رگ‌ها یا عضلات اشاره کرد که همواره بر اثر تزریق دارو یا مواد مسموم‌کننده رخ می‌دهد. البته تماس با این دسته از مواد از طریق پوست بسیار پیچیده است. این موضوع به‌ویژه در کودکان بسیار حائز اهمیت است، زیرا کودکان به علت نوع فعالیت‌هایشان همواره در معرض تماس با خاک‌های آلوده، سموم و انواع مواد شیمیایی خانگی و سایر آلاینده‌های محیط‌زیست قرار می‌گیرند. افزون بر این، پوست کودکان نسبت به مواد سمی در مقایسه با بزرگ سالان نفوذپذیرتر است. این مسئله باعث می‌شود تا خطر آلودگی و مسمومیت از طریق پوست در کودکان افزایش پیدا کند. راه‌هایی که مواد سمی وارد سیستم‌های پیچیده یک جاندار می‌شوند، به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آن بستگی دارد. اندام‌های تنفسی مهم‌ترین راه ورود گازهای سمی و ذرات معلق مایع یا جامد به بدن هستند. همواره تنفس از راه بینی بیش از تنفس از راه دهان باعث ورود ذرات جامد معلق به بدن می‌شود. تماس و ورود سموم از راه پوست مهم‌ترین راه جذب سموم مایع، سوسپانسیون‌ها و مواد سمی نیمه جامد است.



شکل ۴-۶- محل‌های تماس، سوخت‌وساز، انباشت، مسیرهای پراکنش و حذف مواد سمی در بدن [۴۵]

واکنش به ورود سموم در اندام‌های مختلف متفاوت است. مواد سمی که از راه دهان وارد بدن می‌شوند تحت تأثیر مواد ترشح شده از اندام‌های گوارشی قرار می‌گیرند و بر اثر تماس با بافت‌های پوششی روده (که تا حدودی یک سیستم سم‌زداست) از میزان سمیت آن کاسته می‌شود. جیوه عنصری سمی است که از طریق نایچه‌های ریه در مقایسه با پوست با سهولت بیش‌تری جذب می‌شود. بیش‌تر بررسی‌های انجام شده در مورد تماس حیوانات با سموم حاکی از مسمومیت حیوانات از طریق مجاری گوارشی است. اما همواره تماس و مسمومیت از راه ریه بیش‌تر حائز اهمیت است، زیرا مقدار زیادی از مواد سمی بر اثر استنشاق می‌توانند وارد ریه شود.

لازم به توضیح است مطالعات موجود در مورد ریسک‌های ناشی از آلاینده‌های نوظهور در محیط زیست، به‌ویژه در محیط‌های آبی بیش‌تر بر سمیت این مواد بر گیاهان و جانوران آبی (ماهی‌ها، جلبک‌ها، بندپایان آبی و غیره) معطوف بوده است، با این‌وجود مطالعاتی نیز در مورد ریسک این مواد بر انسان‌ها به‌ویژه در سامانه‌های بازچرخانی و بازیابی آب نیز انجام شده است (جدول ۶-۲). اما با توجه به غلظت پایین این دسته از آلاینده‌های نوظهور به‌ویژه آلاینده‌های نوظهور دارویی در محیط‌های آبی، گردآوری داده‌ها در مورد سمیت آن‌ها و میزان تماس افراد با این آلاینده‌ها همچنان به‌عنوان یک چالش مطرح است.

جدول ۶-۲- میزان سمیت باقیمانده مواد دارویی بر گیاهان و جانوران آبی [۱۱]

| Therapeutic Group                     | Compounds                   | Taxonomic Group             | Long-Term Exposure (mg/L) |
|---------------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| Anti-bacterial                        | Trimethoprim                | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
| Anti-bacterial (aminoglycoside)       | Neomycin                    | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
| (Aminoglycoside) anti-bacterial       | Streptomycin                | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
| Anti-bacterial                        | Cephalexin                  | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
| Anti-bacterial                        | Ciprofloxacin               | Plant (duckweed)            | 0.106 (EC10)              |
|                                       | Norfloxacin                 | Plant (duckweed)            | 0.206 (EC10)              |
| Anti-bacterial (macrolide antibiotic) | Erythromycin                | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
| Anti-bacterial (macrolide antibiotic) | Lincomycin                  | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
|                                       | Roxithromycin               | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
| Anti-bacterial (macrolide antibiotic) | Tylosin                     | Plant (duckweed) (duckweed) | >1.0 (EC10)               |
|                                       | Sulfadimethoxine            | Plant (duckweed)            | >0.044 (EC10)             |
|                                       | Sulfamethazine              | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
| Anti-bacterial (sulfonamide)          | Plant                       | Plant (duckweed)            | 0.011 (EC10)              |
|                                       |                             |                             | 2.33 (EC50)               |
|                                       | Sulfamethoxazole            |                             | 2.33 (EC50)               |
|                                       | Sulfachlorpyridazine        |                             |                           |
|                                       | Chlortetracycline           | Plant (duckweed)            | 0.036 (EC10)              |
|                                       | Doxycycline                 | Plant (duckweed)            | 0.055 (EC10)              |
| Anti-bacterial (tetracycline)         | Oxytetracycline             | Plant (duckweed)            | 0.788 (EC10)              |
|                                       | Tetracycline                | Plant (duckweed)            | 4.92 (EC50)               |
|                                       |                             | Plant (duckweed)            | 0.23 (EC10)               |
| Anti-depressant                       |                             | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
| Fluvoxetine                           | Sertraline                  | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
| Anti-diabetic (biguanide)             | Metformin                   | Alga (green)                | >320.0 (EC50)             |
|                                       |                             | Plant (duckweed)            | 110.0 (EC50)              |
|                                       |                             | Alga (green)                | 74.0 (EC50)               |
| Anti-epileptic                        | Carbamazepine               | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
|                                       |                             | Plant (duckweed)            | 25.5 (EC50)               |
| Anti-hyperlipidemic                   | Atorvastatin                | Plant (duckweed)            | 0.085 (EC10)              |
|                                       |                             | Alga                        | 5.4 (EC10)                |
| Anti-hyperlipoproteinemic             | Clofibrac acid              | Alga (green)                | 115.0 (EC50)              |
|                                       |                             | Plant (duckweed)            | 12.5 (EC50)               |
| Anti-hypertensive                     | Captopril                   | Alga (green)                | 168.0 (EC50)              |
|                                       |                             | Plant (duckweed)            | 25.0 (EC50)               |
| Anti-protozoal                        | Metronidazole               | Alga (green)                | 2.03 (EC10)               |
|                                       |                             | Alga (green)                | 19.0 (EC10)               |
| Bone resorption inhibitor             | Tiludronate                 | Alga (cyanobacteria)        | 13.3 (EC50)               |
|                                       |                             | Alga (green)                | 36.6 (EC50)               |
| Nicotine metabolite                   | Cotinine                    | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
|                                       | Acetaminophen (paracetamol) | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
|                                       | Diclofenac                  | Alga (green)                | 72.0 (EC50)               |
|                                       |                             | Plant (duckweed)            | 7.5 (EC50)                |
| Non-steroid anti-inflammatory drug    | Ibuprofen                   | Alga (green)                | 315.0 (EC50)              |
|                                       |                             | Plant (duckweed)            | >1.0 (EC10)               |
|                                       |                             | Plant (duckweed)            | 22.0 (EC50)               |
|                                       | Naproxen                    | Alga (green)                | >320.0 (EC50)             |
|                                       |                             | Plant (duckweed)            | 24.2 (EC50)               |
| Estrogen                              | Ethinylestradiol            | Alga                        | 0.054 (EC10)              |
|                                       | Metoprolol                  | Alga (green)                | 7.3 (EC50)                |
|                                       |                             | Plant (duckweed)            | >320.0 (EC50)             |
| $\beta$ -Adrenergic receptor blocker  |                             | Alga (green)                | 5.8 (EC50)                |
|                                       | Propranolol                 | Plant (duckweed)            | 114.0 (EC50)              |

با توجه به آثار و پیامدهای این دسته از آلاینده‌های نوظهور، در سال‌های اخیر دستورالعمل‌هایی برای شناسایی و کنترل آلاینده‌های نوظهور توسط آژانس محیط‌زیست ایالات متحده و سازمان بهداشت جهانی تدوین شده است که در آن‌ها روش‌هایی برای ارزیابی ریسک آلاینده‌های نوظهور بر سلامت افراد و تماس با این دسته از مواد آلاینده ارائه شده

است. همچنین اتحادیه اروپا نیز پروتکل‌ها و روش‌شناسی‌هایی را برای تحلیل ریسک ناشی از مواد شیمیایی را از سال ۱۹۸۰ (برای مواد شیمیایی جدید) به‌ویژه مواد دارویی را شروع کرده است.

یکی از مهم‌ترین پیشرفت‌ها درباره ثبت و ارزیابی مجوز مواد شیمیایی در ضوابط و مقررات ثبت، ارزیابی و صلاحیت قانونی و محدودیت مواد شیمیایی (REACH)<sup>۱</sup> [۸۸] ارائه شده است. بیش‌تر مطالعات درباره اثرات و ریسک‌های اکولوژیکی و بهداشتی آلاینده‌های نوظهور در وهله اول بر اثرات این دسته از آلاینده‌ها بر فاضلاب‌ها و آب‌های سطحی معطوف شده است. علاوه بر این، برخی مطالعات نیز به صورت پراکنده در مورد تجمع آلاینده‌های نوظهور در رسوبات بستر منابع آب که همواره به‌عنوان چاهک مواد سمی و آلاینده‌های نوظهور محسوب می‌شوند، انجام شده است. به همین دلیل رسوبات بستر دریاچه‌ها و منابع آب می‌توانند یک منبع آلوده‌کننده آلاینده‌های نوظهور برای گیاهان و جانوران باشند. این پدیده در زمان‌هایی اتفاق می‌افتد که آلاینده‌های موجود در رسوبات در نتیجه عواملی مانند سیل در آب به حرکت درآمده و به‌صورت معلق درآیند. علاوه بر این، بسیاری از آلاینده‌های نوظهور معلق در آب ممکن است در بدن جانداران کفزی بستر منابع آب تجمع زیستی پیدا کند. اگر میزان این تجمع زیستی در بدن این کفزیان زیاد باشد، ممکن است باعث تماس حاد و مزمن سایر جانداران شود و به‌تدریج به ترازهای غذایی بالاتر در زنجیره غذایی منتقل شوند [۴۷].

باید یادآور شد که آلاینده‌های نوظهور ممکن است در رودخانه‌ها به مواد جانبی با سمیت کم‌تر یا بیش‌تر تبدیل شوند که این مواد نیز ممکن است در رسوبات تجمع پیدا کنند یا از طریق جریان آب وارد سایر منابع آب مانند دریاچه‌ها و حتی آب‌های زیرزمینی شوند.

آشکار شدن اثرات سمی آلاینده‌های نوظهور به نوع، ماهیت و ترکیب آلاینده و ویژگی‌های محیط آبی بستگی دارد (جدول ۳-۶). اگر آلاینده‌های نوظهور در ترکیب با سایر آلاینده‌ها باشند، در این صورت ممکن است اثرات سمی هم‌افزایی داشته باشند یا فعل و انفعالات متقابل داشته باشند که به اثرات مرکب<sup>۲</sup> موسوم است، بنابراین، در این شرایط ممکن است تحلیل ریسک آن مشکل‌تر شود. در چنین شرایطی، اصل احتیاطی برای تضمین حفاظت از سلامت محیط‌زیست برای نسل‌های آینده باید مورد توجه قرار گرفته و مطالعات بیش‌تری در زمینه آثار و پیامدهای آلاینده‌های نوظهور انجام شود (برای مثال مطالعات در زمینه‌ی رفتار آن‌ها در محیط‌زیست، سمیت و اثرات بر محیط‌زیست و سلامت انسان).

جدول ۳-۶- اثرات سمی آلاینده‌های نوظهور متداول بر محیط‌زیست

| آلاینده نوظهور              | اثرات اکولوژیکی                                                                              | اثرات بهداشتی بر انسان                                                                                                                                                        |
|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ذرات نانو مهندسی شده        | سمی برای گیاهان، ماهی‌ها، کرم‌ها، باکتری‌ها (اثرات بر رشد، مرگ‌ومیر، تولیدمثل، اثرات ژنتیکی) | سیتوتوکسیسیته، تنش اکسایشی، اثرات سوزش‌آور در ریه‌ها، سرطان‌زایی، جهش‌زایی، ناهنجاری و ایجاد بیماری در روده‌ها                                                                |
| مختل‌کننده‌های غدد درون‌ریز | سمی برای انسان و حیات وحش                                                                    | ناهنجاری‌های زادوولد و رفتارهای جنسی، ناهنجاری در سامانه عصبی، تغییر غلظت استروئیدها، غدد درون‌ریز و غیره، بیماری قند، مشکلات در سامانه قلبی و عروقی، رفتارهای غیرطبیعی، چاقی |

۱- Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals

۲- Cocktail effect

ادامه جدول ۶-۳- اثرات سمی آلاینده‌های نوظهور متداول بر محیط‌زیست

| آلاینده نوظهور      | اثرات اکولوژیکی                           | اثرات بهداشتی بر انسان                                                                                           |
|---------------------|-------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| مایعات یونی         |                                           | اثرات مخرب بر انواع باکتری‌ها و قارچ‌ها، تأثیر بر میزان رشد قارچ‌ها، اثرات سمی برای بی‌مهرگان، ماهی‌ها و قورباغه |
| ترکیبات پرفلوروکربن | تجمع زیستی در بدن ماهیان و محصولات شیلاتی | تجمع در سرم خون، کلیه و کبد، اثرات بالقوه شدید بر سامانه‌های تولیدمثلی و سایر اثرات بهداشتی                      |

دسته‌ای از آلاینده‌های نوظهور که بیش از سایر آلاینده‌های نوظهور موجود در آب در کانون توجه گرفته‌اند، آلاینده‌های ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDC)<sup>۱</sup> هستند. ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز، ترکیبات شیمیایی با پتانسیل ایجاد اثرات منفی بر سامانه غدد درون‌ریز انسان و حیوانات می‌باشند. ورود ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز به محیط‌زیست و به‌ویژه محیط‌های آبی، اثرات نامطلوب بر ارگانیسم‌های آب‌های شیرین، پایداری اکو سامانه و سلامت انسان، به‌عنوان یکی از دغدغه و نگرانی‌های اصلی آلودگی آب و بهداشت عمومی در جوامع امروزی مطرح شده است. ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDC) طیف گسترده‌ای از مواد و ترکیبات مانند پسماندهای حاصل از تجزیه برخی بطری‌ها و ظروف پلاستیکی، پوشش قوطی فلزی کنسروها، مواد شوینده، برخی مواد افزودنی به مواد غذایی کنسروها، اسباب بازی‌ها، مواد آرایشی و سموم دفع آفات، هورمون‌های استروئیدی طبیعی و مصنوعی، فیتواستروژن‌ها، سورفاکتانت‌ها و بی‌فنیل‌های کلرینه را شامل می‌شوند که مشکلاتی در زمینه رشد، تولیدمثلی، عملکرد مغز و سیستم ایمنی ایجاد کند. برخی از مواد شیمیایی مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDC) به سرعت در محیط زیست تجزیه می‌شوند و این ویژگی باعث می‌شود تا این دسته از مواد به طور بالقوه خطرناک و بسیار سمی شوند [۳].

ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز، به‌شدت بر هورمون‌های درون‌ریز جانوران و به‌ویژه انسان تأثیر می‌گذارند و اختلالات جدی در کارکرد آن‌ها به وجود می‌آورند. هورمون‌ها مواد شیمیایی هستند که توسط بدن تولید می‌شوند و فعالیت سلول‌ها یا ارگان‌های خاصی را در بدن از لحاظ شیمیایی تنظیم می‌کنند که از آن جمله می‌توان به تنظیم رشد، بلوغ، تعیین جنسیت، احساسات و تولید مثل اشاره کرد. مکانیسم مورد استفاده توسط هورمون‌ها و پذیرنده هورمون همواره به صورت رابطه قفل (پذیرنده هورمون‌ها) و کلید (هورمون) توصیف می‌شود و هر هورمونی به پذیرنده خاص خود متصل می‌گردد. با این حال در چندین دهه اخیر، دانشمندان گزارش کرده‌اند که مواد سنتتیک و طبیعی خاصی می‌توانند باعث شبیه‌سازی یا انسداد هورمون‌ها شوند و یا از عملکرد طبیعی آن‌ها جلوگیری کنند و متعاقب آن بر روی سلامت انسان و گونه‌های حیوانی اثر سوء بگذارند.

ترکیبات مختل‌کننده سیستم غدد درون‌ریز که در بدن گونه‌های آبی و خشکی تجمع می‌یابند روی سیستم‌های غدد درون‌ریز، عصبی، ایمنی و دیگر سامانه‌هایی که از تنظیم‌کننده‌های شیمیایی استفاده می‌کنند، اثر منفی می‌گذارند. نکته حائز اهمیت آن است که ساختار مولکولی بسیاری از آلاینده‌های نوظهور موجود در طبیعت بسیار شبیه هورمون‌های سیستم غدد درون‌ریز می‌باشد. فرض می‌شود که این شباهت در ساختار، آلاینده‌ها را قادر می‌سازد تا در عملکردهای قفل

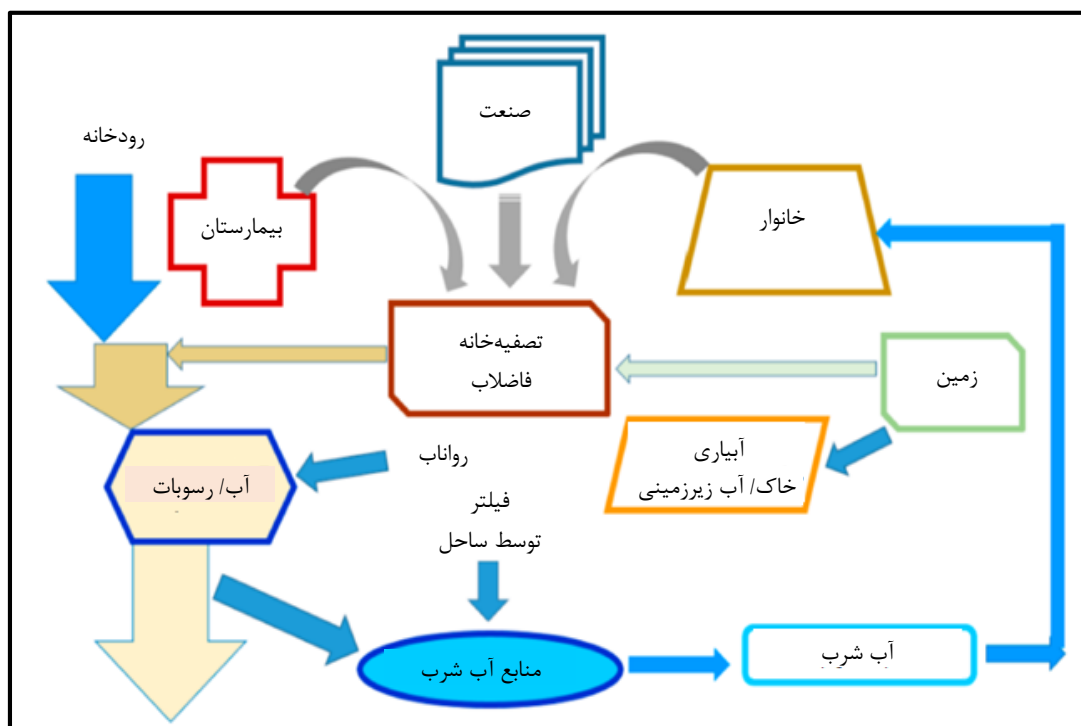
۱- Endocrine disrupting compounds

و کلید هورمونی اختلال ایجاد کنند. از طرفی برخلاف هورمون‌ها، اکثر ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز به راحتی تجزیه نمی‌شوند و توسط بدن دفع می‌گردند، لذا این مواد می‌توانند به دفعات وارد چرخه متابولیسم انسان و حیوانات شوند و در عملکرد هورمون‌ها اختلال ایجاد کنند.

به‌طور کلی از اثرات احتمالی ترکیبات مختل‌کننده سیستم غدد درون‌ریز روی انسان می‌توان به کاهش تعداد اسپرم مردانه، افزایش سرطان‌های بیضه، پروستات، تخمدان و پستان و نقص عملکرد سیستم تولیدمثل، اختلال در بلوغ جنسی و بلوغ زودرس به‌ویژه در دختران و غیره اشاره کرد. همچنین نگرانی زیادی در مورد جنین و کودکان تازه متولدشده وجود دارد چون آن‌ها حساس‌ترین گروه‌ها در برابر این دسته از آلاینده‌ها می‌باشند. مهم‌ترین اثرات بر حیات وحش نیز شامل اختلال در ارگان‌های تولید مثل، تغییر نسبت‌های جنسیتی و اختلال در بافت تخمدان‌ها اشاره کرد.

به‌طور کلی مواد شیمیایی طبقه‌بندی‌شده تحت عنوان ترکیبات مختل‌کننده سیستم غدد درون‌ریز (EDC) دارای منشأ مختلفی از جمله داروها، فرآورده‌های بهداشت فردی، مواد شیمیایی خانگی، آفت‌کش‌ها و علف‌کش‌ها، مواد شیمیایی صنعتی، محصولات جانبی گندزدایی، هورمون‌های طبیعی و فلزات هستند. با توجه به اینکه مهم‌ترین محیط پذیرنده این دسته از آلاینده‌های نوظهور منابع آب است، به همین دلیل آلودگی محیط آبی به ترکیبات مختل‌کننده سیستم غدد درون‌ریز (EDC) در زمره مهم‌ترین نگرانی‌های کارشناسان محیط‌زیست و منابع آب قلمداد می‌شوند.

باید یادآور شد که اغلب شناسایی منشأ انتشار و ریسک ناشی از آلاینده‌های نوظهور به‌ویژه در زمانی که از منابع غیرکانونی و پراکنده مانند رواناب‌های شهری و پساب‌های کشاورزی منتشر می‌شوند، بسیار مشکل است (شکل ۶-۵). برای تخمین ریسک‌های ناشی از آلاینده‌های نوظهور حاصل از منابع انتشار مختلف و جذب آن‌ها توسط پذیرنده‌های متعدد، شناسایی آن‌ها و تعیین دوز حاد و مزمن و میزان تماس آن‌ها با پذیرنده‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. اطلاعات موردنیاز برای تحلیل و تخمین ریسک از پژوهش‌های آزمایشگاهی در شیمی محیط‌زیست، سمی شناسی و سمی‌شناسی اکولوژیکی به دست می‌آید که این پژوهش‌ها می‌توانند داده‌ها و اطلاعات ارزشمندی ارائه کنند و آزمایشاتی را بر اساس ضوابط و مقررات موجود تکمیل نمایند. چنین اقداماتی می‌توانند شناسایی منابع انتشار (مخاطرات)، مسیرهای انتقال (انتقال و سرنوشت آلاینده‌ها در محیط‌زیست)، پذیرنده‌ها و اثرات بر پذیرنده‌ها از جمله اثرات بر پذیرنده‌هایی مانند انسان‌ها را امکان‌پذیر سازند [۸۹].



شکل ۶-۵- منابع انتشار آلاینده‌های نوظهور و مسیرهای انتقال آن‌ها در محیط‌زیست [۱۱]

همان‌گونه که عنوان شد، با توجه به مقاومت ساختار مولکولی بیشتر آلاینده‌های نوظهور به تجزیه، بیش‌تر آلاینده‌های نوظهور در رسوبات و بافت گیاهان و جانوران آبی تجمع زیستی پیدا می‌کنند، به همین دلیل تجزیه شیمیایی، تجزیه زیستی و تجزیه نوری آن‌ها به‌کندی در محیط‌زیست و محیط‌های آبی انجام می‌شود. این ویژگی باعث می‌شود تا حذف آن‌ها در محیط‌های آبی تقریباً ناچیز باشد. با این‌وجود، گونه‌های خاصی از جوامع میکروبی می‌توانند در برابر این آلاینده‌ها مقاومت کرده و آن‌ها را تجزیه نمایند. مطالعات اندکی در مورد تجزیه زیستی آلاینده‌های نوظهور از جمله هورمون‌ها، شوینده‌ها و داروها انجام شده است. البته بیش‌تر این مطالعات در محیط‌های آزمایشگاهی انجام شده است، به همین دلیل مشخص نیست که این فرایندها دقیقاً در محیط‌های طبیعی روی دهند، لذا هنوز اطلاعات کافی در مورد تعمیم این نتایج در مقیاس کلان هنوز در دسترس نمی‌باشد. به همین دلیل مطالعه و پژوهش برای شناسایی انواع باکتری‌ها برای تجزیه انواع آلاینده‌های نوظهور در کانون توجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است.



## فصل ۷

---

---

ارزیابی ریسک زیست محیطی و بهداشتی  
آلاینده های نوظهور

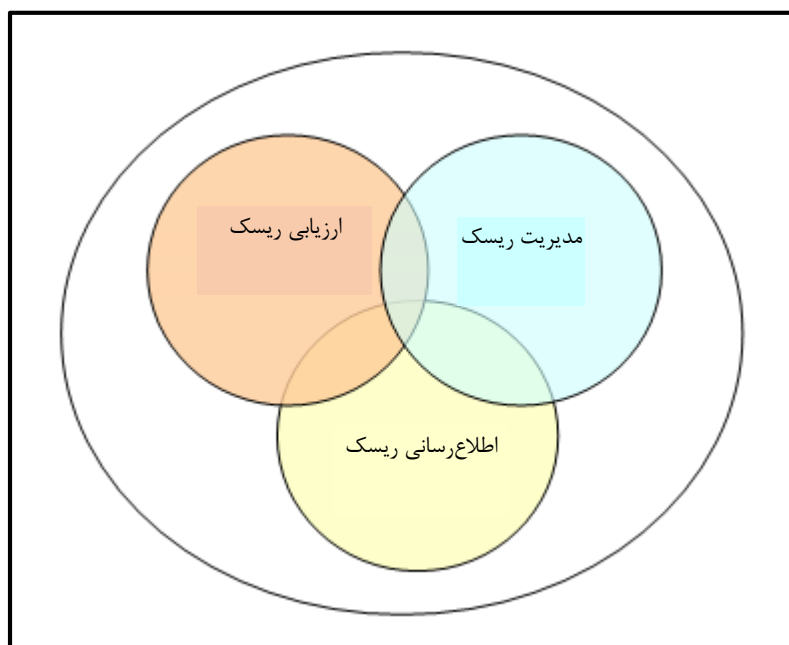


دفع تصادفی و عمدی ضایعات شیمیایی، بیولوژیکی، رادیواکتیو و به ویژه آلاینده های نوظهور در زیست بوم های حیات بخش خصوصا زیست بوم ها و منابع آبی به عنوان یکی از مهم ترین معضلات زیست محیطی در چند دهه اخیر در سطح جهان مطرح شده و امروزه مهم ترین نگرانی ها در رابطه با این مواد شناسایی و حذف آن ها از محیط های آبی است. زیرا انتشار و تخلیه این دسته از مواد در محیط زیست می تواند اثرات شدیدی را بر انسان و سایر زیست مندان وارد کند. ارزیابی ریسک محیط زیستی، تلاشی در راستای جستجو و تشخیص، پایش و حذف این آلاینده ها است که ممکن است برای انسان و محیط زیست مخاطره آمیز باشند و به همین دلیل نیز در برنامه ریزی مدیریت ریسک تلاش می شود تا این نگرانی ها به حداقل ممکن کاهش یافته و تمهیدات پیشگیرانه برای اجتناب و کاهش این دسته از مخاطرات اندیشیده شود.

ارزیابی ریسک محیط زیستی (ERA)<sup>۱</sup> به عنوان یکی از ارکان مدیریت محیط زیست برای بررسی، شناسایی و پیشگیری از آثار و پیامدهای نامطلوب فعالیت های انسانی و انتشار آلودگی ها بر محیط زیست به طور عام، و منابع آب به طور خاص بسط و توسعه یافته است.

به عبارت دیگر، ارزیابی ریسک بوم شناختی و محیط زیستی ابزار مناسبی برای اطمینان یافتن از درک روابط بین عوامل تنش زای محیط زیستی به ویژه در محیط های آبی است. عوامل تنش زا ممکن است، عوامل بیولوژیکی، فیزیکی مانند انتشار آلاینده ها باشند. ارزیابی ریسک بیش تر به موضوع عوامل تنش زا در محیط زیست که در نتیجه فعالیت های انسانی مانند آلودگی ها روی می دهند، می پردازد. برای ارزیابی ریسک محیط زیست، درک و شناخت ویژگی های محیط زیست (ساختار، عملکرد، حساسیت، آسیب پذیری، ماهیت عوامل مختلف تنش زا و غیره) ضروری است. با توجه به رشد روزافزون انواع آلاینده های محیط زیست به ویژه آلاینده های نوظهور و انتشار حجم زیادی از این آلاینده ها به محیط زیست و منابع آب، در خلال سال های اخیر اهمیت مدیریتی ریسک محیط زیست به طور فزاینده ای برای حفاظت از منابع آب بیش تر شده است. این کار مستلزم شناسایی و ارزیابی آثار و پیامدهای بالقوه این آلاینده ها بر محیط زیست است تا بتوان با توجه به آن ها ضوابط، استانداردها و دستورالعمل های لازم برای کاهش آثار و پیامدهای آن ها بر محیط زیست و منابع آب را تهیه و اجرا کرد.

پیش از بحث درباره روش های ارزیابی ریسک آلاینده های نوظهور در محیط زیست، ضروری است تا در ابتدا عناصر اصلی و مولفه های برنامه مدیریت ریسک شناسایی و تبیین گردند. برنامه ریزی برای مدیریت ریسک شامل سه مولفه اصلی ارزیابی ریسک، مدیریت ریسک و اطلاع رسانی ریسک است. در شکل (۷-۱) روابط بین این اجزای مختلف در برنامه مدیریت ریسک نشان داده شده است.



شکل ۷-۱ اجزا و مولفه‌های برنامه‌ریزی مدیریت ریسک

اولین جزء برنامه ریسک، ارزیابی ریسک است که در این مرحله احتمال یا فراوانی خسارات و شدت آن‌ها تعیین می‌شود. مدیریت ریسک نیز فرایندی است که از طریق آن پتانسیل (احتمال یا فراوانی) شدت و عوامل ریسک تخمین و ارزیابی شده و تمهیدات لازم برای کاهش و کنترل ریسک و خطرات صورت می‌گیرد. انتقال و اطلاع‌رسانی ریسک<sup>۱</sup> فرایندی است که از طریق آن اطلاعات لازم درباره ماهیت ریسک (خسارات مورد انتظار)<sup>۲</sup> و پیامدها در اختیار تصمیم‌گیران و عموم مردم قرار داده می‌شود.

همان‌گونه که عنوان شد، ارزیابی ریسک عمدتاً بر شناسایی، کمی کردن و مشخص کردن عدم قطعیت‌ها تأکید دارد، درحالی‌که در مدیریت ریسک بر عدم قطعیت، هماهنگی‌های بین بخش‌های مختلف مدیریت، پیشگیری، کنترل و کاهش خسارات، شناسایی و انتخاب گزینه‌های کاهش خسارات، استفاده از فناوری‌های مطلوب برای کاهش خسارات، چارچوب‌های قانونی و سایر مولفه‌های مدیریتی تأکید می‌شود. برای دستیابی به بهترین نتایج در مدیریت ریسک از ابزارها و روش‌های متعددی نظیر تحلیل بده - بستان<sup>۳</sup>، تحلیل هزینه - فایده<sup>۴</sup>، تحلیل هزینه مؤثر<sup>۵</sup>، تحلیل تصمیم‌گیری چند معیاره<sup>۶</sup>، تحلیل خطای پیش‌بینی‌کننده<sup>۷</sup> و سایر روش‌ها استفاده می‌شود. به‌طور خلاصه مهم‌ترین فعالیت‌ها در مدیریت و ارزیابی ریسک به شرح زیر می‌باشد:

۱- Risk communication

۲- Expected loss

۳- Trade-off analysis

۴- Cost-benefit analysis

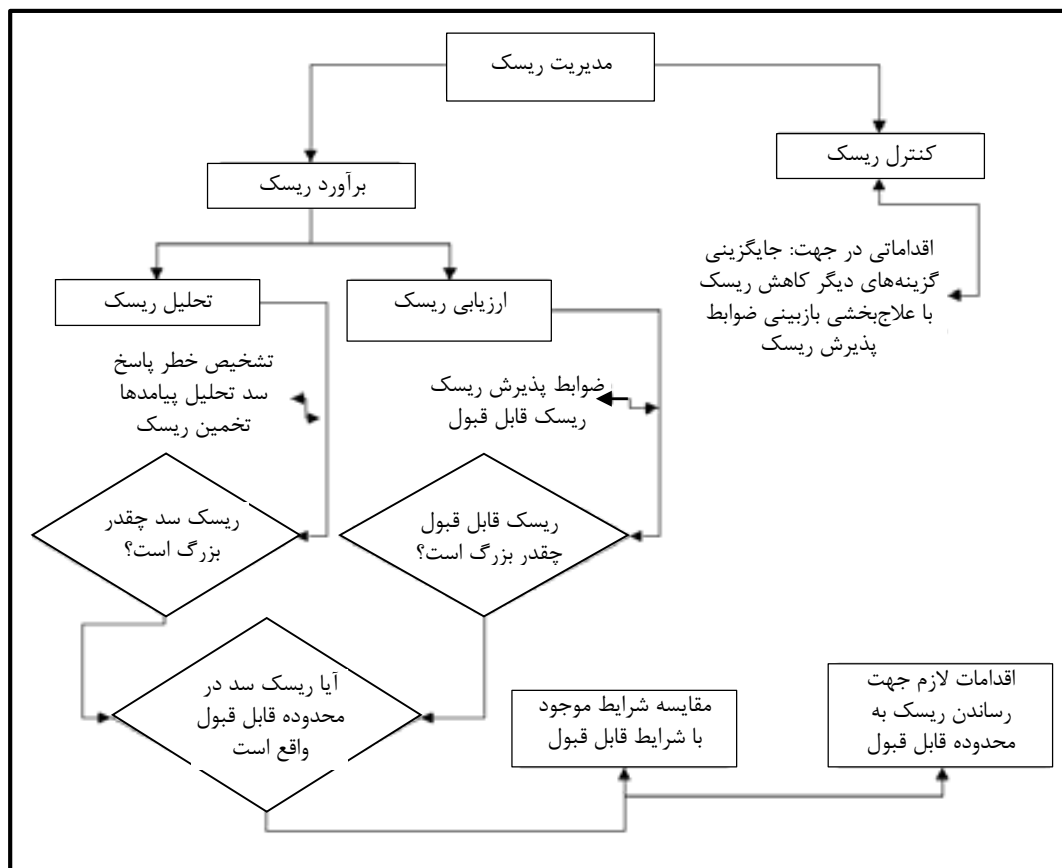
۵- Cost-effectiveness analysis

۶- Multiattribute decision analysis

۷- Predictive failure analysis

- ارزیابی مستمر ریسک
- تصمیم‌گیری و شناسایی ریسک‌های مهم
- تدوین و اجرای راهبردها، سیاست‌ها و برنامه‌های حذف، کنترل و کاهش انواع ریسک
- کنترل مستمر درباره اثربخشی اقدامات برای کاهش ریسک و در صورت امکان بازنگری در اهداف و سیاست‌ها و سازگار کردن آن‌ها با شرایط جدید

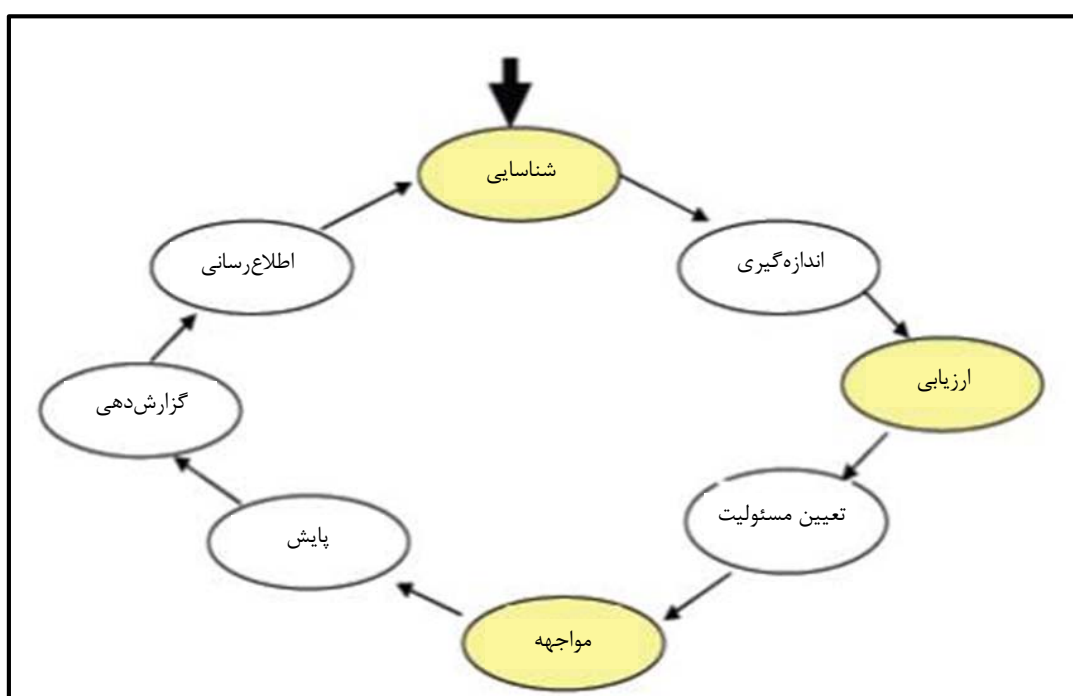
مدیریت ریسک مهم‌ترین و متنوع‌ترین بخش برنامه‌ریزی ریسک منابع آبی است. به دلیل وجود تنوع در فعالیت‌های مدیریت ریسک طیف گسترده‌ای از کارشناسان و تحلیل‌گران از رشته‌های مختلف در مدیریت ریسک موردنیاز می‌باشند. مدیریت ریسک مفهوم جامعی است که شامل دو بخش اصلی برآورد ریسک (ارزیابی و تحلیل ریسک) و کنترل ریسک می‌باشد. در شکل (۷-۲) این رویکرد جامع مدیریت ریسک ارائه شده است [۴۹].



شکل ۷-۲- فرایند جامع مدیریت ریسک [۴۹]

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، برای تحلیل و مدیریت ریسک آلودگی منابع آبی مراحل مختلفی وجود دارد که باید به‌صورت پیوسته به مورد اجرا گذاشته شوند تا بر اساس آن‌ها بتوان برنامه مدیریت ریسک را به اجرا درآورد. به‌طور خلاصه مراحل برنامه مدیریت ریسک منابع آبی، به شرح زیر می‌باشند:

- شناسایی وقایعی که می‌توانند منجر به تحمیل خسارت و یا شکست اهداف تعریف شده برای سیستم گردند (لازم به ذکر است یکی از بحث‌های مهم، تعریف درست شکست مدنظر از سیستم می‌باشد).
  - برآورد احتمالات وقایع مختلف
  - محاسبه احتمال رخداد خسارت یا شکست
  - برآورد عواقب شکست و محاسبه ریسک سیستم
- عموماً فرایندهای اصلی مدیریت ریسک از فرایندهای مشابهی پیروی می‌کند که مراحل آن شامل شناسایی، ارزیابی و مواجهه است که این مراحل در شکل (۳-۱۰) نشان داده شده است.



شکل ۳-۷- فرایندهای اصلی مدیریت ریسک

- فرایند ارزیابی و تحلیل ریسک محیط‌زیستی نیز در مراحل مختلف به شرح زیر انجام می‌شود:
- ۱- توصیف منبع و نوع آلاینده موردنظر: در این مرحله باید منشأ انتشار آلاینده‌ها و نوع آن تعیین شود.
  - ۲- شناسایی مسیرها و میزان تماس: چگونه آلاینده ممکن است به انسان و سایر جانداران برسد و چگونه می‌تواند به مشکلات بهداشتی منتهی شود؟
  - ۳- شناسایی پذیرنده‌های موردنظر: چه افراد یا سایر موجودات زنده در معرض ریسک قرار دارند.
  - ۴- تعیین پیامدهای بهداشتی بالقوه آلاینده‌ها بر پذیرنده‌ها: در این مرحله رابطه دوز- واکنش<sup>۱</sup> یا اثرات شدید مشاهده‌شده در دوزهای معینی توصیف می‌شوند.

<sup>۱</sup>-Dose-response relationship

- ۵- تصمیم‌گیری درباره اینکه چه پیامدهایی قابل‌پذیرش هستند: چه اثراتی به اندازه کافی کم هستند که قابل‌پذیرش عموم باشند.
- ۶- براساس اثرات مجاز، میزان قابل‌پذیرش برای مردم و سایر موجودات چقدر است؟
- ۷- براساس اثر مجاز، میزان قابل قبول بر پذیرنده را محاسبه، و سپس میزان حداکثر انتشار تعیین می‌شود.
- ۸- اگر انتشار یا تخلیه بیش‌تر از حداکثر مجاز باشد، در این صورت چه فناوری برای رسیدن به حداکثر انتشار یا تخلیه مجاز باید استفاده شود.

مراحل تفصیلی ارزیابی ریسک محیط زیستی نیز شامل موارد زیر است:

الف- در فرایند ارزیابی ریسک، شناسایی دقیق منبع ریسک و نوع آلاینده‌هایی که از این منبع منتشر می‌شوند، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. باید توجه کرد که همواره توصیف منبع و نوع آلاینده مشکل‌تر از آن است که به نظر می‌رسد. برای مثال فرض کنید که قرار است یک تأسیسات تصفیه پسماندهای خطرناک در نزدیک یک منطقه پرجمعیت احداث شود. چه نوع آلاینده‌هایی باید مورد بررسی قرار گیرند؟ اگر تأسیسات تصفیه در زمان کاهش مواد سمی آن‌ها با انواع پسماندهای خطرناک مخلوط شود، در این صورت کدامیک از محصولات چنین فرایندهایی باید ارزیابی شوند؟ در سایر موارد شناسایی آلاینده و منبع آن ساده‌تر است که در این خصوص می‌توان به تولید کلروفرم طی فرایند اضافه کردن کلر به آب آشامیدنی یا نشت بنزین از مخزن ذخیره زیرزمینی اشاره کرد.

افزون بر این، شناسایی مسیر انتشار تا حدودی مانند شناسایی مسیر آلاینده‌های جانبی ناشی از کلرزی آب (مانند تشکیل تری‌هالومتان‌ها در آب) مشکل است. این موضوع در مورد سایر آلاینده‌ها مانند مسیر تماس با سرب موجود در هوا نیز صادق است. زیرا چنین آلاینده‌هایی ممکن است از مسیرهای مختلف مانند غذا، پوست و آب وارد بدن شوند.

یکی دیگر از مشکلات، شناسایی محیط پذیرنده است، زیرا همه محیط‌های پذیرنده آلاینده‌ها مانند موجودات زنده (محیط غیرزنده مانند محیط آبی و محیط زنده مانند انسان و سایر جانداران) محیط‌های پذیرنده یکسانی نیستند و وضعیت سلامت آن‌ها متفاوت است. آژانس حفاظت محیط‌زیست ایالات متحده (USEPA) تلاش‌های زیادی برای ساده‌سازی چنین تحلیل‌هایی انجام داده است. برای این منظور، یک فرد بالغ معمولی را ۷۰ کیلوگرم، عمر او را ۷۰ سال، میزان آب مصرفی در روز را ۲ لیتر و حجم هوایی که در روز تنفس می‌کند را ۲۰ مترمکعب در نظر می‌گیرد. این مقادیر برای مقایسه ریسک‌ها استفاده می‌شوند.

ب- تو صیف اثر، یکی از مهم‌ترین مشکلات در تحلیل ریسک است. زیرا فرض می‌شود، آلاینده‌های مختلف باعث واکنش‌های خاصی در بدن انسان و سایر جانداران می‌شود. بررسی دو نوع اثر شامل اثرات سرطان‌زایی<sup>۱</sup> و غیرسرطان‌زایی<sup>۲</sup> متداول است.

فرض می‌شود که منحنی مواد سمی غیرسرطان‌زا دارای آستانه‌ای<sup>۳</sup> خطی باشد. همان‌گونه که در منحنی A در شکل زیر نشان داده شده است، دوز اندک یک سم باعث ضرر قابل‌اندازه‌گیری نمی‌شود، اما هر افزایشی بیش از آستانه، می‌تواند اثرات شدیدتری داشته باشد. برای مثال، خوردن مقدار معینی از جیوه قابل‌پذیرش تلقی می‌شود، زیرا این مقدار غیرممکن است که اثر بهداشتی شدید بر سلامت انسان داشته باشد. با این وجود، اثرات سوء بهداشتی دوزهای زیاد کاملاً به اثبات رسیده است.

برخی مواد سمی، مانند روی، مواد مغذی ضروری برای سیستم سوخت‌وساز بدن هستند و برای سلامت غذا ضروری هستند. فقدان چنین مواد شیمیایی در غذا می‌تواند اثرات شدیدی داشته باشد، اما وجود آن‌ها در غلظت‌های زیاد می‌تواند بسیار سمی باشد. این منحنی (منحنی B) در شکل زیر نشان داده شده است.

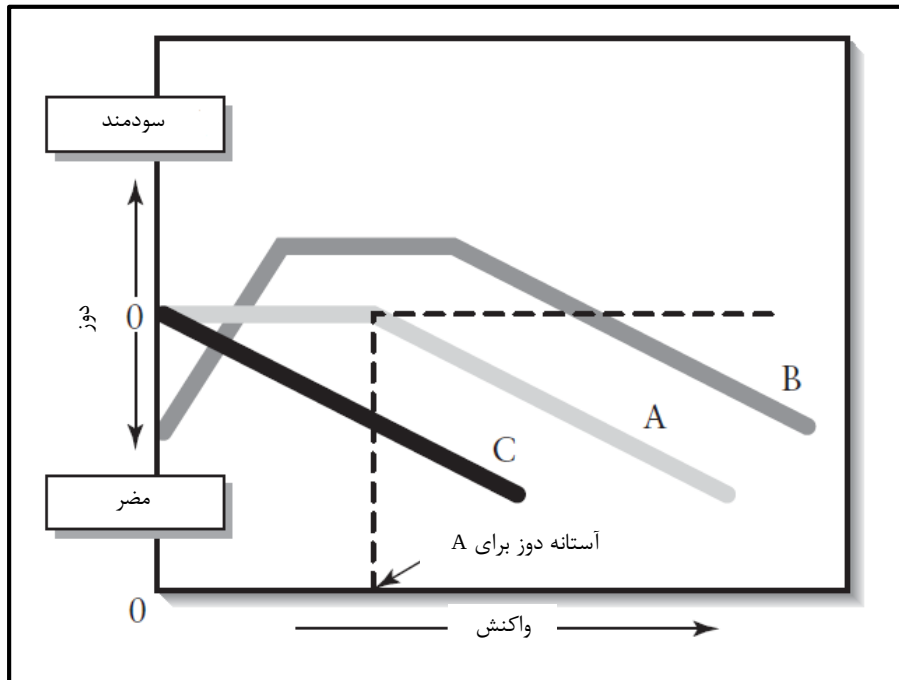
برخی مسئولین پیشنهاد می‌کنند که منحنی دوز-واکنش برای مواد سرطان‌زا خطی است و در غلظت صفر، اثر صفر دارد، اما اثرات مضر آن به صورت خطی افزایش می‌یابد که این پدیده توسط منحنی C در شکل (۴-۷) نشان داده شده است. هر دوز محدود از یک ماده سرطان‌زا می‌تواند افزایش محدودی در وقوع سرطان داشته باشد. دیدگاه گزینه اول این است که بدن در برابر دوزهای اندکی از مواد سمی مقاوم است و در آستانه کم اثرات شدیدی ندارد (به‌مانند منحنی A).

---

۱- Non-cancerous

۲- Cancerous

۳- Threshold



شکل ۷-۴- سه منحنی واکنش‌های دوز- واکنش [۷]

ج- تصمیم‌گیری درباره اینکه چه ریسکی قابل‌پذیرش است، مهم‌ترین پارامتر در این محاسبات است. به این ترتیب آیا یک ریسک یک در یک میلیون قابل‌پذیرش است؟ چه کسی درباره این سطح قابل‌پذیرش تصمیم‌گیری می‌کند؟ قطعاً اگر این مسئله از فردی سؤال شود که از این ریسک آسیب‌دیده باشد، اگر ریسک قابل‌پذیرش باشد، در این صورت قطعاً جواب فرد آسیب‌دیده منفی است.

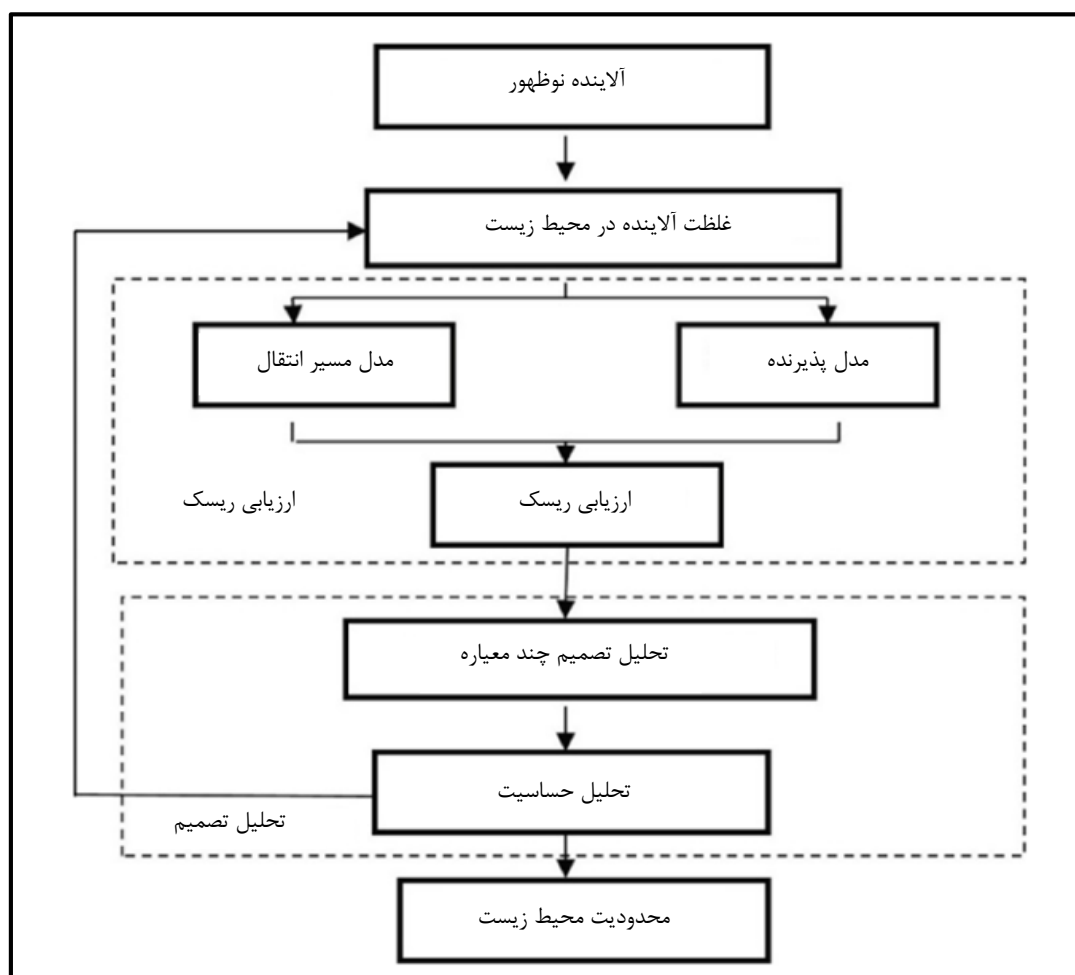
مفهوم کلی ریسک قابل‌پذیرش، پیش‌فرض ارزش سیستم استفاده‌شده توسط مهندسان و دانشمندان در کارهای حرفه‌ای آنان است. متأسفانه، این سیستم ارزش‌گذاری با سیستم ارزش‌گذاری که توسط مردم در محدوده‌های بزرگ‌تر انجام می‌شود، سازگاری ندارد. مهندسان تمایل دارند تا تصمیم‌های خود را بر اساس رسیدن به بهترین هدف در همه اقدامات، بنا نهند. به عنوان مثال، ارزش‌گذاری تصادفی بر زندگی یک فرد برای دستیابی به یک ارزش خالص خوب، قابل قبول است که این موضوع به آژانس حفاظت از محیط‌زیست آمریکا (EPA) اجازه می‌دهد تا ریسک مرتبط با آلاینده‌ها را برای یک ریسک قابل‌پذیرش با احتمال وقوع یک در یک میلیون محاسبه نماید. هزینه در مقایسه با سلامت به دست آمده بسیار کم است، بنابراین، مردم تمایل به پذیرش تصمیم را دارند.

د- گام بعدی در فرایند تحلیل ریسک، محاسبه میزان ریسک قابل‌پذیرش آلودگی است. این مرحله یک محاسبه ریاضی ساده است، زیرا مقادیر برای تصمیم‌گیری، قبلاً تعیین شده است.

ه- در پایان، طراحی راهبردهای تصفیه برای میزان قابل‌پذیرش آلودگی، ضروری است.

شناسایی آلاینده‌های نوظهور موجود در آب می‌تواند به تصمیم‌گیری‌های بهتر و موثرتری برای مدیریت ریسک آن‌ها منتهی شود. باید توجه کرد که شناسایی آلاینده‌های نوظهور به دلیل غلظت بسیار پایین آن‌ها در محیط‌های آبی و همچنین عدم قطعیت‌های زیاد در مورد آثار و پیامدهای آن‌ها بر انسان و سایر جانداران آبریزان مشکل‌تر از سایر آلاینده‌ها است. از سوی دیگر در بسیاری از موارد این دسته آلاینده‌ها به‌صورت ترکیبی با سایر مواد مشاهده می‌شوند، به همین دلیل تعیین سمیت این ترکیبات برای ارزیابی ریسک آن‌ها ممکن است کم‌تر یا بیش‌تر محاسبه شود.

تحلیل و ارزیابی ریسک آلاینده‌های نوظهور امکان مدیریت آلاینده‌ها بر مبنای ریسک را فراهم می‌کند و به برنامه‌ریزان و مدیران حفاظت و بهره‌برداری از آب امکان می‌دهد تا بهترین گزینه‌های اصلاحی را بر مبنای ریسک و هزینه مؤثر و کارایی و به شیوه‌ای جامع و فراگیر انتخاب نمایند (شکل ۷-۵). ارزیابی یکپارچه ریسک انتقال ریسک به ذی‌نفعان را برای تحلیل و تصمیم‌گیری در مورد کاهش ریسک تسهیل می‌کند.



شکل ۷-۵- تحلیل تصمیم‌گیری مبتنی بر ریسک [۵۰]

ارزیابی ریسک بهداشتی و اکولوژیکی آلاینده‌های نوظهور به‌منظور تصمیم‌گیری برای حفاظت از سامانه‌های اکولوژیکی و به‌ویژه منابع آب و سلامت انسان‌ها انجام می‌شود. موضوع ارزیابی ریسک بهداشتی بیش‌تر در مورد کسانی انجام می‌شود

که ممکن است به صورت مستقیم یا غیرمستقیم با آلاینده‌های سمی نوظهور از طریق مصرف مستقیم آب یا خوردن غذاها یا سبزیجات آلوده تحت تأثیر قرار بگیرند. در کمیسیون اروپا تأکید می‌شود در زمانی که تماس با مواد شیمیایی انجام می‌شود، باید اثرات تجمعی نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

یکی از متداول‌ترین روش‌ها برای ارزیابی ریسک اکولوژیکی آلاینده‌های نوظهور شناسایی شده، روش نسبت ریسک (RQ)<sup>۱</sup> است. روش نسبت ریسک بر اساس معادله زیر محاسبه می‌شود:

$$RQ = \frac{MEC}{PNEC} \quad (۱-۷)$$

در این معادله، MEC غلظت زیست‌محیطی اندازه‌گیری شده (MEC)<sup>۲</sup>، PNEC، غلظت پیش‌بینی شده غیر مؤثر (PNEC)<sup>۳</sup> را نشان می‌دهد.

نسبت ریسک (RQ) یک شاخص برای کمی کردن ریسک محیط‌زیستی مواد شیمیایی است که مستلزم مقایسه غلظت آلاینده در محیط‌زیست با غلظتی از آلاینده است که باید از عدم اثرات شدید بر موجود زنده هدف بر اساس داده‌های تجربی اطمینان حاصل کرد [۵۱].

زمانی که تحلیل ریسک برای محیط‌های آبی انجام می‌شود، ارزیابی غلظت شناسایی شده در محیط‌زیست و سمیت حاد آلاینده‌های نوظهور برای جانداران آبی برحسب تعیین نسبت ریسک (RQ) ضروری است.

مقدار غلظت پیش‌بینی شده غیر مؤثر (PNEC) از تقسیم مقدار سمیت حاد (کوتاه‌مدت) یا مزمن (بلندمدت) بر فاکتور ارزیابی (AF)<sup>۴</sup> به دست می‌آید. سمیت حاد را می‌توان به‌عنوان میانه غلظت کشنده (LC50) یا میانگین غلظت مؤثر (EC50)<sup>۵</sup> در نظر گرفت که در آن فاکتور ارزیابی برابر ۱۰۰۰ است (AF = 1000). سمیت مزمن بر اساس غلظت مؤثر غیرقابل مشاهده (NOEC)<sup>۶</sup> ارائه می‌شود که در آن فاکتور ارزیابی (AF) می‌تواند ۱۰۰، ۵۰ و ۱۰ باشد که این اعداد به ترازهای غذایی<sup>۷</sup> بستگی دارد. بر این اساس، میزان ریسک زمانی که مقدار RQ کوچک‌تر یا مساوی ۱/۰ (RQ ≤ 0.1) باشد، ریسک کم، زمانی که RQ بین ۱/۰ و ۱ (0.1 < RQ < 1) باشد، ریسک متوسط و زمانی که مقدار RQ مساوی یا بزرگ‌تر از ۱ (RQ ≥ 1) باشد، با ریسک بالا طبقه‌بندی می‌شود.

نسبت ریسک (RQ) محاسبه شده با استفاده از معادله (۱-۷) میزان سمیت آلاینده‌های نوظهور را بر اساس غلظت اندازه‌گیری شده در محیط‌زیست نشان می‌دهد، اما تغییرات در غلظت را در طول زمانی که جانداران آبی در معرض

۱- Risk quotient

۲- Measured environmental concentration

۳- Predicted no-effect concentration

۴- Assessment Factor

۵- Effective concentration

۶- No observable effect concentration

۷- Trophic levels

غلظت مواد سمی در بالاتر از محدوده‌های قابل تحمل قرار دارند، به‌ویژه برای ترکیباتی که به‌صورت طولانی‌مدت در منابع آب حضور دارند را در نظر نمی‌گیرد. در چنین شرایطی، مشکل تحلیل ریسک برای فراوانی آلاینده‌های نوظهور، به‌ویژه آلاینده‌های نوظهوری که بعضاً مشاهده می‌شوند، وجود دارد که در این خصوص می‌توان به بررسی فاکتور فراوانی در محاسبه نسبت ریسک (RQ) اشاره کرد.

برای رویارویی با این مشکل، Zhou و همکاران نسبت ریسک جدید یا نسبت ریسک مبتنی بر فراوانی (RQf)<sup>۱</sup> را بر اساس میانگین مقدار نسبت ریسک (RQ) و فراوانی غلظت زیست‌محیطی اندازه‌گیری شده (MEC) بیش از غلظت پیش‌بینی شده غیر مؤثر (PNEC) و کاربرد آن را در ارزیابی ریسک‌های بالقوه ناشی از مواد شناسایی شده را پیشنهاد دادند. مقدار نسبت ریسک جدید (RQf) را می‌توان بر اساس معادله‌های ۲-۷ و ۳-۷ محاسبه کرد:

$$RQf = RQ \times F = \frac{MEC}{PNEC} \times F \quad (۲-۷)$$

$$F = \frac{NO_1}{NO_2} \quad (۳-۷)$$

در این معادله، RQf، مبین نسبت ریسک مبتنی بر فراوانی است، در حقیقت این ریسک، نسبت ریسک بهینه شده پس از فراوانی غلظت زیست‌محیطی اندازه‌گیری شده (MEC) است که بیش‌تر از غلظت پیش‌بینی‌شده غیر مؤثر (PNEC) در نظر گرفته شده بود، F نیز فراوانی غلظت‌های زیست‌محیطی اندازه‌گیری شده (MECs) بیش‌تر از غلظت‌های پیش‌بینی‌شده غیر مؤثر (PNECs) است، NO1 تعداد نمونه‌های با غلظت‌های بیش از غلظت‌های پیش‌بینی‌شده غیر مؤثر (PNECs)، NO2 نیز مجموع کل نمونه‌ها را نشان می‌دهد. بر این اساس، نسبت ریسک مبتنی بر فراوانی (RQf) در ۵ گروه طبقه‌بندی می‌شوند این طبقات در جدول (۱-۷) نشان داده شده است.

جدول ۱-۷- توصیف و طبقه‌بندی ریسک بر اساس نسبت ریسک مبتنی بر فراوانی (RQf)

| توصیف ریسک                               | دامنه تغییرات مقادیر نسبت ریسک مبتنی بر فراوانی (RQf) |
|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| ریسک زیست‌محیطی زیاد                     | $RQf \geq 1$                                          |
| ریسک زیست‌محیطی متوسط                    | $1 > RQf \geq 0.1$                                    |
| اثرات شدید با مقیاس خرد (ریسک قابل تحمل) | $0.1 > RQf \geq 0.01$                                 |
| ریسک محدود (ریسک قابل اغماض)             | $0.01 > RQf > 0$                                      |
| بدون ریسک (ایمن)                         | $RQf = 0$                                             |

ارزیابی ریسک سلامت انسان در رابطه با آلاینده‌های نوظهور بر اساس واکنش‌های برخی گونه‌های بیولوژیکی مبتنی بر رابطه دوز - واکنش برای دامنه خاصی از غلظت‌های آلاینده‌های نوظهور انجام می‌شود. گرچه اثرات آلاینده‌های نوظهور بر انسان کاملاً شناخته شده نمی‌باشد، اما اثرات شدید بر سلامت انسان‌ها با استفاده مدل‌هایی کمی سازی می‌شود. این مدل‌ها باید به‌منظور تخمین کمی‌توانایی آلاینده‌های نوظهور برای ایجاد تغییرات در سلامت انسان‌ها و انواع

ریسک‌های معنی‌دار و مهم اعتبار سنجی شوند [۵۲]. ریسک بهداشتی غیرسرطان‌زایی ناشی از جذب آلاینده‌های نوظهور را می‌توان با استفاده از شاخص مخاطره (HI)<sup>۱</sup> ارزیابی کرد و آن را برای مسیرهای تماس مختلف (مانند بلع، خوردن، تماس پوستی و غیره) محاسبه کرد (معادله ۴-۷).

$$HI_{\text{ingestion}} = \frac{CDI_{\text{ingestion}}}{RfD} \quad (۴-۷)$$

در این معادله، CDI، میزان جذب حاد روزانه (CDI)<sup>۲</sup> آلاینده‌های نوظهور از طریق خوردن برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز (mg/(kgday)) و RfD نیز دوز مرجع (RfD)<sup>۳</sup> برای آلاینده‌های نوظهور برحسب میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن در روز (mg/(kg day)) را نشان می‌دهد. بر این اساس برای شاخص مخاطره (HI) بیش‌تر از ۱ (HI > 1)، اثرات سلامتی و بهداشتی شدید می‌تواند روی دهد، درحالی‌که برای شاخص مخاطره (HI) کم‌تر از یک (HI < 1) اثرات معنی‌دار و مهم نمی‌باشند. بر این اساس، مقدار میزان جذب حاد روزانه (CDI) را می‌توان بر اساس معادله ۵-۷ تخمین زد.

$$CDI = \frac{C \times IR \times EF \times ED}{BW \times AT} \quad (۵-۷)$$

در این معادله، C غلظت آلاینده نوظهور را در آب، IR، میانگین نرخ جذب آب آلوده (بر اساس ۱/۴۱ لیتر در روز برای یک فرد بالغ و ۰/۸۷ لیتر در روز برای یک کودک تعیین شده است)، EF، فراوانی تماس (۳۶۵ روز در سال)، ED، دوره تماس (۷۰ سال برای یک فرد بالغ، ۶ سال برای یک کودک)، BW، وزن بدن (۷۰ کیلوگرم برای یک فرد بالغ، ۲۰ کیلوگرم برای یک کودک)، AT، نیز میانگین طول عمر (۲۵۵۵۰ روز برای بزرگسالان، ۲۱۹۰ روز برای کودکان). به این ترتیب دوز مرجع (RfD) را می‌توان بر اساس معادله ۶-۷ محاسبه کرد:

$$RfD = LD_{50} \times 4 \times 10^{-5} \quad (۶-۷)$$

شایان ذکر است که در بیش‌تر موارد، تماس افراد با آلاینده‌ها صرفاً به یک نوع آلاینده محدود نمی‌شود، بلکه این تماس با ترکیبی از آلاینده‌ها رخ می‌دهد. به همین دلیل، پژوهشگران روش‌هایی را برای ارزیابی ریسک‌های بهداشتی ناشی از تماس با مجموعه‌ای از آلاینده‌ها را بسط و توسعه داده‌اند. بر این اساس، پتانسیل کل ریسک‌های تماس با مواد شیمیایی و آلاینده‌های غیرسرطان‌زای ناشی از مسیرهای مختلف تماس را می‌توان با استفاده از شاخص مخاطره تجمعی (HICum)<sup>۴</sup> با استفاده از معادله ۷-۷ ارزیابی کرد [۵۴].

$$HI_{\text{cum}} = \sum (HI_{\text{ingestion}} + HI_{\text{derm}}) \quad (۷-۷)$$

۱- Hazard index

۲- Chronic daily intake

۳- Reference dose

۴- Cumulated hazard index

به این ترتیب، برای شاخص مخاطره تجمعی بزرگتر ( $Hicum > 1$ )، اثرات شدید بر سلامت افراد دارد. Fabrega و همکاران (۲۰۱۳) شاخص ریسک یکپارچه آلودگی شیمیایی منابع آب (IRICAP) را محاسبه کردند (معادله ۷-۸) [۵۵].

$$IRICAP = \frac{\sum (\text{غلظت ماده شیمیایی} \times \text{شاخص مخاطره})}{\text{تعداد ماده شیمیایی}} \quad (۷-۸)$$

برای محاسبه شاخص ریسک یکپارچه آلودگی شیمیایی منابع آب (IRICAP)، شاخص مخاطره هر ترکیب شیمیایی در غلظت نرمال شده آن ماده در آب در هر نقطه نمونه برداری ضرب شده و سپس مجموع آن‌ها بر تعداد آلاینده‌های موردنظر تقسیم می‌شود. غلظت‌ها برای هر ماده شیمیایی (بر اساس معادله ۷-۹) و به منظور جلوگیری از تخمین و برآورد بیش از حد برای هر ماده شیمیایی نرمال می‌شود.

$$C_{\text{norm}} = \frac{C_i - C_{\text{min}}}{C_{\text{max}} - C_{\text{min}}} \quad (۷-۹)$$

به منظور کاهش ریسک‌های ناشی از آلاینده‌های نوظهور در محیط زیست و سلامت افراد، گزینه‌های مختلف مدیریت را می‌توان برای تحلیل‌های خاص مورد استفاده قرار داد. این تحلیل‌ها مشخص می‌کنند که هر آلاینده نوظهوری را باید به عنوان یک ریسک غیرقابل پذیرش مورد توجه قرار داد. بر این اساس لازم است تا با استفاده از اقداماتی مانند اتخاذ رویکرد اکولوژی صنعتی و فناوری‌های نوین و پیشرفته محصولات و مواد سازگار با محیط زیست و با قابلیت تجزیه زیستی تولید کرد تا از تولید و انتشار آلاینده‌های نوظهور کاسته شود. به عبارت دیگر باید فناوری‌های تصفیه فاضلاب کارآمد و پیشرفته را به منظور کاهش میزان آلاینده‌های نوظهور توسعه داد.

# فصل ۸

---

---

پایش و ردیابی آلاینده‌های نوظهور از  
آب



در نتیجه افزایش آگاهی‌های جامعه درباره آلاینده‌های نوظهور و تهدیدهایی که این دسته از آلاینده‌ها می‌توانند بر سلامت افراد و محیط‌زیست و به‌ویژه منابع آب به همراه داشته باشند، موضوع شناسایی، پایش و تصفیه این آلاینده‌ها از منابع آب در کانون توجه بسیاری از برنامه‌ریزان محیط‌زیست و منابع آب قرار گرفته است. با توجه به اینکه غلظت این دسته از آلاینده‌ها در محیط‌زیست و منابع آب بسیار پایین است به همین دلیل از یک‌سو شناسایی و پایش این آلاینده‌ها به روش‌های متداول امکان‌پذیر نیست و از سوی دیگر نیز حذف آلاینده‌های نوظهور در منابع آب نیز با روش‌های عادی و متعارف ممکن نمی‌باشد. با توجه به توسعه و استفاده روزافزون این دسته از آلاینده‌ها و انتشار آن‌ها به محیط‌زیست و منابع آب تجدید نظر در شناسایی و حذف آن‌ها از منابع آب اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. به همین دلیل طی سال‌های اخیر روش‌ها و فناوری‌های متعددی برای شناسایی، پایش و حذف این آلاینده‌ها بسط و توسعه پیدا کرده است.

به‌طور سنتی، برنامه‌های پایش زیست‌محیطی آلاینده‌های نوظهور عمدتاً معطوف به ترکیبات آلی، به‌ویژه آلاینده‌های مقاوم به تجزیه و خاصیت تجمع‌زیستی در بافت‌های چربی و آلاینده‌هایی که اثرات سمی شدید دارند، معطوف بوده است که از مهم‌ترین آن‌ها آلاینده‌های آلی پایدار (POPs) کنوانسیون استکهلم (۱۹۹۷) است که در این کنوانسیون بر شناسایی، پایش و حذف ۱۲ آلاینده پایدار تأکید شده بود.

اما به تدریج مشخص شد که ریسک و مخاطرات ناشی از آلاینده‌های نوظهور برای انسان و سایر جانداران صرفاً محدود به این آلاینده نمی‌شود. بررسی‌ها و پژوهش‌های متعدد در سال‌های گذشته نشان داده است که آلاینده‌های آلی طیف گسترده‌ای از مواد و آلاینده‌ها را تشکیل می‌دهند که قبلاً قابل شناسایی نبودند یا اثرات آن‌ها بر انسان و محیط‌زیست و سایر جانداران ناشناخته بودند. بسیاری از این مواد که به‌عنوان آلاینده‌های نوظهور شناخته می‌شوند، در سال‌های اخیر بیش از گذشته مورد توجه قرار گرفته‌اند.

آلاینده‌های نوظهور که ریز آلاینده‌ها<sup>۱</sup> نیز نامیده می‌شوند از منابع مختلفی در محیط‌زیست و منابع آب در نتیجه فعالیت‌های انسانی و همچنین عوامل طبیعی منتشر می‌شوند. همان‌گونه که عنوان شد غلظت این آلاینده‌ها در منابع آب بسیار کم و از چند نانوگرم بر لیتر (ng/L) تا چند میکروگرم بر لیتر (µg/L) متفاوت است [۵۶]. وجود این آلاینده‌ها و شناسایی و حذف این دسته از آلاینده‌ها در آب‌های سطحی، به‌ویژه در زمان‌هایی که از این منابع آب به‌عنوان آب شرب استفاده می‌شود، از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

اولین گام شناسایی برای وجود، انتقال و سرنوشت آلاینده‌های نوظهور در محیط پذیرنده، شناسایی این آلاینده‌ها در محیط‌های پذیرنده مختلف توسط تکنیک‌های آنالیزی دقیق می‌باشد. در مقایسه با سایر آلاینده‌ها و پارامترهای محیط‌زیست به‌ویژه در منابع آب شناسایی آلاینده‌های نوظهور بسیار چالش‌برانگیز است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۳]:

- ۱- تعداد آلاینده‌های نوظهور شناخته شده و محصولات تبدیلی (متابولیت) مرتبط با آن‌ها بسیار زیاد هستند (بیش از ۷۰۰ نوع آلاینده شناسایی شده در اروپا)
  - ۲- به تدریج و با گذشت زمان در نتیجه تغییر و توسعه فناوری‌های مختلف، در فرایندهای تولید، استفاده و مصرف و دفع آلاینده نوظهور تحولاتی رخ می‌دهد، که در نتیجه این تحولات، اطلاعات در مورد حضور، سرنوشت و خطرات آن‌ها در محیط زیست و انسان نیز تغییر می‌کند.
  - ۳- برخی آلاینده‌های نوظهور مانند هورمون‌ها، پیرتروئیدها و حشره‌کش‌های ارگانوفسفره و سایر آلاینده‌های نوظهور مشابه در غلظت‌های فوق‌العاده کم در محیط آبی اثرگذار هستند و غلظت آن‌ها بسیار کم است و به همین دلیل به روش‌های آنالیز و تجهیزات بسیار دقیق با حدود تشخیص غلظت‌های بسیار پایین نیاز دارند.
  - ۴- بسیاری از آلاینده‌های نوظهور خاصیت قطبی زیادی دارند و به دلیل حلالیت زیاد در آب به سختی توسط محلول‌ها یا جاذب‌های غیرقطبی قابل استخراج هستند.
- به‌طور کلی، به دلیل روند کند تجاری شدن تجهیزات آنالیزی و پیچیده بودن جداسازی مخلوطی از آلاینده‌های بسیار قطبی مانند مواد دارویی از محیط‌های پذیرنده مختلف، پژوهش‌ها در این زمینه تا سال ۲۰۰۲ به‌کندی پیش رفت. از سال ۲۰۰۲ سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده پژوهش‌های گسترده‌ای برای شناسایی آلاینده‌های نوظهور در محیط‌های آبی انجام داد و این پژوهش‌ها برای اولین بار ثابت کرد که بسیاری از منابع آبی به طیف وسیعی از آلاینده‌های نوپدید آلوده هستند.
- در آنالیز آلاینده‌های نوظهور در نمونه‌های محیطی با ساختار پیچیده، «آماده‌سازی» نمونه یک مرحله اجتناب‌ناپذیر می‌باشد. مهم‌ترین بخش از فرآیند آماده‌سازی نمونه، استخراج آلاینده‌های هدف از نمونه پیچیده محیطی در یک محلول خالص می‌باشد. بسته به نوع و ماهیت پارامتر اندازه‌گیری باید از ظروف مناسب و استاندارد استفاده شود. پس از نمونه‌برداری و استخراج و فرآوری نمونه‌ها، لازم است تا نمونه‌ها برای آنالیزهای بعدی آماده شوند. پس از شناسایی و تعیین نوع و غلظت آلاینده‌های نوظهور در محیط پذیرنده و به‌ویژه منابع آب، باید هر کدام از آن‌ها تصفیه و حذف شوند تا آب قابل استفاده برای مصارف مختلف از جمله مصارف شرب مناسب باشد. به طور خلاصه برای شناسایی، پایش و حذف و تصفیه آلاینده‌های نوظهور در محیط پذیرنده و به‌ویژه منابع آب باید اقدامات زیر انجام شود.

## ۸-۱- نمونه‌برداری آلاینده‌های نوظهور

تعیین تعداد نمونه‌ها، مکان نمونه‌برداری و روش‌های نمونه‌برداری آب برای شناسایی و پایش آلاینده‌های نوظهور در محیط زیست و منابع آب گام بسیار مهمی در کنترل آلاینده‌های نوظهور است. برای دستیابی به داده‌های معنی‌دار، باید نمونه‌برداری صحیح و رویه‌های ذخیره سازی مناسبی مورد استفاده قرار گیرد. این رویه‌ها ممکن است برای انواع مواد آلاینده متفاوت باشند. در مجموع، جداسازی نمونه‌ها می‌بایست برای تجزیه شیمیایی و زیستی جمع‌آوری شود، زیرا نمونه‌برداری و تکنیک‌های نگهداری به صورت معنی‌داری متفاوت هستند. همواره، هر چقدر فواصل زمانی بین جمع‌آوری

نمونه‌ها و تجزیه آن‌ها کم‌تر با شد، دقت تجزیه نیز بیش‌تر خواهد شد. در حقیقت، تجزیه برخی آلاینده‌ها باید در محل و در مدت چند دقیقه پس از جمع‌آوری نمونه‌ها انجام شود. در بعضی از موارد مانند تعیین درجه حرارت نمونه، باید در محل نمونه‌برداری صورت گیرد. در مدت چند دقیقه پس از جمع‌آوری نمونه، PH آب ممکن است تغییر کند، گازهای محلول (اکسیژن، دی‌اکسید کربن، سولفید هیدروژن و کلر) ممکن است از نمونه خارج شوند یا سایر گازها (اکسیژن، دی‌اکسید کربن) ممکن است جذب اتمسفر شوند. بنابراین، تعیین دما، PH و گازهای محلول همواره باید در محل نمونه‌برداری انجام شود. افزون بر این، ته‌نشینی کربنات کلسیم باعث تغییراتی در رابطه PH - کلیاتیت کربنات کلسیم پس از گردآوری نمونه‌ها می‌شود. تجزیه نمونه پس از موعد مقرر ممکن است باعث شود تا غلظت کلسیم و سختی کل کم‌تر از مقدار واقعی برآورد یا تخمین زده شود.

واکنش‌های اکسایش - احیا ممکن است باعث بروز اشتباهات اساسی در تجزیه نمونه‌ها شود. به عنوان مثال، وقتی که یک نمونه آب فاقد اکسیژن در معرض اکسیژن هوا قرار گیرد، یون‌های آهن (II) و منگنز (II) محلول به یون‌های آهن سه‌ظرفیتی (III) و منگنز پنج ظرفیتی (V) نامحلول اکسید می‌شوند. فعالیت‌های میکروبی ممکن است باعث کاهش مقدار فنل یا اکسیژن مورد نیاز بیوشیمیایی (BOD)، تغییر تعادل بین نیترات - نیتريت - آمونیاک یا تغییر نسبت سولفات و سولفید و سایر آلاینده‌های موجود در آب از جمله آلاینده‌های نوظهور شود. ید و سیانید همواره به راحتی اکسید می‌شوند. کرم (VI) محلول نیز ممکن است به کرم نامحلول (III) احیا شود. سدیم، سیلیس و بور از دیواره مخازن شیشه‌ای خارج می‌شوند.

نمونه‌ها را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم‌بندی کرد. نمونه‌های موضعی (لحظه‌ای)<sup>۱</sup> که در یک زمان و مکان معین برداشت می‌شود. به همین دلیل در این نمونه‌ها، توجه به زمان و مکان نمونه‌برداری بسیار حائز اهمیت است. نمونه‌های ترکیبی یا مختلط<sup>۲</sup> که طی یک دوره زمانی و در مکان‌های مختلف جمع‌آوری می‌شوند. در عمل، میانگین نتایج حاصل از تعداد زیادی از نمونه‌های موضعی (لحظه‌ای) برابر میانگین نمونه‌های ترکیبی است. نمونه ترکیبی دارای این مزیت است که یک تصویر کلان از یک تجزیه ارائه می‌دهند. از سوی دیگر، این احتمال وجود دارد که غلظت و تغییرات مهمی که در طی زمان و مکان رخ می‌دهد، از دست برود [۱۲].

در بیش‌تر موارد در هنگام جمع‌آوری نمونه‌ها از محیط پذیرنده، به‌ویژه برداشت نمونه از محیط آبی برای شناسایی آلاینده‌های نوظهور دقت لازم انجام نمی‌شود. این در حالی است که طراحی نمونه‌برداری مناسب و دقت در برداشت نمونه‌ها در زمره مهم‌ترین برنامه‌های شناسایی و پایش آلاینده‌های نوظهور قلمداد می‌شود. عدم جمع‌آوری مناسب نمونه‌ها می‌تواند به نتایج غلط و گمراه‌کننده‌ای در مراحل بعدی برنامه پایش منتهی گردد. نمونه‌های برداشت‌شده باید نماینده محیط پذیرنده (هوا، آب، رسوبات، جانداران زنده و غیره) باشند و باید عاری از آلودگی‌ها در هنگام برداشت و

۱- Grab samples

۲- Composite samples

انتقال نمونه‌ها برای تجزیه (آنالیز) به آزمایشگاه باشند. جمع‌آوری نمونه‌ها باید توسط کارشناسان خبره و بر اساس پروتکل‌ها و برنامه‌های نمونه‌برداری انجام شود.

یک استراتژی موفق نمونه‌برداری باید بر اساس یک برنامه و پروتکل‌های مدون انجام شود. موضوعات اصلی که باید در طراحی و برنامه‌ریزی نمونه‌برداری انجام شود، شامل اصول زیر است [۵۷]:

- ۱- تعیین اهداف نمونه‌برداری
  - ۲- انتخاب روش مناسب نمونه‌برداری برای دستیابی به نمونه‌های معرف و نماینده
  - ۳- تعیین تعداد نمونه‌هایی که بتوانند حداقل نمونه‌های لازم را برای آنالیز تأمین نمایند
  - ۴- شناسایی و تعیین کنترل کیفیت نمونه‌برداری‌ها به منظور جلوگیری از اعوجاج‌ها در هنگام نمونه‌برداری‌ها
  - ۵- شناسایی اقدامات ایمنی هنگام نمونه‌برداری و رعایت اصول ایمنی
- طرح نمونه‌برداری باید به‌خوبی نمونه‌هایی را که باید برداشت شوند و اندازه و تعداد نمونه‌های لازم برای آنالیز را مشخص نماید. رویه‌های استخراج و فرآوری نمونه‌های مختلف باید برای گروه‌های مختلف آلاینده‌های نوظهور از هم تفکیک شوند. اگر تعداد نمونه‌ها محدود باشد، باید تغییراتی در روش‌های پردازش و فرآوری نمونه‌ها یا طرح نمونه‌برداری انجام شود. در صورت امکان، بازدیدهای میدانی مقدماتی از محل‌های نمونه‌برداری می‌تواند به تعیین نیازهای لجستیکی (پشتیبانی) طرح نمونه‌برداری بسیار کمک نماید.
- مستندسازی بازدید میدانی برای نمونه‌برداری به منظور مشاهدات مستقیم و اندازه‌گیری‌های میدانی برای حفظ یکپارچگی نمونه‌ها از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است، زیرا این کار در تفسیر نهایی و رفع ابهامات برای تجزیه شیمیایی نمونه‌ها بسیار مؤثر است.

بسته به طرح پژوهش و ویژگی‌های مواد شیمیایی و آلاینده‌های موردنظر، اندازه‌گیری پارامترهای کمی و کیفی آب مانند شدت جریان آب، PH، کدورت و سایر پارامترهای مشابه نیز ممکن است موردنیاز باشد. ثبت اطلاعات میدانی باید شامل رویه‌های جمع‌آوری نمونه‌ها، تعیین و مشخص کردن مکان‌های نمونه‌برداری‌ها بر روی نقشه تعیین مختصات مکانی نمونه‌ها با استفاده از GPS، تاریخ و زمان جمع‌آوری نمونه‌ها، انواع روش‌های کنترل کیفیت و نام کارشناس برداشت نمونه‌ها باشد. علاوه بر این، گردآوری اطلاعات بیش‌تر در مورد شرایط آب و هوایی در هنگام نمونه‌برداری، منابع انتشار آلاینده‌ها و کاربری‌های پیرامون محل‌های نمونه‌برداری نیز در تفسیر نهایی داده‌ها بسیار سودمند هستند. عکس‌برداری از محل‌های نمونه‌برداری به‌ویژه برای آن دسته از کارشناسان و پژوهشگران پروژه که با محل‌های نمونه‌برداری و محدوده مطالعات آشنایی ندارند، برای تفسیر داده‌ها و اطلاعات و تهیه گزارش بسیار سودمند می‌باشد.

علاوه بر این، در طراحی جمع‌آوری و برداشت نمونه‌ها باید توازن بین تعداد برداشت نمونه‌ها، دسترسی به محل‌های نمونه‌برداری و هزینه‌ها و میزان عدم قطعیت‌های قابل‌پذیرش اهداف نمونه‌برداری وجود داشته باشد. در هنگام گردآوری نمونه‌ها، بدون توجه به محیط پذیرنده آبی، میزان عدم قطعیت ناشی از نمونه‌برداری، با افزایش تعداد نمونه‌ها، کاهش پیدا می‌کند. برای جمع‌آوری نمونه‌ها می‌توان از روش‌های قضاوت کارشناسی، نظام‌مند و روش تصادفی پیروی کرد [۵۸].

در روش‌های مبتنی بر قضاوت کارشناسی، محل‌های نمونه‌برداری بر اساس نقاط نمونه‌برداری از قبل تعیین شده محل‌های انتشار آلاینده‌های نوظهور انجام می‌شود. در روش نظام‌مند محل‌های نمونه‌برداری بر اساس الگوهای شبکه‌ای سازگار مشخص می‌گردد. در روش انتخاب تصادفی، محل‌های نمونه‌برداری از قبل مشخص نبوده و به برداشت تعداد زیادی نمونه نیاز است. این روش به دلیل بالا بودن تعداد برداشت نمونه‌ها، با کم‌ترین عدم قطعیت مواجه است.

فارغ از نوع روش‌های نمونه‌برداری از محیط پذیرنده، حفاظت و نگهداری نمونه‌ها، شرایط نگهداری، زمان نمونه‌برداری و روش‌های حمل و انتقال نمونه‌ها برای تجزیه در آزمایشگاه نیز از اهمیت زیادی برخوردار است. نمونه‌ها باید با استفاده از تجهیزات نمونه‌برداری فلزی، استیل، آلومینیوم، شیشه‌ای پلیمرهای فلوروکربنی نمونه‌برداری شود. برای نمونه‌برداری، استفاده از ظروف نمونه‌برداری پلی‌اتیلن، لاستیکی، لوله‌ها و شیلنگ‌های تیگون<sup>۱</sup> و سایر ظروف پلاستیکی توصیه نمی‌شود، زیرا ظروف ساخته شده از این مواد ممکن است آلاینده‌های نوظهور موردنظر را به خود جذب نمایند. از آنجایی که در بیش‌تر موارد نرم‌کننده‌ها و مواد ضد آتش در زمره آلاینده‌های نوظهور هدف مطالعه می‌باشند، در نتیجه از ظروف نمونه‌برداری پلاستیکی نباید استفاده کرد، زیرا چنین ظروفی خود حاوی این مواد شیمیایی هستند. در بیش‌تر موارد برای نگهداری نمونه‌های شیمیایی مختلف آب، مواد شیمیایی خاصی به آب اضافه می‌کنند، اما عموماً برای آلاینده‌های نوظهور این کار توصیه نمی‌شود. اگر باقیمانده کلر با غلظت نسبتاً زیاد در نمونه آب وجود داشته باشد، اغلب سدیم تیوسولفات رای جلوگیری از تشکیل محصولات جانبی حاوی کلر به نمونه برداشت شده اضافه می‌شود. همچنین برای جلوگیری از تغییر ماهیت نمونه‌های برداشت شده، نمونه‌ها باید در دمای مناسب و خنک (کم‌تر از ۴ تا ۶ سانتی‌گراد) حمل شوند. اگر نمونه‌های آلاینده‌های نوظهور نسبتاً به اشعه‌های فرابنفش حساس هستند، نمونه‌ها باید در شب به آزمایشگاه تجزیه منتقل گردند. برای جلوگیری از تجزیه نوری نمونه‌ها باید از بطری‌های رنگی برای انتقال نمونه‌ها استفاده کرد.

شایان ذکر است که چارچوب مشخص و سریعی برای تعیین اندازه نمونه‌ها وجود ندارد. به همین دلیل، اندازه نمونه‌ها بسیار متغیر است. به عنوان مثال، اندازه نمونه‌ها ممکن است ۰.۱٪، ۰.۵٪، ۱.۰٪، ۲.۵٪، ۵.۰٪ و حتی بیش‌تر باشد که این اندازه به شرایط بستگی دارد. بنابراین، هرچقدر اندازه نمونه‌ها بیش‌تر (بزرگ‌تر) باشد، در این صورت، دقت و اطمینان آن‌ها نیز بیش‌تر خواهد شد، اما باید توجه کرد که مقدار هزینه‌ها با افزایش اندازه نمونه‌ها افزایش پیدا می‌کند. بنابراین، باید توازن بین هزینه‌ها و دقت وجود داشته باشد. نکته اصلی این است که تعداد نمونه‌ها باید در حداقل ممکن انتخاب شوند و این انتخاب نیز باید به صورت تصادفی انجام شود. در این صورت، تمامی اعضای جمعیت یا جامعه موردبررسی شانس مساوی برای انتخاب شدن دارند و نمونه معرف کل جمعیت یا وضعیت خواهد بود. برای اینکه نمونه‌ها، معرف جمعیت باشند باید از روش‌ها یا تکنیک‌های نمونه‌برداری مناسب پیروی کرد. از مهم‌ترین روش‌های نمونه‌برداری می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ۱- **نمونه‌برداری تصادفی<sup>۱</sup>:** این روش یکی از متداول‌ترین روش‌هاست. در این روش نمونه‌ها در هر مرحله در یک جامعه به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و همه مکان‌های نمونه‌برداری شانس مساوی برای انتخاب شدن دارند. به عنوان مثال، می‌توان به انتخاب ۱۰۰ عدد ماهی آلوده به آلاینده‌های نوظهور به صورت تصادفی بدون هرگونه تمایز قائل شدن در اندازه، رنگ یا هر صفت (ویژگی) دیگر از یک مخزن آب دارای ۵۰۰ عدد ماهی برای اندازه‌گیری وزن و طول همه ماهی‌ها اشاره کرد. نمونه‌برداری تصادفی باید برای هر تکرار، گروه یا طبقه از کل سامانه آزمایشی انجام شود.
- ۲- **نمونه‌برداری سیستماتیک<sup>۲</sup>:** این شیوه نمونه‌برداری در فواصل زمانی معین انجام می‌شود. به عنوان مثال، می‌توان به پایش دمای آب و اکسیژن محلول در ساعت ۶ صبح و ۳ بعد از ظهر اشاره کرد. یعنی زمانی که درجه حرارت و اکسیژن محلول به ترتیب در حداقل و حداکثر غلظت خود برای بررسی زمان‌های بحرانی قرار دارند.
- ۳- **نمونه‌برداری طبقه‌بندی<sup>۳</sup>:** این روش معرف نمونه‌برداری از تمامی طبقات یا گروه‌هاست. به عنوان مثال، می‌توان به یک نمونه از هر کلاس با اندازه‌های گروه بزرگ، متوسط و کوچک یک ماهی آلوده، برای معرفی تمامی جمعیتی که دارای اندازه‌های مختلف هستند، اشاره کرد. هنگامی که داده‌ها را تجزیه می‌شود، گروه عامل<sup>۴</sup> را می‌توان به صورت بلوک در نظر گرفت.
- ۴- **نمونه‌برداری خوشه‌ای<sup>۵</sup>:** در این روش ابتدا گروه‌ها یا خوشه‌های معینی برای حذف نمونه‌های غیرضروری انتخاب می‌شوند. در مرحله بعد، انتخاب تصادفی در داخل هر خوشه انجام می‌شود. به عنوان مثال، می‌توان به انتخاب ۵ استان در ایران به عنوان نماینده (معرف) از ۳۱ استان کشور برای مطالعه بررسی غلظت آلاینده‌های نوظهور در ماهیان پشت سدهای ذخیره آب و سپس انتخاب تصادفی ۱۰ سد ذخیره از هر استان برای مصاحبه اشاره کرد.
- ۵- **نمونه‌برداری چندمرحله‌ای<sup>۶</sup>:** وقتی که جامعه یا جمعیتی خیلی بزرگ باشد، نمونه‌برداری به جای اینکه فقط یک‌بار انجام شود، باید در چندین نوبت انجام شود. شکل (۸-۱) نشان می‌دهد که اولین نمونه‌برداری، نمونه‌برداری تصادفی است. در مرحله دوم، نمونه‌ها را می‌توان از دو سمت مخالف (بالا و پایین) از ۴ قسمت دایره انتخاب کرد. سپس در مرحله سوم دوباره نمونه‌ها در دو سمت مخالف (چپ و راست)، می‌توانند نمونه‌های خوبی باشند.

---

۱- Random sampling

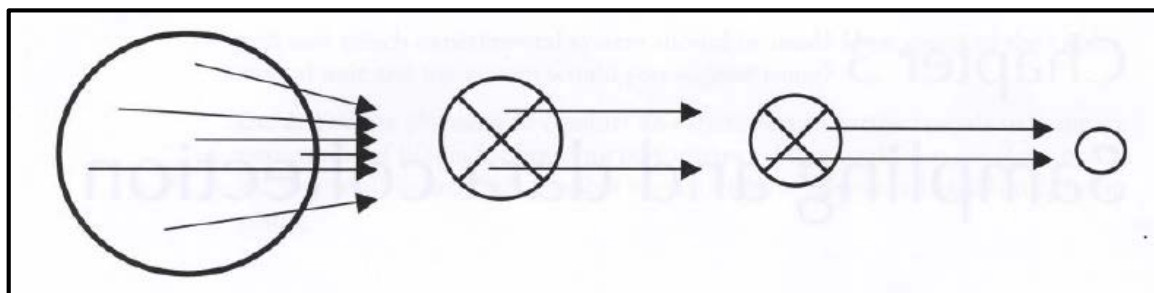
۲- Systematic sampling

۳- Stratified sampling

۴- Factor group

۵- Cluster sampling

۶- Multistage sampling



شکل ۸-۱- نمونه‌برداری سه مرحله‌ای

### ۸-۱-۱- تکنیک‌های نمونه‌برداری

#### ۸-۱-۱-۱- تکنیک‌های نمونه‌برداری سنتی

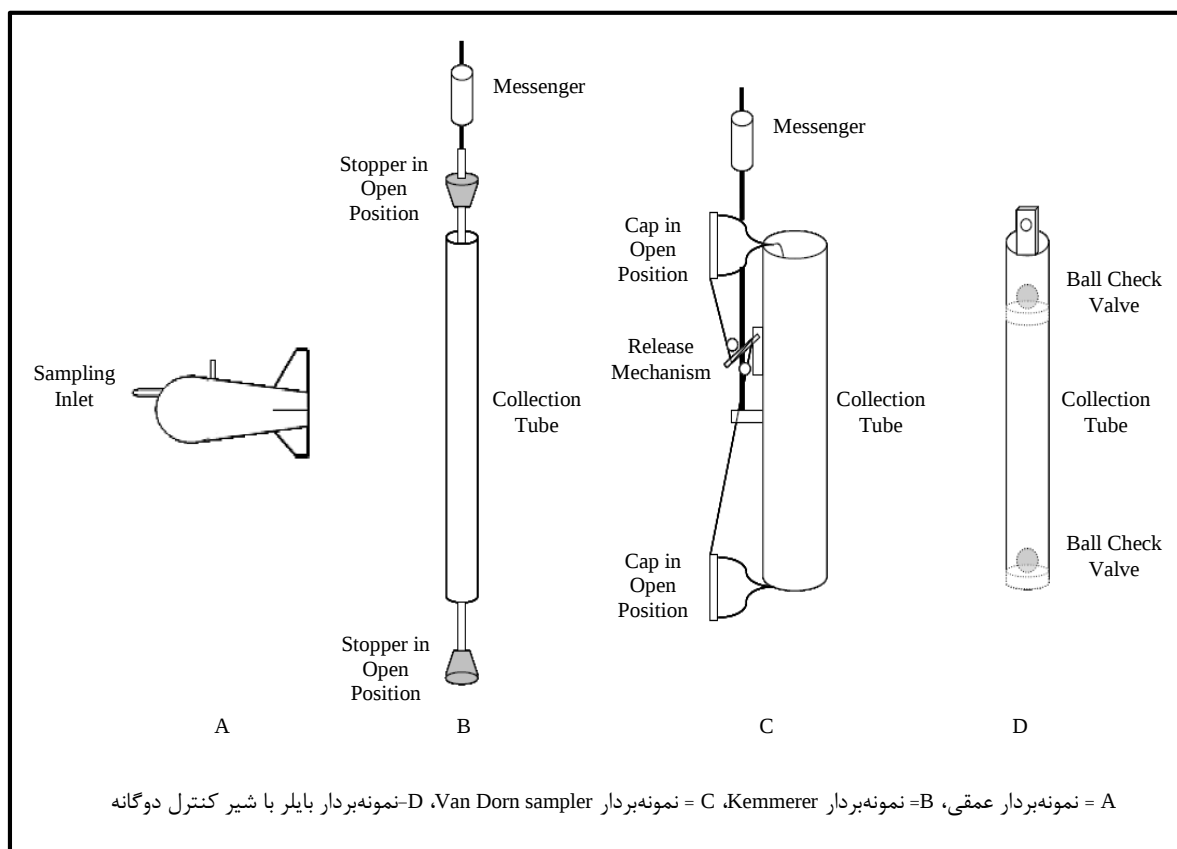
نمونه‌های آب یک ماده ناهمگن از نظر مکانی و زمانی است. اختلاط و توزیع مواد شیمیایی موجود در منابع آب تحت تأثیر جریان‌های هیدرودینامیکی آب، ضرایب جذب مواد شیمیایی موجود در آب و میزان مواد آلی در آن (رسوبات معلق، کلوئیدها و کربن آلی محلول) بستگی دارد. لایه‌بندی حرارتی ناشی از تغییرات در دما، جریان آب و ترکیب آب نیز ممکن است در دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها روی دهد که این پدیده باعث تغییرات شدیدی در غلظت مواد شیمیایی در عمق می‌شود. با توجه به اینکه انواع مواد آلاینده نوظهور از طریق رواناب‌ها و نشت این مواد و همچنین انتشار از منابع نقطه‌ای ممکن است باعث افزایش غلظت این مواد در بخش‌های مختلف منابع آب شود، لذا انتخاب محل‌های مناسب نمونه‌برداری از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است.

#### الف- آب‌های سطحی

متداول‌ترین روش برای جمع‌آوری نمونه از آب‌های سطحی، برداشت نمونه‌های نقطه (لحظه‌ای)<sup>۱</sup> است. این کار ممکن است مستلزم برداشت نمونه‌های ساده یا مختلط از طول و نیم‌رخ عمق دریاچه باشد. جمع‌آوری نمونه‌ها و انتقال نمونه‌ها به ظرف نمونه‌برداری ساده‌ترین روش به‌ویژه در منابع آب و رودخانه‌های کوچک است.

در آب‌های عمیق‌تر مانند دریاچه‌ها و سدهای ذخیره آب، نمونه‌ها اغلب با استفاده از تجهیزات نمونه‌برداری بایر یا thief برداشت می‌شوند. از انواع نمونه‌برداری متداول می‌توان به نمونه‌بردارهای Van Dorn، Kemmerer و بایر با شیر دوگانه اشاره کرد (شکل ۸-۲). همه این تجهیزات نمونه‌برداری دارای یک لوله یا یک بطری است که نمونه‌های آب در آن وارد می‌شوند. ظرف نمونه‌های برداشت شده دارای یک پوشش یا شیرهای کنترل است که پس از نمونه‌برداری خودبه‌خود بسته می‌شود. این نوع از تجهیزات نمونه‌برداری برای جمع‌آوری نمونه‌های منفصل و ناپیوسته از اعماق مختلف آب بسیار سودمند هستند.

۱- Snap sample , Spot sample , Grab sample



شکل ۸-۲- انواع متداول تجهیزات نمونه‌بردار برای جمع‌آوری نمونه از آب‌های سطحی

سامانه‌های نمونه‌برداری اتوماتیک (خودکار) برای نمونه‌برداری از آب‌های سطحی (مانند نمونه‌برداری از فاضلاب‌ها، رواناب‌ها، رودخانه‌ها و غیره) نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این نوع از نمونه‌برداری عموماً در جاهایی انجام می‌شود که جریان آب موقت است و نمونه‌های مختلط باید در طول زمان برداشت شوند. این نوع از نمونه‌برداری‌ها را می‌توان در فواصل زمانی مشخص و با استفاده از سنسور (سنجنده) خارجی مانند دستگاه جریان‌سنج و عمق سنج انجام داد. این نوع از سامانه‌های نمونه‌برداری دارای یک پمپ است که نمونه آب را جمع‌آوری و به مخزن نگهداری نمونه منتقل می‌کند. این سامانه نمونه‌برداری پیچیده می‌تواند نمونه‌های مختلط را نیز جمع‌آوری کند. نوع پیشرفته‌تر این نوع از سامانه‌های نمونه‌برداری اتاقک خنک‌کننده نمونه است و می‌تواند داده‌های برداشت‌شده را به‌صورت خودکار و پیوسته به سامانه کامپیوتر مرکزی یا تلفن موبایل ارسال نماید.

#### ب- آب‌های زیرزمینی

نمونه‌های آب‌های زیرزمینی عموماً از چاه‌های موجود یا چاه‌های پایش برداشت می‌شوند. روش نمونه‌برداری آب‌های زیرزمینی بسته به عمق و اندازه چاه متفاوت است. با توجه به اینکه عموماً چاه پایش کوچک هستند، در نتیجه نمونه‌برداری از آن‌ها با فراوانی کم‌تری انجام می‌شود. همان تجهیزات نمونه‌برداری که برای نمونه‌برداری از آب‌های

سطحی استفاده می‌شود، برای نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی نیز می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. همچنین از پمپ‌های کوچک قابل حمل نیز می‌توان نمونه‌های لازم را از چاه‌های پایش جمع‌آوری کرد.

#### ۸-۱-۱-۲- تکنیک‌های نمونه‌برداری عمقی - لحظه‌ای (غیرفعال)<sup>۱</sup>

با توجه به اینکه همواره غلظت‌های میانگین وزنی لحظه‌ای (TWA)<sup>۲</sup> مواد شیمیایی برای تعیین میزان تماس مورد استفاده قرار می‌گیرد، به همین دلیل این شاخص بخش اساسی فرایند ارزیابی ریسک برای عوامل تنش‌زای شیمیایی را تشکیل می‌دهد [۵۹]. از آنجایی که نمونه‌های لحظه‌ای غلظت مواد شیمیایی یا آلاینده نوظهور موردنظر را در لحظه نمونه‌برداری نشان می‌دهند، در نتیجه، تخمین دقیق غلظت‌های میانگین وزنی لحظه‌ای (TWA) حتی با نمونه‌برداری‌های تکراری مشکل است. همچنین، اغلب نیز رخداد‌های غیرمترقبه باعث قطع جریان نمونه‌برداری لحظه‌ای مستمر می‌شوند. علاوه بر این، شناسایی غلظت‌های پایین آلاینده‌های نوظهور نیز ممکن است مشکل و چالش‌برانگیز باشد، زیرا روش‌های استاندارد برای جمع‌آوری حجم نمونه‌های آب (کم‌تر از ۵ لیتر) طراحی می‌شوند. تجهیزات نمونه‌برداری غیرفعال گزینه‌ها و امکانات را برای نمونه‌برداری لحظه‌ای ارائه می‌کنند که با استفاده از آن‌ها می‌توان به بسیاری از این محدودیت‌ها در مقایسه با روش‌های سنتی فائق شد.

کاربرد مناسب از تجهیزات پایش یا دزیومتر (اشعه سنج) برای تعیین غلظت‌های میانگین وزنی لحظه‌ای (TWA) مواد شیمیایی برای اندازه‌گیری تماس با این مواد در محل کار، نقش بسیار مهمی در کاربرد همین اصول برای سنجش آلاینده‌های آلی محلول در آب دارد. از تجهیزات نمونه‌برداری کامل‌تر نیز می‌توان استفاده کرد که این موضوع به طراحی آن‌ها، زمان تماس در محل و ویژگی‌های مواد شیمیایی مورد بررسی بستگی دارد. دستگاه نمونه‌بردار پیشرفته (یکپارچه) دارای مخازن بزرگ‌تر جهت نگهداری نمونه‌های برداشت شده هستند و از دقت بیشتری برخوردار بوده و تغییرات در غلظت ناشی از رخداد‌های غیرمترقبه را ثبت می‌کنند. به همین دلیل استفاده و کاربرد دستگاه نمونه‌بردار یکپارچه برای تعیین غلظت‌های میانگین وزنی لحظه‌ای (TWA) مواد شیمیایی ضروری است.

تجهیزات نمونه‌برداری Equilibrium از ظرفیت کم‌تری برای نگهداری نمونه‌های مواد شیمیایی برخوردار بوده و میزان اتلاف مواد شیمیایی در آن‌ها زیاد است. با این وجود سادگی این دستگاه برای استفاده و نمونه‌برداری باعث شده است تا گزینه جذابی برای نمونه‌برداری محسوب شود.

#### الف- آب‌های سطحی

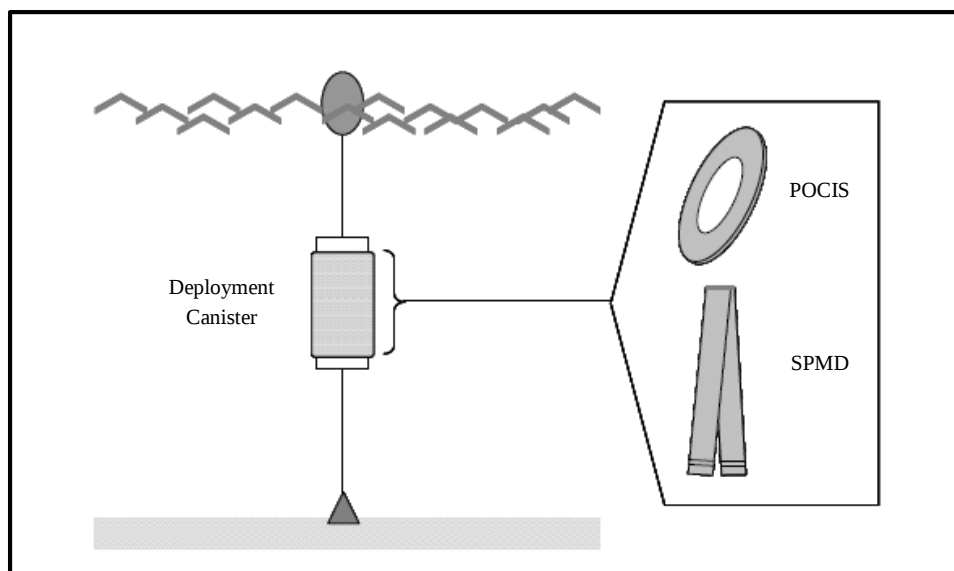
کاربرد عمده نمونه‌برداری غیرفعال پایش تماس آلاینده‌ها برای تعیین میزان تماس برای ایمنی و سلامت کارکنان در محل کار، برای نمونه‌برداری از آب‌های سطحی نیز مناسب است. طی سال‌های اخیر انواع مختلفی از تجهیزات

۱- Time-Integrated (Passive) Sampling Techniques

۲- time-weighted average

نمونه‌برداری غیرفعال برای نمونه‌برداری مواد شیمیایی آلی موجود در آب توسعه پیدا کرده است. از مهم‌ترین این دسته از تجهیزات نمونه‌برداری می‌توان به دستگاه نمونه‌برداری نیمه تراو (SPMD)<sup>۱</sup>، دستگاه‌های نمونه‌برداری یکپارچه مواد شیمیایی آلی قطبی (POCIS)<sup>۲</sup>، Chemcatchers، نمونه‌بردارهای نواری پلی‌اتیلن، نمونه‌بردارهای شیشه با پوشش پلیمری، دستگاه‌های استخراج فاز جامد (SPME)<sup>۳</sup> اشاره کرد. دستگاه نمونه‌برداری غیرفعال نیمه تراو (SPMD) و دستگاه‌های نمونه‌برداری یکپارچه مواد شیمیایی آلی قطبی (POCIS) به‌صورت گسترده‌ای برای اندازه‌گیری آلاینده‌های نوظهور در آب‌های سطحی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل (۸-۳).

دستگاه نمونه‌برداری غیرفعال نیمه تراو (SPMD) دارای لوله‌هایی با غشاء پلی‌اتیلن است که حاوی مواد چربی خنثی مانند تری‌ولین است.



شکل ۸-۳- دستگاه‌های نمونه‌برداری غیرفعال برای اندازه‌گیری آلاینده‌های نوظهور در ستون آب. دستگاه‌های نمونه‌برداری یکپارچه مواد شیمیایی آلی قطبی (POCIS) و دستگاه نمونه‌برداری غیرفعال نیمه تراو (SPMD) با محفظه حفاظتی

#### ب- آب‌های زیرزمینی

نمونه‌بردارهای غیرفعالی که کم‌ترین تأثیر را بر گردش آب و لایه‌بندی حرارتی آن در یک چاه آب دارند، بهتر از تکنیک و روش‌های نمونه‌برداری از آب‌های زیرزمینی هستند. تجهیزات نمونه‌برداری مبتنی بر سنجش آلاینده‌های نوظهور غیرنقطه‌ای به‌صورت گسترده‌ای برای پایش ترکیبات آلی فرار (VOCs) از اوایل دهه ۱۹۹۰ مورد استفاده قرار گرفته‌اند. همواره بیش‌تر نمونه‌برداری‌های غیرفعال در آب‌های زیرزمینی بر اندازه‌گیری ترکیبات آلی فرار (VOCs) تأکید دارند. استفاده از دستگاه نمونه‌برداری غیرفعال مانند دستگاه نمونه‌برداری غیرفعال نیمه تراو (SPMD) که از ظرفیت زیاد برخوردار است، در آب‌های زیرزمینی با جریان پایین محدودتر است. اگر حجم مبادله چاه آب کم‌تر از حجم آزاد دستگاه

۱- Semipermeable membrane devices

۲- Polar organic chemical integrative samplers

۳- Solid-phase microextraction

نمونه‌بردار غیرفعال نیمه تراوا (SPMD) با شد، در این صورت نمونه شیمیایی ممکن است از دست برود که این پدیده تعادل بین رسوب و آب را تغییر می‌دهد. البته با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار غیرفعال نیمه تراوا (SPMD) کوچک‌تر یا استفاده از دستگاه نمونه‌بردار غیرفعال دیگر می‌توان از بروز این مشکل جلوگیری کرد.

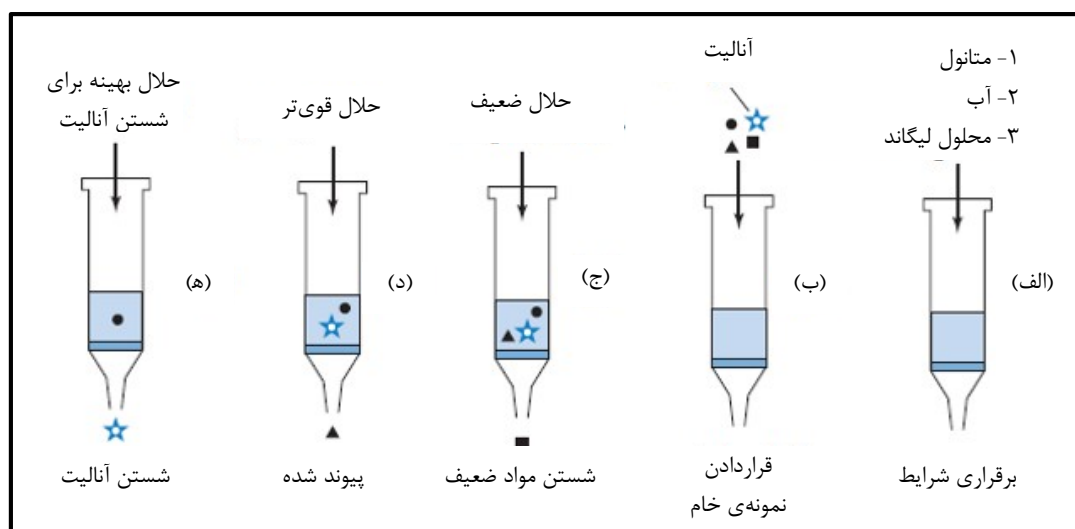
## ۸-۲- استخراج نمونه‌های آلاینده نوظهور

همان‌گونه که عنوان شد، آلاینده‌های نوظهور عموماً با غلظت‌های بسیار کم در منابع آب وجود دارند و به همین دلیل به فرایند استخراج نیاز دارند که به آن استخراج فاز جامد (SPE)<sup>۱</sup> گفته می‌شود. استخراج فاز جامد (SPE) یک فرایند جداسازی است. در این روش یکی از اجزا بر اساس خواص فیزیکی یا شیمیایی آن در حلال حل‌شده یا به‌صورت سوسپانسیون در می‌آید. از این روش در آزمایشگاه‌های شیمی تجزیه برای تغلیظ و جداسازی نمونه‌ها برای آزمایش استفاده می‌شود. همچنین، از این روش در جداسازی اجزای خون، ادرار، آلاینده‌های آلی موجود در آب و خاک استفاده می‌شود. به‌علاوه این روش برای تغلیظ نمونه‌های برداشت‌شده جهت تجزیه (آنالیز) ضروری است و به همین دلیل توسط پژوهشگران مختلف در جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش بر اساس دستورالعمل A ۳۵۳۵ انجام می‌شود [۶۰].

بر اساس این روش، آماده‌سازی نمونه‌ها با مقاصد گوناگون برای حذف مواد مزاحم و به‌منظور تغلیظ آنالیت‌ها، نمک‌زدایی و ذخیره و حمل نمونه‌ها انجام می‌شود. دستورالعمل‌های استخراج فاز جامد (SPE) برای استخراج نمونه‌ها، مانند آنالیت‌های آلی است که شامل آماده‌سازی نمونه، تعدیل PH، راه‌اندازی و تنظیم دستگاه استخراج است و اطلاعات در مورد غلظت استخراج همواره برای همه آنالیت‌های موردنظر به کار می‌رود. با توجه به مراحل کلی استخراج فاز جامد (SPE)، این شیوه همچنان به‌عنوان مهم‌ترین تکنیک برای آماده‌سازی نمونه‌ها، پیش از تجزیه کروماتوگرافی (رنگ سنجی) آلاینده‌های نوظهور قلمداد می‌شود. روش استخراج فاز جامد (SPE) نه‌تنها به دلیل کاهش نیاز به حلال‌ها توسعه پیدا کرده است، بلکه این شیوه به دلیل بهبود و تسهیل آماده‌سازی سریع نمونه‌ها کمک زیادی کرده است [۶۰].

در شکل (۸-۴)، مراحل استخراج فاز جامد با استفاده از کارتریج نشان داده شده است. ابتدا حدود ۴۰ میلی‌لیتر از بستر جاذب خام، برای مثال، سیلیکای C۱۸، به درون کارتریج ریخته شده و با حدود ۲ میلی‌لیتر متانول، برای حذف مواد آلی، یا سایر مواد آلاینده، جذب‌شده، شسته می‌شود. سپس، ستون با آب یون‌زدایی شده شسته شده و وزن بهینه لیگاند موردنظر در حلال مناسب حل شده و از بستر عبور داده می‌شود تا لیگاند بر روی بستر جامد قرار داده شود. اگر لیگاند رنگی باشد و پس از عبور از بستر، محلول باز هم رنگی باشد، چند قطره آب به آن اضافه شده و مجدداً از بستر عبور داده می‌شود. این عمل چند بار تکرار شده تا محلول عبور کرده از بستر جامد دیگر رنگی نباشد یا رنگ آن بسیار ضعیف شده باشد. بعد از اینکه فاز جامد اصلاح‌شده با لیگاند، کمی خشک شد، محلول نمونه که دارای آنالیت و سایر اجزا است، با سرعت بهینه از آن عبور می‌کند. برخی از اجزای نمونه، بدون برهمکنش با فاز جامد، از آن عبور می‌کنند، یعنی

با لیگاند کمپلکس نمی‌دهند. ولی، آنالیت و برخی دیگر از اجزای نمونه که با لیگاند کمپلکس می‌دهند، به فاز جامد متصل می‌شوند. ستون اصلاح شده، ابتدا با حلال ضعیف، برای حذف گونه‌های آغشته کننده فاز جامد و سپس با حلال قوی‌تر، برای حذف گونه‌هایی که کمپلکس ضعیف با لیگاند داده‌اند، شسته می‌شود. در نهایت، ستون با حلال بهینه شسته می‌شود، تا آنالیت آزاد شده و با روش تجزیه‌ای مناسب، برای یون‌های فلزی طیف‌بینی اتمی، طیف‌نورسنجی و مشابه آن‌ها و برای مولکول‌ها روش‌های کروماتوگرافی و مشابه آن‌ها، تجزیه شود. برای فلزات، این حلال می‌تواند یک اسید معدنی باشد که کمپلکس را تخریب کرده و یون فلزی را آزاد می‌کند. یا می‌تواند محلولی از لیگاند دیگر باشد، که کمپلکس قوی‌تری با یون فلزی مورد تجزیه داده و آن را از فاز جامد جدا می‌کند. در عمل، نوع و غلظت این حلال بهینه‌شده و سپس برای نمونه‌های حقیقی استفاده می‌شود.



شکل ۸-۴- مراحل استخراج فاز جامد [۹۰]

مراحل استفاده از فاز جامد برای استخراج و آماده‌سازی نمونه شامل مراحل آماده‌سازی، استخراج، شستشوی مزاحمت‌ها و شستشوی آنالیت به شرح زیر است [۹۱].

#### ۱- آماده‌سازی فاز جامد

به منظور کاهش هزینه‌های آماده‌سازی، کاهش مصرف حلال‌های شیمیایی، افزایش سرعت و راندمان در آنالیز نمونه‌ها در آزمایشگاه‌های کنترل کیفیت، از تکنیک استخراج فاز جامد استفاده می‌شود. این کار به تولید نتایج دقیق‌تر و موثرتری نسبت به سایر روش‌ها می‌شود و به زمان و هزینه‌های کمتری نیاز دارد. استخراج فاز جامد که از کروماتوگرافی معمولی مشتق گردیده است از یک محیط جاذب برای جدا سازی نمونه‌ها بر اساس اختلاف در برقراری تعادل با محیط جاذب استفاده شده است.

این مرحله برای آماده کردن فاز جامد به منظور ایجاد شرایط لازم برای واکنش‌های تکرارپذیر با نمونه‌ها انجام می‌شود. برای این منظور ابتدا فاز جامد با یک حلال مناسب شسته می‌شود تا با مرطوب شدن سطح جاذب، زنجیره‌های

الکلی، به‌وسیله مولکول‌های حلال شسته شده، و از حالت واپیچیده و جمع شده خارج شوند. سپس فاز جامد تحت تأثیر یک محلول، شبیه محلول نمونه قرار می‌گیرد؛ این عمل تماس کامل بین آنالیت و سطح جاذب را در مراحل بعد، امکان‌پذیر می‌سازد.

## ۲- استخراج آنالیت

با عبور محلول نمونه از درون فاز جامد، آنالیت روی سطح آن جذب می‌شود. برای جذب کامل و گزینش‌پذیر آنالیت روی فاز جامد، باید شرایط محلول نمونه مانند pH، قطبیت و عوامل دیگر کاملاً مناسب باشد.

## ۳- شستشوی مزاحمت‌ها

در این مرحله با عبور یک محلول مناسب از فاز جامد، مزاحمت‌های احتمالی همراه آنالیت، حذف و از فاز جامد شسته می‌شوند؛ حلال یا محلول موردنظر باید طوری انتخاب شود که هیچ اثری بر جذب آنالیت نداشته باشد.

## ۴- شستشوی آنالیت

با عبور یک حلال یا محلول مناسب، آنالیت جذب‌شده روی فاز جامد، شسته شده، جمع‌آوری می‌گردد. حلال یا محلول باید طوری انتخاب شود که علاوه بر بازیابی کامل آنالیت با استفاده از حداقل مقدار آن، در مرحله‌ی اندازه‌گیری ایجاد مزاحمت نکند و یا به سادگی از سامانه حذف شود.



# فصل ۹

---

---

## تجزیه آلاینده‌های نوظهور



درک و شناخت کارشناسان از محیط‌زیست و منابع آب ممکن است مانند دانش آنان درباره ویژگی‌ها و کمیت آلاینده‌ها و سایر انواع مواد شیمیایی در آب، هوا، خاک و نظام‌های زیستی باشد. به همین دلیل، استفاده از تکنیک‌های علمی و مناسب تجزیه شیمیایی، پیش شرط مطالعات شیمی محیط‌زیست است. در حال حاضر، دوره‌ای بسیار جالب در تکامل شیمی تجزیه آغاز شده است که مهم‌ترین ویژگی آن توسعه و پیشرفت تکنیک‌های تجزیه جدید و پیشرفته است، که بر اساس آن‌ها می‌توان غلظت‌های بسیار اندکی از انواع مواد شیمیایی را تعیین، و تولید داده‌ها را افزایش داد. البته چنین پیشرفت‌هایی چالش‌هایی را نیز رقم زده‌اند. در گذشته، شناسایی و اندازه‌گیری موادی با غلظت بسیار اندک مانند آلاینده‌های نوظهور توسط دستگاه‌ها و تجهیزات محدودیت داشت، اما در حال حاضر شناسایی و اندازه‌گیری غلظت آلاینده‌هایی که در گذشته امکان شناسایی آن‌ها وجود نداشت، امکان‌پذیر شده است. این موضوع پرسش‌هایی درباره تعیین حدود مجاز آلاینده‌های مختلف مطرح کرده است. افزایش داده‌های حاصل از ابزارآلات و تجهیزات اتوماتیک سنجش مواد شیمیایی، مسائل و مشکلات زیادی را فراروی بشر در زمینه‌ی گردآوری و درک آن‌ها قرار داده است.

در حال حاضر چالش اصلی، توسعه و کاربرد تکنیک‌های مختلف تجزیه شیمیایی زیست‌محیطی آلاینده‌ها است. چالش اول این است که کدامیک از مواد شیمیایی باید اندازه‌گیری شوند، آیا تجزیه شیمیایی برخی مواد ضروری است یا به تجزیه شیمیایی نیاز ندارند. کیفیت و انتخاب نوع تجزیه مهم‌تر از تعداد تجزیه و تحلیل‌هاست. البته می‌توان استدلال کرد، با توجه به قابلیت‌های نوین در زمینه‌ی شیمی تجزیه، انجام تعداد زیادی تجزیه نمونه‌های آلاینده‌های امکان‌پذیر است، اما با انجام نمونه‌برداری کمتر، اما دقیق‌تر می‌توان به اطلاعات بیش‌تر و مفیدتری دست پیدا کرد.

سالانه روش‌های تجزیه متعددی برای شماری از مواد تشکیل‌دهنده و آلاینده‌های آب مطرح می‌شود. طرح و بررسی تمام این روش‌ها به صورت جامع امکان‌پذیر نیست. جامع‌ترین این روش‌ها، روش‌های استاندارد بررسی آب و فاضلاب<sup>۱</sup> است. آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا (EPA) روش‌هایی را برای تجزیه آب و مواد آلاینده موجود در آن‌ها منتشر می‌کند که در اندکس روش‌های ارائه شده اداره خدمات ملی اطلاعات فنی<sup>۲</sup> قابل دسترسی هستند. یکی دیگر از منابع مهمی که روش‌ها را معرفی کرده‌اند، پایگاه اطلاعات گروه انتشاراتی ژنیوم<sup>۳</sup> است.

## ۹-۱- روش‌های طیف‌سنجی نوری<sup>۴</sup> [۴۵]

### ۹-۱-۱- جذب طیف‌سنجی نوری

طیف‌سنجی نوری انواع مواد جذب‌کننده نور در محلول‌ها، را رنگ‌سنجی<sup>۵</sup> می‌نامند. این روش هنوز هم برای تجزیه بعضی از آلاینده‌های آب و هوا مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور اساسی، جذب طیف‌سنجی نوری عبارت است از

۱- Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater

۲- National Technical Information Service

۳- Genium Publishing Corp

۴- Spectrophotometric Methods

5- colorimetry

اندازه‌گیری درصد عبور ( $T\%$ ) نور تک‌رنگ از محلول حاوی مواد جاذب نور در مقایسه با مقدار عبور نور از یک مایع فاقد مواد جاذب نور. مقدار جذب از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$A = \log \frac{100}{\%T} \quad (۹-۱)$$

رابطه بین  $A$  و غلظت  $C$  ماده جاذب نور توسط قانون بیر<sup>۱</sup> به دست می‌آید:

$$A = abC \quad (۹-۲)$$

در این معادله  $a$  ضریب جذب را نشان می‌دهد که پارامتری وابسته به طول موج ماده جاذب نور است،  $b$  نیز طول مسیر عبور نور از محلول جذب‌کننده، و  $C$  نیز غلظت ماده جذب‌کننده نور در محلول را نشان می‌دهد. رابطه خطی بین  $A$  و  $C$  در طول مسیری ثابت، قانون بیر را نشان می‌دهد. روش رنگ سنجی مستلزم این است که تعیین شود موادی که واکنش پیدا می‌کنند به چه رنگ‌هایی درمی‌آیند و در بعضی موارد نیز مواد رنگی به‌صورت حلال غیرآبی استخراج می‌شوند تا بتوان رنگ‌های شدیدتر و محلول‌های غلیظ‌تری به دست آورد.

شماری از روش‌های طیف‌سنجی محلول برای اندازه‌گیری آلاینده‌های هوا و آب مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بعضی از این روش‌ها به‌صورت خلاصه در جدول (۹-۱) ارائه شده است.

جدول ۹-۱- روش‌های طیف‌سنجی نوری (نورسنجی) محلول

| ماده مورد بررسی       | ماده واکنشگر و روش                                                                                                                                                                                                        |
|-----------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| آرسنیک                | واکنش ارساین ( $ASH_3$ ) با دی‌اتیل تیوکاربامات نقره در پیریدین، تشکیل کمپلکس قرمز                                                                                                                                        |
| بور                   | واکنش با curcumin، تشکیل rosocyanine قرمز                                                                                                                                                                                 |
| برم                   | واکنش هیپوبرومیت با فنل قرمز و تشکیل بروموفنل آبی                                                                                                                                                                         |
| کلر                   | گسترش رنگ با ارتولیدین                                                                                                                                                                                                    |
| سیانید                | تشکیل رنگ آبی ناشی از واکنش کلریدسیانوژن ( $CNCL$ ) با ماده واکنشگر پیریدین پیرازولون، اندازه‌گیری شده در $۶۲۰$ نانومتر                                                                                                   |
| فلوئور                | رنگ‌زدایی رسوب کلئوئیدی زیرکونیوم با تشکیل زیرکونیوم فلوئوراید بی‌رنگ و فاقد رنگ                                                                                                                                          |
| نیترات و نیتريت       | نیترات به نیتريت احیاء می‌شود و دو مولکول ازت با سولفانیل آمید و $N-(۱-نفتیل)-۱-اتیل دی‌آمین دی‌هیدروکلریدها$ ترکیب شده و رنگ‌های آزو ( $Azo$ ) <sup>۲</sup> تولید می‌کند که در طول موج $۵۴۰$ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود. |
| نیتروژن، روش Kjeldahl | هضم در اسید سولفوریک و تولید $NH_4^{+2}$ پس از تصفیه با ماده واکنشگر فنل قلیایی و سدیم هیپوکلریت برای تشکیل ایندوفنات فنل که در طول موج $۶۳۰$ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود.                                                 |
| فنل‌ها                | واکنش با ۴-آمینو آنتی‌پیرین در $PH ۱۰$ در حضور فری‌سیانید پتاسیم و تشکیل آنتی‌پیرین که به پیریدین تبدیل و در طول موج $۴۶۰$ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود.                                                                    |
| فسفات                 | واکنش با یون مولیبدن و تشکیل فسفومولیبدن که به‌صورت انتخابی به مولیبدن آبی‌رنگ احیا می‌شود.                                                                                                                               |
| سلنیوم                | واکنش با دی‌آمینوبنزیدین و تشکیل ماده رنگی جاذب نور در طول موج $۴۲۰$ نانومتر                                                                                                                                              |

#### ۱- Beer's Law

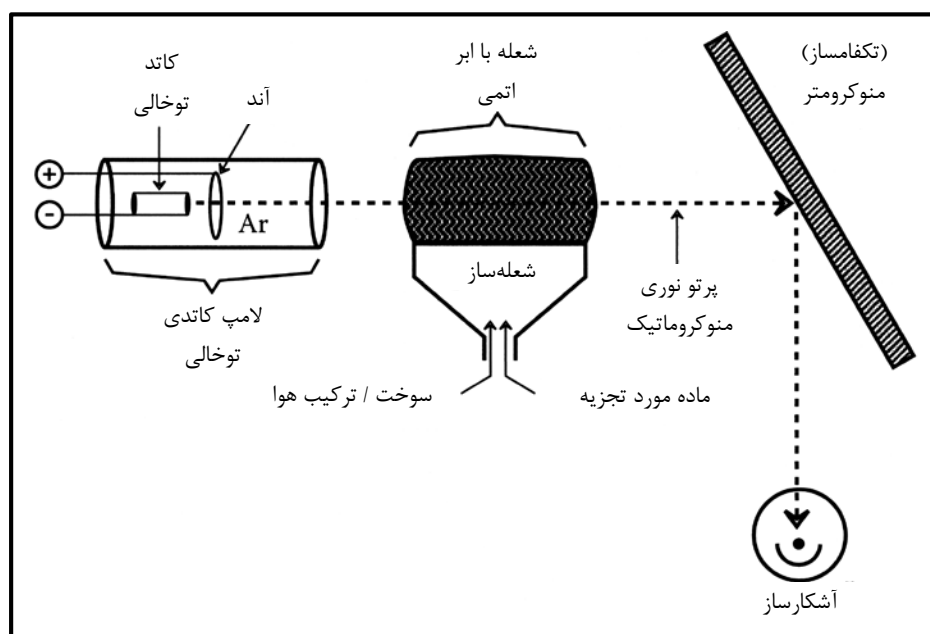
۲- رنگ‌های آزو ( $Azo$  dye) مهم‌ترین گروه رنگ‌های سنتزی بوده و از قدرت رنگ آمیزی بالایی برخوردار هستند. بخشی از کاربرد گسترده این نوع رنگ‌ها شامل: فوتو الکترون‌ها، رنگ‌های الیافی، و همچنین واکنش‌های زیستی و در شیمی تجزیه می‌باشد. ترکیب‌های آزو در شیمی به ترکیباتی گفته می‌شود که دارای ساختار مولکولی  $R'-N=N-R$  هستند و بخش  $N=N$  در این نوع ترکیبات گروه عاملی آزو  $Azo$  نامیده می‌شود.  $R$  و  $R'$  در آن می‌تواند ترکیبات آروماتیک یا آلیفاتیک باشند.

ادامه جدول ۹-۱- روش‌های طیف‌سنجی نوری (نورسنجی) محلول

| ماده مورد بررسی   | ماده واکنشگر و روش                                                                                                              |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| سیلیس             | تشکیل اسید مولیبدو سیلیسیک اسید با مولیبدن و تشکیل یک ماده آلی هتروپلی که در طول موج‌های ۶۵۰ یا ۸۱۵ نانومتر اندازه‌گیری می‌شود. |
| سولفید            | تشکیل متیلن آبی                                                                                                                 |
| مواد واکنشگر سطحی | واکنش با متیلن آبی و تشکیل نمک آبی                                                                                              |
| تانین و لیگنین    | رنگ آبی حاصل از اسید تنگستوفسفریک و اسید مولیبدوفسفریک                                                                          |

### ۹-۱-۲- جذب اتمی<sup>۱</sup> و تجزیه انتشار

روش تجزیه جذب اتمی همواره برای تعیین غلظت فلزات در نمونه‌های برداشت شده مورد استفاده قرار می‌گیرد. این تکنیک مبتنی بر جذب نور تک‌رنگ توده اتم‌های نمونه فلز است. نور تک‌رنگ را می‌توان توسط منبعی متشکل از اتم‌های موردبررسی، تولید کرد. این منبع، نور الکترومغناطیسی شدید با طول‌موج‌هایی که دقیقاً توسط اتم‌ها جذب می‌شوند، تولید می‌کند، در نتیجه فرایند جذب بسیار انتخابی است. اجزای اصلی یک دستگاه جذب اتمی در شکل (۹-۱) نشان داده شده است. جزء اصلی این دستگاه لامپ کاتدی توخالی است که در این لامپ به اتم‌های موردبررسی انرژی داده می‌شود. این کار باعث می‌شود تا الکترون‌های اتم‌های مزبور تحریک شوند و انرژی تابشی با طول‌موج بسیار کوتاه منتشر کنند که این پدیده مشخصه فلزات است.



شکل ۹-۱- اجزای اصلی جذب طیف‌سنجی اتمی شعله‌ای

## ۹-۲- روش‌های تجزیه الکتروشیمیایی

برای پتانسیل‌سنجی<sup>۱</sup>، ولتاژسنجی<sup>۲</sup> و آمپرسنجی<sup>۳</sup> تجزیه آب از سنجده‌های الکتروشیمیایی استفاده می‌شود. پتانسیل‌سنجی مبتنی بر اصول کلی است که در آن رابطه بین پتانسیل اندازه‌گیری یک الکتروود و یک الکتروود مرجع برحسب تابعی از لگاریتم فعالیت یون در محلول تعیین می‌شود. رابطه سنجش واکنش الکتروود انتخابی به یون خاص، توسط معادله نرنست نشان داده می‌شود،

$$E = E^0 + \frac{2.303RT}{zF} \log(a_z) \quad (۳-۹)$$

در این معادله E پتانسیل اندازه‌گیری شده،  $E^0$  پتانسیل الکتروود استاندارد، R ثابت گاز و T دمای مطلق و z بار الکتریکی (برای کاتیون‌ها علامت + و برای آنیون‌ها علامت -)، F ثابت فارادی<sup>۴</sup> و a نیز فعالیت یون موردنظر است. در حرارت معین، مقدار RTF 2.303 در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، دارای مقداری ثابت و برابر ۵۹۲٪ مترمکعب V (52.2 mV) است. در فعالیت یونی ثابت، مقدار a به‌صورت مستقیم با غلظت ارتباط داشته و معادله نرنست برای الکتروودهای نشان‌دار یون‌های  $Cd^{2+}$  و  $F^-$  ممکن است به‌صورت زیر نوشته شود،

$$E(\text{در mV}) = E^0 + \frac{59.2}{2} \log[Cd^{2+}] \quad (۴-۹)$$

$$E = E^0 - 59.2 \log[F^-] \quad (۵-۹)$$

الکترودهایی که کم و بیش به‌صورت انتخابی با انواع یون‌ها واکنش نشان می‌دهند، به الکتروودهای یونی انتخابی<sup>۵</sup> موسوم‌اند. عموماً، اجزای تشکیل‌دهنده الکتروودهای یونی انتخابی دارای غشایی است که به بعضی از یون‌های مورد بررسی اجازه مبادله می‌دهد. الکتروود شیشه‌ای استفاده‌شده برای سنجش فعالیت یون هیدروژن و PH، قدیمی‌ترین و پرکاربردترین الکتروود یونی انتخابی است. قابلیت‌های لایه شیشه‌ای که به‌صورت انتخابی یون‌های هیدروژن را مبادله می‌کند، استفاده از الکتروودهای یونی انتخابی در مقایسه با سایر الکتروودها ارجح‌تر است که معادله Nernstian<sup>۶</sup> را در مورد فعالیت یون هیدروژن،  $aH^+$  به‌صورت زیر ارائه می‌دهد:

$$E = E^0 + 59.2 \log(a_{H^+}) \text{ و } E = E^0 - 59.2 \text{ pH} \quad (۶-۹)$$

۱- Potentiometric

۲- Voltammetric

۳- Amperometric

۴- Faraday Constant

۵- Ion-Selective Electrodes

۶. در علم الکتروشیمی، معادله نرنست (Nernst equation) به یک رابطه ترمودینامیکی شیمیایی گفته می‌شود که امکان محاسبه پتانسیل کاهش یک واکنش (واکنش نیمه سلولی یا تمام سلولی) را می‌دهد. این پتانسیل کاهش از پتانسیل استاندارد الکتروود، دمای مطلق، تعداد الکترون‌های درگیر در واکنش ردوکس و فعالیت گونه‌های شیمیایی تحت احیا و اکسیداسیون محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است که معادله نرنست به منظور تعیین پتانسیل سلول در شرایطی به غیر از شرایط استاندارد مورد استفاده قرار می‌گیرد. جالب است بدانید که واکنش و نام این معادله برگرفته از والتر نرنست (Walther Hermann Nernst)، شیمیدان و فیزیکدان آلمانی بود که معادله را فرموله کرد.

PH مترهای استفاده شده با الکترودهای شیشه‌ای با استفاده از محلول‌های بافر استاندارد، به‌طور مستقیم به واحدهای PH درجه‌بندی می‌شوند. از میان الکترودهای یونی انتخابی به‌جای الکترودهای شیشه‌ای، الکترودهای فلئوراید بهترین عملکرد را دارد. این نوع الکترودها به‌خوبی عمل می‌کند و تا حدودی عاری از دخالت‌های انسانی است و دارای حد آشکار سازی بسیار دقیق و طیف واکنش خطی طولانی است. به‌مانند کلیه الکترودهای یونی انتخابی، برونداد الکتریکی این الکترودها نیز به شکل سیگنال است که متناسب با لگاریتم غلظت است. با توجه به رابطه لگاریتمی ولتاژ با غلظت، خطاهای کوچک در مقدار E باعث خطاهای نسبتاً زیاد غلظت می‌شود.

تکنیک‌های ولتاژسنجی یا اندازه‌گیری جریان حاصل از ولتاژ با استفاده از میکروالکترودها، در تجزیه آب نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند. این تکنیک نوعی پلاروگرافی<sup>۱</sup> اختلاف فاز است، این پتانسیل به شکل پالس‌های فزاینده برحسب افزایش پتانسیل توسط میکروالکترودها مورد استفاده قرار می‌گیرد. برای این منظور جریان پالس‌های انتهایی ولتاژ قرائت شده با جریان پالس‌های ابتدایی قرائت شده، مقایسه می‌شود. این کار، این مزیت را دارد که جریان خازن حاصل از شارژ سطح میکروالکترودها را کاهش می‌دهد، زیرا در برخی موارد، جریان حاصل از احیاء یا اکسایش موادی که می‌بایست تجزیه گردند، مبهم است. تخلیه آندی ولتاژسنجی مستلزم ته‌نشین شدن فلزات بر روی سطح الکترودها در چند دقیقه است که به دنبال تخلیه آن‌ها با استفاده از آند، به سرعت انجام می‌شود. ته‌نشینی توسط الکترودها، غلظت فلزات را بر روی سطح الکترودها افزایش می‌دهد. این کار باعث افزایش حساسیت نتایج می‌شود. تکنیک بهتر تخلیه فلزات، کاربرد سیگنال یا پالس تفاضلی<sup>۲</sup> است.

### ۹-۳- کروماتوگرافی

با ابداع روش کروماتوگرافی گازی (GC)<sup>۳</sup> در اوایل دهه ۱۹۵۰، این روش نقش اساسی در تجزیه مواد شیمیایی ایفا کرده است. روش گاز کروماتوگرافی هم یک تکنیک کمی و هم یک تکنیک کیفی است که کاربردهای متعددی در تجزیه آلاینده‌های محیط‌زیست دارد و به صورت قابل‌ملاحظه‌ای حساس و انتخابی است. روش گاز کروماتوگرافی مبتنی بر این اصل است، زمانی که ترکیبی از مواد فرار توسط یک گاز حامل از ستونی از یک ماده جامد جذب‌کننده (عموماً ماده جاذب در فاز مایع که با یک ماده جامد پوشیده شده است) عبور داده شود، هرکدام از مواد تشکیل‌دهنده ماده فرار بین گاز ناقل و ماده جامد یا مایع از یکدیگر جدا می‌شوند. طول زمان لازم برای مواد تشکیل‌دهنده ماده فرار برای حرکت در لوله متناسب با شدتی است که مواد تشکیل‌دهنده مواد فرار توسط فاز غیرگازی جذب می‌شود. از آنجایی که مواد مختلف تشکیل‌دهنده ماده فرار ممکن است به درجات مختلف جذب شوند، در نتیجه هر کدام از آن‌ها در زمان‌های مختلف در ستون نمایان می‌شوند. حال چنانچه، یک دستگاه آشکارساز مناسب در دسترس باشد، زمانی که طول می‌کشد تا هرکدام

۱- Polarography

۲- Differential-pulse signal

۳- Gas chromatography

از مواد تشکیل‌دهنده ماده فرار در ستون ظاهر شود و همچنین کمیت هر کدام از مواد تشکیل‌دهنده قابل اندازه‌گیری است. یک دستگاه ثبت‌کننده به تناسب نوع مواد در اندازه‌های مختلف نمودارها را رسم می‌کند که اندازه این نمودار به مقدار موادی که توسط آشکارساز شناسایی می‌شود بستگی دارد. بر این اساس هم تجزیه کمیت (در حدهای مورد انتظار) و هم تجزیه کیفیت مواد مورد بررسی، قابل دستیابی است.

ویژگی‌های اصلی دستگاه گاز کروماتوگراف به صورت تصویری در شکل (۹-۲) نشان داده شده است. عموماً گاز حامل در دستگاه گاز کروماتوگراف آرگون، هلیوم و نیتروژن است. نمونه به صورت فشرده به درون گاز حامل تزریق می‌شود که بر اثر این کار نمونه در روی ستون ورودی قرار می‌گیرد. در صورتی که نمونه مایع باشد، به اتاقک تزریق حرارت داده می‌شود تا مایع به سرعت تبخیر شود. لوله جداساز ممکن است فلز یا شیشه باشد که با یک ماده جامد بی‌اثری که در فاز مایع قرار دارد پوشیده شده است یا ممکن است سطح آن با یک ماده فعال جامد پوشیده شده باشد. این مواد باعث می‌شوند تا جدا سازی نمونه‌ها امکان‌پذیر شود. عموماً لوله‌هایی که برای این منظور به کار می‌روند دارای قطر بسیار کم هستند که این امر باعث خاصیت موئینگی زیاد لوله می‌شود. سطح داخلی لوله‌های بلند با موادی که در فاز مایع قرار دارند، پوشیده می‌شود.

مواد تشکیل‌دهنده نمونه‌ها در وهله اول حساسیت تجزیه گاز کروماتوگراف را تعیین می‌کند و برای برخی ترکیبات این کار به صورت انتخابی انجام می‌شود. چنین دستگاهی دارای آشکارساز هادی گرما است که به تغییرات هدایت گرمایی گازهایی که از روی آن عبور می‌کنند، واکنش نشان می‌دهد. آشکارساز جاذب الکترون<sup>۱</sup> برای شناسایی ترکیبات هیدروکربنی حاوی هالوژن‌ها و ترکیبات فسفردار کارایی مناسبی دارند. این آشکارسازها بر اساس جذب الکترون‌های ساطع شده از منبع ذرات B کار می‌کند. آشکارساز گاز کروماتوگراف یونش شعله‌ای<sup>۲</sup> برای شناسایی ترکیبات آلی بسیار حساس هستند. این دستگاه بر اساس تشکیل ترکیبات آلی هادی یون‌هایی مانند  $C^+$  در شعله کار می‌کند. کاربرد گرادیان ولتاژ در شعله باعث می‌شود تا بر اساس آن بتوان جریان‌های بسیار جزئی را به سادگی اندازه‌گیری کرد. طیف‌سنج جرمی<sup>۳</sup> ممکن است به عنوان آشکارساز گاز کروماتوگراف مورد استفاده قرار گیرد. دستگاه ترکیبی گاز کروماتوگراف و طیف‌سنج جرمی (GC/MS)، ابزار تجزیه مناسبی برای ترکیبات آلی محسوب می‌شوند.

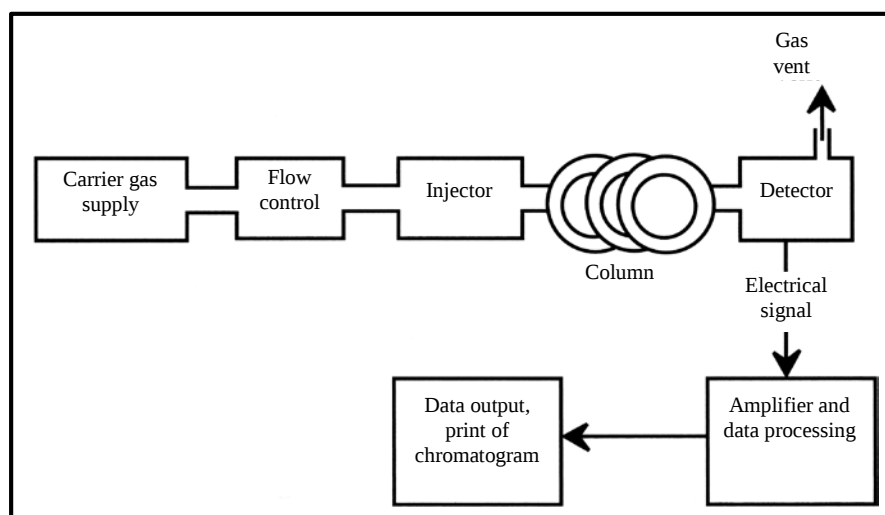
تجزیه به روش گاز کروماتوگراف مستلزم این است که ترکیب مورد سنجش دارای حداقل چند میلی‌متر فشار بخار باشد و در دمای بالاتری پایدار باشد. در موارد متعددی، ترکیبات آلی را نمی‌توان به صورت مستقیم از طریق گاز کروماتوگرافی اندازه‌گیری کرد، به همین دلیل لازم است تا ابتدا این مواد به مشتقات دیگری تبدیل شوند تا امکان تجزیه آن‌ها به روش گاز کروماتوگرافیک میسر گردد. به همین دلیل به ندرت تجزیه ترکیبات آلی در آب با تزریق مستقیم آب به دستگاه گاز کروماتوگراف انجام می‌شود، اما در صورتی که این کار ضروری باشد، همواره غلظت بالایی از این مواد نیاز

۱- The electron-capture detector

۲- Flame-ionization gas chromatographic detector

۳- Mass spectrometer

است. دو تکنیک متداول که برای جذب ترکیبات فرار از آب و تغلیظ آن‌ها انجام می‌شود، شامل استخراج با حلال‌ها و تصفیه ترکیبات فرار با گازهایی مانند هلیوم است که در آن گازهای تصفیه شده را در لوله تغلیظ کرده و در اثر حرارت آن‌ها را به دستگاه گاز کروماتوگراف هدایت می‌کند.



شکل ۹-۲- نمای بخش‌های اصلی گاز کروماتوگراف (GC)

### ۹-۳-۱- کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC)<sup>۱</sup>

کاربرد ماده فعال جامد با ذرات جامد ریز در یک لوله باعث می‌شود تا جداسازی مواد به روش گاز کروماتوگرافی در فاز مایع با تفکیک بسیار بالا صورت گیرد. فشار بسیار بالا تا حدود چند هزار پوند بر اینچ مربع (PSI)<sup>۲</sup> برای رسیدن به میزان قابل قبولی در چنین سیستم‌هایی مورد نیاز است. روش تجزیه‌ای که از چنین تجهیزاتی استفاده نماید، کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC) نامیده می‌شود. این روش مزایای بسیار زیادی دارد، زیرا در این روش نیازی به تغییر فاز بخار تجزیه‌شده وجود ندارد و تنها آماده‌سازی مشتقات بخار یا مقادیر تجزیه نمونه‌ها مورد نیاز است. ویژگی‌های اصلی کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC) دقیقاً مانند گاز کروماتوگراف است با این تفاوت که در دستگاه کروماتوگرافی مایع با عملکرد بالا (HPLC) یک مخزن حلال و یک پمپ با فشار بالا جایگزین منبع گاز حامل و تنظیم کننده گاز شده است. هم شاخص انکساری<sup>۳</sup> و هم آشکار سازهای پرتوهای فوق بنفش بر شناسایی بیش‌ترین پرتوهای ساطع شده از ستون کروماتوگراف مورد استفاده قرار می‌گیرند. آشکار سازهای فلئور سنت نیز نسبت به برخی ترکیبات حساس هستند.

آشکار سازی طیف‌سنجی جرمی HPLC باعث توسعه و ابداع تجزیه LC/MS شده است. این ابزار قدرتمند، اندازه‌گیری آلاینده‌های قطبی موجود در آب را بدون نیاز به تشکیل مشتقات مواد فرار که باید توسط دستگاه گاز کروماتوگراف جدا

۱- High-performance liquid chromatography

۲- Pound per square inch

۳- Refractive index

شوند را ممکن می‌سازد و می‌توانند برای اندازه‌گیری آلاینده‌هایی با غلظت نانوگرم در لیتر مورد استفاده قرار گیرند. روش LC/MS برای شناسایی آلاینده‌های نوظهور مانند آلاینده‌های دارویی و مواد متابولیت آن‌ها، هورمون‌ها و انواع مواد مختلف مختل‌کننده غدد درون‌ریز بسیار کارایی دارد.

### ۹-۳-۲- تجزیه کروماتوگرافی آلاینده‌های آب

آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا (EPA) تعدادی از روش‌های استاندارد مبتنی بر کروماتوگرافی را برای تعیین میزان آلاینده‌های آب ارائه داده است. بعضی از این روش‌ها، از تکنیک خالی کردن- به تله انداختن<sup>۱</sup> استفاده می‌کنند که در این تکنیک گاز از طریق ستون آب مواد آلی فرار موجود در آب را تصفیه می‌کند و در مرحله بعد این مواد باعث می‌شوند تا ترکیبات آلی بر روی ماده جامد جاذب به دام بیفتند، در حالی که سایر روش‌ها از تکنیک استخراج حلال برای جداسازی و تغلیظ کردن مواد آلی استفاده می‌کنند. این روش‌ها به‌صورت خلاصه در جدول (۹-۲) نشان داده شده‌اند.

جدول ۹-۲- روش‌های مبتنی بر کروماتوگرافی آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا (EPA) برای انواع آلاینده‌های آلی در آب

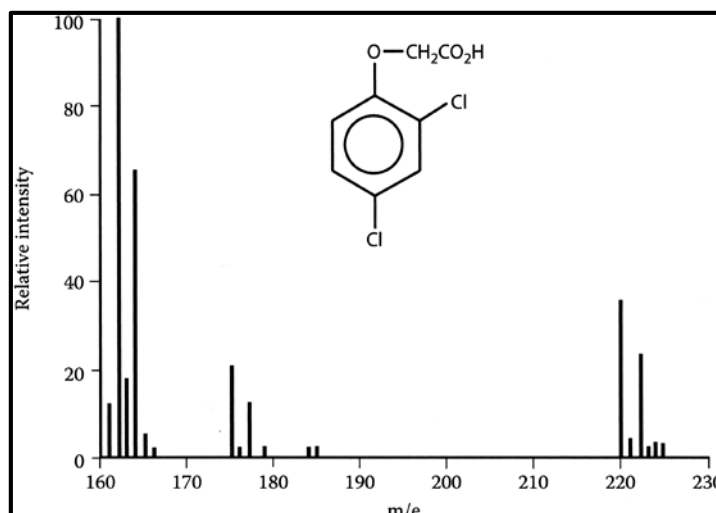
| نمونه مواد مورد بررسی       | شماره روش |       |     | گروه ترکیبات                 |
|-----------------------------|-----------|-------|-----|------------------------------|
|                             | HPLC      | GC/MS | GC  |                              |
| تتراکلرید کربن              |           |       | ۶۰۱ | هالوژن‌های قابل تصفیه        |
| تولوئن                      |           |       | ۶۰۲ | ترکیبات معطر قابل تصفیه      |
| اکرولین                     |           |       | ۶۰۳ | اکرولین و اکرولین نیتریل     |
| فل و کلروفل                 |           |       | ۶۰۴ | فل‌ها                        |
| بنزیدین                     | ۶۰۵       |       |     | بنزیدین‌ها                   |
| بیس (۲- اتیل هگزیل فتالات)  |           |       | ۶۰۶ | فتالات استرها                |
| N- نیتروسو- N- دی‌اتیل آمین |           |       | ۶۰۷ | نیتروس آمین‌ها               |
| هپتاکلره PCB ۱۰۱۶           |           |       | ۶۰۸ | آفت‌کش‌های ارگانوکلره و PCBs |
| نیتروبنزن                   |           |       | ۶۰۹ | نیتروآروماتیک و ایزوفورن‌ها  |
| بنزو [a] پیرین              | ۶۱۰       |       | ۶۱۰ | PHHs                         |
| بیس (۲- کلرواستیل) استر     |           |       | ۶۱۱ | هالواسترها                   |
| ۱ و ۳ دی‌کلرو بنزن          |           |       | ۶۱۲ | هیدروکربن‌های هالوژندار      |
| ۲ و ۳ و ۷ و ۸- TCDD         |           | ۶۱۳   |     | ۲ و ۳ و ۷ و ۸- TCDD          |
| مالاتیون                    |           |       | ۶۱۴ | آفت‌کش‌های آلی فسفردار       |
| دینوزب                      |           |       | ۶۱۵ | علف‌کش‌های کلره              |
| آترازین                     |           |       | ۶۱۹ | آفت‌کش‌های تری‌آزین          |
| اتیل بنزن                   |           | ۶۲۴   |     | مواد آلی قابل تصفیه          |
| بیش از ۷۰ نوع ترکیب آلی     |           | ۶۲۵   |     | اسیدها/بازها و مواد خنثی     |
| بازالین (فلوکلرالین)        |           | ۶۴۶   |     | آفت‌کش‌های دی‌نیترو آروماتیک |
| ونیل کلراید                 |           | ۱۶۲۴  |     | ترکیبات آلی فرار             |

### ۹-۳-۳- یون کروماتوگرافی

تعیین یون‌ها با روش کروماتوگرافی مایع، به‌ویژه آنیون‌ها به روش یون کروماتوگرافی، تعیین غلظت انواعی از موادی که برای شیمیدان‌های آب بسیار حائز اهمیت هستند را میسر ساخته است. توسعه این روش‌ها با استفاده از تکنیک‌های ویژه آشکارساز که از بازدارنده‌ها<sup>۱</sup> برای تعیین غلظت یون‌های مواد مورد بررسی در مایعات استفاده می‌کنند، ممکن شده است. روش یون کروماتوگرافی برای تعیین غلظت اغلب آنیون‌ها از جمله ارسنات، ارنیت، بور، کربنات، کلرات، کلریت، سیانید، هالیدها، هیپوکلریت، هیپوفسفید، نیترات، نیتريت فسفات، فسفیت، پیروفسفات، سلنات، سلنیت، سولفات، سولفیت، سولفید، تری متافسفات و تری پلی فسفات مورد استفاده قرار می‌گیرد. غلظت کاتیون‌هایی مانند یون‌های فلزی معمولی را نیز می‌توان توسط یون کروماتوگرافی اندازه‌گیری کرد.

### ۹-۴- طیف‌سنجی جرمی یا اسپکترومتری جرمی

طیف‌سنجی جرمی برای شناسایی و تعیین غلظت انواع خاصی از آلاینده‌های آلی روش مناسبی است. دقت این روش به تولید یون‌ها توسط تخلیه الکتریکی یا واکنش‌های شیمیایی بستگی دارد. جداسازی و تعیین غلظت بر اساس نسبت بار الکتریکی به جرم، و اندازه‌گیری یون‌های تولید شده انجام می‌شود. محصول طیف سنج جرمی یک طیف جرمی است که نمونه آن در شکل (۹-۳) نشان داده شده است. بانک‌های اطلاعاتی کامپیوتری برای طیف‌های جرمی مختلف تهیه شده است. شناسایی طیف جرمی بستگی به درجه خلوص ترکیب طیف جرمی مورد بررسی دارد. جداسازی توسط روش گاز کروماتوگرافی (GC) با نمونه‌برداری مستمر از فاضلاب با استفاده از روش طیف‌سنجی جرمی که همواره GC-MS نامیده می‌شود، روش مؤثری در تجزیه آلاینده‌های آلی محسوب می‌شود.



شکل ۹-۳- طیف‌سنجی جرمی قسمتی از علف کش ۲، ۴- دی کلرو فنوکسی استیک اسید (D-۲،۴)

روش‌های مختلفی برای تعیین غلظت آلاینده‌های نوظهور در آب وجود دارد. روش‌های کروماتوگرافی به همراه روش طیف‌سنجی جرمی (MS) یا طیف‌سنجی جرمی متوالی<sup>۱</sup> (دو طیف‌سنج متوالی) را برای بعضی از آلاینده‌های نوظهور می‌توان توسط روش استخراج فاز جامد اندازه‌گیری کرد. برای این منظور از طیف‌سنج جرمی متوالی، کروماتوگرافی مایع استفاده می‌شود. از مهم‌ترین موادی که توسط این تجهیزات اندازه‌گیری می‌شوند می‌توان به مپروبا مات<sup>۲</sup>، اتی‌نیلسترادیول<sup>۳</sup>، پروژسترون<sup>۴</sup>، کافئین<sup>۵</sup>، تستوسترون<sup>۶</sup>، آندرو استنودیون<sup>۷</sup>، استامینوفن، اریترومايسين<sup>۸</sup>، TCEP، هیدروکودون<sup>۹</sup>، اکسی‌بنزون<sup>۱۰</sup>، DEET، کاربا مازپین<sup>۱۱</sup>، دیاز پام<sup>۱۲</sup>، دیلانتین<sup>۱۳</sup>، سولفامتازول<sup>۱۴</sup>، تری‌متوپریم<sup>۱۵</sup>، آترازین<sup>۱۶</sup>، تری‌کلوزان<sup>۱۷</sup>، پنتوگری فیلین<sup>۱۸</sup>، دی‌کلوفناک<sup>۱۹</sup>، ایبوپروفن<sup>۲۰</sup>، ناپروکسن<sup>۲۱</sup>، جم‌فیبروزیل<sup>۲۲</sup>، فلوکسی‌تین<sup>۲۳</sup> و یوپرومید<sup>۲۴</sup> اشاره کرد. علاوه بر مواد دارویی از دیگر مواد آلاینده نوظهور می‌توان به استروئیدها، محصولات بهداشتی و آفت‌کش‌ها نیز اشاره کرد.

---

1- Tandem Mass Spectrophometry

۲- Meprobamate

۳- Ethynylestradiol

۴- Progesterone

۵- Caffeine

۶- Testosterone

۷- Androstenedione

۸- Erythromycin

۹- Hydrocodone

۱۰- Oxybenzone

۱۱- Carbamazepine

۱۲- Diazepam

۱۳- Dilantin

۱۴- Sulfamethoxazole

۱۵- Trimethoprim

۱۶- Atrazine

۱۷- Triclosan

۱۸- Pentoxifylline

۱۹- Diclofenac

۲۰- Ibuprofen

۲۱- Naproxen

۲۲- Gemfibrozil

۲۳- Fluoxetine

۲۴- Iopromide

## ۹-۵- نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و سنجش میکرو پلاستیک‌ها

بخشی از آلاینده‌های حاصل از تجزیه پلاستیک‌ها که به عنوان میکروپلاستیک‌هایی با قطر کمتر از ۲٫۵ میکرون در همه منابع آبی (اقیانوس‌ها، دریاها، دریاچه‌ها، تالاب‌ها، رودخانه‌ها و ...) مشاهده می‌شوند، در زمره آلاینده‌های نوظهور طبقه‌بندی می‌شوند. تنوع و فراوانی این دسته از آلاینده‌های نوظهور و آثار پیامدهای سوء آن‌ها بر انسان و سایر زیست‌مندان باعث شده است تا اندازه‌گیری، سنجش، پایش و ردیابی این مواد در محیط‌های آبی در سال‌های اخیر در کانون توجه بسیاری از برنامه‌ریزان محیط‌زیست و منابع آب قرار گیرد. با این حال به دلیل تنوع، فراوانی و رفتارهای پیچیده آن‌ها در محیط زیست و منابع آبی تاکنون هیچ روش استاندارد برای نمونه‌برداری و آنالیز میکرو پلاستیک‌ها در نمونه‌های مختلف محیطی توسط نهادهای بین‌المللی مانند سازمان بهداشت جهانی (WHO)، سازمان جهانی استاندارد (ISO) و سایر نهادهای بین‌المللی ارائه نشده است. البته سازمان جهانی استاندارد (ISO) در حال بررسی این مسئله است و مطالعاتی را برای مقایسه روش‌های اندازه‌گیری این آلاینده انجام داده است و مطالعات گسترده‌ای نیز در سطح جهان برای رسیدن به این مهم در حال انجام است. همچنین، اداره ملی علوم اقیانوسی و جوی ایالات متحده (NOAA)<sup>۱</sup> روش‌های آزمایشگاهی جداسازی و کمی‌سازی میکرو پلاستیک‌ها در آب و رسوبات را توسعه داده است [۹۲].

مراحل مختلف اندازه‌گیری میکرو پلاستیک‌ها در مطالعات مختلف، همواره شامل نمونه‌برداری و صاف‌سازی، هضم، جداسازی براساس اختلاف چگالی، شمارش و شناسایی ساختار شیمیایی میکرو پلاستیک‌ها است. نمونه‌برداری از محیط‌های آبی برای بررسی میزان میکرو پلاستیک‌ها در مطالعات مختلف به روش‌های متفاوتی انجام شده است. در روش اول، نمونه‌ها به صورت دستی و یا با استفاده از پمپ و در محل نمونه‌برداری از مجموعه‌ای از توری‌ها و یا الک‌هایی با اندازه قطر منافذ کوچک‌تر از ۵ میلی‌متر عبور داده می‌شوند، سپس سطح توری‌ها و یا الک‌ها شستشو داده شده و به ظروف نمونه‌برداری انتقال داده می‌شوند. از این روش در مطالعات مربوط به فاضلاب، آب رودخانه و یا دریا بیش‌تر استفاده می‌شود. هنگام استفاده از الک، همواره نمونه‌برداری تا گرفتگی سطح الک ادامه پیدا می‌کند در روش دوم نمونه‌برداری، نمونه‌های مرکب و یا لحظه‌ای، به صورت دستی و یا با استفاده از دستگاه نمونه‌بردار خودکار به ظروف نمونه‌برداری انتقال داده شده و برای آنالیزهای بعدی به آزمایشگاه منتقل می‌شوند.

به منظور تعیین غلظت میکرو پلاستیک‌ها، پس از هضم مواد آلی و جداسازی میکرو پلاستیک‌ها براساس اختلاف چگالی، شمارش آن‌ها باید انجام شود. شمارش میکرو پلاستیک‌ها در مطالعات مختلف را می‌توان با استفاده از انواع میکروسکوپ‌های نوری و الکترونی انجام داد. از انواع میکروسکوپ‌های نوری مانند استریومیکروسکوپ، میکروسکوپ‌های تشریح، فلورسانس، متالوگرافی و... می‌توان برای شمارش میکرو پلاستیک‌ها استفاده کرد. به این منظور میکرو پلاستیک‌های احتمالی با استفاده از انبرک یا موچین به یک ظرف شیشه‌ای تمیز انتقال داده می‌شوند و یا کل حجم

۱- National Oceanic and Atmospheric Administration

نمونه از یک فیلتر عبور داده می‌شود. سپس می‌توان تعداد، رنگ و شکل میکرو پلاستیک‌های احتمالی را مورد تجزیه و تحلیل قرار داد [۸۴].

البته از سایر روش‌ها مانند روش‌های طیف‌سنجی شامل طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR)<sup>۱</sup> و طیف‌سنجی میکرو رامان<sup>۲</sup> به دلیل کاربرد آسان، دقت و قابلیت اعتماد زیاد و زمان کم آزمون، بیش‌ترین کاربرد را برای شناسایی میکرو پلاستیک‌ها دارند. از روش‌های دیگری مانند آنالیز حرارتی، پیرولیز-گاز کروماتوگرافی-طیف‌سنجی جرمی نیز می‌توان استفاده کرد. تکنیک طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) از سال ۲۰۰۴ میلادی به‌طور گسترده‌ای در مطالعات مربوط به میکرو پلاستیک‌ها متداول شده‌اند. طیف مادون قرمز هر ماده مانند اثر انگشت، اختصاصی بوده و هیچ دو ترکیبی، طیف یکسانی ندارند. در این روش با طیف‌گیری از میکرو پلاستیک‌ها، گروه‌های عاملی و مولکولی موجود در پلیمرهای پلاستیکی شناسایی شده و به‌وسیله آن می‌توان ساختار شیمیایی آن پلیمر را شناسایی کرد [۸۴].

در تکنیک طیف‌سنجی به روش میکرو رامان دستگاه طیف‌سنجی رامان به یک میکروسکوپ مجهز شده و امکان طیف‌گیری از ذرات کوچک‌تر (تا یک  $\mu\text{m}$ ) را فراهم می‌سازد. لیزر مورد استفاده در دستگاه میکرورامان همواره دارای طول موج ۵۳۲، ۶۳۳ و ۷۸ نانومتر ( $\mu\text{m}$ ) است. بر اساس مطالعه‌ای که Pivokonsky و همکاران (۲۰۱۸) انجام دادند، مشخص شد، که ۹۵ درصد میکرو پلاستیک‌های موجود در آب خام و تصفیه‌شده اندازه‌ای بین ۱-۱۰ نانومتر ( $\mu\text{m}$ ) دارند لذا کاربرد این روش در مطالعات مربوط به آب آشامیدنی مناسب است.

## ۹-۶- نمونه‌برداری، اندازه‌گیری و سنجش سموم کشاورزی

در حال حاضر آفت‌کش‌ها و سموم کشاورزی و سایر سموم گوناگون با ترکیب شیمیایی متفاوت در سراسر دنیا به به‌ویژه در بخش کشاورزی مصرف می‌شوند، که به علت مصرف وسیع آن‌ها همواره بخشی از آن‌ها وارد منابع آب، خاک و هوا می‌شوند. در میان سموم کشاورزی به‌ویژه سموم کشاورزی ارگانوکلره به علت خاصیت تجمعی، سرطان‌زایی و تأثیر در سیستم عصبی انسان اهمیت زیادی دارند. این سموم به علت ماهیت چربی دوست بودن، آب‌گریزی و سرعت پایین تجزیه شیمیایی و بیولوژیکی، در بافت‌های بیولوژیکی انسان و سایر جانداران تجمع پیدا می‌کنند و به تدریج وارد چرخه‌های غذایی انسان و سایر جانوران می‌شوند از سوی دیگر، عموماً این آلاینده‌ها در حد غلظت‌های نانو در منابع آب مشاهده می‌شوند و به همین دلیل نیز بسیاری از آن‌ها در زمره آلاینده‌های نوظهور شناخته می‌شوند، لذا می‌تواند خطر جدی برای سلامت انسان و سایر جانوران محسوب شوند. از آنجا که پیکره‌های آبی و به‌ویژه رودخانه‌ها مهم‌ترین منبع آب آشامیدنی محسوب می‌شوند، بررسی کیفیت آب آن‌ها از جهت حضور آفت‌کش‌ها قبل از استفاده در جوامع از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به همین دلیل طی سال‌های اخیر تکنیک‌ها و روش‌های متعددی برای اندازه‌گیری سنجش آن‌ها بسط و توسعه داده شده است [۹۳].

۱- Fourier-transform infrared spectroscopy

۲- Micro Raman

استفاده از کروماتوگرافی گازی به‌منزله روش استاندارد برای اندازه‌گیری و سنجش سموم کشاورزی به‌ویژه سموم ارگانوکلره در زمره مهم‌ترین روش‌های سنجش این مواد آلاینده نوظهور در منابع آب است. با وجود این، استفاده از روش‌های پیش تغلیظی که بتوان به کمک آن‌ها مقادیر و غلظت‌های ناچیز این دسته از آفت‌کش‌ها را در منابع آب تعیین کرد نیز در بسیاری از موارد ضروری است. برای این منظور استفاده از روش استخراج فاز جامد همراه کروماتوگرافی گازی روش بسیار متداول برای بررسی و سنجش اندازه‌گیری سموم کشاورزی به‌ویژه سموم ارگانوکلره (OCPs)<sup>۱</sup> در محیط‌های مختلف به‌ویژه محیط‌های آبی است. در استخراج فاز جامد (SPE)<sup>۲</sup> آنالیت‌ها از یک فاز مایع یا گاز به یک فاز جامد استخراج می‌شوند. همواره فاز جامد شامل ذرات کوچک و متخلخلی از سیلیکاست که به یک فاز آلی یا پلیمر آلی (مثل پلی استیرن دارای پیوند عرضی) پیوند داده شده‌اند. این استخراج را می‌توان به صورت ناپیوسته انجام داد تا در آن ماده استخراج‌کننده به‌خوبی با محلول نمونه مایع مخلوط شود. روش متداول‌تر در شیمی تجزیه به این صورت است که ماده استخراج‌کننده جامد را در لوله کوچک انباشته می‌کنند و نمونه مایع را از درون آن عبور می‌دهند [۹۳].

سپس مواد استخراج‌شده را می‌توان با شستشو از طریق یک حلال مناسب جدا کرد. همواره حجم حلال موردنیاز برای شستشوی کامل آنالیت‌ها، بسیار کم‌تر از حجم نمونه اصلی است. بدین ترتیب محلول تغلیظ شده‌ای از آنالیت‌ها به دست می‌آید. همچنین، می‌توان مولکول‌های استخراج‌شده را به وسیله حرارت دادن از طریق جریان ملایمی از گاز حامل بی‌اثر از ذرات جامد جدا کرد. این کار، روش مناسبی برای انتقال مولکول‌ها به درون دستگاه گاز کروماتوگرافی برای آنالیز آن‌هاست. به‌منظور پیش تغلیظ سموم به روش استخراج فاز جامد می‌توان از انواع کارتریج‌های موجود مانند LiChrolut® EN, 6ml ساخت کمپانی مرک آلمان استفاده کرد. غلظت سموم را نیز از طریق دستگاه کروماتوگرافی گازی مجهز به دتکتور الکترون‌گیر می‌توان اندازه‌گیری کرد.

البته سایر روش‌های استاندارد مانند روش استاندارد 8041b آژانس محیط‌زیست آمریکا (EPA 8041b) توسط دستگاه گاز کروماتوگرافی با دتکتور جرمی نیز وجود دارند که می‌توان با استفاده از آن‌ها غلظت سموم را در محیط‌های آبی اندازه‌گیری کرد [۹۴].

---

۱- Organochlorine pesticides

۲- Solid phase extraction



# فصل ۱۰

---

---

## کنترل کیفیت



کنترل و تضمین کیفیت نمونه‌برداری‌ها نقش بسیار مهمی در دستیابی به نتایج درست ایفا می‌کند. این فرایند نشان می‌دهد که روش درست و مناسب برای انجام کار انتخاب شده است. کنترل کیفیت بیانگر درست انجام دادن روش انتخابی است. با اجرای برنامه‌های تضمین و کنترل کیفیت از تولید داده‌ها و اطلاعات قابل اعتماد می‌توان اطمینان یافت. لذا رعایت پروتکل‌ها و دستورالعمل‌های استاندارد ارائه شده برای انتخاب تجهیزات مناسب، نحوه برداشت نمونه‌ها، آماده‌سازی، نگهداری و حمل نمونه‌ها می‌تواند کیفیت نمونه‌برداری و دستیابی به اهداف تعیین شده را تضمین کند.

برای کنترل و پایش مستمر و تائید کیفیت نمونه‌برداری (شامل جمع‌آوری، جابجایی، انبارش موقت نمونه و حمل آن به آزمایشگاه) باید از پروتکل‌های استاندارد در این زمینه استفاده کرد تا کنترل، کیفیت رضایت بخش نمونه‌برداری را نشان دهد. به دلیل اینکه کنترل مقدماتی کیفیت از طریق سیستم تضمین کیفیت می‌باشد، برای رضایت بخش بودن عملکرد، کنترل بیشتری لازم است. روش‌های کنترل کیفیت نمونه‌برداری (مانند بررسی چشمی بطری‌ها، مواد و نمونه‌ها) به عنوان مکملی برای روش‌های معمولی و کنترل‌های انجام شده برای حفظ کیفیت‌ها می‌باشد. هنگامی که مشکلی تشخیص داده شود کنترل‌های بیشتر باید انجام شود تا علت دقیق عملکرد ضعیف و اقدامات اصلاحی تعیین شود.

یکی از جنبه‌های مهم تجزیه شیمیایی، اعتبار سنجی کیفیت داده‌های تولید شده است. هر اندازه‌گیری ممکن است با خطاهایی همراه باشد. این خطاها ممکن است سیستماتیک<sup>۱</sup> (هم دامن و هم جهت) یا تصادفی<sup>۲</sup> (تفاوت در دامن و جهت) باشند. خطاهای سیستماتیک باعث می‌شوند تا مقادیر اندازه‌گیری شده با مقادیر واقعی تفاوت داشته باشند. این اختلاف به تورش یا اعوجاج<sup>۳</sup> موسوم است. دامنه‌ای که باعث می‌شود تا یک کمیت اندازه‌گیری شده به مقدار واقعی نزدیک شود، دقت<sup>۴</sup> اندازه‌گیری نامیده می‌شود. این دقت، خطاهای سیستماتیک و تصادفی را منعکس می‌کند. به همین دلیل برای تحلیل‌گر، تعیین اجزای تشکیل‌دهنده این خطاها در سنجش نمونه‌های زیست‌محیطی از جمله نمونه‌های آب ضروری است. شناسایی و کنترل سیستماتیک و خطاهای تصادفی با عنوان رویه‌های کنترل کیفیت (QC)<sup>۵</sup> طبقه‌بندی می‌شوند.

برای این که نتایج حاصل از نمونه‌های آزمایشگاهی معنی‌دار باشد، لازم است تا برنامه تضمین کیفیت<sup>۶</sup>، یعنی روش‌هایی را که برای تولید و ثبت داده‌ها استفاده می‌شوند، را مشخص کنند. یکی از جنبه‌های مهم چنین برنامه‌هایی، استفاده از استانداردهای کنترل آزمایشگاهی است. این استانداردها شامل نمونه‌هایی هستند که با دقت بسیار زیاد و در

---

۱- Systematic

۲- Random

۳- Bias

۴- Accuracy

۵- Quality control

۶- Quality assurance plan

شرایط کنترل شده اندازه‌گیری شده‌اند. این استانداردهای مرجع برای انواع نمونه‌ها در مؤسسه ملی فناوری و استاندارد (NIST)<sup>۱</sup> ایالات متحده موجود می‌باشند.

غلظت بسیاری از مواد مورد تجزیه زیست‌محیطی<sup>۲</sup> (آنالیت) در محیط‌زیست بسیار کم است، به همین دلیل چالش اصلی، توانایی این روش‌ها برای تعیین دقیق مقدار غلظت آن‌هاست (به عنوان مثال تعیین غلظت داروها و متابولیت‌های آن‌ها با غلظت‌های نانوگرم تا پیکوگرم در لیتر در فاضلاب). بنابراین، حد آشکار سازی<sup>۳</sup> روش تجزیه، بسیار حائز اهمیت است. تعریف حد آشکار سازی در زمره عناوین بحث‌برانگیز در شیمی تجزیه به شمار می‌رود. هر روش تجزیه، دارای حدی از اختلال است. حد آشکار سازی اصطلاحی است که برای کم‌ترین غلظت ماده مورد تجزیه به کار می‌رود که می‌توان آن را در بالاتر از میزان اختلال با حدود اطمینان خاصی در یک روش تجزیه، اندازه‌گیری کرد. در هنگام آشکار سازی ماده مورد تجزیه (آنالیت) دو نوع اشتباه را می‌توان مشاهده کرد. اشتباه نوع اول وقتی که اندازه‌گیری نشان بدهد که ماده مورد تجزیه در محیط وجود دارد، اما واقعاً این ماده وجود نداشته باشد، اشتباه نوع I اتفاق می‌افتد. وقتی که اندازه‌گیری نشان دهد که ماده مورد تجزیه در محیط وجود ندارد، اما اگر واقعاً وجود داشته باشد، اشتباه نوع II اتفاق می‌افتد.

حد آشکار سازی را می‌توان به چندین زیرگروه مختلف طبقه‌بندی کرد، حد آشکار سازی ابزاری (IDL)<sup>۴</sup> غلظت ماده مورد تجزیه می‌تواند علائمی در حدود ۳ برابر انحراف معیار تولید نماید. سطح آشکار ساز کمتر (LLD)<sup>۵</sup> مقداری از ماده مورد تجزیه‌ای است که ۹۹ درصد علائم تولید می‌کند که حدود دو برابر IDL است. روش حد آشکار سازی متوسط (MDL) به مانند LLD اندازه‌گیری می‌شود، اما در این روش، نمونه تمام رویه‌های تجزیه از جمله مراحل استخراج و پاک سازی نمونه انجام می‌شود، این روش حدود ۴ برابر IDL است. آخرین روش حد آشکار سازی، حد کمی سازی عملی (PQL) است که حدود ۲۰ برابر IDL است و پایین‌ترین سطح قابل‌دستیابی در تجزیه‌های معمولی در آزمایشگاه است.

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های کنترل کیفیت ثبت اطلاعات است. ثبت و ضبط اطلاعات نمونه‌برداری در چارچوب زنجیره ثبت اطلاعات<sup>۶</sup> در کنترل کیفیت نمونه‌ها بسیار حائز اهمیت است. به طور معمول جمع‌آوری و آنالیز نمونه‌ها مستلزم سرمایه، تجهیزات کارکنان و تجهیزات قابل توجهی است. بنابراین اگر اطلاعات ناکافی یا نامناسب جمع‌آوری شود نتیجه‌ای جز اتلاف سرمایه، انرژی و وقت به دنبال نخواهد داشت. هدف از زنجیره ثبت اطلاعات مستند کردن تمامی مراحل انجام کار شامل نمونه‌برداری، آماده‌سازی، نگهداری، حمل، تحویل به آزمایشگاه، آزمایش و گزارش‌دهی است تا در صورت وجود هر گونه سوال یا ابهام امکان کنترل و پیگیری دقیق تمام مراحل وجود داشته باشد. به طور معمول زنجیره ثبت اطلاعات چهار بخش دارد:

۱- National Institute of Standards and Technology

۲- Environmental analyte

۳- Detection limit

۴- Instrument detection limit

۵- Lower level of detection

۶- Chain of Custody

### الف- ثبت زنجیره اطلاعات

برای ثبت اسناد مورد نیاز از زمان شروع جمع‌آوری نمونه، یک کاربرگ مربوط به زنجیره اطلاعات موجود برای هر نمونه یا گروه نمونه‌های جمع‌آوری شده به صورت جداگانه باید پر شود. این کاربرگ‌ها می‌توانند شامل اطلاعات زیر باشند:

- کد نمونه، عنوان پروژه، تاریخ و زمان دقیق جمع‌آوری نمونه، تعداد و نوع ظروف نمونه‌برداری، روش نگهداری نمونه‌ها،
- روش انتقال نمونه‌ها از منطقه به آزمایشگاه، شرایط نمونه‌ها به هنگام دریافت توسط آزمایشگاه، توضیحات ویژه، نام و امضاء جمع‌آوری کننده نمونه، امضای کلیه افرادی که در ثبت زنجیره اطلاعات همکاری داشته‌اند.

### ب- برچسب گذاری نمونه‌ها

برای جلوگیری از جابه جایی و گم شدن، نمونه‌ها باید برچسب‌گذاری شوند. برچسب‌ها را باید قبل یا به هنگام نمونه‌برداری بر روی ظروف چسباند و از عدم کنده و پاره شدن آن‌ها به هنگام نگهداری، جابه جایی و انتقال اطمینان یافت. برچسب‌ها باید حداقل حاوی اطلاعات زیر باشند:

- کد نمونه، نوع منبع نمونه‌برداری، کد یا موقعیت منبع نمونه‌برداری شده، نام یا کد پروژه، امضای نمونه‌بردار، عمق نمونه‌برداری از سطح آب، تاریخ و زمان دقیق نمونه‌برداری، نوع مواد استفاده شده برای تثبیت نمونه‌ها

### ج- کاربرگ ثبت فعالیت‌های میدانی

کلیه اطلاعات مربوط به فعالیت‌های میدانی باید تا حد امکان در کاربرگ‌های مربوط به فعالیت‌های میدانی ثبت شود. اطلاعات مهم به شرح زیر می‌باشد:

- عنوان پروژه، هدف از انجام نمونه‌برداری، کد نمونه (ها)، عمق (اعماق) نمونه‌برداری از سطح آب، موقعیت، ویژگی‌ها و تصاویر مربوط به نقاط نمونه‌برداری، تعداد و حجم نمونه‌های برداشت شده، روش نمونه‌برداری، روش نگهداری نمونه‌ها شامل نوع و مقدار مواد، و ظروف تاریخ و زمان نمونه‌برداری، مشاهدات میدانی، نوع و مشخصات تجهیزات اندازه‌گیری‌های میدانی، نتیجه اندازه‌گیری‌های میدانی، روش‌های استفاده شده برای جلوگیری از آلودگی نمونه‌ها، توضیحات ویژه.

### د- کاربرگ درخواست آنالیز نمونه‌ها

این کاربرگ برگه‌ای است که نوع آنالیزهای مورد نیاز و شرح کار آزمایشگاه را مشخص می‌کند. در این کاربرگ پارامترهایی که باید اندازه‌گیری شوند، تعداد، کد نمونه (ها) و نوع نمونه‌های ارسال به آزمایشگاه ثبت می‌شود.



# فصل ۱۱

---

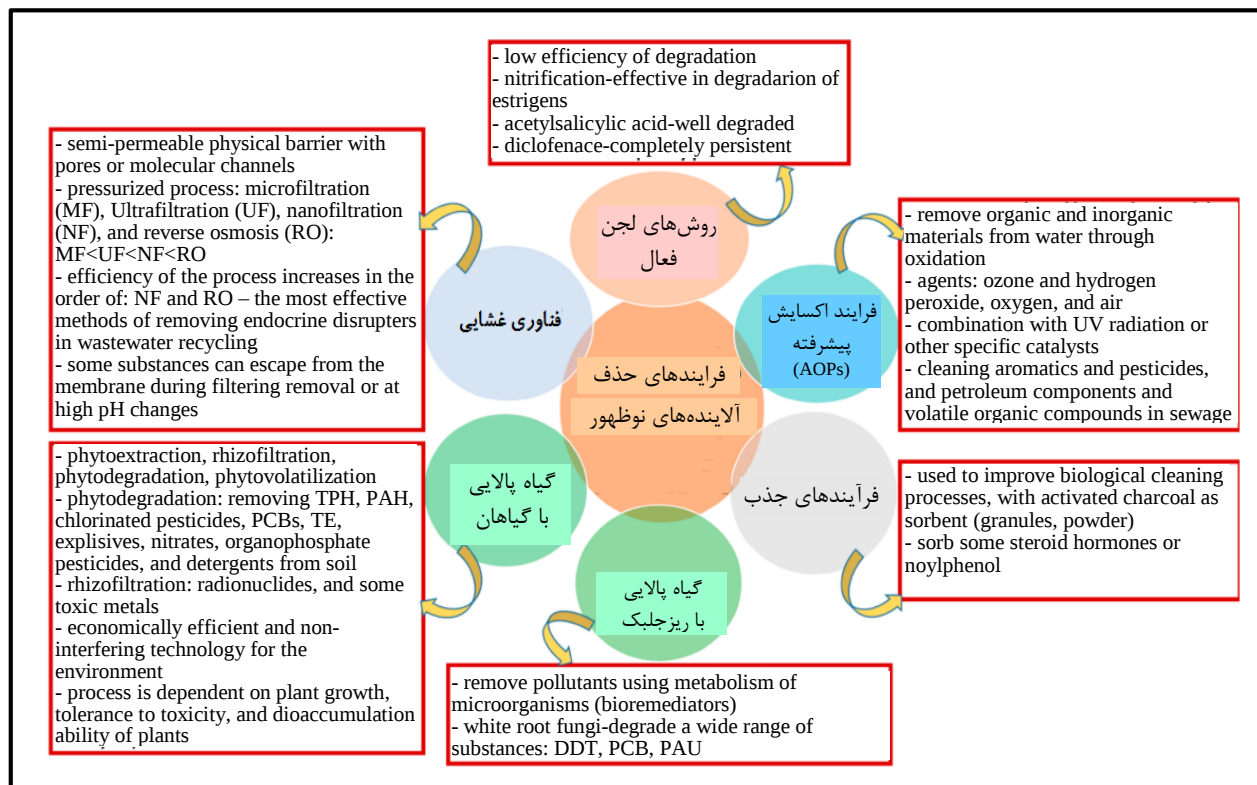
---

تصفیه و حذف آلاینده‌های نوظهور



در نتیجه افزایش آگاهی‌ها در زمینه‌ی تهدیدها و مخاطرات ناشی از آلاینده‌های نوظهور در محیط‌زیست و به‌ویژه منابع آب به‌عنوان مهم‌ترین محیط پذیرنده، تصفیه و حذف این گروه از آلاینده‌ها از محیط‌زیست و منابع آب در کانون توجه پژوهشگران و مسئولین محیط‌زیست و منابع آب قرار گرفته است. با توجه به ویژگی‌های آلاینده‌های نوظهور، همواره این دسته از آلاینده‌ها در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب صنعتی و شهری وجود دارند که حذف آن‌ها از این فاضلاب‌ها با فناوری‌های موجود و متداول بسیار مشکل است. به همین دلیل به فرایندها و فناوری‌های پیشرفته‌تری برای حذف این دسته از آلاینده‌ها نیاز است تا آثار و پیامدهای آن‌ها بر محیط‌زیست و منابع آب کمتر شود.

طی سال‌های اخیر پیشرفت‌های قابل توجهی برای حذف آلاینده‌های نوظهور حاصل شده است. از سوی دیگر تصویب ضوابط و مقررات سخت گیرانه‌تر برای رعایت استانداردهای تصفیه این دسته از آلاینده‌ها در محیط‌زیست و منابع آب باعث تشدید سرعت توسعه این فناوری‌ها در بسیاری از کشورها شده است که به دنبال آن روش‌های تصفیه پیشرفته آلاینده‌های نوظهور توسعه پیدا کرده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به فرایندهای تصفیه فیزیکی- شیمیایی و فرایندهای زیستی اشاره کرد (فیلتراسیون با بسترهای شنی، کلرزی، فرایندهای اکسایش پیشرفته یا AOPs<sup>۱</sup>، جذب با کربن فعال دانه‌ای، زئولیت و سایر مواد رسی، فرایندهای هیدرولیز، تالاب‌های مصنوعی، راکتورهای زیستی غشایی، گیاه‌پالایی، جذب زیستی). در شکل (۱۱-۱) انواع فرایندها و فناوری‌های تصفیه آلاینده‌های نوظهور نشان داده شده است [۶۲].



شکل ۱۱-۱ فرایندهای فیزیکی- شیمیایی و زیستی حذف آلاینده‌های نوظهور از محیط‌زیست

همواره استفاده و کاربرد فرایند لجن فعال برای حذف آلاینده‌های نوظهور برای کاهش بار مواد آلی زیاد در آب توصیه می‌شود، اما این روش برای حذف آلاینده‌هایی که غلظت آن‌ها بسیار کم است، مناسب نمی‌باشد. علاوه بر این، این شیوه از کارایی پایینی برای حذف و تصفیه آلاینده‌های نوظهور برخوردار است. فرایندهای لجن فعال قدیمی حجم زیادی لجن تولید می‌کند که به‌عنوان پسماند باید با آن‌ها رفتار کرد [۶۵].

در حال حاضر آلاینده‌های نوظهور با استفاده از فرایندهای اکسایش و جذب سطحی<sup>۱</sup> یا فرایندهای بیولوژیکی (زیستی) و همچنین فرایندهای تصفیه پیشرفته از آب حذف و تصفیه می‌شوند. گرچه فرایندهای اکسایش پیشرفته بسیار مؤثر هستند، اما این شیوه نقاط ضعف‌هایی هم دارد، زیرا در برخی موارد می‌توانند باعث تشکیل مواد واسطه‌ای شوند که اغلب غیرقابل تشخیص هستند و شناسایی آن‌ها ممکن است مشکل باشد و در برخی موارد نیز ممکن است سمی‌تر از ترکیبات اولیه باشند. از این منظر، فرایندهای جذب سطحی بهتر هستند، زیرا این فرایند باعث تولید محصولات و مواد جانبی ناخواسته نمی‌شود و در مرحله بعد مواد آلاینده جذب شده را نیز می‌توان به راحتی تصفیه کرد. آلاینده‌های نوظهور با مولکول‌های قطبی مانند مواد دارویی را می‌توان از طریق فرایندهای تصفیه بیولوژیکی و فرایندهای معدنی‌سازی توسط جانداران ذره‌بینی حذف کرد [۶۷]. در جدول (۱۱-۱) برخی مزیت‌ها و چالش‌های روش‌های مختلف فرایندهای حذف و تصفیه آلاینده‌های نوظهور ارائه شده است.

جدول ۱۱-۱- مزایا و چالش‌های روش‌ها و فناوری‌های مختلف حذف و تصفیه آلاینده‌های نوظهور [۶۹].

| فرایند تصفیه                    | مزایا                                                                                                                                                                                                                                                                                               | چالش‌ها                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>فرایندهای متعارف تصفیه</b>   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| فرایندهای زیستی کربن فعال       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- حذف طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های نوظهور از فاضلاب</li> <li>- حذف باقیمانده مواد ضدعفونی‌کننده / حذف محصولات حاصل از اکسایش</li> <li>- محصولات سمی فعال تولید نمی‌کند</li> <li>- بازیافت زیست‌توده جلبک‌ها و امکان استفاده از آن‌ها به‌عنوان کود</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- هزینه‌های عملیاتی و نگهداری نسبتاً زیاد</li> <li>- تولید زیاد لجن و ضرورت دفع حجم زیادی از لجن</li> <li>- کار حذف آلاینده‌ها تحت تأثیر شرایط آب و هوایی قرار دارد</li> <li>- آلاینده‌های نوظهور به‌صورت مناسبی تجزیه نمی‌شوند</li> </ul> |
| راکتورهای ریز جلبک (Microalgae) | <ul style="list-style-type: none"> <li>- پساب با کیفیت بالا و عدم سمیت حاد ناشی از آلاینده‌های نوظهور</li> </ul>                                                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- کارایی کم برای حذف مواد دارویی و بتا‌بلاکرها</li> <li>- وجود حجم زیادی لجن‌های حاوی آلاینده‌های نوظهور</li> </ul>                                                                                                                        |
| لجن فعال                        | <ul style="list-style-type: none"> <li>- کم‌تر بودن هزینه‌های عملیاتی و سرمایه‌ای در مقایسه با فرایندهای اکسایش پیشرفته یا AOPs</li> <li>- سازگار با محیط‌زیست در مقایسه با روش کلرزنی</li> </ul>                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- نامناسب برای مکان‌های آبی با نیاز اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) بیش از ۴۰۰۰ میلی‌گرم بر لیتر</li> </ul>                                                                                                                                     |
| <b>فرایندهای نامتعارف تصفیه</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                   |
| تالاب‌های مصنوعی                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- مصرف انرژی و هزینه‌های عملیاتی و نگهداری کم‌تر</li> <li>- عملکرد مناسب و زیاد برای حذف استروژن و پاتوژن‌ها</li> </ul>                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- گرفتگی مجاری، تشکیل رسوبات</li> <li>- رشد بیوفیلم، رسوب شیمیایی و وابستگی به فصل سال</li> </ul>                                                                                                                                          |
| سامانه‌های راکتور غشایی (MBR)   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- مناسب برای حذف آلاینده‌های نوظهور</li> <li>- biorecalcitrant</li> <li>- جای پای اکولوژیکی کم</li> </ul>                                                                                                                                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>- نیاز به زمین زیاد و زمان طولانی نگهداری فاضلاب</li> <li>- مصرف انرژی زیاد و کنترل مداوم انتقال دما و جرم</li> <li>- هزینه‌های زیاد هوادهی و هزینه‌های غشاء</li> <li>- کارایی پایین برای حذف آلاینده‌های دارویی</li> </ul>                |

ادامه جدول ۱۱-۱- مزایا و چالش‌های روش‌ها و فناوری‌های مختلف حذف و تصفیه آلاینده‌های نوظهور [۶۹].

| فرایند تصفیه                     | مزایا                                                                                                                                                                                                                                                                         | چالش‌ها                                                                                                                                                                                                                                                                |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>فرایندهای فیزیکی- شیمیایی</b> |                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                                                                                                                        |
| انعقاد                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- کاهش کدورت ناشی از مواد معدنی معلق و مواد آلی</li> <li>- افزایش نرخ رسوب‌گذاری در نتیجه تشکیل ذرات معلق جامد</li> </ul>                                                                                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>- عدم کارایی لازم برای حذف ریزآلاینده‌ها</li> <li>- تولید حجم زیادی از لجن</li> <li>- تولید کلوخه‌های نمک در فاز مایع</li> </ul>                                                                                                |
| ازن زنی                          | <ul style="list-style-type: none"> <li>- پیوند قوی با آلاینده‌های نوظهور در حضور <math>H_2O_2</math></li> <li>- اکسیدکننده انتخابی برای با ویژگی ضد عفونی‌کننده</li> <li>- اثرات مکمل برای حذف آلاینده‌های نوظهور مانند داروها، محصولات مراقبت بهداشتی و آفت‌کش‌ها</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- مصرف انرژی زیاد، تشکیل محصولات جانبی اکسیدکننده</li> <li>- تداخل با یون‌های رادیکال</li> <li>- مصرف انرژی زیاد و بالا بودن هزینه‌های عملیاتی و نگهداری</li> </ul>                                                             |
| فرایندهای اکسایش پیشرفته AOPs یا | <ul style="list-style-type: none"> <li>- تجزیه و معدنی کردن آلاینده‌های نوظهور</li> <li>- از نور خورشید می‌توان با حذف پرتوهای بنفش استفاده کرد.</li> </ul>                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- تشکیل مواد جانبی سمی</li> <li>- کاهش یون‌رادیکال <math>OH</math> تشکیل‌دهنده کمپلکس‌های یون کلرو - سولفو آهن (III) در نتیجه وجود یون‌های <math>SO_4</math> و <math>CL_2</math> ناشی از وجود یون‌های کلرید و سولفیت</li> </ul> |
| فنتون و فتو-فنتون                | <ul style="list-style-type: none"> <li>- تجزیه ترکیبات آلی پایدار</li> <li>- نرخ واکنش زیاد با استفاده از کاتالیست</li> </ul>                                                                                                                                                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>- مشکلات تصفیه حجم زیادی از فاضلاب</li> </ul>                                                                                                                                                                                   |
| فتوکاتالیز ( $TiO_2$ )           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- قیمت کم و پایداری شیمیایی کاتالیست <math>TiO_2</math> و بازیابی راحت‌تر</li> </ul>                                                                                                                                                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- هزینه‌های ناشی از لامپ‌های فرابنفش و برق</li> <li>- جداسازی و بازیابی ذرات فتوکاتالیک از پساب</li> </ul>                                                                                                                      |
| میکرو یا الترافیلتراسیون         | <ul style="list-style-type: none"> <li>- توانایی حذف آلاینده‌های نوظهور</li> </ul>                                                                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>- عدم توانایی برای حذف مؤثر برخی آلاینده‌های نوظهور با منافذ ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ برابر بزرگ‌تر از ریز آلاینده‌ها</li> </ul>                                                                                                             |
| نانوفیلتراسیون                   | <ul style="list-style-type: none"> <li>- مناسب برای تصفیه آب‌شور و تصفیه فاضلاب تصفیه‌خانه‌ها</li> </ul>                                                                                                                                                                      | <ul style="list-style-type: none"> <li>- کاربرد محدود در حذف مواد دارویی</li> </ul>                                                                                                                                                                                    |
| اسمز معکوس                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>- توانایی حذف رنگ و آفت‌کش‌ها</li> <li>- مناسب برای تصفیه آب‌شور و تصفیه فاضلاب تصفیه‌خانه‌ها</li> <li>- توانایی حذف محصولات بهداشتی فردی (PCPs)، ترکیبات مختل‌کننده غدد درون‌ریز (EDCs) و داروها</li> </ul>                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>- نیاز به انرژی، غشاء بیش‌تر و مشکلات دفع</li> <li>- خاصیت خورنده بودن آب نهایی و توانایی کم‌تر برای حذف مواد دارویی</li> </ul>                                                                                                 |

## ۱۱-۱- روش بیولوژیکی (زیستی) حذف آلاینده‌های نوظهور

در سال‌های اخیر مطالعات متعددی برای گسترش فناوری‌های پایدار و ابداع روش‌های نوین جهت حذف آلاینده‌های نوظهور از آب و فاضلاب‌ها بسط و توسعه داده شده است. از بین این روش‌ها، فرایندهای حذف بیولوژیکی بیش از سایر روش‌ها در کانون توجه کارشناسان و برنامه‌ریزان تأمین آب و تصفیه فاضلاب برای حذف آلاینده‌های نوظهور قرار گرفته است. با این وجود، هنوز شمار زیادی از آلاینده‌های آلی پایدار وجود دارند که تجزیه آن‌ها با روش‌های زیستی بسیار مشکل است. لذا فرایندهای خلاقانه کارآمدی در حال توسعه هستند که به صورت هیبرید (ترکیبی) می‌توانند فرایندهای تجزیه زیستی موجود برای حذف آلاینده‌های نوظهور را تکمیل نمایند.

## الف- حذف آلاینده‌های نوظهور با استفاده از تالاب‌های مصنوعی

فرایندهای تصفیه فاضلاب متعارف با روش لجن فعال را می‌توان برای تصفیه فاضلاب‌های حاوی آلاینده‌های نوظهور مورد استفاده قرار داد، اما این کار باید به همراه فرایندهای تصفیه سوم (مانند ازن زنی<sup>۱</sup>، تجزیه نوری، تجزیه زیستی) انجام شود که در این صورت کارایی تصفیه بسیار افزایش پیدا می‌کند.

یکی از مهم‌ترین نقاط ضعف فرایندهای ترکیبی برای حذف آلاینده‌های نوظهور، نیاز به مصرف انرژی زیاد و همچنین گران بودن این شیوه است. به‌ویژه این شیوه برای جوامع کوچک مناسب نمی‌باشد. تالاب‌های مصنوعی (CWS)<sup>۲</sup> گزینه امیدوارکننده‌ای برای تصفیه سوم (پیشرفته) محسوب می‌شود، زیرا به انرژی کم‌تری نیاز دارد و هزینه‌های عملیاتی و نگهداری آن نیز کم‌تر است و کارایی تصفیه مؤثری دارد [۷۱].

گرچه در سال‌های اخیر مطالعات زیادی در زمینه‌ی حذف آلاینده‌های نوظهور (به‌ویژه مواد دارویی و محصولات مراقبت بهداشتی فردی) در تالاب‌های مصنوعی انجام شده است، اما بیش‌تر این مطالعات در مقیاس‌های کوچک (آزمایشگاهی و موردی) انجام شده است و به همین دلیل اطلاعات اندکی در مورد استفاده از تالاب‌های مصنوعی در مقیاس کلان در دسترس است. جدول (۱۱-۲) برخی نتایج کارایی تصفیه فاضلاب حاوی انواع آلاینده‌های نوظهور را در برخی انواع تالاب‌های مصنوعی نشان می‌دهد.

جدول ۱۱-۲- کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور منتخب در تالاب‌های مصنوعی [۱۱]

| نوع آلاینده                 | نوع تالاب مصنوعی | کارایی حذف (%)                    |
|-----------------------------|------------------|-----------------------------------|
| کاربامازپین (Carbamazepine) | FW-SSF           | ۳۵-۷۱                             |
|                             | SSF-CW           | ۱۶                                |
|                             | SF-CF            | ۳۲-۳۷                             |
|                             | SSF-CW           | ۲۶/۷-۲۸/۴                         |
| گالاکسولید (Galaxolide)     | FW-SSF           | ۶۷-۸۲                             |
|                             | SF-CW            | ۸۸-۹۰                             |
|                             | SF-CW            | ۸۷                                |
| دیکلوفناک (Diclofenac)      | FW-SF            | ۱۷-۲۶ (زمستان)<br>۳۶-۵۲ (تابستان) |
|                             | SF-CW            | ۲۰-۵۰                             |
|                             | HSSF-CW          | ۲۴-۹۳                             |
|                             | VSSF-CW          | ۵۳-۷۳                             |
|                             | SF-CW            | ۷۳-۹۶                             |
|                             | SF-CW            | ۸۵                                |
|                             | SF-CW            | ۱۲-۲۶                             |
| ترامادول (Tramadol)         | HSSF-CW          | ۵۴-۸۵                             |
|                             | HSSF-CW          | ۵-۱۰۰                             |
| پاراستامول (Paracetamol)    | HSSF-CWs         | بیش از ۹۰                         |
|                             | hybrid-CWs       | بیش از ۹۵-۹۹                      |

۱- Ozonization

۲- Constructed wetlands

ادامه جدول ۱۱-۲- کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور منتخب در تالاب‌های مصنوعی [۱۱]

| نوع آلاینده            | نوع تالاب مصنوعی | کارایی حذف (%)                    |
|------------------------|------------------|-----------------------------------|
| استامینوفن             | HSSF-CWs         | بیش از ۹۰                         |
| اکسی بنزن (Oxybenzone) | HSSF-CWs         | بیش از ۹۷                         |
| اتنولول (Atenolol)     | HSSF-CWs         | ۵۸-۹۹                             |
|                        | SF-CWs           | ۲۷-۵۳                             |
|                        | HSSF-CWs         | ۴۸                                |
| متوپرولول (Metoprolol) | HSSF-CWs         | ۶۰-۹۳                             |
|                        | SF-CWs           | ۳-۳۰                              |
|                        | HSSF-CWs         | ۱۱                                |
| فروسمید (Furosemide)   |                  | ۸۰-۹۶                             |
|                        |                  | ۳۵-۷۱                             |
| ایبو پروفن (Ibuprofen) | HSSF-CW          | ۷۴-۹۹                             |
|                        | SF-CW            | ۴۵-۹۵                             |
|                        | FW-SW            | ۲۷-۷۴ (زمستان)<br>۶-۹۶ (تابستان)  |
|                        | SSF-CW           | ۷۱                                |
|                        | VSSF-CW          | ۵۵-۹۹                             |
|                        | SF-CW            | ۹۵-۹۶                             |
|                        | SSF-CW           | ۷۱-۷۹/۷                           |
|                        | SF-CW            | ۵۰-۱۰۰                            |
|                        | FW-SSF           | ۴۷-۸۱                             |
|                        | FW-SF            | ۱۱-۵۰ (زمستان)                    |
| کتوپروفن (Ketoprofen)  | SF-CW            | ۴۷-۹۱                             |
|                        | HSSF-CW          | ۱۰-۹۰                             |
|                        | FW-SSF           | ۵۸-۸۱                             |
| ناپروکسن (Naproxen)    | FW-SF            | ۲۷-۶۶ (زمستان)<br>۲۷-۸۳ (تابستان) |
|                        | SF-CW            | ۷۵-۷۶                             |
|                        | HSSF-CW          | ۷۶-۹۷                             |
|                        | VSSF-CW          | ۶۹-۹۶                             |
|                        | SSF-CW           | ۸۵                                |
|                        | SF-CW            | ۵۲-۹۲                             |
|                        | SF-CW            | ۸۲/۸-۹۱/۳                         |
|                        | HSSF-CWs         | ۶۲-۹۱                             |
|                        | SF-CW            | ۷۴-۹۳                             |
|                        | SSF-CWs          | بیش از ۹۶                         |
| تری کلوزان (Triclosan) | SF-CWs           | ۷۹-۹۱                             |
|                        | SF-CWs           | ۷۹-۹۱                             |
|                        | SSF-CWs          | ۲۲                                |
| ChlorpyrifosMecoprop   |                  |                                   |

SF-CW = تالاب مصنوعی با جریان سطحی (surface-flow constructed wetland)

FW-SSF = آب آزاد با جریان زیر سطحی (free water subsurface flow)

SW-SF = آب آزاد با جریان سطحی (free water surface flow)

HSSF-CW = تالاب مصنوعی با جریان آب افقی (horizontal subsurface flow constructed wetland)

VSSF-CW = تالاب مصنوعی با جریان عمودی (vertical subsurface flow constructed wetland)

عوامل متعددی در کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور توسط تالاب‌های مصنوعی دخالت دارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- **پیکره و ساختار تالاب مصنوعی:** فرایندهای حذف آلاینده‌های (جریان‌های آب سطحی، زیر سطحی، عمودی یا افقی) به صورت‌های مختلفی در تالاب عمل می‌کنند. این فرایندها نقش بسیار مهمی در حذف آلاینده‌های نوظهور از فاضلاب دارند که به شدت وابسته به اکسیژن هستند. در این خصوص، پوشش گیاهی (گیاهان غوطه‌ور و نیمه غوطه‌ور، گیاهان ثابت یا شناور) نقش بسیار مهمی در حذف آلاینده‌های نوظهور دارند. باین‌وجود نقش گیاهان در مقیاس خرد است و هنوز در مورد حذف آلاینده‌های نوظهور توسط گیاهان در تالاب‌های مصنوعی مباحث دامن‌داری در بین کارشناسان مطرح است.
- **فصل سال:** بررسی‌ها نشان می‌دهد که کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور عموماً در تابستان بیش از زمستان است که از مهم‌ترین دلایل آن می‌توان به افزایش تجزیه زیستی، بیش‌تر بودن زیست توده در آب و بیش‌تر بودن تغییرات جریان آب در تابستان اشاره کرد. باین‌وجود برخی مطالعات نشان می‌دهند که حذف برخی محصولات مراقبت‌های بهداشتی (PCPs) در تالاب‌ها تحت تأثیر دمای آب تالاب قرار ندارد. به همین دلیل، شناسایی ساز و کارهای تأثیر فصل بر حذف برخی آلاینده‌های نوظهور و شدت این تأثیر بر تجزیه آلاینده‌های نوظهور به مطالعات بیش‌تری نیاز دارد.
- **پارامترهای موردنظر موجود در آب برای تصفیه:** نتایج مطالعات متعدد پژوهشگران نشان می‌دهد تالاب‌های مصنوعی از کارایی مناسبی برای حذف اکسیژن‌خواهی زیستی (BOD<sub>5</sub>) (۹۵/۶ - ۸۱/۵٪)، اکسیژن‌خواهی شیمیایی (COD) (۸۴-۵۷/۲٪) و کل ذرات جامد (TSS) (۹۶/۴ - ۸۱/۷٪) برخوردارند، درحالی‌که برای حذف آمونیاک (۶۷-۱۷/۴٪) و فسفر کل (TSS) (۸۴/۱ - ۵/۳٪) کارایی کم‌تری داشتند. با این وجود، این نتایج به نوع، ساختار و مقیاس عملکرد تالاب مصنوعی بستگی دارد. نگاه دقیق به داده‌ها و اطلاعات تأثیر ترکیبات موجود در آب بر کارایی تصفیه نشان می‌دهد که پراکنش بسیار زیادی در نتایج پژوهش در این زمینه وجود دارد، لذا به نظر می‌رسد به مطالعات یکپارچه و همکاری‌های بیش‌تری در این زمینه در بین گروه‌های مختلف پژوهشی نیاز است تا بر مبنای آن‌ها بتوان این تعارضات و تناقض بین نتایج پژوهش‌های مختلف را کاهش داد [۷۳]
- **وجود اکسیژن:** مطالعات تجربی انجام‌شده در مطالعات مختلف از رابطه همبستگی مثبت بین غلظت اکسیژن محلول در فاضلاب ورودی تالاب مصنوعی و کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور حکایت داشته است [۷۵]

#### ب- حذف آلاینده‌های نوظهور با راکتورهای زیستی غشایی

حذف آلاینده‌ها از فاضلاب با استفاده از سامانه‌های راکتور زیستی غشایی (MBR)<sup>۱</sup> نیز روش کارآمدی (حذف ۴۲-۱۵ درصد) در مقایسه با سامانه لجن فعال قلمداد می‌شود. سامانه‌های راکتور زیستی غشایی (MBR) به‌تنهایی قادر به

۱- Biological membrane reactor systems

حذف کامل آلاینده‌های نوظهور نیستند و به همین دلیل همواره با سایر روش‌های تصفیه مانند ازن‌زنی، کربن فعال، تجزیه نوری و غیره برای حذف آلاینده‌ها تلفیق می‌گردند. در سامانه‌های راکتور زیستی غشایی (MBR) فرایندهای تصفیه بیولوژیکی و فیزیکی با یکدیگر تلفیق می‌شوند. در این شرایط تصفیه لجن فعال و فیلتراسیون غشایی از کارایی حذف مناسبی برخوردارند. تجزیه زیستی، تجزیه نوری، تبخیر و جذب لجن آلاینده‌ها همواره در بازه زمانی طولانی روی می‌دهد که این کار امکان حذف نیتروژن و رشد باکتری‌های نیتروژن‌زدا را فراهم می‌کند که این فرایندها می‌تواند به بهبود عملکرد فرایند تصفیه منتهی شود. مهم‌ترین مزیت سامانه‌های راکتور زیستی غشایی (MBR) هزینه‌های نسبتاً پایین این شیوه است، اما تولید ضایعات و پسماندهای بر روی غشاءها از نقاط ضعف این شیوه می‌باشد [۷۶].

راکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR)<sup>۱</sup> در زمره فناوری‌های جدید برای تصفیه فاضلاب‌ها با غلظت‌های آلاینده‌های با نوسانات زیاد است. راکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) بر اساس فناوری هضم بی‌هوازی بنا نهاده شده است که مهم‌ترین ویژگی آن پایداری و فراوانی میکروب‌های مقاوم به مواد سمی است که این ویژگی تجزیه زیستی آلاینده‌های نوظهور را تضمین می‌کند. افزون بر این، راکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) می‌توانند گاز زیستی (به‌عنوان یک منبع تجدیدپذیر زیستی) تولید کنند که مقدار آن به میزان معنی‌داری بیش از سامانه‌های تجزیه زیستی بی‌هوازی متعارف است و به همین دلیل نیز برای حذف آلاینده‌های نوظهور از فاضلاب‌های مایع مورد استفاده قرار می‌گیرند.

هرچند در فرایندهای تصفیه بی‌هوازی متعارف کارایی تولید گاز زیستی به باکتری‌های تولیدکننده متان، زمان ماند مواد جامد (STR)<sup>۲</sup> و زمان ماند هیدرولیکی (HRT)<sup>۳</sup> بستگی دارد، اما در فناوری راکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) غلظت نسبتاً زیادی از سلول‌های پایدار و مقاوم وجود دارد که بار هیدرولیکی زیادی را به وجود آورده و اختلاط ایجاد می‌کنند که علت آن استقلال زمان ماند هیدرولیکی (HRT) از زمان ماند مواد جامد (STR) است، زیرا غشاءها مانع از شسته شدن زیست‌توده می‌شوند [۷۶].

به‌مانند روش‌های متداول سامانه‌های راکتور زیستی غشایی (MBR)، رسوب پسماندهای غشایی بر روی غشاء راکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) در زمره ضعف این فناوری است، زیرا با افزایش رسوب پسماندها و مسدود شدن غشاء آن‌ها جریان مایعات از بین غشاءها کاهش پیدا می‌کند، به همین دلیل لازم است از سطح غشایی بزرگ‌تری به ازای حجم هر راکتور استفاده کرد که موضوع نیز به‌نوبه خود باعث افزایش هزینه‌ها می‌شود. به همین دلیل این موضوع کاربرد استفاده از سامانه راکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) در مقیاس‌های کلان‌تر را با چالش مواجه کرده است.

۱- Anaerobic membrane bioreactors

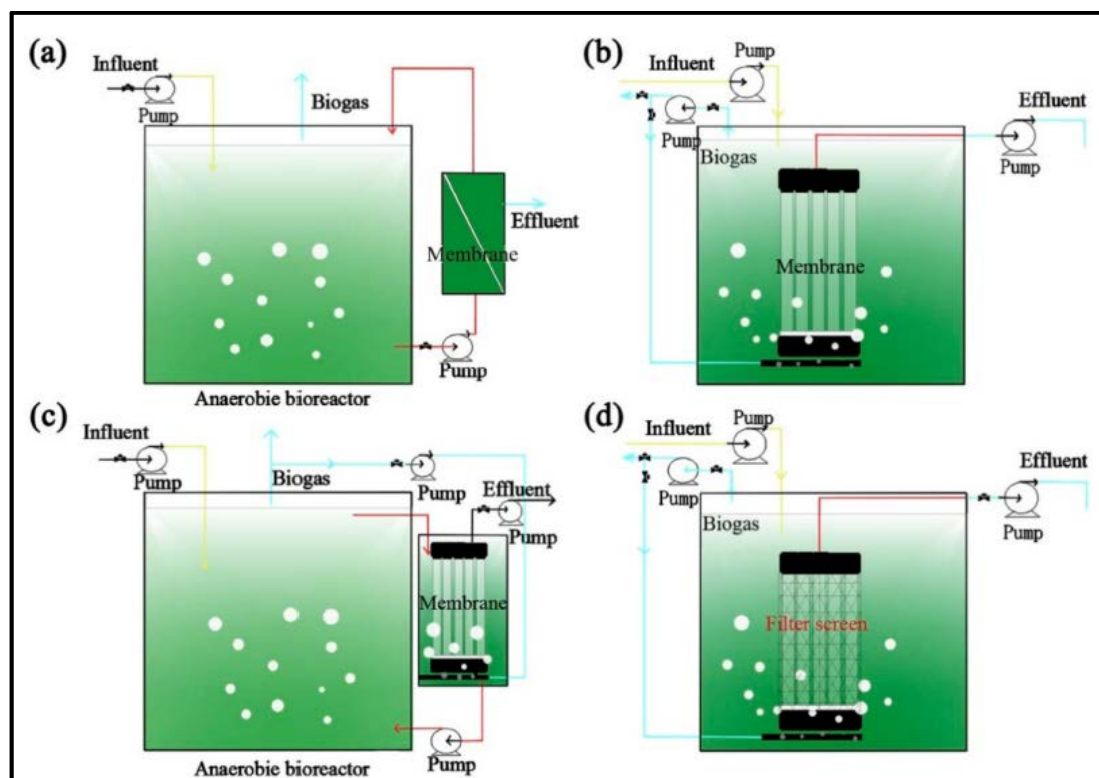
۲- Solids retention time

۳- Hydraulic retention time

مجموعه‌ای از عوامل وجود دارند که در رسوب مایعات و پسماندها بر روی غشاء تأثیر می‌گذارند که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- شرایط فعالیت راکتور زیستی (میزان بار مواد آلی، کیفیت فاضلاب ورودی و تغییرات آن، زمان نگه داشت لجن، میزان بار هیدرولیکی، PH، دما، میزان سمیت آلاینده‌های آلی)
- ویژگی‌های غشاء (ویژگی‌های شیمیایی غشاء و مورفولوژی سطح آن، اندازه خلل و فرج و روزه‌های عبور مواد)
- شرایط هیدرودینامیکی (سرعت جریان عرضی آب، تنش برشی، ویژگی‌های جریان گاز و حباب‌های درون فاضلاب، پتانسیل شستشوی معکوس)
- عملکرد فرایند (شار غشایی<sup>۱</sup>، افت فشار، توزیع، مؤلفه‌های اقتصادی)
- ویژگی‌های بیولوژیکی (غلظت زیست‌توده، توزیع ذرات معلق جامد، وجود پلی ساکاریدها، ذرات کلئویدی و محصولات میکروبی محلول)
- ویژگی‌های شیمیایی سامانه (وجود کاتیون‌ها و آنیون‌ها)

عملکرد سامانه‌های راکتور زیستی غشایی (MBR) را می‌توان با انتخاب تعبیه غشاهای به صورت مناسب انعطاف‌پذیر کرد و کارایی آن‌ها را افزایش داد. در شکل (۱۱-۲) انواع راکتورهای زیستی غشایی بی‌هوای (AnMBR) متداول نشان داده شده است.



شکل ۱۱-۲- رآکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) متداول. رآکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) با جریان جانبی (a)، رآکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) نیمه غوطه‌ور (b)، رآکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) نیمه غوطه‌ور خارجی (c)، رآکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) دینامیکی (d) [۸۰].

انواع آلاینده‌های نوظهور را می‌توان با سامانه رآکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR) تصفیه و حذف کرد، اما کارایی آن‌ها متفاوت است که این کارایی به عوامل متعددی مانند ترکیب فاضلاب، نوع آلاینده‌ها، زمان ماند یا نگه‌داشت هیدرولیکی (HRT) و غیره بستگی دارد که این کارایی برای برخی آلاینده‌های منتخب در جدول (۱۱-۳) ارائه شده است.

جدول ۱۱-۳- کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور در سامانه رآکتورهای زیستی غشایی بی‌هوازی (AnMBR)

| آلاینده نوظهور | کارایی حذف (%) |
|----------------|----------------|
| بی فنل A       | ۳۱/۵           |
| Androsterone   | ۹۸             |
| Linuron        | ۸۸/۱           |
| Diazinon       | ۸۰             |
| Triclosan      | ۹۰/۲           |
| Ceftriaxone    | ۴۷/۷           |
| Ampicillin     | ۳۴/۶           |
| Amoxicillin    | ۷۳/۲           |

### ج- حذف آلاینده‌های نوظهور با استفاده از جذب زیستی<sup>۱</sup>

جذب آلاینده‌ها<sup>۲</sup> یکی از روش‌های کاربردی و مؤثر برای حذف ریز آلاینده‌های آلی و معدنی از فاضلاب‌های مایع قلمداد می‌شود. جذب سطحی یک فرایند سطحی است که در آن آلاینده‌ها و ماده جاذب در نتیجه نیروهای فیزیکی و شیمیایی با یکدیگر واکنش نشان می‌دهند. برای رسیدن به شرایط مناسب برای جذب آلاینده‌ها، فرایندهای یادشده باید بر اساس اطلاعات موجود در مورد عواملی مانند ماهیت ماده جاذب و نوع آلاینده، PH، زمان تماس، دما، وجود سایر آلاینده‌ها بهینه‌سازی شود. علاوه بر این باید به شرایط تعادل تشریح شده توسط مدل جذب ایزوترم جذب<sup>۳</sup> توجه شود که این معادله توسط مدل‌هایی مانند مدل جذب Smith, Halsey, Henderson, Tempkin, Freundlich, Langmuir, Elovich، مدل پراکنش فیلم مایع<sup>۴</sup>، مدل نفوذ ذرات و مدل Lagergren نشان داده می‌شود. فرایند جذب سطحی نقش بسیار مهمی در طراحی سامانه‌های جذب سطحی با استفاده از پارامترهای جنبشی، انرژی آزاد، انتالپی، انتروپی و انرژی فعال‌کننده دارد.

#### ۱- Biosorption

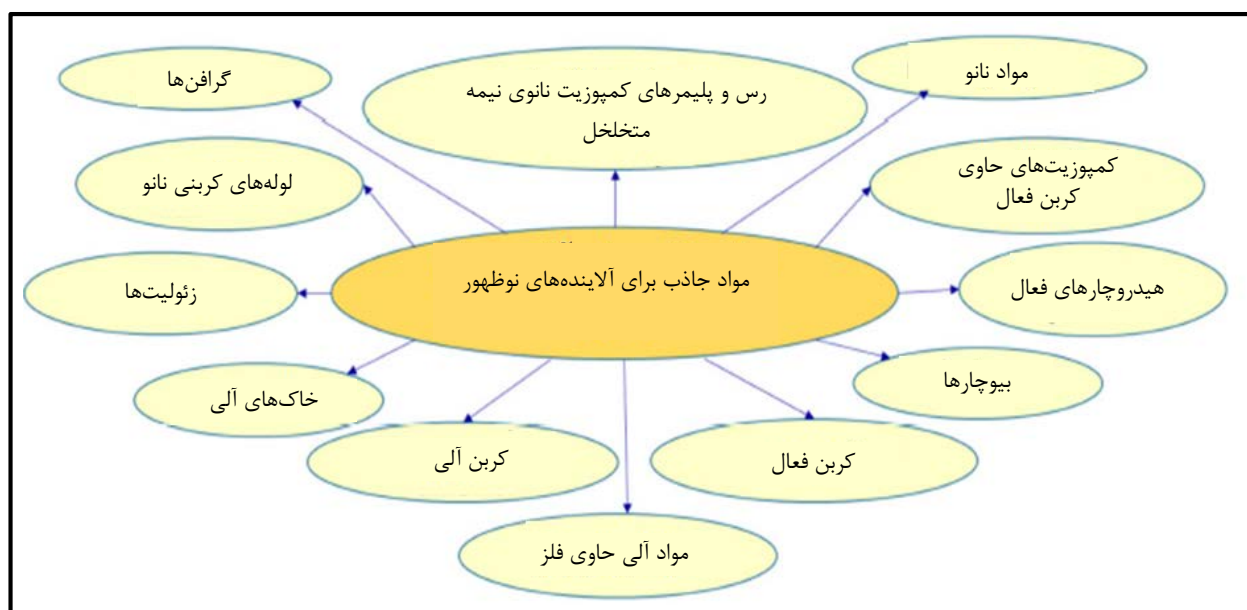
۲- جذب مواد توسط مواد جاذب از دو روش انجام می‌گیرد. یک روش، از طریق نفوذ ماده در داخل ماده جاذب صورت می‌گیرد که Absorption نام دارد. در روش دیگر، در واقع ماده جذب شونده، روی سطح ماده جاذب چسبیده و «جذب سطحی» اتفاق می‌افتد که به آن Adsorption می‌گویند.

#### ۳- Adsorption isotherms

ایزوترم جذب (absorption isotherm) رابطه‌ای ریاضی (تجربی یا تحلیلی) است که مقدار تعادلی ماده (همواره گاز) جذب شده به صورت شیمیایی یا فیزیکی بر روی سطح یک جامد معین را با تغییرات فشار گاز در دمای ثابت بیان می‌کند.

#### ۴- Liquid film diffusion

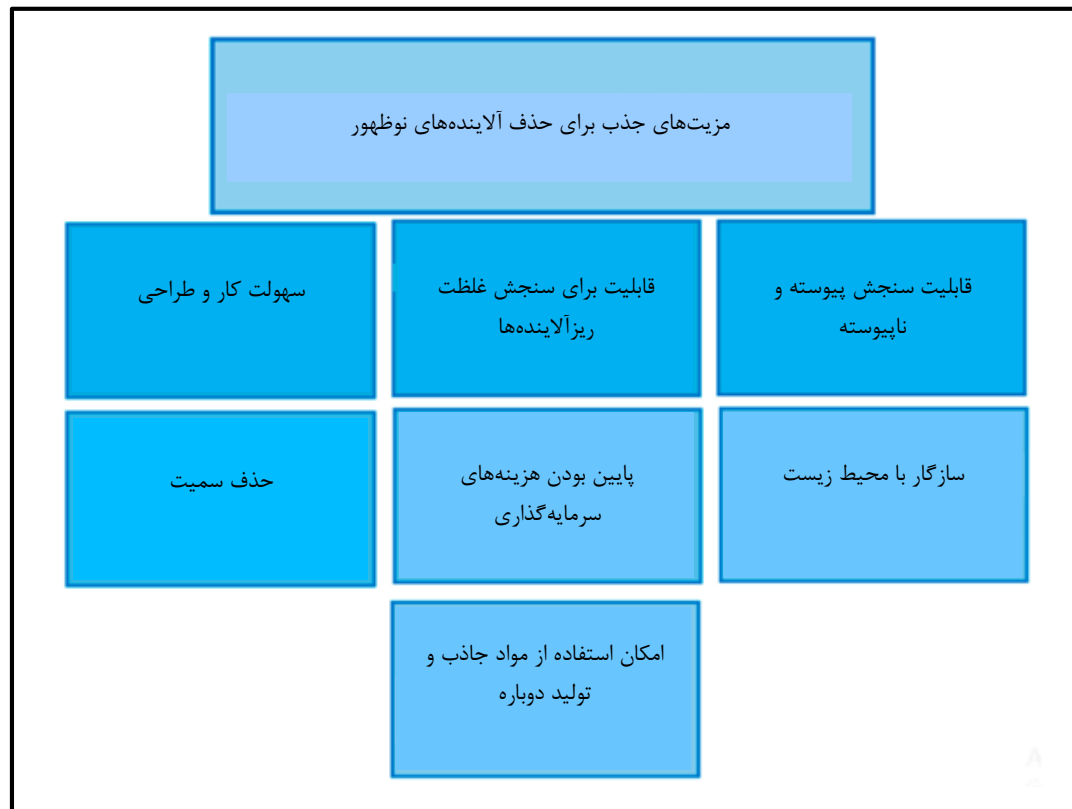
مطالعات فراوانی وجود دارند که در آن‌ها در مورد کاربرد و استفاده از مواد مختلف به‌عنوان جاذب جهت حذف آلاینده‌های نوظهور از فاضلاب‌ها بحث شده است. شکل (۱۱-۳). همچنین، طی سال‌های اخیر مواد جاذب جدیدی برای حذف آلاینده‌های نوظهور به همراه مواد جاذب موجود بر اساس قابلیت‌های آن‌ها برای تثبیت آلاینده‌های نوظهور از محلول‌های مایع معرفی شده است (افزایش کارایی جذب، مکانیسم‌های واکنش‌های متقابل و استفاده از بهترین مدل‌ها) معرفی شده است [۱۸].



شکل ۱۱-۳- انواع مواد جاذب برای حذف آلاینده‌های نوظهور

یکی از فرایندهای منحصربه‌فرد جذب آلاینده‌ها از آب و فاضلاب در سال‌های اخیر، فرایند جذب زیستی است. این فرایند، فناوری تصفیه زیستی است که در سال‌های اخیر بیش از پیش در کانون توجه قرار گرفته است، زیرا در این فرایند طیف گسترده‌ای از مواد حاصل از زیست‌توده می‌توانند نقش مواد جاذب را بازی کنند. به همین دلیل جذب زیستی می‌تواند به‌عنوان یک گزینه اثربخش برای حذف طیف گسترده‌ای از آلاینده‌های پایدار آلی و معدنی در تصفیه دوم و سوم فاضلاب مورد استفاده قرار گیرد [۱۸].

فرایند جذب زیستی از مزیت‌های متعددی مانند پایین بودن هزینه‌های ناشی از فراوانی زیست‌توده، امکان بازتولید و بازیافت مواد جاذب مصرف شده و قابلیت انتخابی آن‌ها برای حذف آلاینده‌ها در مقایسه با روش‌های متعارف (مبادله یونی، جداسازی غشایی، انعقاد و غیره) برخوردار است. برخی مزیت‌های روش جذب زیستی در شکل (۱۱-۴) ارائه شده است.



شکل ۱۱-۴- مزایای کاربرد فرایند جذب زیستی برای حذف آلاینده‌های نوظهور از فاضلاب

از منظر اقتصادی، امکان‌پذیری توسعه جذب زیستی به ماهیت زیست‌توده (گیاهان، میکروب، جلبک‌ها و غیره)، ظرفیت جذب زیستی مواد جاذب، احتمالات تغییر سطح ماده جاذب برای بهبود ظرفیت جذب و احتمال بازتولید جاذب زیستی مصرف‌شده دارد. از دیگر مؤلفه‌های مهم از منظر اقتصادی و اکولوژیکی نیز می‌توان به استفاده از ضایعات زیست‌توده (ضایعات کشاورزی، صنایع غذایی، صنایع چوب و غیره) به‌عنوان منبع تأمین مواد جاذب زیستی اشاره کرد. کارایی حذف برخی آلاینده‌های نوظهور توسط روش جذب زیستی با استفاده از برخی گونه‌های قارچ بررسی شده است [۶۹]. (۴-۱۱).

جدول ۱۱-۴- کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور با استفاده از سامانه جذب زیستی

| گروه                                      | آلاینده نوظهور<br>EPs    | جذب زیستی        |             |                     |             |
|-------------------------------------------|--------------------------|------------------|-------------|---------------------|-------------|
|                                           |                          | Live (fungus)    |             | Inactivate (Fungus) |             |
|                                           |                          | Influent (µg/-1) | Removal (%) | Influent (µg/-1)    | Removal (%) |
| ترکیبات مختل کننده<br>عدد درون ریز (EDCs) | Androstenedione          |                  |             |                     |             |
|                                           | Androsterone             |                  |             |                     |             |
|                                           | E1                       | 50               | 72          | 50                  |             |
|                                           | E2                       | 50               | 60.5        | 50                  |             |
|                                           | EE2                      | 50               | 62          | 1.50, 210           |             |
|                                           | E3                       | 50               | 4.5         | 50                  |             |
|                                           | 17β-Estradiol-17-acetate | 50               | 79          | 50                  |             |
|                                           | Bisphenol A              | 50               | 65          | 1.50, 210           |             |
|                                           | 4-tert-butylphenol       | 50               | 33          | 50                  |             |
|                                           | nonylphenol              |                  |             |                     |             |
|                                           | Octylphenol              |                  |             |                     |             |
|                                           | 4-tert-octylphenol       |                  | 90          |                     | 82.5        |
|                                           | 4-n-nonylphenol          |                  |             |                     |             |
|                                           | Testosterone             |                  |             |                     |             |
| آفت‌کش‌ها                                 | Dihydrotesteron          |                  |             |                     |             |
|                                           | Atrazine                 |                  |             |                     |             |
|                                           | Dicabba                  |                  |             |                     |             |
|                                           | Fenoprop                 |                  |             |                     |             |
|                                           | 2,4-D                    |                  |             |                     |             |
|                                           | Mecoprop                 |                  |             |                     |             |
| بتا- بلاکرها <sup>۱</sup>                 | Pentachlorophenol        |                  |             |                     |             |
|                                           | Triclosan                | 50               | 78.5        | 50                  | 97          |
|                                           | Atendol                  |                  |             |                     |             |
|                                           | Metoprolol               |                  |             |                     |             |
|                                           | Nadolol                  |                  |             |                     |             |
|                                           | Propranolol              |                  |             |                     |             |
|                                           | Sotalol                  |                  |             |                     |             |
|                                           | Salbotamol               |                  |             |                     |             |
| PCBs                                      | Benzophenone             | 50               | 40          | 1.50,310            | 1.11, 283   |
|                                           | Oxybenzene               | 50               | 54.5        |                     |             |
|                                           | Propyl Parabene          |                  |             |                     |             |
|                                           | Salicylic acid           | 50               | 68          | 50                  | 0           |
| Antipplatelet                             | Codeine                  |                  |             |                     |             |
|                                           | paracetamol              |                  |             |                     |             |
| کاهش دهنده‌های استرس                      | Clopidogrel              |                  |             |                     |             |
|                                           | Hydrocodone              |                  |             |                     |             |
| Antagonists                               | Diazepam                 |                  |             |                     |             |
| کاهش دهنده درد                            | Famotidine               |                  |             |                     |             |
| Gastroesophageal                          | Lorazepam                |                  |             |                     |             |
|                                           | Ranitidine               |                  |             |                     |             |
| Analgesics                                | Carbamazepine            | 50               | 01          | 50                  | 07          |
|                                           | Citaloprain              |                  |             |                     |             |
|                                           | Diclofenac               | 50               | 97          | 50                  | 43          |
|                                           | Metronidazole            | 50               | 100         | 50                  | 27          |
|                                           | Naprox                   |                  |             |                     |             |
|                                           | Primidone                | 50               | 100         | 50                  | 17          |
|                                           | Trazodone                | 50               | 12          | 50                  | 27          |
| Anticonvulsants                           | Ketoprofen               | 50               | 22          | 50                  | 11          |
| تنظیم کننده چربی خون                      | Clofibrilic acid         | 50               | 06          | 50                  | 18          |
|                                           | Gemifibrozil             | 50               | 100         | 50                  | 57.5        |
| Diuretics                                 | Hydrochlorothiazide      |                  |             |                     |             |
|                                           | Furosemide               |                  |             |                     |             |
| آنتی بیوتیک‌ها                            | Azithromycin             |                  |             |                     |             |
|                                           | Clanthromycin            |                  |             |                     |             |
|                                           | Ofloxacin                |                  |             |                     |             |
|                                           | Sulfamethaxazole         |                  |             |                     |             |
|                                           | Trimethoprim             |                  |             |                     |             |
| ضد تب                                     | Acetaminophen            |                  |             |                     |             |
| Stimulant                                 | Caffeine                 |                  |             |                     |             |

۱- blockers یا مسدودکننده گیرنده آدرنرژیک بتا به گروهی از داروها گفته می‌شود که نقش آنتاگونیست رقابتی را برای اتصال به گیرنده‌های آدرنرژیک بتا ایفا می‌کنند.

## د- فناوری تصفیه هیبرید (ترکیبی)

همان‌گونه که در جدول (۵-۱۱) نشان داده شده است، کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور از آب و فاضلاب به فرایند حذف مورد استفاده و ترکیب شیمیایی مواد و آلاینده‌های موجود در آب و فاضلاب بستگی دارد که می‌تواند کارایی حذف مختلفی را برای ترکیبات مشابه از خود نشان دهند. برای مثال، دیکلوفناک را می‌توان با کارایی ۹۷ درصد با استفاده از جانداران ذره‌بینی زنده (قارچ در این نمونه) از فاضلاب حذف کرد یا در هنگامی که از روش حذف تالاب مصنوعی با جریان افقی زیر سطحی (HSSF-CW) برای تصفیه استفاده می‌شود، این کارایی ۵۵ درصد است. همچنین زمانی که روش تالاب مصنوعی با جریان افقی زیرسطحی (HSSF-CW) برای حذف داروی Carbamazepine از فاضلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد، کارایی حذف فرایندهای بیولوژیکی بسیار پایین است و کمتر از ۲۲ درصد می‌باشد (جدول (۵-۱۱)).

جدول ۵-۱۱- مقایسه کارایی حذف برخی فرایندهای مبتنی بر فناوری‌های تجزیه زیستی برای حذف برخی آلاینده‌های نوظهور

| آلاینده نوظهور | کارایی حذف (%) |               |                       |             |                    |
|----------------|----------------|---------------|-----------------------|-------------|--------------------|
|                | HSSF-CW        | Lab-Scale MBR | Biological Filtration | Biosorption |                    |
|                |                |               |                       | Live Fungus | Inactivated Fungus |
| Diclofenac     | 55             | 58            | 93                    | 97          | 43                 |
| Carbamazepine  | 26             | 13            | 5                     | 1           | 7                  |
| Naproxen       | 91             | -             | 72                    | 100         | 17                 |
| Atrazine       | -              | 9             | -                     | 18          | 9                  |

به‌منظور حذف بهتر آلاینده‌های نوظهور مختلف، برخی طرح‌های تصفیه هیبرید فاضلاب در سال‌های اخیر توسعه داده شده‌اند که از کارایی بسیار خوبی برای حذف آلاینده‌های نوظهور از فاضلاب‌ها برخوردارند. سامانه‌های تصفیه هیبرید می‌توانند به حداکثر کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور دست پیدا کنند. در این سامانه‌ها برای حذف آلاینده‌ها در مرحله اول فرایندهای بیولوژیکی به اجرا درمی‌آید و سپس فرایندهای فیزیکی - شیمیایی صورت می‌گیرد که این کار باعث می‌شود تا تصفیه فاضلاب کامل شود (جدول (۶-۱۱)). برای مثال، طراحی چنین فرایندهای هیبرید ممکن است به صورت‌های زیر به اجرا درآیند:

- فرایند لجن فعال + سامانه‌های فیلتراسیون / جداسازی غشایی (اسمز معکوس، الترافیلتراسیون) + پرتوهای گاما
- تالاب‌های مصنوعی به همراه برکه‌های تثبیت پسماند (حذف داروها، بتا بلاکرها)، تجزیه زیستی، جذب، تبخیر، هیدرولیز و تجزیه نوری
- راکتور زیستی غشایی (MBR) + سامانه‌های فیلتراسیون / جداسازی غشایی (اسمز معکوس، نانوفیلتراسیون) (حذف آفت‌کش‌ها، مواد دارویی، داروهای بتا بلاکرها)
- راکتور زیستی غشایی (MBR) + اکسایش با پرتوهای فرابنفش، جذب کربن فعال، ازن‌زنی پس از فرایند التراسونیک
- ازن‌زنی + کربن فعال زیستی (داروها، آنتی‌بیوتیک‌ها، داروهای ضدافسردگی، بتا بلاکرها، مواد شیمیایی مختل‌کننده غدد درون‌ریز، آفت‌کش‌ها)

- لخته سازها+ لجن فعال+ الترافیلتراسیون (مواد شیمیایی مختل کننده غدد درون ریز، آفت کش ها، بتا بلاکرها)
- الترافیلتراسیون+ لجن فعال+ التراسونیک (آنتی بیوتیک ها)
- تالاب مصنوعی با جریان سطحی (SFCW) + تالاب مصنوعی با جریان افقی (HFCW) (داروها، بتا بلاکرها، مواد تحریک کننده)

در مجموع، سامانه‌های تصفیه هیبرید برای حذف آلاینده‌های نوظهور از فاضلاب بسیار جذاب هستند، اما حذف کامل آلاینده‌ها از فاضلاب همیشه مشاهده نمی‌شود. به همین دلیل، لازم است تا پژوهش‌های بیش‌تری در مقیاس‌های بزرگ‌تر برای بررسی بیش‌تر فناوری‌های هیبرید و ادغام آن با روش‌های تجزیه نوری، الکتروشیمیایی و سایر فناوری‌های تصفیه با فناوری‌ها و فرایندهای زیستی باید انجام شود.

جدول ۱۱-۶- کارایی حذف آلاینده‌های نوظهور با سامانه‌های تصفیه هیبرید

| کارایی حذف (%) | مرحله دوم                         | مرحله اول                          | آلاینده نوظهور    |
|----------------|-----------------------------------|------------------------------------|-------------------|
| 99.5           | Reverse Osmosis                   | Membrane Biological Reactor        | Propanolol        |
| 95             | Reverse Osmosis                   | Membrane Biological Reactor        | Diclofenac        |
| 99.7           | Ultrasounds                       | Activated sludge + Ultrafiltration |                   |
| 75             | Electrochemical Process           | Membrane Biological Reactor        |                   |
| 45             | Ultrafiltration                   | Biological Activated Carbon        |                   |
| 95             | Ultrafiltration                   | Flocculants + Activated Sludge     | Bisphenol A       |
| >93            | Reverse Osmosis                   | Membrane Biological Reactor        | Sulfonamides      |
| 92.6           | Ultrafiltration                   | Membrane Biological Reactor        | Salicylic acid    |
| 97.3           | Nanofiltration                    | Membrane Biological Reactor        |                   |
| 95.4           | Reverse Osmosis                   | Membrane Biological Reactor        |                   |
| 99.9           | Ultrafiltration + Reverse Osmosis | Activated sludge                   |                   |
| 99.5           | Reverse Osmosis                   | Membrane Biological Reactor        | Clarithromycin    |
| 94.3           | Ultrasound                        | Ozonation                          |                   |
| 100            | Ultrasound                        | Ozonation                          |                   |
| 95.9           | Ultrafiltration + Reverse Osmosis | Activated sludge                   |                   |
| 70             | Ozonation                         | Biological Activated Carbon        | Atrazine          |
| 99             | Reverse Osmosis                   | Membrane Biological Reactor        | Pentachlorophenol |
| 99             | UV Oxidation                      | Membrane Biological Reactor        | 2,4-D             |
| 92.9           | Ozonation                         | Biological Activated Carbon        |                   |

## ۱۱-۲- کاربرد هوش مصنوعی در پایش، کنترل و حذف آلاینده‌های نوظهور از منابع آبی

با توسعه روزافزون فناوری‌های نوین در سال‌های اخیر، هوش مصنوعی (AI)<sup>۱</sup> به عنوان ابزاری کارآمد برای مواجهه با چالش‌های زیست‌محیطی و مدیریت منابع آبی مطرح شده و کاربردهای گسترده‌ای در این زمینه پیدا کرده است. این فناوری نقش مهمی در بهینه سازی کیفیت و کمیت منابع آب و به‌ویژه در فرایندهای تصفیه آب و فاضلاب ایفا می‌کند. امروزه تکنیک‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین به طور گسترده‌ای برای ارتقای عملکرد سامانه‌های تصفیه و کاهش هزینه‌های عملیاتی مورد استفاده قرار می‌گیرند. هوش مصنوعی با استفاده از ابزارهایی نظیر یادگیری ماشین<sup>۲</sup>، شبکه‌های

۱- Artificial intelligence

۲- Machine Learning

عصبی<sup>۱</sup> و اینترنت اشیا (IOT)<sup>۲</sup> می‌تواند مراحل مختلف فرایندهای تصفیه آب را پایش، کنترل و مدیریت کند [۹۷]. این فناوری قادر است از طریق تحلیل اطلاعات و داده‌ها، استخراج الگو از آن‌ها و پیش‌بینی وضعیت سیستم، مشکلات احتمالی را پیش‌بینی و راهکارهای اصلاحی ارائه دهد. با وجود برخی از چالش‌های موجود در کاربرد هوش مصنوعی برای تصفیه آب و پساب، بدون شک این فناوری راه را به سمت عملیات بهتر، اتوماسیون فرایند و مدیریت تصفیه آب و پساب هموار می‌کند.

کشورهایی مانند ایالات متحده، سنگاپور، انگلستان و کره جنوبی با سرمایه‌گذاری در فناوری‌هایی نظیر یادگیری ماشین، شبکه‌های عصبی و اینترنت اشیا، به مزایای قابل توجهی در صنعت تصفیه آب دست یافته‌اند. اگرچه چالش‌هایی همچون هزینه‌های اولیه بالا و نیاز به زیرساخت‌های پیشرفته وجود دارد، اما مزایای کاربردی و اقتصادی این فناوری‌ها غیرقابل انکار است. از مهم‌ترین کاربردهای هوش مصنوعی برای شناسایی، پایش، کنترل و حذف آلاینده‌ها به‌ویژه آلاینده‌های نوظهور در تصفیه‌خانه‌های آب و فاضلاب می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۹۸]:

#### - شناسایی و تعیین کیفیت آب

هوش مصنوعی با تحلیل داده‌های حسگرهای مختلف (سنسور) مانند pH، اکسیژن محلول، کدورت و غلظت انواع آلاینده‌ها کیفیت آب را پیش‌بینی می‌کند. به عنوان مثال، در انگلستان، به منظور پیش‌بینی آلودگی آب در سواحل کومب مارتین، از هوش مصنوعی استفاده شده که توانسته است با دقت بیش از ۹۰ درصد، آلودگی آب را پیش‌بینی نماید.

#### - بهینه‌سازی مصرف مواد شیمیایی

مصرف مواد شیمیایی در تصفیه آب، یکی از مواردی است که بر هزینه اقتصادی پروژه اثرگذار است؛ لذا کاهش و کنترل آن می‌تواند علاوه بر کمک به حفظ محیط زیست، هزینه‌های نگهداری و بهره‌برداری را کاهش دهد. هوش مصنوعی مقدار دقیق موردنیاز استفاده از مواد شیمیایی همچون کلر یا آنتی‌اسکلانت را در سیستم‌های اسمز معکوس (RO) برآورد نموده و در نتیجه میزان مصرف را مدیریت می‌کند. این تکنولوژی در حال حاضر در کشور سنگاپور در پروژه NEWater استفاده می‌شود.

#### - تشخیص خرابی تجهیزات

با دریافت و تحلیل داده‌های عملکردی تجهیزات مانند پمپ‌ها و فیلترها، هوش مصنوعی خرابی‌ها را پیش‌بینی می‌کند. برای مثال شرکت Xylem در آمریکا از این روش برای کاهش و کنترل هزینه‌های تعمیر استفاده می‌کند.

۱- Neural Networks

۲- Internet of Things

#### - مدیریت عملیات هوادهی

هوش مصنوعی در تصفیه‌خانه‌های فاضلاب، از طریق بررسی سنسورها، عملیات هوادهی را کنترل و بهینه می‌کند و مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.

#### - پیش‌بینی حجم فاضلاب

هوش مصنوعی از طریق تحلیل داده‌های آب‌وهوایی و مصرف آب، حجم فاضلاب ورودی را پیش‌بینی می‌کند و فرایند تصفیه را متناسب با آن تنظیم می‌نماید. این تکنولوژی در کره جنوبی به صورت گسترده‌ای در تصفیه‌خانه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### - کنترل غشاهای در اسمز معکوس

هوش مصنوعی بر عملکرد غشاهای نظارت کرده و رسوب گرفتگی در غشاهای را کاهش می‌دهد. برای مثال کشور سنگاپور با استفاده از این تکنولوژی، سیستم‌های تصفیه آب اسمز معکوس خود را مدیریت می‌کند.

#### - شناسایی، پایش و تشخیص آلاینده‌ها

هوش مصنوعی با استفاده از الگوریتم‌های تصویربرداری، جلبک‌ها یا مواد شیمیایی مختلف و آلاینده‌های نوظهور را شناسایی می‌کند. برای مثال، به منظور شناسایی جلبک‌های سبز-آبی، دانشگاه واترلو در کانادا این فناوری را توسعه داده است.

#### - مدیریت هوشمند بازچرخانی

هوش مصنوعی با تحلیل نیازهای آبی، آب تصفیه شده را برای مصارف غیر شرب (مانند آبیاری) مدیریت می‌کند. این روش در آمریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد.

#### - کاهش میزان هدررفت آب

با تحلیل الگوهای مصرف، هوش مصنوعی نشتی‌ها را شناسایی و هدررفت را از این طریق کاهش می‌دهد. یک شرکت استارت‌آپی در کره جنوبی به نام Ecopeace، از این فناوری در تصفیه‌خانه‌ها استفاده می‌کند.

### - پیش‌بینی اثرات اقلیمی

هوش مصنوعی از طریق تحلیل داده‌ها، تغییرات سطح آب زیرزمینی را با توجه به اقلیم منطقه پیش‌بینی می‌کند. از این فناوری در مطالعه‌ای در دشت تالش ایران با استفاده از مدل‌های رگرسیون بردار پشتیبان (SVR)<sup>۱</sup> و شبکه‌های عصبی مصنوعی (ANN)<sup>۲</sup> استفاده شده است.

---

۱- Support Vector Regression

۲- Artificial Neural Networks



# پیوست ۱

---

---

---

---

---

---

آلایندده‌های نوظهور فهرست شبکه نور من



جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                                   | گروه یک                                                                                  |
|------|--------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۱    | Technical polychlorinated alkanes products (Alkanes, chloro) |                                                                                          |
| ۲    | Microcystin-LA / Cyanoginosin-LA                             | توکسین‌های جلبکی (Algal toxins)                                                          |
| ۳    | Microcystin-LR                                               |                                                                                          |
| ۴    | Microcystin-RR                                               |                                                                                          |
| ۵    | Microcystin-YR                                               |                                                                                          |
| ۷    | Methyl triclosan                                             | محصولات حاصل از تبدیل مواد زیست کش (Biocide transformation products)                     |
| ۸    | Chlorodimethylphenol (Chloroxylenol)                         | (زیست‌کش‌ها Biocides)                                                                    |
| ۹    | o-Benzyl-p-chlorophenol (Chlorophene)                        |                                                                                          |
| ۱۰   | Triclocarban                                                 |                                                                                          |
| ۱۱   | Trichloronitromethane (Chloropicrin)                         | مواد بیوتروریسم / عوامل و مواد مورد استفاده در تروریسم (Bio-terrorism / Sabotage agents) |
| ۱۲   | 1,1,1,3,3-Pentachloropropanone                               | فرآورده‌های جانبی مواد ضد عفونی (آب شرب) Disinfection by-products (drinking water)       |
| ۱۳   | 1,1,1,3-Tetrachloropropanone                                 |                                                                                          |
| ۱۴   | 1,1,3,3-Tetrachloropropanone                                 |                                                                                          |
| ۱۵   | 1,1,3-Trichloropropanone                                     |                                                                                          |
| ۱۶   | 1,1-Dibromopropanone                                         |                                                                                          |
| ۱۷   | 1,3-Dichloroketone                                           |                                                                                          |
| ۱۸   | 2,2-Dichloroacetamide                                        |                                                                                          |
| ۱۹   | 2,3,5-Tribromopyrrole                                        |                                                                                          |
| ۲۰   | 2-chloro-2-iodo-acetamide                                    |                                                                                          |
| ۲۱   | 2-Chlorophenol                                               |                                                                                          |
| ۲۲   | 4-Chlorophenol                                               |                                                                                          |
| ۲۳   | 4-nitrosomorpholine                                          |                                                                                          |
| ۲۴   | Bromoacetonitrile                                            |                                                                                          |
| ۲۵   | Bromodichloroacetic acid                                     |                                                                                          |
| ۲۶   | Bromodichloronitromethane                                    |                                                                                          |
| ۲۷   | Bromodiiodomethane                                           |                                                                                          |
| ۲۸   | Bromochloroacetaldehyde                                      |                                                                                          |
| ۲۹   | Bromochloroacetamide                                         |                                                                                          |
| ۳۰   | Bromochloroacetic acid                                       |                                                                                          |
| ۳۱   | Bromochloroacetonitrile                                      |                                                                                          |
| ۳۲   | Bromochloroiodomethane                                       |                                                                                          |
| ۳۳   | Bromochloromethane                                           |                                                                                          |
| ۳۴   | Bromochloronitromethane                                      |                                                                                          |
| ۳۵   | Bromiodoacetamide                                            |                                                                                          |
| ۳۶   | Bromonitromethane                                            |                                                                                          |
| ۳۷   | Cyanoformaldehyde                                            |                                                                                          |
| ۳۸   | Dibromoacetamide                                             |                                                                                          |
| ۳۹   | Dibromoacetonitrile                                          |                                                                                          |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                | گروه یک                                                                                                               |
|------|---------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۴۰   | Dibromodichloromethane    |                                                                                                                       |
| ۴۱   | Dibromochloroacetic acid  |                                                                                                                       |
| ۴۲   | Dibromochloronitromethane |                                                                                                                       |
| ۴۳   | Dibromoiodomethane        |                                                                                                                       |
| ۴۴   | Dibromomethane            |                                                                                                                       |
| ۴۵   | Dibromonitromethane       |                                                                                                                       |
| ۴۶   | Dichloroacetaldehyde      |                                                                                                                       |
| ۴۷   | Dichloroacetonitrile      |                                                                                                                       |
| ۴۸   | Dichloroiodomethane       |                                                                                                                       |
| ۴۹   | Dichloronitromethane      |                                                                                                                       |
| ۵۰   | Diiodoacetamide           |                                                                                                                       |
| ۵۱   | Hexabromocyclododecane    |                                                                                                                       |
| ۵۲   | Hexachloropropanone       |                                                                                                                       |
| ۵۳   | Chloroacetaldehyde        |                                                                                                                       |
| ۵۴   | Chloroacetonitrile        |                                                                                                                       |
| ۵۵   | Chlorodiiodomethane       |                                                                                                                       |
| ۵۶   | Chloronitromethane        |                                                                                                                       |
| ۵۷   | Iodoacetamide             |                                                                                                                       |
| ۵۸   | Iodoacetic acid           |                                                                                                                       |
| ۵۹   | Iodoacetonitrile          |                                                                                                                       |
| ۶۰   | Iodoform                  |                                                                                                                       |
| ۶۱   | Mucochloric acid          |                                                                                                                       |
| ۶۲   | Mutagen X                 |                                                                                                                       |
| ۶۳   | N-bromoacetamide          |                                                                                                                       |
| ۶۴   | N-Nitrosodibutylamine     |                                                                                                                       |
| ۶۵   | N-nitrosodiethylamine     |                                                                                                                       |
| ۶۶   | n-Nitrosodimethylamine    |                                                                                                                       |
| ۶۷   | N-nitrosodiphenylamine    |                                                                                                                       |
| ۶۸   | N-nitrosomethylethylamine |                                                                                                                       |
| ۶۹   | N-nitrosopiperidine       |                                                                                                                       |
| ۷۰   | N-Nitrosopyrrolidine      |                                                                                                                       |
| ۷۱   | Tribromoacetaldehyde      |                                                                                                                       |
| ۷۲   | Tribromoacetamide         |                                                                                                                       |
| ۷۳   | Tribromoacetic acid       |                                                                                                                       |
| ۷۴   | Tribromonitromethane      |                                                                                                                       |
| ۷۵   | Trichloroacetamide        |                                                                                                                       |
| ۷۶   | Trichloroacetonitrile     |                                                                                                                       |
| ۷۷   | 2-Chloroacetamide         | فرآورده‌های جانبی مواد ضد عفونی (آب شرب)،/ زیست‌کش‌ها<br>Disinfection by-products (drinking water) / biocides         |
| ۷۸   | Decabromodiphenyl ethane  | فرآورده‌های جانبی مواد ضد عفونی (آب شرب)،/ مواد ضدآتش<br>Disinfection by-products (drinking water) / Flame retardants |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                          | گروه یک                                    |
|------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| ۷۹   | Cocaine                                             | مواد مخدر<br>Drugs of abuse                |
| ۸۰   | Dihydrocodeine                                      |                                            |
| ۸۱   | Heroin                                              |                                            |
| ۸۲   | Morphine                                            |                                            |
| ۸۳   | Oxycodone                                           |                                            |
| ۸۴   | 1,2,5,6,9,10-Hexabromocyclododecane                 | مواد ضد آتش<br>Flame retardants            |
| ۸۵   | 2,2',3,3',4,4',5,5',6,6'-Decabromodiphenyl ether    |                                            |
| ۸۶   | 2,2',3,3',4,4',5,5',6-Nonabromodiphenylether        |                                            |
| ۸۷   | 2,2',3,4,4',5',6-Heptabromodiphenyl ether           |                                            |
| ۸۸   | 2,2',4,4',5,5'-Hexabromodiphenyl ether              |                                            |
| ۸۹   | 2,2',4,4',5,6'-Hexabromodiphenyl ether              |                                            |
| ۹۰   | 2,2',4,4'-Tetrabromodiphenyl ether                  |                                            |
| ۹۱   | 2,2',4,4,5'-Tetrabromodiphenylether                 |                                            |
| ۹۲   | 2,4,4'-tribromodiphenylether                        |                                            |
| ۹۳   | 2,4,6-Tribromophenol                                |                                            |
| ۹۴   | 2,4-Dibromophenol                                   |                                            |
| ۹۵   | Octabromodiphenyl ethers                            |                                            |
| ۹۶   | Tetrabromobisphenol A                               |                                            |
| ۹۷   | Tetrabromobisphenol A bis (2,3-dibromopropyl) ether |                                            |
| ۹۸   | Tributyl phosphate                                  |                                            |
| ۹۹   | Triethyl phosphate                                  |                                            |
| ۱۰۰  | Triphenyl phosphate                                 |                                            |
| ۱۰۱  | Tris (1,3-dichloroisopropyl) phosphate              |                                            |
| ۱۰۲  | Tris (2,3-dichloropropyl) phosphate                 |                                            |
| ۱۰۳  | Tris (2-ethylhexyl) phosphate                       |                                            |
| ۱۰۴  | Tris (2-chloroethyl) phosphate                      |                                            |
| ۱۰۵  | Sucralose                                           | مواد افزودنی<br>Food additives             |
| ۱۰۶  | Triacetin                                           |                                            |
| ۱۰۷  | Methyl-tert-butyl ether                             | مواد افزودنی بنزین<br>Gasoline additives   |
| ۱۰۸  | 1,1,2-Trichloroethane                               | مواد شیمیایی صنعتی<br>Industrial chemicals |
| ۱۰۹  | 1,1-Bis (p-chlorophenyl)ethylene                    |                                            |
| ۱۱۰  | 1,2,3-Benzotriazole                                 |                                            |
| ۱۱۱  | 1,3-Dinitropyrene                                   |                                            |
| ۱۱۲  | 1,6-Dinitropyrene                                   |                                            |
| ۱۱۳  | 1,8-Dinitropyrene                                   |                                            |
| ۱۱۴  | 1-Chloro-2,2-bis (p-chlorophenyl) ethane            |                                            |
| ۱۱۵  | 2-(2-Naphthalenyl) benzothiophene                   |                                            |
| ۱۱۶  | 2,2-Bis (4-chlorophenyl) ethanol                    |                                            |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                   | گروه یک |
|------|----------------------------------------------|---------|
| ۱۱۷  | 2,4-Dinitrophenol                            |         |
| ۱۱۸  | 2,6-Dichloroanisole                          |         |
| ۱۱۹  | 2-Bromoanisole                               |         |
| ۱۲۰  | 2-Methylanthraquinone                        |         |
| ۱۲۱  | 3-Chloroaniline                              |         |
| ۱۲۲  | 3-Nitrobenzanthrone                          |         |
| ۱۲۳  | 4,4'-Dichlorobenzophenone                    |         |
| ۱۲۴  | 4-Chloroaniline                              |         |
| ۱۲۵  | 4-Methyl-1H-benzotriazole                    |         |
| ۱۲۶  | 4-tert-Butylphenol                           |         |
| ۱۲۷  | 5,6-Dimethyl-1H-benzotriazole                |         |
| ۱۲۸  | 5-Methyl-1H-benzotriazole (5-Tolyltriazole)  |         |
| ۱۲۹  | 7H-Benzo (de) anthracen-7-one (Benzanthrone) |         |
| ۱۳۰  | Acetaldehyde                                 |         |
| ۱۳۱  | Aniline                                      |         |
| ۱۳۲  | Benzenesulfonamide                           |         |
| ۱۳۳  | Benzo (a) anthracene                         |         |
| ۱۳۴  | Benzothiazol-2-sulfonic acid                 |         |
| ۱۳۵  | Benzothiazole                                |         |
| ۱۳۶  | Biphenyl                                     |         |
| ۱۳۷  | Bis (4-chlorophenyl) acetic acid             |         |
| ۱۳۸  | Butyltin compounds - Monobutyl tin ion       |         |
| ۱۳۹  | Carbazole                                    |         |
| ۱۴۰  | Dibutyltin compounds - Dibutyl tin ion       |         |
| ۱۴۱  | Dicyclohexylamin                             |         |
| ۱۴۲  | Diethylenetriaminepentaacetic acid           |         |
| ۱۴۳  | Dichlorodiphenyldichloroethane (Mitotane)    |         |
| ۱۴۴  | Diisopropylamine                             |         |
| ۱۴۵  | Diphenylamine                                |         |
| ۱۴۶  | Diphenyltin compounds - Diphenyltin ion      |         |
| ۱۴۷  | Ethylenediaminetetraacetic acid              |         |
| ۱۴۸  | Hexa (methoxymethyl) melamine                |         |
| ۱۴۹  | Hydrazine                                    |         |
| ۱۵۰  | Irganox 1076                                 |         |
| ۱۵۱  | Methyl-1H-benzotriazole / Tolytriazole       |         |
| ۱۵۲  | N-Ethyl-2-tolylsulfonamide                   |         |
| ۱۵۳  | Nitrilotriacetic acid                        |         |
| ۱۵۴  | N-methyl-Aniline                             |         |
| ۱۵۵  | N-phenyl-naphthylamine                       |         |
| ۱۵۶  | p-Cresol                                     |         |
| ۱۵۷  | Polychlorinated biphenyls (PCBs) - Total     |         |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                   | گروه یک                                                                     |
|------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ۱۵۸  | Styrene                                      |                                                                             |
| ۱۵۹  | Tetraacetylenediamine                        |                                                                             |
| ۱۶۰  | Tetrabutyl tin ion                           |                                                                             |
| ۱۶۱  | Tetrachloromethane                           |                                                                             |
| ۱۶۲  | Toluene                                      |                                                                             |
| ۱۶۳  | Triphenylphosphine oxide                     |                                                                             |
| ۱۶۴  | Tris(2-carboxyethyl)phosphine hydrochloride  |                                                                             |
| ۱۶۵  | Xylene (mixed isomers)                       |                                                                             |
| ۱۶۶  | 1,4-Dichlorobenzene                          | مواد شیمیایی صنعتی / زیست کش‌ها<br>Industrial chemicals / Biocides          |
| ۱۶۷  | 2-Mercapto-benzothiazole                     |                                                                             |
| ۱۶۸  | Anthracinone                                 |                                                                             |
| ۱۶۹  | Cybutryne (Irgarol)                          |                                                                             |
| ۱۷۰  | Formaldehyde                                 |                                                                             |
| ۱۷۱  | Hydrogen cyanide                             |                                                                             |
| ۱۷۲  | Triphenyltin compounds - Triphenyltin cation |                                                                             |
| ۱۷۳  | Tris (1-chloro-2-propenyl) phosphate         | مواد شیمیایی صنعتی / مواد ضد آتش<br>Industrial chemicals / Flame retardants |
| ۱۷۴  | Tris (2-butoxyethyl) phosphate               |                                                                             |
| ۱۷۵  | Long-chained chloroalkanes (C18-30)          | نرم کننده‌ها / مواد ضد آتش<br>Lubricants / Flame retardants                 |
| ۱۷۶  | Medium-chained chloroalkanes, (C14-17)       |                                                                             |
| ۱۷۷  | Camphor                                      | اسپری دهان / عوامل ضد میکروبی<br>Moth repellent / Antimicrobial agent       |
| ۱۷۸  | Isoborneol                                   |                                                                             |
| ۱۷۹  | (1-Hydroxy-iso-propyl) acetophenone          | سایر                                                                        |
| ۱۸۰  | 1,1-Dichloro-2,2-diethoxyethane              |                                                                             |
| ۱۸۱  | 1,1-Dimethyl-2-phenethylacetate              |                                                                             |
| ۱۸۲  | 1,2,3-Trichloropropene                       |                                                                             |
| ۱۸۳  | 1,2,3-Trimethyl-1H-indene                    |                                                                             |
| ۱۸۴  | 1,3,3-Trimethyl-2-oxoindol                   |                                                                             |
| ۱۸۵  | 1,3-Bis(1,1-dimethylethyl)-benzene           |                                                                             |
| ۱۸۶  | 1,4-Bis(phenylmethyl) benzene                |                                                                             |
| ۱۸۷  | 1-Decanol                                    |                                                                             |
| ۱۸۸  | 1H-Indole                                    |                                                                             |
| ۱۸۹  | 1-Octanol                                    |                                                                             |
| ۱۹۰  | 1-Phenyl-1,3,3-trimethylindane               |                                                                             |
| ۱۹۱  | 2-(Methylthio)benzothiazol                   |                                                                             |
| ۱۹۲  | 2,3,4-Trichloroaniline                       |                                                                             |
| ۱۹۳  | 2,3-Diethyl-2,3-dimethylsuccinonitrile       |                                                                             |
| ۱۹۴  | 2,3-Dihydro-1-methyl-1H-indol                |                                                                             |
| ۱۹۵  | 2,4,6-Tribromoanisole                        |                                                                             |
| ۱۹۶  | 2,4-Dibromoanisole                           |                                                                             |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                                   | گروه یک |
|------|--------------------------------------------------------------|---------|
| ۱۹۷  | 2,4-Dichlorophenol                                           |         |
| ۱۹۸  | 2,6-Diethoxytetrahydropyran                                  |         |
| ۱۹۹  | 2,6-Di-tert-butyl-4-hydroxy-4-methyl-2,5-cyclohexadien-1-one |         |
| ۲۰۰  | 2,6-Di-tert-butylquinone                                     |         |
| ۲۰۱  | 2-[(2-Chlorophenyl)amino]benzaldehyde                        |         |
| ۲۰۲  | 2-Acetylacetophenone                                         |         |
| ۲۰۳  | 2-Bromophenol                                                |         |
| ۲۰۴  | 2-Methyl-1-phenylpropan-2-ol                                 |         |
| ۲۰۵  | 2-Methylthioacetic acid                                      |         |
| ۲۰۶  | 2-Nitrophenol                                                |         |
| ۲۰۷  | 3-(Bromo-4-methoxyphenyl)propionic acid                      |         |
| ۲۰۸  | 3,5-Di-tert-butyl-4-hydroxyacetophenone                      |         |
| ۲۰۹  | 4-Bromo-2-chlorophenol                                       |         |
| ۲۱۰  | 4-Bromoanisole                                               |         |
| ۲۱۱  | 4-Bromophenol                                                |         |
| ۲۱۲  | 4-Chloro-2-(trifluoromethyl)aniline                          |         |
| ۲۱۳  | 4-iso-Propenylacetophenone                                   |         |
| ۲۱۴  | 4-iso-Propylacetophenone                                     |         |
| ۲۱۵  | 4-Methyl-phenanthrene                                        |         |
| ۲۱۶  | 4-tert-Butylcyclohexanol (2 isomers)                         |         |
| ۲۱۷  | 4-tert-Butylcyclohexanone (2 isomers)                        |         |
| ۲۱۸  | 6-Phenyldodecane                                             |         |
| ۲۱۹  | 7,9-Di-tert-butyl-1-oxaspiro(4,5)deca-6,9-diene-2,8-dione    |         |
| ۲۲۰  | Aminodiphenylsulfone                                         |         |
| ۲۲۱  | Androstenone                                                 |         |
| ۲۲۲  | Bis (chloropropyl)ethers                                     |         |
| ۲۲۳  | Cotinine                                                     |         |
| ۲۲۴  | Cyanides                                                     |         |
| ۲۲۵  | Cyanogen chloride                                            |         |
| ۲۲۶  | Cyclohexylisocyanate                                         |         |
| ۲۲۷  | Decahydronaphtalene (Dekalin)                                |         |
| ۲۲۸  | Dichloroaniline-2,3                                          |         |
| ۲۲۹  | Dichlorodimethylphenol (2,4-Dichloro-meta-xylenol)           |         |
| ۲۳۰  | Di-iso-propyldisulfide                                       |         |
| ۲۳۱  | Di-iso-propylphenol                                          |         |
| ۲۳۲  | Formylpiperidine                                             |         |
| ۲۳۳  | Chinoline                                                    |         |
| ۲۳۴  | Chinoxaline                                                  |         |
| ۲۳۵  | Chlorate                                                     |         |
| ۲۳۶  | Chloromethylphenylsulfone                                    |         |
| ۲۳۷  | Chloronitrobenzene (2 isomers)                               |         |

## ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                           | گروه یک                                                                                                               |
|------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۲۳۸  | Ioxitalamic acid                                     |                                                                                                                       |
| ۲۳۹  | Isoquinoline                                         |                                                                                                                       |
| ۲۴۰  | Metaldehyde                                          |                                                                                                                       |
| ۲۴۱  | Methylbenzonitrile                                   |                                                                                                                       |
| ۲۴۲  | Methylphenylisocyanate                               |                                                                                                                       |
| ۲۴۳  | Methylphenylsulfone                                  |                                                                                                                       |
| ۲۴۴  | N,N'-Diethyl-N,N'-diphenylurea                       |                                                                                                                       |
| ۲۴۵  | N,N'-Di-iso-propylurea                               |                                                                                                                       |
| ۲۴۶  | N,N-Dibutylformamide                                 |                                                                                                                       |
| ۲۴۷  | N,N-Diethyldithiocarbamic acid methyl ester          |                                                                                                                       |
| ۲۴۸  | N-Acetylmorpholine                                   |                                                                                                                       |
| ۲۴۹  | N-Ethylaniline                                       |                                                                                                                       |
| ۲۵۰  | N-Ethylphthalimide                                   |                                                                                                                       |
| ۲۵۱  | N-Ethyltoluenesulfonamide                            |                                                                                                                       |
| ۲۵۲  | N-Formylmorpholine                                   |                                                                                                                       |
| ۲۵۳  | Nitrobenzene                                         |                                                                                                                       |
| ۲۵۴  | N-Phenylbenzenesulfonamide                           |                                                                                                                       |
| ۲۵۵  | o-Terphenyl                                          |                                                                                                                       |
| ۲۵۶  | p-Dicyclohexylbenzene                                |                                                                                                                       |
| ۲۵۷  | Phenanthrene                                         |                                                                                                                       |
| ۲۵۸  | Phenylisocyanate                                     |                                                                                                                       |
| ۲۵۹  | p-Terphenyl                                          |                                                                                                                       |
| ۲۶۰  | Tetralinone                                          |                                                                                                                       |
| ۲۶۱  | Tocopherolacetate                                    |                                                                                                                       |
| ۲۶۲  | Zincpyrithione                                       |                                                                                                                       |
| ۲۶۳  | 2-(N-ethylperfluorooctanesulfonamido)-ethyl alcohol  | مواد پرفلورو آلكالیدها و فرآورده‌های تبدیل از آنها<br>Perfluoroalkylated substances and their transformation products |
| ۲۶۴  | 2-(N-methylperfluorooctanesulfonamido)-ethyl alcohol |                                                                                                                       |
| ۲۶۵  | 2-(Perfluorobutyl) ethanol                           |                                                                                                                       |
| ۲۶۶  | 2-(Perfluorodecyl) ethanol                           |                                                                                                                       |
| ۲۶۷  | 2-(Perfluorododecyl) ethanol                         |                                                                                                                       |
| ۲۶۸  | 2-(Perfluorohexyl) ethanol                           |                                                                                                                       |
| ۲۶۹  | 2-(Perfluoro-n-octyl) ethanol                        |                                                                                                                       |
| ۲۷۰  | 6:2 Fluorotelomer sulfonate (anion)                  |                                                                                                                       |
| ۲۷۱  | N-ethylperfluorooctanesulfonamide                    |                                                                                                                       |
| ۲۷۲  | N-methylperfluorooctanesulfonamide                   |                                                                                                                       |
| ۲۷۳  | N-methylperfluorooctanesulfonamidoethyl acrylate     |                                                                                                                       |
| ۲۷۴  | Perfluorobutanesulfonate (anion)                     |                                                                                                                       |
| ۲۷۵  | Perfluorodecane sulfonate (anion)+                   |                                                                                                                       |
| ۲۷۶  | Perfluorodecanoic acid                               |                                                                                                                       |
| ۲۷۷  | Perfluorododecanoic acid                             |                                                                                                                       |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                          | گروه یک                                              |
|------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| ۲۷۸  | Perfluoroheptanoic acid                             |                                                      |
| ۲۷۹  | Perfluorohexane sulfonate (anion)                   |                                                      |
| ۲۸۰  | Perfluorohexanoic acid                              |                                                      |
| ۲۸۱  | Perfluorononanoic acid                              |                                                      |
| ۲۸۲  | Perfluoro-n-undecanoic acid                         |                                                      |
| ۲۸۳  | Perfluorooctane sulfonamide                         |                                                      |
| ۲۸۴  | Perfluorooctane sulfonate (anion)                   |                                                      |
| ۲۸۵  | Perfluorooctanesulfonyl fluoride                    |                                                      |
| ۲۸۶  | Perfluorooctanoic acid                              |                                                      |
| ۲۸۷  | Perfluorotetradecanoic acid                         |                                                      |
| ۲۸۸  | 2,4-Dihydroxybenzophenone                           | محصولات مراقبت‌های بهداشتی<br>Personal care products |
| ۲۸۹  | 4-Methylbenzylidene camphor                         |                                                      |
| ۲۹۰  | 4-Oxoisophorone                                     |                                                      |
| ۲۹۱  | Acetylcedrene                                       |                                                      |
| ۲۹۲  | ADBI (Celestolide)                                  |                                                      |
| ۲۹۳  | AHDI (Phantolide)                                   |                                                      |
| ۲۹۴  | alpha-Terpineol                                     |                                                      |
| ۲۹۵  | ATII (Traseolide)                                   |                                                      |
| ۲۹۶  | Bayrepel                                            |                                                      |
| ۲۹۷  | Benzaldehyde, (phenylmethylene) hydrazone (Eusolex) |                                                      |
| ۲۹۸  | Benzophenone                                        |                                                      |
| ۲۹۹  | Benzylsalicylate                                    |                                                      |
| ۳۰۰  | Boisvelone / Iso-E super                            |                                                      |
| ۳۰۱  | Butyl methoxydibenzoylmethane                       |                                                      |
| ۳۰۲  | Cineole                                             |                                                      |
| ۳۰۳  | Damascone                                           |                                                      |
| ۳۰۴  | Decamethylcyclopentasiloxane (D5)                   |                                                      |
| ۳۰۵  | Decamethyltetrasiloxane (MD2M)                      |                                                      |
| ۳۰۶  | Dihydromethyljasmonate                              |                                                      |
| ۳۰۷  | Dodecamethylcyclohexasiloxane (D6)                  |                                                      |
| ۳۰۸  | Dodecamethylpentasiloxane (MD3M)                    |                                                      |
| ۳۰۹  | Drometrizole                                        |                                                      |
| ۳۱۰  | Drometrizole trisiloxane (INCI)                     |                                                      |
| ۳۱۱  | Ethyl paraben                                       |                                                      |
| ۳۱۲  | Ethylhexyl methoxycinnamate                         |                                                      |
| ۳۱۳  | Galaxolide                                          |                                                      |
| ۳۱۴  | g-Methylionone                                      |                                                      |
| ۳۱۵  | Hexamethyldisiloxane (HM or HMDS)                   |                                                      |
| ۳۱۶  | Hexylcinnamaldehyde                                 |                                                      |
| ۳۱۷  | Homosalate                                          |                                                      |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                                        | گروه یک                                                                                   |
|------|-------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| ۳۱۸  | Isobornylacetate                                                  |                                                                                           |
| ۳۱۹  | Isobutyl paraben                                                  |                                                                                           |
| ۳۲۰  | Methyl paraben                                                    |                                                                                           |
| ۳۲۱  | Methyldihydrojasmonate (Methyl 3-oxo-2-pentylcyclopentaneacetate) |                                                                                           |
| ۳۲۲  | Methyl-iso-propylcyclohexenone, Carvone                           |                                                                                           |
| ۳۲۳  | Methylsalicylate                                                  |                                                                                           |
| ۳۲۴  | Musk ambrette                                                     |                                                                                           |
| ۳۲۵  | Musk ketone                                                       |                                                                                           |
| ۳۲۶  | Musk xylene                                                       |                                                                                           |
| ۳۲۷  | Octamethylcyclotetrasiloxane (D4)                                 |                                                                                           |
| ۳۲۸  | Octamethyltrisiloxane (MDM)                                       |                                                                                           |
| ۳۲۹  | Octocrylene                                                       |                                                                                           |
| ۳۳۰  | Oxybenzone                                                        |                                                                                           |
| ۳۳۱  | Propyl paraben                                                    |                                                                                           |
| ۳۳۲  | p-t-Bucinal (Lilial)                                              |                                                                                           |
| ۳۳۳  | Tonalide                                                          |                                                                                           |
| ۳۳۴  | Viridine                                                          |                                                                                           |
| ۳۳۵  | Cyclopentadecanolide                                              | محصولات مراقبت‌های بهداشتی<br>Personal care products                                      |
| ۳۳۶  | d-Limonene                                                        | محصولات مراقبت‌های بهداشتی / زیست‌کش‌ها<br>Personal care products / Biocides              |
| ۳۳۷  | N,N-Diethyltoluamide                                              |                                                                                           |
| ۳۳۸  | Triclosan                                                         |                                                                                           |
| ۳۳۹  | 2,6-Di-tert-butylphenol                                           | محصولات مراقبت‌های بهداشتی / افزودنی‌های غذایی<br>Personal care products / Food additives |
| ۳۴۰  | 2-Ethylthioacetic acid ethylester                                 |                                                                                           |
| ۳۴۱  | 2-Methylthioacetic acid ethylester                                |                                                                                           |
| ۳۴۲  | 3-Methylthiopropionic acid                                        |                                                                                           |
| ۳۴۳  | Benzylacetate                                                     |                                                                                           |
| ۳۴۴  | Butylated hydroxyanisole                                          |                                                                                           |
| ۳۴۵  | Butylated hydroxytoluene                                          |                                                                                           |
| ۳۴۶  | Dipropyltrisulfide                                                |                                                                                           |
| ۳۴۷  | Ethylene brassylate                                               |                                                                                           |
| ۳۴۸  | Habanolide                                                        |                                                                                           |
| ۳۴۹  | tert-Butylhydroquinone                                            |                                                                                           |
| ۳۵۰  | Triethylcitrate                                                   |                                                                                           |
| ۳۵۱  | 1,1,1-Trichloro-2,2-dihydroxyethane (Chloral hydrate)             | مواد دارویی<br>Pharmaceuticals                                                            |
| ۳۵۲  | 17-alpha-Estradiol                                                |                                                                                           |
| ۳۵۳  | 17-alpha-Ethinylestradiol                                         |                                                                                           |
| ۳۵۴  | 17-beta-Estradiol                                                 |                                                                                           |
| ۳۵۵  | 1-Hydroxy Ibuprofen                                               |                                                                                           |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                     | گروه یک |
|------|--------------------------------|---------|
| ۳۵۶  | 2-Hydroxy Ibuprofen            |         |
| ۳۵۷  | Acebutolol                     |         |
| ۳۵۸  | Acecarbromal                   |         |
| ۳۵۹  | Aceclofenac                    |         |
| ۳۶۰  | Acemetacin                     |         |
| ۳۶۱  | Acetaminophen (Paracetamol)    |         |
| ۳۶۲  | Acetazolamide                  |         |
| ۳۶۳  | Acetylsalicylic acid (Aspirin) |         |
| ۳۶۴  | Acyclovir                      |         |
| ۳۶۵  | Albuterol                      |         |
| ۳۶۶  | Albuterol sulfate              |         |
| ۳۶۷  | Alclofenac                     |         |
| ۳۶۸  | Allobarbitol                   |         |
| ۳۶۹  | Alprazolam                     |         |
| ۳۷۰  | Amitryptiline                  |         |
| ۳۷۱  | Amobarbital                    |         |
| ۳۷۲  | Amoxicillin                    |         |
| ۳۷۳  | Ampicillin                     |         |
| ۳۷۴  | Anthracen-1,4-dione            |         |
| ۳۷۵  | Apramycin                      |         |
| ۳۷۶  | Aprobarbital                   |         |
| ۳۷۷  | Atenolol                       |         |
| ۳۷۸  | Azithromycin                   |         |
| ۳۷۹  | Baclofen                       |         |
| ۳۸۰  | Baquiloprim                    |         |
| ۳۸۱  | Betamethasone                  |         |
| ۳۸۲  | Beta-sitosterol                |         |
| ۳۸۳  | Betaxolol                      |         |
| ۳۸۴  | Bezafibrate                    |         |
| ۳۸۵  | Bisoprolol                     |         |
| ۳۸۶  | Bromazepam                     |         |
| ۳۸۷  | Butalbital                     |         |
| ۳۸۸  | Caffeine                       |         |
| ۳۸۹  | Carazolol                      |         |
| ۳۹۰  | Carbamazepine                  |         |
| ۳۹۱  | Cefacetrile                    |         |
| ۳۹۲  | Cefalexin                      |         |
| ۳۹۳  | Cefalonium                     |         |
| ۳۹۴  | Cefapirin                      |         |
| ۳۹۵  | Cefazoline                     |         |
| ۳۹۶  | Cefoperazone                   |         |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                  | گروه یک |
|------|---------------------------------------------|---------|
| ۳۹۷  | Ciprofloxacin                               |         |
| ۳۹۸  | Citalopram                                  |         |
| ۳۹۹  | Clarithromycin                              |         |
| ۴۰۰  | Clenbuterol                                 |         |
| ۴۰۱  | Clofibric acid (metabolite of CLOFIBRATE)   |         |
| ۴۰۲  | Clotrimazole                                |         |
| ۴۰۳  | Cloxacillin                                 |         |
| ۴۰۴  | Codeine                                     |         |
| ۴۰۵  | Crotamiton                                  |         |
| ۴۰۶  | Cyclophosphamide                            |         |
| ۴۰۷  | Danofloxacin                                |         |
| ۴۰۸  | Dantrolene                                  |         |
| ۴۰۹  | Dapsone                                     |         |
| ۴۱۰  | Daunorubicin                                |         |
| ۴۱۱  | Desmethylnaproxen (metabolite of NAPROXENE) |         |
| ۴۱۲  | Dexamethasone                               |         |
| ۴۱۳  | Diatrizoate                                 |         |
| ۴۱۴  | Diazepam                                    |         |
| ۴۱۵  | Diclofenac                                  |         |
| ۴۱۶  | Dicloxacillin                               |         |
| ۴۱۷  | Diethylstilbestrol                          |         |
| ۴۱۸  | Difloxacin                                  |         |
| ۴۱۹  | Diphenhydramine                             |         |
| ۴۲۰  | Domperidone                                 |         |
| ۴۲۱  | Doxepine                                    |         |
| ۴۲۲  | Doxorubicin                                 |         |
| ۴۲۳  | Doxycycline (anhydrous)                     |         |
| ۴۲۴  | Doxycycline (monohydrate)                   |         |
| ۴۲۵  | Enoxacin                                    |         |
| ۴۲۶  | Enrofloxacin                                |         |
| ۴۲۷  | Epirubicin                                  |         |
| ۴۲۸  | Erythromycin                                |         |
| ۴۲۹  | Escitalopram                                |         |
| ۴۳۰  | Esomeprazole                                |         |
| ۴۳۱  | Estriol                                     |         |
| ۴۳۲  | Estrone                                     |         |
| ۴۳۳  | Estrone sulphate                            |         |
| ۴۳۴  | Ethosuximide                                |         |
| ۴۳۵  | Etofibrate                                  |         |
| ۴۳۶  | Famotidine                                  |         |
| ۴۳۷  | Fenfluramine                                |         |

ادامه جدول پ. ۱-۱- آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                  | گروه یک |
|------|---------------------------------------------|---------|
| ۴۳۸  | Fenofibrate                                 |         |
| ۴۳۹  | Fenofibric acid (metabolite of FENOFIBRATE) |         |
| ۴۴۰  | Fenoprofen                                  |         |
| ۴۴۱  | Fenoprofen calcium salt dihydrate           |         |
| ۴۴۲  | Fenoterol                                   |         |
| ۴۴۳  | Flucloxacillin                              |         |
| ۴۴۴  | Flumequine                                  |         |
| ۴۴۵  | Fluorouracil                                |         |
| ۴۴۶  | Fluoxetine                                  |         |
| ۴۴۷  | Fluvoxamine                                 |         |
| ۴۴۸  | Furosemide                                  |         |
| ۴۴۹  | Gemfibrozil                                 |         |
| ۴۵۰  | Gentamicin                                  |         |
| ۴۵۱  | Glibenclamide (Glyburide)                   |         |
| ۴۵۲  | Hexobarbital                                |         |
| ۴۵۳  | Hydrocodone                                 |         |
| ۴۵۴  | Hydrochlorothiazide                         |         |
| ۴۵۵  | Chloramphenicol                             |         |
| ۴۵۶  | Chlorobutanol                               |         |
| ۴۵۷  | Chlortetracycline                           |         |
| ۴۵۸  | Cholesterol                                 |         |
| ۴۵۹  | Ibuprofen                                   |         |
| ۴۶۰  | Ifosfamide                                  |         |
| ۴۶۱  | Imapramine                                  |         |
| ۴۶۲  | Iminostilbene                               |         |
| ۴۶۳  | Indomethacin                                |         |
| ۴۶۴  | Iohexol                                     |         |
| ۴۶۵  | Iomeprol                                    |         |
| ۴۶۶  | Iopamidol                                   |         |
| ۴۶۷  | Iopromide                                   |         |
| ۴۶۸  | Ivermectin                                  |         |
| ۴۶۹  | Josamycin                                   |         |
| ۴۷۰  | Kanamycin sulfate                           |         |
| ۴۷۱  | Ketoprofen                                  |         |
| ۴۷۲  | Lamotrigine                                 |         |
| ۴۷۳  | Lansoprazole                                |         |
| ۴۷۴  | Levetiracetam                               |         |
| ۴۷۵  | Lidocaine                                   |         |
| ۴۷۶  | Lincomycin                                  |         |
| ۴۷۷  | Lithium carbonate                           |         |
| ۴۷۸  | Loratadine                                  |         |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده          | گروه یک |
|------|---------------------|---------|
| ۴۷۹  | Lorazepam           |         |
| ۴۸۰  | Lovastatin          |         |
| ۴۸۱  | Marbofloxacin       |         |
| ۴۸۲  | Mebeverine          |         |
| ۴۸۳  | Meclofenamic acid   |         |
| ۴۸۴  | Medazepam           |         |
| ۴۸۵  | Mefenamic acid      |         |
| ۴۸۶  | Meprobamate         |         |
| ۴۸۷  | Mestranol           |         |
| ۴۸۸  | Metformin           |         |
| ۴۸۹  | Methicillin         |         |
| ۴۹۰  | Methylphenobarbital |         |
| ۴۹۱  | Metoprolol          |         |
| ۴۹۲  | Mevastatin          |         |
| ۴۹۳  | Minocycline         |         |
| ۴۹۴  | Nadolol             |         |
| ۴۹۵  | Nafcillin           |         |
| ۴۹۶  | Nandrolone          |         |
| ۴۹۷  | Naproxen            |         |
| ۴۹۹  | Neomycin B          |         |
| ۵۰۰  | N-Methylphenacetine |         |
| ۵۰۱  | Nordiazepam         |         |
| ۵۰۲  | Norfloxacin         |         |
| ۵۰۳  | Novobiocin          |         |
| ۵۰۴  | Ofloxacin           |         |
| ۵۰۵  | Oleandomycin        |         |
| ۵۰۶  | Omeprazole          |         |
| ۵۰۷  | Oxacillin           |         |
| ۵۰۸  | Oxazepam            |         |
| ۵۰۹  | Oxolinic acid       |         |
| ۵۱۰  | Oxprenolol          |         |
| ۵۱۱  | Oxytetracycline     |         |
| ۵۱۲  | Paroxetine          |         |
| ۵۱۳  | Penicillin G        |         |
| ۵۱۴  | Penicillin V        |         |
| ۵۱۵  | Pentobarbital       |         |
| ۵۱۶  | Pentoxifylline      |         |
| ۵۱۷  | Phenazone           |         |
| ۵۱۸  | Phenobarbital       |         |
| ۵۱۹  | Phenylbutazone      |         |
| ۵۲۰  | Phenytoine          |         |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده          | گروه یک |
|------|---------------------|---------|
| ۵۲۱  | Pindolol            |         |
| ۵۲۲  | Pipamperon          |         |
| ۵۲۳  | Pravastatin         |         |
| ۵۲۴  | Prednisolone        |         |
| ۵۲۵  | Primidone           |         |
| ۵۲۶  | Propranolol         |         |
| ۵۲۷  | Propyphenazone      |         |
| ۵۲۸  | Ranitidine          |         |
| ۵۲۹  | Roxithromycin       |         |
| ۵۳۰  | Salbutamol          |         |
| ۵۳۱  | Sarafloxacin        |         |
| ۵۳۲  | Secobarbital        |         |
| ۵۳۳  | Secobarbital sodium |         |
| ۵۳۴  | Sertraline          |         |
| ۵۳۵  | Simvastatin         |         |
| ۵۳۶  | Sotalol             |         |
| ۵۳۷  | Spectinomycin       |         |
| ۵۳۸  | Spiramycin          |         |
| ۵۳۹  | Streptomycin        |         |
| ۵۴۰  | Sulfadiazine        |         |
| ۵۴۱  | Sulfadimethoxin     |         |
| ۵۴۲  | Sulfadoxin          |         |
| ۵۴۳  | Sulfamerazine       |         |
| ۵۴۴  | Sulfamethazine      |         |
| ۵۴۵  | Sulfamethoxazole    |         |
| ۵۴۶  | Sulfapyridine       |         |
| ۵۴۷  | Taloxa              |         |
| ۵۴۸  | Temazepam           |         |
| ۵۴۹  | Terbutaline         |         |
| ۵۵۰  | Tetracycline        |         |
| ۵۵۱  | Tiamulin            |         |
| ۵۵۲  | Tilmicosin          |         |
| ۵۵۳  | Timolol             |         |
| ۵۵۴  | Tolfenamic acid     |         |
| ۵۵۵  | Tramadol            |         |
| ۵۵۶  | Trimethoprim        |         |
| ۵۵۷  | Tylosin             |         |
| ۵۵۸  | Valnemulin          |         |
| ۵۵۹  | Valproic acid       |         |
| ۵۶۰  | Verapamil           |         |
| ۵۶۱  | Zolpidem            |         |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                                          | گروه یک                                              |
|------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
| ۵۶۲  | 1,3-Dichloropropene                                                 | مواد حفاظت کننده گیاهان<br>Plant protection products |
| ۵۶۳  | 2,3,4,6-Tetrachlorophenol                                           |                                                      |
| ۵۶۴  | 2,4,5-Trichlorophenol                                               |                                                      |
| ۵۶۵  | 2,4,6-Trichloroanisole                                              |                                                      |
| ۵۶۶  | 2,4,6-Trichlorophenol                                               |                                                      |
| ۵۶۷  | 2,4-Dichloroanisole                                                 |                                                      |
| ۵۶۸  | 2,4-Dichlorophenoxyacetic acid                                      |                                                      |
| ۵۶۹  | 2-Aminobenzimidazole                                                |                                                      |
| ۵۷۰  | 2-methyl-4-chlorophenoxyacetic acid                                 |                                                      |
| ۵۷۱  | 4-(4-chloro-o-tolyloxy) butyric acid                                |                                                      |
| ۵۷۲  | 6-Deisopropylatrazine / 6-chloro-N-ethyl-1,3,5-Triazine-2,4-diamine |                                                      |
| ۵۷۳  | Aclonifen                                                           |                                                      |
| ۵۷۴  | Aldicarb                                                            |                                                      |
| ۵۷۵  | Aldicarb sulfone                                                    |                                                      |
| ۵۷۶  | Ametryn                                                             |                                                      |
| ۵۷۷  | Amino methyl phosphoric acid                                        |                                                      |
| ۵۷۸  | Aminotriazole                                                       |                                                      |
| ۵۷۹  | Azinphos-ethyl                                                      |                                                      |
| ۵۸۰  | Bentazone                                                           |                                                      |
| ۵۸۱  | Bifenox                                                             |                                                      |
| ۵۸۲  | Bromacil                                                            |                                                      |
| ۵۸۳  | Bromofos-ethyl                                                      |                                                      |
| ۵۸۴  | Bromoxynil octanoate                                                |                                                      |
| ۵۸۵  | Carbaryl                                                            |                                                      |
| ۵۸۶  | Carboxin                                                            |                                                      |
| ۵۸۷  | Clopyralid                                                          |                                                      |
| ۵۸۸  | Cyanazine                                                           |                                                      |
| ۵۸۹  | Cyanazine acid                                                      |                                                      |
| ۵۹۰  | Desethylatrazine                                                    |                                                      |
| ۵۹۱  | Desethylterbutylazin                                                |                                                      |
| ۵۹۲  | Desmedipham                                                         |                                                      |
| ۵۹۳  | Desmetryn                                                           |                                                      |
| ۵۹۴  | Dicamba                                                             |                                                      |
| ۵۹۵  | Dicofol                                                             |                                                      |
| ۵۹۶  | Diflufenican                                                        |                                                      |
| ۵۹۷  | Dichlobenil                                                         |                                                      |
| ۵۹۸  | Dimethenamid                                                        |                                                      |
| ۵۹۹  | Dinoterb                                                            |                                                      |
| ۶۰۰  | Echio (Ethion)                                                      |                                                      |
| ۶۰۱  | Eptenofos                                                           |                                                      |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                | گروه یک |
|------|---------------------------|---------|
| ۶۰۲  | Ethofumesate              |         |
| ۶۰۳  | Ethoprophos               |         |
| ۶۰۴  | Fenarimol                 |         |
| ۶۰۵  | Fenthion                  |         |
| ۶۰۶  | Flufenacet                |         |
| ۶۰۷  | Fluroxypyr                |         |
| ۶۰۸  | Flusilazole               |         |
| ۶۰۹  | Flutriafol                |         |
| ۶۹۰  | Furathiocarb              |         |
| ۶۹۱  | Glyphosate                |         |
| ۶۹۲  | Heptachlor                |         |
| ۶۹۳  | Heptachlor epoxide        |         |
| ۶۹۴  | Hexazinone                |         |
| ۶۹۵  | Chloridazon               |         |
| ۶۹۶  | Chloroxuron               |         |
| ۶۹۷  | Chlorpropham              |         |
| ۶۹۸  | Chlorthal-dimethyl        |         |
| ۶۹۹  | Iodofenphos               |         |
| ۷۰۰  | Linuron                   |         |
| ۷۰۱  | Mecoprop                  |         |
| ۷۰۲  | Mecoprop-p                |         |
| ۷۰۳  | Metalaxyl                 |         |
| ۷۰۴  | Metamitron                |         |
| ۷۰۵  | Metazachlor               |         |
| ۷۰۶  | Methiocarb                |         |
| ۷۰۷  | Methiocarb sulfoxide      |         |
| ۷۰۸  | Methoxychlor              |         |
| ۷۰۹  | Metolachlor               |         |
| ۷۱۰  | Metoxuron                 |         |
| ۷۱۱  | Metrifonate (Trichlorfon) |         |
| ۷۱۲  | Mevinphos                 |         |
| ۷۱۳  | Molinate                  |         |
| ۷۱۴  | Omethoate                 |         |
| ۷۱۵  | Orbencarb                 |         |
| ۷۱۶  | Oxadiazon                 |         |
| ۷۱۷  | Oxadixyl                  |         |
| ۷۱۸  | Paclobutrazol             |         |
| ۷۱۹  | Parathion                 |         |
| ۷۲۰  | Parathion methyl          |         |
| ۷۲۱  | Pendimethalin             |         |
| ۷۲۲  | Phenmedipham              |         |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                    | گروه یک                                                                     |
|------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|
| ۷۲۳  | Prochloraz                                    |                                                                             |
| ۷۲۴  | Prometon                                      |                                                                             |
| ۷۲۵  | Propachlor                                    |                                                                             |
| ۷۲۶  | Propanil                                      |                                                                             |
| ۷۲۷  | Propazine                                     |                                                                             |
| ۷۲۸  | Propyzamide                                   |                                                                             |
| ۷۲۹  | Quinmerac                                     |                                                                             |
| ۷۳۰  | Quinoxifen                                    |                                                                             |
| ۷۳۱  | Secbumeton                                    |                                                                             |
| ۷۳۲  | Sulfonyl urea                                 |                                                                             |
| ۷۳۳  | Thiodicarb                                    |                                                                             |
| ۷۳۴  | Tolclofos methyl                              |                                                                             |
| ۷۳۵  | Triadimefon                                   |                                                                             |
| ۷۳۶  | Triallate                                     |                                                                             |
| ۷۳۷  | Carbendazim                                   | مواد حفاظت‌کننده گیاهان / زیست‌کشها<br>Plant protection products / Biocides |
| ۷۳۸  | Cypermethrin                                  |                                                                             |
| ۷۳۹  | Deltamethrin                                  |                                                                             |
| ۷۴۰  | Diazinon                                      |                                                                             |
| ۷۴۱  | Dichlofluanid                                 |                                                                             |
| ۷۴۲  | Dichlorvos                                    |                                                                             |
| ۷۴۳  | Dimethoate                                    |                                                                             |
| ۷۴۴  | Endosulfan-sulfate                            |                                                                             |
| ۷۴۵  | Chlorothalonil                                |                                                                             |
| ۷۴۶  | Chlorotoluron                                 |                                                                             |
| ۷۴۷  | Chlorpyrifos methyl                           |                                                                             |
| ۷۴۸  | Imidaclopride                                 |                                                                             |
| ۷۴۹  | Malathion                                     |                                                                             |
| ۷۵۰  | Methomyl                                      |                                                                             |
| ۷۵۱  | Permethrin                                    |                                                                             |
| ۷۵۲  | Pirimiphos-methyl                             |                                                                             |
| ۷۵۳  | Prometryn                                     |                                                                             |
| ۷۵۴  | Propiconazole                                 |                                                                             |
| ۷۵۵  | terbuthylazine                                |                                                                             |
| ۷۵۶  | Terbutryn                                     |                                                                             |
| ۷۵۷  | Thiabendazole                                 |                                                                             |
| ۷۵۸  | Tolylfluanid                                  |                                                                             |
| ۷۵۹  | Phoxime                                       | مواد حفاظت‌کننده گیاهان / زیست‌کشها<br>Plant protection products / Biocides |
| ۷۶۰  | 2,2,4-trimethylpentane-1,3-diol diisobutyrate | نرم‌کننده‌ها<br>Plasticisers                                                |
| ۷۶۱  | 2-Ethylhexanoic acid 2-ethylhexyl ester       |                                                                             |

ادامه جدول پ.۱-۱-آلاینده‌های نوظهور فهرست شبکه نورمن [۹۵]

| ردیف | عنوان ماده                                                                             | گروه یک                                                       |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| ۷۶۲  | Benzylbutylphthalate                                                                   |                                                               |
| ۷۶۳  | Bisphenol A                                                                            |                                                               |
| ۷۶۴  | Diethyl phthalate                                                                      |                                                               |
| ۷۶۵  | Diisodecyl phthalate                                                                   |                                                               |
| ۷۶۶  | Diisononyl phthalate                                                                   |                                                               |
| ۷۶۷  | Diisopropylnaphthalene                                                                 |                                                               |
| ۷۶۸  | Dimethylphthalate                                                                      |                                                               |
| ۷۶۹  | Di-n-butylphthalate                                                                    |                                                               |
| ۷۷۰  | Di-n-octylphthalate                                                                    |                                                               |
| ۷۷۱  | Methanone, Irgacure 184                                                                |                                                               |
| ۷۷۲  | N-butyl-benzenesulfonamide                                                             |                                                               |
| ۷۷۳  | N-Methyl-2-pyrrolidone                                                                 |                                                               |
| ۷۷۴  | Tributylacetyl citrate                                                                 |                                                               |
| ۷۷۵  | Tris(2-methylpropyl) phosphate                                                         | نرم‌کننده‌ها/ مواد ضد آتش<br>Plasticisers / Flame retardants  |
| ۷۷۶  | 2-(2-(4-Nonylphenoxy)ethoxy)acetic acid                                                | سورفکتانت‌ها (مواد فعال سطحی)<br>Surfactants                  |
| ۷۷۷  | 2-[2-[4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenoxy]ethoxy]ethanol / 4-Octylphenol di-ethoxylate |                                                               |
| ۷۶۸  | 2-[4-(1,1,3,3-tetramethylbutyl)phenoxy]ethanol / 4-Octylphenol mono-ethoxylate         |                                                               |
| ۷۷۹  | 4-Nonylphenol di-ethoxylate / 2-(2-(4-Nonylphenoxy)ethoxy)ethanol                      |                                                               |
| ۸۰۰  | 4-Nonylphenol mono-ethoxylate                                                          |                                                               |
| ۸۰۱  | 4-Nonylphenoxy acetic acid                                                             |                                                               |
| ۸۰۲  | 4-Octylphenoxy acetic acid                                                             |                                                               |
| ۸۰۳  | C10-C14-LAS                                                                            |                                                               |
| ۸۰۴  | C12-LAS                                                                                |                                                               |
| ۸۰۵  | Naphthalene sulphonic acid                                                             |                                                               |
| ۸۰۶  | Surfinol-104                                                                           |                                                               |
| ۸۰۷  | Tetraethyl lead                                                                        | فلزات نادر و سایر ترکیبات<br>Trace metals and their compounds |
| ۸۰۸  | Tetramethyl lead                                                                       |                                                               |

## منابع و مراجع

- ۱- پورا صغر سنگاچین، فرزاد، فاطمه غفاری رهبر، محمد حسین آبادی (۱۳۹۴)، توسعه پایدار- مبانی و شاخص‌های پایداری، انتشارات علم کشاورزی
- ۲- پ. آرن ویسلیند، سوزان ام. مورگان، لارن. جی. هین (۱۳۹۸)، مبانی مهندسی محیط‌زیست، ترجمه فرزاد پورا صغر سنگاچین، محسن سعیدی، حسین فخرایی، رویا موسی زاده، انتشارات پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار
- ۳- کتاب جامع بهداشت عمومی (۱۳۹۱)، آلاینده‌های نوپدید در محیط‌زیست، ترجمه دکتر محسن حیدری، دکتر محمدمهدی امین، دکتر پریناز پور صفا، مهندس نسیم رفیعی فصل ۴، گفتار ۱۴، دانشگاه علوم پزشکی ایران قابل دسترس از: <https://iums.ac.ir/content/65082>
- ۴- حسن‌زاده. نسرین، عباس اسماعیلی ساری، صابر خدابنده، نادر بهرامی‌فر (۱۳۹۳)، بررسی غلظت دی اتیل هگزیل فتالات و دی بوتیل فتالات در آب-های سطحی تالاب انزلی در اردیبهشت سال ۱۳۹۲، مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران، دوره بیست و چهارم شماره ۱۱۷
- ۵- سلیمانی. فرشید، ایرج نبی پور، فرجی فاطمه قاسمی، سینا دوبرادران (۱۳۹۴)، اثرات نانو ذرات بر انسان و محیط‌زیست: مروری بر سمیت، مواجهه، راه‌های کنترل خطرات و چشم اندازهای آینده، مجله طب جنوب، دوره ۱۸، شماره ۳
- ۶- مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی (۱۳۹)، درباره مقابله با شیوع ویروس کرونا (۲۰)، تأثیر کرونا بر منابع آب و فاضلاب، معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی، دفتر مطالعات زیربنایی
- ۷- پ. آرن ویسلیند، وزان ام. مورگان، لارن جی. هین (۱۳۹۸)، مبانی مهندسی محیط‌زیست، ترجمه فرزاد پورا صغر سنگاچین، محسن سعیدی، حسین فخرایی، رویا موسی زاده، انتشارات پژوهشکده محیط‌زیست و توسعه پایدار
- 8- Du, B.; Haddad, S.P.; Scott, W.C.; Chambliss, C.K.; Brooks, B.W. Pharmaceutical bioaccumulation by periphyton and snails in an effluent-dependent stream during an extreme drought. *Chemosphere* 2015, 119, 927–934.  
available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653514010170>
- 9- ETO.KOMYO Eto (1997), *Patology of Minamata Disease, Tocoxcolog Patology*, vol. 25.no. 6 ,  
available at: <https://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/019262339702500612>
- 10- Stefanakis. Alexandros I., Julie A Becker (2015), *A Review of Emerging Contaminants in Water: Classification, Sources, and Potential Risks*, Edition: 1st, Chapter: 3, Publisher: IGI Global Editors: E. McKeown, G. Bugyi  
available at: [https://www.researchgate.net/publication/283017369\\_A\\_Review\\_of\\_Emerging\\_Contaminants\\_in\\_Water\\_Classification\\_Sources\\_and\\_Potential\\_Risks](https://www.researchgate.net/publication/283017369_A_Review_of_Emerging_Contaminants_in_Water_Classification_Sources_and_Potential_Risks)
- 11- Ionela Catalina Vasilachi, Dana Mihaela Asiminesei, Daniela Ionela Fertu and Maria Gavrilescu (2021), Occurrence and Fate of Emerging Pollutants in Water Environment and Options for Their Removal, *Journal Water* 2021, 13, 181 available at: *Water* 2021, 13, 181.  
<https://doi.org/10.3390/w13020181>

- 12- Stanley E. Manahan (2010), ENVIRONMENTAL CHEMISTRY , NINTH EDITION, CRC Press Taylor & Francis Group
- 13- NORMAN Network (2021), <https://www.norman-network.net/?q=NORMAN%20Network>
- 14- Moritz. Susanne (2014), Emerging pollutants in surface water- Developments in society and pollution of tomorrow, Tübingen University
- 15- OECD (2012), New and Emerging Water Pollutants arising from Agriculture , Alistair B.A. Boxall, Environment Department, University of York, United Kingdom available at: <https://www.oecd.org/greengrowth/sustainable-agriculture/49848768.pdf>
- 16- Gomes, A.R.; Justino, C.; Rocha-Santos, T.; Freitas, A.C.; Duarte, A.C.; Pereira, R. Review of the ecotoxicological effects of emerging contaminants on soil biota. J. Environ. Sci. Health A 2017. [CrossRef]: available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28598770/>
- 17- Stuart, M.E., Manamsa, K., Talbot, J.C., Crane, E.J., 2011. Emerging contaminants in groundwater. British Geological Survey Open Report, OR/11/013. 72pp.
- 18- Basheer, A. New generation nano-adsorbents for the removal of emerging contaminants in water. J. Mol. Liq. 2018, 261, 583–593.  
Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167732218315721>
- 19- Gavrilescu, M.; Demnerová, K.; Aamand, J.; Agathos, S.; Fava, F. (2015), Emerging pollutants in the environment: Present and future challenges in biomonitoring, ecological risks and bioremediation. N Biotechnol. 2015, 32, 147–156. [CrossRef],  
available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1871678414000028>
- 20- Wang, J.; Pan, L.; Wu, S.; Lu, L.; Xu, Y.; Zhu, Y.; Guo, M.; Zhuang, S. (2016) Recent advances on endocrine disrupting effects of UV filters. Int. J. Environ. Res. Public. Health 2016, 13, 782. [CrossRef] available at: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4997468/>
- 21- Sharifan, H.; Klein, D.; Morse, A.N. (2016), UV filters are an environmental threat in the Gulf of Mexico: A case study of Texas coastal zones. Oceanologia 2016, 58, 327–335
- 22- [https://www.researchgate.net/publication/305766780\\_UV\\_filters\\_are\\_an\\_environmental\\_threat\\_in\\_the\\_Gulf\\_of\\_Mexico\\_a\\_case\\_study\\_of\\_Texas\\_coastal\\_zones](https://www.researchgate.net/publication/305766780_UV_filters_are_an_environmental_threat_in_the_Gulf_of_Mexico_a_case_study_of_Texas_coastal_zones)
- 23- Ramos, S.; Homem, V.; Alves, A.; Santos, L. (2016) A review of organic UV-filters in wastewater treatment plants. Environ. Int. 2016, 86, 24–44. [CrossRef], available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412015300702>
- 24- Oaks J.L., Gilbert M., Virani M.Z., Watson R.T., Meteyer C.U., Rideout B.A., Shivaprasad H.L., Ahmed S., Chaudhry M.J.I., Arshad M., Mahmood S., Ali A., Khan A.A. (2004): Diclofenac residues as the cause of vulture population decline in Pakistan. Nature 427 (6975), 630-633. Available at:
- 25- [https://www.researchgate.net/publication/8902065\\_Diclofenac\\_Residues\\_as\\_the\\_Cause\\_of\\_Vulture\\_Population\\_Decline\\_in\\_Pakistan](https://www.researchgate.net/publication/8902065_Diclofenac_Residues_as_the_Cause_of_Vulture_Population_Decline_in_Pakistan)
- 26- Anindita Gogoi, Payal Mazumder, Vinay Kumar Tyag, G.G. Tushara Chaminda, ۲۰۱۸
- 27- Alicia Kyoungjin An, Manish Kumar (2018), Occurrence and Fate of Emerging Contaminants in Water Environment: A Review, Groundwater for Sustainable Development 6 (2018) 169–180, available at: [https://www.researchgate.net/publication/322193707\\_Occurrence\\_and\\_Fate\\_of\\_Emerging\\_Contaminants\\_in\\_Water\\_Environment\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/322193707_Occurrence_and_Fate_of_Emerging_Contaminants_in_Water_Environment_A_Review)

- 28- Nangia S, Sureshkumar R. (2012) Effects of nanoparticle charge and shape anisotropy on translocation through cell membranes. *Langmuir* 2012; 28: 17666-71: available at: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/la303449d>
- 29- Popov A, Priezzhev AV, Lademann J, et al. TiO<sub>2</sub> nanoparticles as an effective UV-B radiation skin-protective compound in sunscreens. *J Phys D Appl Phys* 2005; 38:2564. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/0022-3727/38/15/006>
- 30- Oberdörster E. Manufactured nanomaterials (fullerenes, C<sub>60</sub>) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass. *Environ Health Perspect* 2004; 112: 1058. Available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15238277/>
- 31- Gourav Dhar Bhowmick, Dhruba Dhar, Dibyojoy Nath , Makarand Madhao Ghangrekar, Rintu Banerjee , Soumen Das and Jyotirmoy Chatterjee (2020), Coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak: some serious consequences with urban and rural water cycle, Published in partnership with King Fahd University of Petroleum & Minerals , npj nature partner journals available at: <https://www.nature.com/articles/s41545-020-0079-1.pdf?origin=ppub>
- 32- Sorin, Cheval, Cristian Mihai Adamescu, Teodoro Georgiadis, Mathew Herrnegger, Adrian Piticar 1 and David R. Legates (2020), Observed and Potential Impacts of the COVID-19 Pandemic on the Environment, *International Journal of Environmental Research and Public Health* , 4140; doi:10.3390/ijerph17114140 , available at: [www.mdpi.com/journal/ijerph](http://www.mdpi.com/journal/ijerph)
- 33- Gurr, C. J., & Reinhard, M. (2006). Harnessing natural attenuation of pharmaceuticals and hormones in rivers. *Environmental Science & Technology*, 40 (9), 2872–2876. doi:10.1021/es062677d PMID:16719085
- 34- <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/es062677d>
- 35- Lapworth, D. J., Baran, N., Stuart, M. E., & Ward, R. S. (2012). Emerging organic contaminants in groundwater: A review of sources, fate and occurrence. *Environmental Pollution*, 163, 287–303. doi:10.1016/j.envpol.2011.12.034 PMID:22306910
- 36- Kümmerer, K. (2008). Pharmaceuticals in the environment – A brief summary. In K. Kümmerer (Ed.), *Pharmaceuticals in the environment – sources, fate, effects and risks*. Berlin: Springer-Verlag. doi:10.1007/978-3-540-74664-5\_1
- 37- Stefanakis I. Alexandros (2016), *A Review of Emerging Contaminants in Water: Classification, Sources, and Potential Risks*, Chapter 3, Copyright © 2016, IGI Global. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/283017369>
- 38- Heberer, T., & Adam, M. (2004). Transport and attenuation of pharmaceutical residues during artificial ground water replenishment. *Environmental Chemistry*, 1(1), 22–25. doi:10.1071/EN04008
- 39- Schulz, M., Löffler, D., Wagner, M., & Ternes, T. A. (2008). Transformation of the X-ray contrast medium iopromide in soil and biological wastewater treatment. *Environmental Science & Technology*, 42(19), 7207–7217. doi:10.1021/es800789r PMID:18939548
- 40- . Ahel, M., Mikac, N., Cosovic, B., Prohic, E., & Soukup, V. (1998). The impact of contamination from a municipal solid waste landfill (Zagreb, Croatia) on underlying soil. *Water Science and Technology*, 37(8), 203–210. doi:10.1016/S0273-1223(98)00260-1
- 41- Buszka, P. M., Yeskis, D. J., Kolpin, D. W., Furlong, E. T., Zaugg, S. D., & Meyer, M. T. (2009). Wasteindicator and pharmaceutical compounds in landfill-leachate-affected ground water near Elkhart, Indiana, 2000-2002. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 82(6), 653–659. doi:10.1007/s00128-009-9702-z PMID:19290448

- 42- Bradford, S. A., Segal, E., Zheng, W., Wang, Q., & Hutchins, S. R. (2008). Reuse of concentrated animal feeding operation wastewater on agricultural lands. *Journal of Environmental Quality*, 37(5), 97–115. PMID:18765783
- 43- Swartz, W. C. H., Reddy, S., Benotti, M. J., Yin, H. F., Barber, L. B., Brownawell, B. J., & Rudel, R.A. (2006). Steroid estrogens, nonylphenol ethoxylate metabolites, and other wastewater contaminants in groundwater affected by a residential septic system on Cape Cod, MA. *Environmental Science & Technology*, 40(16), 4894–4902. doi:10.1021/es052595+ PMID:16955883
- 44- Topp, E., Monteiro, S. C., Beck, A., Ball Coehlo, B., Boxall, A. B., Duenk, P. W., & Metcalfe, C. D. et al. (2008). Runoff of pharmaceuticals and personal care products following application of biosolids to an agricultural field. *The Science of the Total Environment*, 396(1), 52–59. doi:10.1016/j.scitotenv.2008.02.011 PMID:18377955
- 45- MANAHAN STANLEY E. (2010), ENVIRONMENTAL CHEMISTRY, NINTH EDITION, CRC Press
- 46- Taylor & Francis Group
- 47- Dsikowitzky, L.; Crawford, S.E.; Nordhaus, I.; Lindner, F.; Dwiytno; Irianto, H.E.; Ariyani, F.; Schwarzbauer, J. (2020), Analysis and environmental risk assessment of priority and emerging organic pollutants in sediments from the tropical coastal megacity Jakarta, Indonesia. *Reg. Stud. Mar. Sci.* 2020, 34, 101021. [CrossRef], available at:
- 48- [https://www.researchgate.net/publication/338184563\\_Analysis\\_and\\_environmental\\_risk\\_assessment\\_of\\_priority\\_and\\_emerging\\_organic\\_pollutants\\_in\\_sediments\\_from\\_the\\_tropical\\_coastal\\_megacity\\_Jakarta\\_Indonesia](https://www.researchgate.net/publication/338184563_Analysis_and_environmental_risk_assessment_of_priority_and_emerging_organic_pollutants_in_sediments_from_the_tropical_coastal_megacity_Jakarta_Indonesia)
- 49- Chicken, J. C., and T. Ponser (1998), *The Philosophy of Risk*, Thomas Telford, Thomas Telford Publishing
- 50- Naidu, R.; Arias Espana, V.A.; Liu, Y.; Jit, J. (2016) Emerging contaminants in the environment: Risk-based analysis for better management. *Chemosphere* 2016, 154, 350–357. Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653516303836>
- 51- Isidori, M.; Lavorgna, M.; Nardelli, A.; Pascarella, L.; Parrella, A. (2005) Toxic and genotoxic evaluation of six antibiotics on non-target organisms. *Sci. Total Environ.* 2005, 346, 87–98. [CrossRef] available at: [https://www.researchgate.net/publication/7749863\\_Toxic\\_and\\_genotoxic\\_evaluation\\_of\\_six\\_antibiotic\\_on\\_non-target\\_organisms](https://www.researchgate.net/publication/7749863_Toxic_and_genotoxic_evaluation_of_six_antibiotic_on_non-target_organisms)
- 52- Varjani, S.; Sudha, M.C. (2020) Occurrence and human health risk of micro-pollutants-A special focus on endocrine disruptor chemicals. In *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. Emerging Organic Micro-Pollutants*; Varjani, S., Tyagi, R.D., Larroche, C., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2020; pp. 23–39. [CrossRef] , available at:
- 53- [https://www.researchgate.net/publication/339418854\\_Occurrence\\_and\\_human\\_health\\_risk\\_of\\_micro-pollutants-A\\_special\\_focus\\_on\\_endocrine\\_disruptor\\_chemicals](https://www.researchgate.net/publication/339418854_Occurrence_and_human_health_risk_of_micro-pollutants-A_special_focus_on_endocrine_disruptor_chemicals)
- 54- Risk Assessment Guidance for Superfund Volume 1. Human Health Evaluation Manual (Part E, Supplemental Guidance for Dermal Risk Assessment), EPA/540/R/99/005 Office of Superfund Remediation and Technology Innovation. U.S. Environmental Protection Agency: Washington, DC, USA. Available online: [https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/part\\_e\\_final\\_revision\\_10-03-07.pdf](https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/part_e_final_revision_10-03-07.pdf) (accessed on 12 October 2020).
- 55- Fabrega, F.; Marquès, M.; Ginebreda, A.; Kuzmanovic, M.; Barceló, D.; Schuhmacher, M.; Domingo, J.L.; Nadal, M. Integrated Risk Index of Chemical Aquatic Pollution (IRICAP): Case studies in Iberian

- rivers. J. Hazard. Mater. 2013, 263P, 187–196. [CrossRef], available at: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23810233/>
- 56- Luo, Y., Guo, W., Ngo, H., Nghiem, L., Hai, F., Zhang, J., Liang, S. & Wang, X. (2013) A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. Science of the Total Environment 473–474, 619–641. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2013.12.065. available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969713015465>
- 57- David A. Alvarez, Tammy L. Jones-Lepp (2009), Sampling and Analysis of Emerging Pollutants, Chapter 11, Columbia Environmental Research Center, U.S. Geological Survey, U.S. Environmental Protection Agency, available at: [https://cfpub.epa.gov/si/si\\_public\\_file\\_download.cfm?p\\_download\\_id=499214](https://cfpub.epa.gov/si/si_public_file_download.cfm?p_download_id=499214)
- 58- Radtke, D.B. 2005. Bottom-material samples: U.S. Geological Survey Techniques of Water-Resources Investigations, book 9, chap. A8. <http://pubs.water.usgs.gov/twri9A8/> (accessed May 2, 2008).
- 59- Huckins, J.N., J.D. Petty, and K. Booij 2006. Monitors of organic chemicals in the environment - Semipermeable Membrane Devices. New York, USA: Springer.
- 60- USEPA (US Environmental Protection Agency) 2007 TMethod 3535A (SW-846), Solid-Phase Extraction. USEPA, Washington, DC, USA
- 61- J. Manuel Galindo-Miranda, Cecilia Guízar-González, Elías J. Becerril-Bravo, Gabriela Moeller-Chávez, Elizabeth León-Becerril and Ramiro Vallejo-Rodríguez (2019), Occurrence of emerging contaminants in environmental surface waters and their analytical methodology – a review, Water Supply, available at: <https://iwaponline.com/ws/article/19/7/1871/67928/Occurrence-of-emerging-contaminants-in>
- 62- de Oliveira, J.F.; Fia, R.; Rodrigues, F.N.; Fia, F.R.L.; de Matos, M.P.; Siniscalchi, L.A.B.; Sanson, A.L. (2020), Quantification, removal and potential ecological risk of emerging contaminants in different organic loads of swine wastewater treated by integrated biological
- 63- reactors. Chemosphere 2020, 260, 127516
- 64- [https://www.researchgate.net/publication/342660793\\_Quantification\\_removal\\_and\\_potential\\_ecological\\_risk\\_of\\_emerging\\_contaminants\\_in\\_different\\_organic\\_loads\\_of\\_swine\\_wastewater\\_treated\\_by\\_integrated\\_biological\\_reactors](https://www.researchgate.net/publication/342660793_Quantification_removal_and_potential_ecological_risk_of_emerging_contaminants_in_different_organic_loads_of_swine_wastewater_treated_by_integrated_biological_reactors)
- 65- Ji, J.; Kakade, A.; Yu, Z.; Khan, A.; Liu, P.; Li, X. Anaerobic membrane bioreactors for treatment of emerging contaminants: A review. J. Environ. Manag. 2020, 270, 110913. [CrossRef]
- 66- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720308434>
- 67- Gogoi, A.; Mazumder, P.; Tyagi, V.K.; Chaminda, T.G.G.; Kyoungjin An, A.; Kumar, M. (2018) Occurrence and fate of emerging contaminants in water environment: A review. Groundw. Sustain. Dev. 2018, 6, 169–180. [CrossRef]
- 68- [https://www.researchgate.net/publication/322193707\\_Occurrence\\_and\\_Fate\\_of\\_Emerging\\_Contaminants\\_in\\_Water\\_Environment\\_A\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/322193707_Occurrence_and_Fate_of_Emerging_Contaminants_in_Water_Environment_A_Review)
- 69- Ahmed, M.B.; Zhou, J.L.; Ngo, H.H.; Guo, W.; Thomaidis, N.S.; Xu, J. Progress in the biological and chemical treatment technologies for emerging contaminant removal from wastewater: A critical review. J. Hazard. Mater. 2017, 323, 274–298. [CrossRef]
- 70- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/27143286/>

- 71- Avila, C.; Reyes, C.; Bayona, J.M.; Garcia, J. Emerging organic contaminant removal depending on primary treatment and operational strategy in horizontal subsurface flow constructed wetlands: Influence of redox. *Water Res.* 2013, 47, 315–325. [CrossRef] [PubMed],
- 72- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135412007191>
- 73- Vymazal, J. (2011) Long-term performance of constructed wetlands with horizontal subsurface flow: Ten case studies from the Czech Republic. *Ecol. Eng.* 2011, 37, 54–63. [CrossRef]
- 74- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857409003310>
- 75- Matamoros, V.; Bayona, J.M. Behavior of Emerging Pollutants in Constructed Wetlands. In *The Handbook of Environmental Chemistry*; Barceló, D., Kostianoy, A.G., Eds.; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2008; Volume 5, pp. 199–217, Part S/2
- 76- Khan, N.A.; Khan, S.U.; Sirajuddin, K.; Ahmed, S.; Farooqi, I.H.; Yousefi, M.; Mohammadi, A.A.; Changani, F. Recent trends in disposal and treatment technologies of emerging-pollutants-A critical review. *Trends Anal. Chem.* 2020, 115744. [CrossRef]
- 77- <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0165993619305722>
- 78- Wang, A.J.; Li, W.W.; Yu, H.Q. Advances in biogas technology. *Adv. Biochem. Eng. Biotechnol.* 2012, 128, 119–141. [CrossRef]
- 79- <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22085920/>
- 80- Ji, J.; Kakade, A.; Yu, Z.; Khan, A.; Liu, P.; Li, X. Anaerobic membrane bioreactors for treatment of emerging contaminants: A review. *J. Environ. Manag.* 2020, 270, 110913. [CrossRef]
- 81- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479720308434>
- ۸۲- شریفی. حمزه، حسین موحدیان عطار (۱۴۰۰)، مروری بر روش‌های اندازه‌گیری میکروپلاستیک‌ها در آب و فاضلاب، *مجله سلامت و محیط زیست*، فصلنامه علمی پژوهشی، دوره چهاردهم، شماره اول، بهار
- ۸۳- نامی فرد. زهرا (۱۳۸۹). بیماری‌های منتقله توسط آب، دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی استان همدان قابل دسترس از:  
[http://darman.umsha.ac.ir/%5Cuploads%5C15\\_118\\_bemarihay%20montghlh%20az%20ab.pdf](http://darman.umsha.ac.ir/%5Cuploads%5C15_118_bemarihay%20montghlh%20az%20ab.pdf)
- 84- Diaz-Cruz, M. S., & Barcelo, D. (2008). Trace organic chemicals contamination in ground water recharge. *Chemosphere*, 72(3), 333–342. oi:10.1016/j.chemosphere.2008.02.031 PMID:18378277
- ۸۵- پرتوی‌نیا. علی (۱۳۹۷)، آشنایی با مبانی و اصول سم‌شناسی و نقش آن در بهداشت، ایمنی و محیط زیست (HSE)، نشریه رویکردهای نوین در آزمایشگاه‌های علمی ایران، سال دوم، شماره ۱ قابل دسترس از:  
[https://jonaisl.maragheh.ac.ir/article\\_76946\\_90334d0c8087b2e2fc1c0d8d7806c2e5.pdf](https://jonaisl.maragheh.ac.ir/article_76946_90334d0c8087b2e2fc1c0d8d7806c2e5.pdf)
- 86- Regulation (EC) No. 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 Concerning the Registration, Evaluation, Authorization and Restriction of Chemicals (REACH). Brussels. 29 May 2007. Available online: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=DOJ:L:2007:136:0003:0280:EN:PDF> (accessed on 25 August 2020)
- 87- Naidu, R.; Arias Espana, V.A.; Liu, Y.; Jit, J. Emerging contaminants in the environment: Risk-based analysis for better management. *Chemosphere* 2016, 154, 350–357. [CrossRef]
- 88- <https://www.maadazma.com>
- 89- پایگاه اطلاعاتی تهران دارو/ <http://www.tehrandarou.com>

- 90- Masura J, Baker JE, Foster GD, Arthur C, Herring C.(2015) Laboratory methods for the analysis of microplastics in the marine environment: recommendations for quantifying synthetic particles in waters and sediments. USA: NOAA Technical Memorandum NOS-OR&R-48
- ۹۱- دهقان آبکنار. شیوا، سیدمرتضی حسینی، حسین اسماعیلی قلزوم، قربانعلی خدابخشی، ناصر مهرداد (۱۳۹۳)، اندازه گیری بقایای سموم کشاورزی ارگانوکلره در رودخانه‌های استان مازندران از طریق دستگاه GC- ECD پس از پیش تغلیظ به روش استخراج فاز جامد، محیط شناسی، دوره ی ۴۰، شماره ی ۳، پاییز
- ۹۲- آژ براگوری. بهروز، حسن کریم زادگان، محسن محمدی گلنگش، فاطمه شریعتی فیض آبادی، لیلا او شک سرایی (۱۴۰۱)، تعیین غلظت باقی مانده و بوم سم شناسی سموم آفت کش ارگانوفسفره در آب و خاک شالیزارهای شهرستان رودبار استان گیلان، نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، دوره ۲۹، شماره ۲
- 93- Source: Network of reference laboratories, research centres and related organisations for monitoring of emerging environmental substances, NORMAN List of Emerging Substances access: <https://www.norman-network.net/?q=node/81#sub3>
- ۹۴- آیین‌نامه جلوگیری از آلودگی آب، مصوبه ۱۸۲۴۱/ت۷۱/ه مورخ ۱۳۷۳/۳/۱۶ هیات وزیران.
- 95- Nor Zaiha Arman, Salmiati Salmiati 1,2 , Azmi Aris 1,2, Mohd Razman Salim 3 , Tasnia Hassan Nazifa 4 , Mimi Suliza Muhamad 5 and Marpongahtun Marpongahtun (2021), A Review on Emerging Pollutants in the Water Environment: Existences, Health Effects and Treatment Processes, Water 2021, 13, 3258, acces at: [https://mdpi-res.com/d\\_attachment/water/water-13-03258/article\\_deploy/water-13-03258-v2.pdf?version=1637224648](https://mdpi-res.com/d_attachment/water/water-13-03258/article_deploy/water-13-03258-v2.pdf?version=1637224648)
- ۹۶- استوارت هراد، لزی باتی، میریام دیاموند، جورج آرون‌دیتیس (۱۳۹۱)، روش تحقیق در علوم محیط زیست و کاربرد آن در پروژه های دانشجویی، ترجمه اسماعیل صالحی، فرزاد پوراصغر سنگاچین، انتشارات دانشگاه تهران
- ۹۷- سیدی فر. سید علی، سودابه نیک منش (۱۴۰۳)، کاربرد هوش مصنوعی در تصفیه آب، دومین کنفرانس ملی تحول دیجیتال و سیستم های هوشمند
- ۹۸- شرکت مهندسی پاک پساب اقلیم (۱۴۰۳)، نقش هوش مصنوعی در تصفیه آب: ۱۰ کاربرد مهم، قابل دسترس از: <https://pakpasabeghlim.ir/artificial-intelligence-role-water-purification/>
- 99- Environment Agency (2021), Poly- and perfluoroalkyl substances (PFAS): sources, pathways and environmental data, Environment Agency Horizon House, Deanery Road, Bristol BS1 5AH, Chief Scientist's Group report, Britain access at: [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/611e31fbd3bf7f63b19cea2d/Poly-\\_and\\_perfluoroalkyl\\_substances\\_sources\\_pathways\\_and\\_environmental\\_data\\_-\\_report.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/611e31fbd3bf7f63b19cea2d/Poly-_and_perfluoroalkyl_substances_sources_pathways_and_environmental_data_-_report.pdf)
- ۱۰۰- منافی انور. مهرداد، شایان شریعتی، مجید بغدادی (۱۴۰۳)، PFAS تهدیدی نوظهور برای محیط زیست، امنیت غذایی و سلامت انسان، اولین کنفرانس ملی آینده و پایداری محیط زیست، تهران، قابل دسترس از: <https://civilica.com/doc/2112452/>



## خواننده گرامی

امور نظام فنی و اجرایی سازمان برنامه و بودجه کشور، با گذشت بیش از پنجاه سال فعالیت تحقیقاتی و مطالعاتی خود، افزون بر نهصد عنوان ضابطه و نشریه تخصصی - فنی، در قالب آیین نامه، معیار، دستورالعمل، مشخصات فنی عمومی و مقاله، به صورت تالیف و ترجمه، تهیه و ابلاغ کرده است. ضابطه حاضر در راستای موارد یاد شده تهیه شده، تا در راه نیل به توسعه و گسترش علوم در کشور و بهبود فعالیت های عمرانی به کار برده شود. فهرست و متن کامل ضوابط و نشریه های منتشر شده در سال های اخیر، ذیل نشانی [Nezamfanni.ir](http://Nezamfanni.ir) برای عموم قابل دستیابی می باشد.



## **Guideline for Identifying, monitoring, and removing emerging pollutants from water sources**

**[IR-code 895]**

**Project Manager:** Farzam PourAsghar Sangchin

### **Authors & Contributors Committee:**

|                            |                                                                                                       |                                                        |
|----------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Farzam PourAsghar Sangchin | Freelance Expert                                                                                      | PhD in Environmental Education and Planning Management |
| Mohammad Ali Hamed         | Royan Consulting Engineers                                                                            | PhD in Regional Development Planning                   |
| Zarakani                   | Royan Consulting Engineers                                                                            | Ph.D. in Civil Engineering – Water                     |
| Javad Ramezani             | Research Center for Environment & Sustainable Development (RCESD)-<br>Department of Environment (DOE) | PhD in Environmental science                           |

### **Supervisory Committee:**

|                             |                                                                         |                                               |
|-----------------------------|-------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Mahtab Baghban              | Tehran Water and wastewater Company                                     | PhD. Nano Technology                          |
| Behrooz Dehzad              | Freelance Expert                                                        | PhD in of Ecology of inland (internal) waters |
| Seyyed Hossein Hashemi      | Shahid Beheshti University                                              | PhD in Environmental Engineering              |
| Elham Rasoulpour Shabestari | Water and Wastewater standards and criteria office - Ministry of Energy | MSc. In Environmental Planning and Management |

### **Confirmation Committee:**

|                             |                                                   |                                                          |
|-----------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Mohsen Eslamizadeh          | Freelance Expert                                  | PhD in Environmental Engineering                         |
| Javad Hassannazhad          | Iran Water Resources Management Company           | MSc. in Environmental Management                         |
| Seyyed Hossein Hashemi      | Shahid Beheshti University                        | PhD in Environmental Engineering                         |
| Zohreh Ghaemi               | Iran Water Resources Management Company           | PhD, Environment                                         |
| Ahmad Montazeri             | National Water and Wastewater Engineering Company | MSc. In Environmental Engineering                        |
| Elham Rasoulpour Shabestari | Iran Water Resources Management Company           | MSc. in Environmental Management ,Planning and Education |
| Maryam Soltani              | Department of Environment                         | PhD in Civil Engineering                                 |
| Seyyed Reza Yaghoubi        | Andisheh Zolal Co.                                | MSc. in Civil Environmental Engineering                  |

## **Abstract:**

As technology and industries have advanced, the nature and type of pollution in the environment and water resources, as well as wastewater, have also changed, resulting in new pollutants entering these receiving environments. This group of newer pollutants, known as "emerging pollutants" in the environment, water resources, and wastewater, includes a wide range of chemicals that are released into the environment and water resources from various sources, such as by-products from chemical industry activities, consumption of pharmaceuticals, agriculture, cosmetics, nanomaterials, microplastics, etc. For this reason, this group of emerging pollutants, with their increasing number and diversity, as well as their very low concentrations in receiving environments, have posed new problems for planners and managers of the environment and water resources. For this reason, the identification, monitoring and elimination of this group of emerging pollutants in the environment, especially water resources, is of great importance, and its prerequisite is the preparation and compilation of guidelines and instructions in this field so that they can be used to reduce their effects on the environment and water resources.

This guide aims to provide methods for identifying, classifying, monitoring and eliminating emerging pollutants in water resources for water resource planners and managers. The following guide is organized into eleven chapters. The first chapter of this guide presents terminology, definitions and concepts. The second chapter summarizes the most important laws and regulations governing the protection of water resource quality. The third chapter presents the status of this group of pollutants and their history in the world, and the most important domestic and foreign studies conducted to control, monitor and eliminate this group of pollutants.

Chapter 4, titled Definition and Classification of Emerging Pollutants, discusses the definitions provided by the most important scientific references and the most important classifications made of this group of pollutants. Chapter 5 refers to the identification of sources of emission of emerging pollutants, including point and non-point sources of emission of emerging pollutants in the environment, especially water resources. The effects and consequences of emerging pollutants on environmental health and water resources are discussed in Chapter 6, and the most important ecological and human effects as a result of contact with this group of pollutants are described.

Environmental and health risk assessment of emerging pollutants is presented in Chapter 7. In this chapter, in addition to presenting the basics of risk assessment, the mechanisms for analyzing the risk of these pollutants on the environment and humans were described.

Chapter 8, titled Monitoring, Treatment, and Removal of Emerging Contaminants from Water, addresses the identification methods, mechanisms for monitoring, and removal and treatment of this category of pollutants from water sources, such as sampling methods, types of sampling, extraction of emerging contaminant samples, etc.

Analysis of emerging contaminants is presented in Chapter 9. This chapter presents types of spectroscopy such as optical absorption spectroscopy, atomic absorption, electrochemical analysis methods, etc.

One of the important aspects of chemical analysis in studies of identification, monitoring, and analysis of emerging contaminants is the validation of the quality of the data produced, which was explained in Chapter 10 under the title of quality control. Chapter 11, titled Treatment and Removal of Emerging Pollutants, presents various methods for treating and removing this group of pollutants, such as biological methods, hybrid treatment technology, removal of emerging pollutants with membrane bioreactors, etc.

**Islamic Republic of Iran  
Plan and Budget Organization**

**Guide for  
Identifying, monitoring,  
and removing emerging  
pollutants from water  
sources**

**IR-Code 895**

**Edition 05-16-2026**

Deputy of Technical, Infrastructure and  
Production Affairs  
Department of Technical & Executive Affairs

[nezamfanni.ir](http://nezamfanni.ir)

Ministry of Energy  
Beurea of Technical & Operation Systems  
Development and Hydro-power Dispatching

[waterstandard.wrm.ir](http://waterstandard.wrm.ir)

**2026**



## این نشریه

با عنوان «راهنمای شناسایی، پایش و حذف آلاینده‌های نوظهور از منابع آب»، ضمن ارائه پیشینه، اهمیت و ضرورت کنترل این آلاینده‌ها، مهم‌ترین روش‌های شناسایی، پایش و حذف آن‌ها از منابع آبی تشریح نموده است، تا در راستای اجرای برنامه‌های حفاظت از کیفیت منابع آبی کشور توسط سازمان‌ها و نهادهای متولی مدیریت کمیت و کیفیت منابع آب و همچنین دغدغه‌مندان محیط زیست و منابع آبی مورد استفاده قرار گیرد.