پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۸، شماره ۱۵، بهار و تابستان ۱۳۹۵، از صفحه ۲۰۳ تا ۲۱٤

بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر عرضه خدمات اکوسیستم (ذخیره و ترسیب کربن)

زهرا اسدالهی*[۱]، عبدالرسول سلمان‌ماهینی[۲]

۱ فارغ‌التحصیل دکتری محیط‌زیست گرایش ارزیابی و آمایش سرزمین، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان
۲ دانشیار دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع‌طبیعی گرگان

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۱/۱۶؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۰۴/۲۶)

چکیده

خدمات اکوسیستم منافعی هستند که افراد به‌شکل مستقیم یا غیرمستقیم از اکوسیستم به‌دست می‌آورند. با هدف بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر عرضه خدمات اکوسیستم، مدل ذخیره و ترسیب کربن از بسته نرم‌افزاری InVEST نسخه 3.0.0 استفاده شد. این پژوهش در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان‌رود استان گلستان در سه دوره زمانی ۱۹۸۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۳۶ اجرا شد. برای پیش‌بینی تغییرات آتی کاربری اراضی از تحلیل زنجیره مارکوف و شبکه خودکار استفاده شد. میزان کربن موجود در چهار منبع ذخیره کربن شامل بیوماس روزمینی، بیوماس زیرزمینی، خاک و لاشبرگ به تفکیک کاربری اراضی از گزارش‌های IPCC استخراج شد. بررسی روند تغییر کاربری اراضی نشان داد که در سال ۱۹۸۴ پوشش جنگلی بیش از ۵۰ درصد منطقه را به‌خود اختصاص داده است در حالی‌که با گذشت زمان به‌تدریج از وسعت آنها کاسته شده و تا سال ۲۰۳۶ مساحت پوشش جنگلی به کمتر ۲۰ درصد کل منطقه خواهد رسید. نتایج نشان داد که روند تغییر کاربری با کاهش ذخیره کربن همراه بوده است. به این ترتیب در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰، در ۸۱۵/۲ کیلومتر مربع از منطقه مورد بررسی ترسیب منفی مشاهده شد که با ادامه روند جنگل‌زدایی تا سال ۲۰۳۶، ۴۰۱/۹ کیلومتر مربع بر این مساحت افزوده خواهد شد. ادغام مفهوم خدمات اکوسیستم در مباحث برنامه‌ریزی مکانی سرزمین و مدیریت کاربری اراضی نیازمند تهیه نقشه‌های مکانی خدمات اکوسیستم در مقیاس منطقه‌ای است که در پژوهش حاضر سعی شد به این موضوع پرداخته شود.

کلید واژه‌ها: حوزه آبخیز گرگان‌رود، جنگل‌زدایی، نرم‌افزار InVEST، IPCC

Archive of SID

www.SID.ir

* نویسنده مسئول: Email: z_asadolahi@yahoo.com

سرآغاز

خدمات اکوسیستم منافعی هستند که افراد از اکوسیستم به‌دست می‌آورند و با هدف ایجاد ارتباط با رفاه انسانی، در چهار طبقه خدمات فراهم‌سازی[۱]، تنظیمی[۲]، حمایتی[۳] و فرهنگی[۴] قرار می‌گیرند. منافع حاصل از فرایندهای تنظیم طبیعی اکوسیستم، خدمات تنظیمی نامیده می‌شود که در این میان می‌توان به تنظیم اقلیم اشاره نمود Millennium Ecosystem Assessment,) (2005. اکوسیستم‌ها با اضافه و حذف گازهای گلخانه‌ای[۵] (GHG) مانند دی‌اکسیدکربن از سطح اتمسفر، نقش مهمی در تنظیم اقلیم به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی ایفا می‌کنند (IPCC, 2006). در حقیقت جنگل‌ها، مراتع و سایر اکوسیستم‌های خشکی، کربن را چهار بار بیش از آن چه که در اتمسفر مشاهده می‌شود، ذخیره می‌کنند (۳۰۶۰ در مقابل ۷۶۰ گیگاتن) (Lal, 2004). علاوه بر ذخیره کربن، اکوسیستم‌ها طی زمان در حال انباشت کربن در خاک و گیاهان هستند که موجب ترسیب کربن مازاد در هر سال می‌شود. ذخیره و ترسیب کربن خشکی یکی از مهم‌ترین خدمات اکوسیستم محسوب می‌شود و بررسی‌ها نشان می‌دهد ارزش یک تن کربن ترسیب شده با خسارت اجتناب شده از عدم انتشار یک تن کربن به اتمسفر برابر است (Stern, 2007; Tol, 2009).

فعالیت‌های انسانی در قالب تغییر کاربری اراضی به طور قابل توجهی پوشش زمین را در مقیاس جهانی تغییر داده است به‌طوری‌که هم اکنون اراضی کشاورزی ۱۱ درصد از سطح کره زمین را در برمی‌گیرد. مناطق مورد استفاده برای چرای احشام از ۲۳۴ میلیون هکتار در سال ۱۷۰۰ به ۳۴۲۹ میلیون هکتار در سال ۲۰۰۰ رسیده است که ۲۵ درصد سطح کره زمین را شامل می‌شود (Pielke et al., 2011). تغییر کاربری اراضی توان اکوسیستم‌ها در عرضه خدمات را تحت تاثیر قرار داده است. در میان اکوسیستم‌های طبیعی، جنگل‌ها بیشترین تعداد خدمات اکوسیستمی را عرضه می‌کنند. همچنین بیشترین تنوع‌زیستی در اکوسیستم‌های جنگلی به‌چشم می‌خورد، به‌طوری‌که ۶۰ درصد از کل گونه‌های گیاهی جهان در جنگل‌های گرمسیری مشاهده می‌شود (MA, 2005). یکی از مهم‌ترین خدمات اکوسیستم‌های جنگلی، جذب و تثبیت دی‌اکسیدکربن و استفاده از آن در فرایند فتوسنتز است. با توجه به دغدغه‌های بشر در ارتباط با تشدید پدیده گرمایش زمین طی سال‌های اخیر، جنگل‌ها به عنوان بزرگترین منبع جذب گازهای گلخانه‌ای و به‌خصوص دی‌اکسیدکربن نقش مهمی در تنظیم دمای کره زمین دارند و تخریب و نابودی پوشش جنگلی در تشدید بحران موجود اثرگذار خواهد بود. به‌گزارش مجمع بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC)، ۲۰ درصد از کل دی‌اکسیدکربن تولید شده در جهان ناشی از پدیده جنگل‌زدایی و تخریب جنگل‌هاست (IPCC, 2006).

ادغام مفهوم خدمات اکوسیستم در مباحث مدیریت کاربری اراضی، انتخاب مناطق حفاظتی و پرداخت غرامت خدمات اکوسیستم نیازمند وجود اطلاعاتی از توزیع مکانی خدمات است. برای مثال باید دقیقاً به این سوالات پاسخ داد که چه میزان کربن و در کجا ذخیره می‌شود، چه میزان کربن در طول زمان ترسیب شده و یا از دست می‌رود و تغییر کاربری اراضی، میزان کربن ذخیره و ترسیب شده را در طول زمان چگونه تحت تاثیر قرار می‌دهد؟

با شناخت روزافزون از اهمیت خدمات اکوسیستم، نیاز به نرم‌افزارها و مدل‌هایی که از یک طرف بتواند اطلاعاتی در زمینه عرضه خدمات اکوسیستم در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد و از طرف دیگر اثرات مدیریت کاربری اراضی بر خدمات را بررسی نماید، احساس می‌شود. یکی از نرم‌افزارهای نقشه‌سازی خدمات اکوسیستم، نرم‌افزار یکپارچه ارزش‌گذاری خدمات اکوسیستم و همکنشی میان آنها[۶]، InVEST است که توسط پروژه سرمایه طبیعی[۷] توسعه یافته است. نرم‌افزار InVEST شامل مجموعه‌ای از مدل‌های مجزا است که هر یک به بررسی مکانی خدمات اکوسیستم و تغییرات آنها با توجه به تغییر کاربری اراضی می‌پردازد.

برخی مطالعات در ایران به بررسی میزان ترسیب کربن در اکوسیستم‌های جنگلی و مرتعی پرداخته‌اند (امانی و مداح عارفی، ۱۳۸۲؛ بردبار، ۱۳۸۳؛ بادەیان، ۱۳۸۵؛ محمودی طالقانی و همکاران، ۱۳۸۶؛ ورامش و همکاران، ۱۳۸۹). مطالعات انجام شده در این زمینه با اهداف مختلف و اغلب در مقیاس محلی انجام شده است که در برخی موارد با ارزش‌گذاری اقتصادی همراه بوده است که در این میان می‌توان به (مبرقعی و همکاران، ۱۳۸۸) اشاره نمود. پژوهش حاضر اثر تغییر کاربری بر ذخیره و ترسیب کربن را به‌شکل مکانی و در مقیاس منطقه‌ای با

Archive of SID

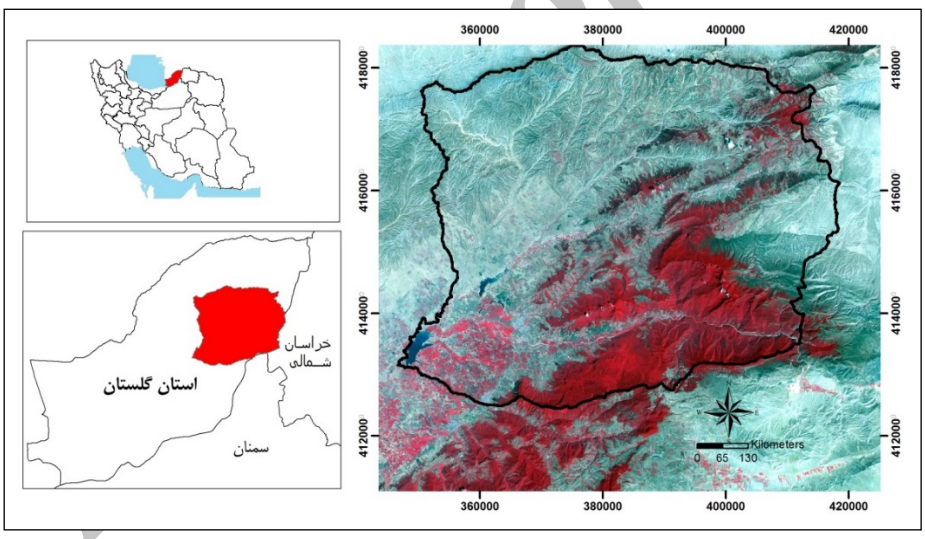
www.SID.ir

استفاده از نرم‌افزار InVEST مورد توجه قرار داده است، با این تفکر که اگر میزان ذخیره و ترسیب کربن به‌عنوان یک خدمت اکوسیستمی کمی‌سازی شود و از لحاظ مکانی قابل تجسم شود، تصمیم‌گیران از این اطلاعات به‌عنوان بخشی از فرایند تصمیم‌گیری استفاده خواهند کرد. بنابراین، اثر تغییر کاربری اراضی بر ذخیره و ترسیب کربن طی دوره ۲۶ ساله (۲۰۱۰–۱۹۸۴) مورد بررسی قرار گرفته و ادامه روند تغییر احتمالی طی ۲۶ سال آینده (۲۰۳۶–۲۰۱۰) پیش‌بینی شد. از مطالعات خارجی انجام شده با هدف بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر خدمات چندگانه اکوسیستم می‌توان به(Leh et al., 2013) اشاره نمود که با نرم‌افزار InVEST به مدل‌سازی تنوع زیستی و چهار خدمت اکوسیستمی تولید آب، ترسیب کربن، نگهداشت کیفیت آب و حفظ خاک در غرب آفریقا پرداخته و تغییرات آنها را در بازه زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۰۵ و ۲۰۰۹ بررسی کردند.

مواد و روش‌ها

• منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در این پژوهش بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان‌رود در استان گلستان با مساحت ۳۱۷۸/۳ کیلومتر مربع و میانگین ارتفاع ۶۳۴ متر است. این حوزه با مختصات '۱۶ °۵۵ و '۰۴ °۵۶ طول شرقی و '۱۹ °۳۷ و '۴۹ °۳۷ عرض شمالی شامل شهرستان‌های مراوه تپه، کلاله و گالیکش است. کاربری‌های عمده‌ی محدوده مورد مطالعه اراضی کشاورزی، جنگل و مرتع است. خروجی حوزه در محل سد گلستان به‌عنوان پست‌ترین نقطه محدوده مورد مطالعه در طبقه ارتفاعی ۴۴ تا ۷۹ متر از سطح دریای آزاد قرار دارد. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.



شکل (۱): محدوده حوزه آبخیز گرگان‌رود شرقی در استان گلستان

روش پژوهش

• توسعه سناریوهای تغییر کاربری اراضی

به‌منظور بررسی اثر تغییر کاربری بر روند ذخیره و ترسیب کربن، نقشه‌های کاربری اراضی سه دوره زمانی گذشته، حال و آینده به‌ترتیب زیر تهیه شد.

کاربری اراضی گذشته: از نقشه کاربری اراضی سال ۱۹۸۴ استان گلستان تهیه شده از تصویر سنجنده TM ماهواره لندست ۵ سال ۱۹۸۴ استفاده شد (سلمان‌ماهینی و همکاران، ۱۳۹۲).

کاربری اراضی فعلی: از نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۰ استان گلستان تهیه شده از تصویر سنجنده +ETM ماهواره لندست ۷ سال ۲۰۱۰ استفاده شد (سلمان‌ماهینی و همکاران، ۱۳۹۲).

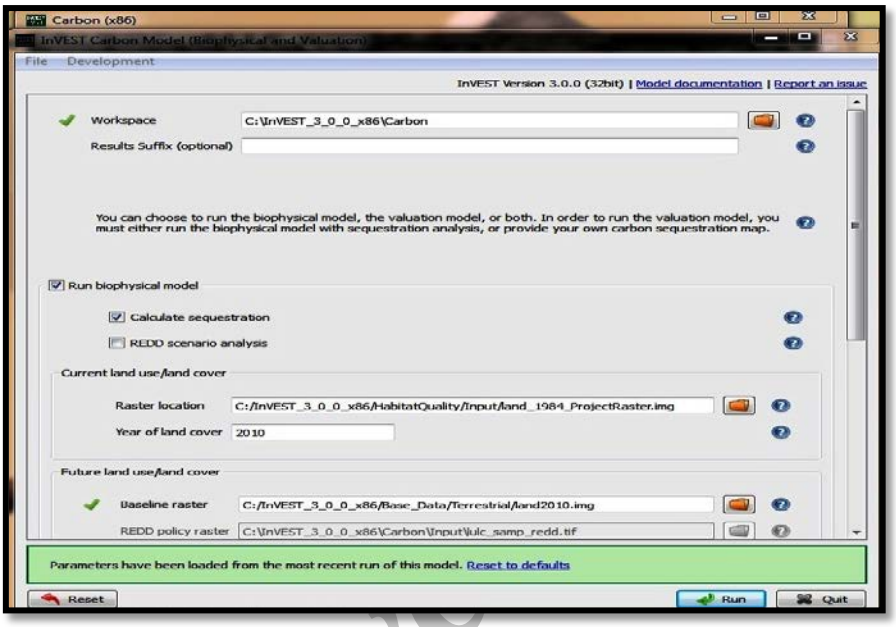
کاربری اراضی آینده: پیش‌بینی تغییرات آتی کاربری اراضی با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف و شبکه خودکار در نرم‌افزار ایدریسی انجام شد. با استفاده از کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۰ و تحلیل زنجیره مارکوف، تصاویر احتمال شرطی، ماتریس احتمال انتقال و ماتریس سطوح انتقال برای دوره زمانی

www.SID.ir

۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰ تهیه شد. سپس شبکه خودکار مارکوف برای ایجاد نتایج وابسته به مکان و پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۳۶ اجرا شد.

در این مطالعه، مدل ذخیره و ترسیب کربن از بسته نرم‌افزاری InVEST نسخه 3.0.0 استفاده شد (Sharp et al., 2014) (شکل۲).

• معرفی مدل ذخیره و ترسیب کربن



شکل (۲): نمایی از مدل ذخیره و ترسیب کربن از نرم‌افزار InVEST

در مدل ذخیره و ترسیب کربن، میزان ذخیره کربن خشکی از رابطه زیر به دست می‌آید (Sharp et al., 2014).

$$C_{xt} = C_{pxt} + \sum_{j=1}^{J} A_{xjt}\left(C_{aj} + C_{bj} + C_{sj} + C_{oj}\right)' \quad (۱)$$

که در این رابطه، C_{xt} کربن ذخیره شده در پیکسل مورد بررسی در زمان t است که برابر با مجموع کربن ذخیره شده در منابع ذخیره کربن C_{aj}،C_{bj}،C_{sj} و C_{oj}است که به‌ترتیب شامل ماده آلی مرده، بیوماس روزمینی، بیوماس زیرزمینی و خاک به‌تفکیک کاربری اراضی هستند، به‌طوری‌که J نشان دهنده انواع کاربری اراضی موجود در منطقه مورد مطالعه است و A_{xjt} مساحت کاربری اراضی در پیکسل x در زمانt است. C_{pxt} ذخیره کربن در تولیدات چوبی برداشت شده (HWPs) است. بیوماس روزمینی از تمام مواد گیاهی زنده بالای سطح خاک (برگ، شاخه ، پوست درخت و تنه درخت) تشکیل می‌شود. بیوماس زیرزمینی، ریشه بیوماس روزمینی را شامل می‌شود. ذخیره کربن در منبع ذخیره خاک مربوط به کربن آلی خاک است. منبع ذخیره ماده آلی مرده شامل لاشبرگ گیاهی و چوب مرده است و HWPs شامل کربن ذخیره شده در تولیدات ساخته شده با چوب از قبیل اسباب و اثاثیه، کاغذ و زغال چوب است (Sharp et al., 2014).

$$\Delta C_{xtT} = C_{xT} - C_{xt'} \quad (۲)$$

ترسیب کربن زمانی اتفاق می‌افتد که ذخیره کربن در طول زمان افزایش یابد. رابطه (۲) تغییر ذخیره کربن از زمان اگر ΔC_{xtT} مثبت باشد، از زمانt تا T در پیکسل مورد بررسی، ترسیب کربن اتفاق افتاده است و اگر ΔC_{xtT} منفی باشد، کربن بین دو بازه زمانی t تا T از دست رفته است.

با توجه به عدم وجود مطالعات جامع در مقیاس منطقه‌ای از میزان کربن موجود در چهار منبع ذخیره کربن به‌تفکیک هر کاربری اراضی، داده‌های ورودی مورد نیاز مدل از جدول‌های مربوط به گزارش‌های IPCC (۲۰۰۶) استخراج شد.

Archive
www.SID.ir

استخراج داده‌های کربن از گزارش‌های IPCC (۲۰۰۶)

یک منبع خوب و در عین حال کلی از داده‌های کربن، مجموعه گزارش‌های IPCC[۸] در سال ۲۰۰۶ است. IPCC رویکردی را توسعه داده است که ذخایر کربن انواع کاربری اراضی را بر اساس تحلیل متا از مطالعات میدانی مشخص می‌کند (IPCC, 2006). برای استفاده از مجموعه اطلاعات IPCC به‌ترتیب زیر عمل شد:

تعیین زون اکولوژیک منطقه مورد مطالعه

در ابتدا با توجه به جدول (۱) و با استفاده از گزارش‌های IPCC (۲۰۰۶) و نقشه مناطق اکولوژیک FAO http://www.fao.org/geonetwork/srv/en/main.home قلمرو اقلیمی منطقه مورد مطالعه مشخص شد. در ادامه به‌منظور تخمین کربن موجود در هر یک از منابع ذخیره کربن به‌ترتیب زیر عمل شد.

جدول (۱): قلمروهای اقلیم، مناطق اقلیمی و زون‌های اکولوژیک (FAO, 2005)

زون اکولوژیک			منطقه اقلیمی	قلمرو اقلیمی	
معیار زون	کد	زون		معیار قلمرو	قلمرو
بارانی: سه ماه یا کمتر خشک، در طول زمستان	TAr	جنگل‌های بارانی گرمسیری	گرمسیری بارانی	همه ماه‌ها بدون یخبندان، در نواحی دریایی دما بالای ۱۸ درجه سانتی‌گراد	گرمسیری
عمدتاً بارانی: ۵-۳ ماه خشک در طول زمستان	TAWa	جنگل‌های مرطوب خزان‌کننده گرمسیری	گرمسیری مرطوب		
۵- ۸ ماه خشک در طول زمستان	TAWb	جنگل‌های خشک گرمسیری	گرمسیری خشک		
نیمه‌خشک: تبخیر و تعرق بیش از بارش	TBSh	درختچه‌زارهای گرمسیری			
خشک: تمام ماه‌های سال خشک است	TBWh	بیابان گرمسیری			
ارتفاع بیش از ۱۰۰۰ متر ، همراه با تغییرات محلی	TM	سیستم‌های کوهستانی گرمسیری	گرمسیری کوهستانی		
مرطوب: فصل خشک وجود ندارد	SCf	جنگل‌های مرطوب نیمه‌گرمسیری	درجه حرارت گرم مرطوب	بیش از ۸ ماه از سال دمای بالای ۱۰ درجه سانتی‌گراد	نیمه گرمسیری
به‌شکل فصلی خشک: بارش‌های زمستانه، تابستان خشک	SCs	جنگل‌های خشک نیمه‌گرمسیری	درجه حرارت گرم خشک		
نیمه‌خشک: تبخیر و تعرق بیش از بارش	SBSh	استپ‌های نیمه‌گرمسیری			
خشک: تمام ماه‌های سال خشک	SBWh	بیابان نیمه‌گرمسیری			
ارتفاع تقریبی برابر ۱۰۰۰ -۸۰۰ متر	SM	سیستم‌های کوهستانی نیمه‌گرمسیری	درجه حرارت گرم مرطوب یا خشک		
اقلیم اقیانوسی: سردترین ماه دمای بالای صفر درجه سانتی‌گراد	TeDo	جنگل‌های معتدله اقیانوسی	درجه حرارت سرد مرطوب	۴- ۸ ماه از سال دما بالای ۱۰ درجه سانتی‌گراد	معتدل
اقلیم قاره‌ای: سردترین ماه دمای زیر صفر درجه سانتی‌گراد	TeDc	جنگل‌های معتدله قاره‌ای			
نیمه‌خشک: تبخیر و تعرق بیش از بارش	TeBSk	استپ‌های معتدله	درجه حرارت سرد خشک		
خشک: تمام ماه‌های سال خشک	TeBWk	بیابان‌های معتدله			
ارتفاع تقریبی بیش از ۸۰۰ متر	TeM	سیستم‌های معتدله کوهستانی	درجه حرارت سرد مرطوب یا خشک		
در غلبه جنگل‌های متراکم سوزنی برگ	Ba	جنگل‌های سوزنی برگ شمالی	مرطوب شمالی	سه ماه یا کمتر دمای بالای ۱۰ درجه	شمالی

Archive of SID

www.SID.ir

در غلبه درخت‌زارها و جنگل‌های پراکنده	Bb	درخت‌زارهای شمالی توندرا	خشک شمالی	سانتی‌گراد	
ارتفاع تقریبی بیش از ۶۰۰ متر	BM	سیستم‌های کوهستانی شمالی	خشک یا مرطوب شمالی		
تمام ماه‌های سال دما زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد	P	قطبی	مرطوب یا خشک قطبی	تمام ماه‌های سال دما زیر ۱۰ درجه سانتی‌گراد	قطبی

قلمرو اقلیمی: ناحیه‌ای با رژیم دمایی نسبتاً همگن، برابر با گروه‌های اقلیمی Koppen-Trewartha (Koppen, 1931)

منطقه اقلیمی: نواحی با اقلیم مشابه

زون‌های اقلیمی: ناحیه ای با ساختار پوشش گیاهی وسیع و نسبتاً طبیعی همگن و یکنواخت، که لزوما از نظر فیزیوگنومی همانند و یکسان نیستند.

ماه خشک: یک ماه که در آن بارش کل (میلی‌متر) ≥ 2 برابر میانگین بارش (درجه سانتی‌گراد) است.

متوسط کربن روزمینی

از جدول‌های ۵.۱ تا ۵.۳ گزارش‌های IPCC (۲۰۰۶) به‌منظور تخمین بیوماس روزمینی در اراضی کشاورزی استفاده شد. از جدول‌های ۴.۷ ، ۴.۸ و ۴.۱۲ در تخمین بیوماس روزمینی پوشش جنگلی استفاده شد. با توجه به اینکه تخمین‌های IPCC (۲۰۰۶) از کربن روزمینی بر اساس واحد بیوماس گزارش شده بود در حالی‌که InVEST از جرم کربن استفاده می‌کند، برای تبدیل تن متریک بیوماس به تن متریک کربن از فاکتور تبدیل استفاده شد که از ۰/۴۳ تا ۰/۵۱ متغیر است (Sharp et al., 2014). فاکتورهای تبدیل برای انواع پوشش درختی و مناطق اقلیمی در جدول ۴.۳ گزارش‌های IPCC (۲۰۰۶) لیست شده‌اند.

متوسط کربن زیرزمینی

به‌طور کلی بیوماس زیرزمینی را می‌توان با توجه به نسبت ریشه به انشعابات هوایی[۹] بیوماس زیرزمینی به روزمینی تخمین زد (Sharp et al., 2014). تخمین‌های کلی از نسبت ریشه به اندام هوایی در جدول ۴.۴ گزارش IPCC (۲۰۰۶) بر اساس مناطق اکولوژیک وجود دارد که در این مطالعه استفاده شد.

متوسط کربن خاک

با توجه به عدم وجود تخمین‌های کربن خاک در مقیاس منطقه‌ای به‌تفکیک هر کاربری، تخمین‌های IPCC (۲۰۰۶) برای کشاورزی، مرتع و علفزار استفاده شد. جدول ۲.۳ گزارشIPCC (۲۰۰۶) شامل تخمین‌هایی از ذخایر کربن خاک با توجه به نوع خاک است. برای اراضی کشاورزی و علفزارها این تخمین می‌تواند با فاکتورهای مدیریتی ضرب شود که در جدول‌های ۵.۵ و ۶.۲ IPCC (۲۰۰۶) لیست شده‌اند.

کربن ذخیره در لاشبرگ

با توجه به عدم وجود میزان کربن ذخیره در ماده آلی مرده به تفکیک کاربری اراضی، ارزش‌های قراردادی محاسبه شده IPCC (۲۰۰۶) استفاده شد. جدول ۲.۲ IPCC (۲۰۰۶) ذخایر کربن لاشبرگ در پوشش جنگلی نشان می‌دهد. برای طبقات کاربری غیرجنگلی لاشبرگ نزدیک صفر است.

متوسط کربن چوب برداشتی *(HWPs)*

داده‌های مربوط به مناطق برداشت چوب در منطقه مورد مطالعه (طرح جنگلداری لوه) به شکل لایه پلی‌گونی (پارسل‌های برداشت) وارد مدل شد. داده‌های مورد استفاده در این بخش شامل شماره پارسل، میزان کربن برداشت شده به شکل بیوماس چوبی از هر پارسل در طول یک دوره برداشت، تاریخ برداشت چوب از پارسل، فراوانی دوره‌های برداشت در پارسل، متوسط نرخ تجزیه محصولات چوبی، متوسط تراکم یا چگالی کربن از چوب برداشت شده از پارسل، متوسط حجم درخت هر تن چوب برداشت شده از پارسل بود (Sharp et al., 2014).

یافته‌ها

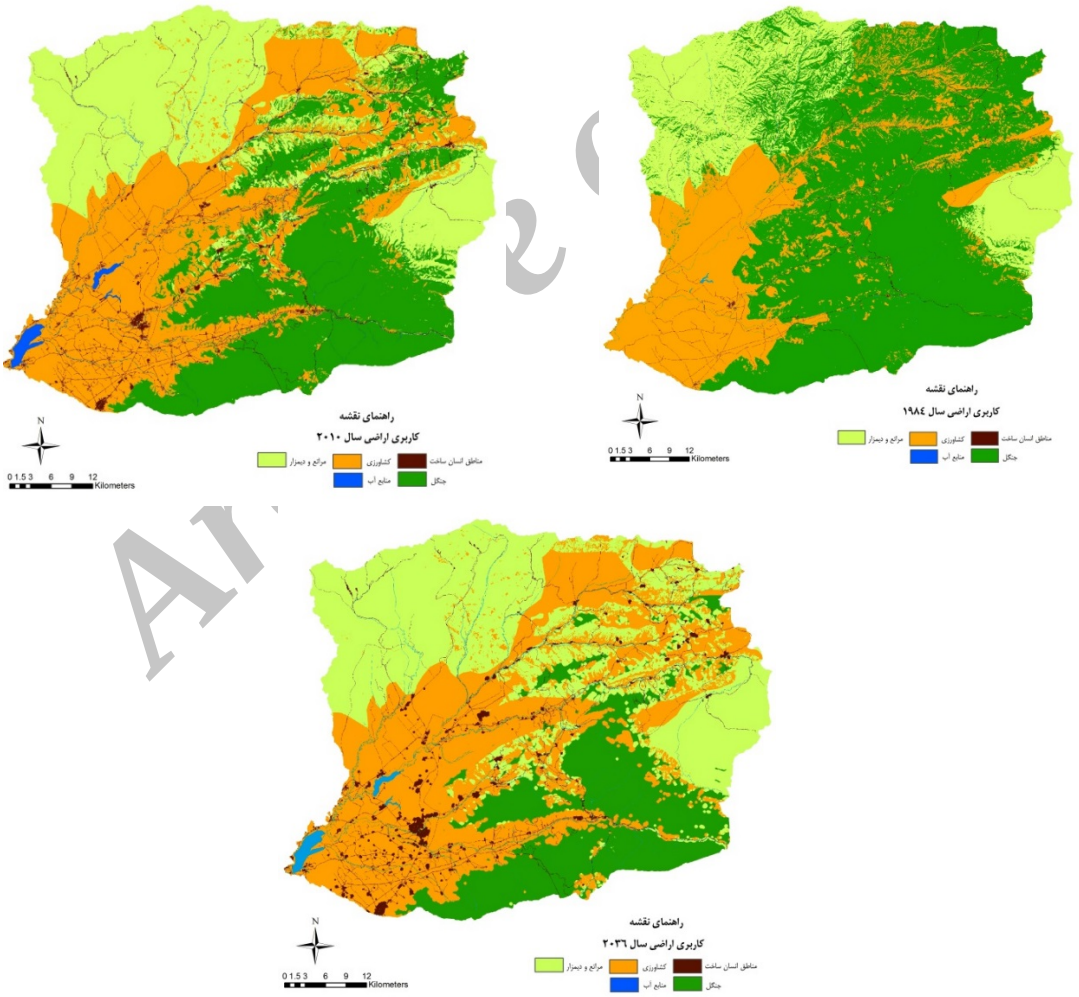
کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۳۶ در شکل (۳) قابل مشاهده است. نقشه سال ۲۰۳۶ با استفاده از شبکه خودکار مارکوف پیش‌بینی شده است اما سایر نقشه‌ها از تصاویر ماهواره‌ای حاصل شده است. مقایسه نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۱۹۸۴ و ۲۰۱۰ و بررسی روند تغییر کاربری در بازه زمانی ۲۶ ساله (۱۹۸۴– ۲۰۱۰) نشان می‌دهد که در سال ۱۹۸۴، پوشش جنگلی بیشترین مساحت منطقه مورد مطالعه را به‌خود اختصاص داده است (بیش از ۵۰ درصد کل حوزه گرگان‌رود شرقی) در حالی‌که با گذشت زمان به تدریج از

Archive of SID

www.SID.ir

وسعت آن کاسته شده و بر وسعت سایر کاربری‌ها شامل اراضی کشاورزی، مراتع و دیم‌زار و مناطق انسان ساخت افزوده شده است (شکل ۳). همان‌طور در جدول (۲) مشاهده می‌شود در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰، پوشش جنگلی با تغییر ۲۲/۵ درصد، بیشترین روند تغییرات رو به کاهش را به خود اختصاص داده است، در حالی‌که سایر طبقات کاربری روند تغییرات رو به افزایش داشته‌اند. با توجه به روند تغییر کاربری طی ۲۶ سال آینده (۲۰۳۶-۲۰۱۰) مشاهده می‌شود که مساحت پوشش جنگلی در سال ۲۰۳۶ به کمتر ۲۰ درصد مساحت کل منطقه مورد مطالعه خواهد رسید. چنانچه در نمودار (۱) مشاهده می‌شود در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۳۶، پوشش جنگلی روند تغییرات کاهشی ۱۱/۶ درصد را خواهند داشت.

شکل (۴) میزان ذخیره کربن را در سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۳۶ نشان می‌دهد که از صفر تا ۹/۷ تن در مقیاس پیکسل متغیر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود میزان قابل توجهی از ذخیره کربن به پوشش جنگلی در مقابل سایر کاربری‌ها در منطقه اختصاص دارد. نواحی با میزان قابل توجه عرضه خدمت اکوسیستمی ذخیره کربن یا نقاط داغ[۱۰] در شکل (۵) مشاهده می‌شود. در این جا اصطلاح نقاط داغ عرضه خدمت اکوسیستمی به نواحی که نسبت‌های بزرگی از یک خدمت ویژه را فراهم می‌سازند و برای خدمت موردنظر از لحاظ مدیریتی دارای اهمیت در سطح بحران می‌باشند اطلاق می‌شود (Egoh et al., 2008).



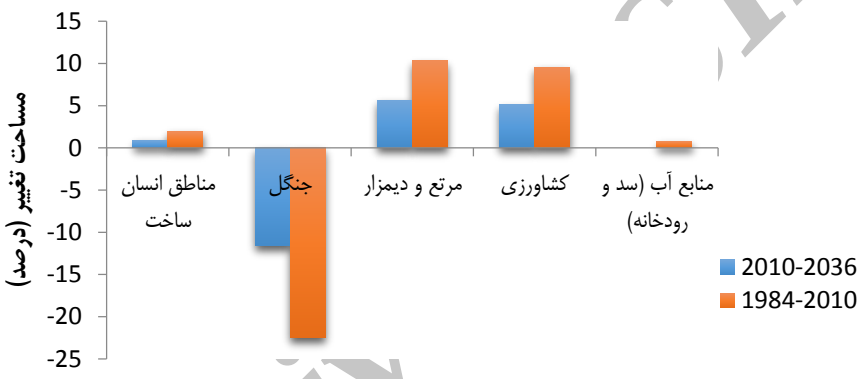
شکل (۳): طبقات کاربری اراضی سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۳۶

جدول (۲): مساحت، درصد و روند تغییرات طبقات کاربری در دوره‌های زمانی مورد مطالعه

دوره زمانی	کاربری	مساحت تغییرات (هکتار)	درصد تغییرات	روند تغییرات

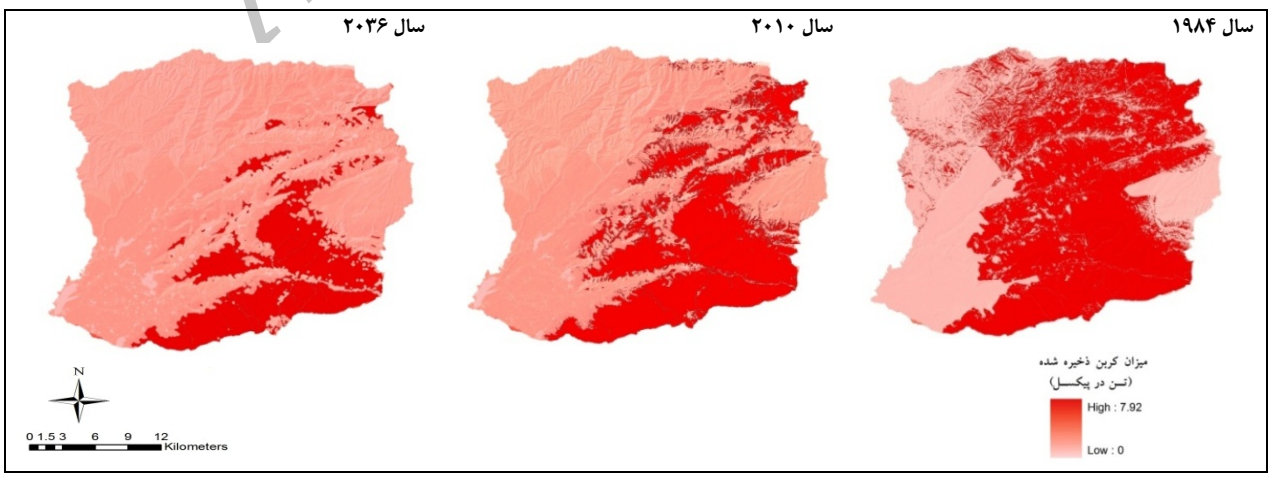
www.SID.ir

۲۰۱۰-۱۹۸۴	مناطق انسان ساخت (شهر و روستا، جاده)	۶۱۵۸/۴	۱/۹	افزایشی
(۲۶ سال گذشته)	جنگل	۷۱۸۵۶/۰	۲۲/۵	کاهشی
	مراتع و دیم‌زار	۳۲۷۰۰/۶	۱۰/۳	افزایشی
	کشاورزی	۳۰۴۷۶/۸	۹/۵	افزایشی
	منابع آب (سد و رودخانه)	۲۵۲۰/۲	۰/۸	افزایشی
۲۰۳۶-۲۰۱۰	مناطق انسان ساخت (شهر و روستا، جاده)	۲۹۶۰/۷	۰/۹	افزایشی
(۲۶ سال آینده)	جنگل	۳۶۸۱۶/۹	۱۱/۶	کاهشی
	مراتع و دیم‌زار	۱۷۶۷۳/۱	۵/۶	افزایشی
	کشاورزی	۱۶۱۸۳/۱	۵/۱	افزایشی
	منابع آب (سد و رودخانه)	۰/۰	۰/۰	ثابت فرض شده



نمودار (۱): روند تغییر درصد مساحت طبقات کاربری در دوره‌های زمانی مورد مطالعه

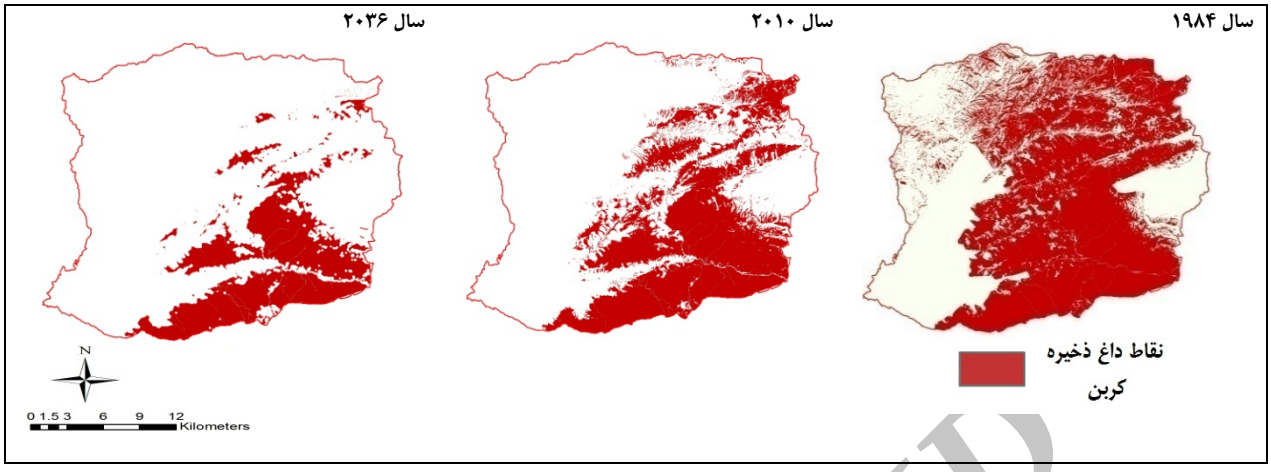
با توجه به روند تغییر کاربری اراضی در منطقه طی ۲۶ سال گذشته (۲۰۱۰- ۱۹۸۴) مشاهده می‌شود که مساحت نقاط داغ عرضه ذخیره کربن سیر نزولی داشته به‌طوری‌که از ۱۶۸۲/۳ کیلومترمربع معادل ۵۲/۹ درصد از منطقه مورد مطالعه به ۹۶۸/۷ کیلومترمربع معادل ۳۸/۵ درصد رسیده است و با ادامه روند کنونی تغییر کاربری طی ۲۶ سال آینده (۲۰۳۶-۲۰۱۰) به ۵۹۶/۶ کیلومترمربع کاهش خواهد یافت.



شکل (۴): کربن ذخیره شده در سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۳۶

Archive of SID

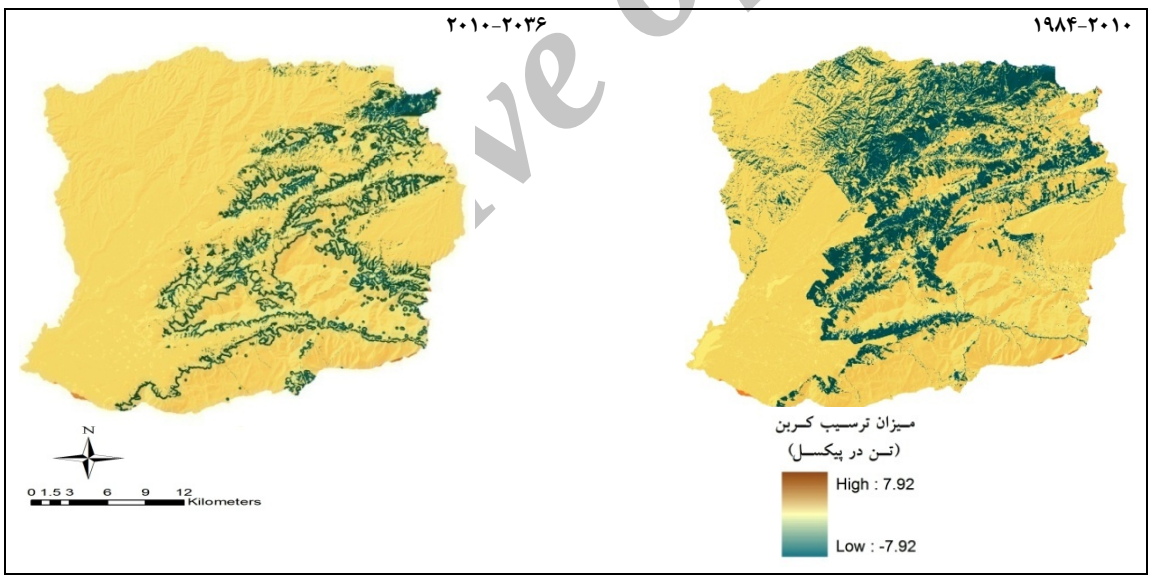
www.SID.ir



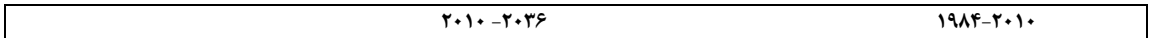
شکل (۵): نقاط داغ ذخیره کربن در سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۱۰ و ۲۰۳۶

شکل (۶) میزان ترسیب کربن را در طی ۲۶ سال گذشته (۲۰۱۰- ۱۹۸۴) و ۲۶ سال آینده (۲۰۳۶-۲۰۱۰) نشان می‌دهد. روند تغییر کاربری به‌سمتی پیش رفته است که منطقه مورد مطالعه با عدم ترسیب کربن و یا ترسیب منفی همراه بوده است.

با توجه به شکل (۷) مشاهده می‌شود که در بازه زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۱۰، در ۸۱۵/۲ کیلومتر مربع از منطقه مورد بررسی ترسیب منفی مشاهده می‌شود که با ادامه روند جنگل‌زدایی طی ۲۶ سال آینده، ۴۰۱/۹ کیلومترمربع بر این مساحت افزوده خواهد شد.

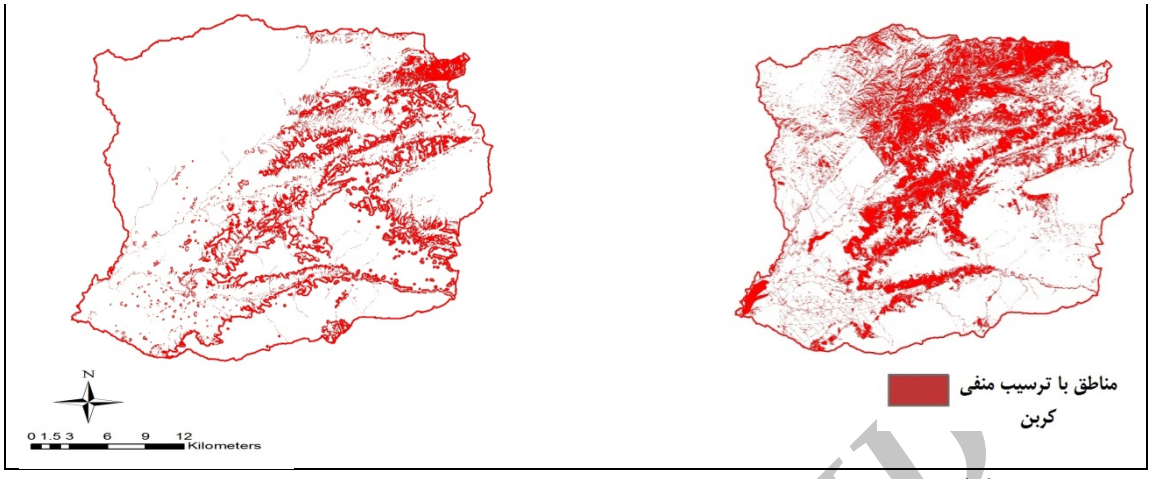


شکل (۶): میزان ترسیب کربن در دوره‌های زمانی ۲۰۱۰- ۱۹۸۴ و ۲۰۳۶-۲۰۱۰



Archive of SID

www.SID.ir



شکل (۷): مناطق با ترسیب کربن منفی در دوره‌های زمانی ۲۰۱۰- ۱۹۸۴ و ۲۰۳۶- ۲۰۱۰

بحث و نتیجه‌گیری

در مقایسه با سایر مطالعات داخلی انجام شده، پژوهش حاضر با بررسی تغییر کاربری طی دوره زمانی ۱۹۸۴ تا ۲۰۳۶ و اجرای نرم‌افزار InVEST، این امکان را فراهم ساخت که بتوان تغییرات ذخیره و ترسیب کربن را به شکل مکانی در مقیاس منطقه‌ای تجسم نمود. (جنیدی جعفری و همکاران، ۱۳۹۴) اثر تغییر کاربری مراتع منطقه ایوانکی را از نظر ذخیره و تصعید کربن مورد بررسی قرار دادند و بر حساسیت ذخایر کربن این اراضی به تغییر کاربری تاکید داشتند. (Powers et al., 2010) اثر تغییر کاربری بر تغییرات کربن را مهمترین فاکتور قابل بررسی در مطالعات کربن می‌دانند. اجرای مدل ذخیره و ترسیب کربن از بسته نرم‌افزاری InVEST با محدودیت‌هایی مواجه است که باید به آنها توجه شود. در حالی‌که مدل اجرا شده در این پژوهش بر اساس الگوی کاربری اراضی و تغییرات آن در طول زمان استوار است و کاربری اراضی فاکتور غالب در تعیین ذخیره و کربن خشکی است (IPCC, 2006)، وقوع سایر آشفتگی‌ها در منطقه نیز مهم است (IPCC, 2006; Bond-Lamberty et al., 2007; Kurz et al., 2008). آتش‌سوزی، شیوع بیماری و هجوم گونه‌های بیگانه می‌تواند اثر مهمی بر ذخیره و ترسیب کربن داشته باشد که در نقشه‌های معمول کاربری اراضی نشان داده نمی‌شوند. علاوه بر این، مدل اجرا شده نوسانات محلی در اقلیم را که اثر مهمی بر میزان ذخیره و ترسیب کربن دارد، در نظر نمی‌گیرد (McGuire et al., 2001). الگوهای بارش و دما که تعیین کننده فرایندهای اکوسیستم مانند تولید اولیه خالص (NPP)و فرسایش خاک هستند، از عوامل تعیین کننده ذخیره و ترسیب کربن خشکی محسوب می‌شوند. بهترین استراتژی برای کاهش این محدودیت استفاده از داده‌های مربوط به ذخیره و ترسیب کربن در مقیاس محلی است. راه دیگر رفع این محدودیت طبقه‌بندی کاربری اراضی بر اساس آن‌دسته از ویژگی‌های سیمای سرزمین است که ممکن است وضعیت میکرو اقلیم را منعکس نماید. مدل‌هایی مانند (Parton CENTURY et al., 1992) و مدل پوشش گیاهی LPJ (Sitch et al., 2003) نه تنها اثر تغییر کاربری بر ذخیره کربن، بلکه اثر تغییر اقلیم و آشفتگی بر رشد بیوماس، تشکیل کربن خاک و انتشار آن از سطح خاک را نیز بررسی می‌کنند که برای پژوهش‌های با اهداف ویژه پیشنهاد می‌شود.

یکپارچه‌سازی مفهوم خدمات اکوسیستم در مباحث برنامه‌ریزی مکانی سرزمین و مدیریت کاربری اراضی نیازمند تهیه نقشه‌های مکانی خدمات اکوسیستم در مقیاس منطقه‌ای است که در مطالعات داخلی کمتر مورد توجه قرار گرفته است و در این پژوهش سعی شد هر چند به شکل ساده به این موضوع پرداخته شود. نتایج حاصل از این مطالعه می‌تواند برای اهداف مختلفی مورد استفاده قرار گیرد. به‌عنوان مثال می‌توان از نقشه ذخیره و ترسیب کربن به همراه سایر نقشه‌های خدمات اکوسیستم در شناسایی نواحی با عرضه بالای خدمات چندگانه اکوسیستم استفاده کرد. همچنین می‌توان با اجرای سناریوی کاربری اراضی که بر کاهش انتشار دی‌اکسید کربن تاکید دارد (سناریوی REDD)، میزان ترسیب کربن مازاد را تخمین زد و در ادامه بحث پرداخت برای خدمات اکوسیستم را مورد توجه قرار داد. REDD خط مشی‌ای است که به تلاش‌های انجام شده در

Archive of SID

www.SID.ir

جهت کاهش جنگل‌زدایی و انتشار کربن در کشورهای در حال توسعه پاداش می‌دهد (Yasue, 2008 ;Ebeling &). در این مورد جلوگیری از تخریب جنگل و حفظ کربن مازاد به معنی کاهش خسارت‌های اقتصادی مرتبط با تغییر اقلیم است.

در این مطالعه اثر تغییر کاربری بر ذخیره و ترسیب کربن مورد توجه قرار گرفته و سود و هزینه‌های محیط‌زیستی تغییر کاربری با رویکرد خدمات اکوسیستم مورد توجه قرار گرفت. روند تغییر کاربری در بخش شرقی حوزه آبخیز گرگان‌رود با توسعه کشاورزی و جنگل‌زدایی همراه بوده است. باید توجه داشت اگرچه افزایش سطح اراضی کشاورزی به سود اقتصادی کوتاه مدت منجر شده است اما به‌طور همزمان عرضه خدمت اکوسیستمی ذخیره و ترسیب کربن را کاهش داده است. بنابراین، می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که هزینه محیط زیستی تغییر کاربری در جهت منافع اقتصادی با کاهش عرضه خدمت اکوسیستمی ذخیره و ترسیب کربن همراه بوده است.

یادداشت‌ها

1. Providing
2. Supporting
3. Regulating
4. Cultural
5. Green House Gases
6. Integrated Valuation of Ecosystem Services and Tradeoff
7. http://www.naturalcapitalproject.org/InVEST.html
8. http://www.ipcc-nggip-iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html
9. Root to Shoot Ratio
10. Hot Spot

فهرست منابع

امانی، م. و مداح عارفی، ح. ۱۳۸۲. بررسی قابلیت ترسیب کربن در تاغزارهای دست‌کاشت کشور و استراتژی آینده. مجموعه مقالات اولین همایش تاغ و تاغ‌کاری، تابستان ۱۳۸۲. کرمان.

بادەیان، ض. ۱۳۸۵. بررسی ارتباط بین ذخیره کربن و pH در لایه‌های آلی و معدنی خاک در یک جنگل آمیخته راش. پایان‌نامه کارشناسی

ارشد. دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران. ۶۹ صفحه.

بردبار، م. ۱۳۸۳. پتانسیل ذخیره کربن دو گونه *Eucalyptus camaldulensis Dehnh* و *Acacia salicinaLindl* دو منطقه فسا و ممسنی، رساله دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات.

جنیدی جعفری، ح.؛ صادقی‌پور، ا.؛ کمالی، ن. و نیکو، ش. ۱۳۹۴. بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر میزان ذخیره و تصاعد کربن خاک (مطالعه موردی: مراتع خشک ایوانکی، استان سمنان). محیط زیست طبیعی. ۲: ۲۰۰-۱۹۱.

سلمان‌ماهینی، ع. و همکاران. ۱۳۹۲. طرح آمایش استان گلستان. استانداری استان گلستان.

مبرقعی، ن.؛ شرزه‌ای، غ.؛ مخدوم، م.؛ یاوری، ا. و جعفری، ح. ۱۳۸۸. ارایه الگوی ارزش‌گذاری مکانی کارکرد جذب گاز دی‌اکسیدکربن در جنگل‌های خزری ایران. محیط‌شناسی. ۵۱: ۵۷-۶۸.

محمودی طالقانی، ع.؛ زاهدی امیری، ق.؛ عادلی، ا. و ثاقب‌طالبی، خ. ۱۳۸۶. برآورد ترسیب کربن خاک در جنگل‌های تحت مدیریت (مطالعه موردی: جنگل‌های گلبند شمال کشور)، فصلنامه جنگل و صنوبر: ۲۴۱- ۲۵۲.

ورامش، س.؛ حسینی، م.؛ عبدی، ن. و اکبری‌نیا، م. ۱۳۸۹. اثر جنگل‌کاری در افزایش ترسیب کربن و بهبود برخی ویژگی‌های خاک. مجله جنگل ایران. ۱: ۲۵-۳۵.

Bond-Lamberty, B.; Reckham, S.D.; Ahl, D, E. & Gower, S.T. 2007. Fire as the dominant driver of central Canadian boreal forest carbon balance. Nature. 450: 89-92.

Egoh, B.; Reyers, B.; Rouget, M.; Richardson, D.M.; Le Maitre, D.C. & van Jaarsveld, A.S. 2008. Mapping ecosystem services for planning and management. Agriculture, Ecosystems & Environment. 127(1):135-140.

Archive of SID

www.SID.ir

FAO. 2005. State of the World's Forests 2005. FAO, Rome. Also available at http://www.fao.org/docrep/011/ i0350e/i0350e00.HTM.

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan.

Lal, R. 2004. Soil carbon sequestration impacts on global climate change and food security. Science. 304: 1623–7.

Leh, M.; Matlock, M.D.; Cummings, E.C. & Nalley, L.L. 2013. Quantifying and mapping multiple ecosystem services change in West Africa. Agriculture, Ecosystems and Environment. 165: 6-18.

Ebeling, J. & Yasue, M. 2008. Generating carbon finance through avoided deforestation and its potential to create climatic, conservation and human development benefits. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 363: 1917-24.

Kurz, W.A.; Dymond, C.C.; Stinson, G.; Rampley, G.J.;Neilson, E.T.; Carroll, A.L.; Ebata, T. & Safranyik, L. 2008. Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. Nature, 452, 987-90.

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 CO2, climate and land use effects with four process-based ecosystem models: Global Biogeochemical Cycles, 15, 183-206.

Millennium Ecosystem Assessment. 2005. Our human planet: summary for decision makers. Washington (DC): Island Press (Millennium Ecosystem Assessment Series).

Parton, W.J.; McKeown, B.; Kirchner, V. & Ojima, D. 1992. CENTURY user's manual. NREL, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

Pielke, R. A.; Pitman, A.; Niyogi, D.; Mahmood, R.; McAlpine, C.; Hossain, F.; Glodewijk, K.K.; Nair, U.; Betts, R.; Fall, S.; Reichstein M.; Kabat, P. & de Noblet, N. 2011. Land use/land cover changes and climate: modeling analysis and observational evidence. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2(6), 828-850.

Powers J.S.; Corre, M.D.; Twine T.E. & Veldkamp, E. 2010. Geographic bias of field observations of soil carbon stocks with tropical land-use changes precludes spatial extrapolation, Pnas. 15: 6318 – 6322.

Sharp, R.; Chaplin-Kramer, R.; Wood, S.; Guerry, A.; Tallis, H. & Taylor, R. 2014. InVEST User's Guide: Integrated Valuation of Environmental Services and Tradeoffs (Stanford, CA: The Natural Capital Project), p 321.

Sitch, S.; Smith, B.; Prentice, I.C.; Arneth, A.; Bondeau, A.; Cramer, W.; Kaplan, J.O.; Levis, S.; Lucht, W.; Sykes, M.T. & Thonicke, K. 2003. Evaluation of ecosystem dynamics, plant geography and terrestrial carbon cycling in the LPJ dynamic global vegetation model. Global Change Biology, 9, 161-85.

Stern, N. 2007. The economics of climate change: the Stern review. Cambridge University Press, Cambridge, UK.

Tol, Richard S. J. 2009. The economic effects of climate change. Journal of Economic Perspectives. 23: 29–51.

Archive of SID

www.SID.ir