Archive of SID

Town & Country Planning *https://jtcp.ut.ac.ir/*
Vol. 12, No. 1, Spring & Summer 2020 *Print ISSN: 2008-7047*
Manuscript Type: Research Paper *Online ISSN: 2423-6268*
DOI: 10.22059/jtcp.2020.294342.670051

Modeling of Ecosystem Services based on Land Cover Change and Land Use Using InVEST Software in Jahannama Conservation Area (Case: Carbon Sequestration Ecosystem Service)

Ensiyeh Fadaei[1], Mir Mehrdad Mirsanjari[2*], Mohammad J. Amiri[3]

1. Ph.D. Student in Environment, Department Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran
2. Assistant Professor, Department Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Malayer University, Malayer, Iran
3. Assistant Professor, Faculty of Environment, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: December 18, 2019; Accepted: February 28, 2020)

Abstract
Several benefits that humans get from ecosystems are called ecosystem services. Carbon sequestration as an eco- regulation service is declining, due to the transformation and destruction of the earth used to recompense the burgeoning human needs for development. In the present study, a pilot landscape of hyrcanian forests, protected area in Jahannama was selected. By examining the land use / cover changes during 2001 to 2018, future condition of the land will be set to determine the carbon storage and carbon sequestration model in 2036. The amount of carbon in the four carbon storage sources including biomass, underground biomass, soil and organic matter along with IPCC reports facilities, field studies and sampling was extracted. Deterioration trend in forest lands and grassland with remarkable role in carbon sequestration was sharpened. The reduction trend will be predicted to reach as much as 40 per cent which will be equivalent to 400859 tons per land. With the same rate in land deterioration, a considerable decrease in ecosystem storage and carbon sequestration' potentiality will be expected present study indicated that the integration of the concept of the ecosystem services in land planning discourse and land use management via the provision of spatial maps of ecosystem services on a regional scale, along with the rational development of human use, ecological hazards should be minimized, as a result better decision will be made in planning the land. It is also suggested that to enhance the quality of Jahannama ecosystem services in development plans and review within the protected boundaries and the principled management of land use within the protective boundaries.

Keywords
Carbon sequestration, InVEST, Jahannama forest area, Modeling.

* **Corresponding Author, Email:** Mehrdadmirsanjari@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

آمایش سرزمین
دورهٔ ۱۲، شمارهٔ اول، بهار و تابستان ۱۳۹۹
صفحات ۱۷۳-۱۵۳ (پژوهشی)

Print ISSN: 2008-7047
Online ISSN: 2423-6268
http://jtcp.ut.ac.ir

مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی مبتنی بر تغییرات پوشش و کاربری سیمای سرزمین با به‌کارگیری نرم‌افزار InVEST در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما (مورد مطالعه: خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن)

انسیه فدائی[۱]، میرمهرداد میرسنجری[۲*]، محمدجواد امیری[۳]

۱. دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۲. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکدهٔ منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه ملایر، ملایر، ایران
۳. استادیار، دانشکدهٔ محیط زیست، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۲/۰۹)

چکیده

مزایای متعددی را که انسان‌ها از اکوسیستم‌ها به دست می‌آورند، خدمات اکوسیستم می‌نامند. ترسیب کربن به عنوان یک خدمت اکوسیستمی تنظیم اقلیم، به دلیل تبدیل و تخریب زمین برای پاسخ به نیازهای فزایندهٔ انسان به انواع توسعه در حال کاهش است. در پژوهش حاضر با انتخاب یک سیمای سرزمین پایلوت از جنگل‌های هیرکانی (منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما)، ضمن بررسی روند گذشته تا امروز تغییرات پوشش/کاربری در دورهٔ زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۱، شرایط آیندهٔ سیمای سرزمین در افق زمانی ۲۰۳۶، با مدل ذخیره و ترسیب کربن در نرم‌افزار InVEST پیش‌بینی و تحلیل شد. میزان کربن موجود در چهار منبع ذخیرهٔ کربن شامل زیست‌تودهٔ روزمینی، بیوماس زیرزمینی، خاک و مواد آلی مرده به تفکیک کاربری اراضی، با تلفیق گزارش‌های IPCC با مطالعات میدانی و نمونه‌برداری استخراج شد. بررسی روند تغییر کاربری اراضی نشان داد با گذشت زمان و به‌تدریج از وسعت اراضی جنگلی و مرتعی که نقش شایان ملاحظه‌ای در ترسیب کربن دارند، کاسته شده است، به‌طوری که در سال ۲۰۳۶ رشد کاهشی ۴۰ درصدی ایجاد شده، که به کاهش ترسیب کربن معادل ۴۰۰۸۵۹ تن در سرزمین منجر می‌شود. ادامهٔ وضع موجود در بهره‌برداری از سرزمین و روند تغییر اراضی به کاهش کارکرد اکوسیستم در ذخیره و ترسیب کربن منجر می‌شود. در مطالعهٔ حاضر نشان داده شد با ادغام مفهوم خدمات اکوسیستم در مباحث برنامه‌ریزی مکانی سرزمین و مدیریت کاربری اراضی از طریق تهیهٔ نقشه‌های مکانی خدمات اکوسیستم در مقیاس منطقه‌ای، می توان علاوه بر توسعهٔ منطقی کاربری‌های انسانی، مخاطرات اکولوژیکی آن‌ها را نیز به لحاظ تضمین تدارک خدمات اکوسیستم به حداقل رساند، و بدین ترتیب تصمیم بهتری در برنامه‌ریزی سرزمین اتخاذ نمود. همچنین، پیشنهاد می‌شود برای بهبود کیفیت خدمات اکوسیستمی در محدودهٔ جهان‌نما از برنامه‌های توسعه‌ای و بازنگری در مرزهای حفاظت‌شده و مدیریت اصولی کاربری زمین در خارج از مرزهای حفاظت استفاده کرد.

واژگان کلیدی

ترسیب کربن، جهان‌نما، مدل‌سازی، منطقهٔ جنگلی، InVEST.

---

* نویسندهٔ مسئول، رایانامه: Mehrdadmirsanjari@yahoo.com

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

ذخیره‌سازی و ترسیب کربن از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین خدمات تنظیمی بوم‌سازگان است که از طریق تنظیم اقلیم در مقیاس‌های خرد محلی تا کلان جهانی به کاهش و تعدیل سرعت تغییرات اقلیمی منجر می‌شود (Pagiola, 2008: 714). خدمات اکوسیستمی در واقع، مزایای متعددی است که انسان‌ها از اکوسیستم‌ها به‌دست می‌آورند (Yousefi et al., 2016: 7391)، و یکی از بارزترین و باارزش‌ترین آن‌ها خدمات ترسیب کربن است. پیرو این مسأله ترسیب کربن رهیافتی برد – برد برای تعدیل آثار مخرب فعالیت بشر در حل مشکلات افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای است. پژوهش‌های زیادی نشان داده است تغییرات انسانی در پوشش/کاربری سرزمین می‌تواند موجب تشدید تغییرات اقلیمی از طریق انتشار دی اکسید کربن در اتمسفر شود (Paudyal et al., 2017: 91; Tolessa et al., 2017: 50). از این رو، با افزایش تقاضا برای تبدیل زمین و بروز تغییرات ساختاری در سرزمین که همراه با نقصان در کیفیت اکوسیستم‌های طبیعی است، تمرکز تحقیقاتی فزاینده‌ای بر این موضوع مهم به وجود آمده‌است (Belari et al., 2010: 627; Power, 2010: 961). به‌طوری که در حال حاضر کاربری زمین و تغییرات آن یک موضوع مهم جهانی محسوب می‌شود. یکی از روش‌های در حال تکامل که با هدف تصویرسازی از رویدادها ابداع شده و اخیراً به یکی از مهم‌ترین بخش‌های ارزیابی‌های یکپارچه محیط زیستی از جمله ارزیابی‌هایی که توسط برنامهٔ بین‌دولتی تغییر اقلیم (IPCC) و ارزیابی زیست‌بوم هزاره مبدل شده، روش مدل‌سازی سناریویی است (Pickard et al., 2017: 620; زرندیان و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۱). هدف برنامه‌ریزی سناریویی این است که انواعی از آینده‌های ممکن را که بازتاب‌دهندهٔ عدم قطعیت‌های مهم است به جای تمرکز بر یک پیش‌بینی دقیق دربارهٔ یک برون‌داد انفرادی در نظر بگیرد (Van der heijden, 2011: 206). هدف از مطالعهٔ حاضر ارزیابی روند تغییرات فضایی – زمانی ساختار سرزمین از گذشته تا حال، و پیش بینی وضعیت آینده و اثر آن بر کمیت ذخیره‌سازی و ترسیب کربن است.

بیان مسأله

اکوسیستم‌ها اقلیم زمین را از طریق اضافه‌کردن و کاستن گازهای گلخانه‌ای از جمله Co_2 در اتمسفر تنظیم می‌کنند. در واقع، جنگل‌ها، مراتع و تالاب‌ها و سایر دارایی‌های طبیعی در مجموع،

www.SID.ir

Archive of SID

سهم بیشتری از کربن را نسبت به آنچه در اتمسفر وجود دارد، در خود ذخیره می‌کنند (Lal, 2004). با ذخیرهٔ کربن در چوب، انواع زیست‌توده و خاک، اکوسیستم‌ها Co_2 را خارج از جو زمین نگه می‌دارند و از تغییر اقلیم ممانعت می‌کنند. فراتر از آن اینکه بسیاری از نظام‌های طبیعی با استمرار انباشت کربن در گیاهان و خاک در طول زمان مقدار مازاد کربن را در هر سال ترسیب می‌کنند. اختلال در نظام‌های طبیعی در اثر آتش‌سوزی، بیماری‌ها و تبدیل پوشش گیاهی (تغییرات پوشش / کاربری زمین) می‌تواند به انتشار مقادیر زیادی Co_2 منجر شود. بنابراین، شیوهٔ مدیریت اکوسیستم‌های خشکی برای تنظیم اقلیم ما بسیار حیاتی است. ترسیب و ذخیرهٔ کربن توسط اکوسیستم‌های خشکی یکی از شناخته‌شده‌ترین انواع خدمات اکوسیستمی است (Canadell & Raupach, 2008) مدیریت سرزمین برای ذخیره و ترسیب کربن مستلزم اطلاعاتی دربارهٔ مقدار و محل ذخیرهٔ کربن و ترسیب آن در طول زمان است و اینکه چگونه تغییرات در کاربری زمین می‌تواند بر این مقدار تأثیر بگذارد. بنابراین، نقشه‌های ذخیره و ترسیب کربن می‌توانند کمکی مطلوب برای مدیران زمین باشد، تا بهتر تشخیص دهند محل‌های حفاظت، برداشت و توسعه را از کجاها انتخاب کنند، به نحوی که تدارک این خدمت توسط اکوسیستم نیز استمرار یابد.

مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش

موستاجوکی و همکاران (۲۰۲۰) مدل‌های پویا عرضهٔ خدمات اکوسیستم و تحلیل سناریوی تغییرات در خدمات چندگانهٔ اکوسیستمی را برای برنامه‌ریزی کاربری زمین به‌کار بردند. در مطالعهٔ حاضر، به‌طور بالقوه، راه‌حل برد – برد مدیریت خدمات چندگانهٔ اکوسیستم به عنوان یک پروکسی برای مدل‌سازی تنوع زیستی، ذخیره‌سازی و ترسیب کربن در مناطق جنگلی فنلاند به‌کار گرفته شد. سه سناریو برای تغییرات منطقه مطرح شد و نتایج نشان داد سناریوی پهنه‌بندی مشترک به شکل منطقی‌تری عرضهٔ خدمات اکوسیستمی به‌ویژه ترسیب کربن را افزایش می‌دهد و به کاهش آثار محیط زیستی منجر می‌شود. مفهوم خدمات اکوسیستمی چارچوبی است که به‌طور گسترده به‌کار گرفته می‌شود تا ارتباط بین عملکرد اکوسیستم‌ها و رفاه انسان را بررسی کند. والسیلو و همکاران (۲۰۱۹) دربارهٔ مدیریت خدمات اکوسیستمی مناطق حفاظت‌شده انگلستان (در ۲۰ سال اخیر) بر اساس سه عامل ارزیابی بیوفیزیکی خدمات اکوسیستمی، ارزشگذاری پولی و تدوین

www.SID.ir

Archive of SID

جدول حسابداری، مطالعه کردند و نشان دادند جنگل‌ها و تالاب‌ها بیشترین خدمات را بر اساس استراتژی مبتنی بر مدل‌های مکانی عرضه می‌کنند و ارزیابی و مدیریت جریان واقعی خدمات اکوسیستمی سهمی بسزا در توسعهٔ بیشتر مناطق حفاظت‌شده بر اساس توصیه‌های فنی خدمات اکوسیستمی دارد. مدل‌سازی ذخیره و ترسیب کربن رویکردی مناسب برای طراحی سیاست‌های فرایندهای اکولوژیکی است. کویی جاس و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی و ارزشگذاری ترسیب کربن در راستای مدیریت خدمات اکوسیستمی در مناطق جنگلی را بررسی کردند. در این زمینه، ترکیب خدمات اکوسیستمی در طول فرایند برنامه‌ریزی با توجه به تمرکز آن بر پایداری خدمات اکوسیستمی ارزیابی شد. نتایج نشان‌داد سازگاری و ترسیب کربن از طریق حفاظت از اکوسیستم‌های سالم، استفاده و مدیریت خدمات چندگانهٔ اکوسیستم، سرمایه‌های طبیعی را جهت ذخیره و ترسیب کربن فراهم می‌کند. اچ دی آبا و دی جن (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای نقش تنوع زیستی پوشش گیاهی را در ترسیب کربن به عنوان یک خدمت اکوسیستمی و روشی برای کاهش تغییرات آب و هوایی، و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در اتیوپی مطالعه کردند. نتایج نشان داد مدیریت خدمات چندگانهٔ اکوسیستمی به‌ویژه تنوع زیستی، سرمایهٔ طبیعی را برای ترسیب و ذخیرهٔ کربن در اکوسیستم فراهم می‌کند و در کاهش تغییرات آب‌و هوایی و انتشار گازهای گلخانه‌ای نقشی بسزا دارد. در پژوهشی دیگر که اخیراً در پاکستان انجام گرفته است، سامی و همکاران (۲۰۱۷) الگوی‌تغییرات آتی کاربری زمین دراستان پنجاب این کشور،تحت سه سناریوی ادامهٔ وضع موجود، رشد سریع اقتصادی و سناریوی توسعه‌ای مبتنی بر پایداری محیط زیستی و با مدل - DLS[1] و برای سال ۲۰۳۰ و در پاسخ به محرکه‌های تغییر موجود شبیه‌سازی کردند. در ایران نیز در سال‌های اخیر مطالعاتی در حوزهٔ مدیریت خدمات اکوسیستمی انجام گرفته است. بادام فیروز و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای در سرزمین جنگلی سرولات و جواهردشت، اثر تغییرات کاربری و پوشش گیاهی بر کمیت ترسیب و ذخیرهٔ کربن بین سال‌های ۱۳۶۳ تا ۱۳۹۵را بررسی کردند. نتایج، کاهش قابل ملاحظهٔ پوشش جنگلی را نشان می‌دهد که این تغییرات ساختاری موجب کاهش توان ترسیب کربن می‌شود. زرندیان و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای پیش‌بینی تغییرات

1. Dynamic of Land System

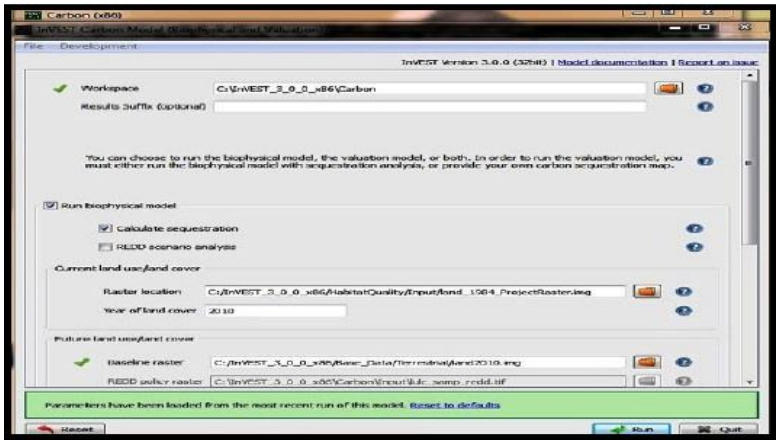
www.SID.ir

Archive of SID

آتی پوشش/کاربری سیمای سرزمین جنگلی دوهزار و سه‌هزار را با به‌کارگیری نرم‌افزار InVEST در یک دورهٔ ۳۶ ساله مدل‌سازی کردند. نتایج نشان داد با ادامهٔ وضع موجود، تغییرات شدیدی در ساختار سیمای سرزمین روی خواهد داد که در مجموع، به اتلاف چشمگیر پوشش جنگل و ازبین‌رفتن زمین‌های زراعی و جایگزینی‌آن‌ها با بافت سکونتگاهی منجر خواهد شد.

روش پژوهش

پژوهش حاضر اثر تغییر کاربری بر ذخیره و ترسیب کربن را به شکل مکانی و در مقیاس منطقه‌ای با به‌کارگیری نرم‌افزار InVEST بررسی کرده است.



شکل ۱. نمایی از مدل ذخیره و ترسیب کربن در نرم‌افزار InVEST

مدل ذخیره‌سازی و ترسیب کربن یک ابزار ارزیابی بیوفیزیکی سرزمین است (Talis et al., 2016)، که برای برآورد موجودی کربن ذخیره‌شده در واحد سرزمینی و تعیین کمیت ترسیب کربن طی یک دورهٔ زمانی به‌کار گرفته می‌شود و با مقایسهٔ خروجی‌های مدل می‌توان تعیین کرد که مقدار ترسیب کربن چه تغییراتی داشته است. بنابراین، اثر تغییر کاربری اراضی بر ذخیره و ترسیب کربن طی دورهٔ ۱۸ساله (بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۸) بررسی شده، و ادامهٔ روند تغییرات طی ۱۸ سال آینده (بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۳۶) پیش‌بینی شد. برای مدل‌سازی و ذخیرهٔ ترسیب کربن در محدودهٔ مطالعاتی جهان‌نما ابتدا، نقشهٔ پوشش/کاربری اراضی (شرایط پایه) سال (۲۰۰۱) با

www.SID.ir

Archive of SID

به‌کارگیری تصاویر TM ماهواره لندست تهیه شد. سپس، با به‌کارگیری تصاویر ماهواره‌ای لندست TM و از طریق مشاهدهٔ میدانی (جهت تصدیق و تدقیق)، نقشهٔ کاربری اراضی وضع موجود (سال ۲۰۱۸) تهیه شد. ذخیرهٔ کربن در هر واحد سرزمین تا حد زیادی به اندازهٔ چهار مخزن وابسته است، زیست‌تودهٔ بالازمینی، زیست‌تودهٔ زیرزمینی، خاک و مادهٔ آلی مرده. مدل InVEST مجموع مقدار کربن ذخیره‌شده در این چهار مخزن را بر اساس نقشه‌های کاربری زمین محاسبه می‌شود. زیست‌تودهٔ بالازمینی شامل همهٔ گیاهان زندهٔ روی خاک (پوست، شاخه، تنه و برگ‌ها) می‌شود. زیست‌تودهٔ زیرزمینی شامل ریشه‌های گیاهان است. مواد آلی مرده شامل اجزای آلی خاک است که معرف بزرگ‌ترین مخزن کربن در خشکی است. این مدل با به‌کارگیری نقشه‌های پوشش/کاربری زمین و مقدار کربن ذخیره‌شده در این مخازن، مقدار خالص کربن ذخیره‌شده در هر محدودهٔ زمین را در طول زمان برآورد می‌کند. برای هر یک از انواع پوشش/کاربری مدل نیازمند برآوردی از مقدار کربن در دست‌کم یکی از چهار مخزن اصلی ذخیرهٔ آن است. مدل این مقدار تعیین‌شده را به‌کار می‌برد تا یک نقشهٔ ذخیرهٔ کربن که شامل مخازن مربوطه در ارتباط با انواع پوشش کاربری زمین است، تولید کند (باده‌یان، ۱۳۹۳: ۱۹۵). برای هر بخش می‌توان مقدار زیست‌توده، سطح برداشت آن و نرخ کربن را که در محتوای آن وجود دارد، تعیین کند. با این داده‌ها، مدل مقدار کربن ذخیره‌شده را که از هر بخش ریشه می‌گیرد، اما در نهایت، در محصولات چوبی ساکن شده، محاسبه می‌شود. با تجمیع مقدار کربن در همهٔ مخازن مقدار کل کربن در سطح کل سرزمین تعیین می‌شود. همچنین، مدل مقدار کل زیست‌توده و حجم چوب حذف‌شده از هر بخش را محاسبه می‌کند. برای پیش‌بینی تغییرات آتی کاربری اراضی پوشش گیاهی با به‌کارگیری تحلیل زنجیرهٔ مارکوف، تصاویر احتمال شرطی ماتریس احتمال انتقال و ماتریس سطوح انتقال، سپس، شبکهٔ خودکار مارکوف برای ایجاد نتایج وابسته به مکان و پیش‌بینی کاربری اراضی سال (۲۰۳۶) اجرا شد. در این مطالعه بستهٔ نرم افزاری InVEST به‌کار گرفته شده است (Sherp et al., 2014: 321). تغییرات سالانهٔ موجودی کربن برای کل واحد سرزمینی مورد مطالعه از طریق محاسبهٔ مجموع تغییرات در همهٔ انواع طبقات کاربری زمین طبق رابطهٔ ۱ به دست می‌آید (Aalde et al., 2006: 34).

$$\Delta C_{AFOLU} = \Delta C_{FL} + \Delta C_{CL} + \Delta C_{GL} + \Delta C_{WL} + \Delta C_{SL} + \Delta C_{OL} \quad (1)$$

www.SID.ir

Archive of SID

در رابطهٔ ۱ ΔC= مجموع تغییرات سالانهٔ موجودی کربن در یک محدوده، $AFOLU$= کشاورزی، جنگلداری و دیگر کاربری‌ها، FL= زمین جنگلی، CL= مزرعه، GL= مرتع، WL= تالاب، SL= سکونتگاه، OL= دیگر کاربری‌ها.در مدل ذخیره و ترسیب کربن.

کربن خشکی از رابطهٔ زیر به دست می‌آید.

$$C_{xt} = C_{pxt} + \sum^{J}_{j=} 1^{A} xjt(C_a j + C_b j + C_s j + C_o j) \quad (۲)$$

که در رابطهٔ (۲) C_{xt} کربن ذخیره‌شده در پیکسل در زمان t است که برابر با مجموع کربن ذخیره‌شده در منابع ذخیرهٔ کربن (Coj, Caj, Cbj, Csj) است که به ترتیب، شامل مادهٔ آلی مرده، بیوماس روزمینی، بیوماس زیرزمینی و خاک به‌تفکیک کاربری اراضی هستند. به‌طوری که J نشان‌دهندهٔ انواع کاربری اراضی موجود در منطقهٔ مورد مطالعه است و Axj_t مساحت کاربری اراضی در پیکسل x در زمان t است. Cpxt ذخیرهٔ کربن در تولیدهای چوبی برداشت‌شده (HWPS) است. ترسیب کربن زمانی اتفاق می‌افتد که ذخیرهٔ کربن در طول زمان افزایش می‌یابد. تغییر کربن از رابطهٔ (۲) به دست می‌آید (Sherp et al., 2014: 328).

$$\Delta C_{xtT} = C_{xT} - C_{xt} \quad (۳)$$

اگر تغییر ذخیرهٔ کربن در رابطهٔ ΔC_{xtT} مثبت باشد، یعنی از زمان t تا T در پیکسل مورد بررسی، ترسیب کربن اتفاق افتاده است؛ و اگر منفی باشد، کربن بین دو بازهٔ زمانی t و T از دست رفته است. در مرحلهٔ بعد داده‌های مربوط به موجودی کربن در طبقات مختلف پوشش/کاربری اراضی تهیه شده، و به عنوان ورودی در نرم‌افزار InVEST به‌کار گرفته شد. تراکم پوشش گیاهی، تیپ پوشش گیاهی، نوع خاک و کاربری‌های موجود در تعیین ذخیرهٔ کربن بسیار مؤثر است. در پژوهش حاضر به منظور تخمین ذخیرهٔ کربن در کاربری‌های اراضی مختلف علاوه بر استخراج داده‌های‌کربن از گزارش‌های IPCC (2006)، مطالعات میدانی و نمونه‌برداری نیز به‌کار گرفته شد و نتایج بر اساس تلفیق این دو رویکرد است. برای تعیین کربن خاک، نمونه‌برداری به روش نظام‌مند- تصادفی انجام گرفت به صورتی که نقشه‌های‌کاربری اراضی/ پوشش گیاهی (وضع موجود) به شبکه‌هایی به وسعت ۱۰ کیلومتر مربع تقسیم (Gao et al., 2007: 9)، و در هر یک از

www.SID.ir

Archive of SID

این شبکه‌ها به شیوهٔ تصادفی اقدام به نمونه‌برداری شد و برای هر کاربری (اراضی جنگلی، مرتعی و کشاورزی) ۲۰ شبکهٔ تصادفی و در هر شبکه سه نمونهٔ خاک تا عمق ۳۰ سانتی‌متری برداشت شد (برای کاربری مسکونی/سنگی ذخیرهٔ کربن صفر در نظر گرفته شده است)، زیرا مطالعات نشان داد تغییرات کربن در اعماق بیشتر از ۳۰ سانتی‌متر معنادار نیست (Zahedi Amiri, 1998: 314). نمونه‌ها پس از خشک‌شدن از الک دومیلی‌متری عبور داده شد. اندازه‌گیری کربن آلی خاک به روش والکی- بلاک صورت گرفت (Walkly & Black, 1934: 39). به منظور محاسبه درصد کربن وزن مخصوص ظاهری به روش کلوخه به‌دست آمد (Mack Diken, 1997). برای برآورد موجودی کربن در لایه‌های مختلف معدنی خاک فرمول زاهدی (۲۰۰۲) به‌کار گرفته شد.

$$CC(g/m2) = 10000 \times C(\%) \times Bd \times e \qquad (۴)$$

C درصد تراکم کربن در عمق مشخصی از خاک، Bd وزن مخصوص ظاهری خاک (گرم بر سانتی‌متر مکعب) e ضخامت لایهٔ خاک (سانتی‌متر) و Cc میزان ترسیب کربن (گرم بر متر مربع) است. بدین ترتیب، درصد کربن در لایه‌های آلی و معدنی خاک برآورد شد. با توجه با رابطهٔ (۴) میزان ترسیب کربن خاک در واحد سطح (تن در هکتار) به شرح جدول ۱ به دست آمد.

جدول ۱. میانگین ترسیب کربن خاک بر اساس کاربری‌های مختلف

کاربری	عمق خاک (cm)	میانگین ترسیب کربن (ton/h)
جنگلی	۳۰	۵۴٫۶۰
مرتعی	۳۰	۵۱٫۴۰
کشاورزی	۳۰	۵۷٫۴۲

کربن ذخیره‌شده در زیست‌توده شامل کربن ذخیره‌شده در اندام‌های هوایی (C_1) و اندام‌های زیرزمینی (C_2) است و کربن موجود در خاک شامل کربن موجود در لاشبرگ و لایهٔ آلی خاک (C_3) و کربن ذخیره‌شده در لایهٔ معدنی خاک (C_4) است (Guo et al., 2001).

$$C_t = C_1 + C_2 + C_3 + C_4 \qquad (۵)$$

www.SID.ir

Archive of SID

به منظور محاسبهٔ میزان رویش سالانهٔ بخش‌های هوایی گیاه، می‌توان درصد رویش سالانه در هکتار را در متوسط حجم سرپای در هکتار ضرب کرد. براساس بررسی انجام‌گرفته، میزان رویش با حجم زیست‌تودهٔ زیرزمینی یک‌پنجم اندام‌های هوایی است. بنابراین، پس از محاسبهٔ میزان رویش سالانهٔ جنگل، ۲۰ درصد آن به عنوان میزان زیست‌تودهٔ زیرزمینی (C_2) در نظر گرفته می‌شود (MacDicken, 1997). از آنجا که رویش گیاهان به صورت تجمعی برآورد می‌شود، باید به منظور تبدیل آن به واحد وزن رقم مربوط در میزان متوسط جرم تجمعی گونه‌های گیاهی ضرب شود. براساس گزارش سازمان جنگل‌ها و مراتع کشور (۱۳۸۵) متوسط وزن مخصوص گونه‌های گیاهی جنگل‌های هیرکانی ۰٫۶۵ تن در مترمکعب برآورد می‌شود. براساس مطالعات، متوسط رویش نسبی سالانه در جنگل‌های شمال ۲ درصد است. بنابراین، در محدودهٔ مورد مطالعه سالانه ۷٫۵ مترمکعب در هکتار مادهٔ خشک تولید می‌شود (زبیری، ۱۳۸۳). با توجه به متوسط وزن مخصوص تودهٔ گیاهی ($۶۱۵kg/m^3$) وزن تر سرپا (۴۸۵ kg) برآورد می‌شود. وزن خشک سرپا ۵۰ درصد وزن تر است. بنابراین، در محدودهٔ مورد مطالعه وزن خشک ۲۸۹۶/۸ کیلوگرم است. با توجه به اینکه در عمل فتوسنتز به ازای تولید هر کیلوگرم مادهٔ خشک ۱٫۶۳ کیلوگرم Co_2 تثبیت می‌شود. مجموع جذب دی‌اکسید کربن در اندام‌های هوایی در محدودهٔ مورد مطالعه معادل ۴۰۰ تن برای هکتار در نظر گرفته شده است (McGuire, 2002: 193). برای تعیین میزان کربن ذخیره‌شده در اندام‌های هوایی و زیرزمینی پوشش گیاهی (C_1و C_2) فرمول فتوسنتز و تنفس گو و همکاران (۲۰۰۱) به‌کار گرفته شده است (Guo et al., 2001: 146).

$$Co_2\,(264g) + H_2O\,(108g) \rightarrow C_6H_{12}O_6\,(180g) + O_2\,(193g) \qquad (۶)$$

بر مبنای یافته‌های برآمده از دانش بوم‌شناسی ابعاد کمّی مربوط به جریان گردش تولیدات و خدمات اکولوژیکی شناسایی‌شده و با معیارهای فیزیکی متعارف اندازه‌گیری می‌شوند. با توجه به رابطهٔ (۵) اکوسیستم‌های جنگلی برای تولید ۱۶۲ گرم مادهٔ خشک ۲۶۴ گرم دی‌اکسید کربن جذب و ۱۹۳ گرم اکسیژن آزاد می‌کنند، به بیان دیگر، ۱٫۶۳ گرم دی‌اکسیدکربن برای تولید یک گرم مادهٔ خشک مورد نیاز است. بدین ترتیب، با محاسبهٔ میزان رشد سالانهٔ پوشش گیاهی در بخش‌های هوایی و زیرزمینی می‌توان میزان کربن ترسیب‌شده توسط گیاهان را برآورد کرد. دربارهٔ

www.SID.ir

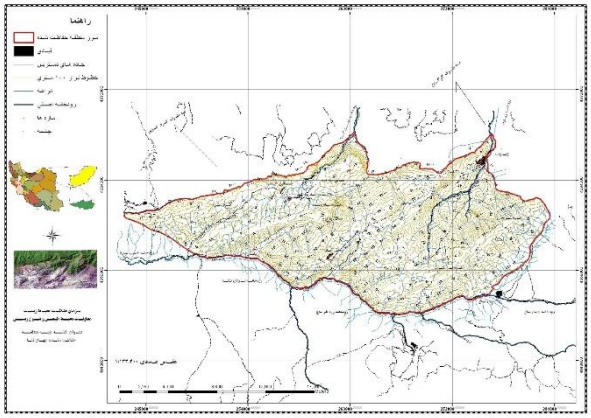
Archive of SID

قسمت‌هایی از سرزمین که تحت پوشش گیاهی علفی و غیرچوبی قرار دارند، از محاسبهٔ مقدار زیست‌توده صرف نظر شد. این بدان دلیل است که زیست‌تودهٔ موجود در پوشش گیاهی (غیرچوبی) به نسبت زودگذر است و به صورت سالانه یا چندسال یک‌بار تجزیه و بازتولید می‌شود (Eggleston et al., 2006). بنابراین، انتشارات ناشی از تجزیه با حذف کربن ناشی از رشد دوبارهٔ پوشش گیاهی به تعادل می‌رسد و مقداری کلی و خالص موجودی کربن را در طولانی‌مدت ایجاد می‌کند، که ثابت است (Haghdoost et al., 2011: 389). منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما در جنوب غربی استان گلستان، در جنوب شرقی شهرستان کردکوی و در شمال استان سمنان قرار دارد (شکل ۱). این محدوده به وسعت ۳۰۵۱۴ هکتار (عرض ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه، تا ۳۶ درجه و ۴۴ دقیقهٔ شمالی و طول ۵۴ درجه و ۰۷ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۳۲ دقیقهٔ شرقی) با نام منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما شناخته شده است که پس از پارک ملی گلستان وسیع‌ترین منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ این استان محسوب می‌شود (صابری و همکاران، ۱۳۹۳). جنگل‌های جهان‌نما از نوع جنگل‌های هیرکانی است که از قدیمی‌ترین جنگل‌های دنیا به شمار می‌رود. واقع‌شدن منطقهٔ مورد مطالعه در جنوب شهر گرگان که یکی از مناطق تمرکز جمعیتی در شمال کشور است، تهدیدی جدی برای منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما است. بخشی از منطقهٔ نهارخوران گرگان نیز در این محدوده قرار دارد که شاهد عینی تأثیر تمرکز جمعیتی بر مناطق طبیعی است که در سال‌های اخیر به‌شدت منابع طبیعی و جنگل‌ها را تخریب کرده و به نمونهٔ بارز در شمال ایران به عنوان تعرض بشر به جنگل‌های بکر تبدیل شده است. این تهدید به حدی زیاد است که اگر برنامه‌ریزی دقیق برای مدیریت بحران و آمایش سرزمین منطقه وجود نداشته باشد، در سال‌های آینده تغییرات گستردهٔ کاربری و نابودی کل منطقه حفاظت‌شده اتفاق خواهد افتاد. تهدیدات منطقه، همچنین، وجود ظرفیت‌های یادشده که خدمات و کالاهای زیادی را عرضه می‌کند، سبب شده است منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما تبدیل به یک گزینهٔ مناسب مطالعاتی برنامه‌ریزی، آمایش و مدل‌سازی خدمات اکوسیستمی شود (محرم‌نژاد و دربیگی، ۱۳۸۶). پایش تغییرات کاربری و مدل‌سازی خدمات اکوسیستم و پهنه‌بندی منطقه برای کاربری‌های آینده براساس سناریوهای مختلف، می‌تواند حیات منطقه را در آینده تضمین کند. در مطالعهٔ حاضر سعی خواهد شد همهٔ ابزار موجود و

www.SID.ir

Archive of SID

روش‌های به‌روز و دقیق به‌کار گرفته شود تا براساس سناریوهای مختلف بتوان مدل‌سازی دقیقی از وضعیت محتمل آیندهٔ منطقه ارائه شود و با برنامه‌ریزی براساس خدمات اکوسیستمی که روح طبیعت برای زنده‌ماندن است، بهترین سناریو برای آیندهٔ منطقه ترسیم شود (Swetnam et al., 2011: 566). در نهایت، با برنامه‌ریزی دقیق براساس نتایج کاربردی این مطالعه، آینده منطقه تضمین خواهد شد.



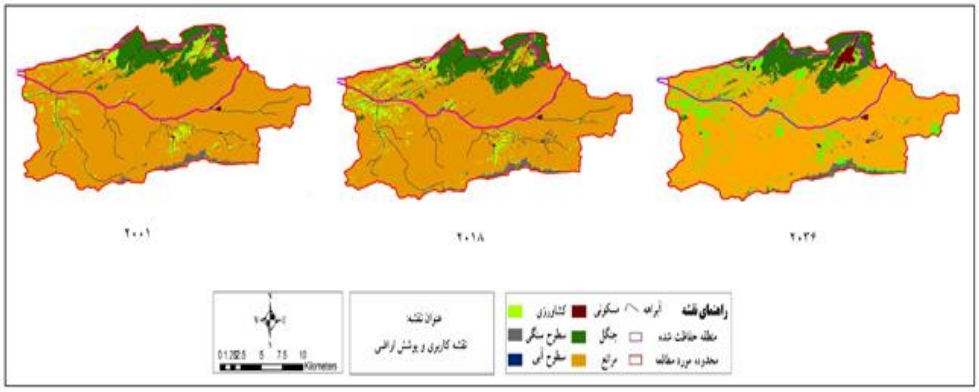
شکل ۲. موقعیت جغرافیایی محدودهٔ مورد مطالعه در استان گلستان و ایران

یافته‌های پژوهش

نقشهٔ کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۸ و ۲۰۳۶ در شکل ۳ مشاهده‌شدنی است مقایسهٔ نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۱۸ بررسی روند تغییر کاربری در بازهٔ زمانی ۲۰۳۶ نشان می‌دهد مراتع و پس از آن پوشش جنگلی بیشترین مساحت منطقهٔ مورد - مطالعه را به خود اختصاص داده است. در حالی که با گذشت زمان از وسعت آن کاسته شده و بر وسعت سایر کاربری‌ها شامل اراضی کشاورزی، دیم‌زارها و مناطق انسان‌ساخت افزوده شده است (جدول ۲). طی دورهٔ زمانی مورد مطالعه، مراتع بیشترین روند تغییرات رو به کاهش را به خود اختصاص داده است. در حالی که بیشتر کاربری‌های انسان‌ساخت (سکونتگاه، اراضی کشاورزی و جاده‌ها) روند تغییرات افزایشی داشته است. با توجه به روند تغییر کاربری پیش رو طی سال‌های آینده روند کاهشی شدیدی در اراضی جنگلی و مرتعی مشاهده خواهد شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳. نقشهٔ کاربری و پوشش اراضی منطقه مورد مطالعه در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۸، ۲۰۳۶

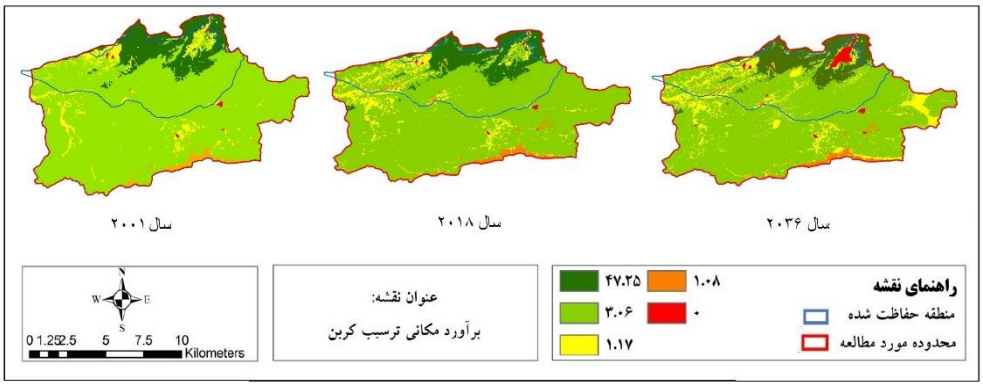
جدول۲. مساحت و تغییرات کاربری و پوشش اراضی منطقهٔ مورد مطالعه

کاربری و پوشش اراضی	مساحت کاربری و پوشش اراضی ۲۰۰۱		مساحت کاربری و پوشش اراضی ۲۰۱۸		درصد و مساحت تغییرات	
	(Ha)	(٪)	(Ha)	(٪)	(Ha)	(٪)
جنگل	۹۸۳۴	۱۱٫۹۰	۹۵۶۰	۱۱٫۳	-۲۷۴	-۲٫۸
مراتع	۶۸۲۸۱	۸۰٫۵	۶۶۲۶۳	۷۸٫۳	-۲۰۱۸	-۲٫۹
کشاورزی	۵۰۸۵	۶	۶۶۱۴	۷٫۹	۱۵۲۹	۳۰
مسکونی	۱۰۶	۰٫۱	۳۴۷	۰٫۵	۲۴۱	۲۲۷
سطوح سنگی	۱۲۵۷	۱٫۵	۱۷۷۴	۲	۵۱۷	۴۱
سطوح آبی	۰	۰	۵	۰	۵	۱۰۰
مجموع	۸۴۵۶۳	۱۰۰	۸۴۵۶۳	۱۰۰	-	-

شکل ۳ میزان ذخیرهٔ کربن را در سال‌های ۲۰۰۱، ۲۰۱۸ و ۲۰۳۶ نشان می‌دهد از ۰ تا ۴۷۰۲ تن در مقیاس پیکسل متغیر است و همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان شایان توجهی (حداکثر) از ذخیرهٔ کربن به پوشش جنگلی در مقایسه با سایر کاربری‌ها در منطقهٔ اختصاص دارد. نواحی با میزان شایان توجه عرضهٔ خدمت اکوسیستمی ذخیرهٔ کربن در شکل ۳ مشاهده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



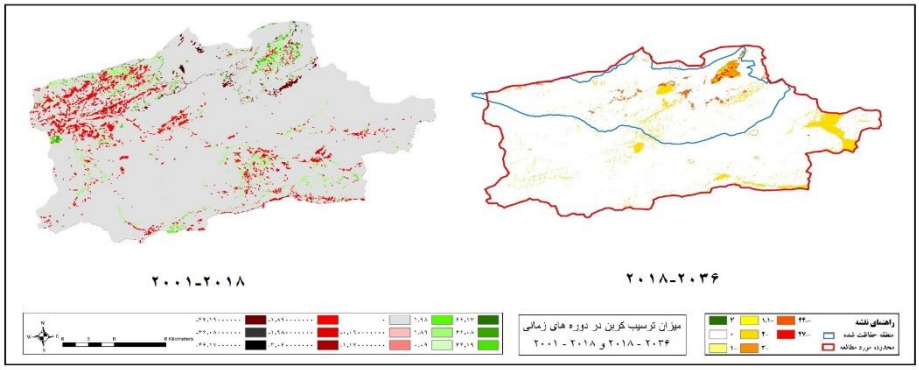
شکل٤. نقاط داغ ذخیرهٔ کربن در منطقهٔ مورد مطالعه (Mg/Pix)

با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود، با تغییرات محتمل کاربری زمین (افزایش۴۰ درصدی اراضی زراعی،۱۰۰ درصدی سکونتگاه‌های انسانی و ۵ درصدی شبکهٔ جاده‌ها) در منطقهٔ جهان‌نما کمیت ذخیرهٔ کربن توسط سرزمین کاهش می‌یابد که در نقشه به‌وضوح مشخص است و نشان می‌دهد مساحت نقاط داغ عرضهٔ ذخیرهٔ کربن سیر نزولی دارد و از ۹۸۳۴ هکتار به ۹۵۶۰ هکتار رسیده است و با ادامهٔ روند کنونی تغییر کاربری و جنگل‌زدایی طی ۱۸سال آینده به ۹۱۶۱ هکتار کاهش خواهد یافت. از سوی دیگر، نواحی محدودی نیز روی نقشه با ارزش مثبت حداکثر دو تن دیده می‌شوند که به معنای افزایش ترسیب کربن در بین نواحی است که دلیل عمدهٔ آن افزایش زمین‌های کشاورزی است که از میزان شایان توجهی کربن آلی خاک برخوردانـد. شکل ۵ میزان ترسیب کربن را طی ۱۸ سال گذشته (۲۰۰۱-۲۰۱۸) و ۱۸ سال آینده (۲۰۱۸-۲۰۳۶) نشان می‌دهد. روند تغییرکاربری به سمتی پیش رفته است که منطقهٔ مورد مطالعه با رشد ترسیب منفی کربن همراه بوده است. مناطقی که ذخیرهٔ کربن آن‌ها در اثر تغییرات کاربری حاصل از اجرای سناریو تغییر نمی‌کند، با رنگ سفید مشخص شده است که ارزش‌آن صفر است. سایر نواحی که تغییر می‌کنند، نشان‌دهندهٔ ترسیب کربن طی بازهٔ زمانی مورد نظر است که شامل ارزش‌های مثبت و منفی می‌باشند. ارزش‌های منفی به مفهوم کاهش ترسیب کربن است که با طیفی از رنگ‌های مختلف نشان داده شده است. این کاهش توان ترسیب به‌طور عمده، به واسطهٔ تبدیل پوشش طبیعی جنگلی و مرتعی به کاربری‌های انسانی (کشاورزی و توسعهٔ شهری) است. از سوی دیگر،

www.SID.ir

Archive of SID

نواحی محدودی نیز با رنگ سبز و ارزش مثبت حداکثر دو تن دیده می‌شوند که به مفهوم افـزایش ترسیب کربن در این نواحی است و دلیل عمده آن افزایش زمین‌های کشاورزی است که از میـزان شایان توجهی کربن آلی خاک برخوردارند.



شکل۵. میزان ترسیب کربن در دوره‌های زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۱ و ۲۰۳۶-۲۰۱۸ در محدودهٔ مورد مطالعه (Mg/Pix)

بحث ونتیجه‌گیری

بر اساس محاسبات حاصل از مدل‌سازی، سرزمین جهان‌نما در وضع جـاری خـود ۷۴۲۸۱۷۰ تـن کربن را در مقیاس پیکسل در خود ترسیب می‌کند. که ادامهٔ وضع موجود و روند تغییر اراضـی بـه کاهش این ذخیرهٔ کربن به مقدار ۷۰۲۷۳۱۱ تن کربن در پیکسل در منطقه منجر می‌شود (۴۰۰۸۵۶ تن کربن در پیکسل کاهش را نشان می‌دهد)، که نشان‌دهندهٔ تغییرات کاهشـی در سـطوح ترسـیب کربن در منطقه است. مطالعهٔ حاضر در مقایسه با سـایر مطالعـات انجـام‌گرفتـه، بـا بررسـی تغییـر کاربری طی دورهٔ زمانی (۲۰۰۱-۲۰۱۸) و (۲۰۳۶-۲۰۱۸) با به‌کارگیری نرم‌افـزار InVEST امکـان می‌دهد که بتوان تغییرات ذخیره و ترسیب‌کربن‌را به شکل مکانی تجسم کرد. ضـمن نقـاط قـوت، این مدل محدودیت‌هایی نیز دارد که باید به آن‌ها توجه شود. مدل اجراشده در پژوهش حاضر بـر اساس الگوی کاربری اراضی و پوشش گیاهی و تغییرات آن در طول زمان استوار است که کاربری اراضی فاکتور غالب در تعیین ذخیرهٔ کربن در خشکی است (IPCC, 2006). وقوع سایر آشفتگی‌هـا نظیر آتش‌سوزی، شیوع بیماری و هجوم گونه‌های بیگانه نیز می‌تواند اثری مهم بر ذخیره و ترسیب کـربن داشـته باشـد (IPCC, 2006; Bond- Lamberty, 2007; Kerz et al., 2008; Mc Guire et al.,

www.SID.ir

Archive of SID

2001). علاوه بر این، الگوهای بارش و دما که تعیین‌کنندهٔ فرایندهای اکوسیستم مانند تولید اولیهٔ خالص (NPP) و فرسایش خاک هستند، از عوامل تعیین‌کنندهٔ ذخیره و ترسیب کربن خشکی محسوب می‌شوند. بهترین استراتژی برای رفع این محدودیت‌ها به‌کارگیری داده‌های مربوط به ذخیره و ترسیب کربن در مقیاس محلی، طبقه‌بندی کاربری اراضی بر اساس آن دسته از ویژگی-های سیمای سرزمین که وضعیت میکروکلیما را منعکس می‌کند، که در پژوهش حاضر تلفیق داده-های جهانی و نمونه‌برداری برای تعیین ترسیب کربن در وضع جاری و پیش‌بینی وضعیت آیندهٔ - سرزمین به‌کار گرفته شده است. مطالعهٔ حاضر نشان داد تغییرات کاربری اراضی پوشش گیاهی با توجه به شرایط بهره‌برداری موجود آثار کاهشی بر خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن (از طریق کاهش سطح جنگل‌ها و کاهش کیفیت زیستگاه) دارد و در مقابل، آثار افزایشی بر روند تدارک خدمات تولیدی اکوسیستم (تبدیل جنگل‌ها به مزارع) از جمله تولید غذا خواهد داشت. بنابراین، یکپارچه‌سازی مفهوم خدمات اکوسیستم در مباحث برنامه‌ریزی مکانی سرزمین و مدیریت کاربری اراضی نیازمند تهیهٔ نقشه‌های مکانی خدمات اکوسیستم در مقیاس منطقه‌ای است که در این پژوهش سعی شده است به این موضوع پرداخته شود. نقشهٔ ذخیره و ترسیب کربن همراه با سایر نقشه‌های‌خدمات اکوسیستمی را می‌توان برای شناسایی نواحی با عرضهٔ بالای خدمات اکوسیستمی به‌کار گرفت و با اجرای سناریوی کاربری اراضی/پوشش گیاهی می‌توان بر کاهش انتشار دی‌اکسید کربن تأکید کرد و میزان ترسیب کربن مازاد را تخمین زد که در نهایت، به تلاش‌هایی برای کاهش جنگل‌زدایی و انتشار کربن منجر شود (Marull et al., 2018: 1279). در مطالعهٔ حاضر اثر تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر خدمت اکوسیستمی ذخیره و ترسیب کربن مورد توجه قرار گرفت. نتایج مطالعه نشان داد روند تغییرات کاربری اراضی و بهره‌برداری از پوشش گیاهی در محدودهٔ جهان‌نما با توسعهٔ کشاورزی و جنگل‌زدایی همراه بوده، که به کاهش خدمت اکوسیستمی ترسیب کربن در محدودهٔ مورد مطالعه منجر شده است. در سرزمین هیرکانی اثر تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی را بر عرضهٔ خدمات زیستگاهی نظیر ذخیره و ترسیب کربن، با به‌کارگیری مدل نرم‌افزاری InVEST پیش‌بینی و تحلیل کردند. نتایج مطالعات نشان داد ادامهٔ وضع موجود در این منطقه سبب تغییرات شدیدی در ساختار سیمای سرزمین و اتلاف چشمگیر پوشش طبیعی

www.SID.ir

Archive of SID

جنگلی و در نهایت، کاهش توان ترسیب کربن و سایر خدمات اکوسیستمی در محدودهٔ مطالعاتی شده است (Wang et al., 2016). ارتباط بین کربن آلی خاک و متغیرهای محیط زیستی را در کشور چین با به‌کارگیری مدل Boosted Regression Tree کمّی‌سازی کرده‌اند. بر اساس نتایج پژوهش آن‌ها، تغییرات شدید کاربری زمین و تبدیل زمین‌های کشاورزی به شهری، اثری شایان توجه بر ذخیرهٔ کربن آلی خاک داشته است که با نتایج پژوهش حاضر از نظر کاستی ذخیره و ترسیب کربن هم‌خوانی دارد. وجه تمایز پژوهش حاضر این است که علاوه بر کربن آلی خاک، ذخیرهٔ کربن موجود در مخازن دیگر نیز در محاسبات و مدل‌سازی در نظر گرفته شده است (Sill et al., 2017). در پژوهشی مقدار کل کربن ذخیره‌شده در سرزمین کوهستانی سابوررا در سال ۱۹۹۰ معادل ۴۷٫۲۱ تن در هکتار برآورد کردند که نسبت به شرایط گذشتهٔ سرزمین جهان‌نما مقدار بالاتری را نشان می‌دهد، همچنین، میانگین ترسیب کربن در دورهٔ زمانی مورد مطالعه مقدار مثبت را نشان می‌دهد در حالی که در منطقهٔ جهان‌نما برخی مناطق روند ترسیب منفی را نشان می‌دهد که این تفاوت در نرخ ترسیب کربن به دلیل روند افزایش پوشش طبیعی جنگلی برخلاف کاهش شدید پوشش جنگلی در محدودهٔ جهان‌نما است.

پیشنهادها

پیشنهاد می‌شود برای بهبود خدمات اکوسیستمی برنامه‌های توسعه‌ای و بازنگری در مرزهای حفاظت‌شده به‌کار گرفته شود، تا از این طریق راه‌حل بهینه حاصل شود. بر همین اساس، اگرچه منطقهٔ کنونی حفاظت‌شده در سرزمین وجود دارد، در صورت تداوم روند موجود بهره‌برداری از سرزمین، صرف وجود منطقهٔ حفاظت‌شده مانع زوال یا کاهش کیفیت خدمات در حال تدارک از سوی اکوسیستم نخواهد شد. بنابراین، می‌توان بر اساس سنجش کمیت و چگونگی توزیع جریان-های اکوسیستمی‌در محدودهٔ مورد مطالعه و با تغییر مرز محدودهٔ حفاظت‌شده و مرزبندی جدید و با درنظرگرفتن ارتباط منطقهٔ حفاظت‌شده با محیط اطراف و بهبود مدیریت کاربری زمین نواحی ضروری برای حفاظت را که در حال حاضر حفاظت‌شده نیستند. همچنین، نواحی حفاظت‌شده‌ای را که در حال حاضر خدمت اکوسیستمی کمتری تولید می‌کنند، تعیین کرد که یک راهبرد حفاظتی برد- برد است و نشان می‌دهد در صورت تعریف محدودهٔ حفاظت بر اساس پتانسیل بالقوه و

www.SID.ir

Archive of SID

واقعی خدمات اکوسیستمی و توزیع فضایی آن و همچنین، تلفیق آن با سایر راهبردهای مدیریتی از جمله مدیریت اصولی کاربری زمین در خارج از مرزهای حفاظت‌شده می‌توان علاوه بر توسعهٔ منطقی کاربری‌های انسانی، مخاطرات اکولوژیکی آن‌ها را نیز به لحاظ تضمین تدارک خدمات اکوسیستمی به حداقل رساند و بدین ترتیب تصمیم بهتری در برنامه‌ریزی سرزمین اتخاذ کرد. در پایان، امروزه اندازه‌گیری و برآورد ترسیب کربن به عنوان یک خدمت تنظیم اقلیم و ارزیابی پتانسیل آن‌ها در به دام انداختن و نگهداشت کربن اتمسفری با توجه به افزایش انتشار گازهای گلخانه‌ای به ویژه دی‌اکسیدکربن اهمیت بسزا در فرایندهای مدیریتی برای برنامه‌ریزی هدفمند و توسعه‌محور در اکوسیستم‌های طبیعی دارد. روند افزایشی انتشار گازهای گلخانه‌ای موجبات افزایش گرمایش کرهٔ زمین و تغییرات اقلیمی را مهیا کرده است، و از آنجا که زیست‌تودهٔ جنگلی و مرتعی بخش اعظمی از ذخیرهٔ کربن در بوم نظام‌های خشکی را به خود اختصاص می‌دهد، نباید از اهمیت مدیریت و بهره‌برداری از اراضی جنگلی و پوشش‌های گیاهی طبیعی و خودرو غافل بود (Blainski et al., 2017: 189). مناطق جنگلی البرز شمالی به عنوان بخش بزرگی از پوشش جنگلی ایران نقشی مهم در ترسیب کربن دارد و می‌توان اظهار کرد که هزینهٔ محیط زیستی تغییر کاربری اراضی/پوشش گیاهی در جهت منافع اقتصادی بهره‌برداری از سرزمین با کاهش عرضهٔ خدمت اکوسیستمی ذخیره و ترسیب کربن همراه بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

منابع

بادام فیروز، جلیل، زرندیان، اردوان، موسی‌زاده، رؤیا و عظیمی، بهار (۱۳۹۸). سنجش اثرهای تغییر کاربری زمین و برآورد هزینه‌های اتلاف ظرفیت ذخیره‌سازی و ترسیب کربن در سرزمین جنگلی هیرکانی با استفاده از مدل InVEST. *پژوهش و توسعهٔ جنگل*، دورهٔ ۵، شمارهٔ ۲، صفحات ۳۱۶-۲۹۳.

بادهیان، ضیاءالدین، مشایخی، زهرا، زبردست، لعبت و مبرقعی، نغمه (۱۳۹۳). برآورد ارزش اقتصادی کارکرد ترسیب کربن در دو تودهٔ جنگلی خالص و آمیختهٔ راش (مطالعهٔ موردی: جنگل خیرود نوشهر). *پژوهش‌های محیط زیست*، دورهٔ ۵، شمارهٔ ۹، صفحات ۱۵۶-۱۴۷.

زرندیان، اردوان، موسی‌زاده، رؤیا، بادام فیروز، جلیل و رحمتی، علیرضا (۱۳۹۷). مدل‌سازی سناریویی برای پیش‌بینی تغییرات آتی پوشش/کاربری زمین با استفاده از نرم‌افزار InVEST، بررسی موردی: سیمای سرزمین جنگلی دوهزار و سه‌هزار، *محیط شناسی*، دورهٔ ۱۶، شمارهٔ ۲، صفحات ۱۳۲-۱۱۱.

صابری، امیر، صالحی کارونیان، علیرضا، صالحی کارونیان، زینب (۱۳۹۳). بررسی توان‌ها و قابلیت‌های اکوتوریستی مناطق حفاظت‌شده محیط‌زیست در جهت توسعهٔ پایدار (مطالعهٔ موردی: منطقه حفاظت‌شدهٔ جهان نمای گرگان). *مطالعات مدیریت گردشگری*، دورهٔ ۲۵، شمارهٔ ۸، صفحات ۷۹-۶۳.

محرم‌نژاد، ناصر و دربیگی، مزدک (۱۳۸۶). تدوین مدیریت اکوتوریسم در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ جهان‌نما. *علوم و فناوری محیط زیست*، دورهٔ ۹، شمارهٔ ۳، صفحات ۵۳-۴۲.

References

Aalde, H., Gonzalez, P., Gytarsky, M., Krug, T., Kurz, W. A., Lasco, R. D., Martino, B. G., McConkey, D. L., Ogle, S., & Paustian, K. (2006). Generic methodologies applicable to multiple land-use categories. *IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, 4, pp.1-59.

Badehyan, H., Mashayekhi, Z., Zebardast, L., & Mobarghei, N. (2014). Estimating the economic value of carbon sequestration function in two pure and mixed beech forests (case study: Kheyrood Noshahr Forest). *Journal of Environmental Research*, 9 (5), pp. 147-156 (in Persian).

Belari, C., Ichikawa, K., Wong, B., & Mulongoy, K. (2010). Sustainable use of biological diversity in socio- ecological production landscapes. Background to the Satoyama initiative for the benefit of biodiversity and human wellbeing. *Journal of Secretariat of the Convention on Biological Diversity*, 22(3), pp. 617-634.

Blainski, E., Porras, E. A. A., Gaarbossa, L. H. P., & Pinheiro, A. (2017). Simulation of land use scenarios in the Camboriu river basin using the SWAT model. *Journal of Water Resources*, 37(1), pp. 701-708.

www.SID.ir

Archive of SID

Gao, Y. H., Luo, P., Wu, N., Chen, H., & Wang, G. X. (2007). Grazing intensity impacts on carbon sequestration in an alpine meadow on the Eastern Tibetan Plateau. *Journal of Agricultural and Biological Sciences*, 3(6), pp. 642-657.

IPCC (2014). Climate change 2014: synthesis report. Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change. IPCC, Geneva, Switzerland.

Jyri, M., Heli, S., Valerie, B., Turo, H., & Mika, M. (2020). Utilizing ecosystem service classifications in multi criteria decision analysis experiences of peat extraction case in Finland. *Journal of Ecosystem Services*, 41(2), pp. 41-52.

Joneydi Jafari, H., Sadeghipour, A., Kamalo, N., & Niko, Sh. (2015). Effect of land use change on soil carbon storage and growth (case study: Semnan Province Ivanki Dryland). *Journal of Natural Environment*, 4(2), pp.191-200 (in Persian).

MacDicken, K. G. (1997). *A guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects*. Winrock International Institute for Agricultural Development USA.

Marull, J., Tello, E., Bagaria, G., Font, X., Cattaneo, C., & Pino, J. (2018). Exploring the links between social metabolism and biodiversity distribution across landscape gradients: A regional-scale contribution to the land-sharing versus land-sparing debate. *Journal of Science of the Total Environment*, 619(44), pp. 1272-1285.

McGuire, A. D., Sitch, S., Clein, J. S., Dargaville, R., Esser, G., Foley, J., Heimann, M., Joos, F., Kaplan, J., Kicklighter, D. W., & Meier, R. A. (2001). Carbon balance of the terrestrial biosphere in the twentieth century: Analyses of Co_2, climate and land use effects with four process-based ecosystem models. *Journal of Global Biogeochemical Cycles*, 15(4), pp. 183-206.

Mekonner, H. D., & Sintayehu, W. D. (2018). The role of biodiversity and ecosystem services in carbon sequestration and its implication for climate change mitigation. *Environmental Sciences and Natural Resources*,11 (2), pp. 53-63.

Moharamnezhad, N., & Darbeygi, M. (2007). Formulation of ecotourism management in the World Conservation Area. *Journal of Environmental Science and Technology*, 9(3), pp. 42-53 (in Persian).

Pagiola, S. (2008). Payments for environmental services in Costa Rica. *Ecological Economics*, 65(4), pp. 712-724.

Paudyal, K., Baral, H., Putzel, L., Bhandari, S., & Keenan, R. (2017). Change in land use and ecosystem services delivery from community based forest landscape restoration in the Phewa lake watershed, Nepal. *Journal of International Forestry Review*, 19(5), pp. 88-110.

Pickard, B. R., Van Berkel, D., Petrasova, A., & Meentemeyer, R. K. (2017). Forecasts of urbanization scenarios reveal tradeoffs between landscape change and ecosystem services. *Journal of Journal of Landscape ecology*, 32(2), pp. 617-634.

Power, A. G. (2010). Ecosystem services and agricultural: tradeoffs and synergies. Philosophical transactions of the royal society of London. *Journal of Biological Sciences*, 365(2), pp. 959-1971.

Saberi, A., SalehiKaronian, A., & Salehikaronian, Z. (2014). Investigation of ecotourism capacities and capacities of environmental protected areas for sustainable development

www.SID.ir

Archive of SID

(case study: Jahan Nama Protected Area of Gorgan). *Journal of Tourism Management Studies*, 25(8), pp. 63-79 (in Persian).

Sandra, Q., Alic, B., Kristen, T., & Gullermo, M. T. (2019). Modelling carbon stock and carbon sequestration ecosystem services for policy design. *Journal of Ecosystem and people*, 15(1), pp. 42-60.

Samie, A., Deng, X., Jia, S., & Chen, D. (2017). Scenario – based simulation on dynamics of land use – land – cover change in Punjab province Pakistan. *Journal of Sustainability*, 9(2), pp. 1285-1296.

Vallecilo, S., LoNotte, Alessandra Ferrini, S., & Mases, J. (2019). How ecosystem services are changing an accounting application at the Eu level. *Journal of* Ecosystem *Services*, 40(3), pp. 1011-1018

Sharp, R., Chaplin-Kramer, R., Wood, S., Guerry, A., Tallis, H., &Taylor, R. (2014). InVEST users guide integrated valuation of environmental services and tradeoffs (Stanford, CA: The Natural Capital Project), pp. 321-332.

Swetnam, R., Fisher, B., Mbilinyi, B., Munishi, P., Willcock, S., Ricketts, T., & Marshall, A. (2011). Mapping socio – economic scenarios of land cover change: A GIs method to enable ecosystem service modeling. *Journal of Environmental Management*, 92(3), pp. 563-574.

Tolessa, T., Senbeta, F., & Kidane, M. (2017). The impact of land use/land cover change on ecosystem services in the central highlands of Ethiopia. *Journal of Ecosystem Services*, 23(2), pp. 47-54.

Van der heijden, K. (2011). *Scenarios: the art of strategic conversation*. New York: John Wiley & Sons.

Walkley, A., & Black I.A. (1934). An examination of the Degtjareff method for determining organic carbon in soils: Effect of variations in digestion conditions and of inorganic soil constituents. *Soil Science*, 63(2), pp. 251-263.

Yousefi, M., Mahdavi Damghani, A., & Khoramivafa, M. (2016). Comparison greenhouse gas (GHG) emissions and global warning potential (GWP) effect of energy use in different wheat agro ecosystems in Iran. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, 23(2), pp. 7390-7397.

Zahedi, G. H. (2002). Spatial dependence between soil carbon and nitrogen storage in two forest types. Proceeding of the XII Word Forestry Congress in Canada, Quebec, pp. 357-368.

ZahediAmiri, G. H. (1998). Relation between Ground Vegetation and Soil Characteristics, In a Mixed Hardwood Stand. Academic press, University of Gent, 311-319.

Zarandian, A., Yavari, A. R., Jafari, H. R., & Amirnezhad, H. (2015). Modeling the effects of land cover change on habitat quality in the Sarvelat forest and the plain jewelry. *Journal of Environmental Research*, 4(11), pp.183-194 (in Persian).

Zarandian, A., Mosazadeeh, R., Badamfiroze, G., & Rahmati, A. R. (2018). Scenario modeling for predicting future changes in land cover / land use using InVEST software Case Study: forest landscape two thousand and three thousand. *Journal of Environmental Studies*, 16 (2), pp. 111-132 (in Persian).

Wang, S., Wang, K., Adhikari, S., Jia, X., & Liu, H. (2016). Spatial-Temporal changes of soil organic carbon content in Wafangdian, China. *Journal of Sustainability*, 8(11), pp.

www.SID.ir

Archive of SID

1154-1168.

Sil, Â. F., Fonseca, J., Gonçalves, J., Honrado, C., Marta-Pedroso, J., Alonso, M., Ramos, J., & Azevedo, C. (2017). Analyzing carbon sequestration and storage dynamics in a changing mountain landscape in portugal: insights for management and planning, biodiversity science. *Journal of Ecosystem Services & Management*, 13(2): pp. 82-104.

www.SID.ir