

زمین؛ سیاره‌ای متغیر

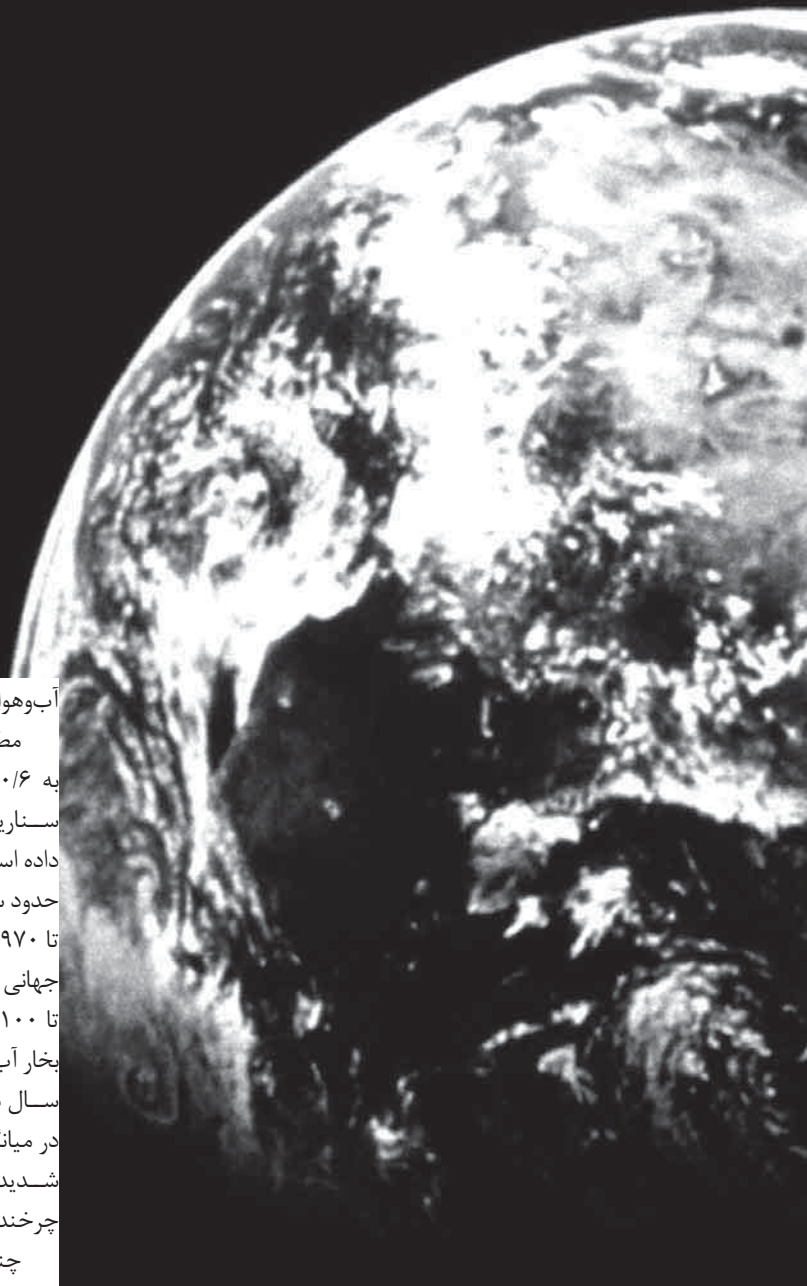
اثرات تغییر آب و هوای میراث‌های جهانی تنوع زیستی دریایی

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

مقدمه

آب و هوای سیاره ما متغیر است. گرچه آب و هوا همیشه تغییر پذیر بوده است، اما امروزه نگرانی فزاینده‌ای در مورد پیامدهای تغییر آب و هوا وجود دارد؛ شاید به این دلیل که اندازه تغییرات به نظر بی سابقه می آید. به علاوه، شواهد محکمی وجود دارد که نشان می دهد، بشر ممکن است به طور مستقیم در تغییر آب و هوا مسئول باشد. هر تغییر در آب و هوا به ناپایداری محیط زیست و وضعیت‌های اجتماعی همه نواحی جهان منجر می شود. این اختلال می تواند حفاظت از زیست بوم‌های طبیعی و توانایی حفاظت از سیستم‌های اجتماعی-اقتصادی را به خطر بیندازد. تغییر آب و هوا هم چنین اثرات مضر دیگری نیز دارد و در واقع پیش از این هم، حفاظت از میراث جهانی طبیعی و فرهنگی را تحت تأثیر قرار داده است.

میراث بشری منبع غیرقابل جایگزینی از حیات و یادگاری برای نوع بشر از گذشته است. سیاره ما به وسیله سازوکاری گرم نگه داشته می شود که اثر گازهای گلخانه‌ای نام دارد. این اثر شامل به دام انداختن انرژی است که به وسیله زمین به سوی جو تابانده می شود؛ به جای این که در فضای بیرونی سیاره رها شود. گازهای گلخانه‌ای در این سازوکار تنظیمی، معمولاً در جو با غلظت پایین یافت می شوند. مولکول‌های دی‌اکسید کربن (CO_2) را هرگز نمی توان با غلظت بالاتر از چند صد قسمت در هر میلیون (ppm) در واحد حجم هوا یافت. با وجود این، آن‌ها نقشی حیاتی در موازنه آب و هوای سیاره زمین بازی می کنند. قبل از انقلاب صنعتی، برای چندین هزار سال غلظت CO_2 عبارت بود از: 280 ± 10 قسمت در هر میلیون. اما غلظت CO_2 در اقلیم حاضر در حدود ۳۶۰ قسمت در



آبوهوا محسوب می‌شود.


مطابق با گزارش IPCC، در طول قرن بیستم میانگین دمای جو به 0.6 ± 0.2 درجه سلسیوس افزایش یافته است. IPCC همچنین سناریوهای ممکن را به‌منظور پیش‌بینی روندهای اقلیمی آینده، بسط داده است. براساس این سناریوها، طرح‌ریزی مدل‌های آب‌وهوایی برای حدود سال ۲۱۰۰ نشان‌دهنده آن است که غلظت CO₂ در جو به ۵۴۰ تا ۹۷۰ قسمت در میلیون خواهد رسید. پیش‌بینی می‌شود که میانگین جهانی سطح دریا در حدود 0.9 ± 0.1 متر تا 0.88 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 سال به سال در بارش، به احتمال زیاد روی بیشتر نواحی که افزایشی در میانگین بارش دارند، روی دهد. همچنین می‌توان رخداد‌های جوی شدید مانند موج‌های گرمایی، خشک‌سالی، بارش‌های سنگین، و چرخنده‌های حاره‌ای شدید را انتظار داشت.

چنین تغییراتی ممکن است حفاظت از دارایی‌هایی را که در فهرست میراث جهانی ثبت شده‌اند، دشوار سازد. یونسکو از این دارایی‌ها تحت تفاهم‌نامه مربوط به حفاظت از میراث جهانی فرهنگی و طبیعی که در سال ۱۹۷۲ پذیرفته است، به‌منظور تشویق، شناسایی، حفاظت و جلوگیری از تخریب میراث فرهنگی و طبیعی ارزشمند و برجسته نوع بشر، حفاظت می‌کند. آن‌چه مفهوم کلی منحصر به فرد بودن میراث جهانی را شکل می‌دهد، کاربرد جهانی آن‌هاست. در عین احترام به حق حاکمیت ملی و حقوق حاکمیت که به‌وسیله وضع قانون ملی تعیین شده است، و صرف‌نظر از کشوری که مکان‌های میراث جهانی در آن واقع شده‌اند، این مکان‌ها به همه مردم دنیا تعلق دارند.

«انجمن میراث جهانی» که نمایندگان ۱۸۳ کشور عضو آن هستند، تاکنون ۸۳۰ مکان از ۱۳۸ کشور را در «فهرست میراث جهانی» ثبت کرده است. برای ثبت هر مکان در فهرست، آن مکان باید بیش از ۱۰ معیار مناسب داشته باشد که در راهنمای اجرای تفاهم‌نامه میراث

هر میلیون است که در طول ۴۲۰ هزار سال گذشته به چنین سطحی نرسیده بود. تغییر غلظت CO₂ 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 سیاره زمین در دست انجام هستند. «هیئت بین‌المللی تغییرات آب‌وهوا» (IPCC)، تحت نظارت «سازمان هواشناسی جهانی» (WMO) و «برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد» (UNEP)، برای ارزیابی، جمع‌آوری و ترکیب اطلاعات علمی، فنی، اجتماعی و اقتصادی در مورد تغییرات آب‌وهوا و اثرات بالقوه‌اش، و طرح کلی عقاید برای سازگاری و کاهش این اثرات، تأسیس شده است. گزارش‌های برآورد دوره‌ای IPCC، معتبرترین اطلاعات ما درخصوص چگونگی تغییر



هر تغییری در آب‌وهوا، خواص فیزیکی، زیستی و بیوشیمیایی اقیانوس‌ها را در اقیانوس‌های زمانی و مکانی متفاوت متأثر می‌سازد

جهانی، فهرست این معیارها آمده است. هم‌چنین، از میان سایت‌های ثبت شده در فهرست میراث جهانی، ۶۴۴ مورد دارای ارزش‌های برجسته فرهنگی، ۱۶۲ مورد دارای ارزش‌های عالی طبیعی قابل توجه، و ۲۴ مورد نیز دارای آمیزه‌ای از ارزش‌های فرهنگی و طبیعی است. «مرکز میراث جهانی سازمان یونسکو» (WHC)، پس از آن که کمیته 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 کمیته میراث جهانی و کارشناسان علمی و دانشگاهی را برای بحث در مورد اثرات تغییرات آب‌وهوایی معاصر و آینده روی مکان‌های میراث جهانی فراهم آورد. نتیجه این ابتکار تهیه 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 به وسیله کمیته میراث جهانی در سی‌امین جلسه در جولای ۲۰۰۶، در «ویلنیوس» لیتوانی تصویب شد. نتیجه این کار نشان داد که زمان توسعه و اجرای واکنش‌های مدیریتی مناسب برای حفاظت از میراث جهانی در مواجهه 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. شبکه میراث جهانی ابزار مفیدی برای سهیم کردن و ترویج آموخته‌ها و بالا بردن آگاهی در مورد اثرات تغییرات آب‌وهوایی است. مقاله حاضر چند مطالعه 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 هر کدام از سایت‌های شکل یافته، بعضی موازین انطباقی مورد بازبینی قرار گرفته

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

هر تغییری در آب‌وهوا، خواص فیزیکی، زیستی و بیوشیمیایی اقیانوس‌ها را در اقیانوس‌های زمانی و مکانی متفاوت متأثر می‌سازد. چنین تغییراتی بر حفاظت از زیست‌بوم‌های دریایی و بنابراین بر نقش آن‌ها به‌عنوان تهیه‌کننده کالاهای خدمات (مانند ماهی‌گیری که میلیاردها نفر برای امرار معاش به آن تکیه دارند) تأثیر تعیین‌کننده‌ای دارد. اما در عین حال، اقیانوس‌ها یک مؤلفه جدایی‌ناپذیر و معمول از سامانه آب‌وهوا هستند و روی آب‌وهوایشان باز خورد دارند. IPCC تأکید می‌کند که گرمایش جهانی، اقیانوس‌ها را به واسطه تغییرات در دمای آب سطحی، افزایش سطح آب، پوشش یخ آب، درجه شوری، درجه قلیایی، جریانات اقیانوسی و نوسانات آب‌وهوایی بزرگ مقیاس، تحت تأثیر قرار می‌دهد. نقش اقیانوس‌ها به‌عنوان تعدیل‌کننده آب‌وهوا، به ویژه از طریق چرخه‌های پخش مجدد گرما و شوری مربوط به کمربند انتقال سراسری یا سامانه گردش گرما شوری، می‌تواند به طور چشم‌گیری دگرگون شود. اما این تغییرات پیامدهای ناسازگارانه‌ای برای چرخه‌های زیست‌زمین-شیمیایی دارند. برخی از این پیامدها به قرار زیرند:

● ظرفیت گرمای اقیانوس جهانی از اواخر دهه ۱۹۵۰ افزایش یافته است.

● در طول قرن بیستم، میانگین جهانی سطح آب دریا بین ۰/۱ تا ۰/۲ متر افزایش یافته که علت آن، انبساط گرمایی آب‌های اقیانوس و زوال حجم یخچال‌ها و کلاهک‌های یخی است. پیش‌بینی می‌شود که این رشد به ۰/۹ تا ۰/۸۸ متر بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۱۰۰ برسد.

● وسعت یخ‌های بهاره و تابستانه دریاها در نیم‌کره شمالی بیشتر از ۱۰ درصد از دهه ۱۹۵۰ کاهش یافته و احتمالاً ضخامت یخ دریا در اواخر تابستان و اوایل پاییز در دهه‌های اخیر کاهش ۴ درصدی داشته است.

● از میانه دهه ۱۹۷۰، فراوانی، ماندگاری و شدت رخداد دوره‌های گرم ال نینو - نوسان جنوبی (انسو)، در مقایسه با ۱۰۰ سال گذشته، افزایش داشته است. و پیش‌بینی‌های جاری افزایش کوچک در بزرگی رخداد «انسو» در ۱۰۰ سال آینده را نشان می‌دهد.

● سامانه گردش گرمانوری تضعیف شده است. زیست‌بوم‌های ساحلی به این تغییرات فیزیکی و شیمیایی، به ویژه در رابطه با موارد زیر حساس هستند:

افزایش سطح 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. زیست‌بوم‌های دریایی به وسیله تغییرات دمای آب دریا و الگوهای جریان اقیانوس جهانی و شوری، یک محدوده گسترده‌ای از اثرات، هم‌چون تغییر الگوهای مهاجرت، تغییرات در ترکیب جوامع و تغییر در

عملکرد زیست‌بوم‌ها روبه‌رو خواهند بود. «قابلیت انعطاف»^۱ این زیست‌بوم‌ها به سرعت و شدت تغییر آب‌وهوا بستگی دارد. هم‌چنین ظرفیت انطباقشان (مانند فضا برای مهاجرت) نقش مهمی بازی می‌کند. علاوه بر این، افزایش میزان دی‌اکسیدکربن جذب شده به وسیله اقیانوس‌ها، تغییر تعادل حساس خصوصیات اسیدی آب‌های اقیانوس را آغاز کرده است. پیش‌بینی می‌شود که افزایش کربنات تحت‌اشباع و اسیدی شدن اقیانوس‌ها، اثرات وسیعی روی جانوران دریایی با پوسته 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، شبکه 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.

مطالعه موردی: گریت باربر ریف در کشور استرالیا

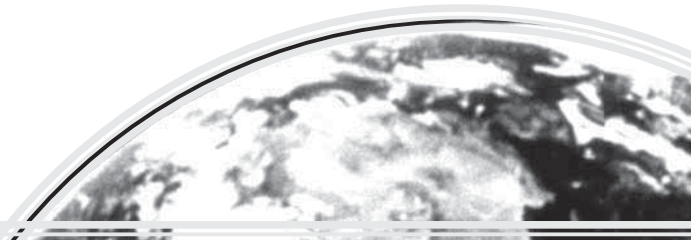
«گریت باربر ریف» مکان دریایی بسیار زیبایی در سواحل شمال شرقی استرالیاست که با ۲۱۰۰ کیلومتر طول، بزرگ‌ترین سامانه صخره مرجانی در جهان است و پهنه آن به ۳۴۴/۴۰۰ کیلومتر مربع می‌رسد. تالاب این صخره مرجانی بزرگ، ۲۹۰۰ صخره منحصر به فرد با ۴۰۰ گونه مرجان، ۱۵۰۰ گونه ماهی و چندین هزار گونه نرم تن دریایی دارد. هم‌چنین، چون مسکن طبیعی گونه‌های رو به انقراض، مانند گاو دریایی و لاک‌پشت‌های دریایی سبز رنگ است، از جاذبه علمی بالایی برخوردار است. به همین دلیل، در سال ۱۹۸۱ تحت همه معیارهای میراث طبیعی جهانی در فهرست میراث جهانی ثبت شد.

اثرات تغییر آب‌وهوا: اکولوژی این مکان میراث جهانی به هر تغییری در پراسنج‌های آب‌وهوایی، مانند بالآمدن سطح دریاها، افزایش دمای سطح دریا، فراوانی و شدت طوفان‌ها، گرت‌های بارش، خشک‌سالی، جریان سطحی خشکی، جریان اقیانوس و میزان اسیدی بودن آب اقیانوس حساس است. یکی از بیشترین اثرات جوی چشم‌گیر مشاهده و پیش‌بینی شده، پیامدهای فیزیولوژیکی سفید شدن مرجان‌هاست که سبب تلفات بلندمدت بیشتر صخره‌های مرجانی جهان شده است.

سفید شدن مرجان: بیشتر مرجان‌ها نزدیک به دمای آستانه بالای تحملشان زندگی می‌کنند. افزایش دمای سطح دریا تهدیدی جدی برای زیست‌بوم‌های مرجانی است. میانگین جهانی مقدار انرژی گرمایی اقیانوس‌ها در حال افزایش است، اگر چه میزان این افزایش کمتر از دمای جو است. افزایش مشاهده شده در فراوانی، پایداری و شدت رخدادهای گرم نوسان جنوبی - ال نینو (انسو)، تهدید دیگری برای نواحی متأثر شده است. علاوه بر این، افزایش شدید میزان دی‌اکسیدکربن حل شده، آب را اسیدی می‌کند که به کاهش یون کربنات

(CO_2) و بنابراین، کاهش مقدار آهک ($CaCO_3$) و رشد کندتر و یا تضعیف اسکلت آهکی مرجان‌ها می‌انجامد. مطابق با گزارش IPCC، افزایش دمای سطح دریاها و مقدار CO_2 حل شده در اقیانوس‌ها، بیشترین تهدید برای صخره‌های مرجانی در قرن بیست و یکم خواهند بود. در واکنش به تغییرات ناگهانی در دما، نور، درجه شوری یا تیرگی، مرجان‌ها به سفید شدن می‌گیرند؛ یعنی رنگشان را از دست می‌دهند، زیرا جلبک‌هایی که با مرجان‌ها هم‌زیستی دارند و برای آن‌ها عناصر غذایی فراهم می‌کنند، از بین می‌روند. سفید شدن مرجان‌ها ممکن است در یک مقیاس محلی (چندین صد متر) رخ دهد، اما رخدادهای سفید شدن توده‌ای، اکنون هزاران کیلومتر مربع از صخره‌ها را متأثر ساخته است. چنین رخدادهای بزرگ مقیاسی در ادبیات علمی پیش از سال ۱۹۷۹ ناشناخته بود.

سفیدشدگی توده‌ای وقتی رخ می‌دهد که مقدار دمای آب دریا از حداکثر فصلی در حدود $1/5$ تا 2 درجه سلسیوس بیشتر شود. اگر ناهنجاری‌های دما در طول چندین ماه به بیش از 3 درجه سلسیوس برسد، مرگ و میر افزایش می‌یابد. پس از یک رخداد متعادل، وقتی



سفیدشدگی توده‌ای وقتی رخ می‌دهد که مقدار دمای آب دریا از حداکثر فصلی در حدود $1/5$ تا 2 درجه سلسیوس بیشتر شود

که وضعیت‌های زیست محیطی به وضعیت نرمال برگردند، مرجان‌ها می‌توانند زنده بمانند و از این‌رو اثرات و پدیده 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 مرجانی بزرگ در طول قرن گذشته، روند صعودی مثبتی با نرخ یک درجه سلسیوس را نشان می‌دهد که این با روندهای گزارش شده از دیگر نواحی حاره‌ای مشابه است. سرعت گرمایش در طول 30 سال گذشته افزایش یافته است. با توجه به داده‌های قابل استفاده، سال 1998 گرم‌ترین سال در 95 سال گذشته بوده و سرعت فعلی افزایش گرما در حال حاضر، در حدود یک درجه برای هر قرن در آینده پیش بینی شده است. پیامد این تغییر زیست محیطی، کاهش جدی فضای سکونت برای صخره‌های مرجانی در ناحیه است. علاوه بر این‌ها، نوسانات دمای سطح دریا، به اثرات (ترکیبی)

«انسو» روی این روند دمایی مثبت وابسته است. انسو بخشی از تغییر پذیری طبیعی آب‌وهواست، و مطابق با گزارش IPCC، فراوانی، ماندگاری و شدت رخدادهای گرم این نوسانات اقلیمی در حال افزایش است. در سال 1998 ، گرمایش منطقه‌ای تابستانه که توسط رخداد ال نینو ایجاد شده بود، در ترکیب با روند گرمایش جهانی موجب شد که دمای سطحی دریا از آستانه سفیدشدگی تجاوز کند. حدود 65 درصد صخره‌های ساحلی با مقدار بالای (در حدود 10 درصد) سفیدشدگی مرجان، تلفات دیدند، در حالی که ترازهای فرین (بالای 70 درصد) در 25 درصد از صخره‌های ساحلی گزارش شده بود. در حدود 14 درصد صخره‌های مرجانی داخل دریا نیز به وسیله سفیدشدگی شدید تحت تأثیر قرار گرفته بود.

خوش‌بختانه، بیشتر مرجان‌ها در صخره مرجانی بزرگ از این رخداد سفیدشدگی زنده باقی ماندند. اما در بعضی مکان‌ها، در حدود 50 درصد مرجان‌ها از بین رفتند. تأثیر دماهای افزایشی سطح دریا که با مرحله مثبت انسو هم‌زمان است، فقط به صخره‌های مرجانی بزرگ محدود نبود و تخمین زده می‌شود که 16 درصد صخره‌های مرجانی جهان در سال 1998 از بین رفتند. در نتیجه، پیش از پایان قرن بیست و یکم، صخره‌های مرجانی روی یک مآخذ سالانه، حتی تحت تأثیر سناریوهای خوش بینانه، با دمای بالای آستانه سفیدشدگی مواجه خواهند شد.

انطباق و خوگیری آب‌وهوایی، دو راه عمده برای موجودات زنده دریایی در واکنش به تغییر دما هستند. گونه‌های دریایی باید از طریق تغییر در فیزیولوژی‌شان، با آب‌وهوا خو بگیرند تا درجه بردباری‌شان نسبت به دماهای بالا افزایش یابد. انطباق برابر است با انتخابی از گونه‌های قوی‌تر، در حالی که بقیه اعضای این گونه، نه زنده می‌مانند و نه به دنیا می‌آیند. رخدادهای انطباق و خوگیری آب‌وهوایی شدیداً به مقیاس‌های زمانی تغییرات پیش‌یابی شده وابسته‌اند. زمان مورد نیاز برای خوگیری آب‌وهوایی چند روز است، اما انطباق خیلی کندتر صورت می‌گیرد.

تا آن‌جا که به گریت باریر ریف مربوط است، بردباری دمایی صخره‌های مرجانی از لحاظ جغرافیایی متغیر است و آستانه قابل رؤیت برای سفیدشدگی مرجان‌ها در قسمت شمالی ریف بالاتر است. بعضی از انطباق‌های خیلی طولانی‌مدت، بین منتخبی از گروه‌های دارای طاق گرمایی بیشتر و گونه‌های وابسته به هم‌زیگری، طبق وقایع سفیدشدگی قبلی رخ داده‌اند. بنابراین، دور برگشت و شدت چنین رخدادهایی موضوع تعیین‌کننده‌ای است. در این زمینه باید یادآوری شود که رخداد سفیدشدگی 1998 و نیز 2002 ، به‌عنوان بزرگ‌ترین رخداد سفیدشدگی برای گریت باریر ریف ثبت شده‌اند. دو دوره چند هفته‌ای اوضاع جوی گرم باعث شد، دمای آب دریا چندین درجه سلسیوس بیشتر از میانگین بلند مدت فصلی شود.

پیمایش هوایی در مارس و آوریل سال 2002 نشان داد که 60 درصد صخره‌های مورد بررسی سفید شده بودند. مطابق با تصاویر مدل، گرمایش در ناحیه گریت باریر ریف در محدوده 2 تا 5 درجه سلسیوس تا

سال ۲۱۰۰ خواهد بود. دورنمای بسیار محتمل تر این است که رخدادهای سفیدشدگی توده‌ای که به مرگ گستردهٔ مرجان‌ها منجر می‌شوند، بیش‌ترین فراوانی را روی سواحل استرالیا در دهه‌های آینده خواهند داشت. تصاویر مدلی نشان می‌دهند که فراوانی رخداد سفیدشدگی در هر دهه، ۱/۶ درصد بیشتر از قبل خواهد شد. اندازه‌گیری‌های میدانی نشان می‌دهند که کلونی‌های مرجانی به محدوده‌های گرمایشی‌شان که از آغاز دههٔ ۱۹۸۰ شروع شده‌اند، کاملاً نزدیک هستند. این موضوع نشان می‌دهد که هیچ‌گونه خوگیری آب‌وهوایی و انطباق در دو دورهٔ اخیر رخ نداده است.

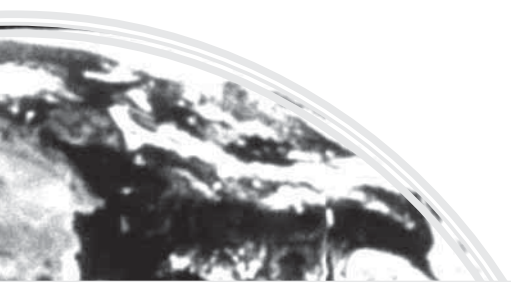
تأثیر روی تنوع زیستی دریایی: صخره‌های مرجانی نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی زیست‌بوم‌ها دارند. آن‌ها زیستگاه طبیعی اصلی برای صدها هزار گونهٔ ماهی و دیگر سازه‌وارها هستند و به شیوه‌ای دیگر، منبع اصلی تولید در اقیانوس‌های حاره‌ای فقیر از مواد غذایی به شمار می‌روند. گاهی مقدار بهره‌وری در داخل صخره‌ها بسیار بالا و چندین هزار بار بیشتر 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 زیست‌بوم‌های صخرهٔ مرجانی، موضوعی پیچیده با پیامدهای مثبت یا منفی ممکن برای تنوع زیستی دریایی است.

برای اکثر سازه‌وارهای صخره‌ای که مستقیماً به کلونی‌های مرجانی مربوط نیستند، پیش‌بینی نتایج سفیدشدگی مرجان خیلی مشکل است. روی‌هم‌رفته، فراوانی زیاد رخداد سفیدشدگی مرجان به کمترین جاذبه در صخره‌های مرجانی منجر خواهد شد. اما تنوع بعضی از گونه‌های دریایی و فراوانی بی‌مهرگان می‌تواند در کوتاه مدت افزایش یابد و آن‌ها به‌عنوان ساکنان جدید موجود می‌شوند. بعد از رخداد سفیدشدگی عمدهٔ سال ۱۹۹۸ که ۸۸ درصد از مرجان‌ها را در صخره‌های تانزانیاز بین برد، تنوع ماهی‌ها بدون تغییر ماند و فراوانی ماهی‌ها در حدود ۳۹ درصد رشد کرده؛ زیرا 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 هستند. در بلند مدت، سفیدشدگی مرجان سرعت تولید مثل، توان‌گیری و آهکی شدن را کاهش خواهد داد و به تخریب سراسری سکونتگاه‌های صخره‌ای می‌انجامد.

بنابراین انتظار می‌رود اثرات کاهش‌ی فراوندگی زیست‌بوم‌های صخره‌ای قابل توجه بشود. 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 محسوب می‌شوند. بنابراین، به احتمال زیاد، کاهش فراوانی و تنوع مرجان‌های دارای ساختمان صخره‌ای، اثر عمده‌ای روی

تنوع زیستی محیط‌های مجاور خواهد داشت. بازده شیلات حاره‌ای کاهش جهانی داشته و حالا ممکن است وضعیت جوامع محلی (اغلب فقیر) بحرانی شود. تاکنون مطالعات معدودی دربارهٔ موضوع پیامدهای بلند مدت سفیدشدگی مرجان روی سازه‌وارهای صخرهٔ مرجانی انجام پذیرفته است. با این همه، وجود هم‌بستگی بین تغییرپذیری پدیدهٔ انسو و وضعیت‌های منفی برای پرندگان دریایی، لاک‌پشت و پستانداران دریایی محرز شده است.

تأثیر روی گردشگری: سفیدشدگی مرجان‌ها پیچیدگی‌هایی نیز در صنعت گردشگری در پارک دریایی گریت باریر ریف داشته است. صنعت گردشگری دریایی سهم عمده‌ای در اقتصاد استرالیا دارد. گردشگری بزرگ‌ترین فعالیت تجاری در ناحیهٔ گریت باریر ریف است که تقریباً ۱/۸ میلیون بازدیدکننده را هر سال جذب می‌کند و حدود ۵/۱ میلیارد دلار (دلار استرالیا) درآمدزایی 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 به‌عنوان سامانهٔ پالاینده برای مصب و آب شیرین عمل می‌کنند

فعالیت در پارک بودند. خیلی از گردشگران از صخره‌هایی که به ساحل نزدیک‌تر هستند و می‌توان دو ساعته با قایق به آن‌ها رسید، بازدید می‌کنند. این صخره‌های نزدیک ساحل در آب‌های نسبتاً کم عمق واقع شده‌اند و بنابراین بالقوه، بیشتر در معرض آلودگی از طریق رودهای هم‌جوار در نواحی ساحلی نزدیک قرار دارند. در زمینهٔ تغییر آب‌وهوا، انتظار می‌رود که رخدادهای سیلاب از نظر فراوانی کمتر شوند، ولی شدت بیشتری داشته باشند و بار مواد رسوبی و غذایی افزایش می‌یابد. هم‌چنین، فاصلهٔ آب‌های سیلابی بلافاصله پهنهٔ صخره گسترش می‌یابد. بنابراین، تغییر آب‌وهوا در گریت باریر ریف پیامدهای مستقیمی برای اقتصاد محلی داشته است، اما این تهدید برای دیگر صخره‌های سراسر جهان هم وجود دارد و تخمین زده می‌شود 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 وسیله شبکه پیچیده‌ای از آبراهه‌های جزرومدی، فلات‌های گلی و جزایر کوچک جنگل‌های حرا، مشبک شده است. جنگل‌های حرا از درختان همیشه سبز سازگار با نمک تشکیل شدند. این جنگل‌ها به ناحیه 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 سامانه پالایند 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 لچی، 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 اقیانوس‌های جهانی ایجاد می‌شود)، فرونشینی طبیعی دنباله‌داری در ساندر بانس وجود دارد که سبب بالا آمدن سطح آب دریا در حدود ۲/۲ میلی‌متر برای هر سال می‌شود. در نتیجه، 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 منطقه ساندر بانس را تهدید می‌کند.

ساندر بانس، هم‌چون خیلی از نواحی مورد حفاظت جهان، به وسیله 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 تحت تأثیر 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 چرخنده‌ها در آینده به دلیل آشفتگی‌های آب‌وهوایی تغییر کند و چه تغییر نکند، اگر جنگل‌های حرا به‌طور مناسبی مورد محافظت قرار نگیرند، اثرات ویران‌کننده طوفان‌ها افزایش خواهد یافت. بالا آمدن سطح دریا به‌طور 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 باقی‌مانده جنگل‌های حرا در نواحی حفاظت‌شده.
 - ترمیم یا احیای جنگل‌های حرا از طریق کاشت مجدد گونه‌های اصلاح‌شده 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 «برنامه توسعه سازمان ملل» (UNDP)، هزینه ساخت ۲۲۰۰ کیلومتر 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 هزینه تعمیر و نگهداری سالانه 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 باقی‌مانده بزرگ‌ترین مارمولک‌های جهان، یعنی اژدهای کومودو، محسوب می‌شود که در هیچ نقطه‌ای دیگر در جهان موجود نیست و جاذبه 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 آشیانه ساحلی

به منظور تشخیص پیامدهای تهدید بالا آمدن سطح دریا و ارزیابی میزان آسیب پذیری سواحل از سیلاب و فرسایش، باید از ریخت شناسی سواحل دارای آشیانه لاک پشت ها و زمین های مجاور آن استفاده کرد

لاک پشت های دریایی را تحت تأثیر قرار بدهد و تغییر در دمای جو ممکن است به جوجه آوری تخم های لاک پشت های دریایی زیان برساند. به علاوه، در صورتی که جنگل های حرا فضایی برای پسروری یا پیشروی در خط ساحلی نداشته باشند، بالا آمدن سطح دریا می تواند حفاظت از این جنگل ها را غیرممکن سازد. تا آن جا که به اژدهای کومودو مربوط است، تاکنون هیچ مدرکی دال بر اثرات احتمالی تغییر آب و هوا روی این جمعیت بومی ارائه نشده است.

دمای سطح دریا افزایش یافته است که موجب سفیدشدگی مرجان ها و افزایش مرگ و میر پولیس ها (نوعی مرجان آبی) می شود و شاید به تلفات تنوع زیست شناختی و خدمات زیست بومی که صخره های مرجانی تولید می کنند، منتج شود (برای مثال، محافظت از ساحل، ماهی گیری و گردشگری). به علاوه، افزایش سطوح دی اکسید کربن جو، غلظت اسید کربنیک و یون کربنات را در اقیانوس تغییر می دهد. این امر باعث کاهش یون های کربنات می شود که برای آهکی شدن مرجان ها ضروری است و نتیجه اش ضعف ساختار اسکلتی، کاهش سرعت رشد، کاهش توانایی رقابت برای فضای زیستی در صخره ها و افزایش حساسیت به شکستگی و فرسایش زیستی خواهد بود.

دمای مرتبط با سفیدشدگی پیش از این در سال های ۱۹۹۸ و ۱۹۹۹ رخ داده بود. البته این رخداد به قسمت های شمالی پارک ملی کومودو محدود بود؛ جایی که جریان های ضعیف تر و آمیختگی دما از طریق ستون های آب به حداقل می رسد. قابلیت انعطاف صخره های مرجانی را در پارک ملی کومودو می توان به وسیله اجرای «تأخیر غیر قابل برداشت»^۲ که پیش از این محقق شده بود، تا حد زیادی بهبود بخشید. منطقه غیر قابل برداشت، جمعیت سالم ماهیان شامل ماهی علف خوار، مانند «سورجن» و طوطی ماهی را تثبیت می کند که این به تداوم رشد «ماکرو آلگ» های تحت کنترل، بعد از رخداد سفیدشدگی توده ای، کمک می کند. بنابراین، فشار چرای ماهیان علف خوار، بهبود بهره روری صخره های مرجانی را به وسیله حفظ رقابت بین ماکرو - آلگ ها و مرجان های ساکن برای یافتن فضا، به نفع دومی افزایش می دهد.

علاوه بر این، یک برنامه دنباله دار و مناسب پایش مرجانی، شامل شاخص مرتبط با سفیدشدگی توده ای که ادراک ما را از این پدیده اصلاح کند، باید اجرا شود. افزایش دما، زندگی لاک پشت های دریایی را از طریق دمای جوجه آوری تخم ها تحت تأثیر قرار خواهد داد و مثلاً در تعیین جنسیت نوزادهایی که از تخم بیرون خواهند آمد، نقش مؤثر خواهد داشت. دماهای بالاتر غلبه جنسی را به سوی غلبه نوزادهای مؤنث سوق می دهد. اگرچه ممکن است نسبت بیشتر مؤنث ها باروری جمعیت لاک پشت های دریایی را افزایش دهد، اما این اثر سودمند، اگر فرصت آشیانه سازی به دلیل خسارت به آشیانه های ساحلی بر اثر بالا آمدن سطح دریا کاهش یابد، بی اثر خواهد شد.

پیامد ترکیب اثرات بالا آمدن سطح دریا و دمای افزایش یافته، نامعلوم است. با توجه به ابهام در تأثیر تغییر آب و هوا بر جمعیت های لاک پشت دریایی، گزینه های مدیریتی باید احتمال بقای گونه های مذکور را توسط تمرکز روی کاهش دیگر تهدیدها، مثل صید غیر قانونی لاک پشت ها و تخم هایشان و شکار شدن به وسیله گراز وحشی و اژدهای کومودو، افزایش دهند. علاوه بر این، پایش محدوده ها و روندهای دمایی تبدیل تخم به نوزاد، به نوزادان لاک پشت دریایی برای سریع تر بیرون آمدن از پوست و مقابله آرام با اثرات تغییر آب و هوا کمک می کند. چنین برنامه ای، به دلیل بلوغ دیررس لاک پشت ها، فعالیتی طولانی مدت است.

به منظور تشخیص پیامدهای تهدید بالا آمدن سطح دریا و ارزیابی میزان آسیب پذیری سواحل از سیلاب و فرسایش، باید از ریخت شناسی سواحل دارای آشیانه لاک پشت ها و زمین های مجاور آن استفاده کرد. تخم ها، در سواحلی که مرتباً دچار سیلاب و فرسایش می شوند، در وضعیت دشواری قرار می گیرند. از این رو می توان آن ها را به سواحل با ثبات بیشتر انتقال داد و دوباره دفن کرد. بازیابی و به خاک سپاری چنین تخم هایی باید به توجه به تفاهم نامه های مفصل استاندارد در خصوص زمان بندی و بررسی تخم ها برای جابه جایی انجام شود. بالا آمدن سطح دریاها پراهمیت ترین تهدید تغییر آب و هوا برای جنگل های حرا محسوب می شود که به فرسایش، سیلاب و تلفات می انجامد. جنگل های حرای حاشیه ای که به زمین های مرتفع منتهی می شوند و به رسوبات آهن دار محدود هستند، تلفات بیشتری را از طریق فرسایش و سیلاب نسبت به جنگل های حرای که در بالادست آن ها فلات های نمکی و سواحل پست قرار دارند، تجربه می کنند. جنگل های حرای جزایر پست هم ممکن است سریعاً زیر آب بروند، زیرا نمی توانند جابه جا شوند و پهنه های رسوبی لازم برای استقرار آن ها بسیار محدود است.

پی نوشت

1. Resilience
2. No-takezone

منبع

http://whc.unesco.org/documents/publi_climatechange.pdf