توسعه اثربخشی جنگل های حرا در جذب کربن آبی

شهناز بهمن یار [1] ، شراره قاسمی [2]

1- دکتری مهندسی دریا، پژوهشکده علوم و فناوری های انرژی ، آب و محیط زیست دانشگاه صنعتی شریف

(sha.bahmanyar01@sharif.edu)

2-دکتری بیوتکنولوژی گیاهی، دانشگاه پلی تکنیک مادرید (shareareh.ghasemi@hotmail.com)

خلاصه

جنگل‌ها نقش مهمی در جذب کربن از اتمسفر دارند و این نقش به عنوان جذب کربن آبی شناخته می‌شود. جذب کربن آبی به فرآیندی اشاره دارد که در آن جنگل‌ها دی‌اکسید کربن موجود در هوا را از طریق فتوسنتز جذب و درون بافت‌های خود به صورت زیست‌توده (چوب، برگ‌ها، و ریشه‌ها) ذخیره می‌کنند. کربن آبی به کربنی اطلاق می‌شود که در اکوسیستم‌های دریایی و ساحلی مانند جنگل‌های حرا، مانگروها، علفزارهای دریایی و تالاب‌های ساحلی ذخیره می‌شود. جنگل‌ها همچنین در خاک زیرین خود کربن را به صورت ماده آلی ذخیره می‌کنند. این فرآیند باعث کاهش میزان دی‌اکسید کربن در اتمسفر می‌شود و به تعدیل تغییرات اقلیمی کمک می‌کند. جنگل‌های ساحلی و حرا (مانگرو) نمونه‌های خاصی از اکوسیستم‌های جنگلی هستند که توانایی بالایی در جذب و ذخیره کربن دارند. این جنگل‌ها نه تنها دی‌اکسید کربن را جذب می‌کنند، بلکه در خاک‌های غنی از مواد آلی خود نیز مقادیر زیادی کربن را برای مدت‌های طولانی ذخیره می‌کنند. به همین دلیل، حفاظت و مدیریت صحیح جنگل‌ها برای مقابله با تغییرات اقلیمی اهمیت زیادی دارد.

کلمات کلیدی: جنگل های حرا، کربن آبی، زیست گاه های طبیعی، اکوسیستم های آبی، تغییرات اقلیمی

1. مقدمه

جنگل‌های حرا (مانگرو) نقش بسیار مهمی در جذب و ذخیره‌سازی کربن دارند. این جنگل‌ها به عنوان یکی از کارآمدترین اکوسیستم‌ها در جذب دی‌اکسید کربن (CO_2) از اتمسفر شناخته می‌شوند. مانگروها قادرند مقادیر زیادی از کربن را در خاک و زیست‌توده خود ذخیره کنند که به این نوع کربن، "کربن آبی (blue carbon) "گفته می‌شود.جنگل‌های حرا در مناطق ساحلی و در محدوده‌های جزر و مدی رشد می‌کنند و به دلیل شرایط محیطی خاص خود، بسیار مقاوم به شوری آب و تغییرات جزر و مد هستند. آنها از طریق ریشه‌های گسترده و پیچیده خود می‌توانند مقادیر زیادی رسوبات و مواد آلی را در خاک نگه دارند، که این امر منجر به تجمع بیشتر کربن در این مناطق می‌شود.میزان کربن ذخیره‌شده در جنگل‌های حرا به مراتب بیشتر از بسیاری از جنگل‌های دیگر است. آلونگی و همکاران (2012)، کافمن و همکاران (2012) و دناتو و همکاران (2011) نشان دادند که میزان ۷۵ تا ۹۵ درصد کربن درخت در زیر زمین در ریشه‌های مرده ی این پوشش گیاهی ذخیره می‌شود و در دراز مدت، این میزان کربن در زیر زمین ذخیره و انباشته می گردد.

این ویژگی‌ها باعث شده است که حفاظت و بازسازی جنگل‌های حرا به عنوان یک راهکار مؤثر برای کاهش تغییرات اقلیمی مورد توجه قرار گیرد. با این حال، تخریب این جنگل‌ها از روشهای مختلف از جمله تغییر کاربری زمین مانند زمینهای کشاورزی و یا آبزی پروری ، فرسایش ساحلی ، رویدادهای شدید آب و هوایی و یا تبدیل آن به سکونتگاه های انسانی می‌تواند باعث آزاد شدن مقادیر زیادی کربن ذخیره‌شده به اتمسفر شود که اثرات زیست‌محیطی منفی به دنبال خواهد داشت (گلدبرگ و همکاران 2020). در این مقاله سعی شده است پتانسیل های این اکوسیستم آبی در راستای جذب گازهای گلخانه ای شناسایی شده و اقدامات مدیریتی در راستای حفظ و گسترش این اکوسیستم به عنوان یک استراتژی مهم در مدیریت تغییرات اقلیمی معرفی شود.

2. ویژگی اکوسیستم آبی جنگل های حرا

جنگل‌های حرا، که به آن‌ها مانگرو نیز گفته می‌شود، یکی از منحصر به فردترین اکوسیستم‌های آبی-خشکی در جهان هستند. این جنگل‌ها معمولاً در مناطق ساحلی گرمسیری و نیمه‌گرمسیری و همچنین در مناطق جزر و مدی قرار دارند و بخش‌های وسیعی از سواحل و دلتاهای رودخانه‌ها را پوشش می‌دهند. این جنگل‌ها دارای ویژگی‌های خاصی هستند که آن‌ها را از سایر اکوسیستم‌های جنگلی متمایز می‌کند. جنگل‌های حرا میزبان گونه‌های مختلفی از گیاهان و حیوانات هستند. از مهم‌ترین گونه‌های گیاهی می‌توان به گیاه حرا اشاره کرد. این اکوسیستم زیستگاه مناسبی برای انواع ماهیان و سایر موجودات دریایی، و نیز منبعی برای مواد آلی و مغذی در اکوسیستم‌های ساحلی می باشند. جنگل‌های حرا نقش بسیار مهمی در حفاظت از سواحل در برابر فرسایش و توفان‌های دریایی دارند. ریشه‌های گسترده و محکم این درختان مانع از فرسایش خاک می‌شوند و به پایداری سواحل کمک می‌کنند همچنین این اکوسیستم در جذب کربن و کاهش اثرات تغییرات اقلیمی نقش بسزایی ایفا می کند(کراس و همکاران 2020) (شکل 1).

شکل1. پوشش گیاهی اکوسیستم آبی جنگل حرا

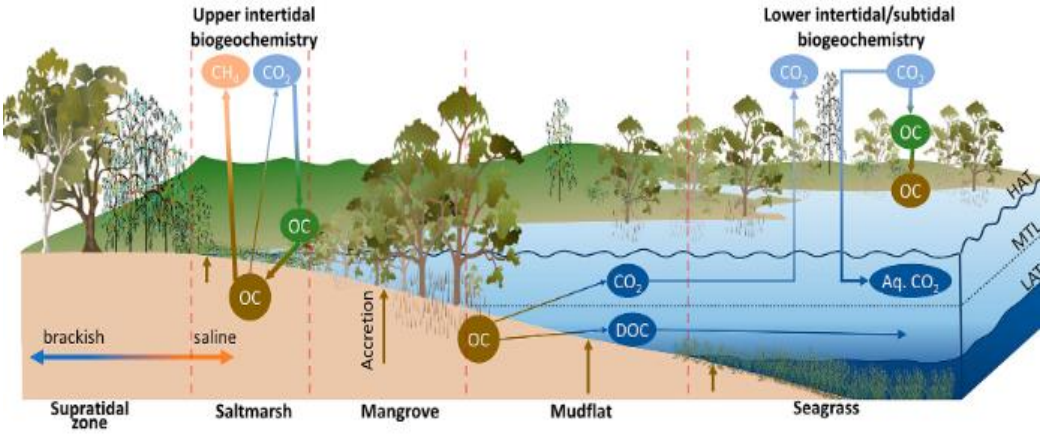
جنگل‌های حرا با چالش‌های مختلفی همچون تغییرات اقلیمی، افزایش سطح آب دریاها، آلودگی‌های نفتی و صنعتی، و بهره‌برداری‌های بی‌رویه مواجه هستند. بنابراین حفاظت و مدیریت پایدار این اکوسیستم‌ها برای حفظ تنوع زیستی و بهره‌برداری معقول از منابع طبیعی آن‌ها ضروری است.

3. کربن آبی

کربن آبی به کربنی اطلاق می‌شود که در اکوسیستم‌های ساحلی و دریایی ذخیره و جذب می‌شود. این اکوسیستم‌ها شامل جنگل‌های مانگرو، تالاب‌های شور، علفزارهای دریایی و برخی دیگر از اکوسیستم‌های آبی می باشند. اکوسیستم های جنگلهای مانگرو کربن را به دو طریق جذب می کنند. در روش اول با استفاده از تثبیت و رشد کربن در زیست توده درختی مانند چوب و در روش دوم با گذشت زمان کربن در خاک انباشته و جمع آوری می شود(شکل 2).

شکل2. نقش ریشه های این اکوسیستم در جذب و ذخیره سازی کربن

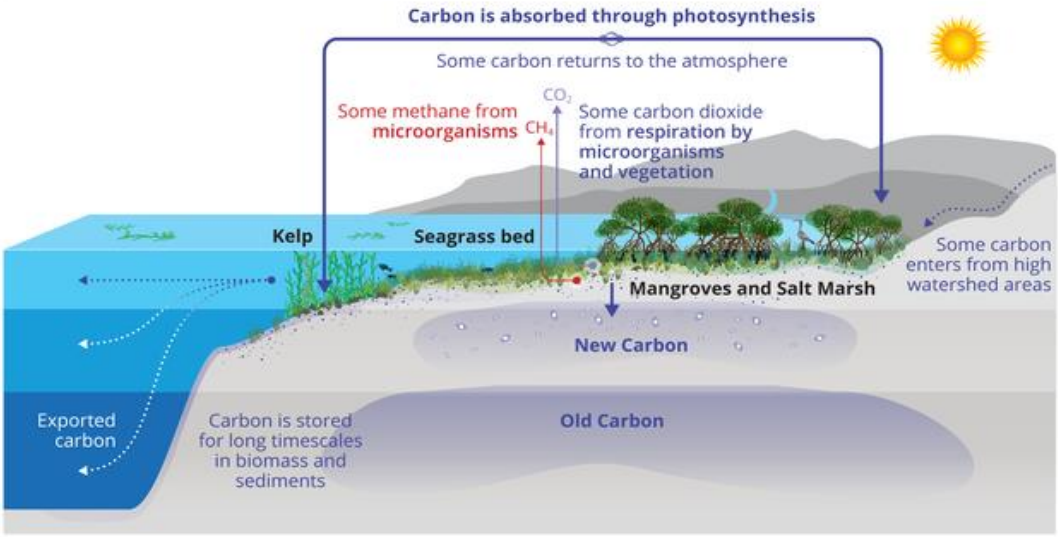
جنگل‌های حرا معمولاً جنگل‌هایی با تولید بالا هستند و مشابه اکوسیستمهای جنگلی دیگر، دارای تنوع در اندازه و سن می باشند. بنابراین در نرخ تولید اولیه و تعادل کربن متفاوت هستند. پویایی جنگل حرا شبیه به جنگل های دیگر است که در دوره های اولیه، نرخ رشد سریع و به دنبال آن در دوره ی بلوغ و پیری ، نرخ رشد کاهش می یابد. از نظر مساحت کل، این اکوسیستم ها - باتلاق های نمکی، حرا، علفزارهای دریایی، ردپای جهانی کوچکی دارند، اما خاک های عمیق و غرق آب آن ها می تواند چندین برابر بیشتر از یک جنگل بارانی استوایی کربن در هر هکتار دفن کند (شکل3).



شکل3. مدیریت کربن آبی در زیستگاه های طبیعی

مقادیر بسیار کمتری از مولکول های حاوی کربن، مانند دی ان ای و پروتئین ها در رسوبات زیر آب، پوشش گیاهی ساحلی و خاک ذخیره می شود. گیاهان رشد و جذب کربن را متوقف می کنند، بلکه قرار گرفتن خاک های کربن آبی در برابر اکسیژن می تواند به سرعت منجر به تجزیه میکروبی مواد آلی و آزاد شدن دی اکسید کربن به جو شود (لاگومازینو و همکاران 2019).

کربن آبی نقشی مهم در مقابله با تغییرات اقلیمی دارد، زیرا این اکوسیستم‌ها قادرند مقادیر زیادی از دی‌اکسید کربن را از جو جذب کرده و آن را به صورت زیستی و رسوبی ذخیره کنند(برتا و همکاران 2021). برخلاف اکوسیستم‌های زمینی، کربن ذخیره شده در این محیط‌های آبی ممکن است برای صدها یا هزاران سال در آنها باقی بماند. تخریب این اکوسیستم‌ها می‌تواند منجر به آزاد شدن مقادیر قابل توجهی کربن به جو شود و به تغییرات اقلیمی دامن بزند. بنابراین، حفاظت و بازیابی این مناطق برای کاهش اثرات تغییرات اقلیمی بسیار مهم است. توافق‌نامه‌های بین‌المللی با هدف مهار تغییرات آب و هوایی، توجه فزاینده‌ای را به کربن آبی ساحلی و کربن ذخیره‌شده توسط اکوسیستم‌های آب شور در پوشش گیاهی و خاک‌هایشان معطوف کرده است و در بخش مهمترین دستورالعمل های اجرایی سازمان های ذیربط قرار گرفته است(دیویس و همکاران، 2015).



شکل4. طرح شماتیک عملکرد و جذب کربن در اکوسیستم های آبی(پرایس و وارمن، 2016).

در مجموع، خاک و پوشش گیاهی در اکوسیستم های ساحلی بین 10 تا 24 میلیارد متریک تن کربن ذخیره می کنند. آنها هر سال 30 تا 70 میلیون تن دیگر به خاک خود اضافه می کنند (شکل 4). از یک طرف، به نظر زیاد می رسد. اما در واقع بخش کوچکی از کربن است که مستقیماً در اقیانوس به صورت دی اکسید کربن (40 تریلیون تن متریک)، کربن منجمد در منجمد دائمی جهان (1.7 تریلیون متریک تن)، یا مقدار موجود در جنگل ها و سایر پوشش های گیاهی در سراسر جهان (450-450 تن) در اقیانوس حل می شود(دئارته و همکاران، 2005). با این حال،کربنی که به صورت محلی مدفون می شود، تنها بخشی از داستان است. مقدار قابل توجهی از کربن مدفون در ر سوبات ساحلی خارج از مناطق پوشش گیاهی نیز از اکوسیستم‌های کربن آبی می‌آید، زیرا جریان‌ها مواد آلی را به خارج از قفسه ساحلی منتقل می‌کنند.

این بیش از سه برابر میزان ذخیره کربن یک متر مربع از جنگل‌های بارانی استوایی، بیش از 7 برابر میزان ذخیره‌سازی در جنگل‌های معتدل مانند جنگل‌های ایالات متحده و بیش از 10 برابر نرخ ذخیره‌سازی علفزارهایی مانند آن است. در سیاره‌ای که به طور فزاینده‌ای شلوغ می‌شود، حفظ یا بازسازی یک مخزن کربن کوچک اما کارآمد می‌تواند در برخی کشورها امکان‌پذیرتر از حفاظت از یک منطقه بزرگ‌تر اما کم‌مولدتر باشد از طرف دیگر این ظرفیت ذخیره سازی فوق العاده این است که وقتی این مناطق طبیعی پاکسازی، تخلیه یا تخریب می شوند، می توانند پالس های عظیمی از دی اکسید کربن را به جو بازگردانند(فرایلیناشتاین و همکاران،2022).

4. توسعه زیرساخت ها

جنگل‌های حرا (مانگروها) به‌دلیل توانایی بسیار بالای خود در ذخیره‌سازی کربن، به عنوان یکی از مهم‌ترین اکوسیستم‌های کربن آبی شناخته می‌شوند. با این حال، این اکوسیستم‌ها با چالش‌ها و فرصت‌های مختلفی روبرو هستند. از مهمترین چهالشهای پیشرو برای این اکوسیستم آبی می توان به تخریب زیستگاه‌ها اشاره کرد که در این روند فعالیت‌های انسانی مانند

قطع درختان حرا، توسعه ساحلی و کشاورزی می‌تواند به تخریب و کاهش مساحت جنگل‌های حرا منجر شود. این تخریب‌ها نه تنها ظرفیت ذخیره‌سازی کربن را کاهش می‌دهد، بلکه باعث انتشار کربن ذخیره‌شده به جو می‌شود. از طرفی ورود آلودگی‌های محیطی از جمله ورود آلودگی‌های صنعتی، نفتی و شیمیایی به مناطق حرا می‌تواند سلامت این اکوسیستم‌ها را تهدید کرده و ظرفیت آن‌ها در جذب و ذخیره‌سازی کربن را کاهش دهد (کراس جنسن و همکاران، 2016).

از مهمترین معظلاتی که سبب ایجاد چالش های جبران ناپذیر به این اکوسیستم آبی می شود می توان به کمبود آگاهی و مدیریت ناپایدار در این نواحی اشاره کرد. در بسیاری از مناطق، آگاهی عمومی و سیاست‌های مدیریتی کافی برای حفاظت از جنگل‌های حرا و بهره‌برداری پایدار از این منابع وجود ندارد. این کمبودها می‌تواند به بهره‌برداری غیرمسئولانه و ناپایدار منجر شود. بنابراین تخریب این اکوسیستم نه تنها سبب کاهش توانایی آنها در ذخیره سازی کربن می شود بلکه به تغییرات اقلیمی ایجاد شده دامن زده و این چرخه ی معیوب خود سبب تخریب بیشتر این اکوسیستم می شود(لاولارک و رلف، 2020).

حال مهمترین سوالی که مطرح می شود این است که باید چه راه حلی ارائه داد تا بتوان با این چالش های پیش رو مقابله کرد. با توجه به پتانسیل بالای ذخیره سازی کربن، سرمایه گذاری در حفظ و بازسازی این اکوسیستم‌ها می‌تواند به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و مبارزه با تغییرات اقلیمی کمک کند. توجه بین‌المللی به مسائل تغییرات اقلیمی و کربن آبی فرصت‌هایی را برای جلب حمایت مالی و فنی برای پروژه‌های حفاظت و بازسازی جنگل‌های حرا ایجاد می‌کند(قاسمی، 1403).

از طرفی حفاظت از جنگل‌های حرا نه تنها به حفظ ذخیره‌سازی کربن کمک می‌کند، بلکه به حفاظت از تنوع زیستی در مناطق ساحلی و دریایی نیز می‌انجامد، زیرا این اکوسیستم‌ها زیستگاه‌های مهمی برای گونه‌های مختلف جانوری و گیاهی هستند. فرصت‌های اقتصادی از دیگر مواردی است که با بهره‌برداری پایدار از منابع جنگل‌های حرا می توان به آن دست یافت. از جمله اکوتوریسم، ماهیگیری پایدار و محصولات جنگلی، می‌تواند منافع اقتصادی برای جوامع محلی به همراه داشته باشد، در حالی که حفاظت از کربن آبی نیز تضمین می‌شود(مکلورد و همکاران، 2011).

5. نتیجه‌گیری

جنگل‌های حرا به عنوان یکی از اکوسیستم‌های حیاتی برای ذخیره‌سازی کربن آبی، نقش مهمی در مقابله با تغییرات اقلیمی دارند. با این حال، حفاظت و مدیریت پایدار این اکوسیستم‌ها نیازمند توجه ویژه به چالش‌ها و استفاده از فرصت‌های موجود است. آموزش و آگاهی‌بخشی، سرمایه‌گذاری در حفاظت و بازسازی، و ایجاد سیاست‌های پایدار می‌تواند به حفاظت از این منابع ارزشمند کمک کند(قاسمی و بهمن یار، 1403).

اکوسیستم های ساحلی که برای جذب کربن حیاتی هستند، مزایای دیگری را ارائه می دهند که مدت هاست توسط بوم شناسان به رسمیت شناخته شده است. محیط های ساحلی زیستگاه ماهی ها، خزندگان، پستانداران، پرندگان و انواع موجودات بی مهرگان را فراهم می کند. در برخی از فقیرترین کشورهای جهان، اکوسیستم‌های کربن آبی از امرار معاش مانند ماهیگیری پشتیبانی می‌کنند(نلمن و همکاران، 2009). در کشورهای ثروتمندتر، آنها بهره وری شیلات تجاری را افزایش می دهند.

این اکوسیستم ها همچنین با به دام انداختن رسوبات در کف دریا، شفاف نگه داشتن آب های ساحلی در این فرآیند، و با جذب امواج و موج های طوفان، خطوط ساحلی را تثبیت می کنند. با جلوگیری از فرسایش سواحل، اکوسیستم های ساحلی از شهرها و زیرساخت های انسانی داخلی محافظت می کنند. علاوه بر این، اکوسیستم های ساحلی جذب آب باران و رواناب را کاهش می دهند و از کیفیت آب محافظت می کنند.

6. مراجع

1. قاسمی، شراره، (1403) ، تنوع زیستی و منابع ژنتیکی اکوسیستم جنگل های حرا حوزه خلیج فارس، سومین همایش بین المللی کشاورزی، صنایع غذایی و محیط زیست.

2. شراره قاسمی، شهناز بهمن یار، (1403) ، تاثیر جنگل های حرا بر هیدرودینامیک کرانه ی ساحلی خلیج فارس و دریای عمان، دومین کنفرانس بین المللی اقتصاد دریاپایه با رویکرد گردشگری دریایی و ساحلی.

3. Alongi, D. M. (2014). Carbon cycling and storage in mangrove forests. *Annual Review of Marine Science*, *6*, 195–219.

4. Bertram, C., Quaas, M., Reusch, T. B. H., Vafeidis, A. T., Wolff, C., & Rickels, W. (2021). The blue carbon wealth of nations. Nature Climate Change, 11(8), 704–709.

5. Davis, J. L., Currin, C. A., O'Brien, C., Raffenburg, C., & Davis, A. (2015). Living Shorelines: Coastal Resilience with a Blue Carbon Benefit. PLOS ONE, 10(11), e0142595.

6. Donato, D. C., Kauffman, J. B., Murdiyarso, D., Kurnianto, S., Stidham, M., & Kanninen, M. (2011). Mangroves among the most carbon-rich forests in the tropics. *Nature Geoscience*, *4*, 293–297.

7.Duarte, C. M., Middelburg, J. J., & Caraco, N. (2005). Major role of marine vegetation on the oceanic carbon cycle. Biogeosciences, 2(1), 1–8. https://doi.org/10.5194/bg-2-1-2005.

8. Friedlingstein, P., Jones, M. W., O'Sullivan, M., Andrew, R. M., Bakker, D. C. E., Hauck, J., Le Quéré, C., Peters, G. P., Peters, W., Pongratz, J., Sitch, S., Canadell, J. G., Ciais, P., Jackson, R. B., Alin, S. R., Anthoni, P., Bates, N. R., Becker, M., Bellouin, N., Zeng, J. (2022). Global Carbon Budget 2021. Earth System Science Data, 14(4), 1917–2005.

9.Goldberg, L., Lagomasino, D., Thomas, N., & Fatoyinbo, T. (2020). Global declines in human-driven mangrove loss. Global Change Biology, 26(10), 5844–5855.

10. Kauffman, J. B., & Donato, D. C. (2012). Protocols for the measurement, monitoring and reporting of structure, biomass and carbon stocks in mangrove forests. *Working paper 86*. Center for International Forestry Research, Bogor, Indonesia, 50 pp.

11.Krause-Jensen, D., & Duarte, C. M. (2016). Substantial role of macroalgae in marine carbon sequestration. Nature Geoscience, 9(10), 737–742.

12. Krauss, K. W., & Osland, M. J. (2020). Tropical cyclones and the organisation of mangrove forests: A review. *Annals of Botany*, *125*, 213–234.

13. Lagomasino, D., Fatoyinbo, T., Lee, S., Feliciano, E., Trettin, C., Shapiro, A., & Mangora, M. (2019). Measuring mangrove carbon loss and gain in deltas. *Environmental Research Letters*, *14*(2), 025002.

14. Lovelock, C. E., Reef, R. (2020). Variable Impacts of Climate Change on Blue Carbon. One Earth 3(2), 195–211.

15. Mcleod, E., Chmura, G. L., Bouillon, S., Salm, R., Björk, M., Duarte, C. M., Lovelock, C. E., Schlesinger, W. H., & Silliman, B. R. (2011). A blueprint for blue carbon: Toward an improved understanding of the role of vegetated coastal habitats in sequestering CO2. Frontiers in Ecology and the Environment, 9(10), 552–560.

16. Nellemann, C., Corcoran, E., Duarte, C. M., Valdés, L., De Young, C., Fonseca, L., Grimsditch, G. (Eds). (2009). Blue Carbon. A Rapid Response Assessment. United Nations Environment Programme, GRID-Arendal, www.grida.no.

17. Price, J.T., and Warren, R.F. 2016. Review of the Potential of “Blue Carbon” Activities to Reduce Emissions. 1104872/AVOID2 WPE.2 Report 1.