نهشته‌های گاز گلخانه‌ای در اعماق دریا

جیمز بی. بِل
ترجمه مجید کوهستانیان، دبیر زمین‌شناسی ناحیه ۶ مشهد مقدس

چکیده
هیدرات‌های گازی بزرگ‌ترین نهشته هیدروکربنی دنیا هستند. این نهشته‌ها در همه رسوبات دریایی توزیع شده‌اند و پایداری آن‌ها عمدتاً به دما و فشار وابسته است. در واقع حدود ۹۹ درصد از این نهشته‌های هیدروکربنی شامل متان هستند که یك گاز گلخانه‌ای قدرتمند به‌شمار می‌رود. متان آزاد شده از هیدرات‌های گازی، در رویدادهای انقراض گروهی دخالت داشته است. تغییرات کنونی و آتیِ دمای اقیانوس، توانایی افزایش آهنگ تولید متان از هیدرات‌های گازی و بنابراین امکان تأثیر بر اقلیم زمین را دارد. در حالی که اعماق دریا معمولاً به‌عنوان جاذب گازهای گلخانه‌ای عمل می‌کند، آزاد شدن متان از هیدرات‌های گازی می‌تواند منبع بسیار چشمگیری در آینده باشد. بنابراین می‌تواند خطری واقعی در تلاش‌های ما برای محدود کردن انتشار گاز گلخانه‌ای به‌وجود آورد.

کلیدواژه‌ها: گاز گلخانه‌ای، نهشته هیدروکربنی، متان، شیب قاره‌ای، زمین‌لرزه زیردریایی

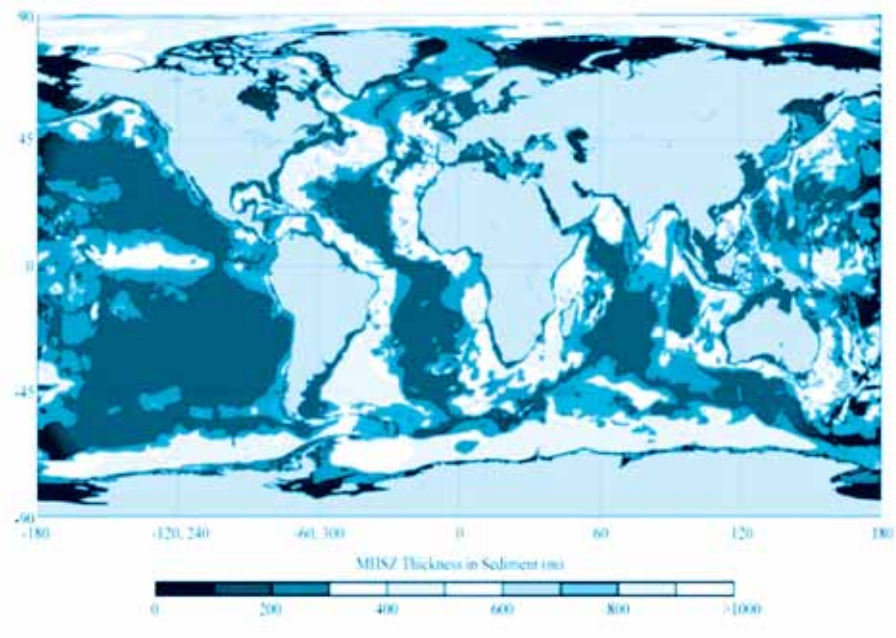
مقدمه
نهشته‌های عظیمی از هیدرات‌های گازی در زیر بستر دریاها، در امتداد حاشیه قاره‌ها (تصویر ۱) و در سرزمین‌های همیشه یخ‌زده قاره‌ای وجود دارند. هیدرات‌های گازی عمدتاً از گاز متان تشکیل می‌شوند که به‌صورت یخ‌زده در قفس مولکولی یخ قرار دارد (تصویر ۲). این هیدرات‌ها می‌توانند در هر رسوب دریایی غنی از مواد آلی که به اندازه کافی عمیق و سرد باشد، به‌وجود آیند. این نهشته‌ها روی فلات‌های قاره‌ای فراوانند، زیرا فلات قاره جایی است که در آن بیشتر تولید مثل در سطح اقیانوس‌ها رخ می‌دهد و بنابراین رسوبات زیر آن‌ها از ترکیبات شیمیایی آلی غنی‌ترند. این ترکیبات می‌توانند متان تولید کنند. متان در رسوبات دریایی از دو روش تولید می‌شود: ۱. فعالیت میکروبی، ۲. تجزیه و تخریب حرارتی مواد آلی. هیدرات‌های گازی خطر طبیعیِ بالقوه‌ای به حساب می‌آیند، زیرا ۱۵۰ تا ۱۶۰ برابرِ حجم خود، گاز متان دارند.

تراوش متان
گاز متان به‌طور طبیعی و به‌طور پیوسته از هیدرات‌های موجود در اعماق دریا تفکیك می‌شود (تصویر ۳). این آزاد شدن تدریجی متان که تراوش سرد نامیده می‌شود، اکوسیستم‌های اعماق دریا را توانمند می‌سازد. در همین مناطق است که باکتری‌ها می‌توانند از انرژی متان برای تثبیت کربن در شکر استفاده کنند و مبنایی برای یك زنجیره غذایی مستقل از نور به‌وجود آورند. حتی گونه‌هایی از کرم‌ها در اعماق دریا وجود دارند که می‌توانند به‌طور مستقیم روی هیدرات بیرون‌زده متان زندگی کنند (تصویر ۴). شواهد فسیلی نشان می‌دهند که حباب‌دار شدن تدریجی متان از درون رسوبات اعماق دریا، دست‌کم از ۴۵۰ میلیون سال پیش تاکنون، بخشی از ریتم‌های طبیعی زمین بوده است.

به هر حال شاهدی وجود دارد مبنی بر اینکه ممکن است در گذشته، آزاد شدن دوره‌ای متان به درون جو نیز رخ داده باشد. گرچه در مورد دلایل انقراض‌های گروهی بحث و اختلاف‌نظر وجود دارد، اما آزاد شدن متان در چندین رویداد انقراض در اثنای سرگذشت زیست‌شناختی زمین نقش داشته است. چنین رویدادهایی شامل انقراض گروهی اواخر پرمین (بزرگ‌ترین زوال یك مرحله‌ای فراوانی گونه‌ها در سرگذشت زمین در حدود ۲۵۲ میلیون سال پیش) و بیشینه حرارتی پالئوسن (وقتی که در حدود ۶۵ میلیون سال پیش، دمای اعماق دریا به اندازه ۱۵ درجه سانتی‌گراد بالاتر از دمای امروزی بود) هستند.

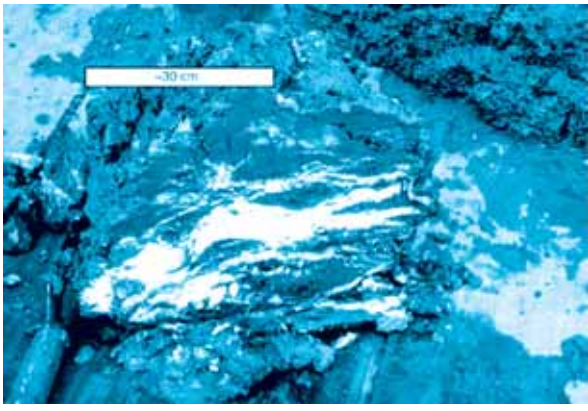
برآورد شده است که تقریباً ده هزار میلیون تُن متان درون این نهشته‌های زیردریایی جهانی نهفته است که آن‌ها را به بزرگ‌ترین نهشته‌های هیدروکربن زمین تبدیل می‌کند. پایداری هیدرات‌های متان وابستگی بسیار نزدیکی به دما و فشار دارد. در حالی که فشار در عمق معینی از اقیانوس معمولاً پایدار است، دما این‌طور نیست. اقیانوس‌ها بیش از ۹۰ درصد گرمای اضافی جوّ را که توسط اثر گلخانه‌ای نگه داشته می‌شود جذب می‌کنند. از دهه ۱۹۵۰ در حدود دوسوم انرژی اضافی واردشده به اقیانوس‌ها توسط آب‌های سطحی (صفر تا ۷۰۰ متر) جذب شده که معادل با افزایش دمای ۰/۱۸ درجه سانتی‌گراد است و حدود یك‌سوم آن

شواهد فسیلی نشان می‌دهند که حباب‌دار شدن تدریجی متان از درون رسوبات اعماق دریا، دست‌کم از ۴۵۰ میلیون سال پیش تاکنون، بخشی از ریتم‌های طبیعی زمین بوده است



تصویر ۱: اندازه و توزیع جهانی برآوردشده برای رسوباتی که می‌توانند حاوی هیدرات‌های گازی باشند.

به آب‌های عمق متوسط (۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متر) وارد شده است. دما در اعماق دریا پایدار مانده است، اما با گذشت صدها سال آب‌های سطحی به سمت پایین چرخش پیدا کرده و به این ترتیب اعماق دریا را نیز گرم‌تر کرده‌اند. افزایش دمای اعماق دریا باعث می‌شود که متان بیشتری از هیدرات‌ها آزاد شود. فقط اقیانوس‌های بسیار سرد، هیدرات‌های متان را در بالای عمق حدود ۳۰۰ تا ۴۰۰ متر نگه می‌دارند، لذا تاکنون بیشتر هیدرات‌های متان از بدترین گرم‌شدن مصون مانده‌اند.



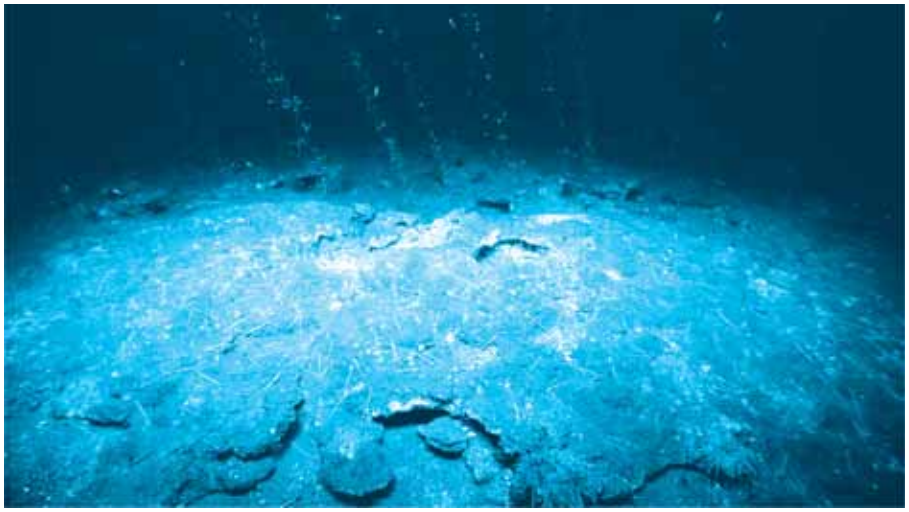
تصویر ۲: هیدرات گازی (بلورهای سفید) در رسوب دریایی جمع‌آوری شده از عمق ۱۲۰۰ متری دور از ساحل اورگون (تصویر از دامنه همگانی کاربر ویکی‌مدیا Wusel ۷۰۰).

متان، یک گاز گلخانه‌ای

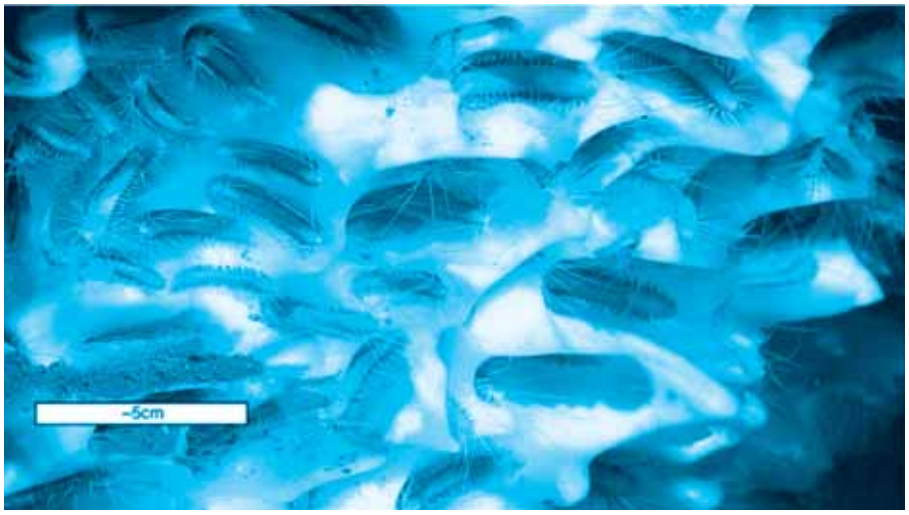
در حال حاضر اقلیم جهانی در حال گرم شدن است. بنابراین در نهایت با گرم شدن اعماق دریا، مقدار بیشتری از هیدرات‌های متان اقیانوس‌ها در آینده آزاد خواهد شد. متان یک گاز گلخانه‌ای قدرتمند است (تقریباً بیست بار قوی‌تر از کربن‌دی‌اکسید) و آزاد شدن آن از نهشته‌های زیردریایی می‌تواند بر اقلیم بسیار تأثیرگذار باشد. آزاد شدن این متان به درون جوّ، اثر گلخانه‌ای را افزایش می‌دهد و باعث افزایش بیشتر پدیده گرم شدن خواهد شد، که این عمل باعث تشدید آزاد شدن مقدار بیشتری از متان می‌شود. این مورد مثالی از حلقه بازخوردی مثبت است.

مدل رایانه‌ای جدید برای آزاد شدن متان در آینده نزدیک، حاکی از آن است که در طول سه قرن آینده در هر سال تا حدود ۳۰ میلیون تُن متان از رسوبات دریایی در امتداد حاشیه‌های قاره‌ای اروپا آزاد خواهد شد. اعماق دریا در اطراف حاشیه‌های قاره‌ای اروپا به‌طور مشخص بسیار گرم‌تر از دریاهای قطبی است؛ بنابراین آن‌ها نهشته‌های بسیار کمتری از هیدرات‌های متان را نگه می‌دارند. تحقیق چاپ شده در مجله **نیچر** در سال ۲۰۱۳ حکایت از آن دارد که آهنگ آزاد شدن متان از دریاهای فلات قطبی شرق سیبری در ۵۰ سال آینده می‌تواند به اندازه ۱ میلیارد تُن در هر سال باشد. این مقدار متان توانایی ۲۰ میلیون تُن گاز گلخانه‌ای کربن‌دی‌اکسید در هر سال را دارد، که تقریباً دوسوم انتشار جهانی کربن‌دی‌اکسید در سال ۲۰۱۲ است و حتی یکی از بزرگ‌ترین نهشته‌ها هم نیست. توانایی بالقوه عظیمی در فلات‌های قاره‌ای وسیعِ قطب جنوب نهفته است و

مدل رایانه‌ای جدید برای آزاد شدن متان در آینده نزدیک، حاکی از آن است که در طول سه قرن آینده در هر سال تا حدود ۳۰ میلیون تُن متان از رسوبات دریایی در امتداد حاشیه‌های قاره‌ای اروپا آزاد خواهد شد. اعماق دریا در اطراف حاشیه‌های قاره‌ای اروپا به‌طور مشخص بسیار گرم‌تر از دریاهای قطبی است؛ بنابراین آن‌ها نهشته‌های بسیار کمتری از هیدرات‌های متان را نگه می‌دارند



تصویر ۳: خروج حباب‌های متان از حاشیه قاره‌ای غرب اقیانوس اطلس (تصویر از دامنه همگانی برنامه کاشف اوکینوس NOAA).

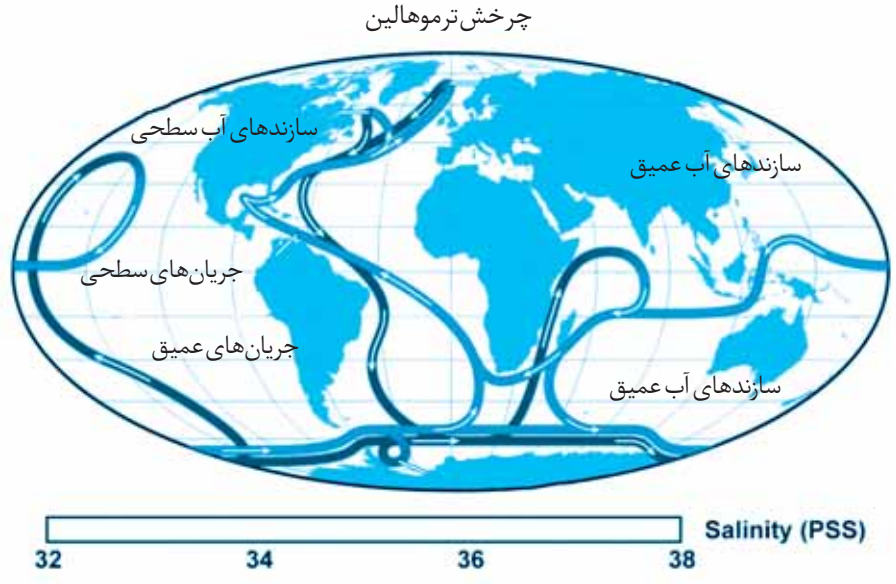


تصویر ۴: هسیوککا متانیکولا (پلیکتا، هسیوینده) که روی هیدرات‌های متان در خلیج مکزیک زندگی می‌کنند. (تصویر از دامنه همگانی برنامه کاشف اوکینوس NOAA)

مقدار متانی که می‌تواند از آنجا آزاد شود، هنوز هم مشخص نیست.

تقریباً به‌خوبی معلوم شده است که گرم شدن هوا و اقیانوس، به سمت قطب‌ها سریع‌تر اتفاق می‌افتد و به‌علت سردتر بودن رسوبات اقیانوسی در مناطق قطبی، آن‌ها این ظرفیت را دارند که در اعماق کمتر، هیدرات‌های متان بیشتری نسبت به جاهای دیگر داشته باشند. نواحی دیگر که به‌ویژه در آینده نزدیک احتمال دارد تحت تأثیر قرار بگیرند، مناطقی هستند که گرم‌شدن اعماق دریا در آنجا شدیدترین حالت را خواهد داشت. نوار نقاله جهانی اقیانوسی یا چرخش ترموهالین (علت این نامگذاری آن است که این چرخش از اختلاف گرما و شوری توده‌های آب ناشی می‌شود) سه منطقه کلیدی برای تشکیل آبِ عمیق دارد: دو منطقه در اقیانوس اطلس شمالی و یکی در اقیانوس اطلس جنوبی (تصویر ۵).

در اینجا آب بسیار سنگین موجود در سطح، به اعماق چند هزار متری فرو می‌رود و سپس در آنجا در اطراف منطقه عمیق دریا می‌چرخد. در بیشتر نواحی عمیق دریا، بین آب کم‌عمق و آب عمیق تبادل بسیار محدودی وجود دارد، لذا تغییر دما در اعماق کند است، اما تغییر دما در این مناطقِ تشکیلِ آب عمیق از همه سریع‌تر خواهد بود. ارزش بالقوه این است که افزایش دمای سطحی، تبادل میان آب‌های کم‌عمق و عمیق را حتی باز هم کندتر می‌کند. این گفته بدان معناست که در بسیاری از نواحی، به‌ویژه در مناطق اقیانوسی استوایی که تحت تأثیر وجود یک ترموکلاین دائمی، اقیانوس به شدت لایه‌لایه است، اعماق دریا- دست‌کم به مدت چندصد سال- احتمالاً بسیار کمتر گرم می‌شود. چرخش ترموهالین تقریباً هزار سال زمان نیاز



تصویر ۵: چرخش ترموهالین (تصویر از دامنه همگانی رصدخانه زمینی ناسا/ آر. سیمون).

دارد تا آب فرورفته در اقیانوس اطلس شمالی در شمال‌شرق اقیانوس آرام بالا بیایید. بنابراین بعد از مدتی آب فرورفته در مناطق تشکیل آب عمیق در اکثر دریاهای عمیق- به‌جز در حوضه‌های بسته مانند مدیترانه- پخش خواهد شد. گرم شدن ابتدا بر اقیانوس اطلس شمالی و جنوبی تأثیر خواهد گذاشت و بخش عمیق شمال‌شرق اقیانوس آرام احتمالاً آخرین منطقه‌ای است که این تأثیر را احساس می‌کند.

عامل دیگری که باید در نظر گرفته شود آن است که بسیاری از شیب‌های قاره‌ای بر روی مناطق فرورانش قرار دارند. این وضعیت بدان معناست که خطر زمین‌لرزه‌های زیردریایی که باعث ایجاد ترک‌ها یا ناپایداری زیاد شیب در رسوبات هیدرات‌دار می‌شود، همیشه وجود دارد. زمین‌لرزه‌ها می‌توانند باعث آزاد شدن بسیار ناگهانی هیدرات‌های متان شوند، زیرا سبب ایجاد ترک‌هایی در رسوبات نفوذناپذیرتر می‌شوند و فشار را به‌سرعت از روی هیدرات‌های متان برمی‌دارند و ورود گاز به جوّ را به شدت افزایش می‌دهند. برآورد می‌شود زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ۸/۱ دور از ساحل پاکستان، که سبب ایجاد شکاف‌هایی در رسوبی شد و در صورت نبودن زمین‌لرزه از آزاد شدن گاز جلوگیری می‌کرد، از سال ۱۹۴۵، ۵۰۰۰ تُن متان دیگر به جوّ وارد کرده است. این مؤلفه چرخه اقلیمی جهانی تا همین اواخر هم در برآوردهای مربوط به چگونگی تغییر اقلیم در آینده، در نظر گرفته نمی‌شد. هیچ راهی وجود ندارد که بدانیم زمین‌لرزه بعدی در منطقه فرورانش کی و کجا رخ خواهد داد، اما آهنگ رخداد زمین‌لرزه‌ها در مقیاس‌های زمانی بسیار طولانی قابل پیش‌بینی‌تر است. زمین‌لرزه‌ها علت دائمی و چاره‌ناپذیر آزاد شدن دوره‌ایِ گازهای گلخانه‌ای در جوّ زمین هستند. هم‌چنین هیدرات‌های متان یك منبع انرژی بالقوه به‌شمار می‌روند که می‌توانند جایگزین ذخایر روبه کاهش نفت و گاز باشند. این نگرانی همگانی وجود دارد که شاید این هیدرات‌ها همانند زمین‌لرزه‌های زیردریایی باعث آزاد شدن متان بیشتری شوند.

آینده

در قبال آزاد شدن متان از اعماق دریا در عمل چه کار می‌توان کرد؟ جلوی زمین‌لرزه‌ها را نمی‌توان گرفت، اما شدت گرم شدن نهشته‌های زیردریایی را می‌توان محدود کرد. کنترل انتشار گازهای گلخانه‌ای از منشأ بشری، علاوه بر داشتن مجموعه‌ای از فایده‌های دیگر در سیاره زمین، گرم شدن اقیانوس‌ها را محدود می‌کند و هیدرات‌های گازی بیشتری را به حالت یخ‌زده نگه خواهد داشت. هیچ اراده‌ای برای افزایش کنترل مستقیم بر هیدرات‌های گازی وجود ندارد. تلاش برای گیرانداختن آن‌ها در لایه‌های دریایی، چالشی مهم است که نشان از گستردگی آن‌ها دارد. در واقع باید گفت که دانش توزیع دقیق آن‌ها در دنیا وجود ندارد.

اقیانوس‌ها بیش از ۹۰ درصد گرمای اضافی جوّ را که توسط اثر گلخانه‌ای نگه‌داشته می‌شود جذب می‌کنند. از دهه ۱۹۵۰ در حدود دوسوم انرژی اضافی واردشده به اقیانوس‌ها توسط آب‌های سطحی (صفر تا ۷۰۰ متر) جذب شده که معادل با افزایش دمای ۰/۱۸ درجه سانتی‌گراد است و حدود یك‌سوم آن به آب‌های عمق متوسط (۷۰۰ تا ۲۰۰۰ متر) وارد شده است. دما در اعماق دریا پایدار مانده است، اما با گذشت صدها سال آب‌های سطحی به سمت پایین چرخش پیدا کرده و به این ترتیب اعماق دریا را نیز گرم‌تر کرده‌اند