**عنوان:**

**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**](mailto: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 84/0 تعیین گردید. نتایج مدلسازی اندوخته کربن با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی بیانگر ضریب تبیین 67/0 و درصد جذر میانگین مربعات خطا 81/37 درصد بود. مقدار کل کربن ترسیب شده در جنگل مورد بررسی مقدار 48577 تن که معادل 86/4 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 کنندۀ 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 مقایسهای 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 مقایسهای وسیع از محلی تا جهانی را فراهم آورد. امکان استفاده و ارزیابی کارایی تصویرهای ماهواره­ای رایگان لندست برای تهیه نقشه کربن برای کشورهای درحال 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 دقیق شمالی و 46 درجه و 16 دقیق شرقی تا 46 درجه و 23 دقیق 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 سالیانه 50/15 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 باندی، تبدیل­های تسلدکپ و تجزیه به مولفه­های اصلی بود (جدول 1). پس از پردازش تصویر لندست، مقدارهای هر متغیر طیفی متناظر 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 تشکیل‌شده 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 (R2)، 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 9/5602 هکتار با صحت 92 درصد و ضریب کاپای محاسبه شده 84/0 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 93/9 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 |
| 88/5 | 93/9 | 71/25 | 71/25 | 0 | 63 |

**نتایج اندوخته کربن برآورد شده با روش شبکه عصبی مصنوعی**

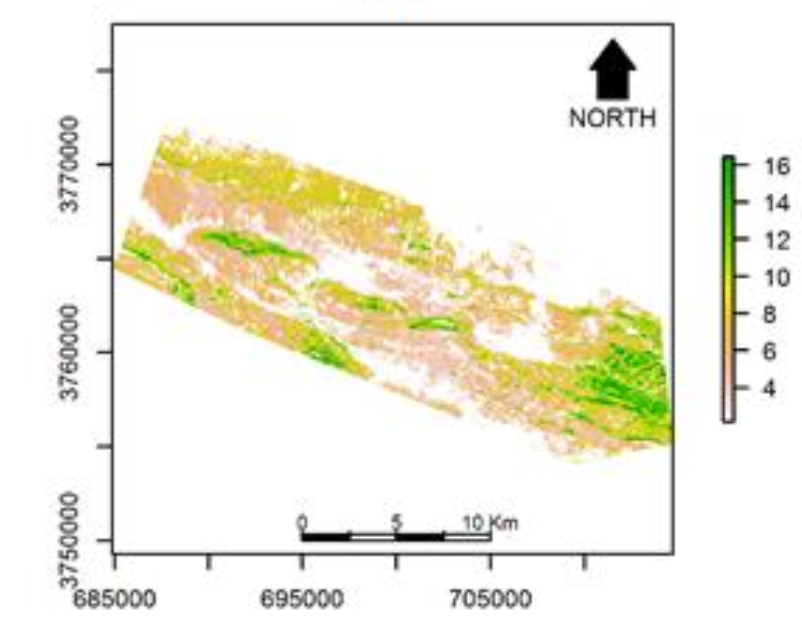
اندوخته کربن روی زمینی در منطقه مورد مطالعه با استفاده از روش شبکه­های عصبی مصنوعی برآورد شد و ضریب تبیین، جذر میانگین مربعات خطا و اریبی در جدول 2 نشان داده شده است. نتایج دیگر مدل­سازی نشان داد که از بین متغیرهای طیفی استفاده شده متغیرهای نسبت باند سبز به مادون قرمز نزدیک با طول موج کوتاه 1، شاخص MSAVI2 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 67/0، 81/37 و 7/1 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 86/4 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 67/0، 81/37 درصد و 7/1 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 حساسایت 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 لمس­تر خواهد بود.

**منابع:**

1. 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 Safari1\*, 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.