

فلزات سنگین و تأثیر آن بر انسان و محیط زیست

مؤلفین :

دکتر عبدالله درگاهی، مهندسی علی نورمحمدی،

دکتر مهدی وثوقی

مهندس فرنام مختارکوره، دکتر هادی رحیم زاده



انتشارات دانشگاهی فرهنگ

نام کتاب : فلزات سنگین و تاثیر آن بر انسان و محیط زیست

مولفین : عبدالله درگاهی / علی نورمحمدی / مهدی وثوقی / فرنام مختار کوره / هادی رحیم زاده

ویراستار و طراح جلد : علیرضا فرهنگزادگان

تاریخ و نوبت چاپ : اول ۱۴۰۴

شمارگان : ۱۰۰۰ نسخه

بها : ۵۵۰۰۰۰۰ ریال

شابک : ۹۷۸-۶۲۲-۴۹۸۰-۳۶-۶

حق چاپ برای نشر دانشگاهی فرهنگ محفوظ می باشد

نشانی : تهران، خیابان انقلاب، روبروی دانشگاه تهران، پاساژ فروزنده، طبقه اول، واحد ۴۱۹

تلفن : ۶۶۴۱۰۶۸۸ - ۶۶۹۶۸۶۱۴

عنوان و نام پدیدآور	: فلزات سنگین و تاثیر آن بر انسان و محیط زیست/ مولفین عبدالله درگاهی... [و دیگران] ؛ ویراستار علیرضا فرهنگزادگان.
مشخصات نشر	: تهران: نشر دانشگاهی فرهنگ، ۱۴۰۴.
مشخصات ظاهری	: ۴۱۴ص: مصور، جدول، نمودار.
شابک	: ۵۰۰۰۰۰۰۰ریال۶-۳۶-۴۹۸۰-۶۲۲-۹۷۸ : 978-622-4980-36-6
وضعیت فهرست نویسی	: فیبا
یادداشت	: مولفین عبدالله درگاهی، علی نورمحمدی، مهدی وثوقی، فرنام مختار کوره، هادی رحیم زاده.
یادداشت	: واژه نامه.
یادداشت	: کتابنامه: ص. ۴۰۳.
موضوع	: فلزهای سنگین -- جنبه های زیست محیطی Heavy metals -- Environmental aspects فلزهای سنگین -- جنبه های بهداشتی Heavy metals -- Health aspects فلزهای سنگین -- اثر فیزیولوژیکی Heavy metals -- Physiological effect فلزهای سنگین -- سم شناسی Heavy metals -- Toxicology
شناسه افروده	: درگاهی، عبدالله، ۱۳۶۳ -
رده بندی کنگره	: ۵۸ / ۱۹۶ TD
رده بندی دیویی	: ۵۲ / ۶۲۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۱۰۱۸۰۰۰۹
اطلاعات رکورد کتابشناسی	: فیبا

فهرست

مقدمه	۱۳
فصل اول	۱۵
آلودگی آب	۱۵
انواع آلودگی آب	۱۶
آلودگی فیزیکی	۱۶
عوامل تغییر دهنده رنگ آب	۱۶
عوامل ایجاد کننده کدورت در آب	۱۶
عوامل بالا برنده دمای آب	۱۷
عوامل ایجاد کننده بو و طعم غیرطبیعی در آب	۱۷
آلودگی بیولوژیکی	۱۷
آلودگی شیمیایی	۱۷
نیتрат و نیتريت	۱۸
مواد آلی	۱۸
مواد رادیواکتیو	۱۸
فلزات سنگین	۱۸
فصل دوم	۲۰
فلز	۲۰
ریشه و کاربرد اصطلاح فلزات سنگین	۲۰
کروم	۲۳
منگنز	۲۴
آهن	۲۶
نیکل	۲۷
مس	۲۹
روی	۳۱
آرسنیک	۳۳
کادمیوم	۳۴
جیوه	۳۶
سرب	۳۹
برلیوم	۴۱

بیسموت.....	۴۳
طلا.....	۴۶
سلنیوم.....	۴۷
نقره.....	۴۹
تالیوم.....	۵۰
قلع.....	۵۳
وانادیوم.....	۵۴
فصل سوم.....	۶۸
اهمیت فلزات سنگین.....	۶۸
فلزات سنگین در اکو سیستم.....	۶۹
هوا.....	۶۹
آب.....	۸۸
خاک.....	۱۰۴
منابع آلودگی فلزات سنگین و مکانیسم‌های آن.....	۱۰۷
گیاهان.....	۱۱۲
حیوانات.....	۱۱۲
میکروارگانیسمها.....	۱۱۳
فصل چهارم.....	۱۲۴
منابع آلاینده محیط به فلزات سنگین.....	۱۲۴
منابع طبیعی.....	۱۲۴
فعالیت‌های انسانی.....	۱۲۵
معدن کاری و صنعت‌های فلزی.....	۱۲۹
پسماندهای جامد- صنعتی و خانگی.....	۱۳۰
سوخت‌های فسیلی.....	۱۳۱
فعالیت‌های کشاورزی.....	۱۳۳
فصل پنجم.....	۱۳۹
آلودگی منابع آب به فلزات سنگین.....	۱۳۹
آلودگی منابع آب‌های سطحی به فلزات سنگین.....	۱۳۹
آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی به فلزات سنگین.....	۱۴۲
آلودگی شبکه‌های توزیع آب به فلزات سنگین.....	۱۴۴

فصل ششم	۱۴۸
پایش	۱۴۸
پایش غلظت فلزات سنگین	۱۵۲
فصل هفتم	۱۶۰
اثرات بهداشتی فلزات سنگین در انسان	۱۶۰
بیوشیمی و متابولیسم	۱۶۶
واکنش ردوکس و تجمع فلز	۱۶۶
سمیت عصبی	۱۶۸
نقش روی	۱۷۰
مس و سلینیوم	۱۷۲
هموستاز فلزی در بیماری	۱۷۳
آنزیم های آنتی اکسیدان	۱۷۶
کاربردهای درمانی	۱۸۱
خون	۱۸۲
قرار گرفتن در معرض سرب	۱۸۲
اثرات کادمیوم و سرب	۱۸۳
استعمال دخانیات و فلزات سنگین	۱۸۵
قرارگیری در معرض بیماری در محل کار	۱۸۶
بیومارکرها و اندازه گیری	۱۸۸
اقدامات حفاظتی	۱۸۹
اثرات سیستمی	۱۹۰
سیستم عصبی	۱۹۰
سیستم اسکلتی	۱۹۱
سیستم غدد درون ریز	۱۹۱
سیستم ایمنی و سیستم گردش خون	۱۹۱
سرطان و اختلالات عصبی	۱۹۲
مسمومیت	۱۹۳
قرار گرفتن طولانی مدت در معرض فلزات سنگین	۱۹۵
اثرات متمایزی خاص فلزات سنگین بر سلامتی	۱۹۶
پوست	۲۰۰

۲۰۰	اثرات مستقیم بر روی پوست
۲۰۰	عفونت های پوستی
۲۰۱	آسیب حاد و مزمن بر پوست
۲۰۱	نگرانی های نظارتی
۲۰۲	باروری و ناباروری
۲۰۲	تاثیر بر باروری زنان
۲۰۵	تاثیر بر باروری مردان
۲۱۰	کودکان
۲۱۰	افزایش حساسیت
۲۱۲	اثرات سلامتی
۲۱۵	شرایط خاص
۲۲۰	تفاوت های جنسیتی
۲۲۳	عوامل محیطی و اجتماعی-اقتصادی
۲۳۳	فصل هشتم
۲۳۳	بیماری های مرتبط با فلزات سنگین در انسان
۲۳۳	بیماری های ناشی از فقدان عناصر
۲۳۳	کمبود آهن
۲۳۵	کمبود روی
۲۳۷	کمبود کبالت
۲۳۸	کمبود مس
۲۳۹	کمبود روی
۲۴۰	کمبود کلسیم
۲۴۳	کمبود کروم
۲۴۳	کمبود سلنیوم
۲۴۴	تاثیر کلی
۲۴۴	بیماری های مرتبط با آلودگی بیش از حد با عناصر
۲۴۴	آسیب کلیوی
۲۴۵	آسیب کبدی
۲۴۵	اختلالات عصبی
۲۴۶	مکانیسم های سمیت

۲۴۶	مشکلات تنفسی
۲۴۷	بیماری های قلبی عروقی
۲۴۷	سرطان
۲۴۹	مسائل مربوط به سلامت باروری
۲۵۰	کم خونی
۲۵۲	سرکوب سیستم ایمنی
۲۵۴	ناهنجاری های سیستم اسکلتی
۲۵۴	افسردگی
۲۵۵	تأثیرات گسترده و متنوع آلودگی فلزات سنگین بر سلامتی
۲۵۶	سمیت
۲۵۶	اختلالات گوارشی
۲۵۶	اثرات خاص سرب
۲۵۷	قرار گرفتن در معرض کادمیوم
۲۵۷	جیوه و آرسنیک
۲۵۷	تجمع زیستی و اثرات زیست محیطی
۲۵۷	پیامدهای سلامتی
۲۵۸	توصیه ها و اقدامات پیشگیرانه
۲۵۹	ناهنجاری های عصبی و رفتاری عصبی
۲۶۰	بیماری های قلبی عروقی
۲۶۰	آرسنیک و ارتباط آن با بیماری های قلبی عروقی
۲۶۰	کادمیوم: تهدیدی خاموش برای قلب و کلیه ها
۲۶۰	بیماری های کلیوی
۲۶۱	سرطان
۲۶۳	اختلالات سیستم ایمنی
۲۶۳	اختلالات تولید مثل و دغد درون ریز
۲۶۴	بیماری های استخوانی
۲۶۵	اختلالات تنفسی
۲۶۶	اختلالات تنفسی
۲۶۷	سرطانزایی
۲۶۷	سرطان ریه

۲۶۸.....	سرطان کبد.....
۲۶۸.....	سرطان مثانه.....
۲۷۰.....	سرطان معده.....
۲۷۲.....	سرطان روده بزرگ.....
۲۷۳.....	سرطان پوست.....
۲۷۵.....	تولد نوزاد ناقص الخلقه.....
۲۷۶.....	اختلالات هورمونی.....
۲۷۷.....	استرس اکسیداتیو.....
۲۷۷.....	تداخل تغذیه ای.....
۲۷۸.....	آلودگی محیطی.....
۲۸۵.....	فصل نهم.....
۲۸۵.....	اثرات بهداشتی فلزات سنگین در محیط زیست.....
۲۸۵.....	منابع.....
۲۸۵.....	منابع مستقیم.....
۲۸۷.....	منابع غیرمستقیم.....
۲۸۸.....	رواناب شهری.....
۲۸۹.....	شیوه های کشاورزی.....
۲۸۹.....	سیستم های سپتیک در محل (OSSs).....
۲۹۱.....	فیلترهای بیوفیلتراسیون.....
۲۹۳.....	پایش محیطی.....
۲۹۴.....	زیست نشانگرها.....
۲۹۷.....	کبد به عنوان یک اندام کلیدی.....
۲۹۹.....	تغییرات نشانگرها.....
۳۰۳.....	اقدامات پیشگیرانه.....
۳۰۳.....	قوانین و دستورالعمل ها.....
۳۰۴.....	اقدامات صنعتی و کشاورزی.....
۳۰۶.....	راه حل های مهندسی.....
۳۰۸.....	مقررات زیست محیطی.....
۳۰۹.....	اصلاح خاک.....
۳۱۲.....	مدیریت ریسک سلامت.....

۳۱۴.....	اقدامات پیشگیرانه در غذا
۳۲۱.....	فصل دهم.....
۳۲۱.....	فلزات سنگین در فاضلاب
۳۲۳.....	روش های نوین حذف فلزات سنگین از فاضلاب.....
۳۵۹.....	آبیاری خاک های کشاورزی با فاضلاب شهری.....
۳۹۴.....	فصل یازدهم.....
۳۹۴.....	استانداردهای آب آشامیدنی.....
۳۹۶.....	استاندارد ملی ۱۰۵۳ ایران (ISIRI).....
۳۹۹.....	استاندارد WHO.....
۴۰۱.....	استاندارد USEPA.....
۴۰۴.....	واژه نامه.....

پیوست فهرست شکل ها

۱۴.....	شکل ۱: عوامل آلودگی آب
۱۵.....	شکل ۲: انواع آلودگی آب
۲۱.....	شکل ۳: موقعیت فلزات سنگین مورد مطالعه در جدول تناوبی
۲۱.....	شکل ۴: رده بندی فلزات سنگین از نظر زیست شناسی.....
۲۲.....	شکل ۵: کروم
۲۳.....	شکل ۶: منگنز
۲۵.....	شکل ۷: آهن
۲۶.....	شکل ۸: نیکل
۲۸.....	شکل ۹: مس
۳۰.....	شکل ۱۰: روی
۳۲.....	شکل ۱۱: آرسنیک
۳۳.....	شکل ۱۲: کادمیوم
۳۵.....	شکل ۱۳: جیوه
۳۸.....	شکل ۱۴: سرب
۴۰.....	شکل ۱۵: برلیوم
۴۳.....	شکل ۱۶: بیسموت

- شکل ۱۷: طلا..... ۴۵
- شکل ۱۸: سلنیوم..... ۴۶
- شکل ۱۹: نقره ۴۸
- شکل ۲۰: تالیوم ۵۰
- شکل ۲۱: قلع ۵۲
- شکل ۲۲: وانادیوم ۵۴
- شکل ۲۳: سمیت فلزات سنگین..... ۶۵
- شکل ۲۴: منابع آلودگی و روش‌های کاهش آن ۷۷
- شکل ۲۵: راهکارهای کاهش آلودگی هوا با فلزات سنگین..... ۷۸
- شکل ۲۶: فلزات سنگین در آب ۸۳
- شکل ۲۷: منابع آلودگی فلزات سنگین در آب ۸۴
- شکل ۲۸: منابع طبیعی انتشار فلزات سنگین ۱۱۴
- شکل ۲۹: مقایسه منابع آلودگی فلزات سنگین ۱۱۵
- شکل ۳۰: راهکارهای کاهش آلودگی فلزات سنگین..... ۱۱۸
- شکل ۳۱: تأثیرات زیست‌محیطی فعالیت‌های معدن‌کاری و صنایع فلزی ۱۱۹
- شکل ۳۲: منابع و اثرات انتشار فلزات سنگین ۱۲۱
- شکل ۳۳: اثرات فلزات سنگین در کشاورزی ۱۲۳
- شکل ۳۴: آلاینده‌های آب بر اساس سطوح آلودگی آلی و غیر آلی (۱۵-۲۳)..... ۱۲۵
- شکل ۳۵: آلودگی فلزات سنگین در منابع آب ۱۲۷
- شکل ۳۶: پیامدهای آلودگی فلزات سنگین بر محیط‌زیست و سلامت انسان ۱۲۹
- شکل ۳۷: آلودگی منابع آب‌های زیرزمینی به فلزات سنگین..... ۱۳۰
- شکل ۳۸: بررسی آلودگی فلزات سنگین در شبکه‌های توزیع آب ۱۳۲
- شکل ۳۹: اثرات فلزات سنگین بر اعضای بدن انسان..... ۱۴۷
- شکل ۴۰: تعادل فلزات در سیستم‌های بیولوژیکی..... ۱۵۴
- شکل ۴۱: درک تأثیر نوروکسیک فلزات متیله‌شده بر سلامت انسان..... ۱۵۵
- شکل ۴۲: نقش روی در سلامت سلولی ۱۵۷
- شکل ۴۳: نقش‌های حیاتی مس و سلنیوم..... ۱۵۸
- شکل ۴۴: نتایج اختلال هموستاز فلزی ۱۶۱
- شکل ۴۵: نقش عناصر در آنزیم‌های آنتی اکسیدانی ۱۶۲
- شکل ۴۶: توسعه درمان‌های موثر برای اختلالات فلزی ۱۶۷

- شکل ۴۷: اثرات کادمیوم و سرب بر سلامت انسان ۱۷۰
- شکل ۴۸: اثرات فلزات سنگین بر سلامت کودکان ۱۹۹
- شکل ۴۹: عوامل مؤثر بر مواجهه با فلزات سنگین در کودکان ۲۰۶
- شکل ۵۰: تأثیرات فلزات سنگین بر سلامت کودکان در LMICs ۲۰۸
- شکل ۵۱: کمبود آهن: علل، علائم و درمان ها ۲۱۵
- شکل ۵۲: کمبود روی و پیامدهای سلامتی ۲۱۶
- شکل ۵۳: کمبود کبالت و تأثیرات آن بر بدن ۲۳۸
- شکل ۵۴: کمبود کلسیم و تأثیرات آن بر سلامت استخوان ۲۲۲
- شکل ۵۵: اثرات کادمیوم بر سلامت انسان ۲۲۸
- شکل ۵۶: اثرات فلزات سنگین بر سلامت ۲۳۱
- شکل ۵۷: اثرات سمیت فلزات سنگین ۲۳۸
- شکل ۵۸: اثرات سرطان زایی فلزات سنگین ۲۴۲
- شکل ۵۹: پیشرفت اختلالات تنفسی ناشی از فلزات سنگین ۲۴۶
- شکل ۶۰: اثرات فلزات سنگین بر سرطان مثانه ۲۴۹
- شکل ۶۱: تأثیرات فلزات سنگین بر رشد جنین ۲۵۵
- شکل ۶۲: منابع مستقیم آلودگی فلزات سنگین ۲۶۴
- شکل ۶۳: منابع غیرمستقیم PFAs و اثرات زیست محیطی ۲۶۵
- شکل ۶۴: اثرات زیست محیطی سیستم های سپتیک ۲۶۸
- شکل ۶۵: زیست نشانگرها در پایش آلودگی های محیطی ۲۷۴
- شکل ۶۶: تأثیر فلزات سنگین بر ماهیان و محیط زیست آبی ۲۸۰
- شکل ۶۷: راه حل های مهندسی برای کاهش مواجهه شغلی با فلزات سنگین ۲۸۵
- شکل ۶۸: چالش های زیست پایایی در اصلاح خاک ۲۹۰
- شکل ۶۹: مقایسه چارچوب های مدیریت ریسک سلامت ۲۹۲
- شکل ۷۰: استراتژی های پیشگیری از آلودگی فلزات سنگین ۲۹۴
- شکل ۷۱: استراتژی های پیشگیری از آلودگی فلزات سنگین ۳۰۲
- شکل ۷۲: روش های فیلتراسیون غشایی بر اساس اندازه ذرات حذف شده ۳۰۶
- شکل ۷۳: تکنیک های پیشرفته اکسیداسیون برای تصفیه آب ۳۲۹
- شکل ۷۴: استانداردهای آب آشامیدنی و عوامل مؤثر بر آنها ۳۶۸
- شکل ۷۵: استانداردهای آب آشامیدنی و چالش های اجرای آنها ۳۹۶
- شکل ۷۶: تامین آب سالم با استاندارد ملی ۱۰۵۳ ایران ۳۷۰

- شکل ۷۷: استانداردهای WHO برای آب آشامیدنی ۳۷۳
- شکل ۷۸: استانداردهای کیفیت آب آشامیدنی ۳۷۴

پیوست فهرست جدول ها

- جدول ۱: منابع ورود برخی فلزات سنگین به خاک، اثرات بهداشتی بر روی انسان و استاندارد آلودگی هر فلز در خاک (میلی گرم بر کیلوگرم) (۶۰-۴۹) ۱۰۴
- جدول ۲: سرچشمه‌های اصلی آلاینده‌های آب (۱۵-۲۳) ۱۳۴
- جدول ۳: منابع، کاربرد و آثار زیستی فلزات سنگین مورد مطالعه (۴-۱۰) ۱۶۳
- جدول ۴: حداکثر مقادیر مجاز مواد شیمیایی معدنی سمی بر حسب میلی گرم بر لیتر ۳۹۸
- جدول ۵: حداکثر مجاز و مطلوب مواد شیمیایی معدنی غیرسمی موجود در آب آشامیدنی بر حسب میلی گرم .. ۳۹۹

مقدمه

آب نقش اساسی در حیات و تمامی فعالیت‌های انسانی دارد. دسترسی به آب سالم، کافی و باکیفیت مناسب، پیش‌نیاز حفظ محیط‌زیست، توسعه اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی و دستیابی به توسعه پایدار است. با این حال، کیفیت آب در مسیر انتقال از منبع تا مصرف دچار تغییرات می‌شود (۱). در این میان، آلودگی ناشی از فلزات سنگین یکی از چالش‌های مهم زیست‌محیطی است. مواجهه طولانی‌مدت با این عناصر در منابع آبی، نگرانی‌های جدی درباره کیفیت آب و سلامت عمومی به همراه دارد (۲). امروزه آلودگی محیط‌زیست با فلزات سنگین به دلیل تجمع‌پذیری و اثرات زیان‌بار حتی در غلظت‌های کم، بیش از پیش مورد توجه قرار گرفته است (۳). روند توسعه در کشورهای نظیر ایران، آلودگی منابع آبی را افزایش داده که می‌تواند منجر به تغییرات فیزیولوژیکی و آلودگی شیمیایی گسترده شود. برخی آلودگی‌ها مانند مواد زائد کشاورزی به راحتی تجزیه می‌شوند، اما آلاینده‌هایی همچون فلزات سنگین (کروم، منگنز، آهن، نیکل، مس، روی، آرسنیک، کادمیوم، جیوه، سرب و ...) در محیط باقی می‌مانند و می‌توانند کیفیت آب را تا سطح غیرقابل مصرف کاهش دهند (۴). در کشورهایی مانند ایران، رشد جمعیت و افزایش فعالیت‌های انسانی موجب تشدید آلودگی آب شده که نیازمند مدیریت دقیق‌تر است (۵). فلزات سنگین از مهم‌ترین آلاینده‌های منابع آبی به شمار می‌روند و مصرف آن‌ها در چند دهه اخیر به طور چشمگیری افزایش یافته است. پایداری بالا، تجمع در زنجیره غذایی، سمیت، سرطان‌زایی و جهش‌زایی از ویژگی‌های خطرناک این عناصر محسوب می‌شود (۶). ورود فلزات سنگین به منابع آبی از طریق منابع انسانی (مانند سوزاندن سوخت‌های فسیلی، استخراج معادن، فاضلاب‌های کشاورزی و صنعتی، صنایع رنگرزی و آبکاری فلزات، حمل‌ونقل و ...) و منابع طبیعی (مانند غبارهای آتشفشانی، بارندگی، فرسایش خاک و حل شدن نمک‌های محلول) صورت می‌گیرد (۷). این آلاینده‌ها از مسیرهای مختلف مانند آب آشامیدنی، زنجیره غذایی، تماس پوستی، استنشاق دود و ذرات وارد بدن می‌شوند که مصرف خوراکی اصلی‌ترین راه مواجهه با آلودگی‌های شیمیایی در منابع آبی است- (۸). در غلظت‌های بالا، این فلزات می‌توانند باعث اختلالات مرفولوژیکی، کاهش رشد، افزایش مرگ‌ومیر، تغییرات ژنتیکی و مشکلات جدی برای سلامت انسان شوند (۹). در ایران، توسعه فناوری، گسترش کشاورزی و استفاده بی‌رویه از سموم کشاورزی موجب افزایش تجمع این آلاینده‌ها در منابع آب شده است. نبود پایش مستمر عناصر تجمع‌یافته، خطر بروز عوارض مخرب بر سلامت را افزایش داده است (۱۰). بنابراین، تدوین استراتژی‌های مدون برای حفاظت از منابع آبی و کنترل آلودگی‌ها امری ضروری است. پایش دقیق و کنترل مداوم غلظت فلزات سنگین در آب، تضمین‌کننده دسترسی به منابع آبی سالم و باکیفیت خواهد بود.

آب یکی از عناصر کلیدی چرخه حیات محسوب می‌شود و توجه به کیفیت، نگهداری و توسعه آن به طور مداوم در حال افزایش است (۲۴). این مایه حیاتی، برای تمام جنبه‌های زندگی و فعالیت‌های

انسانی ضروری بوده و ارزشمندترین منبع در میان منابع تجدیدپذیر کره زمین به شمار می‌آید. دسترسی به آب سالم، کافی و باکیفیت، از الزامات دستیابی به توسعه پایدار است (۲۵). با کاهش نزولات جوی و محدود شدن منابع آب سطحی قابل شرب، استخراج از منابع آب زیرزمینی بدون در نظر گرفتن محدودیت‌ها یا لزوم بازچرخش آن، به‌طور فزاینده‌ای مورد توجه قرار گرفته است (۲۶). منابع آب زیرزمینی از مهم‌ترین منابع تأمین آب شرب و کشاورزی هستند و منبع اصلی آب شرب برای بیش از ۱٫۵ میلیارد نفر در سراسر جهان محسوب می‌شوند (۲۷). با توجه به ذخیره محدود منابع آبی در جهان و سهم اندک آب‌های زیرزمینی به‌عنوان منابع آب شیرین قابل استحصال، حفظ کمیت و کیفیت این منابع ارزشمند در حد مطلوب، امری حیاتی است. برای اطمینان از سلامت این منابع، در صورت وقوع آلودگی، لازم است منبع آلاینده به‌سرعت شناسایی شود، روند گسترش آلودگی پیش‌بینی گردد و اقدامات لازم برای پاک‌سازی و جلوگیری از گسترش آن انجام شود. متأسفانه، آب که سرچشمه حیات است، در اثر استفاده مستقیم و غیرمستقیم از آلاینده‌ها در معرض آلودگی قرار می‌گیرد (۲۸). از این‌رو، اتخاذ راهکارهای مؤثر برای پایش، مدیریت و حفاظت از منابع آبی، از اولویت‌های مهم زیست‌محیطی به شمار می‌رود.

فصل اول

آلودگی آب

تأثیر صنعتی شدن بر منابع آبی

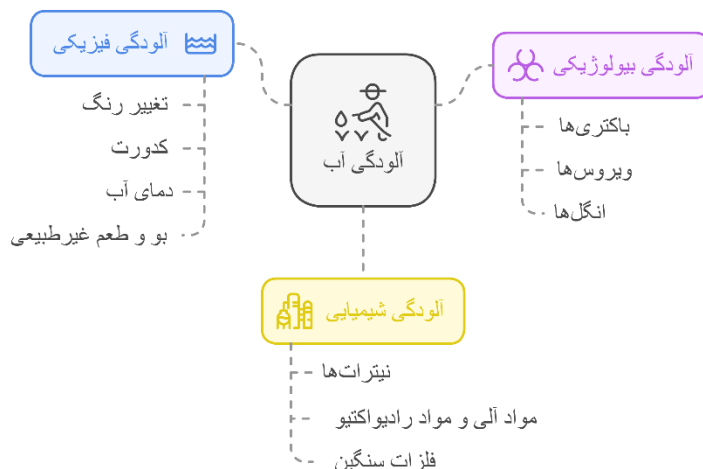
با توسعه صنعت و رشد فزاینده جمعیت، تقاضا برای آب باکیفیت روزبه‌روز افزایش می‌یابد. صنعتی شدن سریع و شهرنشینی کنترل‌نشده، به‌ویژه در اطراف شهرها و مناطق ساحلی، باعث ورود حجم نگران‌کننده‌ای از آلاینده‌ها به محیط‌های آبی شده است (۱). بسیاری از منابع آبی در اثر فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و فاضلاب‌ها آلوده شده‌اند، اما همچنان از منابع آب زیرزمینی به دلیل فرآیند طبیعی فیلتراسیون در بافت خاک، به‌عنوان منابعی نسبتاً ایمن یاد می‌شود (۲). برخی عناصر و فلزات سنگین مانند آهن، مس، روی و منگنز، در مقادیر مناسب برای سلامت انسان ضروری هستند. بااین‌حال، افزایش غلظت این عناصر و مصرف بیش‌ازحد مجاز آن‌ها می‌تواند منجر به مشکلات جدی سلامتی شود (۳). از آنجاکه فلزات سنگین دارای پایداری بالا و خاصیت تجمع‌پذیری زیستی هستند، یکی از مهم‌ترین چالش‌های مرتبط با کیفیت آب محسوب می‌شوند و مدیریت دقیق آن‌ها برای حفظ سلامت منابع آبی ضروری است (۴).

آلودگی آب



شکل ۱: عوامل آلودگی آب

انواع آلودگی آب



شکل ۲: انواع آلودگی آب

آلودگی فیزیکی

آلودگی‌هایی را شامل می‌شوند که ویژگی‌های فیزیکی آب مانند رنگ، کدورت، دما، بو و طعم را تغییر می‌دهند.

عوامل تغییر دهنده رنگ آب

آب خالص به طور طبیعی بی‌رنگ است و وجود رنگ در آب نشانه حضور ناخالصی‌هایی از قبیل مواد معدنی یا ترکیبات آلی است. در آب‌های زیرزمینی، گاهی رنگ ناشی از حضور ترکیباتی مانند آهن، منگنز یا مواد آلی حاصل از تجزیه گیاهان می‌باشد. به عنوان مثال، رنگ قرمز در آب می‌تواند به دلیل اکسیدهای آهن ناشی از زنگ‌زدگی لوله‌های انتقال آب باشد. در آب‌های سطحی، رنگ می‌تواند بر اثر ورود آلاینده‌های مختلف، رشد جلبک‌ها و سایر ناخالصی‌ها ایجاد شود (۵).

عوامل ایجاد کننده کدورت در آب

کدورت آب معمولاً ناشی از وجود ذرات معلق مانند خاک رس، لای، ماسه، جلبک‌ها و میکروارگانیسم‌ها است. ذرات معلق مانع از نفوذ نور خورشید به آب می‌شوند که این امر می‌تواند رشد و بقای گونه‌های آبی را تحت تأثیر قرار دهد. در بیشتر آب‌های زیرزمینی، میزان رسوبات معلق کمتر از ۵ میلی گرم در لیتر است، اما آب‌های سطحی به دلیل آلودگی‌های مختلف معمولاً کدورت بیشتری دارند (۶).

عوامل بالا برنده دمای آب

در آب‌های زیرزمینی، دمای آب در عمق ۱۰ تا ۲۰ متری تقریباً ثابت باقی می‌ماند. در برخی موارد نادر، افزایش دمای آب‌های زیرزمینی به دلیل حرارت ناشی از فعالیت‌های ماگمایی رخ می‌دهد که در چنین مناطقی می‌توان از چشمه‌های آب گرم به عنوان منابع انرژی زمین‌گرمایی استفاده کرد. در مقابل، در آب‌های سطحی، فعالیت‌های انسانی نظیر تخلیه آب‌های گرم از نیروگاه‌های برق و صنایع مختلف موجب افزایش دمای آب می‌شود. تخلیه این آب‌ها به رودخانه‌ها و دریاچه‌ها می‌تواند دمای آب را تا ۷ درجه سانتی‌گراد افزایش دهد که این امر باعث کاهش میزان اکسیژن محلول و تأثیر منفی بر اکوسیستم‌های آبی می‌شود (۷).

عوامل ایجادکننده بو و طعم غیرطبیعی در آب

ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی آب تأثیر مستقیمی بر بو و طعم آن دارند. برای مثال ترکیبات غیرفرار مانند سدیم کلرید موجب ایجاد مزه شوری در آب می‌شوند، اما تأثیری بر بوی آن ندارند. بوی نامطبوع در آب معمولاً ناشی از حضور باکتری‌ها، گازهای محلول مانند سولفید هیدروژن یا ترکیبات آلی است. در آب‌های زیرزمینی، برهم‌کنش مواد معدنی با آب در مسیر جریان زیرزمینی عامل اصلی ایجاد بو و طعم است. در شرایط کمبود اکسیژن محلول، فعالیت باکتری‌های بی‌هوازی موجب تولید سولفید هیدروژن شده و بویی شبیه به تخم مرغ فاسد ایجاد می‌کند (۸).

آلودگی بیولوژیکی

آلودگی‌های بیولوژیکی ناشی از وجود میکروارگانیسم‌های بیماری‌زا مانند باکتری‌ها، ویروس‌ها و انگل‌ها در آب است. یکی از مهم‌ترین منابع آلودگی بیولوژیکی، تخلیه فاضلاب‌های خانگی و انسانی به منابع آبی می‌باشد. این فاضلاب‌ها ممکن است حاوی عوامل بیماری‌زایی مانند باکتری‌های ایجادکننده تیفوئید و وبا باشند. شاخص‌های اصلی آلودگی بیولوژیکی شامل باکتری اشرشیاکلی و کلی‌فرم‌ها هستند که وجود آن‌ها نشان‌دهنده احتمال حضور سایر عوامل بیماری‌زا نیز می‌باشد. سازمان جهانی بهداشت (WHO) پایش روزانه آب آشامیدنی را برای جلوگیری از آلودگی‌های بیولوژیکی به عنوان یکی از مهم‌ترین وظایف بهداشتی هر کشور توصیه کرده است (۹).

آلودگی شیمیایی

آلودگی‌های شیمیایی به دلیل حضور ترکیباتی مانند نیتрат، فلوراید، فلزات سنگین، سولفات و کلراید در آب ایجاد می‌شوند و می‌توانند اثرات زیانباری بر سلامت مصرف‌کنندگان داشته باشند. منابع اصلی این آلاینده‌ها شامل تخلیه فاضلاب‌های صنعتی، نشت مواد نفتی، حمل و نقل، فعالیت‌های کشاورزی و واکنش‌های طبیعی زمین‌شناسی است (۱۰).

نیتрат و نیتريت

نیترات‌ها از مهم‌ترین آلاینده‌های کشاورزی هستند که تهدیدی جدی برای کیفیت آب‌های زیرزمینی محسوب می‌شوند. احیای نیترات‌ها می‌تواند به کاهش سطح آن‌ها در آب کمک کند، اما این فرآیند وابسته به شرایط محیطی است و معمولاً به‌طور کامل نیترات را از آب حذف نمی‌کند. نیترات‌ها به دلیل واکنش با هموگلوبین خون، توانایی انتقال اکسیژن را کاهش داده و موجب بروز بیماری متهموگلوبینمیا (سندرم نوزاد کبود) می‌شوند که در نوزادان می‌تواند منجر به خفگی شود (۱۱).

مواد آلی

مواد آلی موجود در آب عمدتاً ناشی از فاضلاب‌های شهری، کشاورزی و صنعتی هستند. ترکیبات آلی مانند فسفر و نیتروژن که از کودهای شیمیایی ناشی می‌شوند، می‌توانند باعث افزایش غلظت مواد مغذی در آب و در نتیجه رشد بی‌رویه جلبک‌ها شوند. همچنین، ترکیبات نفتی مانند گریس و روغن که از صنایع نفتی و پالایشگاه‌ها به آب وارد می‌شوند، منجر به آلودگی شدید آب می‌گردند (۱۲).

مواد رادیواکتیو

در سال‌های اخیر، استفاده از مواد رادیواکتیو در صنایع مختلف و پزشکی افزایش یافته است که دفع نادرست پسماندهای رادیواکتیو موجب آلودگی منابع آب می‌شود. این آلودگی‌ها اثرات زیانباری بر اکوسیستم‌ها داشته و برای سال‌های طولانی در محیط باقی می‌مانند. گرچه مقادیر طبیعی رادیواکتیو در آب معمولاً بسیار اندک است، اما باید مورد پایش قرار گیرد. در استانداردهای بین‌المللی، حد مجاز تشعشعات رادیواکتیو در آب بر اساس فعالیت اشعه بتا یا آلفا تعیین شده است (۱۳).

فلزات سنگین

یکی از نگرانی‌های مهم در زمینه آلودگی آب، وجود فلزات سنگین مانند سرب، جیوه، کادمیوم و آرسنیک است. این عناصر به دلیل پایداری بالا و توانایی تجمع در بافت‌های زیستی، اثرات مخربی بر سلامت انسان دارند. مطالعات اخیر نشان داده‌اند که قرار گرفتن طولانی‌مدت در معرض فلزات سنگین حتی در غلظت‌های کم می‌تواند منجر به بیماری‌های مزمن مانند سرطان و اختلالات عصبی شود (۱۴).

منابع

۱. Naji A, Ismail A, Ismail AR. Chemical speciation and contamination assessment of Zn and Cd by sequential extraction in surface sediment of Klang River, Malaysia. *Microchemical Journal*. ۲۰۱۰; ۹۵(۲): ۲۸۵-۹۲.
۲. Mohammadi A, Mahvi A, Amouei A, fallah S, Asgharnia H, Khafajeh A. Physical and chemical quality assessment of potable groundwater in Rural Areas of Khaf. *Tolooebehdasht*. ۲۰۱۴; ۱۲(۴): ۱۳۴-۴۳.
۳. Kaushik A, Kansal A, Kumari S, Kaushik C. Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: assessment by metal enrichment factor of the sediments. *Journal of hazardous materials*. ۲۰۰۹; ۱۶۴(۱): ۲۶۵-۷۰.
۴. G. Tyler Miller SS. *Environmental Science*. ۲, editor. Belmont, CA, Wadsworth, USA: Yolanda Cossio; ۱۹۹۸.
۵. Nakhai M. *An introduction to hydrogeology*. Tehran: Kahkeshan Danesh, Omid Englab, Arad ketab; ۲۰۱۳.
۶. Ghazban F. *Environmental geology*: Tehran University Printing and Publishing Institute; ۲۰۱۰.
۷. Shahraki KF. *Principles of treatment and improvement of water resources*: Payame Noor University; ۲۰۰۶.
۸. Foroogh Golkar Arf. *Environmental pollutions*. Tehran: Mandegar; ۲۰۱۰.
۹. Fitts CR. *Groundwater science*. Mazandaran: Academic jahad of Mazandaran branch; ۲۰۲۰.
۱۰. Mpenyana-Monyatsi L, Onyango MS, Momba MNB. Groundwater quality in a South African rural community: A possible threat to public health. *Pol J Environ Stud*. ۲۰۱۲; ۲۱(۵): ۱۳۴۹-۵۸.
۱۱. Navarro M, Pérez-Sirvent C, Martínez-Sánchez M, Vidal J, Tovar P, Bech J. Abandoned mine sites as a source of contamination by heavy metals: a case study in a semi-arid zone. *Journal of Geochemical exploration*. ۲۰۰۸; ۹۶(۲-۳): ۱۸۳-۹۳.
۱۲. Quevauviller P, Fouillac AM, Grath J, Ward R. *Groundwater monitoring*: Wiley Chichester; ۲۰۰۹.
۱۳. Lerner DN. *Urban groundwater pollution*. AA Balkema; ۲۰۰۴.
۱۴. Torabian A, Shahvi S. Investigating the drinking water quality standards of Iran and providing a solution for their improvement. *Iran Water and Wastewater Science and Engineering Congress*. ۲۰۱۶.