پژوهش های آبخیزداری
شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱
سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

تحلیل اقتصادی قابلیت نگهداشت کربن خاک در پارک ملی بمو استان فارس

رهام رحمانی[1*]، سید حمید مصباح[2]

۱ – استادیار پژوهشی بخش تحقیقات اقتصادی، اجتماعی و ترویجی مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

۲ – مربی پژوهشی بخش تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی استان فارس، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، شیراز، ایران

چکیده‌ی مبسوط

مقدمه

گاز دی‌اکسیدکربن که از کاربرد سوخت‌های فسیلی صنایع در مراکز صنعتی و نزدیکی کلان شهرها تولید می‌شود، سهم زیادی در تغییر اقلیم و گرمایش جهانی دارد. نگهداشت کربن در گیاهان و خاک منطقه‌های حفاظت‌شده به‌ویژه پارک‌های ملی طبیعی، ساده‌ترین و اقتصادی‌ترین راه‌کار برای کاهش دی‌اکسیدکربن جو است. پارک ملی بمو با مساحت ۴۶۹۱۳ هکتار در نزدیکی مراکز صنعتی شیراز، زرقان، مرودشت و آب‌باریک؛ ظرفیت بزرگی را برای نگهداشت کربن فراهم کرده است. در این پژوهش تحلیل اقتصادی قابلیت نگهداشت کربن در خاک این پارک در سال ۱۴۰۱، انجام شد.

مواد و روش‌ها

براساس شرایط پوشش گیاهی و زمین‌ریخت‌شناسی، به‌ترتیب ۲۰ و ۵ جایگاه در داخل و خارج پارک برای نمونه‌گیری گزینش شد. نمونه‌های مرکب خاک از ۲۵ نیم‌رمرخ به ژرفای ۳۰ و درازا و پهنای ۲۰، سانتی‌متر، برداشت شد. درصد کربن آلی خاک در آزمایشگاه با روش والکلی بلک تعیین شد. ارزیابی اقتصادی کربن نگهداشت‌شده با روش هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در سه سطح کم و براساس ارزش تجارت در صندوق کربن، متوسط و براساس برآورد آینده‌ی تجارت کربن اتحادیه اروپا و زیاد براساس برآورد هیأت بین‌دولتی تغییر اقلیم انجام شد.

نوع مقاله: پژوهشی

***مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی:** r.rahmani@areeo.ac.ir - roham.rahmani@gmail.com

استناد: رحمانی، ر.، مصباح، س.ح. ۱۴۰۳. تحلیل اقتصادی قابلیت نگهداشت کربن خاک در پارک ملی بمو استان فارس. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۴): ۹۸-۱۱۳.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.360369.1496

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۰۸، **تاریخ بازنگری:** ۱۴۰۱/۱۱/۱۹، **تاریخ پذیرش:** ۱۴۰۲/۰۳/۳۱، **تاریخ انتشار:** ۱۴۰۲/۱۰/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۴، شماره‌ی پیاپی ۱۴۱، زمستان ۱۴۰۲، صفحه‌های ۹۸ تا ۱۱۳.

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی فارس

©نویسندگان
CC BY

نتایج

براســـاس نتایج اندازه‌های میانگین کربن نگهداشت‌شـــده در خاک زمین‌های داخل و خـــارج پارک به‌ترتیب ۴۰/۰۵ و ۲۱/۷۵ تن در هکتار بود. براســـاس آزمون t اندازه‌های میانگین کربن نگهداشت‌شـــده داخل و خارج پارک در سطح ۱٪ تفاوت معنی‌دار داشت. میانگین ارزش اقتصادی خسارت اجتناب‌شده مربوط به نگهداشت کربن به ازای هر هکتار زمین در داخل پارک در ســـطح‌های کم، متوســـط و زیاد، به‌ترتیب ۱۲۳/۱۲، ۴۱۰/۴۱ و ۳۲۸۳/۲۶ میلیون ریال برآورد شد. اندازه‌هـــای متناظر در خارج از پارک به‌ترتیب ۶۶/۸۶، ۲۲۲/۸۸ و ۱۷۸۳/۰۴ میلیون ریال برآورد شـــد. میانگین ارزش اقتصادی کربن نگهداشت‌شـــده در خاک هر هکتار زمین داخل و خارج پارک براســـاس آزمون t در ســـطح یک درصد تفاوت معنی‌دار داشت.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

شـــرایط مناسب پوشـــش گیاهی و خاک پارک ملی بمو سبب‌شـــده به‌دلیل خدمات زیست‌محیطی نگهداشت کربن در خاک و جذب گاز دی اکســـیدکربن، این پارک ارزش اقتصادی زیادی داشته باشـــد. بنابراین این امکان وجود دارد که ارزش اقتصادی چنین خدماتی در محاســـبه‌های مالی لحاظ شـــود و همه یا بخشی از آن برای حفاظت و گسترش این پارک‌ها در نظر گرفته شود. نکته‌ی مهم درباره‌ی ارزش اقتصادی خدمات پارک‌ها و زیست‌بوم‌های جنگلی، امکان خرید و فروش کربن نگهداشت‌شـــده و یا گاز دی‌اکسیدکربن منتشرشـــده در جو می‌باشد. برای این منظور پیشنهاد می‌شود به چارچوب‌های قانونی و زیرســـاخت‌های لازم برای ایجاد بازار کاربردی نگهداشـــت کربن و انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در ســـطح‌های ملی و منطقه‌ای توجه شود. افزون بر این، با توجه به قابلیت‌های طبیعی استان و معیارهای معاهده‌های بین‌المللی تغییر اقلیم، امکان استفاده از سرمایه‌ی خارجی برای کمک به ایجاد و گسترش پارک‌های ملی و زیست‌بوم‌های جنگلی به‌عنوان مخزن‌های گازهای گلخانه‌ای وجود دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود از این راه‌کارهای قانونی برای جذب اعتبار از سازمان‌های بین‌المللی استفاده شود.

واژگان کلیدی: پارک ملی بمو، نگهداشت کربن، خاک، فارس، هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده

مقدمـه

گســـترش تغییر کاربری زمین، اســـتفاده از سوخت‌های فسیلی، تولید انواع مواد شیمیایی و پسماندهای زیان‌آور که با فزونی جمعیت شتاب بیشتری می‌گیرد، پی‌آمدهای ناگواری برای زیست بشر و سایر زیستمندان دارد. افزایش گازهای گلخانه‌ای به‌ویژه دی‌اکسیدکربن و تجمع آن ها در جو زمین از نتایج گسترش این فعالیت‌ها است.

براســـاس نتایـــج بررســـی‌ها، میانگین تراکـــم جهانی دی‌اکســـیدکربن کـــه قبـــل از دوره‌ی صنعتی شـــدن حـــدود ppm ۲۸۰ بـــوده، در اواخـــر دهـــه‌ی ۹۰ بـــه ppm ۳۶۰ رســـیده اســـت. پیش‌بینـــی می‌شـــود تراکـــم ایـــن گاز در شـــرایط مهـــار نشـــدن بـــه بیش از ppm ۱۰۰۰ برســـد (رجبـــی ۲۰۱۱؛ محمـــودی و همکاران ۲۰۲۲). مهم‌تریـــن پیامد منفی اثر گلخانه‌ای افزایـــش دمای زمین اســـت که از آن بـــه عنوان یکی از شـــاخص‌های تغییر اقلیم نام برده می‌شود. اگر چه تغییر اقلیم پدیده‌ای نو نیســـت، اما دانشـــمندان بر این باورند کـــه زمان و شـــدت آن در نتیجه‌ی فعالیت‌های انســـان تغییر می‌کند (صیادیان و بهشـــتی‌آل‌آقا ۲۰۰۷). زمانی که نگرانی‌ها درباره‌ی آثار تغییر اقلیم ناشـــی از انتشـــار گازهای گلخانه‌ای فعالیت‌های انســـان زیاد شـــد تمایل زیادی برای افزایش نگهداشـــت کربن در پوشش گیاهی زمیـــن از روش‌هـــای حفاظت از جنـــگل، جنگل‌کاری و دیگر روش‌های مدیریت زمین به‌وجود آمد. نتایج برخی بررســـی‌ها نشـــان داد که قابلیت جهانی بـــرای افزایش نگهداشـــت کربن در جنگل و زیســـت‌بوم‌های کشاورزی ممکن اســـت به انـــدازه‌ی ۶۰ تا ۹۰ پتاگـــرم (10^{15}=) (میلیارد تن) کربن باشـــد (دیکسون و همکاران ۱۹۹۱؛ برون ۲۰۰۲).

از جمله روش‌های کاهش دی‌اکسیدکربن جو، جداسازی کربن از جـــو و نگهداری آن در بافت‌هـــای گیاه، خاک، رسوب و آب‌های شور می‌باشد.

بـــه این روش که بـــه افزایش تراکم یـــا نگهداری کربن آلـــی در خاک و در مرحلـــه‌ی بعـــد کربنات‌های خاک منجر می‌شـــود، نگهداشت کربن[1] گویند و به دو شیوه‌ی زیستی و غیرزیستی انجام می‌شود. از آن جا که از روش غیرزیســـتی در بیشتر منطقه‌های دنیا، به‌ویژه کشورهای در حال توســـعه، به سبب هزینه‌های زیاد و دشواری‌های فنی، کمتر می‌توان اســـتفاده کرد، در چند دهه‌ی اخیر

1 - Carbon Sequestration

به‌روش زیستی بیشتر توجه‌شده است (صیادیان و بهشتی‌آل‌آقا ۲۰۰۷، مصباح ۲۰۱۳).

براساس بررسی‌های برنامه‌ی عمران سازمان ملل متحد[2]، تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین چالش‌های توسعه‌ی پایدار است که تاثیر منفی بر زیست‌بوم‌های خشکی و دریایی دارد (برنامه‌ی توسعه‌ی سازمان ملل متحد ۲۰۰۰). کاهش سطح خشکی‌ها، کاهش ماده‌ی آلی خاک، انقراض گونه‌های بی‌شمار گیاهی و جانوری و برخی از رخدادهای طبیعی چون طوفان و سیل، تنها بخشی از آثار زیان‌بار این پدیده هستند (مصباح ۲۰۱۳). پژوهش‌گران بر این باورند که عامل اصلی تغییر اقلیم، افزایش تراکم دی‌اکسیدکربن در جو است. نگرانی‌ها از شتاب کربن ورودی به جو و آثار آن سبب شد تا در سال ۱۹۹۲ بیشتر کشورهای جهان و از جمله ایران پیمان[3] تغییر اقلیم را امضاء کنند. هدف دراز مدت این پیمان یافتن راه‌کارهایی برای موازنه‌ی دی‌اکسیدکربن در جو است. برای اجرایی شدن، در سال ۱۹۹۷ در کیوتو موافقت‌نامه‌ای به تصویب بیشتر کشورهای توسعه‌یافته صنعتی رسید که در آن این کشورها برای یافتن روش‌هایی برای کاهش تراکم این گاز متعهد شدند (فروزه ۲۰۰۶). براساس ماده‌ی ۵ موافقت‌نامه‌ی ۲۰۱۵ تغییر اقلیم پاریس، کشورها باید مخزن‌هایی مانند جنگل‌ها را برای نگهداری گازهای گلخانه ای ایجاد کنند (UNFCC[4] ۲۰۱۶). همچنین در گردهمایی ۲۰۲۲ تغییر اقلیم شرم‌الشیخ بر اهمیت حفاظت، احیای طبیعت و زیست‌بوم‌ها از جمله جنگل‌ها و سایر منطقه‌های زمینی و دریایی برای دست‌یابی به هدف دمایی توافق پاریس تأکید شد. زیست‌بوم‌هایی که به‌عنوان مخزن های گازهای گلخانه‌ای عمل می‌کنند و از تنوع زیستی محافظت و در عین حال پادمان‌های اجتماعی و زیست محیطی را تضمین می‌کنند (UNFCC ۲۰۲۲).

براساس معیارهای بین‌المللی پیمان تغییر اقلیم ملل متحد به کشورها اجازه داده می‌شد که به‌منظور انجام تعهداتشان برای مهارکردن انتشار گازهای گلخانه‌ای، تجارت گازهای گلخانه‌ای را انجام دهند. باید به این سئوال توجه شود که چگونه جنگل‌ها در سازوکار انعطاف‌پذیر شبه بازاری کشورهای شرکت‌کننده در پیمان وارد شوند. گزینه‌های زیستی نگهداشت کربن مانند جنگل شامل محافظت و مدیریت جنگل‌های بسته موجود، ترمیم جنگل‌های در حال نابودی یا نابودشده، ایجاد و کاشت جنگل، سامانه‌های جنگل‌داری- کشاورزی و جنگل‌های جدید در مناطق باز است (ماسرا و همکاران ۱۹۹۵؛ دیکسون و همکاران ۱۹۹۶؛ ساتایه و راوین‌دراناه ۱۹۹۷). یافته‌های اولیه از تعدادی از طرح‌های خاص جنگل‌کاری که براساس اثر نگهداشت کربن تأمین اعتبار شده‌اند، نشان می‌دهد که هزینه‌ی نگهداشت کربن به‌وسیله‌ی جنگل‌کاری یا شکل‌های دیگر مدیریت زمین در مقایسه با بسیاری از راه‌حل‌های مهندسی کاهش انتشار گاز CO_2 نسبتاً کمتر است (دی‌جانگ و همکاران ۲۰۰۰، ساتایه و راوین‌دراناه ۱۹۹۷). زمانی که سرمایه‌ی به‌دست آمده از نگهداشت کربن به یک کالای تجاری در فرآیند مهارکردن انتشارها تبدیل شود (چیزی که در شرایط کنونی تا حدی در هلند به‌کار برده می‌شود)، واکنش عرضه به تغییرات قیمتی نگهداشت کربن (مگاگرم کربن نگهداری‌شده به ازای دلار آمریکا) موضوعی اساسی در تعیین اندازه‌ی کل کربن نگهداری‌شده خواهد بود. به‌کارگیری راه‌کاری مناسب برای پرداخت مبالغی متناسب به مالکان زمین برای نگهداشت کربن می‌تواند باعث شود که اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده به سرعت افزایش یابد. در جنوب مکزیک در پژوهشی برآورد شد، زمانی‌که پرداختی به‌ازای هر مگاگرم کربن از ۵ دلار به ۱۵ دلار افزایش یافت، اندازه‌ی نگهداشت کربن از یک مگاگرم به ۳۸×۱۰^{۶} مگاگرم کربن (غالبا به‌دلیل بهبود مدیریت جنگل‌های طبیعی و پوشش گیاهی ثانویه) افزایش پیدا کرد. بنابراین مدیریت جنگل‌های طبیعی و پوشش گیاهی ثانویه مهم‌ترین عامل برنامه‌ی نگهداشت کربن در مقیاس وسیع در جنگل‌ها است. مدیریت موفق نیازمند سازوکارهایی به‌منظور پذیرش روش‌های مدیریتی برای لحاظ کردن اطلاعات جدید درباره‌ی سرعت رشد جنگل و تغییر شرایط اقتصادی – اجتماعی است (دی‌جانگ و همکاران، ۲۰۰۰).

اندازه‌ی نگهداشت کربن خاک و ارزش اقتصادی آن و یا هزینه‌ی انتشار گاز آلاینده‌ی دی‌اکسید کربن در پژوهش‌های مختلفی برآورد شده است. در جنوب شرقی چین براساس نتایج بررسی دنگ و همکاران (۲۰۱۱) اندازه‌ی نگهداشت کربن خاک در زیست‌بوم جنگلی منطقه‌ی تیانتای استان ژجیانگ ۶۳/۷۷ تن در هکتار و ارزش اقتصادی آن براساس ارزش مالیات بر کربن ۱۰۲۵ یوان برای هر تن ۶۳۴/۲۴ هزار یوان به‌دست

2 - United Nations Development Program (UNDP)
3 - Convention
4 - United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCC)

آمـد. پژوهش‌گران بـا توجه به اهمیت این زیسـت‌بوم جنگلـی، حفاظـت، نگهـداری، بهبـود مدیریت منبع جنگلـی، تأکید بر حفاظت از منابع خاکی و توجه دولت محلـی بر نگهداری خاک زمین‌هـای جنگلی و پایداری کربن آلی خاک این زیسـت‌بوم را پیشنهاد دادند. پاری و همکاران (۲۰۱۴) هزینه‌های جانبی مربوط به انتشـار گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن را مبنای هزینه‌ی خسارت و ارزش اقتصادی جذب ایـن گاز در نظر گرفتند. آن‌ها بر این اسـاس میانگین هزینه‌ی خسـارت هر تن از این گاز را بـرای ۲۰ کشـور (از جمله ایران) که بیشـترین اندازه‌ی انتشار را داشـتند ۵۷/۵ دلار برآورد کردند. در جنوب‌شرقی کامرون زپفک و همکاران (۲۰۱۶) اندازه‌ی کربن نگهداری‌شـده و گاز آلاینده‌ی دی اکسـیدکربن جذب‌شـده در زی‌توده‌ی اندام‌هـای هوایی و زیرزمینی درختان پارک محافظت‌شـده‌ی ملی لوبیک را به‌ترتیب ۳۷۴/۲ و ۱۳۶۷/۸۹ تـن در هکتـار بـرآورد کردنـد. پژوهش‌گـران با توجه به مسـاحت پـارک (۲۱۷۸۵۴ هکتار)، کل گاز آلاینده‌ی دی‌اکسید کربن جذب‌شده را حدود ۲۹۸ میلیـون تن و ارزش اقتصادی این خدمات زیست‌محیطی را حدود ۱/۴۳ میلیارد دلار آمریکا برآورد کردند. بر این اسـاس پژوهش‌گران پارک لوبیک را یک منبع نگهداشت کربن در آفریقا معرفی کردند.

در استان تهران براساس نتایج بررسی نصری و همکاران (۲۰۱۶) در مراتع خشـک و نیمه‌خشـک شهرسـتان ملارد، اندازه‌ی جذب سـالانه‌ی دی-اکسیدکربن ۲/۱۳ تـن در هکتار و ارزش اقتصادی آن ۸۱۳/۸ میلیارد ریال برآورد شد. در خراسـان شمالی نتایج پژوهش نیک‌نهاد و همـکاران (۲۰۱۸) بیان‌گر آن بـود که اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در مراتع قرق‌شده و چراشده در منطقه‌ی بزداغی به‌ترتیـب ۲۴/۲۳ و ۱۷/۰۹۴ تن در هکتار بود. تفاوت اندازه‌ی کربن نگهداری‌شـده در مراتع قرق‌شده در مقایسـه با مراتع چراشده ۷/۱۴ تن بود که در خاک پهنه‌ی قرق‌شده بیشتر از پهنه‌ی چراشده بود و در سطح ۵٪ ایـن تفاوت معنی‌دار بود. با درنظر گرفتن ۲۰۰ دلار برای هـر تن کربن نگهداری‌شـده، ارزش اقتصادی به‌دسـت آمده از نگهداشـت کربن در منطقه‌ی قرق‌شده ۱۴۲۷/۲ دلار در هکتار برآورد شد.

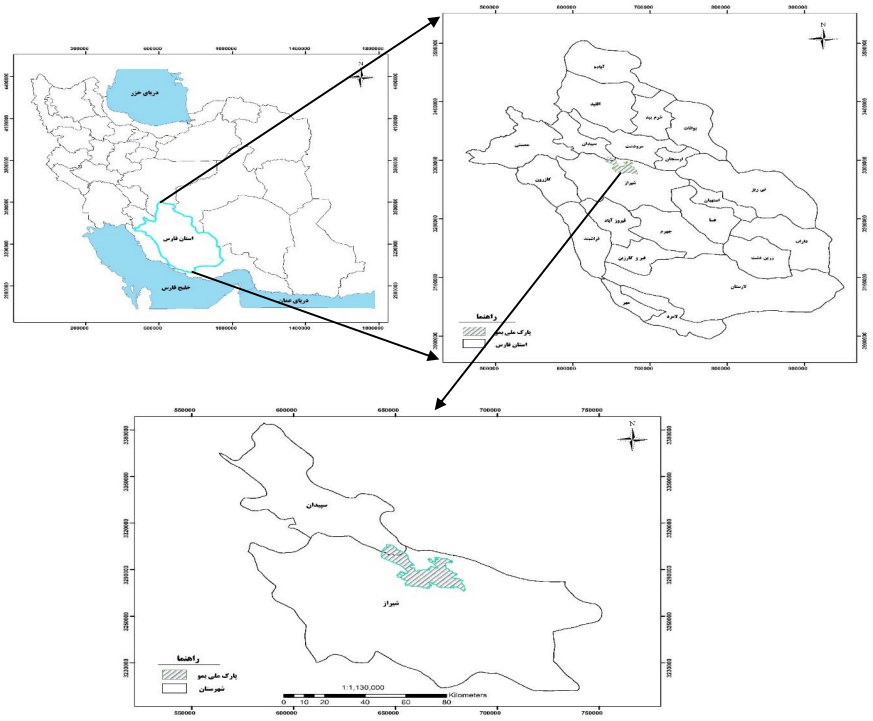
در مالزی حسـین‌زاد و محدیوسـف (۲۰۲۰) در پارک ملی تامان نـگارا پاهانگ قابلیت جـذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکسـیدکربن مربوط به نگهداشت کربن را ۵۷۵/۵۴ تـن در هکتـار و ارزش اقتصـادی آن را ۱۰۶۴۷/۴۳ رینگت مالزی برآورد کردند. براساس نتایج پژوهش آن‌ها منطقه‌هایی از پارک که پوشـش جنگلی تراکم بیشتری داشت، ارزش اقتصادی بیشـتری نیز داشتند. در استان گلسـتان براسـاس نتایج بررسی عسـگری و همکاران (۲۰۲۱) در منطقه دوزالوم اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در خاک مراتع قرق‌شـده و شـاهد به‌ترتیـب ۲/۸۹ و ۲/۷۳ تـن در هکتار بود و به مدت ۱۵ سـال قرق مرتع بر اندازه‌ی کربن نگهداری‌شـده در خاک اثر معنی‌داری نداشـت. با درنظر گرفتـن ۲۵/۳ دلار (هر دلار ۳۵ هزار ریال) برای هر تن کربن نگهداری‌شـده ارزش اقتصادی کربن نگهداری‌شده در هر هکتار خاک مراتع قرق‌شده و شاهد به‌ترتیب ۲/۵۶ و ۲/۴۱ میلیون ریال برآورد شد. در استان فارس نتایج پژوهش زرافشار و همکاران (۲۰۲۱) در منطقه دشت ارژن بیان‌گر آن بود قابلیت ذخیره‌ی گاز دی-اکسیدکربن در هر هکتار خاک زیرپوشش دو گونه‌ی سدروس و جنگل طبیعی بلوط ایرانی به‌ترتیب ۳۸۷/۹ و ۳۴۸/۶ تن بود. آن‌ها ارزش اقتصادی کل ذخیره‌ی کربن در ایـن دو کاربری را ۲۰۰ دلار (هر دلار ۴۲ هزار ریال) برای هر تن دی‌اکسیدکربن ذخیره‌شده به‌ترتیب ۳/۲۵۸ و ۲/۹۳۲ میلیارد ریال در هکتار برآورد کردند. همچنین تبدیل زمین‌های جنگلی طبیعی به زمین‌های کشاورزی باعث کاهش ۷۹/۳٪ اندازه‌ی ذخیره کربن در خاک شد. در کشـور رومانی پاچه و همکاران (۲۰۲۱) کل اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در پارک ملی رتیزات در سال ۲۰۱۹ را حدود ۶/۰۲ میلیون تن و در سال ۲۰۲۹ حدود ۶/۲۵ میلیون تن برآورد کردند. آن‌ها گزارش کردند که به‌طور متوسط ۳۰٪ کربن در زی‌توده‌ی بالای سطح زمین، ۹٪ در زی‌توده‌ی زیرزمین، ۵۳٪ در خاک و ۸٪ در مواد آلی مرده ذخیره‌شـده بود. همچنین ارزش خالص اقتصادی دی‌اکسـیدکربن جذب‌شده در دوره‌ی ده ساله ۲۰۱۹ تا ۲۰۲۹ را براساس قیمت داوطلبانه ۳ دلار برای جذب هر تن گاز آلاینده‌ی دی‌اکسـیدکربن در بازار کربن حدود ۱/۷۱ میلیـون دلار آمریـکا برآورد کردنـد. این ارزش براسـاس قیمـت ۶۰ دلار (با توجه به پیمـان پاریس) ۳۴/۱۲ میلیون دلار آمریکا برآورد شد. این پژوهش‌گران معتقدند که برای استفاده‌ی پایدار از چنین زیست‌بومی که خدمات زیسـت‌محیطی را فراهـم می‌کند، می‌توان از راه‌کارهـای مالی برای مدیریت آن اسـتفاده کرد. به عبارت دیگر می‌تـوان با جهت دادن به راهکارهای مالی از ارزش خدمات زیسـت‌بوم برای مدیریت آن اسـتفاده کرد. در اسـتان چهارمحال و بختیاری سـلیمانی‌پور و همکاران (۲۰۲۲) اندازه‌های نگهداشـت کربن برای هر هکتار از جنگل‌های بلوط زاگرس در رویشـگاه جنگلی بهنوس براساس روش‌های آلومتریک و چگالی به‌ترتیب ۰/۸۳ و ۰/۷۴ تن در سال برآورد کردند. همچنین آن‌ها ارزش اقتصـادی مربوطه را به‌ترتیـب ۵۰/۰۵ و ۴۴/۴۷ دلار برآورد کردند.

براساس نتایج این پژوهش‌ها، اندازه‌ی نگهداشت کربن با توجه به شـرایط خاک، مکان و شیوه‌ی مدیریت زمین‌ها (نوع پوشـش و مدت قـرق)، متفاوت اسـت. بنابراین با شـناخت خاک‌هایی که قابلیت بیشتری برای نگهداشت کربن دارند و همچنین بررسی شـیوه‌ی مدیریتی که بر فرایند نگهداشـت تاثیرگذار اسـت، می‌توان به حفاظت زمین‌هـا از دیدگاه نگهداشـت کربن خـاک توجه کرد. نکتـه مهم‌تر این‌که با لحاظ نمودن رویکردهای اقتصادی و توجـه به ارزش اقتصادی و تجـارت گازهای گلخانه‌ای براساس راه‌کار شبه‌بازاری، امکان افزایش نگهداشت کربن وجـود دارد. به عبارت دیگـر، در صورتی که بتوان کربن نگهداری‌شده و گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن جذب‌شده را بـه یک کالای تجـاری در فرآیند مهارکردن انتشـار گازهای گلخانه‌ای تبدیل کرد، امـکان واکنش عرضه به تغییرات قیمتی وجـود دارد. چنین رویکردی در فرآیند نگهداشت کربن می‌تواند نگرشی به ارزش پارک‌های ملی باشـد، زیرا افزون بر نگهداری زمین، راه‌کاری موثر برای کاهش آلودگی هوا و مدیریت بحران تغییر اقلیم اسـت. شـوربختانه در ایران به‌رغم وسـعت زیاد و توانایی بزرگ برای نگهداشـت کربن در خـاک، پژوهش‌های کاربردی محدودی در زمینه‌ی چگونگی به‌کارگیری سیاسـت‌های اقتصادی با توجه به واقعیت‌های فنی انجام شـده است. هدف این بررسی تحلیل اقتصادی قابلیت نگهداشت کربن خاک یا جذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن از راه پارک جنگلی ملی بمو در استان فارس، شهر شیراز است.

مواد و روش‌ها

پارک ملی بمو که از سـال ۱۳۴۶ تاکنون قرق اسـت، با پهنه ۴۶۹/۱۳ کیلومترمربـع (۴۶۹۱۳ هکتار) در جنوب ایران، استان فارس، حاشیه‌ی شمالی و شمال‌شرقی شیراز (طول جغرافیایی ′۲۹ °۵۲ تا ′۵۲ °۵۲ شـرقی و عرض جغرافیایی ′۳۹ °۲۸ تا ′۳۰ °۲۹ شـمالی)، است (شکل ۱). محدوده‌ی رسمی پارک خالی از نقاط مسکونی است ولـی در پیرامون آن ۲۰ روسـتا، ده و آبادی وجود دارد. در حاشـیه‌ی آن، شهرهای شیراز، صدرا و زرقان؛ شهرک صنعتی آب‌باریک و پالایشگاه شیراز است که منابع تولید گسترده‌ی دی‌اکسیدکربن هستند (مصباح ۲۰۱۳).

بـر پایه‌ی آمار ۴۰ سـاله (۱۹۸۲ تا ۲۰۲۱)، ایسـتگاه هواشناسـی کشـاورزی زرقان (نزدیک‌ترین ایستگاه به محل بررسی)، میانگین بارندگی سالانه ۳۰۸/۴ میلی‌متر، میانگین تعداد روزهای بارنی سـالانه ۴۵، میانگین دمای سالانه ^{0}C ۱۶/۵، بیشـینه و کمینه‌ی مطلق دما به‌ترتیب ۴۲/۵ و ^{0}C ۱۵-، میانگین رطوبت سـالانه ۴۲ ٪، میانگین بیشینه‌ی رطوبت نسبی سالانه ۶۱ و کمینه‌ی آن ۲۳/۷٪، میانگیـن دوره‌ی یخبندان ۶۸ روز در سـال و میانگین ساعت آفتابی ۸/۹ سـاعت در روز، است. این محدوده بر پایه‌ی روش دومارتن گسـترش‌یافته، در طبقه‌ی اقلیمی نیمه‌خشـک معتدل، است (اداره‌ی کل هواشناسی فارس ۲۰۲۲).



شکل ۱- موقعیت پارک ملی بمو در ایران، فارس و شهرستان‌های شیراز و سپیدان.

Figure 1- The location of Bemo National Park in Iran, Fars and the cities of Shiraz and Sepidan.

براساس تحلیل آمار دراز مدت رطوبت و دما، خاک پارک رژیم رطوبتی زریک[5] و حرارتی ترمیک[6] است. زمین‌های آن با تلفیق ویژگی‌های زمین‌ریخت‌شناسی[7] و خاک به شش جزء واحد زمین قابل تفکیک است. چکیده‌ی ویژگی‌های اجزاء واحدهای زمین پارک عبارت است از (سازمان حفاظت محیط‌زیست ۲۰۰۲):

- اجزاء واحد زمین :M1-1 شامل کوه‌های توده‌سنگی، بیشتر با رخنمون سنگی، در مناطق خاک‌دار خاک کم عمق است که به‌دلیل محدودیت‌های زیاد، قابلیت حفاظتی دارد.
- اجزاء واحد زمین :M2-1 شامل کوه‌های برونزد سنگی، با خاک نیمه عمیق، درشرایط فعلی برای چراگاه نامناسب است و در شرایط آتی تناسب کم برای چراگاه دارد.
- اجزاء واحد زمین :H1-1 شامل تپه‌های توده سنگی، بیشتر با رخنمون سنگی، در مناطق خاک‌دار خاک کم عمق است که به‌دلیل محدودیت‌های زیاد، قابلیت حفاظتی دارد.
- اجزاء واحد زمین :H2-1 شامل تپه‌های برونزد سنگی، با خاک نیمه عمیق، در شرایط فعلی برای چراگاه نامناسب است و در شرایط آتی تناسب کم برای چراگاه دارد.
- اجزاء واحد زمین :CF1-1 شامل واریزه‌های سنگریزه‌دار، با خاک کم عمق و پستی‌بلندی متوسط و سنگریزه سطحی و عمق زیاد که در شرایط فعلی برای چراگاه نامناسب است و در شرایط آتی دارای تناسب خوب برای چراگاه است.
- اجزاء واحد زمین:CF2-1 شامل واریزه‌های سنگریزه‌دار، با خاک نیمه عمیق و پستی‌بلندی کم، و سنگریزه سطحی و عمقی متوسط که در شرایط فعلی تناسب کم برای زراعت آبی و دیم دارد و در شرایط آتی برای زراعت آبی تناسب متوسط دارد.

براساس شرایط پوشش گیاهی (تیپ و انبوهی) و زمین‌ریخت‌شناسی (جهت شیب و بلندی زمین)، به‌ترتیب ۲۰ و ۵ جایگاه در داخل و خارج پارک برای نمونه‌گیری گزینش شد. محل این جایگاه‌ها در داخل پارک از شماره‌ی ۱ تا ۲۰ و در خارج آن، با حروف A تا E، در شکل ۲، نشان‌داده شده است. با توجه به شکل ۲ محل نمونه‌برداری داخل پارک مثلث کوچک توپری است که بالای آن عددهای ۱ تا ۲۰ به‌شکل فارسی نوشته‌شده است و محل نمونه‌برداری شاهد و یا خارج پارک ضربدری است که بالای آن حرف انگلیسی A تا E نوشته‌شده است. همچنین شماره و نشانه‌ی گونه‌ی گیاهی با حروف ۱ تا ۲۸ انگلیسی نشان‌داده شده است. نمونه‌های خاک از ۲۵ نیم‌رخ به ژرفای ۳۰ و درازا و پهنای ۲۰ سانتی‌متر، با روش مرکب برداشت شدند (بردبار ۲۰۰۵). درصد کربن آلی خاک در آزمایشگاه با روش والکلی-بلک (نلسون و سومرز ۱۹۸۶) تعیین شد.

براساس نتایج آزمایشگاهی، بافت خاک خارج پارک، لومی بود و در داخل پارک بافت خاک لومی و شنی– لومی بود. میانگین جرم مخصوص ظاهری با روش استوانه (حلقه) تعیین شد و برای دو نوع خاک لومی و شنی- لومی به‌ترتیب ۱/۲۵ و ۱/۳۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب محاسبه شد (سازمان حفاظت محیط‌زیست ۲۰۰۲). اندازه‌ی کربن آلی ۵ نقطه اندازه‌گیری‌شده در خارج پارک از ۰/۵ تا ۰/۶۵ و ۲۰ مکان در داخل پارک از ۰/۹۵ تا ۱/۱۱، درصد متغیر بود. با توجه به این داده‌ها و با استفاده از رابطه‌ی ۱ اندازه‌ی کربن نگهداشت‌شده‌ی خاک برآورد شد.

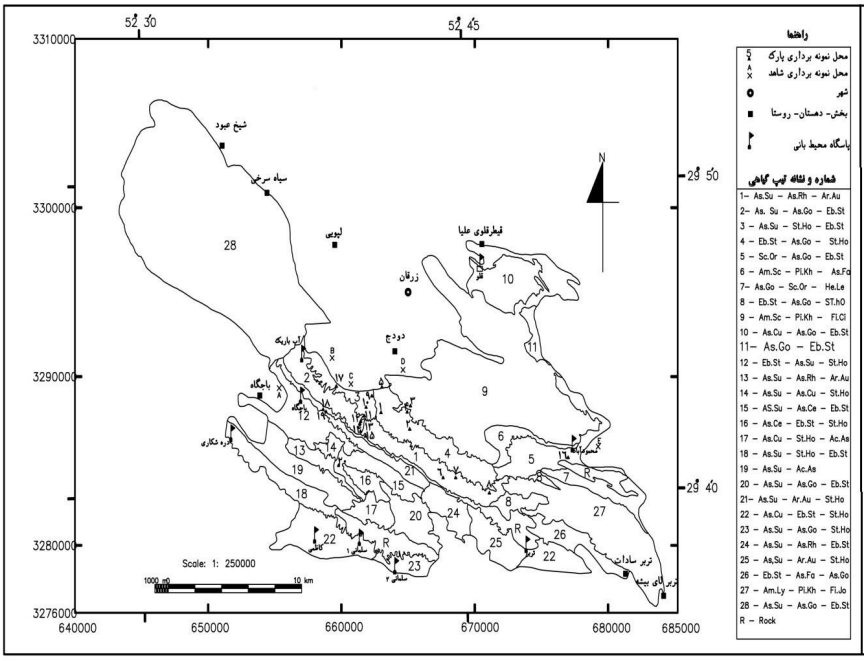
(۱)

$$Cs=100*OC\%*BD*E$$

Cs: اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده‌ی خاک (گرم در متر مربع)، OC٪: درصد کربن آلی خاک، BD: جرم مخصوص ظاهری خاک (گرم در سانتی‌متر مکعب) و E: ژرفای نمونه‌گیری خاک (سانتی‌متر) است (نلسون و سومرز ۱۹۸۶).

ارزیابی تفاوت اندازه‌های کربن نگهداری‌شده در هر هکتار خاک داخل و خارج پارک (مقایسه‌ی میانگین‌ها) با آزمون t مستقل و با استفاده از نرم‌افزار SPSS، انجام شد (بی‌همتا و چاهوکی ۲۰۱۱).

5 - Xeric
6 - Thermic
7 - Geomorphology



شکل ۲- موقعیت نقطه‌های نمونه‌گیری خاک در داخل و خارج پارک ملی بمو.

Figure 2- Soil Sampling Sites within and Outside Bemo National Park's Boundaries.

از جمله روش‌های ارزیابی مستقیم بازاری خدمات زیست‌بوم که برای ارزیابی خدمات جنگل‌ها و پارک‌ها استفاده شده است، روش هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده[8] است. براساس این روش، ارزش مالی خدمات زیست‌بوم به‌عنوان هزینه‌های مرتبط با خسارت فرضی است که به‌دلیل وجود خدمات زیست‌بوم (که وجود دارد) اتفاق نمی‌افتد، تعریف می‌شود (باده‌یان و همکاران ۱۳۹۷؛ سلیوانون و هالواکوا ۲۰۲۱).

برآورد هزینه‌ی خسارت یکی از راه‌های برآورد تمایل به پرداخت برای بهبود محیط‌زیست است. اگر این تمایل به پرداخت‌ها را بتوان در سطح های مختلف آثار زیست‌محیطی مشخص کرد، مجموعه‌ی این ارزش‌ها منحنی تقاضا برای بهبود محیط‌زیست را شکل می‌دهد. زمانی که منحنی تقاضا با منحنی عرضه برای بهبود محیط‌زیست ترکیب شود، این‌که چه اقدام‌ها و سیاست‌هایی با ارزش‌گذاری مصرف کنندگان مطابقت دارد، مشخص می‌شود (بانک جهانی ۲۰۰۴).

برای ارزیابی هزینه‌ی خسارت لازم است مسیر حرکت آلاینده‌ها از مبدأ تا گیرنده مشخص شود. افزون بر این چگونگی پراکنش در جو، ترکیب با مواد شیمیایی بعدی و واکنش گیرنده شناسایی‌شده و ارزش آن مشخص شود. بنابراین کار پیچیده و بزرگی است. یک مرجع اصلی برای ارزیابی هزینه‌ی خسارت آلاینده‌های هوا به‌وسیله‌ی کمیسیون اتحادیه اروپا تعریف شده است. با فرض این‌که ارزش این آثار به‌طور تقریبی با درآمد جامعه مرتبط است، اندازه‌هایی که برای اتحادیه‌ی اروپا به‌دست آمد با تولید ناخالص داخلی ایران مقیاس‌بندی شد تا برآوردی برای ایران به‌دست آید. بر این اساس هزینه‌ی خسارت گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن برای ایران در سه سطح کم، متوسط و زیاد برآورد شد که در این پژوهش مبنای محاسبه‌ها بود. براساس برآورد سطح پایین ارزش تجارت کربن در صندوق کربن (PCF)[9] هزینه‌ی خسارت معادل هر تن گاز دی‌اکسیدکربن، سه دلار برآورد شد. براساس برآورد سطح متوسط برای آینده‌ی تجارت کربن اتحادیه‌ی اروپا هزینه‌ی خسارت معادل هر تن گاز دی‌اکسیدکربن، ۱۰ دلار برآورد شد. براساس برآورد سطح زیاد هیأت بین دولتی تغییر اقلیم (IPCC)[10]، هزینه‌ی خسارت معادل هر تن گاز دی‌اکسیدکربن، ۸۰ دلار برآورد شد (بانک جهانی ۲۰۰۴، فرجزاده ۲۰۱۸). میانگین قیمت دلار در یک سال اخیر تا زمان نگارش مقاله (از آبان ۱۴۰۰ تا مهر ۱۴۰۱) حدود ۲۷۹۲۲۰ ریال بود که در این پژوهش مبنای محاسبه‌ها درنظر گرفته شد (https://www.tgju.org).

براساس نتایج بررسی حسین‌زاد و محدیوسف (۲۰۲۰)

8 - Damage cost avoided method
9 - Prototype Carbon Fund
10 - Intergovernmental Panel on Climate Change

هـر تن کربـن نگهداری‌شـده، معـادل ۳/۶۷ تن گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن جذب‌شده بود. در این پژوهش ارزش اقتصادی هر تن کربن نگهداری‌شـده براسـاس هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شـده از انتشار گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن محاسبه شد.

نتایج و بحث

نتایج اندازه‌های نگهداشت کربن در داخل و خارج پارک به‌ترتیب در جدول‌های ۱ و ۲ نشـان داده شـده است. بر پایه‌ی این نتایج، میانگین نگهداشـت کربن خاک در داخل (پس از ۵۰ سال قرق) و خارج (بدون قرق) پارک به‌ترتیب ۴۰/۰۵ و ۲۱/۷۵ تن در هکتار برآورد شـد. بر این اساس اندازه‌ی میانگین نگهداشت کربن خاک داخل پارک ۱/۸۴ برابر خارج آن بود و از نظر آماری در سطح ۱٪ ایـن تفاوت معنی‌دار بود. تفـاوت واریانس اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در داخل و خارج پارک از نظر آماری معنی‌دار نبود (جدول ۳).

در داخل پارک گونه‌های مختلف گیاهی وجود داشـت که در اندازه‌ی نگهداشـت کربن نقش متفاوتی داشتند. با توجه به مسـاحت گونه‌های گیاهی و برآورد میانگین نگهداشـت کربـن خاک در هـر یک از ایـن گونه‌ها، اندازه‌هـای نگهداشـت کربن خاک برای هـر هکتار و کل مسـاحت گونه های مختلف گیاهی محاسـبه شد (جـدول ۴). نتایج این پژوهش نشـان داد که اندازه‌ی نگهداشـت کربن در هر هکتار خـاک گونه‌های گیاهی بررسی‌شده، متفاوت بود. اندازه‌ی نگهداشت کربن در هر هکتار خاک برخی گونه‌ها کمتر (۳۴/۸۸ تن در هکتار) و برخی دیگر بیشتر (۴۱/۶۳ تن در هکتار) بود. اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در ۱۶۶۸۰ هکتار خاک سطحی در داخـل پارک که نمونه‌برداری در آن انجام شـد، حدود ۶۱۹/۲۹ هزار تن برآورد شد که معادل جذب ۲۲۷۲/۳۸ هزار تن گاز آلاینده‌ی دی‌اکسـیدکربن بود. مقایسه‌ی نتایج دیگر پژوهش‌ها بیان‌گر آن است که اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در هر هکتار از خاک مراتع، زیست‌بوم‌های جنگلی و پارک‌های ملی دامنه‌ی گسترده‌ای دارد.

جدول ۱- برآورد نگهداشت کربن خاک، معادل CO_2 جذب‌شده در جو و ارزش اقتصادی آن در داخل پارک.

Table 1- Estimation of Soil Carbon Sequestration, Absorbed CO_2 Equivalent in the Atmosphere, and Economic Value within the Park.

Row	Number of Sampling Locations Indicated on the Map	Soil Texture	Soil Specific Gravity g/m^3	Percentage of Organic Carbon	Carbon g/m^2	Carbon ton/ha	Absorbed CO_2 Equivalent (ton/ ha)	Estimate of Damage Cost Avoided (Million Rials/Ha)		
								Low Level	Medium Level	High Level
1	1, 2, 4	Loam	1.25	1.11	4162.5	41.63	152.76	127.96	426.55	3412.38
2	3	Loamy Sand	1.35	0.95	3487.5	34.88	141.2	118.28	394.27	3514.14
3	6, 7, 8	Loamy Sand	1.35	0.95	3487.5	34.88	141.2	118.28	394.27	3514.14
4	9, 10, 11, 17	Loam	1.25	1.11	4162.5	41.63	152.76	127.96	426.55	3412.38
5	12, 13, 14	Sandy Loam	1.35	0.95	3487.5	34.88	141.2	118.28	394.27	3514.14
6	16	Loam	1.25	1.11	4162.5	41.63	152.76	127.96	426.55	3412.38
7	18, 19	Loam	1.25	1.11	4162.5	41.63	152.76	127.96	426.55	3412.38
8	20	Loamy Sand	1.35	0.95	3487.5	34.88	141.2	118.28	394.27	3514.14
Mean	-	-	1.30	1.03	4005	40.05	146.98	123.12	410.41	3286.26

Source: Research data and authors' calculations

منبع: داده‌ها و محاسبه‌های نویسندگان

جدول ۲- برآورد نگهداشت کربن خاک، معادل CO_2 جذب‌شده در جو و ارزش اقتصادی آن درخارج پارک.

Table 2- Estimation of Soil Carbon Sequestration, Absorbed CO_2 Equivalent in the Atmosphere, and Economic Value Outside the Park.

Row	Signs of Sampling Locations Indicated on the Map	Soil Texture	Soil Specific Gravity g/m^3	Percentage of Organic Carbon	Carbon g/m^2	Carbon ton/ha	Absorbed CO_2 Equivalent (ton/ ha)	Estimate of Damage Cost Avoided (Million Rials/Ha)		
								Low Level	Medium Level	High Level
1	A	Loam	1.25	0.55	2062.5	20.63	75.69	63.41	217.35	1690.82
2	B	Loam	1.35	0.6	2250	22.50	82.58	69.17	230.57	1844.53
3	C	Loam	1.35	0.6	2250	22.50	82.58	69.17	230.57	1844.53
4	D	Loam	1.25	0.5	1875	18.75	68.81	57.64	192.14	1537.11
5	E	Loam	1.25	0.65	2437.5	24.38	89.46	74.93	249.78	1998.24
Mean	-	-	1.25	0.58	2175	21.75	79.82	66.86	222.88	1783.04

Source: Research data and authors' calculations

منبع: داده‌ها و محاسبه‌های نویسندگان

جدول ۳- نتایج آزمون مقایسه‌ی میانگین اندازه‌های نگهداشت کربن و هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در داخل و خارج پارک.

Table 3- Results of the Comparison Test for Average Carbon Sequestration Values and Damage Cost Avoided whitin and Outside the Park.

Variabels	Lyon's Test for Assessing Equality of Variances		T Test for Assessing Equality of Variances	
	F	Significance Level	T	Significance Level
Carbon Sequestration (ton/ha)	0.041	0.84	17.24	0.000
Damage Cost Avoided at a Low Level (million Rials)	0.041	0.84	17.25	0.000
Damage Cost Avoided at a Medium Level (million Rials)	0.041	0.84	17.24	0.000
Damage Cost Avoided at a Low High Level (million Rials)	0.041	0.84	17.24	0.000

Source: Research data and authors' calculations

منبع: داده‌ها و محاسبه‌های نویسندگان

جدول ۴- برآورد نگهداشت کربن خاک و هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده آن برای گونه‌های گیاهی داخل پارک در سطح‌های کم، متوسط و زیاد.

Table (4)- Estimation of Soil Carbon Sequestration and Damage Cost Avoided for Plant Types whithin the Park at Low, Medium and High Levels.

Row	Plant Type			Carbon Sequestration		Absorbed CO_2 Equivalent (thousands ton)	Estimate of Damage Cost Avoided (Milliard Rials)		
	Number on the Map	Name*	Area (ha)	Ton/ha	Thousands Ton		Low Level	Medium Level	High Level
1	1	As.Su - As.Rh - Ar.Au	566.92	34.88	19.78	5772.56	223.06	743.54	594.84
2	2	As. Su - As.Go - Eb.St	883.86	34.88	30.83	113.13	347.78	1159.26	927.41
3	3	As.Su - St.Ho - Eb.St	1246.79	41.63	51.9	190.47	585.53	1951.77	15614.18
4	4	Eb.St - As.Go - St.Ho	1566.33	41.63	65.2	239.28	735.59	2451.96	19615.66
5	5	Sc.Or - As.Go - Eb.St	1380.81	41.63	57.48	210.94	648.46	2161.55	17292.4
6	9	Am.Sc - Pi.Kh - Fi.Ca	8906.31	34.88	310.61	1139.93	350.43	11681.3	93450.42
7	12	Eb.St - As.Su - St.Ho	1354.74	41.63	56.39	206.96	636.22	2120.75	16965.99
۸	15	AS.Su - As.Ce - Eb.St	774.46	34.88	27.1	99124.13	304.73	1015.76	8126.1
Total	–	–	16680.22	–	619.29	2272.38	6985.77	23285.9	186287.15

Source: Research data and authors' calculations

منبع: داده‌ها و محاسبه‌های نویسندگان

*-Full Names of Each Type of Plant in Numerical Order:

1. *Astragalus susianus-Astragalus rhodosemius-Artemisia aucheri.* 2. *Astragalus susianus-Astraglus gossypinus-Ebenus stellata.* 3. *Astragalus susianus-Stipa hohenackeriana-Ebenus stellata.* 4. *Ebenus stellata-Astraglus gossypinus-Stipa hohenackeriana.* 5. *Ebenus stellata-Astragalus susianus-Stipa hohenackeriana.* 9. *Amygdalus scoparia-Pistacia khinjuk-Ficus carica.* 12. *Ebenus stellata-Astragalus susianus-Stipa hohenackeriana* 15. *Astragalus susianus-Astragalus cephalanthus-Ebenus stellata.*

نتایج این بررسی مبنی بر وجود تفاوت معنی‌دار در اندازه‌ی نگهداشت کربن خاک داخل پارک و بیرون پارک با نتایج پژوهش نیک‌نهاد و همکاران (۲۰۱۸)، که گزارش کردند اندازه‌ی نگهداشت کربن در مراتع قرق‌شده با مراتع قرق‌نشده تفاوت معنی‌دار داشت، همخوانی دارد. اما با نتایج پژوهش عسگری و همکاران (۲۰۲۱) که گزارش کردند قرق کوتاه مدت مراتع (۱۵ ساله) اثر اندکی بر نگهداشت کربن داشت، متفاوت است. افزون بر این اندازه‌ی کربن نگهداری‌شده در هر هکتار خاک داخل و خارج پارک به‌طور قابل توجهی بیشتر از اندازه‌ی نگهداشت کربن در هر هکتار خاک در مراتع بود. این یافته با نتایج بررسی دی‌جانگ و همکاران (۲۰۰۰)، دنگ و همکاران (۲۰۱۱)، زپفک و همکاران (۲۰۱۶)، حسین‌زاد و محدیوسف (۲۰۲۰)، زرافشار و همکاران (۲۰۲۱) و سلیمانی‌پور و همکاران (۲۰۲۲) که گزارش کردند پارک‌های ملی و زیست‌بوم های جنگلی از مخزن‌های اصلی نگهداشت کربن است، مطابقت دارد. اندازه‌ی نگهداشت کربن در هر هکتار خاک در این پژوهش‌ها از ۰/۷۴ تن در هکتار تا ۳۷۴/۲ تن در هکتار متغیر بود. با توجه به نتایج مزبور اندازه‌ی نگهداشت کربن خاک به عامل‌هایی مانند نوع و تراکم پوشش گیاهی، وجود بقایای گیاهی، درصد تاج پوشش گیاهی، فراهم بودن شرایط مناسب برای افزایش فون جانوری و تجزیه‌کنندگان در خاک، کندی فرسایش خاک به‌دلیل افزایش درصد پوشش و کاهش روان آب و روش مدیریتی و فراهم آوردن انگیزه‌های مالی بهره‌برداران در مراتع، زیست‌بوم‌ها و پارک‌های جنگلی نسبت داده شده است. در این پژوهش براساس نتایج کمی اندازه‌ی نگهداشت کربن در هر هکتار خاک داخل و خارج پارک، تأثیر زیست‌بوم جنگلی پارک ملی بمو بر اندازه‌ی نگهداشت کربن در خاک تأیید شد (جدول ۳). اندازه‌های میانگین هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده مربوط به جذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن، به ازای هر هکتار خاک داخل پارک در سطح-های کم، متوسط و زیاد به‌ترتیب ۱۲۳/۱۲، ۴۱۰/۴۱ و ۳۲۸۳/۲۶ میلیون ریال برآورد شد (جدول ۱). اندازه‌های متناظر در خارج از پارک به ترتیب ۶۶/۸۶، ۲۲۲/۸۸ و ۱۷۸۳/۰۴ میلیون ریال برآورد شد (جدول ۲). بر این اساس در سطح‌های با

وضعیت مشابه ارزش ریالی خسارت اجتناب‌شده در داخل پارک ۱/۸۴ برابر خارج از پارک بود. براساس آماره‌ی محاسبه‌شده‌ی t (۱۷/۲۴) از نظر آماری این تفاوت‌ها در سطح ۱٪ معنی‌دار بود. براساس نتایج آزمون لیون و برابر بودن واریانس‌ها مشخص شد که با توجه به آماره‌ی محاسبه‌شده‌ی F (۰/۰۴۱) واریانس اندازه-های هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در سطح‌های با وضعیت مشابه، از نظر آماری تفاوت معنی‌دار نداشت (جدول ۳).

در پژوهش‌های مختلف ارزش اقتصادی خدمت زیست‌محیطی نگهداشت کربن با توجه به اندازه‌ی هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده برای هر تن کربن نگهداری‌شده یا گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن جذب شده، اندازه‌ی کل نگهداشت کربن یا جذب دی‌اکسید کربن، زمان و قیمت ارز متفاوت ارزیابی شده است (دنگ و همکاران ۲۰۱۱، پاری و همکاران ۲۰۱۴، نصری و همکاران ۲۰۱۶، نیک‌نهاد و همکاران ۲۰۱۸، زیفک و همکاران ۲۰۱۶، حسین‌زاد و محدیوسف ۲۰۲۰، سلیمانی‌پور و همکاران ۲۰۲۱، پاچ و همکاران ۲۰۲۱ و زرافشار و همکاران ۲۰۲۲). در این پژوهش‌ها هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده از ۳ دلار به ازای هر تن دی‌اکسیدکربن جذب‌شده تا ۲۰۰ دلار متفاوت بوده است. در این پژوهش براساس نتایج ارزیابی در سه سطح کم، متوسط و زیاد اندازه‌ی هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در ۱۶۶۸۰ هکتار از خاک پارک ملی بمو که نمونه‌گیری در آن انجام شد، به‌ترتیب ۹۳۹/۴۲، ۳۲۱۸ و ۲۵۰۲۳/۶۷ میلیارد ریال برآورد شد. در حالی که این نتایج برای ۴۶۹۱۳ هکتار کل مساحت پارک درنظر گرفته شود اندازه‌های متناظر در سه سطح بررسی‌شده به‌ترتیب ۲۶۴۲/۱۴، ۸۷۹۷/۵۹ و ۷۰۳۷۹/۸۲ میلیارد ریال خواهد بود. بر این اساس ارزش خدمت زیست‌محیطی جذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن (به‌عنوان یکی از عامل‌های اصلی تغییر اقلیم) مربوط به پارک ملی بمو حتی در سطح کم بیش از ۲۶۰۰ میلیارد ریال برآورد شد که بیان‌گر اهمیت زیاد ارزش اقتصادی پارک است.

نتیجه‌گیری

فزونی انتشار گازهای آلاینده، به‌ویژه دی‌اکسیدکربن، در نتیجه‌ی فعالیت‌های انسان در شهرهای بزرگ چون شیراز، از نگرانی‌های اصلی برنامه‌ریزان شهری و شهروندان است. براساس نتایج این پژوهش، پارک ملی بمو در شمال شیراز به‌سبب شرایط مناسب پوشش گیاهی و خاک، قابلیت زیادی برای نگهداشت کربن و جذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن دارد. میانگین کربن نگهداری‌شده و معادل دی‌اکسیدکربن جذب‌شده در هر هکتار از زمین‌های داخل پارک به‌ترتیب ۴۰/۰۵ و ۱۴۶/۹۸ تن بود. اندازه‌های متناظر در خارج از پارک به‌ترتیب ۲۱/۷۵ و ۷۹/۸۲ تن بود. بر این اساس اندازه‌های میانگین کربن نگهداری‌شده و معادل دی‌اکسیدکربن جذب‌شده در هر هکتار از زمین‌های داخل پارک ۱/۸۴ برابر زمین‌های خارج از پارک بود. میانگین هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده دی‌اکسیدکربن جذب‌شده در هر هکتار زمین داخل و خارج پارک در سطح متوسط به‌ترتیب ۴۱۰/۴۱ و ۲۲۲/۸۸ میلیون ریال برآورد شد، که بیان‌گر اهمیت نقش اقتصادی آن است. با لحاظ کردن هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در سطح زیاد و منطبق بر ارزیابی IPCC، اندازه‌های میانگین هزینه‌ی خسارت اجتناب‌شده در هر هکتار زمین داخل و خارج پارک به‌ترتیب ۳۲۸۳/۲۶ و ۱۷۸۳/۰۴ میلیون ریال برآورد شد. بر این اساس ارزش اقتصادی هر هکتار زمین پارک، به‌سبب جلوگیری از خسارت انتشار گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن، در سطح‌های متوسط و زیاد به‌ترتیب ۱۸۷/۵۳ و ۱۵۰۰/۲۲ میلیون ریال برآورد شد. با درنظر گرفتن پهنه‌ی زمین‌های پارک (۴۶۹۱۳ هکتار)، ارزش اقتصادی آن به‌سبب جلوگیری از خسارت گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن، در سطح متوسط و زیاد به‌ترتیب ۸۷۹۷/۶ و ۷۰۳۷۹/۸۲ میلیارد ریال برآورد شد. بنابراین، لازم است برنامه‌ریزان و مدیران با حساسیت بیشتری ارزش اقتصادی جلوگیری از خسارت پارک‌ها را در محاسبه‌های مالی لحاظ کنند و همه یا بخشی از آن را برای حفاظت و گسترش پارک‌های طبیعی تخصیص دهند.

نکته مهم درباره‌ی ارزش خدمات زیست‌محیطی پارک‌ها و زیست‌بوم‌های جنگلی و مرتعی در جامعه، امکان خرید و فروش کربن نگهداری‌شده و یا گازهای گلخانه‌ای آلاینده به‌ویژه دی‌اکسیدکربن منتشر شده در جو است. دست‌یابی به قیمت متعادل برای خرید کربن نگهداری‌شده و یا هزینه‌ی انتشار گاز دی‌اکسیدکربن اهمیت زیادی دارد. این موضوع می‌تواند به افزایش اندازه‌ی نگهداشت کربن و یا کاهش انتشار گازهای آلاینده و در نتیجه مدیریت حفاظت و توسعه‌ی پارک‌ها و زیست‌بوم‌های جنگلی و مرتعی، کمک زیادی کند. برای این منظور لازم است به چارچوب‌های قانونی و زیرساخت‌های لازم برای ایجاد بازار کاربردی نگهداشت کربن و انتشار گاز آلاینده‌ی دی‌اکسیدکربن به‌عنوان یک موضوع اساسی در سطح‌های ملی و منطقه‌ای توجه شود. در چنین شرایطی می‌توان انتظار داشت مالکان صنایع و کارخانجات برای کاهش اندازه‌ی انتشار گازهای آلاینده و پرداخت هزینه‌ی خسارت کمتر تلاش کنند. از طرف دیگر فعالین در زمینه‌ی حفاظت و توسعه‌ی پارک‌ها و زیست‌بوم‌های جنگلی و مرتعی می‌توانند بخشی از هزینه‌های خود را از راه دریافت بهای خدمت زیست‌محیطی نگهداشت کربن

و یـــا جذب گاز آلاینده‌ی دی‌اکســـیدکربن تأمین کنند. ضمـــن این‌که برای افزایش انگیزه‌ی حفاظت و نگهداری این زیســـت‌بوم‌ها با توجـــه به ارزش‌های غیرمســـتقیم حمایت‌های دولتی ضرورت دارد.

افزون بر این، اســـتان فـــارس قابلیت‌های طبیعی زیادی دارد و براساس معیارهای پیمان بین‌المللی ۲۰۱۵ تغییر اقلیم پاریس و گردهمایی ۲۰۲۲ تغییر اقلیم شرم‌الشیخ، بـــه ایجاد زیســـت‌بوم‌های جنگلی به‌عنـــوان مخزن‌های گازهای گلخانه‌ای و همچنین تجارت گازهای گلخانه‌ای توجه شـــده است. بر این اســـاس امکان گفتگو و داشتن موافقت‌نامه با کشورهای شرکت‌کننده در پیمان زمینه‌ی ایجاد، گسترش و حفاظت از پهنه‌های طبیعی با استفاده از سرمایه خارجی وجود دارد. بنابراین، پیشنهاد می‌شود از راه‌کارهـــای قانونی برای جذب اعتبار از ســـازمان‌های بین‌المللی (ســـازمان تسهیلات جهانی محیط‌زیست[11] و سازمان ملل متحد) استفاده شود و برای کمک به ایجاد و گسترش پارک‌های ملی، زیست‌بوم‌های جنگلی و مرتعی و یـــا حتی ترمیم مراتع و جنگل‌هـــای در حال نابودی و نابودشده استان از آن بهره‌برداری کنند.

سپاسگزاری

ایـــن پژوهش با پشـــتیبانی مالی و معنـــوی اداره‌ی کل حفاظت محیط‌زیست فارس و مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع‌طبیعی فارس، انجام شد. اکبر فروزانی و محمدرحیم شـــادکام به‌ترتیب در نمونه‌برداری خاک و تجزیه‌ی آزمایشگاهی آن و مریم زارع در تهیه‌ی نقشه‌ها، همکاری داشـــته‌اند. از پشـــتیبانی و تلاش همه‌ی آن‌ها سپاسگزاریم.

11 - Global Environmental Facility (GEF)

فهرست منابع

Asgari HR, Savarolya M, Yeganeh H, Honardoust F, Mombeni M. 2021. Effects of grazing exclusure on some soil properties, and carbon sequestration estimating the economic value of (Case study: Arid Rangelands North of Gonbadkavous). Degradation and Rehabilitation of Natural Land. 2(3):1–11. http://dorl.net/dor/20.1001.1.27174425.1400.2.3.2.2. (In Persian).

Badehian Z, Mansouri M, Fakhari MA .2018. Determining the economic value of carbon sequestration in the soil in the planted afforested different species. Environmental Researches. 17(9):111-120. https://dorl.net/dor/20.1001.1.20089597.1397.9.17.15.2. (In Persian).

Bihamta MR, Zare Chahouki MA. 2011. Principles of statistics for the natural resources science. Tehran University Press. ISBN 978-964-03-5812-2. pp. 121-216. (In Persian).

Bordbar SK. 2005. Study the potential of carbon storage in the Eucalyptus and Acacia planted forestry's of Fars Province. Ph.D. Thesis, Sciences and Research's Unit, Islamic Azad University. 154 p. (In Persian).

Brown S. 2002. Measuring carbon in forests: current status and future challenges, Environmental Pollution. 116(3):363-372. https://doi.org/10.1016/S0269-7491(01)00212-3.

De Jong BHJ, Tipper R, Montoya–Gomez G. 2000. An economic analysis of the potential for carbon sequestration by forests: evidence from southern Mexico, Ecological Economics. 33(2):313 – 327. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(99)00162-7.

Deng S, Shi, Y, Jin, Y, Wang L. 2011. A GIS-based approach for quantifying and mapping carbon sink and stock values of forest ecosystem: A case study. Energy Procedia. 5:1535-1545. https://doi.org/10.1016/j.egypro.2011.03.263.

Dixon RK, Schroeder PE, Winjum JK. 1991. Assessment of promising forest management practices and technologies for enhancing the coservation and sequestration of atmosferic carbon and their costs at the site level. EPA/600/3-91/067, US-EPA, Washington D.C. pp. 1-153.

Dixon RK, Sathaye JA, Meyers SP, Masera OR, Makarov AA, Toure S, Makundi W, Wiel S. 1996. Greenhouse gas mitigation strategies: Preliminary results from the US country studies program. Ambio. 25:26-32.

Environmental Protection Organization of Iran. 2002. Bamou national park management plan, identification of lands resources. 65 p. (In Persian).

Environmental Protection Organization of Iran. 2002. Bamou national park management plan, air and climate. 110 p. (In Persian).

Farajzadeh Z. 2018. Emission tax in Iran: Incorporating pollution disutility in a welfare analysis, Journal of Cleaner Production. 186:618-631. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.093.

Fars meteorological bureau. 2022. https://www.farsmet.ir. (In Persian).

Frouzeh M. 2006. Study of soil carbon sequestration and stand biomass of dominant shrub species in the flood spreading area of Gerbaygan Fasa, M.Sc. Thesis, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources. 76 p. (In Persian).

Https://www.tgju.org/profile/price_dollar_rl/charts.

Hussainzad EA, MohdYusof MJ. 2020. Assessing the economic value of carbon sequestration in Taman Negra Pahang, Iop Conference Series Earth and Environmental Science. https://WWW.researchgate.net/Publication/343451491. http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/540/1/012058.

Mahmoudi M, Ramezani Kakroudi E, Shafiei AB, Salehi A, Pato M, Hoseinzadeh O. 2022.

Estimation of Carbon Storage in Biomass and Litter in Plantations of Lavizan Forest Park in Tehran. Ecology of Iranian Forests. 10(20):204–214. (In Persian).

Mesbah H. 2013. Comparison on carbon sequestration of soil and dominant plant species in inside and outside of Bamoo national park, Final report of research project, S/N:44148, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, 47 p. (In Persian).

Masera OR, Bellon MR, Segura G.1995. Forest management options for sequestering carbon in Mexico. Biomass and Bioenergy. 8 (15):357-367. https://doi.org/10.1016/0961-9534(95)00028-3.

Nasri M, Ghorbani M, Azarnivand H, Rafiee H. 2016. Economic valuation of stocked carbon function in arid and semi-arid rangelands (Case study: Malard district). Iranian Journal of Range and Desert Research. 23(2):396–403. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2016.107040.

Nelson DW, Sommers LD. 1986. Total carbon, organic carbon and organic matter, In: Page, A.L. (ED.), Methods of soil analysis: Part 2. Chemical and microbiological properties. 2nd Edition, Agronomy Series No. 9, ASA SSSA, Madison. https://acsess.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2134/agronmonogr9.2.2ed.frontmatter.

Niknahad Gharemakher H, Aghtabye A, Akbarlou M. 2018. Effects of grazing exclusure on some soil properties, erodibility and carbon sequestration (Case study: Bozdaghin rangelands, North Khorasan, Iran). Iranian Journal of Range and Desert Research. 24(4):708–718. https://doi.org/10.22092/ijrdr.2017.114058. (In Persian).

Pache RG, Abrudan IV, Nita MD. 2021. Economic evaluation of carbon storage and sequestration in Retezat national park, Romania. Forests. 12(43):1–14. https://doi.org/10.3390/f12010043.

Parry I, Veung C, Heine D. 2014. How much carbon pricing is in countries' own interests? The critical role of co-benefits. International Monetary Fund. pp. 1-36. https://www.imf.org/external/pubs/ft/wp/2014/wp14174.pdf.

Rajabi V .2011. Estimation of carbon sequestration in two mountain Almond and Mo plants and study the possibility of recalibration of carbon sequestration simulations; Case study Hossein Abad Station. M.Sc. Thesis, college of agriculture, Shiraz University. 119 p. (In Persian).

Sathaye J, Ravindranah NH. 1997. Policies, measures and the monitoring needs of forest sector carbon mitigation, Mitigation Adaptation Strategies Global Change. 2(2–3):101–115. DOI: 10.1007/BF02437198.

Sayyadiyan K, Beheshti AA .2007. Carbon Sequestration Systems. Razi University Publications. pp. 1-176. (In Persian).

Selivanon E, Hlavackova P. 2021. Methods for monetary valuation of ecosystem services: A scoping review, Journal of Forest Science. 67(11):499-511. DOI: 10.17221/96/2021-JFS.

Soleimanipour SS, Adeli K, Mofi-Gholami D, Naghavi H. 2022. Economic evaluation of carbon sequestration in Zagros Oak forests (Case study: The Pahnus forest habitat, Chaharmahal Bakhtiari Province). Journal of Plant Ecosystem Conservation. 10(20):185–206. (In Persian).

United Nations Development Program (UNDP). 2000. Carbon sequestration in the decertified rangelands of Hossain Abad, Through community based management program coordination.7 p.

United Nations Framework on Climate Change (UNFCC) .2016. The Paris agreement. Design and print: Phoenix Design Aid Denmark, pp. 1-60. https://treaties.un.org/Pages/PageNotFound.aspx.

United Nations Framework on Climate Change

(UNFCC). 2022. Decisions taken at the Sharm El-Sheikh Climate Change Conference. pp. 1-49. https://unfccc.int/documents/626561.

World Bank. 2004. Islamic Republic of Iran energy- environment Review Policy Note. Report No. 29062 – IR. Washington D.C. 33 p.

Zapfack L, Noumi VN, Tabue Mabda RB. 2016. Economic estimation of carbon storage and sequestration as ecosystem services of protected areas: A case study of Lebeke national park. Journal of Tropical Forest Science. 28(4):406–415.

Zarafshar M, Rousta MJ, Matinizadeh M, Bordbar SK, Enayati K, Kooch Y, Nehgahdarsaber M, Abbasi A. 2021. Comparison of carbon and nitrogen sequestration in soils under plantations, natural forest and agricultural farm land uses in arjan plain in the Fars province. Ecology of Iranian Forests. 8(16):165–172. (In Persian).

Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center

Watershed Management Research

ISSN: 2981-2038

Agricultural Research, Education and Extension Organization

Economic Analysis of Soil Carbon Sequestration Capability in the National Bamou Park, Fars Province

Roham Rahmani[*1], Seyed Hamid Mesbah[2]

1- Assistant Professor of Economic, Social and Extension Research Department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

2- Research instructor of soil protection and watershed research department, Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Shiraz, Iran

Extended Abstract

Introduction

Carbon dioxide gas, produced from fossil fuels in industrial centres and near big cities, has a significant effect on climate change and global warming. Sequestration of carbon in plants and soil of protected areas, especially national natural parks, is the simplest and most economical way to reduce atmospheric carbon dioxide. The National Bamou Park, with an area of 46,913 hectares near the industrial centres of Shiraz, Zarghan, Maroodasht and Abbarik, provided a good chance for carbon sequestration. In this research economic analysis of this park's soil carbon sequestration capability in 2022 was done.

Materials and Methods

Based on vegetation cover and geomorphological conditions, 20 and 5 locations inside and outside the park were selected for sampling. Composite soil samples were taken from the 25 profiles with a depth of 30 cm length and width of 20 cm. The Wallcly-Black method was used to determine the percentage of soil organic carbon in the laboratory. The economic evaluation of the sequestered carbon was done using the damage cost avoided method at three levels: low estimate based on the values of trade in the Prototype Carbon Fund, medium estimate based on anticipated values in the future European Union

Article Type: Research Article

***Corresponding Author E-mail:** r.rahmani@areeo.ac.ir - roham.rahmani@gmail.com

Citation: Rahmani, R., Mesbah, S.H. 2024. Economic analysis of soil carbon sequestration capability in the national Bamou park, Fars province. Watershed Management Research. 36 (4): 98-113.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.360369.1496

Received: 30 October 2022, **Received in revised form:** 08 February 2023, **Accepted:** 21 June 2023, **Published online:** 22 December 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.4, Ser. No: 141, Winter 2024, pp. 98-113.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center ©Author(s)

carbon trading scheme and high estimate based on the damage cost assessment made by Intergovernmental Panel on Climate Change.

Results

Based on the results, the average measures of carbon sequestered in the soil of the lands inside and outside the park were 40.05 and 21.75 tons per hectare, respectively. Based on the t-test, the average carbon sequestered inside and outside the park significantly differs at 1%. The average economic value of avoided damage related to carbon sequestration per hectare of land inside the park at low, medium and high levels are 123.12, 410.41 and 3283.26 million rials, respectively. The corresponding amounts outside the park are 66.86, 222.88 and 1783.04 million rials. The average economic value of sequestered carbon in the soil of each hectare of land inside and outside the park, based on the t-test, has a significant difference at the level of 1%.

Conclusions and Recommendations

The suitable conditions of vegetation and soil of Bamou National Park have caused this park to have a high economic value because of the environmental services of carbon sequestration in the soil and absorption of carbon dioxide gas. Thus, it is possible the economic value of such services is considered in financial calculations, and all or part of it is allocated for the protection and expansion of these parks. An important point about the economic value of the parks and forest ecosystems services is the possibility of buying and selling carbon sequestered or carbon dioxide gas emitted into the atmosphere. For this purpose, it is suggested to pay attention to the legal frameworks and necessary infrastructures for creating an applied market of carbon sequestration and carbon dioxide emission at the national and regional levels. In addition, concerning the natural resources of Fars province and the criteria of international climate change agreements, it is possible to use foreign capital to help create and expand national parks and forest ecosystems as greenhouse gas reservoirs. Therefore, it is suggested to use these legal agreements to attract credit from international organizations.

Keywords: **Carbon sequestration, damage cost avoided method, Fars, national Bamou park, soil**