-- The Quarterly Journal of Public Law Research ------
Winter 2022, 73 (23), 183- 214
qjpl.atu.ac.ir
DOI: 1022054/QJPL.2021.56346.2511

Original Research
Received: 24/Oct/2020
Accepted: 08/May/2021
ISSN:2345-6116
eISSN:2476-6216

Geoengineering and the Approach of International Environmental Documents towards It's Regulation

Zahra Mahmoodi Kordi* Assistant Professor, Law Group, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Masomeh Gholami Miansaraee Master Student, International Law, University of Mazandaran, Babolsar, Iran

Abstract

Climate change is considered to be the biggest crisis of the present era, and traditional approaches have not been very effective to deal with it yet. Thus, in recent decades, geoengineering which includes two main methods of carbon dioxide removal and solar radiation management has come to the attention of countries. Like other emerging technologies, besides its benefits, most important of which to combat climate change, due to scientific uncertainty, they might have harmful effects on the environment. The present article has aimed to describe geoengineering methods and their environmental pros and cons. The findings of the article show that although the geoengineering methods in international environmental treaties are scattered, mostly in the form of implicit expressions, the rules and the actions of member states indicate the different and sometimes contradictory attitudes toward geoengineering, which varies from explicit or implicit approval of some methods, especially in treaties related to climate change, to explicit and implicit opposition of others, such as the Convention on Biological Diversity, the London Protocol, and the Ozone Conservation Convention. This dispersion is so great that a specific legal system cannot be assumed.

Keywords: Climate Change, Geoengineering, International Law, Environment, Regulation.

* Corresponding Author: zmahmoodi4@gmail.com
How to Cite: Mahmoudi Kordi, Z., Gholami Miansarayi, M, (2022), "Geoengineering and the Approach of International Environmental Documents Towards It's Regulation", Public Law Researsh, 23(73), 201-236. doi: 10.22054/qjpl.2021.56346.2511

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۸/۳ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۱۸ ISSN: ۲۳۴۵-۶۱۱۶ eISSN: ۲۴۷۶-۶۲۱۶

-- فصلنامه علمی پژوهش حقوق عمومی ---------

دوره ۲۳، شماره ۷۳، زمستان ۱۴۰۰، ۲۱۴-۱۸۳

qjpl.atu.ac.ir

DIO: 1022054/QJPL.2021.56346.2511

ژئومهندسی و رویکرد مقررات بین‌المللی زیست‌محیطی در تنظیم آن

زهرا محمودی کردی *

استادیار گروه حقوق، دانشکده حقوق و علوم سیاسی دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

معصومه غلامی میانسرایی

دانشجوی کارشناسی ارشد حقوق بین‌الملل دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران

چکیده

تغییرات اقلیمی بعنوان بزرگترین بحران عصر حاضر قلمداد می‌شود که تاکنون رویکردهای سنتی برای مقابله با آن چندان کارساز نبوده‌اند. از این‌رو در دهه‌های اخیر، ژئومهندسی که شامل دو روش اصلی حذف دی‌اکسیدکربن و مدیریت پرتوهای خورشیدی می‌شود مورد توجه کشورها قرار گرفته است. این فنون همچون سایر فناوری‌های نوظهور در کنار مزایایی که مهمترین آن مقابله با تغییرات اقلیمی است، به دلیل عدم قطعیت علمی می‌توانند آثار زیانباری برای محیط زیست در پی داشته باشند. این نوشتار با هدف توصیف روش‌های ژئومهندسی، معایب و مزایای زیست‌محیطی آنها و رویکرد معاهدات زیست‌محیطی به آنها نگارش یافته است. یافته‌های مقاله نشان می‌دهد هرچند روش‌های ژئومهندسی در معاهدات زیست‌محیطی عمدتا در قالب عبارات ضمنی و ندرتاً به صورت صریح به نظم کشیده شده است اما مقررات و نیز طرز عمل دولت‌های عضو، حکایت از نگرش‌های متفاوت و بعضا متعارض نسبت به ژئومهندسی دارد که از تأیید صریح یا ضمنی برخی از روش‌ها بویژه در معاهدات مربوط به مقابله با تغییرات اقلیمی تا مخالفت صریح و ضمنی برخی دیگر همچون کنوانسیون تنوع زیستی، کنوانسیون حفاظت از لایه ازون متغیر است. این پراکندگی تا حدی است که نمی‌توان قائل به یک نظام حقوقی منسجم در این رابطه بود.

واژگان کلیدی: تغییرات اقلیمی، ژئومهندسی، حقوق بین‌الملل محیط زیست، معاهده.

* نویسنده مسئول: zmahmoodi4@gmail.com

مقدمه

تغییرات اقلیمی به عقیده بسیاری از دانشمندان، بزرگترین بحرانی است که بشر تاکنون با آن مواجه شده است؛ شدت این تغییرات در قرن اخیر به حدی بوده که باعث به خطر افتادن حیات جانوران و تغییر در پراکندگی جغرافیای طبیعی آنها شده است.[۱] محیط زیست انسانی نیز از این پدیده آسیب‌های بسیار دیده است؛ مسائلی همچون سیل، طوفان و خشکسالی که موجب مهاجرت اجباری انسان‌ها، شیوع بیماری‌های واگیردار، کمبود منابع آب و غذا، کاهش بهره‌وری کشاورزی و ... می‌شود، نمونه‌هایی از این آسیب‌هاست.

گرمایش زمین مهمترین عامل تغییرات اقلیمی می‌باشد و انتشار گازهای گلخانه‌ای (به طور عمده دی‌اکسیدکربن) علت اصلی افزایش دمای زمین است. افزایش میانگین دمای هوا و اقیانوس‌ها، ذوب گسترده یخ‌ها و بالا رفتن سطح آب دریاها بیانگر این است که جهان در حال گرم شدن است. آمارها نشان می‌دهد میزان دی‌اکسیدکربن در حال حاضر حدود ۴۱۵ بخش در میلیون است،[۲] حال آنکه این میزان پیش از صنعتی شدن، ۲۸۰ بخش در میلیون بوده است؛[۳] بر همین اساس انتظار می‌رود که طی ۱۰۰ سال آینده، کره زمین افزایشی معادل ۲/۵ تا ۱۰ درجه فارنهایت را تجربه کند.[۴] با توجه به اثرات مخرب افزایش دما برای محیط زیست، بشر همواره به دنبال راهکارهایی برای مقابله با آن بوده است.

امروزه مجموعا دو روش برای مقابله با گرمایش زمین وجود دارد که شامل: الف- روش‌های سنتی (کاهش[۵] و سازگاری[۶]) و ب- روش جدید ژئومهندسی می‌شود. هدف روش نخست، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای از طریق اقداماتی مانند استفاده از

---

۱. سید کاظم قریشی و ایرج رحیمی پردنجانی و محمد طاهری، «اثرات زیست‌محیطی تغییرات اقلیمی»، اولین کنفرانس ملی آلودگی‌های محیط زیست با محوریت زمین پاک، اردبیل، (۱۳۹۳)، ۳،
https://civilica.com/doc/321496, available at Accessed November 2020.

2. Carbon Dioxide, NASA (November 2020) Available at: https:// climate. nasa. gov/vital-signs/carbon-dioxide/, Accessed November 2020.

۳. در سال ۱۸۵۰ ثبت دمای زمین با استفاده از روش‌های علمی شروع شد و اکنون زمین از سال‌های ۱۸۵۰ تا ۱۹۰۰ (پیش از صنعتی شدن)، یک درجه گرمتر شده است.

4. The Effects of Climate Change, NASA, (2019), Available at: https:// climate. nasa. gov/ effects/, Accessed August 2020.

انرژی‌های تجدیدپذیر و جلوگیری از جنگل‌زدایی است. اثرگذاری این رویکرد نیاز به زمان زیادی داشته و تاکنون نیز موفقیت‌آمیز نبوده؛ روش سازگاری به دنبال تعدیل پیامدهای تغییرات اقلیمی، مقابله با آن و به طور کلی آمادگی برای مواجه با اثرات کنونی و پیش‌بینی شده تغییرات اقلیمی است. برای مثال می‌توان به ساخت سدهای دریایی برای مقابله با بالا آمدن سطح دریاها اشاره کرد که روشی پر هزینه به شمار می‌رود، بعلاوه در بسیاری از موارد مثل محافظت از جزایر کم‌ارتفاع اقیانوس آرام یا هند، انجام این روش میسر نیست. در مجموع روش‌های سنتی زمان‌بر و پرهزینه بوده و از همه مهمتر اینکه توانایی واکنش در قبال تغییرات پرشتاب حاصل از گرمایش زمین را ندارند. وضعیت موجود نیز نشان می‌دهد که کشورها نتوانسته‌اند از طریق رویکردهای فوق با گرمایش زمین مقابله کنند.[1] به همین دلیل در دهه‌های اخیر، روش جدیدی مورد توجه قرار گرفته که ژئومهندسی یا مهندسی‌اقلیم[2] نام دارد. ژئومهندسی به معنای «دستکاری عمدی در زمین برای مقابله با تغییرات اقلیمی، در مقیاس بزرگ» است که برای اولین بار در سال ۱۹۷۷ وارد ادبیات علمی شد.[3] با توجه به جدید بودن آن در مقایسه با روش‌های سنتی، پژوهش‌های کمتری درباره آن به رشته تحریر درآمده است. به جرأت می‌توان گفت در نوشته‌های حقوقی فارسی، تحقیقی در این رابطه انجام نشده است. این مقاله با هدف شناخت روش‌های ژئومهندسی و جایگاه آن در حقوق بین‌الملل تدوین گردیده و به دنبال پاسخ به این سوالات است که اولاً ژئومهندسی چیست؟ و ثانیاً آیا روش‌های ژئومهندسی در حقوق بین‌الملل معاهداتی به نظم کشیده شده است؟

به منظور پاسخ به سوالات مطروحه، مقاله از دو بخش تشکیل گردیده، در بخش اول ضمن معرفی اقسام روش‌های مبتنی بر ژئومهندسی، سعی شده تا نقش آنها در مقابله با گرمایش زمین نیز بررسی گردد و در بخش دوم از طریق مطالعه و تحلیل اسناد زیست‌محیطی به دنبال یافتن جایگاه و نحوه تنظیم آن در معاهدات بین‌المللی مرتبط برآمده‌ایم. جایگاه استراتژیک این فنون و این واقعیت که کشور ما کلیه اسناد جهانی

1. Gordijn Bert & Have Henk, "Ethics of Mitigation, Adaptation and Geoengineering", Med Health Care and Philos, 15, (2012), at 1.
2. Geoengineering or Climate Engineering.
3. Vaughan Naomi & Lenton Timothy, "A Review of Climate Geoengineering Proposals", Climatic Change, 109 (3-4), (2011), at 745.

مرتبط و مورد مطالعه مقاله را امضا و یا تصویب نموده است بر اهمیت مطالعه این موضوع می‌افزاید.

۱. ژئومهندسی و اقسام آن

«ژئومهندسی» بعنوان ابزاری بالقوه برای پاسخگویی به خطرات ناشی از تغییرات اقلیمی معرفی شده و شامل مجموعه گسترده‌ای از فناوری‌هایی می‌باشد که هدفشان ایجاد تغییرات عمدی در اقلیم است.[1] ژئومهندسی شامل دو روش اصلی حذف دی‌اکسیدکربن و مدیریت پرتوهای خورشیدی است که از آنها به عنوان روش‌های کم هزینه، آسان و با تاثیر سریع یاد می‌شود.

۱-۱. روش‌های مبتنی برحذف دی‌اکسیدکربن[2]

این رویکرد که اصطلاحاً CDR نیز نامیده می‌شود، مجموعه فرآیندهایی است که از طریق حذف دی‌اکسیدکربن از جو، به دنبال مقابله با گرمایش زمین هستند. هدف CDR، حذف دی‌اکسیدکربن منتشر شده است. در حال حاضر مهمترین مصادیق آن شامل جنگل‌زایی و احیای جنگل‌ها، تسریع هوازدگی سنگ‌ها، تسخیر مستقیم دی‌اکسیدکربن از هوا، تسخیر و ذخیره کربن و بارورسازی اقیانوس‌ها می‌شود.

۱-۱-۱. جنگل‌زایی و احیای جنگل[3]

جنگل‌زایی و احیای جنگل در کنار مزایای زیست‌محیطی متعدد همچون کنترل فرسایش خاک و ایجاد زیستگاه‌های حیات وحش، راهکاری مهم برای جداسازی کربن محسوب می‌شود، به این دلیل که مناطق جنگلی قادر هستند ده برابر بیش از مناطق غیرجنگلی،

1. John Shepherd & et al., "Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty", Report by the Royal Society, Ocean Challenge,17, (2009), at 1.
2. Carbon Dioxide Removal (CDR).
3. Afforestation and Reforestation.

لازم بذکر است که معمولا از روش‌های جنگل‌زایی و احیای جنگل‌ها تحت عنوان روش‌های کاهشی نیز یاد می‌شود که علت آن زمانبر بودن و یا مرسوم بودن آنها می‌باشد (Ibid. 10).

کربن را ذخیره کنند.[۱] البته میزان جداسازی کربن و موفقیت این روش بستگی به عواملی چون نوع درختان، نوع خاک، اقلیم و... دارد.[۲]

۲-۱-۱. تسریع هوازدگی

خروج طبیعی دی‌اکسیدکربن از جو که از طریق فرآیند هوازدگی[۳] شیمیایی سنگ‌های کربنات و سیلیکات واقع در زمین یا اقیانوس‌ها انجام می‌شود، به هزاران سال زمان نیاز دارد. هوازدگی شیمیایی تقریبا ۰/۱ پتاگرام[۴] دی‌اکسیدکربن را هرساله از اتمسفر خارج می‌کند که معادل ۱٪ از گازهای گلخانه‌ای منتشر شده توسط انسان است.[۵] اما می‌توان با استفاده از روش‌هایی، فرآیند هوازدگی را سرعت بخشیده و در نتیجه حجم بیشتری از دی‌اکسیدکربن را در خاک یا اعماق اقیانوس دفن نمود. مشکل عمده‌ای که این روش دارد، هزینه‌های زیاد آن است که شامل حمل‌ونقل سنگ‌ها و نیز تأمین انرژی مورد نیاز است. با این وجود پیامدهای زیست‌محیطی آن نسبتاً مثبت است.[۶]

۳-۱-۱. تسخیر مستقیم هوا (دی‌اکسیدکربن) [۷]

در این روش که اختصارا DAC نامیده می‌شود، معمولا از فرآیندهای شیمیایی و مواد جاذب دی‌اکسید کربن همانند سدیم هیدروکسید استفاده می‌شود، کربن جداسازی شده را می‌توان برای اهداف تجاری ذخیره و یا در آب‌های زیرزمینی و خاک دفن نمود. از دیگر مزایای این روش، خروج دائمی دی‌اکسیدکربن از جو است.[۸]

---

1. Ken Caldeira & et al., "The Science of Geoengineering", Annu. Rev Earth Planet, Sci. 41, (2013), at 245.
2. Kelsi Bracmort & et al., "Geoengineering: Governance and Technology Policy", Congressional Research Service Report R41371, (2010), at 14.
۳. تغییرات حاصله در سنگ‌ها و رسوبات وقتی که در تماس با اتمسفر، هیدروسفر و بیوسفر قرار می‌گیرند، هوازدگی خوانده می‌شود.
4. Petagram = 1015g.
5. Caldeira et al. op.cit. at 246.
6. John Shepherd et al., "Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty", Report by The Royal Society, Ocean Challenge, 17, (2009), at 15.
7. Direct Air Capture (DAC).
8. Ken Caldeira & et al, op.cit. at 248.

استفاده از درختان مصنوعی یا روباتیک، نمونه‌ای از تسخیر مستقیم است که هم‌اکنون در برخی کشورها کاربرد دارد. درختان روباتیک همانند درختان معمولی دارای ریشه، ساقه، شاخه و برگ هستند و فرآیند فتوسنتز را شبیه‌سازی می‌کنند. از کربن جذب شده آنها می‌توان برای کنترل آفات و بیماری‌های گیاهی، بهبود سلامتی و مقاومت گیاهان استفاده نمود.[۱]

۴-۱-۱. تسخیر و ذخیره کربن[۲]

به تسخیر و ذخیره کربن از طریق منابع زیست‌توده[۳]، تسخیر و ذخیره کربن یا CCS گفته می‌شود. تسخیر کربن با استفاده از بیوانرژی و بیوچار[۴] (زغال زیستی)، مهمترین فناوری‌های این روش محسوب می‌شوند.

از منابع مهم انرژی‌های تجدیدپذیر، "بیوانرژی" است که به هر نوع سوخت غیرفسیلی اطلاق می‌شود که از مواد آلی، بیولوژیکی یا گیاهی بدست می‌آید. جذب و ذخیره دی‌اکسید کربن با استفاده از بیوانرژی، طی سه مرحله صورت می‌گیرد؛ الف- پرورش محصولات زیست‌توده، ب- برداشت و استفاده از آنها جهت تولید سوخت زیستی و پ- در نهایت، تسخیر و ذخیره کربن حاصله.[5] ناگفته نماند تولید زیست‌توده در مقیاس گسترده می‌تواند بر منابع آب، زیست‌بوم‌های طبیعی و تنوع زیستی تاثیر منفی بگذارد. ضمن اینکه ذخیره دی‌اکسید کربن نیز می‌تواند مشکلاتی را برای زمین ایجاد کند.[۶]

---

1. Asmath Basha et al., "100% Free Global Warming", International Journal of Computer Applications, Volume 1 – No. 15, (2010), at 55-57.

2. Carbon Capture and Sequestration (CCS).

۳. بقایا و مواد مشتق شده از موجودات زنده را زیست‌توده می‌نامند. در واقع تمامی شکل‌های مواد آلی، زیست‌توده محسوب می‌شوند؛ مثل بقایا و پسماند گیاهان و حیوانات، پسماندهای شهری و کارخانه‌ها. زیست توده یکی از منابع مهم و تجدیدپذیر است که با روش‌های مختلف شیمیایی و زیستی به انواع مواد، کالاهای مصرفی و انرژی تبدیل می‌شود. این منبع می‌تواند جایگزین مناسبی برای منابع فسیلی باشد.

4. Biochar.

5. Kelsi Bracmort, et al., "Geoengineering: Governance and Technology Policy", Congressional Research Service Report R41371, (2010), at 15.

6. Michael Gerrard & Tracy Hester, *Climate Engineering and the Law: Regulation and Liability for Solar Radiation Management and Carbon Dioxide Removal* (Cambridge: Cambridge University Press, 2018) at 46, 47.

بیوچار ماده‌ای جامد است که از تبدیل حرارتی- شیمیایی زیست‌توده، در محیطی فاقد اکسیژن و یا با اکسیژن محدود بدست می‌آید. بیوچار می‌تواند همانند یک مخزن کربن عمل کرده و تاثیر بسزایی در کاهش گرمایش زمین داشته باشد. این نقش آنقدر حائز اهمیت است که در سال ۶۰۰۲ یک سازمان بین‌المللی غیردولتی در آمریکا برای ارتقای این صنعت ایجاد شده است.[۱]

۵-۱-۱. بارورسازی اقیانوس‌ها[۲]

اقیانوس‌ها یکی از بزرگ‌ترین سینک‌های[۳] طبیعی کربن به شمار می‌روند؛ زیرا در مقایسه با جو حدود ۵۵ برابر و در مقایسه با بیوسفر حدود ۲۰ برابر دی‌اکسیدکربن بیشتری جذب می‌کنند که نتیجه این فرآیند، کاهش گرمایش زمین است.[۴] پمپ بیولوژیکی[۵] که شامل مجموعه‌ای از فرآیندهای بیولوژیکی است از سازوکارهای اصلی ذخیره کربن توسط اقیانوس‌ها بوده که قادر است دی‌اکسیدکربن را برای مدت زمان طولانی از چرخه کربن خارج کند. فرآیندهای مزبور بعنوان واسطه، کربن را از سطح اقیانوس به مناطق عمیق آن منتقل می‌کنند. در واقع پمپ بیولوژیکی، کربن آلی و معدنی که توسط فیتوپلانکتون‌ها تثبیت شده را به اعماق اقیانوس منتقل می‌کند.[۶]

منظور از بارورسازی اقیانوس‌ها تقویت عملکرد پمپ بیولوژیک است؛ طی این فرآیند ریزمغذی‌هایی به آب اقیانوس‌ها افزوده می‌شود تا رشد فیتوپلانکتون‌ها در مناطق

---

۱. فرهاد خرسندی، «ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار»، (۱۳۹۸)، ص ۵

https://www.researchgate.net/publication/330508068.: available at

2 .Ocean Fertilization (OF).

۳. "سینک" به معنای هر فرآیندی است که یک گاز گلخانه‌ای، آئروسل و یا مواد تشکیل دهنده گازهای گلخانه‌ای را از جو خارج می‌کند.

4. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, "Scientific Synthesis of the Impacts of Ocean Fertilization on Marine Biodiversity", Technical Series, No. 45, (2009), at 11.

5. Biological Pump.

6. Laurent Bopp et al., "The Ocean: A Carbon Pump", (2015), at 3, Available at: https://www.ocean-climate.org/wp-content/ uploads/ 2017/ 03/ ocean-carbon-pump_07-2.pdf.

با کلروفیل کم تسریع شده و در نتیجه آن، جداسازی کربن افزایش یابد.[۱] بارورسازی اقیانوس‌ها علاوه بر مزایایی که ممکن است برای مقابله با تغییرات اقلیمی و حفاظت از محیط زیست داشته باشد، می‌تواند باعث افزایش ذخایر آبزیان شود. در عین حال برخی از محققان نسبت به تاثیرات مخرب احتمالی آن همچون اسیدی شدن اقیانوس‌ها، ایجاد شکوفه‌های جلبک سمی، کاهش اکسیژن و در نتیجه نابودی زیست‌بوم‌ها و از بین رفتن تنوع زیستی هشدار داده‌اند.[۲]

۲-۱. مدیریت پرتوهای خورشیدی[۳]

مدیریت پرتوهای خورشیدی یا SRM به روش‌هایی اطلاق می‌شود که از طریق کاهش یا منحرف کردن پرتوهای خورشیدی درصدد مقابله با گرمایش زمین هستند. بخشی از نور خورشید پس از رسیدن به زمین، منعکس شده و به جو باز می‌گردد؛ دی‌اکسید کربن، متان، بخار آب و سایر گازهای گلخانه‌ای موجود در جو، مقداری از آن را به صورت گرما در خود ذخیره می‌کنند که همین امر منجر به گرمایش اتمسفر و کره زمین می‌شود. محققان معتقدند از طریق فناوری‌های SRM، می‌توان نور خورشید را قبل از رسیدن به زمین، منحرف کرد و یا آن را کاهش داد. در حال حاضر این روش از سه طریق افزایش سپیدایی،[۴] تزریق هواویزه و بارورسازی ابرها انجام می‌گیرد.[۵]

1. Sherry P, Broder & Marcus, Haward, "The International Legal Regimes Governing", In *Regions, Institutions and Law of the Sea*, edited by HN. -H. Paik and Jin-Hyun Paik , (2013), at 185.

2. Joo-Eun Yoon et al., "Ocean Iron Fertilization Experiments: Past–Present–Future with Introduction to Korean Iron Fertilization Experiment in the Southern Ocean (KIFES) Project", Biogeosciences, Volume 15, issue 19, 2018) at 5767.

3. Solar Radiation Management (SRM).

۴. سپیدایی یا آلبدو به معنی درصد بازتاب نور از سطح یک جسم است. مقادیر این کمیت می‌تواند از صفر (تاریک مطلق) تا یک (روشن مطلق) تغییر پیدا کند. در میان اشیاء کمترین آلبدو برای ذغال‌ها و بیشترین آلبدو برای آینه‌ها است.

5. Long Cao & et al., "Geoengineering: Basic Science and Ongoing Research Efforts in China", Advances in Climate Change Research, 6(3-4), (2015), at 189.

۱-۲-۱. افزایش سپیدایی سطوح[۱]

سالانه به طور میانگین حدود ۳۰٪ از پرتوهای خورشیدی از سطح زمین به فضای ماورای جو منعکس می‌شود، هدف این است که از طریق روشن‌تر کردن سطوح مختلف از جمله سکونتگاه‌های انسانی، مراتع و بیابان‌ها، میزان جذب نور خورشید کاهش داده شود. استفاده از سقف سفید در سکونتگاه‌های انسانی[۲] اگرچه روشی ایمن است اما به دلیل زمان‌بر و پرهزینه بودن، کارایی چندان زیادی ندارد؛[۳] افزایش سپیدایی علفزارها و مراتع[۴] از طریق اصلاح ژنتیکی قابل انجام است اما منجر به کاهش فتوسنتز آنها خواهد شد و این امر می‌تواند تولید محصولات غذایی را در درازمدت تحت‌الشعاع قرار دهد.[۵]

۲-۲-۱. تزریق هواویزه[۶] به استراتوسفر[۷]

تزریق هواویزه به لایه زیرین استراتوسفر که از طریق بالون‌های مخصوص، هواپیماها و ... انجام می‌شود، ممکن است موجب پراکنده کردن پرتوهای خورشیدی شده و در نتیجه از گرمایش زمین بکاهد. در این روش، طیف گسترده‌ای از انواع هواویزه مثل کربن سیاه و سولفات قابل استفاده است.[۸]

نمونه طبیعی این فرآیند، فوران آتشفشان پیناتوبو (واقع در فیلیپین در سال ۱۹۹۱) بود. این رویداد طبیعی موجب ورود حدود ۱۵ میلیون تن دی‌اکسید گوگرد در استراتوسفر گردید که پس از واکنش با بخارآب موجود در جو، لایه‌ای از ذرات هواویزه را تشکیل دادند که در نتیجه عملکردآنها، دمای زمین برای مدت دو سال، حدود ۱ درجه فارنهایت

---

1. Surface-albedo Enhancement.
2 .White Roof Methods and Brightening of Human Settlements.
3. John Shepherd et al., "Geoengineering the climate: Science, Governance and Uncertainty", Report by The Royal Society, Ocean Challenge, 17,(2009), at 15.
4. Increasing Grassland and Cropland Albedo.
5. Vaughan Naomi, Lenton Timothy, "A Review of Climate Geoengineering Proposals", Climatic Change, 109, (3-4), (2011), at 768-769.
۶. هواویزه‌ها (آئروسل‌ها) ذرات معلق مایع و جامد موجود در جو هستند و انواع مختلفی دارند از جمله: سولفات، کربن سیاه ، کربن آلی، گرد و غبار و نمک دریایی.
7. Stratospheric Aerosols Injection (SAI).
8. Ken Caldeira et al., "The Science of Geoengineering", Annu. Rev Earth Planet, Sci. 41, (2013) at 238.

خنک‌تر شد.[۱] برخی از دانشمندان معتقدند تنها یک سال پس از تزریق هواویزه به استراتوسفر، میانگین دمای کره زمین کاهش خواهد یافت و به همین جهت از این روش با عنوان "واکنش اضطراری" به گرمایش زمین نیز یاد می‌شود.[۲] روش مزبور از نظر هزینه نیز روشی مقرون به صرفه است؛ هرچند احتمال می‌رود منجر به افزایش باران‌های اسیدی، افزایش سیل و... نیز بشود که این امر در نهایت تأثیرات مخربی بر چرخه آبی و لایه ازون خواهد داشت.

۳-۲-۱. روش‌های مبتنی بر فضا[۳]

ایده اصلی روش‌های فوق این است که بخشی از پرتوهای خورشیدی را قبل از رسیدن به زمین بوسیله قرار دادن اشیاء بازتاب دهنده در مدار خورشید یا مدار زمین، منعکس و یا منحرف نمایند. از جمله می‌توان به استفاده از شبکه‌ای از آلومینیوم به ضخامت حدود یک میلیونیوم میلیمتر برای جذب نور خورشید، تعبیه چندین تریلیون صفحه فلزی منعکس کننده نور در سیاره‌های نزدیک مدار زمین و قرار دادن ده‌ها هزار آینه در مدارهای مختلف برای منحرف کردن نور خورشید اشاره کرد.[۴] هرچند اجرای پروژه‌های فوق می‌تواند به سرعت، میانگین دمای زمین را کاهش دهد اما از آنجایی که اولاً اجرای آنها زمان‌بر بوده و ثانیاً نیاز به تجهیزات و سرمایه بسیار زیادی دارد، در مقایسه با سایر روش‌های ژئومهندسی مورد استقبال قرار نگرفته و بعید به نظر می‌رسد در آینده‌ای نزدیک، اقداماتی در این زمینه انجام گیرد.

۴-۲-۱. بارورسازی ابرها[۵]

برخلاف اغلب فنون مدیریت پرتوهای خورشیدی که درصدد کاهش مقدار انرژی خورشیدی وارد شده به جو هستند، هدف بارورسازی ابرها کاهش میزان گرمایی است

1. Global Effects of Mount Pinatubo, NASA, (2001), available at: https:// earthobservatory. nasa. gov/ images/ 1510/ global- effects- of- mount- pinatubo, Accessed at April 2020.
2. Kerryn Brent, "The Role of the No-Harm Rule in Governing Solar Radiation Management Geoengineering", PhD Thesis, University of Tasmania, (2016), at 31.
3. Space-based Techniques.
4. John Shepherd et al., "Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty", Report by the Royal Society, Ocean Challenge, 17, (2009), at 32.
5. Cloud Ceeding.

که پس از تابش خورشید در جو بوجود می‌آید. در این روش با وارد کردن برخی هواویزه‌ها به داخل ابر، باعث تقویت تشکیل و رشد هسته‌های یخی و در نتیجه افزایش بارش می‌شوند. عوامل بارورسازی ابرها شامل یخ خشک، ذرات یدید نقره یا موادی مانند آب نمک، اوره و... می‌شود که متناسب با نوع ابر انتخاب می‌شوند. بارورسازی ابرها در کنار داشتن آثار مثبت، اگر به طور علمی و با تحقیقات کافی صورت نگیرد ممکن است منجر به خشکسالی یا وقوع سیل شود.

از طرف دیگر دانشمندان دریافتند که می‌توان با بارورسازی برخی ابرهای اقیانوسی (غالبا استراتوکومولوس) منجر به افزایش سپیدایی آنها شد و نام این روش تلفیقی، روشن کردن ابرها[1] است که همانند دیگر روش‌های ژئومهندسی در کنار آثار مثبت، ممکن است خطراتی برای محیط زیست به دنبال داشته باشد، از جمله آنکه مسدود کردن نور خورشید از این طریق می‌تواند زیست‌بوم‌ها و تنوع زیستی را تحت تاثیر خود قرار دهد.[2]

۲. رویکرد اسناد بین‌المللی زیست‌محیطی در تنظیم ژئومهندسی

چنانچه اشاره شد، روش‌های متعدد ژئومهندسی در کنار مزایایی که در کاهش گرمایش زمین و مقابله با تغییرات اقلیمی دارند، ممکن است آسیب‌هایی را به محیط زیست وارد نمایند. بعلاوه اغلب روش‌های ژئومهندسی همچون "بارورسازی اقیانوس‌ها، مدیریت پرتوهای خورشیدی در فضا، جذب و ذخیره کربن از طریق بیوانرژی، تزریق هواویزه و بارورسازی ابرها" می‌تواند بنا به مورد، در مشترکات جهانی انجام شود و یا در صورت انجام در قلمرو یک کشور مشخص، آثار فرامرزی به دنبال داشته باشد. مجموع این عوامل نگرانی‌هایی را ایجاد کرده و تا زمان دستیابی به قطعیت علمی، از یک سو لزوم به نظم کشیدن ژئومهندسی بعنوان روش مفید مقابله با تغییرات اقلیمی و از سوی دیگر ضرورت نظارت بر آن بعنوان عامل احتمالی تخریب محیط زیست در حقوق بین‌الملل احساس می‌شود. در راستای پاسخ به سوال دوم پژوهش، با مطالعه معاهدات بین‌المللی در

---

1. Cloud Brightening or Cloud-Albedo Enhancement.
2. Michael Gerrard & Tracy Hester, *Climate Engineering and the Law: Regulation and Liability for Solar Radiation Management and Carbon Dioxide Removal* (Cambridge: Cambridge University Press 2018) at 34-37.
and Ahlm Lars, et al., "Marine Cloud Brightening – as Effective Without Clouds", Atmos. Chem Phys., 17, (2017), pp.13071–13087.

حوزه‌هایی همچون دریا، هوا، تنوع زیستی و تغییرات اقلیمی مشخص گردید که اسناد اندکی با عبارت‌پردازی‌های صریح به برخی از روش‌های مبتنی بر ژئومهندسی اشاره کرده و سعی در تنظیم آن داشته‌اند. حال آنکه اکثر معاهدات صرفا متضمن مقرراتی کلی می‌باشند که البته می‌توان آنها را نسبت به روش‌های ژئومهندسی نیز اعمال نمود. بر همین اساس رویکرد تنظیم صریح و ضمنی بعنوان مبنای تقسیم‌بندی انتخاب گردید تا از خلال آن به مساله مهمتر یعنی نگرش مثبت یا منفی اسناد مورد مطالعه در تنظیم ژئومهندسی دست پیدا کنیم.

۱-۲. روش تنظیم صریح

در حال حاضر کنوانسیون و پروتکل لندن و کنوانسیون تنوع زیستی تنها اسناد متضمن مقررات صریح با هدف تنظیم برخی از روش‌های ژئومهندسی به حساب می‌آیند.

۱-۱-۲. کنوانسیون و پروتکل لندن[1]

موضوع کنوانسیون و پروتکل لندن، جلوگیری از آلودگی دریایی ناشی از دفع مواد زائد و دیگر مواد در دریا است و از آنجایی که پروتکل با هدف رفع کاستی‌های کنوانسیون تنظیم گردیده، رویکرد سختگیرانه‌تری داشته و به تعبیری ستون اصلی حفاظت از محیط زیست دریایی محسوب می‌شود و کنوانسیون‌های پیشین از جمله کنوانسیون حقوق دریاها را تکمیل می‌کند. تعریف پروتکل لندن از آلودگی و دفع مواد تا حد زیادی مشابه تعریف کنوانسیون حقوق دریاهاست، با این تفاوت که رویکرد پروتکل لندن در خصوص شرایط و ضوابط حاکم بر دفع مواد، متفاوت و نوآورانه‌تر از کنوانسیون‌های حقوق دریاها و لندن است. مطابق پروتکل، اصل بر ممنوعیت دفع هر نوع ماده‌ای در دریا است به جز ۸ استثنائی که در ضمیمه نخست[2] پروتکل قید شده‌اند.[3] بعلاوه مطابق

1. London Convention(LC) 1972 and London Protocol (LP) 1996.
2. Reverse Listing.
۳. کنوانسیون لندن برخلاف پروتکل، مواد را به دو دسته ممنوعه (فهرست سیاه) و نیازمند اخذ مجوز ویژه (فهرست خاکستری) تقسیم‌بندی کرده و تصریح نموده که دفع هر ماده‌ای خارج از این فهرست نیاز به اخذ مجوز عمومی دارد.

پروتکل، حتی زمانی که شواهد قطعی دال بر وجود رابطه علیت میان مواد دفع شده و لطمه به محیط زیست وجود نداشته باشد، اعضا متعهد به اقدامات پیشگیرانه هستند.

با توجه به اینکه مواد اصلی مورد استفاده در فرآیند بارورسازی (آهن و سایر ریز مغذی‌ها) در فهرست‌های سیاه (مواد ممنوعه) و خاکستری (نیازمند اخذ مجوز ویژه) کنوانسیون قید نشده، برای بارورسازی، صرف اخذ مجوز عمومی مشروط به لحاظ عامل تاثیرگذار "حجم مواد" که در ضمیمه دوم کنوانسیون لندن ذکر شده کفایت می‌کند؛ مطابق معیار اخیر، دفع مواد *غیرسمی در مقادیر زیاد* می‌تواند مضر بوده و بهره‌برداری از دریا را کاهش دهد و به همین دلیل نیاز به اخذ مجوز ویژه دارد. به بیان دیگر اگر بارورسازی در مقیاس گسترده انجام شود علاوه بر مجوز عمومی اخذ مجوز ویژه نیز الزامیست. رویکرد پروتکل لندن ایجابی است یعنی بارورسازی اقیانوس‌ها در صورتی مجاز است که مواد مورد استفاده در *فهرست استثنای* پروتکل قید شده باشد. بخش‌هایی از این فهرست مشمول موادی است که در فرآیند بارورسازی استفاده می‌شود از جمله مواد آلی با منشا طبیعی (شماره ۶)، مواد معدنی زمین‌شناسی و غیرجاندار (شماره ۵) و ذخیره‌سازی کربن در سازه‌های بستر دریا (شماره ۸) که همگی در زمره مواد مجاز جای دارند. اما در کنار این فهرست‌ها باید به اقدامات کشورهای عضو با هدف کنترل بارورسازی اقیانوس‌ها نیز اشاره نمود که رویکردی منفی نسبت به این فرآیند در پیش گرفته‌اند. در اکتبر سال ۸۰۰۲ اعضای پروتکل لندن، قطعنامه‌ای در خصوص بارورسازی اقیانوس‌ها تصویب کردند که ضمن تعریف بارورسازی بعنوان فرآیند تحریک تولید اولیه در اقیانوس‌ها – به استثنای آبزی‌پروری معمولی و احداث صخره‌های مصنوعی– انجام آن را صرفاً برای تحقیقات علمی در مقیاس کوچک مجاز می‌داند. در سال ۳۱۰۲، اعضا اصلاحیه‌ای تصویب کردند که در صورت لازم‌الاجرا شدن (پذیرش توسط دو سوم) پروتکل را به *اولین سند الزام‌آور ژئومهندسی دریایی* بدل خواهد کرد.[۱]

این سند بعد از تعریف ژئومهندسی دریایی بر قابلیت آن در ایجاد آثار زیان‌بار تأکید دارد. همچنین اضافه کردن مواد به دریا از طریق کشتی، هواپیما، سکوها یا سایر سازه‌های ساخته شده توسط انسان و با هدف انجام فعالیت‌های مربوط به ژئومهندسی دریایی

۱. تا سال ۲۰۱۹، تنها ۵ کشور آن را مورد پذیرش قرار داده‌اند.

(ضمیمه ۴) مجاز نیست، مگر در شرایطی که به فعالیت مزبور مجوز داده شود[1] و مجوز تنها در شرایطی داده می‌شود که فعالیت، مخالف اهداف پروتکل نبوده و ارزیابی‌های لازم (مطابق ضمیمه ۵) صورت گرفته باشد. اصلاحیه از دو جهت قابل توجه است؛ اولاً تنها ابزار حقوقی الزام‌آوری است که صراحتاً به ژئومهندسی دریایی اشاره نموده و ثانیاً در مقایسه با پروتکل لندن، تعریف گسترده‌تری از ژئومهندسی دریایی ارائه نموده و آن را محدود به عملیات دفع مواد نمی‌داند.[2] در کل تدابیر اتخاذ شده توسط اعضا و اصلاحیه‌های وارده بر پروتکل لندن همگی در راستای محدود کردن آزمایش‌های مربوط به بارورسازی اقیانوس‌ها حکایت از نگرش منفی نسبت به آن و تلاش در جهت محدود کردن انجام آن دارد.

۲-۱-۲. کنوانسیون تنوع زیستی

کنوانسیون تنوع زیستی، اعضا را متعهد به نظارت بر فعالیت‌هایی نموده که برای تنوع زیستی مضر هستند. همانطور که پیشتر اشاره شد، برخی از روش‌های ژئومهندسی ممکن است تاثیرات مخربی بر تنوع زیستی داشته باشند.

طبق بند ج ماده ۷ کنوانسیون، اعضا باید فرآیندها و فعالیت‌هایی که قطعاً یا احتمالاً تأثیر قابل توجهی بر حفاظت و استفاده پایدار از تنوع زیستی دارند را شناسایی و از طریق نمونه‌گیری و روش‌های دیگر میزان تأثیر این فعالیت‌ها را بررسی نمایند. لذا چنانچه روش‌های مختلف ژئومهندسی نظیر تسخیر و جذب کربن با بیوانرژی، افزایش سپیدایی بیابان‌ها و مراتع، بارورسازی ابرها و اقیانوس‌ها ولو به صورت احتمالی، تاثیرات قابل توجهی بر تنوع زیستی داشته باشند باید قبل از انجام، کنترل و مدیریت شده و مورد ارزیابی زیست‌محیطی قرار گیرند. البته نکته قابل توجه، عدم تعیین الزامات برای نظارت

---

۱. ماده ۶ مکرر اصلاحیه در خصوص شرایط مرتبط با دفع طی فعالیت‌های ژئومهندسی دریایی تنظیم شده است و لذا مطابق بند ۳ این ماده، مقررات مربوط به دفع در پروتکل لندن درباره فعالیت‌های ژئومهندسی موجود در ضمیمه ۴ اعمال نمی‌شود.

2. Michael Gerrard & Tracy Hester, *Climate Engineering and the Law: Regulation and Liability for Solar Radiation Management and Carbon Dioxide Removal* (Cambridge: Cambridge University Press, 2018).

بر اجرای روش‌های ژئومهندسی است که سبب می‌شود کنترل این فعالیت‌ها چندان هم موثر نباشد.[۱]

با این وجود، نباید از تلاش‌هایی که کنفرانس اعضای کنوانسیون در خصوص به نظم کشیدن ژئومهندسی و رفع خلاءهای کنوانسیون انجام داده غافل شد. اولین تصمیم کنفرانس اعضا در سال ۲۰۰۸[۲] و در خصوص بارورسازی اقیانوس‌ها اتخاذ گردید که با تکیه بر رویکرد احتیاطی، از اعضا و دیگر دولت‌ها می‌خواهد از انجام بارورسازی اقیانوس‌ها - به استثنای تحقیقات علمی که در مقیاس کوچک و در آب‌های ساحلی و با هدف جمع‌آوری داده‌های علمی انجام می‌شود- مادامیکه مبنای علمی کافی (شامل ارزیابی خطرات مرتبط و مکانیسم کنترل و نظارت جهانی شفاف و موثر) برای توجیه آن وجود ندارد، خودداری ورزند. در اکتبر ۲۰۱۰ این محدودیت‌ها نسبت به کلیه روش‌های ژئومهندسی بسط پیدا کرد.[۳] بر این اساس تا زمانی که *مبنای* علمی کافی برای توجیه فعالیت‌های ژئومهندسی و ارزیابی خطرات زیست‌محیطی که برای تنوع زیستی و تأثیرات اجتماعی، اقتصادی و فرهنگی مرتبط با آن وجود نداشته باشد، نباید هیچ فعالیت ژئومهندسی - به استثنای تحقیقات علمی در مقیاس کوچک- انجام شود. تصمیمات دیگری نیز در سال‌های ۲۰۱۲[۴] و ۲۰۱۶[۵] در زمینه ژئومهندسی اتخاذ شد که مؤید تصمیم سال ۲۰۱۰ است.

چنانچه مبرهن است کنوانسیون و تصمیمات کنفرانس اعضای آن با تکیه بر اصول زیست‌محیطی همچون ارزیابی اثرات زیست‌محیطی و احتیاط انجام فنون ژئومهندسی را محدود و حتی ممنوع نموده‌اند. هرچند اصولا تصمیمات کنفرانس اعضا کنوانسیون تنوع زیستی، الزام‌آور نیستند اما نمی‌توان نقش و تأثیرگذاری آنها را بعنوان حقوق نرم در

1. Gerd Winter, "Climate Engineering and International Law: Final Exit or the End of Humanity?", In *Climate Change: International Law and Global Governance*, Edited by Oliver C Ruppel, et al, (2013), at 988.
2. Decision IX/16, Ninth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, (2008).
3. Decision X/33, Tenth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, (2010).
4. Decision XI/ 20, Eleventh Meeting of the Conference of Parties to the Convention on Biological Diversity, (2012).
5. Decision XIII/14, Thirteenth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, (2016).

شکل‌گیری قواعد رفتاری آینده منکر شد. البته انتقاداتی نیز به این نگرش وارد شده، اینکه اعضا، مزایای ژئومهندسی را در مقابله با گرمایش زمین لحاظ نکرده و صرفاً جنبه منفی آن بر تنوع زیستی را مدنظر داشته‌اند. در همین راستا برخی از نهادهای بین‌المللی از جمله کمیسیون بین‌الدولی اقیانوس‌شناسی یونسکو[1] تصمیمات یاد شده را به دلیل اعمال محدودیت‌های غیرضروری و بی‌مورد بر فعالیت‌های علمی معتبر[2] مورد انتقاد قرار داده‌اند.[3] در مجموع می‌توان گفت که نتیجه تنظیم صریح، مخالفت با استفاده از روش‌های ژئومهندسی است.

۲-۲. تنظیم ضمنی

در این قسمت، رویکرد تنظیمی کنوانسیون چارچوب تغییرات اقلیمی، پروتکل کیوتو، توافقنامه پاریس، کنوانسیون آلودگی‌های فرامرزی هوا، کنوانسیون حفاظت از لایه ازون، کنوانسیون حقوق دریاها و کنوانسیون انمود مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲-۲. کنوانسیون چارچوب تغییرات اقلیمی

این کنوانسیون با هدف ایجاد چارچوب نظارتی در قبال تغییرات اقلیمی منعقد گردیده و اگرچه صراحتاً نامی از ژئومهندسی به میان نیاورده اما از هدف و نحوه عبارت‌پردازی برخی از مواد آن، اینگونه استنباط می‌شود که تلویحا روش‌های ژئومهندسی را تأیید می‌کند.

هدف کنوانسیون، تثبیت غلظت گازهای گلخانه‌ای جوی در سطحی است که مانع از مداخلات خطرناک فعالیت‌های انسانی با اقلیم شود (مستفاد از ماده ۲). از آنجاییکه همه روش‌های حذف دی‌اکسیدکربن درپی تثبیت غلظت گازهای گلخانه‌ای هستند و *فنون* مدیریت‌پرتوهای‌خورشیدی نیز به دنبال کاهش آثار سوء فعالیت‌های انسانی بر اقلیم

1. IOS. The *Intergovernmental Oceanographic Commission* of UNESCO.
2. "Report on the IMO London Convention Scientific Group Meeting on Ocean Fertilization", Ad Hoc Consultative Group on Ocean Fertilization, Intergovernmental Ocean Commission, (IOC) of UNESCO Doc. IOC/INF-1247 (2008).
3. P Sherry, Broder, "International Governance of Ocean Fertilization and Other Marine Geoengineering Activities", In *Ocean Law and Policy: 20 Years under UNCLOS*, edited by Carlos Espósito et al(2017), Pp. 305-343.

هستند؛ می‌توان گفت روش‌های یاد شده همسو با اهداف کنوانسیون چارچوب تغییرات اقلیمی‌اند.[۱]

بند ۳ ماده ۳ از اقدامات پیشگیرانه برای به حداقل رساندن علل تغییرات اقلیمی و کاهش آثار منفی آن نام برده و تأکید دارد که حتی عدم قطعیت علمی، نباید دلیلی برای به تعویق انداختن این قبیل اقدامات باشد. چنانچه در قسمت اول مقاله اشاره شد، روش‌های حذف دی‌اکسید کربن این قابلیت را دارند که عامل اصلی تغییرات اقلیمی را به حداقل برسانند و مدیریت پرتوهای خورشیدی نیز در کاهش آثار تغییرات اقلیم موثرند. بنابراین می‌توان آنها را در چارچوب اقدامات پیشگیرانه مدنظر ماده فوق جای داد.[۲] ضمن آنکه حتی استناد به نامشخص بودن آثار و عدم قطعیت علمی نیز نمی‌تواند مانع از کاربرد این روش‌ها شود.

بعلاوه، بند (ب) قسمت اول ماده ۴، بیانگر دستورالعمل کلی است که طبق آن اعضا باید برنامه‌هایی را برای کاهش تغییرات اقلیمی با لحاظ منابع انتشار گازهای ناشی از فعالیت‌های انسانی و حذف آنها با استفاده از سینک‌های گازهای گلخانه‌ای، تدوین و اجرا کنند. در همین راستا بند (د) از زیست توده، جنگل‌ها، اقیانوس‌ها و سایر زیست بوم‌های زمینی، ساحلی و دریایی بعنوان سینک‌های طبیعی نام برده است. از آنجا که کلیه روش‌های حذف دی‌اکسید کربن وابسته به سینک‌ها و مخازن گازهای گلخانه‌ای هستند[۳]، لذا تأکید بر حفاظت و تقویت آنها گویای نگاه مثبت کنوانسیون چارچوب تغییرات اقلیمی به روش‌های حذف دی‌اکسید کربن است.[۴]

---

1. Secretariat of the Convention on Biological Diversity, "Geoengineering in Relation to the Convention on Biological Diversity: Technical and Regulatory Matters", Montreal, Technical Series, No. 66, (2012) at 127.

2. Elizabeth Tedsen & Gesa Homann, "Implementing the Precautionary Principle for Climate Engineering", Carbon & Climate Law Review Volume 7, Issue 2, (2013) at 96.

۳. "مخزن" به معنای جزیی از سیستم اقلیم است که گازهای گلخانه‌ای یا مواد تشکیل دهنده گازها در آن ذخیره می‌شود.

4. Meinhard Doelle, "Climate Geoengineering and Dispute Settlement Under UNCLOS and the UNFCCC: Stormy Seas Ahead?", in *Climate Change Impacts on Ocean and Coastal Law: U.S. and International Perspectives*, Edited by Randall S. Abate, (2014), at 9.

همچنین اعضا باید به منظور کاهش یا از بین بردن ابهامات مربوط به علل، اثرات و میزان تغییرات اقلیمی و همچنین عواقب اقتصادی اجتماعی "تدابیر مختلف واکنش به تغییرات اقلیمی" با یکدیگر در زمینه‌های علمی، فنی، فناوری و اقتصادی همکاری نمایند (بند (ز) قسمت اول ماده ۴). اگرچه عبارت "تدابیر مختلف واکنش به تغییرات اقلیمی" در این کنوانسیون تعریف نشده اما چون مفهومی گسترده است می‌توان روش‌های ژئومهندسی را نیز در زمره تدابیر واکنش به تغییرات اقلیمی به شمار آورد.[1] کنوانسیون چارچوب تغییرات اقلیمی، زمینه‌ساز تدوین دو سند مهم دیگر در حوزه تغییرات اقلیمی یعنی پروتکل کیوتو و توافقنامه پاریس گردید که در ادامه به آنها پرداخته می‌شود.

الف- پروتکل کیوتو[2]

ماده ۲ پروتکل (قسمت الف بند ۱ و بندهای ۲ و ۴) انگیزه قانونی لازم را برای اتخاذ روش‌های حذف دی‌اکسید کربن فراهم آورده است. پروتکل کیوتو همانند کنوانسیون چارچوب تغییرات اقلیمی، بر حفاظت و تقویت سینک‌ها و مخازن گازهای گلخانه‌ای و ارتقای شیوه‌های مدیریت پایدار جنگل‌ها، جنگل‌زایی و احیای جنگل‌ها تاکید دارد (بند ۲ ماده ۲) و حتی از روش اخیر تحت عنوان مکانیزم توسعه پاک نام برده است. مضافا اینکه اعضا را به استفاده بیشتر از اشکال جدید و تجدیدپذیر انرژی با استفاده از فناوری‌های جداسازی دی‌اکسیدکربن و فناوری‌های بی‌خطر جدید تشویق می‌نماید. این عبارت‌پردازی نشان می‌دهد پروتکل ضمن پذیرش این قبیل فناوری‌ها، صِرف معیار بی‌خطر بودن را شرط بکارگیری آنها می‌داند.[3]

ب- توافقنامه پاریس[4]

توافقنامه پاریس ساختار جدیدی برای همکاری‌های بین‌المللی در حوزه تغییرات اقلیمی ایجاد نموده است. هدف اصلی این توافقنامه، کاهش دمای جهانی از طریق حفظ میانگین

1. Michael Gerrard & Tracy Hester, *Climate Engineering and the Law: Regulation and Liability for Solar Radiation Management and Carbon Dioxide Removal* (Cambridge: Cambridge University Press 2018) at 67.
2. Kyoto Protocol, (1997).
3. Du Haomiao, *An International Legal Framework for Geoengineering Managing the Risks of an Emerging Technology* (London: Routledge, 2019) at 45.
4. Paris Agreement.

افزایش دمای جهانی زیر ۲ درجه سانتیگراد است. تجربیات کنونی نشان داده که صرفاً با کاهش انتشار، این هدف محقق نمی‌شود بلکه باید متوسل به روش‌های جدید کاهش دما شد یعنی روش‌هایی که نرخ کربن را منفی کنند. متن توافقنامه همانند کنوانسیون چارچوب و پروتکل، بی‌آنکه نامی از ژئومهندسی بیاورد از سینک‌ها و مخازن کربن بعنوان روش‌های حذف گازهای گلخانه‌ای نام برده و بر نقش آنها در دستیابی به هدف توافقنامه تأکید دارد (بند اول ماده ۴ و ماده ۵).

با این وجود، تجزیه و تحلیل‌های ارائه شده در مدل‌های ارزیابی یکپارچه[۱] توسط اعضا به کاربرد گسترده روش‌های حذف دی‌اکسید کربن در دستیابی به اهداف کاهش ۲ درجه سانتیگرادی اشاره دارند.[۲] همچنین در برنامه مشارکت ملی[۳] برخی از کشورها عباراتی همچون "تسخیر دی‌اکسید کربن به منظور ذخیره یا استفاده در صنایع دیگر[۴]" و یا "انتقال و ذخیره دی‌اکسید کربن[۵]" بعنوان بخشی از روش‌های دستیابی به اهداف توافقنامه پاریس به چشم می‌خورد. از این گذشته برخی از محققان، تحقق هدف توافقنامه پاریس را در توجه کشورها به روش‌های مدیریت پرتوهای خورشیدی می‌دانند.[۶]

1.The Integrated Assessment Modeling (IAM).

2. Joshua Horton & et al, "Implications of the Paris Agreement for Carbon Dioxide Removal and Solar Geoengineering", Policy Brief, Harvard Project on Climate Agreements, Belfer Center, (2016), at 3.

۳. مطابق ماده ۳ توافقنامه پاریس، دولت‌ها موظفند میزان و نحوه مشارکت خود را در دستیابی به اهداف توافقنامه با توجه به سایر مواد توافقنامه در غالب اسناد مشارکت ملی مدنظر خود تنظیم کنند، "برنامه‌های مشارکت ملی تعیین شده" توسط کشورها پس از تأیید توافقنامه پاریس تبدیل به "برنامه مشارکت ملی" خواهد شد.

۴. برنامه مشارکت ملی عربستان، ص۳.

The Intended Nationally Determined Contribution of the Kingdom of Saudi Arabia under the UNFCCC available at: https:// www4. unfccc. int/ sites/ ndcstaging/ Published Documents/ Saudi%20 Arabia% 20 First/KSA-INDCs%20English.pdf, Accessed at June 2020.

۵. برنامه مشارکت ملی ژاپن، ص ۳.

The Intended Nationally Determined Contribution of the Japan, available at: https:// www4. unfccc. int/ sites/ ndcstaging/ Published Documents/ Japan%20 First/ 20150717_Japan%27s%20INDC.pdf, Accessed at June 2020.

6. Ying, Chen and Yuan, Xin, "Implications of Geoengineering under the 1.5 °C Target: Analysis and Policy Suggestions", Advances in Climate Change Research, Volume 8, Issue 2, (2017), at 125.

در مجموع از مفاد بررسی شده می‌توان گفت نگاه کنوانسیون تغییرات اقلیمی، پروتکل و توافقنامه به روش‌های ژئومهندسی بویژه روش‌های حذف و تسخیر دی‌اکسید کربن مانند استفاده از بیوانرژی، جنگل‌زایی و احیای جنگل‌ها و فناوری‌های جدید مثبت بوده و اعضا به استفاده از این روش‌ها تشویق و یا مکلف شده‌اند. با توجه به نقش مهمی که روش‌های یاد شده می‌توانند در کاهش و مقابله با گرمایش زمین بعنوان اهداف اصلی اسناد یاد شده داشته باشند، این نگرش دور از ذهن نیست.

۲-۲-۲. کنوانسیون آلودگی‌های فرامرزی هوا[1]

این کنوانسیون، توافقنامه منطقه‌ای است که به ابتکار کمیسیون اقتصادی سازمان ملل برای اروپا و در راستای پرداختن به مشکل باران‌های اسیدی و با هدف محافظت از انسان و محیط زیست در برابر آلودگی هوا و کاهش تدریجی آن منعقد شده است.[2] دو پروتکل الحاقی کنوانسیون (به نام‌های هلسینکی[3] و اسلو[4]) اعضا را موظف به کاهش میزان انتشار سولفور و مشتقات آن (سولفات) نموده‌اند. در مقدمه این پروتکل‌ها به منابع عمده آلودگی هوا یعنی احتراق سوخت‌های فسیلی برای تولید انرژی، فرآیندهای فنی در بخش‌های صنعتی و همچنین حمل و نقل اشاره شده است. از آنجاییکه عبارت‌پردازی، مقدمه پروتکل‌ها حصری نیست؛ مفاد آنها را می‌توان نسبت به روش تزریق هواویزه- به شرط آنکه محیط را اسیدی کند- قابل اعمال دانست. از سوی دیگر کنوانسیون، تعریفی گسترده از آلودگی هوا دارد که مطابق آن وارد کردن مستقیم یا غیرمستقیم هرگونه مواد یا انرژی به هوا که آثار مخربی بر سلامت انسان‌ها، منابع زنده و ... داشته باشد، آلودگی محسوب می‌شود. بر این اساس، اعمال برخی از روش‌های ژئومهندسی از جمله تزریق هواویزه و یا روش جذب و ذخیره کربن می‌تواند در این چارچوب قرار گرفته و مغایر با کنوانسیون باشد.

---

1. Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, 1979.

۲. این کنوانسیون ۸ پروتکل دارد که اکثر آنها محدودیت‌های وارد بر انتشار آلاینده‌های مختلف فرامرزی دوربرد هوا را تعیین نموده‌اند.

3. Helsinki Protocol on the Reduction of Sulphur Emissions or their Transboundary Fluxes by at Least 30 percent, 1985.

4. Oslo Protocol on Further Reduction of Sulphur Emissions 1994.

۳-۲-۲. کنوانسیون حفاظت از لایه ازون[1]

از بین رفتن لایه ازون منجر به افزایش میزان تابش اشعه فرابنفش در سطح زمین می‌شود که این امر خطراتی برای سلامت انسان‌ها و محیط زیست به دنبال دارد در همین راستاکنوانسیون وین و پروتکل مونترال[2] جهت حفاظت از لایه ازون منعقد شده‌اند.

اولا مقررات عمومی کنوانسیون به منظور مقابله با آثار برخی از فعالیت‌های انسانی که مخرب یا احتمالا مخرب لایه ازون هستند، طرفین را متعهد به اتخاذ اقدامات مقتضی می‌نماید.

ثانیا ضمیمه اول از موادی نام برده که می‌توانند تغییراتی را در ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی لایه ازون ایجاد کنند، از جمله این مواد بخار آب است. چنانچه گفته شد در برخی از فنون بارورسازی ابرها، بخار آب به لایه زیرین اتمسفر منتقل می‌شود که امکان سرایت آن به استراتوسفر و در نتیجه لایه ازون نیز وجود دارد. لذا بارورسازی ابرها اگر منجر به تغییر لایه ازون شود، تحت شمول مقررات کنوانسیون وین قرار گرفته و با محدویت‌هایی همراه خواهد بود. قدر مسلم آن است که صرف احتمال ایجاد تغییر در لایه ازون برای تحریم روش‌های ژئومهندسی کفایت نمی‌کند بلکه مطابق بند ۲ ماده ۱ کنوانسیون[3] در پی داشتن آثار منفی نیز ضروری است.[4]

ثالثاً روش تزریق هواویزه سولفات به استراتوسفر نیز ممکن است لایه ازون را تخریب کند. اگرچه ضمیمه اول، سولفات را در زمره مواد تغییر دهنده لایه ازون ذکر نکرده اما چون تزریق سولفات منجر به تراکم ذرات آب می‌شود، می‌توان استدلال کرد که این روش نیز تحت شمول کنوانسیون وین قرار می‌گیرد.[5] رابعاً دو روش بارورسازی ابرها و تزریق هواویزه بعنوان فعالیت‌های انسانی تحت صلاحیت و کنترل کشورهای عضو،

---

1. Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer 1985.
2. Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer 1987.
۳. مطابق این بند، آثار منفی به معنای تغییر در محیط فیزیکی یا بیوتا است؛ مثل تغییر در اقلیم که آثار زیان‌بار قابل توجهی برای سلامت انسان‌ها، ساختار، انعطاف‌پذیری و بهره‌وری زیست‌بوم‌های مصنوعی و طبیعی و یا بر مواد مفید برای بشر دارد.
4. Du Haomiao, *An International Legal Framework for Geoengineering Managing the Risks of an Emerging Technology* (london: Routledge, 2019) at 124.
5. Gerd Winter, "Climate Engineering and International Law: Final Exit or the End of Humanity?", In *Climate Change: International Law and Global Governance*, Edited by Oliver C Ruppel, et al, (2013), at 992.

مشمول مقررات قسمت (ب) بند دوم ماده ۲ کنوانسیون وین قرار می‌گیرند که اعضا را متعهد به اتخاذ تدابیر مناسب قانونی و اداری جهت هماهنگ‌سازی خط‌مشی‌های مناسب برای کنترل، تحدید، کاهش یا جلوگیری از فعالیت‌های مزبور نموده است. با این وجود، کنوانسیون وین فاقد مقرره‌ای برای کنترل میزان مشخص تولید یا مصرف مواد ممنوعه است. این نقصان تا حدی توسط پروتکل مونترال پوشش داده شده، این پروتکل مقررات کنترلی ویژه‌ای دارد و محدودیت‌های مشخصی را برای تولید یا مصرف موادی که در ضمیمه اول آن ذکر شده‌اند، وضع نموده است.

جدای از مقررات عمومی، مستفاد از ضمیمه اول و مواد ۱ و ۲ این کنوانسیون، روش‌هایی همچون بارورسازی ابرها و تزریق هوایزه اگر باعث تغییراتی در لایه ازون شده و یا آن را تخریب نمایند و یا این احتمال وجود داشته باشد، ممنوع بوده و اعضا باید اقدامات مقتضی جهت ایجاد محدودیت، کاهش یا جلوگیری از اقدامات یاد شده به عمل آورند.

۴-۲-۲. کنوانسیون حقوق دریاها [1]

کنوانسیون حقوق دریاها، توافقنامه جامعی است که بستر حقوقی را برای همکاری‌های بین‌المللی در حوزه دریاها ایجاد نموده و مبین حقوق و تکالیف اعضا در انجام فعالیت‌های دریایی است. از جمله حقوق و تعهدات مرتبط با بحث، حق اعضا برای انجام تحقیقات علمی دریایی و تکلیف آنها به حفاظت از محیط زیست دریایی است. از میان روش‌های ژئومهندسی، بارورسازی اقیانوس‌ها وابستگی تام به دریا دارد. با دو استدلال می‌توان مفادکنوانسیون را نسبت به بارورسازی اقیانوس‌ها در مرحله عملیاتی آن قابل اعمال دانست. استدلال اول این است که آهن و ریزمغذی‌های مورد استفاده را آلاینده تلقی نماییم. مبنای این استدلال بر تعریف کنوانسیون از آلودگی یعنی ورود هر نوع ماده یا انرژی که قطعا یا احتمالا آثار زیانبار به دنبال داشته باشد، استوار است (قسمت چهارم بند اول ماده ۱). فرآیند بارورسازی اگر منجر به آثار زیانبار قطعی یا احتمالی بر حیات دریایی و منابع زنده شود، نوعی آلودگی دریایی بوده فلذا ممنوع است و طبق ماده ۶۹۱، اعضا باید اقدامات لازم را جهت کنترل و جلوگیری از آلودگی‌هایی که ناشی از

1. United Nations Convention on the Law of the Sea, 1982 (UNCLOS).

بکارگیری فناوری هستند بعمل آورند. استدلال دوم بر پایه مواد ۱ و ۲۱۰ کنوانسیون بنا شده و البته با ابهاماتی نیز همراه است. از یکسو با توجه به تعریف وسیع کنوانسیون از دفع که شامل هرنوع تخلیه عمدی زباله یا سایر مواد در دریا می‌شود (قسمت الف بند ۵ ماده ۱) بارورکننده‌ها یعنی آهن و دیگر ریزمغذی‌هایی که در بارورسازی کاربرد داشته و عامدانه به دریا ریخته می‌شوند مشمول عبارت سایر مواد می‌شوند و لذا دولت‌ها نه تنها مجاز به دفع آنها در دریا نمی‌باشند بلکه طبق ماده ۲۱۰ متعهد به کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از آن نیز هستند. اما کل قضیه به اینجا ختم نمی‌شود زیرا طبق قسمت (ب) همان مقرره، حتی اگر افزودن ریزمغذی‌ها معادل دفع باشد، باز تحت شمول ماده ۲۱۰ قرار نمی‌گیرد چون اولا دفع ریزمغذی‌ها با هدف صرف دفع انجام نشده و اهداف دیگری دارد و ثانیاً بر اساس دانش کنونی بشر، مغایر اهداف کنوانسیون حقوق دریاها نیست.

از اینها گذشته، در حال حاضر بارورسازی اقیانوس‌ها در مرحله تحقیق و آزمایش است لذا بخش سیزدهم کنوانسیون (مقررات مربوط به تحقیقات علمی) نسبت به آن قابل اعمال است، نه مواد فوق‌الذکر. شاخص‌هایی در ماده ۲۴۰ برای تحقیقات علمی در دریا ذکر شده شامل صلح‌آمیز بودن، استفاده از روش‌ها و ابزار مناسب، عدم ایجاد مانع برای استفاده‌های مشروع از دریا و رعایت کلیه مقررات بویژه مقررات زیست‌محیطی می‌شود. از میان این شاخص‌ها، احراز دو مورد چندان آسان نیست؛ یکی مناسب بودن روش بارورسازی که موضوعی اختلاف برانگیز است و دیگری حصول اطمینان از اینکه با انجام این روش مقررات زیست‌محیطی مربوط به حفاظت از دریاها از جمله بخش دوازدهم کنوانسیون نقض نمی‌شود.[1]

در مجموع، کنوانسیون حقوق دریاها برای تنظیم بارورسازی چه در مرحله عملیاتی و چه تحقیقات علمی با چالش‌هایی مواجه است و موضوع در هاله‌ای از ابهامات قرار دارد، مسائلی از قبیل آلاینده دانستن مواد ریزمغذی، احراز مناسب بودن این روش و عدم لطمه به محیط زیست دریایی از جمله ابهاماتی است که کنوانسیون پاسخی به آنها نمی‌دهد.

1. Du. op.cit. at 102.

۵-۲-۲. کنوانسیون انمود[1]

انمود را می‌توان تنها کنوانسیونی دانست که تقریباً بر کلیه روش‌های ژئومهندسی قابل اعمال است. منظور از "روش‌های مرتبط با تغییرات زیست‌محیطی" هر روشی است که از طریق دستکاری عمدی در فرآیندهای طبیعی، موجب تغییراتی در محیط زیست شود و منظور از فرآیندهای طبیعی، ترکیبات پویا و ساختاری زمین شامل حیات جانوری و گیاهی، لیتوسفر، هیدروسفر، اتمسفر یا فضای ماورای جو می‌شود (ماده ۲). معیارهای شناسایی روش‌های ممنوعه تغییر محیط زیست شامل تاثیرات گسترده، طولانی‌مدت یا شدید، ایراد تخریب، آسیب یا صدمه به سایر کشورها و استفاده نظامی یا خصمانه می‌شود[2] (مواد ۱ و۳ انمود). در نتیجه از نظر این سند، بکارگیری روش‌های ژئومهندسی مادامیکه فاقد اوصاف گفته شده باشد، مجاز است.[3]با این حال و هرچند انمود جزء معدود کنوانسیون‌هایی است که ظرفیت تنظیم روش‌های مختلف ژئومهندسی را دارد اما اولاً کنوانسیونی جهانی نیست و در ثانی فاقد دستگاه نظارتی بوده و قلمرو اجرایی آن به دلیل تمرکز بر اقدامات خصمانه، محدود است.[4]

نتیجه‌گیری

امروزه ژئومهندسی جدیدترین رویکرد مقابله با گرمایش زمین است که می‌تواند بعنوان جایگزین و یا مکمل روش‌های سنتی نقش موثری در مقابله با گرمایش و به تبع آن تغییرات اقلیمی ایفا نماید. دو شاخه اصلی ژئومهندسی یعنی روش‌های حذف دی‌اکسید کربن (سی دی آر) و مدیریت پرتوهای خورشیدی (اس آر ام) در کنار مزایایی که اصلی‌ترین آن مقابله با تغییرات اقلیمی است، ممکن است معایبی برای محیط زیست به

---

1. Convention on the Prohibition of Military or Any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques, 1977 (ENMOD).

۲. یکی از نمونه‌های عملی استفاده خصمانه و نظامی از ژئومهندسی می‌توان به استفاده ارتش آمریکا از بارورسازی ابرها با یدید نقره جهت محدود کردن حرکت نیروهای دشمن اشاره کرد (Fleming, 2007: 55).

3. Karen Scott, "International Law in the Anthropocene. Responding to the Geoengineering Challenge", Michigan Journal of International Law, Volume 34, Issue 22, (2013), at 331.

4. Kheng-Lian Koh & et al., *Adaptation to Climate Change: ASEAN and Comparative Experiences*, World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd, Singapore, (2015), at 205.

دنبال داشته باشند و از آنجا که برخی از این روش‌ها در مشترکات جهانی مثل دریاهای آزاد باید اجرا شوند فقدان مقررات کافی برای نظارت بر این فرآیندهای نوین بر نگرانی‌های بین‌المللی افزوده و ضرورت تنظیم آنها را آشکار می‌سازد.

در این مقاله پس از ارزیابی اسناد زیست‌محیطی مشخص شد که در حال حاضر سیزده سند (اصلی و ضمیمه) به صورت صریح و یا ضمنی به تنظیم روش‌های ژئومهندسی پرداخته‌اند. اغلب این اسناد، صراحتا از عبارت ژئومهندسی یا روش‌های مختلف آن نظیر تسخیر و جذب دی اکسید کربن، بارورسازی ابرها، بارورسازی اقیانوس‌ها، افزایش سپیدایی سطوح و ... نام نبرده‌اند اما محتوای مفاد و عبارت‌پردازی آنها به گونه‌ای است که قابلیت اعمال بر روش‌های ژئومهندسی را دارد. از این میان وجود عباراتی همچون حفاظت و تقویت سینک‌ها و مخازن دی‌اکسید کربن و گازهای گلخانه‌ای، تشویق به استفاده از اشکال جدید و تجدیدپذیر انرژی و استفاده از فناوری‌های جداسازی دی‌اکسید کربن و فناوری‌های بی‌خطر جدید در کنار اهداف کنوانسیون تغییرات اقلیمی، پروتکل کیوتو و توافقنامه پاریس که مقابله با تغییرات اقلیمی است، نشان از نگاه مثبت اسناد یاد شده به روش‌های ژئومهندسی دارد که با توجه به هدف و ماهیت این اسناد امری بدیهی به نظر می‌رسد. در خصوص اسناد دیگر همچون کنوانسیون حقوق دریاها، کنوانسیون حفاظت از لایه ازون، کنوانسیون آلودگی‌های دوربرد هوا و انمود، نمی‌توان به سادگی قضاوت نمود. با توجه به عدم تصریح مشخص به روش‌های ژئومهندسی در این اسناد، مخالفان روش‌ها و فناوری‌های جدید با تفاسیر موسع از مفاد اسناد فوق سعی در مضموم جلوه دادن ژئومهندسی دارند اما اگر بخواهیم واقع‌بین باشیم و چنانچه مفاد آنها را قابل اعمال بر ژئومهندسی دانست، هیچیک از این اسناد به صورت مطلق با روش‌های ژئومهندسی مخالفت نکرده‌اند بلکه هر کدام بسته به موضوع خود شرایطی را برای آنها برشمرده‌اند از جمله در پی داشتن آثار منفی و زیانبار، داشتن تاثیرات گسترده، طولانی‌مدت یا شدید. در مقابل، کنوانسیون و پروتکل لندن و کنوانسیون تنوع زیستی تنها اسنادی هستند که اعضای آنها از طریق تصمیمات کنفرانس اعضا و تهیه اصلاحیه، صراحتاً انجام کلی یا جزئی ژئومهندسی بویژه روش بارورسازی اقیانوس‌ها را با استدلال عدم قطعیت علمی و لزوم داشتن رویکرد احتیاطی، محدودیت‌های شدید و گاهی ممنوعیت به نظم کشیده‌اند.

در کنار این موارد باید به چالش‌ها و کاستی‌هایی در تنظیم ژئومهندسی مثل عدم وجود نهاد تصمیم‌گیرنده برای تایید یا رد پروژه‌های ژئومهندسی، فقدان دستورالعمل‌های لازم برای اجرای این پروژه‌ها بویژه از حیث آثار و مخاطرات احتمالی آنها برای محیط زیست، دخالت بخش خصوصی در اجرای آنها و... اشاره نمود. مواردی که از دید اغلب معاهدات مزبور پنهان مانده است. برای رفع این خلاها نیز می‌توان راهکارهایی ارائه نمود: اول، تهیه سندی جامع برای تنظیم کلیه روش‌های ژئومهندسی است؛ این سند می‌تواند در قالب کنوانسیون چارچوب تنظیم شده و مقررات بنیادین برای تنظیم معاهدات جزئی بعدی را ارائه دهد. این راهکار قادر است بسیاری از خلاهای موجود بویژه پراکندگی رویکردها را مرتفع سازد. دوم، تدارک معاهداتی مستقل و جداگانه برای هر یک از روش‌های ژئومهندسی است که به دلیل تخصصی بودن و لحاظ معایب و مزایای هر روش، بسیار مفید باشند. راهکار سوم الحاق پروتکل به برخی از اسناد موجود است برای مثال پروتکل الحاقی برای تنظیم بارورسازی اقیانوس‌ها به کنوانسیون حقوق دریاها و یا برای تنظیم بارورسازی ابرها پروتکل الحاقی به کنوانسیون حفاظت از لایه ازون در زمینه بارورسازی ابرها. اما راهکاری که به نظر عملی‌تر از راهکارهای پیشین است، تنظیم ژئومهندسی از طریق تقویت مشارکت بین اسناد موجود است. بعبارت دیگر با ایجاد مشارکت بین رژیم‌های مختلف از طریق پیش‌بینی کارگروه‌های مشترک و یا انعقاد توافقنامه‌های همکاری می‌توان ناهماهنگی‌های موجود را رفع و زمینه‌ای برای تنظیم و نظارت بر ژئومهندسی فراهم آورد.

ORCID

Zahra Mahmoodi Kordi http://orcid.org/0000-0002-8126-93560

Masomeh Gholami Miansaraee http://orcid.org/0000-0003-1958-3464

منابع

مقاله‌ها

- خرسندی، فرهاد، «ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی بیوچار»، منتشر شده در : (۱۳۹۸)
https:// www. researchgate. net/ publication/ 330508068, available at: Accessed November 2020, Doi: 10.13140/RG.2.2.35149.08169.
- قریشی، سید کاظم؛ رحیمی پردنجانی، ایرج و محمد طاهری، «اثرات زیست‌محیطی تغییرات اقلیمی»، منتشر شده توسط اولین کنفرانس ملی آلودگی‌های محیط زیست با محوریت زمین پاک، اردبیل، انجمن مردم نهاد حیات پاک، (۳۹۳۱)،
Available at: https:// www. civilica. com/ Paper- IAUEP01-IAUEP01_056.html.

References

Books

- Du Haomiao, *An International Legal Framework for Geoengineering Managing the Risks of an Emerging Technology* (London: Routledg, 2019).

- Gerrard, Michael B. and Hester, Tracy *Climate Engineering and the Law: Regulation and Liability for Solar Radiation Management and Carbon Dioxide Removal* (Cambridge: Cambridge University Press, 2018).

- Koh Kheng-Lian, *Adaptation to Climate Change: ASEAN and Comparative Experiences* (Singapore: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd. 2015).

Articles

- Ahlm, Lars et al., "Marine Cloud Brightening – as Effective without Clouds", Atmos, Chem Phys., 17, (2017).

- Basha, Asmath et al., "100% Free Global Warming", International Journal of Computer Applications, 15, (2010).

- Bert, Gordijn & Henk, Have, "Ethics of Mitigation, Adaptation and Geoengineering", Med Health Care and Philos, 15, (2012).

- Bopp, Laurent, et al., "The Ocean: A Carbon Pump", at 3, Available at: https://www.ocean-climate.org/wp-content/ uploads/ 2017/ 03/ ocean-carbon-pump_07-2.pdf, (2015).

- Broder, Sherry, P, "International Governance of Ocean Fertilization and other Marine Geoengineering Activities", In *Ocean Law and Policy*, Edited by Carlos Espósito, James Kraska, Harry N. Scheiber, and Moon-Sang Kwon, (2017).

- Broder, Sherry, P. Haward, Marcus, "The International Legal Regimes Governing", In *Regions, Institutions, and Law of the Sea*, Edited by HN. -H. Paik and Jin-Hyun Paik, (2013).

- Caldeira, Ken, Bala, Govindasamy, Cao, Long, "The Science of Geoengineering", Annu. Rev Earth Planet. Sci. 41, (2013).

- Chen, Ying & Xin ,Yuan, "Implications of Geoengineering under the 1.5 °C Target: Analysis and Policy Suggestions", Advances in Climate Change Research, Volume 8, Issue 2, (2017).

- Cao, Long & et al., "Geoengineering: Basic Science and Ongoing Research Efforts in China", Advances in Climate Change Research, 6(3-4), (2015).

- Doelle, Meinhard, "Climate Geoengineering and Dispute Settlement Under UNCLOS and the UNFCCC: Stormy Seas Ahead? "in *Climate Change Impacts on Ocean and Coastal Law: U.S. and International Perspectives*, Edited by Abate Randall, (2014).

- Fleming, James R, "The Climate Engineers: Playing God to Save the Planet", Wilson Quarterly, 31(2), (2007).

- Khorsandi, Farhad, "Physical and Chemical Properties of Biochar", Published in: (1398), https:// www. researchgate. net/ publication/ 330508068, available at: Accessed November 2020, Doi: 10.13140/RG.2.2.35149.08169.

- Scott, Karen N, "International Law in the Anthropocene, Responding to the Geoengineering Challenge, Michigan Journal of International Law, 34(22), (2013).

- Shepherd, John & et al., "Geoengineering the Climate: Science, Governance and Uncertainty", Report by the Royal Society, Ocean Challenge, 17, (2009).

- Tedsen, Elizabeth & Homann, Gesa, "Implementing the Precautionary Principle for Climate Engineering", Carbon and Climate Law Review, 7(2), (2013).

- Vaughan, Naomi & Lenton, Timothy, "A Review of Climate Geoengineering Proposals", Climatic Change, 109 (3-4), (2011).

- Winter, Gerd, "Climate Engineering and International Law: Final Exit or the End of Humanity? "In *Climate Change: International Law and Global Governance* Edited by Ruppel, Oliver C. Roschmann, Christian. Ruppel, Katharina, (2013).

- Yoon, Joo-Eun & et al.,"Ocean Iron Fertilization Experiments: Past–Present–Future with Introduction to Korean Iron Fertilization Experiment in the Southern Ocean (KIFES) Project", Biogeosciences 15(19), (2018).

- Qureshi, Seyed Kazem; Rahimi Pardanjani, Iraj and Mohammad Taheri, "Environmental Impacts of Climate Change", Published by the First National Conference on Environmental Pollution with a focus on clean land, Ardabil, Clean Life NGO, (2014), Available at: https:// www. civilica. com/ Paper- IAUEP01-IAUEP01_056.html.

Thesis

- Brent, Kerryn, The Role of the No-Harm Rule in Governing Solar Radiation Management Geoengineering, PhD Thesis, University of Tasmania, (2016).

Documents

- Amendment to the 1996 Protocol to The Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and other Matter1972 to Regulate Marine Geoengineering, (2013).

- Decision IX/16: Ninth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, (2008).

- Decision X/33: Tenth Meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, (2010).

- Decision XI/ 20. Eleventh Meeting of the Conference of Parties to the Convention on Marine Biodervisty, (2012).

- Decision XIII/14: Thirteenth meeting of the Conference of the Parties to the Convention on Biological Diversity, (2016).

- Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution, (1979).

- Convention on the Prohibition of Military or any Other Hostile Use of Environmental Modification Techniques, (1977).

- Helsinki Protocol on the Reduction of Sulphur Emissions or their Transboundary Fluxes by at Least 30 Percent, (1985).

- Kyoto Protocol (1996).

- Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, (1972) and London Protocol (1996).

- Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer (1987).

- Oslo Protocol on Further Reduction of Sulphur Emissions, (1994).

- Paris Agreement (2015).

- Resolution LC-LP.1 on the Regulation of Ocean Fertilization (2008).

- The Convention on Biological Diversity, (1992).

- United Nations Convention on the Law of the Sea, (1982).

- United Nations Framework Convention on Climate Change (1992).

- Vienna Convention for the Protection of the Ozone Layer (1985).

Report

- Bracmort, Kelsi, Lattanzio, Richard K. Barbour Emily C, "Geoengineering: Governance and Technology Policy", Congressional Research Service Report R41371, (2010).

- Horton, Joshua B. Keith, David W. and Matthias Honegger, "Implications of the Paris Agreement for Carbon Dioxide Removal and Solar Geoengineering, Harvard Project on Climate Agreements, Belfer Center, (2016).

- Secretariat of the Convention on Biological Diversity, "Scientific Synthesis of the Impacts of Ocean Fertilization on Marine Biodiversity", Technical Series No. 45. (2009)

- Secretariat of the Convention on Biological Diversity "Geoengineering in Relation to the Convention on Biological Diversity: Technical and Regulatory Matters" Montreal, Technical Series, No. 66, (2012).

Sites

- The Effects of Climate Change, NASA, (2019), Available at: https:// climate. nasa. gov/ effects/, Accessed August 2020.

- Carbon Dioxide, NASA (November 2020) Available at: https:// climate. nasa. gov/ vital-signs/carbon-dioxide/, Accessed November 2020.

- Global Effects of Mount Pinatubo, NASA, (2001), available at: https:// earth observatory. nasa. gov/ images/1510/global-effects-of-mount-pinatubo, Accessed at April 2020.

استناد به این مقاله:

محمودی کردی، زهرا، غلامی میانسرایی، معصومه، (۱۴۰۰)، «ژئومهندسی و رویکرد مقررات بین‌المللی زیست‌محیطی در تنظیم آن»، پژوهش حقوق عمومی .236-201 ,(73)23 ,

doi: 10.22054/qjpl.2021.56346.2511