حفاظت محیط‌زیست

زمین؛ سیـــــــــاره‌ای متغیـــــــــر

اثرات تغییر آب‌وهوا روی میراث‌های جهانی تنوع زیستی دریایی

دکتر فرامرز خوش اخلاق، عضو هیئت علمی دانشگاه تهران
نیما فرید مجتهدی، کارشناس ارشد آب و هواشناسی

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

مقدمه

آب‌وهوای سـیارهٔ ما متغیر است. گرچه آب‌وهوا همیشه تغییرپذیر بوده است، اما امروزه نگرانی فزاینده‌ای در مورد پیامدهای تغییر آب‌وهوا وجود دارد؛ شاید به این دلیل که اندازهٔ تغییرات به نظر بی‌سابقه می‌آید. به‌علاوه، شواهد محکمی وجود دارد که نشان می‌دهد، بشر ممکن است به‌طور مسـتقیم در تغییر آب‌وهوا مسئول باشـد. هر تغییر در آب‌وهوا به ناپایداری محیط زیسـت و وضعیت‌های اجتماعی همهٔ نواحی جهان منجر می‌شود. این اختلال می‌تواند حفاظت از زیست بوم‌های طبیعی و توانایی حفاظت از سیستم‌های اجتماعی- اقتصادی را به خطر بیندازد. تغییـر آب‌وهوا هم‌چنین اثرات مضر دیگری نیز دارد و در واقع پیش از ایـن هم، حفاظت از میراث جهانی طبیعی و فرهنگی را تحت‌تأثیر قرار داده است.

میراث بشـری منبع غیرقابل جای‌گزینی از حیات و یادگاری برای نوع بشر از گذشته است.

سیارهٔ ما به‌وسیلهٔ سازوکاری گرم نگه داشته می‌شود که اثر گازهای گل‌خانه‌ای نام دارد. این اثر شامل به‌دام انداختن انرژی است که به‌وسیلهٔ زمین به سوی جو تابانده می‌شود؛ به‌جای این‌که در فضای بیرونیِ سیاره رها شـود.گازهای گل‌خانه‌ای در این سـازوکار تنظیمی، معمولاً در جو با غلظت پایین یافت می‌شـوند. مولکول‌های دی‌اکسـیدکربن(CO_2) را هرگـز نمی‌توان بـا غلظت بالاتر از چند صد قسـمت در هر میلیون (ppm) در واحـد حجم هوا یافت. با وجود این، آن‌ها نقشـی حیاتی در موازنهٔ آب‌وهوای سـیارهٔ زمین بازی می‌کننـد. قبل از انقلاب صنعتی، برای چندین هزار سال غلظت CO_2 عبارت بود از: ۱۰±۲۸۰ قسمت در هر میلیون. اما غلظت CO_2 در اقلیم حاضر در حدود ۳۶۰ قسـمت در

هر میلیون اســت که در طول ۴۲۰ هزار سال گذشته به چنین سطحی نرســیده بود. تغییر غلظت CO_2 در جو بدون شک بر سیستم اقلیم اثر خواهد داشت. به‌علاوه فرایندهای مورد بحث، گوناگون، پیچیده و دارای بازخورد متقابل هستند.

در حال حاضر، مطالعات وسیع جهانی برای درک بهتر اثرات تغییر آب‌وهوا روی ســیارهٔ زمین در دست انجام هستند. «هیئت بین المللی تغییرات آب‌وهوا» (IPCC)، تحت نظارت «سازمان هواشناسی جهانی» (WMO) و «برنامهٔ محیط‌زیست سازمان ملل متحد» (UNEP)، برای ارزیابی، جمع‌آوری و ترکیب اطلاعات علمی، فنی، اجتماعی و اقتصادی در مــورد تغییرات آب‌وهوا و اثرات بالقــوه‌اش، و طرح کلی عقاید برای ســازگاری و کاهش این اثرات، تأسیس شــده است. گزارش‌های برآورد دوره‌ای IPCC، معتبرتریــن اطلاعــات ما درخصــوص چگونگی تغییر آب‌وهوا محسوب می‌شود.

مطابق با گزارش IPCC، در طول قرن بیســتم میانگین دمای جو به ۰/۶ ± ۰/۲ درجهٔ سلســیوس افزایش یافته اســت. IPCC هم‌چنین ســناریوهای ممکن را به‌منظور پیش‌بینی روندهای اقلیمی آینده، بسط داده است. براساس این سناریوها، طرح‌ریزی مدل‌های آب‌وهوایی برای حدود سال ۲۱۰۰ نشان‌دهندهٔ آن است که غلظت CO_2 در جو به ۵۴۰ تا ۹۷۰ قسمت در میلیون خواهد رسید. پیش‌بینی می‌شود که میانگین جهانی سطح دریا در حدود ۰/۰۹ متر تا ۰/۸۸ متر، بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ افزایش یابد. به‌علاوه انتظار می‌رود که میانگین جهانی تمرکز بخار آب و بارش در طول قرن بیست و یکم بیشتر شود و تغییرات بزرگی ســال به سال در بارش، به احتمال زیاد روی بیشتر نواحی که افزایشی در میانگین بارش دارند، روی دهد. هم‌چنین می‌توان رخدادهای جوی شــدید ماننــد موج‌های گرمایی، خشک‌ســالی، بارش‌های ســنگین، و چرخنده‌های حاره‌ای شدید را انتظار داشت.

چنین تغییراتی ممکن است حفاظت از دارایی‌هایی را که در فهرست میراث جهانی ثبت شــده‌اند، دشوار سازد. یونسکو از این دارایی‌ها تحت تفاهم‌نامــهٔ مربوط به حفاظت از میراث جهانــی فرهنگی و طبیعی که در ســال ۱۹۷۲ پذیرفته اســت، به‌منظور تشویق، شناسایی، حفاظت و جلوگیری از تخریب میراث فرهنگی و طبیعی ارزشــمند و برجستهٔ نوع بشــر، حفاظت می‌کند. آن‌چه مفهــوم کلی منحصر به فرد بودن میراث جهانی را شکل می‌دهد، کاربرد جهانی آن‌هاست. در عین احترام به حق حاکمیــت ملی و حقوق حاکمیت که به‌وســیلهٔ وضع قانون ملی تعیین شده اســت، و صرف‌نظر از کشوری که مکان‌های میراث جهانی در آن واقع شده‌اند، این مکان‌ها به همهٔ مردم دنیا تعلق دارند.

«انجمن میراث جهانی» که نمایندگان ۱۸۳ کشور عضو آن هستند، تاکنون ۸۳۰ مکان از ۱۳۸ کشــور را در «فهرست میراث جهانی» ثبت کــرده اســت. برای ثبت هر مکان در فهرســت، آن مــکان باید بیش از ۱۰ معیار مناســب داشته باشد که در راهنمای اجرای تفاهم‌نامهٔ میراث

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

جهانی، فهرست این معیارها آمده است. هم‌چنین، از میان سایت‌های ثبت شده در فهرست میراث جهانی، ۶۴۴ مورد دارای ارزش‌های برجستهٔ فرهنگی، ۱۶۲ مورد دارای ارزش‌های عالی طبیعی قابل توجه، و ۲۴ مورد نیز دارای آمیزه‌ای از ارزش های فرهنگی و طبیعی است.

«مرکز میراث جهانی سازمان یونسکو» (WHC)، پس از آن‌که کمیتهٔ میراث جهانی به این موضوع توجه کرد که تغییر آب‌وهوا تأثیرات بسیار بیشتری روی ویژگی‌های میراث جهانی- هم فرهنگی و هم طبیعی- در سال‌های پیش‌رو دارد، در سال ۲۰۰۵ ارزیابی اثرات تغییرات آب‌وهوا را بر میراث جهانی آغاز کرد. نشست کارشناسان که در مارس ۲۰۰۶ برگزار شد، بیش از ۵۰ نماینده از کشورهای عضو مجمع میراث جهانی، سازمان‌های بین‌المللی گوناگون، سازمان‌های غیر دولتی، گروه مشورتی کمیتهٔ میراث جهانی و کارشناسان علمی و دانشگاهی را برای بحث در مورد اثرات تغییرات آب‌وهوایی معاصر و آینده روی مکان‌های میراث جهانی گردهم آورد. نتیجهٔ این ابتکار تهیهٔ یک «گزارش پیش‌بینی و مدیریت اثرات تغییر آب‌وهوا روی میراث جهانی»، و نیز تدوین «یک راهکار برای همکاری کشورهای عضو در اجرای واکنش‌های مدیریتی مناسب» بود که به‌وسیلهٔ کمیتهٔ میراث جهانی در سی‌امین جلسه در جولای ۲۰۰۶، در «ویلنیوس» لیتوانی تصویب شد. نتیجهٔ این کار نشان داد که زمان توسعه و اجرای واکنش‌های مدیریتی مناسب برای حفاظت از میراث جهانی در مواجه با تغییرات آب‌وهوا فرار رسیده است.

اگرچه تغییر آب‌وهوا چالشی جهانی است، اما میزان‌های انطباق و جلوگیری کننده‌هایی وجود دارند که می‌توانند در مقیاس‌های محلی، از جمله در سطح سایت میراث جهانی، رخ دهند. چند سایت میراث جهانی در جهت پایش اثرات تغییر آب‌وهوا و طرح ریزی معیارهای مناسب سازگاری، عمل می‌کنند. شبکهٔ میراث جهانی ابزار مفیدی برای سهیم کردن و ترویج آموخته‌ها و بالا بردن آگاهی در مورد اثرات تغییرات آب‌وهوایی است. مقالهٔ حاضر چند مطالعهٔ موردی را از مکان‌های میراث جهانی طبیعی منتخب، به‌منظور روشن ساختن اثرات تغییرات آب‌وهوایی که پیش از این مشاهده شده و آن‌چه را که می‌توان در آینده انتظار داشت، ارائه می‌دهد. هم‌چنین برای هرکدام از سایت‌های شکل یافته، بعضی موازین انطباقی مورد بازبینی قرارگرفته

هر تغییری در آب‌وهوا، خواص فیزیکی، زیستی و بیوشیمیایی اقیانوس ها را در اقیانوس های زمانی و مکانی متفاوت متأثر می سازد

است. امیدواریم این نمونه‌ها نه تنها برای دست اندرکاران و کارشناسان میراث جهانی، بلکه برای همگان مفید واقع شوند.

تغییر آب‌وهوا و تنوع زیستی دریایی

هـر تغییری در آب‌وهوا، خواص فیزیکی، زیسـتی و بیوشـیمیایی اقیانوس ها را در اقیانوس های زمانی و مکانی متفاوت متأثر می سـازد. چنین تغییراتی برحفاظت از زیسـت‌بوم‌های دریایی و بنابراین بر نقش آن‌ها به‌عنوان تهیه‌کنندهٔ کالاو خدمات (مانند ماهی‌گیری که میلیاردها نفر برای امرار معاش به آن تکیه دارند) تأثیر تعیین‌کننده‌ای دارد. اما در عین حال، اقیانوس‌ها یک مؤلفهٔ جدایی‌ناپذیر و معمول از سامانهٔ آب‌وهوا هسـتند و روی آب‌وهوایشـان باز خورد دارند.IPCC تأکید می‌کند که گرمایش جهانی، اقیانوس‌ها را به واسطهٔ تغییرات در دمای آب سطحی، افزایش سطح آب،پوشش یخ آب، درجهٔ شوری، درجهٔ قلیایی، جریانات اقیانوسـی و نوسانات آب‌وهوایی بزرگ مقیاس، تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. نقـش اقیانوس‌هـا به‌عنـوان تعدیل‌کننـدهٔ آب‌وهوا، به ویـژه ازطریق چرخه‌های پخش مجدد گرما و شوری مربوط به کمربند انتقال سراسری یا سامانهٔ گردش گرما شوری، می‌تواند به طور چشم‌گیری دگرگون شود. اما این تغییرات پیامدهای ناسازگارانه‌ای برای چرخه‌های زیست-زمین-شیمیایی دارند. برخی از این پیامدها به قرار زیرند:

- ظرفیت گرمـای اقیانوس جهانی از اواخـر دههٔ ۱۹۵۰ افزایش یافته است.
- در طول قرن بیسـتم، میانگین جهانی سطح‌آب دریا بین ۰/۱ تا ۰/۲ متر افزایش یافته که علت آن، انبسـاط گرمایی آب‌های اقیانوس و زوال حجم یخچال‌ها و کلاهک‌های یخی است. پیش‌بینی می شود که این رشد به ۰/۰۹ تا ۰/۸۸ متر بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ برسد.
- وسـعت یخ‌های بهاره و تابستانهٔ دریاها در نیم‌کرهٔ شمالی بیشتر از ۱۰ درصـد از دههٔ ۱۹۵۰ کاهش‌یافته و احتمالاً ضخامت یخ دریا در اواخر تابستان و اوایل پاییز در دهه های اخیر کاهش ۴ درصدی داشته است.
- از میانهٔ دههٔ ۱۹۷۰، فراوانی، ماندگاری و شدت رخداد دوره‌های گرم ال نینو – نوسـان جنوبی (انسو)، در مقایسه با ۱۰۰ سال گذشته، افزایش داشته اسـت. و پیش بینی‌های‌جاری‌افزایش کوچک در بزرگی رخداد «انسو» در ۱۰۰ سال آینده را نشان می دهد.
- سامانهٔ گردشی گرمانوری تضعیف شده است.

زیست بوم‌های ساحلی به این تغییرات فیزیکی و شیمیایی، به ویژه در رابطه با موارد زیر حساس هستند:

افزایش سـطح دریا و سیل، سبب خسارت به تالاب‌ها و جنگل‌های حرا و تجاوز آب دریا به داخل منابع آب شیرین می‌شود.

- افزایش اندازه و شدت طوفان بر فرسایش ساحلی اثر می‌گذارد.

زیست بوم‌های دریایی به وسیلهٔ تغییرات دمای آب دریا و الگوهای جریـان اقیانوس جهانی و شـوری، یک محدودهٔ گسـترده‌ای از اثرات، هم‌چون تغییر الگوهای مهاجرت، تغییرات در ترکیب جوامع و تغییر در عملکرد زیست‌بوم‌ها روبه‌رو خواهند بود. «قابلیت انعطاف»[1] این زیست بوم‌ها به سـرعت و شدت تغییر آب‌وهوا بستگی دارد. هم‌چنین ظرفیت انطباقشـان (مانند فضا برای مهاجرت) نقش مهمی بازی می‌کند. علاوه بر این، افزایش میزان دی‌اکسیدکربن جذب شده به وسیلهٔ اقیانوس‌ها، تغییر تعادل حسـاس خصوصیات اسیدی آب‌های اقیانوس را آغاز کرده است. پیش‌بینی می‌شود که افزایش کربنات تحت اشباع و اسیدی شدن اقیانوس‌ها، اثرات وسـیعی روی جانوران دریایی با پوسـته یا ساختمان آهکی، مانند زئوپلانکتون‌ها و تعداد زیادی از گروه‌های بستر دریا (مثل مرجان‌ها و جانوران نرم تن: حلزون‌ها) از طریق زیان رساندن به رشد و انحلال اسکلتشان، داشته باشد.

پیش‌بینی شده است که اثرات اخیرهمراه با افزایش دمای آب دریا، شـبکهٔ غذایی دریایی را دچار انقطاع کند و اثرات مخربی روی آب‌های آزاد و جوامع حیاتی کف دریاها در سراسر اقیانوس‌ها و دریاهای عمیق تا آب‌های کم عمق، داشته باشد.انتظار می‌رود که تغییرات پیش‌یابی شده در شیمی اقیانوس‌ها، حدود ۷۰ درصد مرجان‌های دریاهای ژرف جهان را تا سال ۲۰۰۱ تحت تأثیر قرار داده باشد.

مطالعهٔ موردی: گریت باریر ریف درکشور استرالیا

«گریت باریر ریف» مکان دریایی بسـیار زیبایی در سواحل شمال شرقی استرالیاست که با ۲۱۰۰ کیلومتر طول، بزرگ‌ترین سامانهٔ صخرهٔ مرجانی در جهان است و پهنهٔ آن به ۳۴۴/۴۰۰ کیلومتر مربع می‌رسد. تالاب این صخره مرجانـی بزرگ، ۲۹۰۰ صخرهٔ منحصر به فرد با ۴۰۰ گونـه مرجـان، ۱۵۰۰ گونه ماهی و چندین هـزار گونه نرم تن دریایی دارد. هم‌چنین، چون مسـکن طبیعی گونه‌های رو به انقراض، مانند گاو دریایی و لاک‌پشـت‌های دریایی سبز رنگ است، از جاذبهٔ علمی بالایی برخوردار اسـت. به همین دلیل، در سـال ۱۹۸۱ تحت همهٔ معیارهای میراث طبیعی جهانی در فهرست میراث جهانی ثبت شد.

اثـرات تغییر آب وهوا: اکولوژی ایـن مکان میراث جهانی به هر تغییری در پراسنج‌های آب‌وهوایی، مانند بالاآمدن سطح دریاها، افزایش دمای سطح دریا، فراوانی و شدت طوفان‌ها، گرته‌های بارش، خشک‌سالی، جریان سـطحی خشـکی، جریان اقیانوس و میزان اسـیدی بودن آب اقیانوس حساس است. یکی از بیشترین اثرات جوی چشم‌گیر مشاهده و پیش‌بینی شـده، پیامدهای فیزیولوژیکی سـفید شدن مرجان‌هاست که سبب تلفات بلندمدت بیشتر صخره‌های مرجانی جهان شده است.

سفید شـدن مرجان: بیشـتر مرجان‌ها نزدیک به دمای آستانهٔ بالای تحملشـان زندگی می‌کنند. افزایش دمای سـطح دریا تهدیدی جدی برای زیسـت بوم‌های مرجانی است. میانگین جهانی مقدار انرژی گرمایی اقیانوس‌ها در حال افزایش اسـت، اگـر چه میزان این افزایش کمتر از دمای جو اسـت. افزایش مشاهده شـده در فراوانی، پایداری و شـدت رخدادهای گرم نوسـان جنوبی- ال نینو (انسو)، تهدید دیگری برای نواحی متأثر شـده اسـت. علاوه بر این، افزایش شدید میزان دی اکسیدکربن حل شده، آب را اسیدی می‌کند که به کاهش یون کربنات

(Co_3^{2-}) و بنابرایـــن، کاهش مقدار آهک ($CaCo_3$) و رشـــد کندتر و یا تضعیف اســـکلت آهکی مرجان‌ها می‌انجامد. مطابق با گزارش IPCC، افزایـــش دمای ســـطح دریاها و مقـــدارCo_2 حل شـــده در اقیانوس‌ها، بیشترین تهدید برای صخره های مرجانی در قرن بیست و یکم خواهند بود. در واکنش به تغییرات ناگهانی در دما، نور، درجهٔ شوری یا تیرگی، مرجان ها به سفید شدن می‌گرایند؛ یعنی رنگشان را از دست می‌دهند، زیـــرا جلبک‌هایی که با مرجان‌ها هم‌زیســـتی دارند و برای آن‌ها عناصر غذایی فراهم می‌کنند، از بین می‌روند. ســـفید شـــدن مرجان‌ها ممکن اســـت در یک مقیاس محلی (چندین صد متر) رخ دهد، اما رخدادهای ســـفید شـــدن توده‌ای، اکنون هزاران کیلومتر مربع از صخره‌ها را متأثر ساخته است. چنین رخدادهای بزرگ مقیاسی در ادبیات علمی پیش از سال ۱۹۷۹ ناشناخته بود.

سفیدشـــدگی توده‌ای وقتی رخ می دهد کـــه مقدار دمای آب دریا از حداکثر فصلی در حدود ۱/۵ تا ۲ درجهٔ سلســـیوس بیشـــتر شود. اگر ناهنجاری‌های دما در طول چندین ماه به بیش از ۳ درجهٔ سلســـیوس برســـد، مرگ و میر افزایش می یابد. پـــس از یک رخداد متعادل، وقتی

سفیدشدگی توده‌ای وقتی رخ می دهد که مقدار دمای آب دریا از حداکثر فصلی در حدود ۱/۵ تا ۲ درجهٔ سلسیوس بیشتر شود

که وضعیت های زیســـت محیطی به وضعیت نرمال بر گردند، مرجان‌ها می توانند زنده بمانند و از این‌رو اثرات و پدیدهٔ سفیدشدن غالباً موقتی است؛ هر چند در اغلب مرجان‌های دچار پیامدهای سفیدشدگی، کاهش رشد و استعداد تولید مثل رخ می‌دهد. مقادیر دمای سطح دریا در تالاب مرجانـــی بزرگ در طول قرن گذشـــته، روند صعودی مثبتی با نرخ یک درجهٔ سیلســـیوس را نشـــان می‌دهد که این با روندهای گزارش شده از دیگر نواحی حاره‌ای مشـــابه است. ســـرعت گرمایش در طول ۳۰ سال گذشـــته افزایش یافته اســـت. با توجه به داده های قابل استفاده، سال ۱۹۹۸ گرم‌ترین ســـال در ۹۵ سال گذشته بوده و سرعت فعلی افزایش گرما در حال حاضـــر، در حدود یک درجه برای هر قرن در آینده پیش بینی شـــده است. پیامد این تغییر زیست محیطی، کاهش جدی فضای سکونت برای صخره های مرجانی در ناحیه است.

علاوه بر این‌ها، نوســـانات دمای ســـطح دریا، به اثـــرات (ترکیبی) «انســـو» روی این روند دمایی مثبت وابســـته اســـت. انســـو بخشـــی از تغییر پذیری طبیعی آب‌وهواســـت، و مطابق با گزارش IPCC، فراوانی، ماندگاری و شدت رخدادهای گرم این نوسانات اقلیمی در حال افزایش است. در سال ۱۹۹۸، گرمایش منطقه ای تابستانه که توسط رخداد ال نینو ایجاد شـــده بود، در ترکیب با روند گرمایش جهانی موجب شد که دمای ســـطحی دریا از آستانهٔ سفیدشدگی تجاوز کند. حدود ۶۵ درصد صخره‌های ســـاحلی با مقدار بالای (در حدود ۱۰ درصد) سفیدشـــدگی مرجان، تلفات دیدند، درحالی‌کـــه ترازهای فرین (بالای ۷۰ درصد) در ۲۵ درصد از صخره‌های ســـاحلی گزارش شده بود. در حدود ۱۴ درصد صخره‌های مرجانی داخل دریا نیز به وســـیلهٔ سفیدشدگی شدید تحت تأثیر قرار گرفته بود.

خوش‌بختانه، بیشتر مرجان‌ها در صخرهٔ مرجانی بزرگ از این رخداد سفیدشدگی زنده باقی ماندند. اما در بعضی مکان‌ها، در حدود ۵۰ درصد مرجان‌ها از بین رفتند. تأثیر دماهای افزایشـــی سطح دریا که با مرحلهٔ مثبت انسو هم‌زمان است، فقط به صخره‌های مرجانی بزرگ محدود نبود و تخمین زده می‌شودکه ۱۶ درصد صخره های مرجانی جهان در سال ۱۹۹۸ از بین رفتند. درنتیجه، پیش از پایان قرن بیســـت و یکم، صخره های مرجانی روی یک مأخذ سالانه، حتی تحت تأثیر سناریوهای خوش بینانه، با دمای بالای آستانهٔ سفیدشدگی مواجه خواهند شد.

انطبـــاق و خوگیری آب‌وهوایی، دو راه عمـــده برای موجودات زندهٔ دریایی در واکنش به تغییر دما هستند. گونه های دریایی باید از طریق تغییر در فیزیولوژی‌شـــان، با آب‌وهوا خو بگیرند تا درجهٔ بردباری‌شـــان نســـبت به دماهـــای بالا افزایش یابد. انطباق برابر اســـت بـــا انتخابی از گونه‌هـــای قوی‌تر، درحالی‌که بقیهٔ اعضـــای این گونه، نه زنده می مانند و نـــه به دنیا می‌آیند. رخدادهای انطباق و خوگیری آب‌وهوایی شـــدیداً به مقیاس‌های زمانی تغییرات پیش‌یابی شـــده وابســـته‌اند. زمان مورد نیاز برای خوگیری آب‌وهوایی چند روز اســـت، اما انطباق خیلی کندتر صورت می گیرد.

تا آن‌جا که به گریت باریر ریف مربوط است، بردباری دمایی صخره های مرجانی از لحاظ جغرافیایی متغیر است و آستانهٔ قابل رؤیت برای سفیدشـــدگی مرجان ها در قسمت شـــمالی ریف بالاتر است. بعضی از انطباق‌های خیلی طولانی‌مدت، بین منتخبی از گروه‌های دارای طاقت گرمایی بیشتر و گونه‌های وابسته به همزیگری، طبق وقایع سفیدشدگی قبلـــی رخ داده‌اند. بنابراین، دور برگشـــت و شـــدت چنین رخدادهایی موضـــوع تعیین‌کننده‌ای اســـت. در ایـــن زمینه باید یادآوری شـــود که رخداد سفیدشـــدگی ۱۹۹۸ و نیز ۲۰۰۲، به‌عنـــوان بزرگ‌ترین رخداد سفیدشدگی برای گریت باریر ریف ثبت شده‌اند. دو دورهٔ چند هفته‌ای اوضاع جوی گرم باعث شـــد، دمای آب دریا چندین درجهٔ سلســـیوس بیشتر از میانگین بلند مدت فصلی شود.

پیمایش هوایی در مارس و آوریل ســـال ۲۰۰۲ نشـــان داد که ۶۰ درصد صخره‌های مورد بررسی سفید شده بودند. مطابق با تصاویر مدل، گرمایش در ناحیهٔ گریت باریر ریف در محدودهٔ ۲ تا ۵ درجهٔ سلسیوس تا

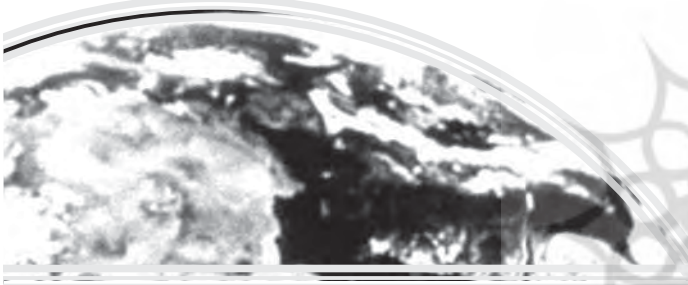
سال ۲۱۰۰ خواهد بود. دورنمای بسیار محتمل‌تر این است که رخدادهای سفیدشـدگی توده‌ای که به مرگ گسـتردهٔ مرجان‌ها منجر می‌شوند، بیش‌ترین فراوانی را روی سـواحل اسـترالیا در دهه‌های آینده خواهند داشـت.تصاویر مدلی نشان می‌دهند که فراوانی رخداد سفیدشدگی در هر دهه، ۱/۶ درصد بیشـتر از قبل خواهد شد. اندازه‌گیری‌های میدانی نشـان می‌دهند که کلونی‌های مرجانی به محدوده‌های گرمایشی‌شـان که از آغاز دههٔ ۱۹۸۰ شروع شده‌اند، کاملاً نزدیک هستند. این موضوع نشـان می‌دهد که هیچ‌گونه خوگیـری آب‌وهوایی و انطباق در دو دورهٔ اخیر رخ نداده است.

تأثیـر روی تنوع زیسـتی دریایی: صخره‌هـای مرجانی نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی زیست‌بوم‌ها دارند. آن‌ها زیستگاه طبیعی اصلی برای صدها هزار گونهٔ ماهی و دیگر سازه‌وارها هستند و به شیوه‌ای دیگـر، منبع اصلی تولید در اقیانوس‌هـای حاره‌ای فقیر از مواد غذایی به شـمار می‌روند. گاهی مقدار بهره‌وری در داخل صخره‌ها بسیار بالا و چندین هزار بار بیشـتر از دریای آزاد مجاورش است. این سطوح بالای بهره‌وری، صخره‌های مرجانی را به عنصر اصلی شبکهٔ غذایی در نواحی حاره‌ای تبدیل می‌سازد. پیش‌بینی پیامدهای سفیدشدگی مرجان برای زیسـت‌بوم‌های صخرهٔ مرجانی، موضوعی پیچیده با پیامدهای مثبت یا منفی ممکن برای تنوع زیستی دریایی است.

برای اکثـر سـازه‌وارهای صخره‌ای که مسـتقیماً بـه کلونی‌های مرجانی مربوط نیسـتند، پیش‌بینی نتایج سفیدشدگی مرجان خیلی مشـکل اسـت. روی‌هم‌رفته، فراوانی زیاد رخداد سفیدشـدگی مرجان به کمترین جاذبـه در صخره‌های مرجانی منجر خواهد شـد. اما تنوع بعضـی از گونه‌های دریایی و فراوانی بی‌مهرگان می‌تواند در کوتاه مدت افزایـش یابد و آن‌ها به‌عنوان سـاکنان جدید موجود می‌شـوند. بعد از رخداد سفیدشـدگی عمدهٔ سـال ۱۹۹۸ که ۸۸ درصد از مرجان ها را در صخـره هـای تانزانیا از بیـن برد، تنوع ماهی‌ها بـدون تغییر ماند و فراوانـی ماهی‌ها در حدود ۳۹ درصد رشـد کرده؛ زیـرا گیاه‌خواران در واکنش به قابلیت دست‌رسی به جلبک‌های دریایی بزرگ، افزایش یافته بودند. البته چنین مشاهداتی در مکان‌های خیلی محدود و فقط در دورهٔ کوتاه مدت معتبر هسـتند. در بلند مدت، سفیدشدگی مرجان سرعت تولید مثل، توان‌گیری و آهکی شـدن را کاهش خواهد داد و به تخریب سراسری سکونتگاه‌های صخره‌ای می‌انجامد.

بنابراین انتظار می رود اثرات کاهشـی فرا روندگی زیست بوم‌های صخره‌ای قابل توجه بشـود. آن گونه‌های ماهی‌ها که آشکارا به مرجان وابسته‌اند (غذا و محل زاد و ولدشان تنها در اطراف مرجان است)، بعد از نابودی مرجان‌ها، سریعاً ناپدید می‌شوند. در نتیجه، بازده ماهی‌گیری با پیامدهای چشم‌گیر برای تنوع زیستی نواحی و جمعیت محلی وابسته به آن، کاهش خواهد یافت. مرجان‌های دارای ساختار صخره‌ای، بیشترین صخره‌های جهانی را تولید می‌کنند و پناهگاه مهمی برای سازه‌واره‌های صخرهٔ مرجانی محسـوب می‌شـوند. بنابراین، به احتمال زیاد، کاهش فراوانی و تنوع مرجان‌های دارای ساختمان صخره‌ای، اثر عمده‌ای روی تنوع زیسـتی محیط‌های مجاور خواهد داشـت. بازده شیلات حاره‌ای کاهش جهانی داشـته و حالا ممکن است وضعیت جوامع محلی (اغلب فقیر) بحرانی شود. تاکنون مطالعات معدودی دربارهٔ موضوع پیامدهای بلند مدت سفیدشـدگی مرجان روی سازه‌وارهای صخرهٔ مرجانی انجام پذیرفته اسـت. با این همه، وجود هم‌بسـتگی بین تغییرپذیری پدیدهٔ انسو و وضعیت‌های منفی برای پرندگان دریایی، لاک‌پشت و پستانداران دریایی محرز شده است.

تأثیر روی گردشـگری: سفیدشـدگی مرجان‌ها پیچیدگی‌هایی نیز در صنعت گردشـگری در پـارک دریایی گریت باریر ریف داشـته اسـت. صنعت گردشـگری دریایی سـهم عمده‌ای در اقتصاد استرالیا دارد. گردشـگری بزرگ‌ترین فعالیت تجاری در ناحیهٔ گریت باریر ریف اسـت که تقریباً ۱/۸ میلیون بازدیدکننده را هر سـال جذب می‌کند و حدود ۵/۱ میلیارد دلار (دلار استرالیا) درامدزایی دارد. در سال ۲۰۰۵، تقریباً ۸۲۰ مرکز خدمات گردشگری و ۱۵۰۰ کشتی و هواپیما مجاز به



جنگل‌های حرا به‌عنوان یک حائل طبیعی در مقابل چرخنده‌های حاره‌ای و هم‌چنین به عنوان سامانهٔ پالاینده برای مصب و آب شیرین عمل می‌کنند

فعالیت در پارک بودند. خیلی از گردشگران از صخره‌هایی که به ساحل نزدیک‌تر هسـتند و می‌توان دو سـاعته با قایق به آن‌ها رسـید، بازدید می‌کنند. این صخره‌های نزدیک ساحل در آب‌های نسبتاً کم عمق واقع شـده‌اند و بنابراین بالقوه، بیشـتر در معرض آلودگی از طریق رودهای هم‌جوار در نواحی سـاحلی نزدیک قرار دارند. در زمینهٔ تغییر آب‌وهوا، انتظار می‌رود که رخدادهای سـیلاب از نظر فراوانی کمتر شـوند، ولی شدت بیشتری داشته باشند و بار مواد رسوبی و غذایی افزایش می‌یابد. هم‌چنین، فاصلهٔ آب‌های سیلابی بلافصل پهنهٔ صخره گسترش می‌یابد. بنابراین، تغییر آب‌وهوا در گریت باریر ریف پیامدهای مسـتقیمی برای اقتصاد محلی داشته است، اما این تهدید برای دیگر صخره‌های سراسر جهـان هم وجود دارد و تخمین زده می‌شـود که هزینهٔ آن فقط برای گردشگری به صورت کاهش ۵۸ درصدی صخره‌های مرجانی جهان، به حدود ۹۰ میلیارد دلار آمریکا برسد.

مطالعه موردی تکمیلی: سان دار بانس، هندوستان و بنگلادش

جنگل‌های حرا در «سان دار بانس»، بزرگ‌ترین جنگل‌های حرای جهان هستند (در حدود ۱۰ هزار کیلومتر مربع از خشکی و آب که بیشتر از نیمی از آن در هندوستان و باقی‌مانده در بنگلادش واقع شده است). موقعیت آن‌ها با دلتای رودخانه‌های گنگ، براهماپوترا و مگنا در خلیج بنگال مطابق است. این جایگاه به وسیلهٔ شبکهٔ پیچیده‌ای از آبراهه‌های جزرومدی، فلات‌های گلی و جزایر کوچک جنگل‌های حرا، مشبک شده است. جنگل‌های حرا از درختان همیشه سبز سازگار با نمک تشکیل شداند. این جنگل‌ها به ناحیهٔ میان جزر و مدی در امتداد خط ساحلی وسیع کشورهای حاره‌ای محدودند و در امتداد رودخانه‌های جزر و مدی به سوی خشکی توسعه پیدا می‌کنند.

جنگل‌های حرا به‌عنوان یک حائل طبیعی در مقابل چرخنده‌های حاره‌ای و هم‌چنین به عنوان سامانهٔ پالاینده برای مصب و آب شیرین عمل می‌کنند. هم‌چنین برای بسیاری از بی‌مهرگان دریایی و ماهی‌ها، به‌عنوان پناهگاه و محل زادآوری مورد استفاده قرار می‌گیرند. جنگل‌های حرای ساندربانس از نظر تنوع زیستی که شامل ۲۶۰ گونه پرنده، سمور دریایی هندی، آهوی خالدار، گراز وحشی، خرچنگ ویلون‌زن، خرچنگ لجی، سه‌گونه مارمولک دریایی و پنج گونه لاک‌پشت دریایی است، شهرت دارند. آن‌ها هم‌چنین میزبان گونه‌های مورد تهدید، همانند تمساح مصبی، پیتون‌های هندی و مهم‌تر از همه ببر بنگال هستند. به همین دلیل، پارک ملی ساندربانس هند و بخش بنگلادش آن به ترتیب در سال‌های ۱۹۸۷ و ۱۹۹۸ در فهرست میراث جهانی به ثبت رسیدند.

مطابق با گزارش IPCC، بالا آمدن سطح دریا بزرگ‌ترین تهدید و چالش برای سازگاری پایدار در جنوب و جنوب شرقی آسیاست. پیامدهای مرتبط با سیلاب در نواحی پست دلتاها، پسروی خط ساحلی، شور شدن و اسیدی شدن خاک‌ها و تغییرات در سطح آب زیرزمینی، نگرانی‌های جدی برای بهداشت جوامع محلی به‌وجود آورده است. علاوه بر بالا آمدن سطح دریاهای جهانی (یا بالا آمدن ائوستاتیک آب دریا بدین معنی که تغییر در میانگین سطح دریاهای آزاد از تغییر حجم اقیانوس های جهانی ایجاد می شود)، فرونشینی طبیعی دنباله‌داری در ساندر بانس وجود دارد که سبب بالا آمدن سطح آب دریا در حدود ۲/۲ میلی‌متر برای هر سال می‌شود. درنتیجه، مقدار خالص بالا آمدن سطح دریا ۳/۱ میلی‌متر برای هر سال در «ساگار» است.

منبع دیگر تنش در هند که وابسته به تغییر آب‌وهوا نیست، شامل انحراف مسیر آب شیرین بالا دست رود گنگ توسط «سد فارکا» از سال ۱۹۷۴ است که برای کاهش نهشت سریع گل‌ولای در بندر کلکته ساخته شد. این سد انحرافی سبب کاهش ۴۰ درصدی جریان فصل خشک شده است. هم‌چنین، کنش مشترک بالا آمدن سطح آب دریا، افزایش تبخیر و تعرق پایین‌ترین جریان آب شیرین در زمستان، باعث افزایش شوری در ناحیه شده است و حفاظت جنگل‌های حرا منطقهٔ ساندر بانس را تهدید می‌کند.

ساندر بانس، هم‌چون خیلی از نواحی مورد حفاظت جهان، به وسیلهٔ چند عامل خارجی تهدید می‌شود و تغییر آب‌وهوا را باید به عنوان یک منبع تنش در میان دیگر عوامل در نظر گرفت. روی هم رفته این عوامل می‌توانند در رابطه با یک افزایش ۴۵ سانتی‌متری سطح آب دریاها، به نابودی ۷۵ درصدی جنگل‌های حرای ساندر بانس منجر شوند. نابودی بیشتر این جنگل، نقش حیاتی آن را به‌عنوان حائل در مقابل طوفان‌های حاره‌ای کاهش می‌دهد. خلیج بنگال به شدت توسط طوفان‌های حاره‌ای تحت‌تأثیر قرار می‌گیرد (در حدود ۱۰ درصد چرخنده‌های حاره‌ای جهان در این ناحیه رخ می‌دهند و حدود ۱۷ درصد آن‌ها خشکی را در بنگلادش در می‌نوردند). چه فراوانی یا شدت چرخندها در آینده به دلیل آشفتگی‌های آب‌وهوایی تغییر کند و چه تغییر نکند، اگر جنگل‌های حرا به‌طور مناسبی مورد محافظت قرار نگیرند، اثرات ویران‌کنندهٔ طوفان‌ها افزایش خواهد یافت. بالا آمدن سطح دریا به طور نمونه، فرایندی است که نمی‌توان به‌طور کامل از طریق سطح راهبردی موقعیت از آن جلوگیری کرد؛ هرچند اقدامات زیر می‌توانند به افزایش ظرفیت سازگاری جنگل‌های حرای ساندر بانس با اثرات بالا آمدن سطح دریا کمک کنند:

- حفاظت از باقی‌ماندهٔ جنگل‌های حرا در نواحی حفاظت‌شده.
- ترمیم یا احیای جنگل‌های حرا از طریق کاشت مجدد گونه‌های اصلاح شدهٔ حرا؛ برای مثال، کاشت آن‌ها در طول کانال‌های آب شیرین و زمین‌های آباد شده. چنین اقداماتی هم از دیدگاه بوم‌شناختی و هم از دیدگاه اقتصادی قابل توجیه هستند.

طرحی از «برنامهٔ توسعهٔ سازمان ملل» (UNDP)، هزینهٔ ساخت ۲/۲۰۰کیلومتر خاکریز محافظ سیلاب و طوفان را تأمین می‌کند که به طور فرضی، سطحی مشابه از جنگل‌های ساندر بانس را حفاظت می‌کند. تخمین زده می‌شود که حفظ جنگل‌های مذکور به سرمایه‌گذاری در حدود ۲۹۴ میلیون دلار آمریکا با یک هزینهٔ تعمیر و نگه‌داری سالانهٔ شش میلیون دلاری نیاز دارد.

پارک ملی کومودو، اندونزی

پارک ملی کومودو در سال ۱۹۹۹ در فهرست میراث جهانی ثبت شد. دامنه‌های ناهموار ساوانای خشک و پوشش گیاهی سبز خاردار فشرده، تماماً در تقابل با سواحل درخشان ماسه‌ای صورتی رنگ و آب‌های نیلگونی است که روی مرجان‌ها موج می‌زند؛ یک مکان زیبای طبیعی استثنایی، که با شکل‌های خاص صخره‌های مرجانی با بیشترین تمایز جهانی همراه است. پارک ملی کومودو آخرین زیستگاه باقی‌ماندهٔ بزرگ‌ترین مارمولک‌های جهان، یعنی اژدهای کومودو، محسوب می‌شود که در هیچ نقطه‌ای دیگر در جهان موجود نیست و جاذبهٔ زیادی برای دانشمندان دارد.

تغییر آب‌وهوا، چند ویژگی این مکان را مورد تهدید قرار می‌دهد. افزایش تمرکز دی‌اکسیدکربن و دمای آب سطحی، صخره‌های مرجانی را تهدید می‌کند. بالا آمدن سطح دریا ممکن است آشیانهٔ ساحلی

به‌منظور تشخیص پیامدهای تهدید بالاآمدن سطح دریا و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سواحل از سیلاب و فرسایش، باید از ریخت‌شناسی سواحل دارای آشیانهٔ لاک‌پشت‌ها و زمین‌های مجاور آن استفاده کرد

لاک‌پشت‌های دریایی را تحت‌تأثیر قرار بدهد و تغییر در دمای جو ممکن است به جوجه‌آوری تخم های لاک‌پشت‌های دریایی زیان برساند. به‌علاوه، در صورتی که جنگل‌های حرا فضایی برای پسروی یا پیشروی در خط ساحلی نداشته باشند، بالا آمدن سطح دریا می‌تواند حفاظت از این جنگل‌ها را غیرممکن سازد. تا آن‌جا که به اژدهای کومودو مربوط است، تاکنون هیچ مدرکی دال بر اثرات احتمالی تغییر آب‌وهوا روی این جمعیت بومی ارائه نشده است.

دمای سطح دریا افزایش یافته است که موجب سفیدشدگی مرجان‌ها و افزایش مرگ و میر پولیس‌ها (نوعی مرجان آبی) می‌شود و شاید به تلفات تنوع زیست‌شناختی و خدمات زیست بومی که صخره‌های مرجانی تولید می‌کنند، منتج شود (برای مثال، محافظت از ساحل، ماهی‌گیری و گردشگری). به‌علاوه، افزایش سطوح دی‌اکسیدکربن جو، غلظت اسید کربنیک و یون کربنات را در اقیانوس تغییر می‌دهد. این امر باعث کاهش یون‌های کربنات می‌شود که برای آهکی شدن مرجان‌ها ضروری است و نتیجه‌اش ضعف ساختار اسکلتی، کاهش سرعت رشد، کاهش توانایی رقابت برای فضای زیستی در صخره‌ها و افزایش حساسیت به شکستگی و فرسایش زیستی خواهد بود.

دمای مرتبط با سفیدشدگی پیش از این در سال‌های ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ رخ داده بود. البته این رخداد به قسمت‌های شمالی پارک ملی کومودو محدود بود؛ جایی که جریانات ضعیف‌تر و آمیختگی دما از طریق ستون‌های آب به حداقل می‌رسد. قابلیت انعطاف صخره‌های مرجانی را در پارک ملی کومودو می‌توان به وسیلهٔ اجرای «ناحیهٔ غیر قابل برداشت»[2] که پیش از این محقق شده بود، تا حد زیادی بهبود بخشید. منطقهٔ غیر قابل برداشت، جمعیت سالم ماهیان شامل ماهی علف‌خوار، مانند «سورجن» و طوطی ماهی را تثبیت می‌کند که این به تداوم رشد «ماکرو آلگ»های تحت کنترل، بعد از رخداد سفیدشدگی توده‌ای، کمک می‌کند. بنابراین، فشار چرای ماهیان علف‌خوار، بهبود بهره‌وری صخره‌های مرجانی را به وسیلهٔ حفظ رقابت بین ماکرو – آلگ‌ها و مرجان‌های ساکن برای یافتن فضا، به نفع دومی افزایش می‌دهد.

علاوه بر این، یک برنامهٔ دنباله‌دار و مناسب پایش مرجانی، شامل شاخص مرتبط با سفیدشدگی توده‌ای که ادراک ما را از این پدیده اصلاح کند، باید اجرا شود. افزایش دما، زندگی لاک‌پشت‌های دریایی را از طریق دمای جوجه‌آوری تخم‌ها تحت‌تأثیر قرار خواهد داد و مثلاً در تعیین جنسیت نوزادهایی که از تخم بیرون خواهند آمد، نقش مؤثر خواهد داشت. دماهای بالاتر غلبهٔ جنسی را به سوی غلبهٔ نوزادهای مؤنث سوق می‌دهد. اگرچه ممکن است نسبت بیشتر مؤنث‌ها باروری جمعیت لاک‌پشت‌های دریایی را افزایش دهد، اما این اثر سودمند، اگر فرصت آشیانه‌سازی به‌دلیل خسارت به آشیانه‌های ساحلی بر اثر بالا آمدن سطح دریا کاهش یابد، بی‌اثر خواهد شد.

پیامد ترکیب اثرات بالا آمدن سطح دریا و دمای افزایش یافته، نامعلوم است. با توجه به ابهام در تأثیر تغییر آب‌وهوا بر جمعیت‌های لاک‌پشت دریایی، گزینه‌های مدیریتی باید احتمال بقای گونه‌های مذکور را توسط تمرکز روی کاهش دیگر تهدیدها، مثل صید غیر قانونی لاک‌پشت‌ها و تخم‌هایشان و شکار شدن به‌وسیلهٔ گراز وحشی و اژدهای کومودو، افزایش دهند. علاوه بر این، پایش محدوده‌ها و روندهای دمایی تبدیل تخم به نوزاد، به نوزادان لاک‌پشت دریایی برای سریع‌تر بیرون آمدن از پوست و مقابلهٔ آرام با اثرات تغییر آب‌وهوا کمک می‌کند.چنین برنامه‌ای، به‌دلیل بلوغ دیررس لاک‌پشت‌ها، فعالیتی طولانی مدت است.

به‌منظور تشخیص پیامدهای تهدید بالاآمدن سطح دریا و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سواحل از سیلاب و فرسایش، باید از ریخت‌شناسی سواحل دارای آشیانهٔ لاک‌پشت‌ها و زمین‌های مجاور آن استفاده کرد. تخم‌ها، در سواحلی که مرتباً دچار سیلاب و فرسایش می‌شوند، در وضعیت دشواری قرار می‌گیرند. از این‌رو می‌توان آن‌ها را به سواحل با ثبات بیشتر انتقال داد و دوباره دفن کرد. بازیابی و به خاک‌سپاری چنین تخم‌هایی باید به توجه به تفاهم‌نامه‌های مفصل استاندارد درخصوص زمان‌بندی و بررسی تخم‌ها برای جابه‌جایی انجام شود. بالا آمدن سطح دریاها پراهمیت‌ترین تهدید تغییر آب‌وهوا برای جنگل‌های حرا محسوب می‌شود که به فرسایش، سیلاب و تلفات می‌انجامد. جنگل‌های حرای حاشیه‌ای که به زمین‌های مرتفع منتهی می‌شوند و به رسوبات آهن‌دار محدود هستند، تلفات بیشتری را از طریق فرسایش و سیلاب نسبت به جنگل‌های حرایی که در بالادست آن‌ها فلات‌های نمکی و سواحل پست قرار دارند، تجربه می‌کنند. جنگل‌های حرای جزایر پست هم ممکن است سریعاً زیر آب بروند، زیرا نمی‌توانند جابه‌جا شوند و پهنه‌های رسوبی لازم برای استقرار آن‌ها بسیار محدود است.

پی‌نوشت

1. Resilience
2. No-takezone

منبع

http://whc.unesco.org/documents/publi climatechange.pdf