

محیط زیست طبیعی، مجله منابع طبیعی ایران
دوره ۷۰، شماره ۱، بهار ۱۳۹۶
صفحات: ۱۴۸-۱۳۹

پیش‌بینی نقاط داغ انتشار CO₂ ناشی از تغییر کاربری اراضی

سامره فلاحتکار^{۱*} و سید محسن حسینی^۲

۱. استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

۲. استاد گروه جنگل، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۱۱؛ تاریخ تصویب: ۱۳۹۶/۶/۲۹)

چکیده

تبدیل کاربری و پوشش اراضی منجر به انتشار کربن ذخیره شده موجود در خاک و گیاهان به صورت گاز CO₂ می‌شود. در این تحقیق، تغییر کاربری اراضی منطقه دیلمان واقع در استان گیلان با استفاده از مدل LCM برای سال ۲۰۵۰ بر مبنای ۴ زیر مدل تغییر کاربری اراضی و به کارگیری متغیرهای توصیفی مدل‌سازی شد. کربن آلی خاک به روش والکی-بلاک اندازه‌گیری و تراکم کربن آلی خاک محاسبه شد. سپس تغییرات رخ داده در ذخیره کربن آلی خاک کاربری‌های مختلف، بر اساس تغییر مساحت کاربری‌های مورد نظر محاسبه گردید. نتایج نشان داد در صورت وجود روند مشابه در تغییر کاربری اراضی، مساحت اراضی جنگلی و مرتعی به ترتیب ۹ درصد و ۲۳/۴ درصد کاهش خواهد داشت. با فرض ثابت ماندن شرایط محیط زیستی و مقدار تراکم کربن آلی خاک، این کاهش مساحت اراضی با پوشش طبیعی و گسترش اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی در ۴۰ سال آینده منجر به از دست رفتن ذخیره کربنی موجود در خاک و آزاد شدن $3/88 \times 10^5$ مگا گرم کربن به صورت گاز دی اکسید کربن از منطقه خواهد شد.

کلید واژگان: ذخیره کربن آلی خاک، دی اکسید کربن، تغییر کاربری اراضی، مدل LCM

۱. مقدمه

مواد آلی خاک شاخصی برای کیفیت خاک، کیفیت کشاورزی و کیفیت محیط زیست (ترسیب کربن) محسوب می‌شود. ماده آلی اصلی‌ترین عامل فعالیت زیستی خاک است. میزان، تنوع و فعالیت زیستی جانوران خاک مستقیماً به ماده آلی خاک بستگی دارد (Masri & Ryan, 2006). کربن آلی خاک نقش بسیار مهمی در چرخه جهانی کربن و تغییرات جهانی آن بازی می‌کند و بزرگترین منبع کربن اکوسیستم‌های خشکی محسوب می‌شود (Yang & Pan, 2003). کربن آلی خاک نقش مؤثری به عنوان ورودی یا خروجی کربن در پاسخ به تغییر اقلیم و CO₂ اتمسفر بازی می‌نماید و از طرف دیگر، نقش بسیار مهمی در افزایش تولید محصولات کشاورزی و کاهش گازهای گلخانه‌ای بازی می‌کند.

تغییر کاربری اراضی به سبب افزایش جمعیت، توسعه مناطق شهری و صنعتی و همچنین گسترش بی‌رویه اراضی کشاورزی یکی از بزرگترین معضلات محیط زیستی در جهان امروز محسوب می‌گردد. از پیامدهای عمده تغییر کاربری اراضی می‌توان به تغییر اقلیم ناشی از تبدیل اراضی با پوشش طبیعی مانند جنگل و مرتع به زمین‌های کشاورزی و مناطق مسکونی و صنعتی اشاره داشت. این نوع تبدیل اراضی منجر به آزاد شدن کربن ذخیره شده در اندام‌های گیاهی و خاک به صورت گاز CO₂ می‌شود (Upadhyay et al., 2006). بنابراین آشکارسازی مناطق تخریب شده و پیش‌بینی تغییرات روی داده در آینده می‌تواند به برآورد حجم گاز CO₂ تولیدی ناشی از تغییر کاربری اراضی کمک کند. برای این امر نیاز به آشکارسازی تغییرات رخ داده در تغییرات کاربری اراضی منطقه، برآورد کربن آلی خاک کاربری‌های مختلف و شناسایی عوامل مؤثر در تغییر کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه و لحاظ کردن آن در پیش‌بینی تغییرات روی داده در مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی می‌باشد.

جنگل‌های هیرکانی یکی از مهمترین اکوسیستم‌های جهان است که مساحتی حدود ۱/۹ هکتار از اراضی جنوبی دریاچه خزر را به خود اختصاص داده است. متأسفانه در سال‌های اخیر این اکوسیستم ارزشمند با خطر قطعه قطعه شدن و تبدیل به کاربری‌های دیگر مواجه بوده است (Mohammadi & Shataee, 2010). این تبدیل اراضی جنگلی به سایر کاربری‌ها مانند مرتع و اراضی کشاورزی منجر به مشکل‌های جدی در این اکوسیستم‌ها شده که می‌توان به فرسایش خاک و تغییر ویژگی‌های خاک اشاره نمود (Hashimoto et al., 2002). کربن ترسیب شده توسط پوشش‌های طبیعی در دراز مدت، در اثر چنین تغییراتی به صورت گاز دی‌اکسید کربن به هوا منتشر شده و منجر به تغییر اقلیم در مقیاس منطقه‌ای و جهانی می‌شود. بنابراین لازم است که عوامل مؤثر در تغییر کاربری اراضی این اکوسیستم ارزشمند شناسایی شده و تغییرات رویداده بر منطقه بر مبنای سناریوهای تغییر کاربری اراضی پیش‌بینی شود. در این حالت مناطقی که حجم عمده‌ای از پوشش گیاهی خود را در یک بازه زمانی از دست می‌دهند و شاهد تغییرات کاربری و پوشش اراضی هستند مستعد انتشار گاز دی‌اکسید کربن بوده و به عنوان نقاط داغ انتشار این گاز تلقی می‌گردند. این تحقیق با هدف شناسایی نقاط داغ انتشار گاز دی‌اکسید کربن ناشی از تغییر کاربری اراضی در منطقه دیلمان واقع در استان گیلان بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست انجام پذیرفت.

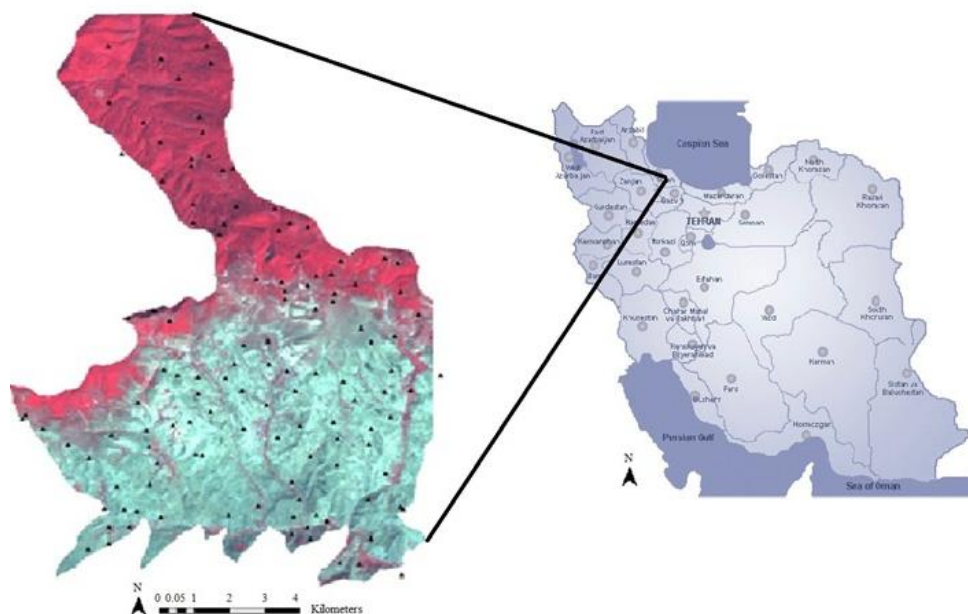
۲. مواد و روش‌ها

۱.۲. منطقه مورد مطالعه

منطقه دیلمان بخش کوچکی از حوضه آبخیز سفید رود است که بین طول جغرافیایی ۴۹° ۴۹' و ۴۹° ۵۷' شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷° ۰۰' و ۳۶° ۵۰' شمالی واقع شده است. مساحت کل این منطقه بیش از ۱۰۰۰۰ هکتار است و دارای کاربری و پوشش‌های متنوعی مانند

مرتع و از اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی (در اثر افزایش ویلاسازی) بوده است. منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است.

مناطق جنگلی، اراضی کشت شده، مراتع، مناطق مسکونی و صخره‌ای می‌باشد. این منطقه در سی سال گذشته شاهد تغییرات شدید کاربری اراضی از جنگل به



شکل ۱. منطقه مورد مطالعه

مخلوط شدند. پس از خشک شدن نمونه‌های خاک در دمای اتاق و انتقال به آزمایشگاه، اندازه کربن آلی خاک با استفاده از روش والکللی-بلاک تعیین شد (Walkley & Black, 1934) روش کلوخه و هیدرومتری بایکاس به ترتیب برای تعیین وزن مخصوص ظاهری و بافت خاک استفاده شد (Sheldrick & Wang, 1993). از رابطه ۱ برای محاسبه تراکم کربن آلی خاک در هر طبقه از کاربری و پوشش اراضی استفاده شد (۶):

$$SOC_D = \sum_m^i SOC_i \cdot BD_i \cdot D_i \quad \text{رابطه [۱]}$$

SOC_i : محتوای SOC در لایه نام (g/kg)

BD_i : وزن مخصوص ظاهری در لایه نام (g/cm^3)

D_i : عمق لایه نام (m)

۲.۲. نمونه‌برداری و اندازه‌گیری کربن آلی خاک

روش تصادفی-طبقه‌بندی شده به منظور مشخص کردن محل پلات‌های نمونه‌برداری استفاده شد. برای تهیه نقشه واحدهای همگن کاربری اراضی، شیب و ارتفاع^۱ (LSE) از روش روی هم‌گذاری در محیط GIS بهره گرفته شد. در مجموع ۱۲۴ موقعیت نمونه‌برداری در واحدهای LES مزبور به طور تصادفی با پراکنش نسبتاً یکنواخت انتخاب گردید. در هر پلات ۴ نمونه خاک با شعاع ۳ متری با حفر نیم رخ از اعماق ۰-۲۰ و ۲۰-۴۰ سانتیمتری برداشت شد (Hernandez et al., 2009). جهت تقلیل تعداد نمونه‌ها برای اندازه‌گیری میزان درصد کربن آلی، نمونه‌های خاک هم افق در هر پلات با هم

¹ Land use, Slope, Elevation

m: تعداد لایه خاک

SOCD_i: تراکم کربن آلی خاک (Kg/m²)

کل ذخیره کربن آلی خاک TSOC بر حسب (kg) از رابطه ۲ محاسبه شد:

$$TSOC = \sum_m^j ASOCD_j \cdot S_j \quad \text{رابطه [۲]}$$

ASOC_j: میانگین تراکم SOC در لایه j ام (kg/m²)

S_j: مساحت طبقه j ام (m²)

m: تعداد کلاس های کاربری اراضی

از آنجایی که هر گیگاتن معادل ۳/۶۷ گیگاتن دی اکسید کربن است که بر مبنای جرم اتمی کربن و دی اکسید کربن محاسبه می گردد، با برآورد میزان کربن آلی خاک معادل دی اکسید کربن آن نیز قابل برآورد است.

۳.۲. آشکارسازی تغییرات

از تصاویر ماهواره لندست مربوط به سال های ۱۹۸۵، ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ برای تهیه نقشه کاربری اراضی استفاده شد. از روش طبقه بندی هیبرید که تلفیقی از روش طبقه بندی نظارت شده و نظارت نشده است، برای تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی استفاده شد. سپس از روش مقایسه پس از طبقه بندی برای آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی طی ۲۵ سال گذشته استفاده شد. روش مقایسه پس از طبقه بندی علاوه بر نشان دادن موقعیت پیکسل های تغییر یافته در منطقه، نوع تغییرات رخ داده را نیز مشخص می نماید و از حساسیت کمتری به تصحیحات اتمسفریک نسبت به سایر روش های آشکارسازی تغییرات برخوردار است (Coppin et al., 2004).

۴.۲. مدل سازی تغییرات کاربری اراضی

به منظور مدل سازی تغییرات رخ داده در منطقه مورد مطالعه برای سال ۲۰۵۰، از مدل LCM موجود در نرم افزار IDRISI Selva استفاده شد. این مدل از توانایی بالایی برای مدل سازی تغییرات چندین کاربری به طور

همزمان برخوردار است (Eastman, 2009) این مدل با تلفیق توانایی های مدل زنجیره مارکوف، روش شبکه عصبی چند لایه پرسپترون^۱ (MLP) با الگوریتم آموزش پس انتشار خطا، رگرسیون لجستیک و MOLA^۲ از کارایی خوبی در شبیه سازی فرایندهای پیچیده برخوردار است (Estman, 2009; Mas et al., 2014). در مدل LCM ابتدا ماتریس احتمال و مساحت تغییرات با استفاده از مدل زنجیره مارکوف تهیه می شود. این ماتریس نشان دهنده احتمال تغییر یک کاربری مشخص به سایر کاربری ها در دوره زمانی مورد مطالعه است. سپس، بر مبنای تغییرات عمده رخ داده در منطقه مورد مطالعه، ۴ زیر مدل تغییر کاربری اراضی مشخص گردید که عبارت بودند از ۱- زیر مدل تبدیل اراضی جنگل به مرتع، ۲- زیر مدل تبدیل مرتع به اراضی کشاورزی، ۳- زیر مدل تبدیل مرتع به مناطق مسکونی و ۴- زیر مدل تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی. برای ساخت نقشه پتانسیل انتقال تغییر هر یک از زیر مدل های مذکور، از متغیرهای توصیفی مختلف استفاده شد که با استفاده از روش شبکه عصبی چند لایه پرسپترون (MLP) مدل سازی شده و در نهایت به تولید نقشه های احتمال تغییر و یا پتانسیل انتقال تغییر هر کاربری انجامید. متغیرهای توصیفی به کار رفته در این مدل سازی عبارتند از شیب، جهت، ارتفاع، فاصله از مناطق مسکونی، فاصله از جاده، فاصله از مرز اراضی کشاورزی، فاصله از مرز اراضی جنگلی، فاصله از مرز اراضی مرتعی و شاخص اختلاف گیاهی نرمال شده. در نهایت نقشه پیش بینی تغییرات برای سال ۲۰۵۰ با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و روش اختصاص اراضی به روش MOLA تولید شد. در این تحقیق مدل سازی تغییرات آینده فقط بر مبنای سناریوی مدیریتی تداوم که فرض می کند روند تغییرات گذشته در آینده نیز ادامه دارد انجام پذیرفت. به منظور اعتبار سنجی مدل نیز از

¹. Multi-layer perceptron

². Multi-Objective Land Allocation

در این افزایش وسعت به ترتیب ۳۶ درصد و ۳۹/۸ درصد بوده است. بر مبنای نتایج این جدول، ۲۸/۸۶ درصد از مراتع، معادل ۹۸۲/۶۲ هکتار به اراضی کشاورزی و حدود ۴۱/۳ هکتار آن به مناطق مسکونی تبدیل شده است. مقدار ۳۶ هکتار از اراضی کشاورزی نیز در این بازه زمانی به مناطق مسکونی تبدیل شده است. در شکل ۲ موقعیت مکانی پیکسل‌های تغییر یافته از کاربری‌های مختلف در منطقه دیلمان نشان داده شده است.

۲.۳. مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی

نتایج مدل‌سازی نشان می‌دهد در صورتی که روند تغییرات آینده مانند ۲۵ سال گذشته باشد، مساحت اراضی جنگلی از ۳۱۵۱/۸۹ هکتار به ۲۵۳۳/۱۴ هکتار کاهش خواهد یافت که معادل ۹ درصد کاهش در مساحت فعلی اراضی جنگلی در ۴۰ سال آینده خواهد بود (جدول ۱). بر اساس این سناریو، مردم و مدیران منابع طبیعی شاهد کاهش ۲۳/۴ درصدی مراتع از مساحت ۲۸۳۴/۹۱ هکتار به ۲۱۷۲/۰۶ هکتار خواهند بود. اراضی کشاورزی نیز در این بازه زمانی حدود ۱۱۴۴ هکتار افزایش مساحت خواهد داشت که می‌توان گفت سالانه به طور متوسط ۲۸/۶ هکتار بر وسعت این اراضی افزوده خواهد شد. از جمله تغییرات قابل ذکر در این دوره، افزایش ۱۳۷/۶۱ هکتار بر مناطق مسکونی است. این مساحت معادل ۴۰/۵ درصد افزایش است که اغلب در اطراف شهرها و روستاهای فعلی منطقه و در امتداد جاده‌ها روی داده است.

ماژول Validation تعیین شده در مدل LCM استفاده شد که فقط از پیکسل‌هایی که تغییر کاربری در آن‌ها اتفاق افتاده است برای بررسی توافق بین دو نقشه استفاده می‌نماید. برای این منظور از سه مؤلفه Hits، False Alarms و Misses استفاده می‌شود. پیکسل‌هایی را نشان می‌دهد که در مدل و واقعیت، تغییر کاربری اراضی روی داده است. False Alarms نشان دهنده پیکسل‌هایی است که مدل آن‌ها را تغییر یافته پیش‌بینی می‌کند ولی در واقعیت چنین نبوده است. Misses نیز نشان دهنده پیکسل‌هایی است که مدل آن‌ها را ثابت پیش‌بینی کرده اما در واقعیت آن‌ها تغییر نموده‌اند. از نسبت Hits به کل پیکسل‌های تغییر کرده می‌توان به قابل قبول بودن نتایج مدل در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی پی برد (Estman, 2009).

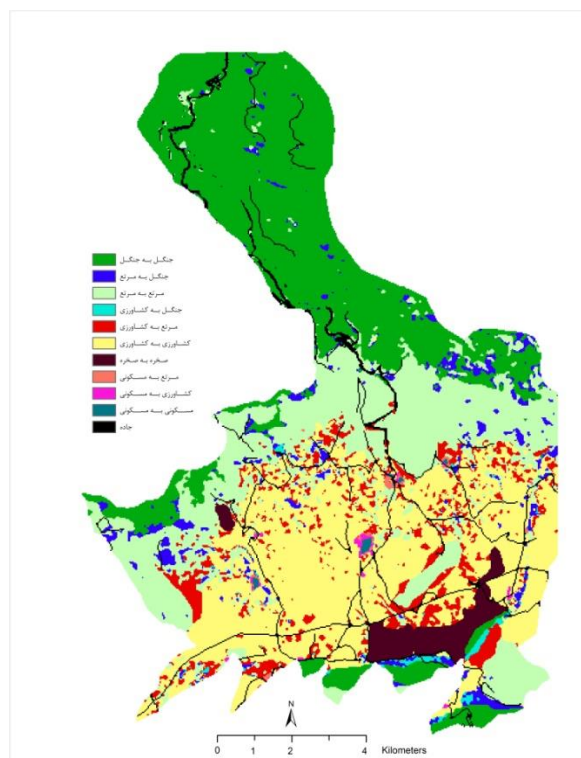
۳. نتایج

۱.۳. آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی

بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ می‌توان به افزایش ۲۰ درصدی مساحت اراضی کشاورزی اشاره داشت که سهم اراضی مرتعی در این افزایش ۱۸/۱۳ درصد برآورد شده است. طبق نتایج ارائه شده بین سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ تبدیل ۱۲/۲۳ درصدی اراضی جنگلی (۴۵۴/۳۲ هکتار) به اراضی مرتعی در منطقه دیلمان روی داده است. در این بازه ۲۵ ساله، مناطق مسکونی حدود ۷۵/۷۷ درصد افزایش مساحت دارد که سهم اراضی کشاورزی و مرتعی

جدول ۱. مساحت طبقات کاربری اراضی بر مبنای سناریو تداوم (بر حسب هکتار)

سال ۲۰۵۰	سال ۲۰۱۰	طبقات کاربری اراضی
۲۵۳۳/۱۴	۳۱۵۱/۸۹	جنگل
۲۱۷۲/۰۶	۲۸۳۴/۹۱	مرتع
۵۲۰۷/۵۸	۴۰۶۳/۵۹	اراضی کشاورزی
۳۱۵/۹۰	۳۱۵/۹۰	مناطق صخره‌ای
۲۳۱/۲۱	۹۳/۶۰	مناطق مسکونی
۴۰۹/۰۵	۴۰۹/۰۵	جاده
۱۰۸۶۸/۹۴	۱۰۸۶۸/۹۴	کل



شکل ۲. نقشه تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۱۹۸۵-۲۰۱۰

۳.۳. اعتبارسنجی مدل LCM

برای محاسبه دقیق توافق بین نقشه واقعیت زمینی و نقشه مدل شده توسط LCM برای سال ۲۰۱۰ از ماژول Validation موجود در مدل LCM استفاده شد. این نسبت مطابق با نتایج جدول ۲ برابر ۲۲ درصد است و

قابل قبول بودن نتایج مدل‌سازی را نشان می‌دهد. Pontius و همکاران (۲۰۰۸) بیان کردند نتایج بین ۱ تا ۵۹ درصد نتایج قابل قبول در مدل‌سازی کاربری اراضی است.

جدول ۲. نتایج اعتبارسنجی مدل LCM (بر حسب پیکسل)

۲۴۰۵	Hits
۵۵۰۲	False Alarms
۲۹۵۷	Misses

۴.۳. محاسبه کربن آلی خاک و ذخیره کربن

آلی خاک

نتایج آمار توصیفی در جدول ۳ ارائه شده است. از مجموع ۱۲۴ پلات در کل منطقه ۶۱ نمونه خاک در

اراضی کشاورزی، ۳۰ نمونه در مناطق جنگلی و ۳۳ نمونه نیز در مراتع برداشت گردید. در هر سه کاربری اراضی بالاترین میانگین میزان تراکم کربن آلی خاک در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری وجود داشت که بیشترین میزان آن در اراضی جنگلی با مقدار $6/71 \pm 1/88$ کیلوگرم کربن بر متر

مناطق جنگلی، مراتع و اراضی کشاورزی به ترتیب برابر با $4/89 \pm 1/96$ کیلوگرم بر متر مربع، $2/48 \pm 2/86$ کیلوگرم بر متر مربع و $2/75 \pm 1/88$ کیلوگرم بر متر مربع برآورد شد.

مربع و سپس با میزان $5/22 \pm 3/47$ و $3/20 \pm 1/88$ کیلوگرم کربن بر متر مربع به ترتیب در مراتع و اراضی کشاورزی دیده می‌شود (جدول ۳). میانگین میزان تراکم کربن آلی خاک در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری برای

جدول ۳. آمار توصیفی تراکم کربن آلی خاک (kg/m^2) در طبقات کاربری اراضی مختلف ($n=124$)

عمق (cm)	کاربری اراضی	تعداد	میانگین	بیشینه	کمینه	انحراف معیار	ضریب تغییرات	چولگی
۰-۲۰	جنگل	۳۰	۶/۷۱a	۱۱/۷۹	۳/۴۲	۱/۸۸	۰/۲۸	۰/۵۰
	مرتع	۳۳	۵/۲۲b	۱۲/۵۲	۰/۹۹	۳/۴۷	۰/۶۶	۰/۴۰
۲۰-۴۰	اراضی کشاورزی	۶۱	۳/۲۰c	۱۰/۲۷	۱/۰۵	۱/۸۸	۰/۵۸	۱/۵۹
	جنگل	۳۰	۴/۸۹a	۹/۵۶	۱/۹۲	۱/۹۶	۰/۴۰	۰/۵۲
	مرتع	۳۳	۳/۴۸b	۱۴/۰۵	۰/۹۴	۲/۸۶	۰/۸۲	۰/۴۰
	اراضی کشاورزی	۶۱	۲/۷۵b	۹/۴۷	۰/۴۷	۱/۸۸	۰/۶۸	۱/۵۵

که منجر به کاهش زیتوده ورودی به اکوسیستم جنگلی می‌گردد قطعاً منجر به کاهش بیشتر تراکم کربن آلی خاک در منطقه می‌شود. به علت تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی و مناطق مسکونی کاهش $3/6 \times 10^4$ مگا گرم کربن در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری و $2/3 \times 10^4$ مگا گرم کربن در عمق ۲۰-۴۰ سانتی‌متری روی خواهد داد. اما با افزایش وسعت اراضی کشاورزی در این سال‌ها میزان ذخیره SOC در این طبقه کاربری اراضی $3/6 \times 10^4$ مگا گرم کربن در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری نسبت به سال ۲۰۱۰ افزایش نشان خواهد داد که در مقایسه با کاهش ذخیره کربن آلی در اراضی جنگلی و مرتعی نقش مؤثری در افزایش ترسیب کربن منطقه نخواهد داشت.

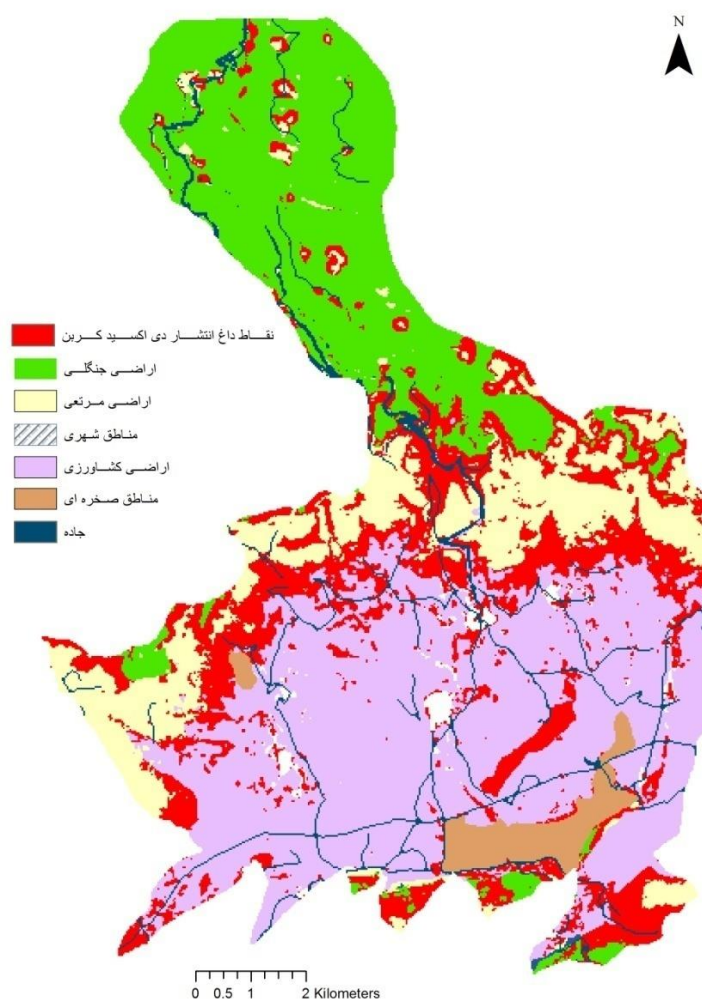
۵.۳. تغییرات ذخیره کربن آلی خاک در ۴۰

سال آینده و انتشار گاز دی اکسید کربن

بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۴ ذخیره کربن آلی خاک طی ۴۰ سال آینده از $2/1 \times 10^5$ مگا گرم کربن در سال ۲۰۱۰ به $1/7 \times 10^5$ مگا گرم کربن در سال ۲۰۵۰ در عمق ۰-۲۰ سانتی‌متری اراضی جنگلی کاهش خواهد یافت. این میزان کاهش در ذخیره SOC فقط ناشی از کاهش مساحت اراضی جنگلی و تبدیل آن به سایر طبقات کاربری به ویژه اراضی مرتعی خواهد بود. قابل ذکر است که فرض اصلی در این محاسبات ثابت بودن میزان SOC طی سال‌های مورد بررسی است. سایر عوامل تأثیر گذار بر SOC مانند خشکسالی، فرسایش و نظیر آن

جدول ۴. ذخیره کربن آلی خاک (Mg C) و معادل CO₂ تولیدی در طبقات کاربری اراضی بر مبنای سناریوی تداوم

سال ۲۰۵۰		سال ۲۰۱۰		کاربری اراضی	عمق (cm)
CO ₂ e	SOC stock	CO ₂ e	SOC Stock		
$6/22 \times 10^5$	$1/70 \times 10^5$	$7/72 \times 10^5$	$2/11 \times 10^5$	جنگل	۰-۲۰
$4/13 \times 10^5$	$1/13 \times 10^5$	$5/41 \times 10^5$	$1/48 \times 10^5$	مرتع	
$3/06 \times 10^5$	$1/66 \times 10^5$	$4/75 \times 10^5$	$1/30 \times 10^5$	اراضی کشاورزی	۲۰-۴۰
$4/53 \times 10^5$	$1/24 \times 10^5$	$5/63 \times 10^5$	$1/54 \times 10^5$	جنگل	
$2/74 \times 10^5$	$0/75 \times 10^5$	$3/58 \times 10^5$	$0/98 \times 10^5$	مرتع	
$5/23 \times 10^5$	$1/43 \times 10^5$	$4/10 \times 10^5$	$1/12 \times 10^5$	اراضی کشاورزی	



شکل ۳. نقشه نقاط داغ انتشار CO_2 ناشی از تغییر کاربری اراضی ۴۰ سال آینده

رفتن اراضی جنگلی و تبدیل آن به اراضی مرتعی در ۴۰ سال آینده میزان $3/88 \times 10^5$ مگا گرم کربن به صورت گاز دی اکسید کربن وارد جو خواهد شد. در چهار دهه آینده مطابق با سناریوی تداوم مساحت اراضی کشاورزی افزایش خواهد یافت که این امر نیز به نوبه خود منجر به انتشار گاز دی اکسید کربن به منطقه می‌گردد. شکل ۳ موقعیت مناطق داغ انتشار گاز دی اکسید کربن ناشی از تغییر کاربری اراضی را برای ۴۰ سال آینده در منطقه دیلمان را نشان می‌دهد.

مطابق با نتایج ارائه شده در جدول ۴ به واسطه تبدیل مناطق جنگلی به اراضی مرتعی $4/36 \times 10^5$ مگا گرم CO_2 انتشار خواهد یافت. همچنین در نتیجه تبدیل مناطق جنگلی به اراضی مرتعی در ۲۵ سال گذشته معادل $0/14 \times 10^5$ مگا گرم دی اکسید کربن وارد جو خواهد شد. بر اساس تغییر مساحت کاربری‌های مختلف بر مبنای مدل‌سازی تغییر سرزمین نیز ما شاهد تغییرات شدیدی در میزان ذخیره کربن آلی خاک و میزان انتشار گاز CO_2 ناشی از تغییر کاربری اراضی هستیم. به علت از دست

۴. بحث و نتیجه گیری

در این تحقیق از مدل سازی تغییر کاربری اراضی (LCM) برای پیش بینی تغییرات کاربری اراضی ۴۰ سال آینده استفاده شد. در سال ۲۰۱۰ نیز نمونه برداری از خاک منطقه در دو عمق ۲۰-۰ و ۴۰-۲۰ سانتی متری به منظور اندازه گیری مقدار تراکم کربن آلی خاک انجام شد. اراضی جنگلی، مراتع و زمین های کشاورزی به ترتیب بالاترین مقدار تراکم کربن آلی خاک منطقه را به خود اختصاص دادند. Guo و Gifford (۲۰۰۲) بیان می کنند که کشاورزی معمولاً منجر به کاهش ۳۰ الی ۵۰ درصدی ماده آلی خاک در عمق های بالای ۳۰ سانتی متری می گردد. این اثر از طریق کاهش ورودی های کربن مانند کاهش بیومس برگشتی به خاک به علت برداشت محصول (Lauenroth *et al.*, 2000) و درجه حرارت بالاتر خاک های شخم خورده که خود منجر به افزایش نرخ معدنی شدن و ناپایداری کربن آلی می شود، ایجاد می گردد. Xu و Zhong (۲۰۰۹)، Fang و همکاران (۲۰۱۲) در تحقیقات خود نشان دادند که میزان SOC در کاربری جنگل و مرتع بیشتر از اراضی کشاورزی است و علت آن را تبدیل پوشش طبیعی به اراضی کشاورزی و تأثیر شخم در افزایش نرخ تجزیه مواد آلی بیان نمودند. در مدت ۲۵ سال گذشته منطقه مورد مطالعه با کاهش اراضی جنگلی و مرتعی و گسترش زمین های کشاورزی رو به رو بوده است. این امر منجر به تخریب پوشش گیاهی طبیعی و به تبع آن کاهش ترسیب کربن در اکوسیستم های مورد مطالعه شده است. با فرض ثابت ماندن شرایط محیط زیستی منطقه، ذخایر کربن آلی خاک کاهش چشمگیری در ۴۰ سال آینده خواهد داشت

که منجر به انتشار گاز دی اکسید کربن در مناطقی می شود که با تغییر کاربری و پوشش اراضی مواجه بوده است. قابل ذکر است که در این تحقیق، به علت در دسترس نبودن مقدار کربن آلی خاک سال های گذشته برای ارزیابی تغییرات ذخیره کربن آلی خاک در اثر تغییر کاربری اراضی فرض گردید که مقدار کربن آلی خاک طی ۲۵ سال گذشته در کاربری های مختلف اراضی برابر مقدار برآورد شده آن در سال ۲۰۱۰ است. بر مبنای این فرض، ثابت بودن شرایط زیست محیطی (فرسایش، آب و هوا و...) طی این دوره زمانی نیز در نظر گرفته شد. همانطور که ذکر گردید به علت از دست رفتن اراضی جنگلی و تبدیل آن به اراضی مرتعی در ۴۰ سال آینده میزان $10^5 \times 3/88$ مگا گرم کربن به صورت گاز دی اکسید کربن وارد جو خواهد شد. در چهار دهه آینده مطابق با سناریوی تداوم مساحت اراضی کشاورزی افزایش خواهد یافت که این امر نیز به نوبه خود منجر به انتشار گاز دی اکسید کربن به منطقه می گردد. مطمئناً در این پژوهش با خطاهای دیگری مانند خطای طبقه بندی تصاویر ماهواره ای، خطای تصحیح هندسی و خطا در مدل سازی مواجه هستیم که بر عدم قطعیت مطالعه حاضر می افزاید. با توجه به وجود چنین منابع خطایی در تحقیقات مشابه و ناگزیر بودن از پذیرش آنها توسط محققین، قابل ذکر است که این خطاها منجر به تغییرات عمده و اساسی در اصول و نتایج کار نمی گردد. قابل ذکر است که نتایج این تحقیق می تواند زنگ خطری برای مسئولان منابع طبیعی کشور باشد تا با شناسایی مناطق مستعد ترسیب کربن در کاربری های مختلف به برنامه ریزی دقیق تر برای صیانت از منابع طبیعی بپردازند.

References

- Coppin, P., Jonckheere, H., Nackaerts, K., Muys, B., Lambin E., 2004. Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review, *International Journal of Remote Sensing*. 25 (9), 1565-1596.
- Eastman, J. R., 2009. *Idrisi Tiaga: Guide to GIS and image processing*, Clark University, USA. 171 p.
- Fang, X., Xue, Z., Li, B., An, S., 2012. Soil organic carbon distribution in relation to land use and its storage in a small watershed of the Loess Plateau, China. *Catena* 88, 6-13.
- Guo, L. B., Gifford, M., 2002. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biology* 8, 345-360.
- Lauenroth, W. K., Burke, I. C., Paruelo, J. M., 2000. Patterns of production and precipitation use efficiency of winter wheat and native grasslands in the Central Great Plains of the United States. *Ecosystems* 3, 334-351.
- Hashimoto, M., Nose, T., Muriguchi, Y., 2002. Wood products: potential carbon sequestration and impact on net carbon emissions of industrialized countries. *Environmental Science & Policy* 5, 183-193.
- Hernandez, R., Koohafkan, P., Antoine, J., 2004. Assessing Carbon Stocks and modeling winwin Scenarios of carbon sequestration through land-use change. *Food and Agriculture Organization of the United nations* 1-166.
- Mas, J. F., Kolb, M., Paegelow, M., Camacho Olmedo, M. T., 2014. Inductive pattern-based land use/cover change models: A comparison of four software packages. *Environmental Modelling & software* 51, 94-111.
- Masri, Z., Ryan, J., 2006. Soil organic matter and related physical properties in a Mediterranean wheat-based rotation trial. *Soil and Tillage Research* 87,146-154.
- Mohammadi, J., Shataee, S.H., 2010. Possibility investigation of tree diversity mapping using Landsat ETM+ data in the Hyrcanian forests of Iran. *Remote Sensing of Environment* 114, 1504-1512.
- Pontius Jr, R. G., Thontteh, O., Chen, H., 2008. Components of information for multiple resolution comparison between maps that share a real variable. *Environmental and Ecological Statistics* 15, 42-111.
- Sheldrick, B.H., Wang, C., 1993. Particle size distribution. In: Carter, M.R. (Ed.) *Soil Sampling and Methods of Analysis*. Canadian Society of Soil Science, Lewis Publishers, Boca Raton. 198 p.
- Stevenson, F.J., Cole, M. A., 1999. *Cycles of Soil: Carbon, Nitrogen, Phosphorus, sulfure, micronutrient*. Wiley, New York. 448 p.
- Upadhyay, T. P., Solberg, B., Sankhayan, P. L., 2006. Use of models to analyse land-use changes, forest/soil degradation and carbon sequestration with special reference to Himalayan region: A review and analysis. *Forest Policy and Economics* 9, 349-371.
- Virgilio, N.D., Monti, A., Venturi, G., 2007. Spatial variability of switchgrass (*Panicum virgatum* L.) yield as related to soil parameters in a small field. *Field crop research* 101, 232-239.
- 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, 251-263.
- Yang, L. X., Pan, J. J., 2003. Dynamic models of soil organic carbon. *Journal of Forestry Research* 14, 323-330.
- Zhong, B., Xu, Y. J., 2009. Topographic Effects on Soil Organic Carbon in Louisiana Watersheds. *Environmental Management* 43, 664-672.