



دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال چهاردهم، شماره‌ی ۵۳
بهار ۱۴۰۲، صفحات ۵۶-۵۱

تأثیر آلودگی حرارتی بر زندگی: منابع، اثرات مخرب آن و اقدامات پیشگیرانه

مجتبی جمعیتی

گروه فیزیک، واحد نراق، دانشگاه آزاد اسلامی، نراق، ایران

Email: drmjamiati@gmail.com

پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۹

بازنگری: ۱۴۰۲/۰۴/۲۰

ارسال: ۱۴۰۲/۰۲/۰۸

چکیده

آلودگی حرارتی تغییر سریع دما در یک پهنه طبیعی آب است. این آلودگی اغلب به دلیل تخلیه آب گرم شده از یک تاسیسات صنعتی یا فعالیت های انسانی دیگر به داخل آب ایجاد می شود. آلودگی حرارتی از گسترده ترین و مهم ترین آلودگی ها است و به عوامل مختلفی چون فرسایش خاک، جنگل زدایی، جاری شدن روان آب و عوامل طبیعی بستگی دارد. از جمله عوارض گرم شدن آب ها و آلودگی حرارتی می توان به کاهش میزان اکسیژن محلول در آب، اختلال در سیستم های طبیعی و استرس آبزیان، آسیب به لارو و تخم های ماهی در رودخانه ها، افزایش بیماری در آبزیان یا حتی مرگ ارگانسیم های آسیب دیده که تحمل محدودی نسبت به آن دارند، سفید شدن مرجان ها، مهاجرت موجودات زنده از محیط خود و سایر تغییرات زیست محیطی اشاره نمود. عوامل اصلی آلودگی گرمایی حرارتی نیروگاه های حرارتی یا هسته ای، پساب های صنعتی مانند پالایشگاه های نفت، کارخانه های خمیر و کاغذ، کارخانه های شیمیایی، کارخانه های فولاد و ذوب، پساب فاضلاب و فعالیت های بیوشیمیایی هستند. آلودگی حرارتی یک پدیده جهانی است که از آنجایی که پیامدهای بلندمدت شدیدی را به دنبال دارد، به دغدغه اصلی مردم در سراسر جهان تبدیل شده است. با این حال، آلودگی حرارتی یک مشکل واقعی و پایدار در جامعه صنعتی مدرن است.

کلیدواژه: آلودگی حرارتی، محیط زیست، پساب صنعتی، آب.

مقدمه

یک یا چند گونه را تغییر دهد به طوری که دما از محدوده بهینه یا بقا خارج شود.

گرمای اضافه شده همچنین ممکن است به طور غیر مستقیم با تغییر سایر شرایطی که به ارگانیسم‌ها از جمله انسان آسیب می‌رساند به ویژه تغییرات در اکسیژن محلول در آب‌های سطحی محیط را تحت تأثیر قرار دهد، چنین ورودی می‌تواند در هر مقیاس محیطی رخ دهد. به عنوان مثال، در سطح سلولی، یک تغییر در مقیاس کوچک به بخشی از یک سیستم آبی با متابولیسم میکروبی تداخل می‌کند. در مقیاس سیاره‌ای، تغییرات در مقیاس بزرگ در تعادل گرمای جهانی باعث افزایش دمای فصلی محیط می‌شود که می‌تواند باعث ایجاد یا بدتر شدن سلامت انسان و مشکلات اکولوژیکی شود. به عنوان مثال، دمای بالاتر محیط با افزایش بروز استرس گرمایی همراه است و همین افزایش دما همراه با سایر تغییرات آب و هوایی غیرمستقیم می‌تواند بر اکوسیستم‌ها و جمعیت‌های انسانی تأثیر منفی بگذارد. مطالعات اخیر پیش‌بینی می‌کند که اگر تغییرات آب و هوایی منجر به افزایش بیشتر دما در مقیاس محلی شود، به عنوان مثال، اثر جزیره گرمایی در بسیاری از شهرها، احتمالاً منجر به بروز بیشتر بیماری‌های قلبی عروقی و تنفسی و مرگ‌های مرتبط می‌شود [۱=۲]. مطالعات همچنین نشان داده است که اثرات به طور مساوی توزیع نمی‌شود. در واقع، پیش‌بینی می‌شود که برخی از مکان‌ها نیز با سرمای شدید محلی مواجه شوند که می‌تواند بر سلامت انسان و شرایط اکولوژیکی نیز تأثیر بگذارد. این تغییرات همچنین احتمالاً به جمعیت فقیرتر آسیب می‌رساند [۳].

همانطور که گفته شد، تغییرات در بودجه گرما می‌تواند به طور غیرمستقیم بر محیط زیست تأثیر منفی بگذارد. برای مثال، افزودن گرما به یک اکوسیستم به طور بالقوه بر گونه‌های حساس، از میکروب‌ها گرفته تا گیاهان و حیوانات، با افزایش سطح دریا، افزایش شدت رویدادهای شدید آب‌وهوایی، و تغییر الگوهای ریز هواشناسی، و همچنین با از دست دادن زیستگاه و تغییر چرخه‌های طبیعی، تأثیر می‌گذارد. به عنوان مثال، تغییرات چرخه مواد مغذی که نرخ

آیا گرما برای محیط زیست مضر است یا خوب؟ تنها پاسخ صحیح جهانی در مهندسی این است که "این بستگی دارد". از منظر مدیریت زباله، گرما هم دوست و هم دشمن است. هنگامی که زباله‌سوزها و سایر فناوری‌های حرارتی به درستی طراحی و کار می‌کنند، حجم زباله‌های شهری و صنعتی را کاهش می‌دهند و خواص فیزیکی و شیمیایی آن‌ها را تغییر می‌دهند تا این زباله‌ها سمیت کم‌تری داشته باشند و به راحتی قابل مدیریت باشند.

هدف از این تحقیق پرداختن به مشکلات ناشی از گرمای اضافی، یعنی آلودگی مستقیم حرارتی است. برای مدیر زباله، چالش گرمای افزایشی است. با وجود یک فاجعه بزرگ، مانند انفجار در یک زباله سوز، به احتمال زیاد رویکرد مدیریت زباله به گرما در یک سیستم کمک می‌کند. انرژی حرارتی اضافه شده می‌تواند منجر به تغییرات نامطلوب در شرایط اکوسیستم شود و یکپارچگی سیستم را کاهش دهد. گرما نیز یک آلاینده غیر مستقیم است. اگر به درستی عمل نشود، هر گونه استفاده از گرما، از جمله فناوری‌های مشابهی که برای تصفیه زباله‌ها استفاده می‌شود، می‌تواند ترکیبات شیمیایی بسیار سمی ایجاد کند. بیشتر فرآیندهای صنعتی از واکنش‌های شیمیایی در دماهای بالا استفاده زیادی می‌کنند که نه تنها گرمای اضافی را به محیط آزاد می‌کنند، بلکه اغلب آلاینده‌های شیمیایی تولید می‌کنند.

فعالیت‌های انسانی، یعنی فعالیت‌های ناشی از انسان، می‌توانند تعادل گرما را در محیط تغییر دهند. مانند سایر عوامل ضروری مورد نیاز برای حفظ زندگی، گرما نیز اگر شرایط چنین ایجاد کند، یک آلاینده است. همانطور که اکسیژن یا آب زیاد یا خیلی کم به یک ارگانیسم یا اکوسیستم استرس وارد می‌کند، یک محدوده دمایی بهینه نیز وجود دارد. این محدوده در بین گونه‌ها متفاوت است. بنابراین انتشار گرما در یک سیستم محیطی می‌تواند زیستگاه

از آب برای خنک کردن ماشین آلات استفاده می‌شود که بسیار داغ می‌شود. آب گرما را جذب می‌کند و آنچه تبخیر نمی‌شود معمولاً به منبع خود تخلیه می‌شود.

علاوه بر نیروگاه‌ها، سایر تأسیسات صنعتی -مانند پالایشگاه‌های نفت، کارخانه‌های خمیر و کاغذ، کارخانه‌های شیمیایی و کارخانه‌های فولاد - در ایجاد آلودگی حرارتی نقش دارند. آنها همچنین از آب برای خنک کردن ماشین آلات و تخلیه آب در دمای بالا استفاده می‌کنند.

این فرآیند مکیدن آب از دریاچه، اقیانوس یا رودخانه برای مقاصد صنعتی و سپس رهاسازی آب گرم شده به منبع خود، خنک‌سازی یکباره نامیده می‌شود. مدت‌هاست که شناخته شده است که بر محیط‌های آبی و دریایی تأثیر منفی می‌گذارد. به دلیل خنک شدن یکباره، ماهی‌ها و لاروهایی که در مقابل صفحات ورودی به دام می‌افتند کشته می‌شوند و زیستگاه‌ها به دلیل تخلیه آب گرمتر و اغلب آلوده، تغییر می‌کنند.

- گیاهان نمک زدا

کارخانه‌های نمک زدایی نیز از خنک‌سازی یکباره استفاده می‌کنند. بیش از نیمی از آب دریا که در نمک‌زدایی استفاده می‌شود، اغلب در دمای بالا به عنوان فاضلاب به اقیانوس ریخته می‌شود.

در برخی از نقاط جهان، کارخانه‌های نمک‌زدایی به صورت خوشه‌ای در کنار هم قرار می‌گیرند و مقادیر انبوهی از فاضلاب گرم و شور را به مناطق کم عمق ساحلی می‌ریزند. این می‌تواند دمای آب دریا و شوری را به طور قابل توجهی افزایش دهد [۵-۷].

- فاضلاب، فرسایش و جنگل زدایی

همه فاضلاب‌ها قبل از رها شدن در بهنه‌های آبی تصفیه نمی‌شوند. فاضلاب تصفیه نشده، طوفان شهری و روان آب کشاورزی می‌توانند آلودگی حرارتی را در منابع آبی مجاور

و اندازه شکوفه‌های جلبکی و شیوع بیماری را تغییر می‌دهد [۴]. این تغییرات ابتدا حساس‌ترین گونه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد، اما با توجه به روابط غذا و طعمه، تأثیرات آن ترکیب می‌شود. از دست دادن یا کاهش گونه‌های غذایی به سطح تغذیه‌ای بعدی آسیب می‌رساند، اگر جایگزینی در دسترس نباشد، و حتی جایگزینی در دسترس باشد، این می‌تواند گونه‌های دیگری را که به این منبع غذایی اصلی یا انحصاری وابسته هستند، تغییر دهد. بنابراین حتی تغییرات کوچک در گرما می‌تواند تغییرات اساسی در سازمان بیولوژیکی و حالت تغذیه‌ای ایجاد کند [۵].

آلاینده‌های حرارتی می‌توانند در هر فاز و محیط زیست محیطی را تحت تأثیر قرار دهند. اگر گرما به طور مستقیم یا غیرمستقیم به موجودات زنده ساکن در بخش‌های سطحی آسیب برساند، ممکن است یک آلاینده آب باشد. آلودگی حرارتی تغییر سریع دما در یک بدنه طبیعی آب است. این آلودگی اغلب به دلیل تخلیه گرم شده از یک تأسیسات صنعتی یا فعالیت‌های انسانی دیگر ایجاد می‌شود. آلودگی حرارتی می‌تواند منجر به اختلال در سیستم‌های طبیعی و استرس، بیماری یا حتی مرگ ارگانیزم‌های آسیب دیده شود. پدیده‌های طبیعی مانند آتش‌سوزی‌های جنگلی، آتشفشان‌ها و دریاچه‌های حرارتی زیر آب می‌توانند باعث آلودگی حرارتی شوند. با این حال، اغلب نتیجه یک فرآیند یا تأسیسات صنعتی است که از مقادیر زیادی آب از منبع طبیعی استفاده می‌کند و فاضلاب گرم شده را آزاد می‌کند.

علل آلودگی حرارتی

- نیروگاه‌ها و تأسیسات صنعتی

نیروگاه‌های ترموالکتریک با سوخت زغال سنگ، گاز طبیعی، هسته‌ای یا زیست توده و سایر محصولات زائد، علل مهم آلودگی حرارتی را تشکیل می‌دهند. نیروگاه‌ها معمولاً در کنار رودخانه، دریاچه یا اقیانوس ساخته می‌شوند که منبع ثابتی از آب را فراهم می‌کنند. این به بخار تبدیل می‌شود که توربین‌ها را برای تولید برق به حرکت در می‌آورد. همچنین

ایجاد کنند، زیرا روان آب اغلب گرمتر از نهرها، دریاچه‌ها یا اقیانوسی است که در آنها جاری می‌شود.

تغییرات کاربری زمین انسان باعث آلودگی حرارتی نیز می‌شود. جنگل زدایی برای برداشت چوب یا پاکسازی زمین برای محصولات کشاورزی و چرای دام، فرسایش را در کنار رودخانه‌ها و نهرها تحریک می‌کند، که منجر به بسترهای گسترده‌تر و کم عمق‌تر رودخانه‌ها می‌شود که بیشتر مستعد گرم شدن هستند. علاوه بر این، پاکسازی درختان و پوشش گیاهی از سواحل دریاچه‌ها و سواحل رودخانه‌ها باعث قرار گرفتن بیشتر در معرض نور خورشید می‌شود و گرم شدن آب را تحریک می‌کند [۷-۵].

اثرات آلودگی حرارتی

هنگامی که گرما به سرعت به یک منبع آب منتقل می‌شود، اثرات زیست محیطی مستقیم و غیر مستقیم ایجاد می‌کند. به طور کلی تمام موجودات زنده موجود در یک محیط خود را با شرایط موجود در آن محیط وفق داده اند. موجودات آبرزی نیز از این قاعده مستثنی نیستند. موجودات آبرزی می‌توانند حتی به تغییرات جزئی دمای آب بسیار حساس باشند با افزایش دمای آب یک ناحیه (بیش از حد تحمل جانداران موجود)، آن گونه از جانداران که قادر به حرکت نیستند، مانند گیاهان دریایی و... خواهند مرد. ماهی‌ها و دیگر جاندارانی که قادر به تحرک سریع هستند، به امید یافتن منطقه ای خنک‌تر، آن ناحیه را ترک می‌کنند. برخی قادر به مقابله نیستند، از استرس، بیماری و حتی مرگ رنج می‌برند. هنگامی که جمعیت ماهی و سایر موجودات کاهش می‌یابد، در نهایت موجودات دیگری که اغلب برای آن محیط ناخوشایند هستند وارد شده و در نتیجه بر هم خوردن چرخه زندگی و اکوسیستم آن ناحیه را شاهد هستیم..

آلودگی حرارتی نیز سطح اکسیژن را تغییر می‌دهد. ایجاد آب گرم‌تر باعث کاهش سطح اکسیژن می‌شود و بر زندگی آبریان تأثیر می‌گذارد. آب گرم‌تر باعث رشد جلبک‌ها می‌شود که نور خورشید را جذب کرده و باعث گرم شدن بیش‌تر می‌شود.

در مورد روان آب کشاورزی و فاضلاب تصفیه نشده، دمای گرم‌تر می‌تواند آسیب‌پذیری موجودات آبرزی را در برابر مواد شیمیایی موجود در این فاضلاب‌ها، مانند آمونیاک، فلزات سنگین، و آفت‌کش‌ها افزایش دهد. آلودگی حرارتی و بارگیری مواد مغذی با هم می‌توانند باعث ایجاد هیپوکسیک^۱ «مناطق مرده» با سطح اکسیژن بسیار پایین شوند.

مرگ گیاهان آبرزی موجود به همراه فرایند تجزیه شدن آنها به میزان زیادی در آب آلودگی ایجاد می‌کنند به شکلی که ماهی‌هایی که می‌توانستند در دمای بالا نیز زنده بمانند از بین می‌روند. متأسفانه سال‌هاست که در بسیاری از نقاط دنیا شاهد تصاویری مشابه آن چه مشاهده می‌شود، هستیم.

تغییر در دمای آب حتی به میزان یک تا دو درجه سانتی‌گراد نیز می‌تواند منجر به تغییرات زیادی در فعالیت متابولیکی سلولی گردد. تغییرات عمده سلولی عبارت است از:

- کاهش نفوذپذیری مورد نیاز برای فرایند اسمز در غشای سلول ۲ = ایجاد تجمعات پروتئین‌های سلول و تغییر در متابولیسم آنزیمی این تغییرات بر مرگ و میر و تولیدمثل موجودات دریایی تأثیر می‌گذارد. از آنجایی که آنزیم‌ها دارای ساختار پروتئینی هستند افزایش بیش از حد دمای آب منجر به تغییر در ساختار چهارم پروتئین‌ها می‌گردد. در دماهای بالا پیوند بین هیدروژن و گروه‌های گوگرد دار شکسته شده و ساختار آنزیم‌های تأثیرگذار در حفظ حیات سلولی تغییر کرده و کارایی خود را از دست می‌دهند. تغییر در آنزیم‌ها مشکلاتی از قبیل عدم توانایی سلول در شکستن مواد مغذی ایجاد می‌کند. بنابراین حتی با وجود منابع غذایی، موجودات آبرزی دچار سوء تغذیه می‌گردند.

آلودگی حرارتی موجب تغییر در زنجیره غذایی نیز می‌شود. در بررسی‌های اخیر جهش‌های ژنتیکی و افزایش سایز نیز در مناطق دارای آلودگی حرارتی مشاهده شده است.

یکی دیگر از تأثیرات آلودگی حرارتی پدیده مرگ و میر مرجان‌ها است. بر اساس تحقیقات انجام شده مشخص شد

^۱ hypoxic

^۲ dead zones

شرایط جوی محلی یک مشکل بزرگ است زیرا مقادیر زیادی بخار آب در جو می‌آید.

مهم‌تر از هر چیز، مهم‌ترین چیزی که باید در نظر گرفت این است که اثرات آلودگی حرارتی بسیار بیشتر از نیاز انسان به انجام آن است. کارخانه‌ها و صنایع توانسته‌اند راه‌های موفقیت‌آمیزی برای مقابله با آلودگی حرارتی پیدا کنند، اما بسیاری از آنها این کار را انجام نمی‌دهند، زیرا کار کردن با مدل سنتی ساده‌تر است. اگر می‌خواهیم محیط پیرامون را که زیست‌شناسی دریایی را احاطه کرده است، ترویج کنیم، نگرش نسبت به آلودگی حرارتی باید تغییری جدی پیدا کند [۶-۷].

نتیجه‌گیری

آلودگی حرارتی یک نگرانی رو به رشد است، به ویژه با تغییرات آب و هوایی که افزایش دمای آب را از نیروگاه‌ها، صنعت، کشاورزی و سایر منابع انسانی تشدید می‌کند. تا سال ۲۰۱۳، حدود یک سوم کل تولید برق در ایالات متحده از نیروگاه‌هایی تامین می‌شد که از خنک‌کننده یکباره استفاده می‌کردند. این نمونه‌ای از تاسیسات تولید انرژی قدیمی است. مطالعه‌ای در سال ۲۰۱۶ نشان داد که نیمی از انتشار گرمای آب شیرین جهانی از نیروگاه‌های هسته‌ای و زغال سنگ در دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ حاصل می‌شود. مصرف آب و دبی حرارتی باعث کاهش سود و افزایش مسئولیت می‌شود.

فن‌آوری‌های موجود و نوظهور ابزارهای دیگری را برای کاهش آلودگی حرارتی از نیروگاه‌ها و سایر منابع صنعتی فراهم می‌کند. اینها شامل کاهش میزان آب آزاد شده توسط چنین تاسیساتی و جذب فاضلاب گرم شده برای اهداف دیگر، مانند نمک زدایی، برای کاهش تخلیه است. از این رو می‌توان گفت هر نوع آلودگی ممکن است به طور مستقیم یا غیرمستقیم انسان را تحت تأثیر قرار دهد زیرا از بین رفتن تنوع زیستی باعث ایجاد تغییراتی می‌شود که بر تمام جنبه‌های محیط زیست تأثیر می‌گذارد. سیاره ما زمین از هر نظر منحصر به فرد است. به عنوان تنها سیاره در منظومه

در منطقه خارک که میانگین دمای آن دو تا سه درجه کمتر از دیگر مناطق خلیج فارس است پدیده سفید شدن مرجان‌ها رخ نداده است [۶].

اثر دیگری که آلودگی حرارتی بر روی جانوران آبی دارد افزایش سرعت متابولیسم در آنهاست. یعنی جانوران غذای بیشتری نسبت به حالت نرمال مصرف می‌کنند. این عمل باعث کمبود مواد غذایی و تغییر رفتارهای عادی گونه‌ها می‌شود. کمبود مواد غذایی باعث مهاجرت گونه‌ها به منطقه دیگر شده، به هم خوردن تعادل اکوسیستم را در پی خواهد داشت.

مه‌ار آلودگی حرارتی

اقدامات تطبیقی باید برای کاهش اثرات آلودگی حرارتی انجام شود. آلودگی حرارتی را می‌توان با استفاده از چند تکنیک علمی کارآمد مانند ساخت دریاچه‌های مصنوعی، حوضچه‌های خنک‌کننده و برج‌های خنک‌کننده کنترل کرد:

- دریاچه‌های مصنوعی: منابع آب ساخته‌شده توسط انسان هستند که جایگزین بالقوه‌ای برای خنک کردن نیروگاه‌ها هستند. تخلیه پساب‌های گرم شده در یک انتهای دریاچه و خروج آب خنک از انتهای دیگر دریاچه برای اهداف خنک‌کننده آب مفید است. گرمای دریاچه مصنوعی در نهایت از طریق تبخیر دفع می‌شود.

- حوضچه‌های خنک‌کننده: این روش ساده‌ترین و کم‌هزینه‌ترین روش برای تنظیم دبی‌های حرارتی است. حداکثر اتلاف گرما از طریق حوضچه‌های خنک‌کننده به جو می‌تواند سطح و حجم آب را به حداقل برساند. با این حال، این تکنیک از نظر تماس هوا و آب چندان کارآمد نیست.

- برج‌های خنک‌کننده: در این تکنیک از کندانسور برای خنک کردن پساب‌های گرم شده در زمان بازگشت به آب استفاده می‌شود. این کارآمدترین تکنیک است و برج‌ها به خوبی برای کنترل دمای آب طراحی شده‌اند. با این حال، تغییر مکرر در

شمسی برای حفظ حیات، به نظر می‌رسد که نجات آن از نابودی دغدغه ماست. از این رو، باید اقدامات مناسبی برای جلوگیری از آلودگی و در نتیجه نجات سیاره زمین انجام شود.

منابع

- [1] Naggaga, W., Ashlynn, L., Stillwell, S., 2018, Maintaining electric grid reliability under hydrologic drought and heat wave conditions. *Applied Energy*, 15, 538-549.
- [2] Miara, A., Vorosmarty, C. J., Macknick, J. E., Tidwell, V. C., Fekete, B., Corsi, F., Newmark, R., 2018, Thermal pollution impacts on rivers and power supply in the Mississippi River watershed. *Environmental Research Letters*, 13(3), 034033.
- [3] Logan, L. H., Gupta, R. S., Ando, A., Suski, C., Stillwell, A. S., 2021, Quantifying tradeoffs between electricity generation and fish populations via population habitat duration curves. *Ecological Modelling*, 440, 538-549.
- [4] Hannibal, B., Portney, P., 2020, The impact of water scarcity on support for hydraulic fracturing regulation: A water-energy nexus study. *Energy Policy*, 146, 111718.
- [5] Xiao-jing, L., Jun-qì, L., Hai-jun, Q., 2013, Advance in thermal pollution of urban rainfall runoff and its mitigation measures. *J. Adv. Sci. Technol. Water Resour.*, 33, 89-94.
- [6] Weitong, X., Jianlong, W., Yanjie, W., 2020, Immigration of thermal pollution from stormwater runoff via rain garden. *J. Water Resour. ydropower Eng.*, 51, 162-167.
- [7] Junqi, L., Mengqi, S., Xiaojing, L., 2022, Experimental Study on Thermal Pollution Control of Stormwater Runoff by Bioretention. *J. Water Resour. Prot.*, 38, 6-12.