

ارزشگذاری اقتصادی کربن روی زمینی ترسیب شده در جنگل‌های زاگرس با بهره‌گیری از سنجش‌ازدور و الگوریتم‌های یادگیری ماشین (مطالعه موردی: جنگلهای توت‌شامی)

امیر صفری^{1*}، هرمز سهرابی²، صبا کیانی‌فر³

*1 - دکتری جنگلداری، اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان کرمانشاه: asafari61@yahoo.com

2- دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس

3- کارشناس سازمان جهاد کشاورزی استان کرمانشاه

چکیده:

هدف این تحقیق برآورد ارزش اقتصادی اندوخته کربن روی زمینی در جنگل‌های توت شامی شهرستان دالاهو در استان کرمانشاه با استفاده از تصویرهای لندست و الگوریتم‌های یادگیری ماشین است. به این منظور، با استفاده از نقشه شاخص سطح برگ مناطق مورد نظر برای نمونه‌برداری مشخص شد. در نهایت 63 قطعه نمونه مربعی شکل به مساحت 900 مترمربع برداشت، و با استفاده از معادلات آلومتری اندوخته کربن روی زمینی در قطعه نمونه بر حسب تن در هکتار محاسبه گردید. مدل‌سازی اندوخته کربن روی زمینی جنگل بر روی تصویر لندست 8 با استفاده از روش مدل‌سازی شبکه‌های عصبی مصنوعی انجام شد. نتایج نشان می‌دهد سطح جنگل در منطقه مورد بررسی 5603 هکتار با کاپای 0/84 تعیین گردید. نتایج مدل‌سازی اندوخته کربن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بیانگر ضریب تبیین 0/67 و درصد جذر میانگین مربعات خطا 37/81 درصد بود. مقدار کل کربن ترسیب شده در جنگل مورد بررسی مقدار 48577 تن که معادل 4/86 میلیون دلار می‌باشد. با توجه به صحت نسبتاً بالای برآورد اندوخته کربن روی زمینی توسط رویکرد مورد استفاده در این تحقیق، بنابراین می‌توان آن را به‌عنوان گزینه‌ای کم هزینه برای بخش تحقیقات و اجرا معرفی کرد.

واژگان کلیدی:

الگوریتم یادگیری ماشین، جنگل زاگرس، کربن، لندست

مقدمه:

تغییر اقلیم و گرمایش جهانی به عنوان مهمترین چالش زیست محیطی قرن اخیر که سلامتی محیط زیست و موجودات زنده را تهدید می‌کند. مهمترین عامل ایجاد کننده این موضوع افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای در اتمسفر بویژه دی‌اکسید کربن است (Fu et al. 2015). بنابراین برای حفظ حیات زیست کره زمین و موجودات زنده آن، کاهش میزان غلظت دی‌اکسید کربن موضوعی حیاتی است. برآورد صحیح اندوخته کربن روی زمینی در مقایسه‌های وسیع کار بسیار وقت‌گیر و همراه با صرف هزینه و زمان فراوان است، بنابراین توسعه روشهای ساده، منطقی و سریع یک نیاز حیاتی است (Fernández-Manso et al. 2014). استفاده از داده‌های دورسنجی به عنوان یک روش نسبتاً ارزان، سریع و اجرایی برای برآورد و تهیه نقشه اندوخته کربن روی زمینی مطرح شده است. بویژه اینکه، فن‌آوری سنجش‌ازدور می‌تواند اطلاعات را از مناطق دور و غیرقابل دسترس را در مقایسه‌های وسیع از محلی تا جهانی را فراهم آورد. امکان استفاده و ارزیابی کارایی تصویرهای ماهواره‌ای رایگان لندست برای تهیه نقشه کربن برای کشورهای در حال توسعه مانند ایران می‌تواند اقدامی ارزشمند باشد. بنابراین، این تحقیق سعی دارد تا قابلیت تصویرهای لندست را در برآورد و تهیه نقشه کربن جنگلهای زاگرس را مورد بررسی قرار دهد.

مواد و روش‌ها:

منطقه مورد بررسی

برای اجرای مطالعه حاضر بخشی از جنگل‌های زاگرس، استان کرمانشاه و روستای توت شامی در بخش گهواره (34 درجه و 21 دقیقه شمالی تا 34 درجه 24 دقیقه شمالی و 46 درجه و 16 دقیقه شرقی تا 46 درجه و 23 دقیقه شرقی) انتخاب شد. جنگل‌های مورد بررسی مانند سایر بخشهای زاگرس از اراضی جنگلی تشکیل شده که گونه غالب آن درختان بلوط و با ساختار شاخه‌زاد است، که ارتفاع 1462 تا 2097 متر از سطح دریا پراکنده شده‌اند. اقلیم منطقه نیمه‌مرطوب با میانگین دمای سالانه 15/50 درجه سانتی‌گراد است.

نمونه‌برداری زمینی

برای طراحی نمونه‌برداری، نقشه شاخص سطح برگ (Leaf Area Index: LAI) جنگل تهیه شد. پس از تهیه نقشه شاخص سطح برگ منطقه مورد بررسی، تعداد 63 نمونه در قالب طرح تصادفی-منظم با ابعاد شبکه 200 × 200 متر انتخاب شد. در هر قطعه نمونه برآورد اندوخته کربن روی زمینی تک تک درختان (یا جست‌گروه‌ها) در داخل هر قطعه نمونه توسط معادلات آلومتری توسعه داده شده برای جنگل‌های زاگرس (ایران‌منش، 1392) انجام شد.

پیش‌پردازش و پردازش تصویرهای ماهواره‌ای

در این مطالعه یک فریم از تصویرهای ماهواره‌ای لندست 8 به شمار گذر 167 و ردیف 36 مربوط به تاریخ دهم آگوست 2015 برابر با 19 مردادماه سال 1394 استفاده شد. پیش‌پردازش تصویر ماهواره‌ای شامل تصحیح هندسی، رادیومتری، اتمسفری و توپوگرافی بود. پردازش تصویر لندست مورد استفاده شامل تهیه شاخص‌های مختلف گیاهی، نسبت‌های ساده بانندی، تبدیل‌های تسلدکپ و تجزیه به مولفه‌های اصلی بود (جدول 1). پس از پردازش تصویر لندست، مقادیرهای هر متغیر طیفی متنظر با مختصات UTM قطعه نمونه استخراج شد.

روش‌های مدل‌سازی:

در این مطالعه از بین الگوریتم‌های یادگیری ماشین، از روش شبکه‌های عصبی برای برآورد سنجش‌ازدوری اندوخته کربن روی زمینی استفاده شد. شبکه‌های عصبی مصنوعی برای پیش‌بینی از روشی مشابه با سیستم عصبی مغز انسان الهام گرفته و مانند مغز، پردازش را انجام می‌دهد که می‌تواند مشابه با مغز انسان یادگیری را انجام دهد. شبکه‌های عصبی مصنوعی از سه لایه تشکیل شده است که شامل ورودی (متغیرهای پیشگو)، پنهان و خروجی است. سیستم به‌صورت یک تکرار از پیش‌بینی متغیر هدف با استفاده از متغیرهای ورودی با استفاده از داده‌های آموزش، فرآیند یادگیری را انجام می‌دهد. طی فرآیند یادگیری، وزن‌ها در داخل شبکه تعدیل خواهد شد تا جایی که یک مجموعه وزنی بهترین نتایج را کسب کند.

برای مقایسه و ارزیابی کارایی مدل‌های آماری از روش ارزیابی متقابل Leave-One-Out استفاده شد. نتایج مدل‌های مورد استفاده با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین (R^2)، جذرمیانگین مربعات خطا (RMSE) و اریبی (Bias) مورد مقایسه قرار گرفت. تحلیل‌های آماری در نرم‌افزار R انجام گرفت.

نتایج:

تهیه نقشه جنگل

با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان نقشه جنگل تهیه شد. براساس این نقشه مساحت جنگل شامل 5602/9 هکتار با صحت 92 درصد و ضریب کاپای محاسبه شده 0/84 است. بهترین متغیرهای طیفی پیشگو برای تعیین سطح جنگل نسبت

باندهای قرمز بر مادون قرمز نزدیک با طول موج کوتاه 1 و 2، باند آبی و باند سبز بر باند مادون قرمز نزدیک با طول موج کوتاه بودند.

برآورد اندوخته کربن روی زمینی درختان در قطعات نمونه:

خلاصه مشخصه‌های آماری محاسبه شده از اندوخته کربن روی زمینی اندازه‌گیری شده در قطعه نمونه‌های برداشت شده در منطقه مورد بررسی در جدول 1 ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود میانگین اندوخته کربن روی زمینی در جنگل مورد مطالعه 9/93 تن در هکتار است.

جدول 1) مشخصه‌های آماری محاسبه شده اندوخته کربن روی زمینی اندازه‌گیری شده در قطعه نمونه‌ها

انحراف معیار	میانگین	دامنه	حداکثر	حداقل	تعداد نمونه
5/88	9/93	25/71	25/71	0	63

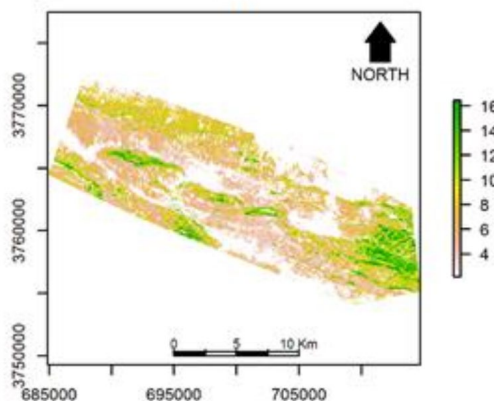
نتایج اندوخته کربن برآورد شده با روش شبکه عصبی مصنوعی

اندوخته کربن روی زمینی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش شبکه‌های عصبی مصنوعی برآورد شد و ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و اریبی در جدول 2 نشان داده شده است. نتایج دیگر مدل‌سازی نشان داد که از بین متغیرهای طیفی استفاده شده متغیرهای نسبت باند سبز به مادون قرمز نزدیک با طول موج کوتاه 1، شاخص MSAVI2 و نسبت باندهای مادون قرمز نزدیک با طول موج کوتاه 1 به مادون قرمز نزدیک با طول موج کوتاه 2 بالاترین اهمیت در بین متغیرهای پیشگو را داشتند

نتایج برآورد اندوخته کربن روی زمینی جنگل مورد مطالعه با استفاده از روش مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی ضریب تبیین، درصد جذر میانگین مربعات خطا و درصد اریبی برآورد اندوخته کربن با استفاده از روش مدل‌سازی شبکه عصبی مصنوعی در جنگل مورد مطالعه به ترتیب اعداد 0/67، 37/81 و 1/7 محاسبه گردید.

تهیه نقشه اندوخته کربن روی زمینی در جنگل مورد مطالعه:

با استفاده از پارامترهای بهینه شده شبکه عصبی مصنوعی و مهمترین متغیرهای طیفی استخراج شده از تصویرهای لندست در نهایت به تهیه نقشه اندوخته کربن روی زمینی در کل منطقه مورد بررسی اقدام شد (شکل 3). در کل منطقه مورد بررسی مقدار 48577 تن کربن روی زمینی ذخیره شده است. با توجه به اینکه ذخیره کربن به ازاء هر تن حدود 100 دلار به روش‌های مصنوعی هزینه‌بردار است. بنابراین، جنگل مورد مطالعه توانسته رقمی معادل 4/86 میلیون دلار در جهت ترسیب کربن نقش داشته باشد.



شکل 3) نقشه اندوخته کربن روی زمینی برآورد شده توسط روش شبکه عصبی مصنوعی در جنگل مورد مطالعه (واحد: تن در هکتار)

بحث:

ضریب تبیین، درصد جذر میانگین مربعات خطا و درصد اریبی 0/67، 37/81 درصد و 1/7 درصد از دیگر تحقیقات بهتر بوده است (Zhu and Liu 2015). یکی از مهمترین محدودیت‌های برآورد اندوخته کربن روی زمینی جنگل‌های با تراکم کم اندوخته کربن روی زمینی، انعکاس آمیخته ثبت شده پوشش گیاهی و خاک توسط سنجنده‌های سنجش‌ازدوری است (Eisfelder *et al.* 2012). برای حل این مشکل ما از یک تعداد گسترده متغیر طیفی استفاده کردیم. تعدادی از شاخص‌های گیاهی براساس نسبت باندون مادون قرمز نزدیک به دیگر باندها حاصل می‌شوند، در حالیکه حساسیت باند قرمز در جنگلهای کم تراکم کاهش می‌یابد. در مقابل باندهای مادون قرمز نزدیک با طول موج کوتاه در این مناطق برای مطالعات جنگل مفید و مناسب است (Eisfelder *et al.* 2012). مشخص شدن ارزش اقتصادی اندوخته کربن روی زمینی جنگل مورد مطالعه می‌تواند نشان‌دهنده ارزش والای یکی از خدمات بومسازگان در این جنگل باشد که با آشکار شدن سایر خدمات این جنگلها نقش ارزشمند آنها قابل لمس تر خواهد بود.

منابع:

- 1- ایران منش، ی. 1392. ارزیابی روش‌های برآورد توده و ترسیب کربن گونه بلوط ایرانی در جنگل‌های چهارمحال و بختیاری، رساله دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.
2. Eisfelder, C., Kuenzer, C. & Dech, S., 2012. Derivation of biomass information for semi-arid areas using remote-sensing data. *International Journal of Remote Sensing*, 33 (9), 2937-2984.
3. Fernández-Manso, O., Fernández-Manso, A. & Quintano, C., 2014. Estimation of aboveground biomass in mediterranean forests by statistical modelling of aster fraction images. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 31, 45-56.
4. Fu, L., Zhao, Y., Xu, Z. & Wu, B., 2015. Spatial and temporal dynamics of forest aboveground carbon stocks in response to climate and environmental changes. *Journal of Soils and Sediments*, 15 (2), 249-259.
5. Zhu, X. & Liu, D., 2015. Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 102, 222-231.

Economic valuation of aboveground carbon in Zagros forests by using remote sensing and machine learning algorithms (Case study: Toot-Shami forests)

Amir Safari^{1*}, Hormoz Sohrabi², Saba Kianifar³

¹Natural Resources and Watershed Management of Kermanshah

² Department of Forestry, Tarbiat Modares University

³Expert of Agriculture-Jahad organization of Kermanshah

The aim of this study was the valuation of aboveground carbon in Toot-Shami forests, Dalahoo, Kermanshah province by using remote sensing imagery and machine learning algorithms. The study area was divided into three strata using the Landsat-derived leaf area index map (LAI), and 63 plots were located with a systematic sampling method (200 × 200 meter grid). The AGC of each tree was obtained by applying a species-specific allometric equation. Tree-level AGB estimates were summed over the plots to calculate AGB per plot (ton/ha). Landsat 8 OLI imagery and artificial neural network were applied for AGB modeling. The forest area in the test site was estimated about 5603 hectares (Kappa 0.84). Our results showed the ANN yielded the AGC estimates for test sites with accuracy statistics R2 and RMSE% 0.67 and 37.81, respectively. Totally, the carbon stock was estimated at 48577 tons in the test site which is equivalent to 4.86 million dollars. We can present the used approach as a simple and low-cost option to AGC estimates for research and practical parts.