

## برآورد بیوماس روزمینی جنگل در جنگل های هیرکانی با استفاده از داده های ماهواره ای

محدثه قنبری مطلق<sup>۱</sup>  
ساسان بابایی کفاکی<sup>\*۲</sup>  
[s.babaiek@yahoo.com](mailto:s.babaiek@yahoo.com)  
اسدالله متاجی<sup>۳</sup>  
رضا اخوان<sup>۴</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۲۷

تاریخ دریافت: ۹۷/۳/۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** اهمیت جنگل‌های شمال ایران به عنوان یکی از مهمترین و بزرگترین ذخایر کربن و نقش آن در ترسیب کربن اتمسفری در کشورمان برکسی پوشیده نیست. مطالعه بیوماس روزمینی این جنگل‌ها به عنوان یک ضرورت تلقی می‌گردد. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور و شاخص‌های مختلف برای محاسبات بیوماس روزمینی جنگل‌ها انجام شده است. هدف پژوهش برآورد بیوماس جنگل‌های هیرکانی در شمال ایران با استفاده از اطلاعات ماهواره SPOT6 می‌باشد.

**روش بررسی:** بیوماس روزمینی این جنگل‌ها با استفاده از تصاویر ماهواره SPOT6 و مدل‌های رگرسیونی در سه منطقه انتخابی در استانهای شمالی و در ۲ دامنه ارتفاعی در تابستان ۱۳۹۵ بررسی شد. پس از آن که مقادیر متوسط بیوماس روزمینی بر حسب تن در هکتار با استفاده از برداشت‌های زمینی محاسبه گردید، از ۳ شاخص پوشش گیاهی NDVI، RVI و TVI برای برآورد بیوماس بر اساس تصاویر ماهواره ای استفاده شد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که رابطه بین مقادیر بیوماس روزمینی و شاخص‌های پوشش گیاهی یک رابطه خطی بوده و شاخص NDVI در سطح تمامی مناطق بیشترین سطح معنی‌داری و بالاترین ضریب همبستگی با بیوماس روزمینی را داشته است. بنابراین به منظور نقشه‌سازی بیوماس روزمینی از روابط رگرسیونی این شاخص استفاده شد.

**نتیجه‌گیری:** بر اساس نتایج این تحقیق مقادیر بیوماس بین سه منطقه اصلی تحقیق و در طبقات ارتفاعی میان بند و بالابند دارای تفاوت‌های نسبتاً زیادی می‌باشند. بیشترین میزان بیوماس در منطقه اسالم و دامنه ارتفاعی بالابند دیده شده است.

**واژه‌های کلیدی:** بیوماس، تصاویر SPOT، شاخص‌های پوشش گیاهی، جنگل، ایران.

۱- دکتری جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران. \* (مسوول مکاتبات)

۳- استاد، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران.

۴- دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگلها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران.

## **Estimation of Forest Above Ground Biomass in Hyrcanian Forests Using Satellite Imagery**

**Mohadeseh Ghanbari Motlagh**<sup>1</sup>

**Sasan Babaie Kafaky**<sup>2\*</sup>

[s.babaiek@yahoo.com](mailto:s.babaiek@yahoo.com)

**Asadollah Mataji**<sup>3</sup>

**Reza Akhavan**<sup>4</sup>

Admission Date: September 18, 2018

Date Received: May 23, 2018

### **Abstract**

**Background and Objective:** The importance of the northern forests of Iran as one of the most important and largest carbon reserves and its role in atmospheric carbon sequestration in our country is evident. The study of the above ground biomass of these forests is considered as a necessity. In recent years, many studies have been carried out using remote sensing technology and various indices for forest above ground biomass estimations. The purpose of this study is estimating Hyrcanian forests above ground biomass in northern Iran using satellite data (SPOT 6).

**Method:** In this research, above ground biomass of these forests using SPOT satellite images and regression models in three selected regions in the Northern provinces (Asalem, Sardaraboud and Kordkuy) and in 2 altitudes were investigated. After calculating the average above ground biomass per hectare using field plots, three vegetation indices NDVI, RVI and TVI were used to estimate biomass based on satellite imagery.

**Findings:** The results showed that the relationship between above ground biomass values and vegetation indices was linear and the NDVI has the highest level of significance in all parcels and has the highest correlation coefficient with above ground biomass. Therefore, regression relations with NDVI were used in order to map the above ground biomass.

**Discussion and Conclusion:** Based on the results of this study, the above ground biomass values between the three main study areas and in the elevation classes between the high lands and the middle land have a relatively large difference. The highest biomass in the Asalem region and the high lands has been observed.

**Keywords:** Biomass, SPOT Images, Vegetation Indices, Forest, Iran

---

1- Ph.D., Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Associate Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran\* (Corresponding Authors)

3- Professor, Department of Forestry, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

4- Associate Professor, Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

## مقدمه

در عصر حاضر، مسئله افزایش گازهای گلخانه ای و به خصوص افزایش دی اکسید کربن در اتمسفر یکی از دلایل اصلی افزایش درجه حرارت کره زمین محسوب می شود و آن را تبدیل به یکی از مهمترین چالش های زیست محیطی عصر حاضر نموده است (۱). اکوسیستم های جنگلی با ذخیره سازی ۸۶٪ کربن روزمینی خشکی ها و ۷۳٪ کربن خاک (۲) نقش بسیار مهمی در بالانس چرخه جهانی کربن، تعدیل گرمایش جهانی و سازش با تغییرات اقلیمی ایفاء می کنند (۳ و ۴). تخمین بیوماس ذخیره شده در جنگل ها از نظر بررسی مقدار کربن ذخیره شده در آنها و پتانسیلشان در مبارزه با تغییرات اقلیمی یک مسئله بنیادین است. از آنجایی که متغیر پایه ای برای مطالعات برآورد ذخایر بیوماس و کربن جنگل ها و تغییرات آنها بیوماس روزمینی (Above Ground Biomass) است، بیشتر روش های برآورد بیوماس نیز بر اساس اندازه گیری بخش روزمینی درختان به عنوان مهمترین عنصر اکوسیستم های جنگلی و بزرگترین ذخایر بیوماس زنده جنگل، متمرکز است (۵ و ۶).

برآورد بیوماس روزمینی جنگل از طریق اندازه گیری های زمینی، سنجش از دور و سیستم های اطلاعات جغرافیایی متداولترین روش های اندازه گیری آن محسوب می شود (۷). روش اندازه گیری زمینی با وجود دقیق بودن، پرهزینه، زمان بر، طاقت فرسا و تخریبی است (۸ و ۹). در حالی که، سنجش از دور و سیستم های اطلاعات جغرافیایی به عنوان ابزارهایی مدرن و توانمند برای برآورد سریع، واقعی، عملی و نسبتاً کم هزینه بیوماس روزمینی در سطح جهانی در کانون توجه قرار گرفته است (۱۰ و ۱۱). مقادیر بیوماس به طور غیر مستقیم و از طریق یک رابطه قوی آماری بین اطلاعات به دست آمده از نمونه برداری زمینی و پاسخ طیفی سنجنده، که عمدتاً از طریق شاخص های مختلف پوشش گیاهی بدست آمده، برآورد می شود (۱۲). شاخص های پوشش گیاهی (Vegetation Indices) که به صورت عمده با استفاده از باندهای طیفی قرمز و مادون قرمز ساخته می شوند، از رایج ترین تکنیک های پردازش برای ویژگی های ساختاری جنگل می باشند (۱۳ و ۱۴).

در سال های اخیر مطالعات زیادی با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور و ماهواره ها و شاخص های مختلف برای محاسبات بیوماس روزمینی در جنگل ها انجام گرفته است. Dimitrov و Roumenina (۲۰۱۳) اطلاعات حاصل از باندها و شاخص های گیاهی ماهواره SPOT 5 را برای مدل سازی حجم و بیوماس رو زمینی و بر اساس یک مدل رگرسیونی در جنگل های کاج بلغارستان مورد بررسی قرار دادند. نتایج مطالعه آنها نشان داد که قویترین رابطه خطی رگرسیونی را باند NIR با بالاترین ضرایب همبستگی، برای حجم و بیوماس داشته است (۱۵). Günlü و همکاران (۲۰۱۴) با هدف آزمون روابط بین بیوماس رو زمینی و باندها و شاخص های طیفی حاصل از ماهواره Landsat TM با استفاده از مدل رگرسیونی چندگانه در جنگل های کوه های آناطولی در کریمه ترکیه نتیجه گرفتند که شاخص پوشش گیاهی EVI با  $R^2 = 0.60$  برآورد بهتری در مقایسه با باندهای انفرادی TM1 و TM2 دارد (۱۶). Clerici و همکاران (۲۰۱۶) از ماهواره GeoEye-1 و Pleiades-1A و مدل های رگرسیون خطی و شاخص های گیاهی برای برآورد بیوماس و کربن روزمینی در جنگل های کوه های آند در کلمبیا به نتایج رضایت بخشی دست یافتند. بهترین مدل اجرا شده به ترتیب مربوط به شاخص های RVI، TVI و NDVI بوده است (۱۷). مطالعات Devagiri و همکاران (۲۰۱۳)، Kumar و همکاران (۲۰۱۶) و Zhou و همکاران (۲۰۱۳) نیز نتایج مشابهی در استفاده از شاخص های گیاهی و مدل های رگرسیونی نشان داده اند (۸، ۱۲، ۱۸ و ۱۴). در ایران، امینی و صادقی (۱۳۹۱)، بهترین مدل تخمینی در برآورد زیست توده جنگل های دست کاشت در حوزه شفارود با تصاویر ALOS را بر اساس آنالیز رگرسیونی چند متغیره و بر اساس گونه درختی برآورد نمودند (۳). حسینی و همکاران (۱۳۹۴)، مقادیر زیست توده درختان در جنگل کاری فولاد مبارکه اصفهان را با استفاده از تصاویر ماهواره QuickBird، شاخص های گیاهی NDVI و DVI و داده های زمینی مطالعه کردند. با توجه به مدل رگرسیونی ارائه شده برای

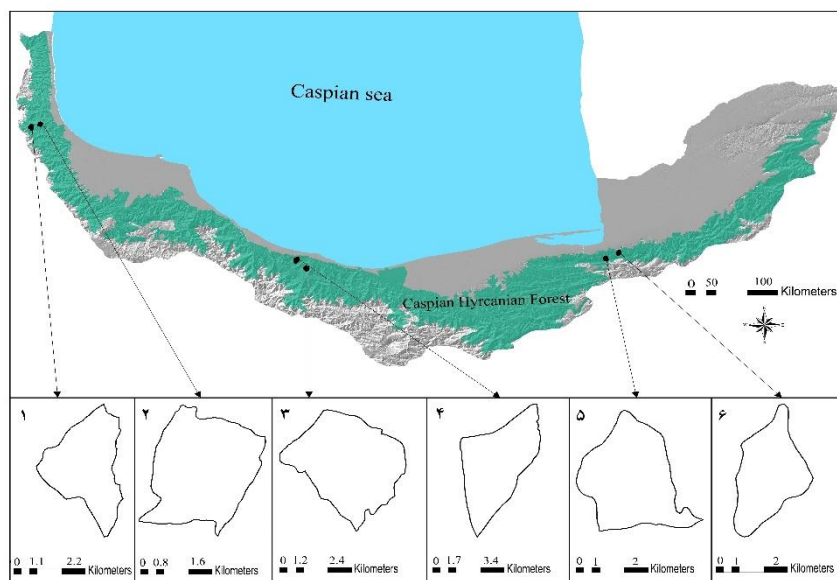
## روش بررسی

## منطقه مورد مطالعه

جنگل های هیرکانی به صورت نوار باریکی از شرق تا غرب بر روی دامنه شمالی کوه های البرز و در جنوب دریای کاسپین تا ارتفاع حداکثر ۲۸۰۰ متری از سطح دریا واقع شده اند. این جنگل ها جزو جنگل های پهن برگ خزان کننده، ناهمسال، دارای تاج پوشش ۴۰ تا ۹۰٪ و توده های خالص و آمیخته با یک اقلیم نیمه مدیترانه ای، دارای آب و هوای معتدل و مرطوب می باشد (۱۹). در این مطالعه سه منطقه در غرب (اسالم)، مرکز (سردآبرود) و شرق (کردکوی) این جنگل ها و در مناطق طبیعی با حداقل دستخوردگی انتخاب گردید (شکل ۱: به ترتیب ۱ و ۲، ۳ و ۴، ۵ و ۶). اطلاعات مربوط به پارسل های مورد مطالعه با استفاده از اطلاعات استخراج شده از طرح تهیه چارچوب مدیریت چند منظوره جنگل برای حفاظت از تنوع زیستی چشم انداز جنگل های هیرکانی خزری (۲۰) به دست آمده است.

هر گونه، مقدار زی توده برآورد شده برای هر گونه به دست آمد. مقادیر RMSE به دست آمده کارایی روش اجرا شده در برآورد زی توده را نشان داد (۱۰).

ایران به عنوان کشوری با سطوح کم جنگلی شناخته شده است. جنگل های هیرکانی در شمال ایران به عنوان باقی مانده جنگل های کهن دوران سوم زمین شناسی که در جنوب دریای کاسپین گسترش داشته، امروزه به صورت فزاینده ای در حال تخریب، تکه تکه شدن و تبدیل به سایر اشکال کاربری سرزمین می باشد. بنابراین مطالعه در مورد با مباحث اکولوژیکی این جنگل ها از جمله بیوماس روزمینی به منظور حفاظت از آنها به عنوان یک ضرورت تلقی می گردد. در این پژوهش هدف برآورد بیوماس جنگل های هیرکانی در شمال ایران با استفاده از اطلاعات ماهواره SPOT6 می باشد.



شکل ۱- موقعیت پارسل های مورد مطالعه در سطح جنگل های هیرکانی شمال ایران

Figure 1. The location of studied parcels in the in Hyrcanian forests of northern Iran

## اطلاعات زمینی و برآورد بیوماس روزمینی

به منظور ایجاد شرایط همگن در مناطق مطالعه و قابلیت مقایسه آنها پس از ساخت نقشه واحدهای همگن در پارسل های محدوده های مورد نظر، طبقات ارتفاعی ۶۰۰-۸۰۰ متری و ۱۵۰۰-۱۸۰۰ متری با شیب متوسط ۱۵ تا ۴۵٪ و جهت دامنه شمالی بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و در محیط GIS جداسازی گردید. قطعات نمونه به ابعاد ۳۰×۳۰ متر مربعی به روش تصادفی در تابستان ۱۳۹۵ در مناطق تحقیق پیاده و مختصات هر پلات توسط دستگاه GPS ثبت گردید (جدول ۱). در هر پلات، ارتفاع کل درخت، قطر برابر سینه، قطر تاج در دو جهت عمود بر هم، ارتفاع شروع تاج و درصد شاخ و برگ برای همه عناصر درختی موجود اندازه گیری شد. برای محاسبه بیوماس رو زمینی درختی از روش روابط آلومتری پیشنهادی Ponce-Hernandez و همکاران (۲۰۰۴) استفاده گردید (۲۱). به این منظور، محاسبات بیوماس درختی بر اساس مورفولوژی درختان به دو بخش تنه و تاج تقسیم بندی شد

(۲۲) (جدول ۲). برای محاسبه بیوماس تنه، در ابتدا حجم تنه ( $V_s$ ) و سطح رویه زمینی (BA) هر درخت به دست آمد (روابط ۱ و ۲). ضریب شکل درخت ( $F_{fa}$ ) در جنگل های هیرکانی و بر اساس معماری هر گونه به طور متوسط ۰/۵ در نظر گرفته شده است (۲۲). ضریب تصحیح (CF) به سهم شاخ و برگ از حجم تاج بر می گردد، با ایستادن در زیر تاج هر درخت، در کنار تنه و برآورد سهم آن به صورت عینی از کل ساختار تاج هر درخت محاسبه شد (۲۳). برای محاسبه بیوماس کل درخت (تاج و تنه) به کیلوگرم از رابطه ۵ استفاده شد.  $WD_k$  چگالی ویژه چوب بوده که در این مطالعه به وسیله نمونه گیری از درختان و رابطه وزن خشک (gr) به حجم تر ( $cm^3$ ) نمونه های مربوط به هر گونه به دست آمد (۲۴). در نهایت مقادیر به دست آمده بیوماس روزمینی در پلات های نمونه گیری جمع و به واحد تن در هکتار (Mg/ha) بر پایه اندازه پلات ها تبدیل شد (۱۶) (جدول ۲).

جدول ۱- شماره پارسل، تعداد قطعه نمونه، میانگین ارتفاع، میانگین دما، نوع اقلیم و مقادیر محاسبه شده در رابطه با

## بیوماس

Table 1. Parcel number, sample number, average altitude, mean temperature, type of climate and estimated values of biomass

شماره پارسل	تعداد پلاتها	متوسط ارتفاع از سطح دریا	بارش (میلی متر)	متوسط دمای سالانه (سانتی گراد)	نوع اقلیم	بیوماس روزمینی (Mg/ha)
۱	۲۸	۱۵۰۰	۱۵۰۰	۱۵-۱۲/۵	مرطوب	۵۲۷
۲	۲۰	۷۲۵	۱۳۰۰	۲۰-۱۵	مرطوب	۴۳۴
۳	۳۲	۱۵۳۰	۱۰۰۰	۱۵-۱۲/۵	نیمه مرطوب، مرطوب	۳۹۳
۴	۲۴	۶۰۰	۸۰۰	۲۰-۱۵	نیمه مرطوب، مرطوب	۲۲۴
۵	۲۰	۱۶۵۰	۶۰۰	۱۵-۱۲/۵	نیمه مرطوب، نیمه خشک	۲۶۸
۶	۱۶	۷۵۰	۵۰۰	۲۰-۱۵	نیمه مرطوب، نیمه خشک	۱۹۱

## جدول ۲- روابط محاسبه بیوماس روزمینی

Table 2. Equations to the estimated of aboveground biomass

منبع	رابطه	پارامتر	ردیف
(Vahedi et al.) (۲۰۱۶)	$BA = \left(\frac{\pi}{4}\right) \times DBH^2$	سطح رویه زمینی	۱
(Vahedi et al.) (۲۰۱۶)	$V_s = BA \times h \times F_{fa}$	حجم تنه	۲
Ponce-Hernandez et al. (۲۰۰۴)	$V_c = [\pi \times Dd^2 / 12] \times CF$	حجم تاج	۳
(Henry et al.) (۲۰۱۶)	$WD_k = \frac{M_{wk}}{V_{wk}}$	چگالی ویژه	۴
(Ponce-Hernandez et al.) (۲۰۰۴)	$B = 1000 \times WD \times (V_c + V_s)$	بیوماس کل درخت	۵

BA: سطح رویه زمینی DBH: قطر برابر سینه  $V_s$ : حجم تنه h: ارتفاع درخت  $F_{fa}$ : ضریب شکل درخت  $V_c$ : حجم تاج CF: ضریب تصحیح  $Dd = (L + W)/2$ : متوسط قطر تاج L: طول تاج W: عرض تاج  $WD_k$ : چگالی ویژه چوب  $M_{wk}$ : وزن خشک  $V_{wk}$ : حجم تر B: بیوماس کل تاج و تنه

## اطلاعات سنجش از دوری و پیش پردازش تصاویر

پس از اندازه‌گیری‌های زمینی، گام بعدی در این پژوهش تهیه تصاویر ماهواره‌ای می‌باشد. در این مطالعه ماهواره SPOT6 برای اولین بار انتخاب و مورد استفاده قرار گرفته است. این ماهواره جزو ماهواره‌های با توان تفکیک بالا با سنجنده‌ای با نام NAOMI می‌باشد. ماهواره دارای ۱ باند پانکروماتیک با طول موج ۰/۷۴۵-۰/۴۵۰  $\mu m$  با توان تفکیک ۱/۵ متر و ۴ باند رنگی آبی، قرمز، سبز و مادون قرمز نزدیک به ترتیب دارای طول موج‌های ۰/۵۲۵-۰/۴۵۵  $\mu m$ ، ۰/۵۹۰-۰/۵۳۰  $\mu m$ ، ۰/۶۹۵-۰/۶۲۵  $\mu m$  و ۰/۸۹۰-۰/۷۶۰  $\mu m$ ، با توان تفکیک ۶ متری می‌باشد (۲۵). تصاویر انتخاب شده از نظر زمانی منطبق با آماربرداری زمینی و برای مناطق تحقیق اسالم، سردآبرود و کردکوی به ترتیب در تاریخهای ۱۳، ۲۰ و ۱۵ آگوست ۲۰۱۶ بودند. تصحیح هندسی تصاویر با استفاده از مدل رقومی زمین منطقه که از نقشه پایه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ با دقت ارتفاعی ۱۰ متر استخراج گردید و تعدادی نقاط کنترل زمینی بر پایه روش Image to Map در محیط نرم افزار ENVI 5.1 انجام شد (۲۶ و ۲۷).

## پردازش تصاویر

شاخص‌های گیاهی به عنوان مهم‌ترین انواع پردازش بر روی تصاویر، تبدیلات ریاضی هستند که بر اساس باندهای مختلف سنجنده‌ها تعریف شده و برای ارزیابی و بررسی مشخصات

بیوفیزیکی گیاهان در مشاهدات ماهواره ای چند طیفی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲۸ و ۲۹). شاخص‌های پوشش گیاهی استفاده شده در این مطالعه NDVI (۳۲)، RVI (۳۳) و TVI (۳۴) می‌باشند. رابطه بین مقادیر بیوماس روزمینی حاصل از اطلاعات زمینی به عنوان متغیر وابسته و شاخص‌های مختلف محاسبه شده بر مبنای نسبت‌گیری طیفی از تصاویر به عنوان متغیر مستقل، به وسیله مدل‌های رگرسیونی محاسبه گردید (۶، ۱۰، ۱۷، ۳۰ و ۳۱). تمام پیکسل‌های درون هر پلات انتخاب و یک مقدار متوسط از مقادیر شاخص‌ها در هر پلات برای هر ۳ شاخص با متوسط‌گیری به دست آمد (۱۷). برای ایجاد بهترین مدل رگرسیونی  $R^2$ ، R، RMSE و مقادیر P-value محاسبه شدند. مدلی که بیشترین  $R^2$  و کمترین RMSE را دارد به عنوان بهترین مدل انتخاب شد (۹ و ۱۸).

## یافته‌ها

## تحلیل رگرسیونی رابطه بین بیوماس و شاخص‌های پوشش گیاهی

بررسی نتایج نشان داد بهترین رابطه رگرسیونی مربوط به متغیرهای تحقیق، یک رابطه خطی بوده و این روابط دارای بیشترین میزان  $R^2$  و بیشترین سطح معنی‌داری نسبت به سایر روابط بودند. بیشترین سطح معنی‌داری و همچنین  $R^2$  مربوط به شاخص NDVI و پس از آن شاخص RVI و کمترین این

مقدار به مراتب کمتری وابسته به تغییرات شاخص های RVI و TVI است (جدول ۳). همچنین بر اساس نتایج، بیشترین ضریب  $R^2$  محاسبه شده شاخص NDVI و میزان بیوماس روزمینی مربوط به روابط رگرسیونی محاسبه شده در بخش ارتفاعی میان بند کردکوی بوده است (جدول ۳ ردیف ۶). در رابطه با شاخص RVI بالاترین مقدار این ضریب در بالابند کردکوی دیده شده است (جدول ۳ ردیف ۵) و برای شاخص TVI بیشترین مقدار ضریب محاسبه شده در میان بند اسالم بوده است (جدول ۳ ردیف ۲).

میزان مربوط به شاخص TVI بوده است. سطح معنی داری بالای شاخص NDVI و مقادیر بیوماس روزمینی در همه مناطق مورد مطالعه بیانگر این مطلب است که بین شاخص NDVI و مقادیر بیوماس روزمینی یک رابطه مثبت قوی وجود دارد. بر اساس نتایج برای شاخص NDVI دامنه ضریب  $R^2$  در پارسل های مختلف بین ۰/۵۶ تا ۰/۶۲ بوده و بنابراین می توان بیان کرد بین ۰/۵۶ تا ۰/۶۲ تغییرات بیوماس روزمینی به شاخص NDVI وابسته است. در رابطه با سایر شاخص های پوشش گیاهی بررسی شده نتایج نشان داد که در این شاخص ها میزان  $R^2$  کمتر از ۰/۵۰ است. بنابراین تغییرات بیوماس روزمینی به

جدول ۳- روابط رگرسیونی،  $R^2$ ، R، RMSE و سطح معنی داری متغیرهای تحقیق در مناطق مورد مطالعه ( $p^*$  سطح معنی داری ۰/۰۵ و  $p^{**}$  سطح معنی داری ۰/۰۱)

Table 3. Regression models,  $R^2$ , R, RMSE and significance level of research variables at regions (Significance level  $p^* = 0/05$   $p^{**} = 0/01$ )

شماره پارسل	نام منطقه	شاخص پوشش گیاهی	مدل رگرسیونی	$R^2$	R	p	RMSE
۱	اسالم بالابند	NDVI	$\text{Log AGB} = 2/62x + 1/74$	۰/۵۶	۰/۷۵	** ۰/۰۰۰	۰/۰۸
		TVI	$\text{Log AGB} = 5/64x - 2/60$	۰/۲۵	۰/۵۰	۰/۰۶	۰/۰۱۳
		RVI	$\text{Log AGB} = -2/01x + 3/64$	۰/۳۳	۰/۵۷	** ۰/۰۱	۰/۰۱۲
۲	اسالم میان بند	NDVI	$\text{Log AGB} = 3/01x + 1/58$	۰/۵۸	۰/۷۶	** ۰/۰۰۰	۰/۰۰۵
		TVI	$\text{Log AGB} = 3/90x - 0/90$	۰/۳۵	۰/۶۰	۰/۰۶	۰/۰۰۷
		RVI	$\text{Log AGB} = -1/90x + 3/64$	۰/۲۱	۰/۴۶	* ۰/۰۴۴	۰/۰۰۹
۳	سردآبرود بالابند	NDVI	$\text{Log AGB} = 2/35x + 1/51$	۰/۵۷	۰/۷۵	** ۰/۰۰۰	۰/۰۰۳
		TVI	$\text{Log AGB} = 3/00x - 0/23$	۰/۲۸	۰/۵۲	* ۰/۰۲	۰/۰۰۶
		RVI	$\text{Log AGB} = -1/74x + 3/31$	۰/۳۸	۰/۶۱	** ۰/۰۰۰	۰/۰۰۵
۴	سردآبرود میان بند	NDVI	$\text{Log AGB} = 1/63x + 1/82$	۰/۵۸	۰/۷۶	** ۰/۰۰۰	۰/۰۰۷
		TVI	$\text{Log AGB} = 1/95x + 0/68$	۰/۳۱	۰/۵۵	* ۰/۰۵	۰/۰۱۱
		RVI	$\text{Log AGB} = -2/22x + 3/42$	۰/۳۵	۰/۶۰	* ۰/۰۲	۰/۰۱۰
۵	کردکوی بالابند	NDVI	$\text{Log AGB} = 1/94x + 1/55$	۰/۵۹	۰/۷۷	** ۰/۰۰۰	۰/۰۰۴
		TVI	$\text{Log AGB} = 2/77x - 0/26$	۰/۲۹	۰/۵۴	* ۰/۰۱۶	۰/۰۰۷
		RVI	$\text{Log AGB} = -2/37x + 3/27$	۰/۴۰	۰/۶۳	** ۰/۰۰۳	۰/۰۰۶
۶	کردکوی میان بند	NDVI	$\text{Log AGB} = 1/59x + 1/76$	۰/۶۲	۰/۷۹	** ۰/۰۰۰	۰/۰۰۲
		TVI	$\text{Log AGB} = 2/84x - 0/27$	۰/۳۴	۰/۵۸	* ۰/۰۱۷	۰/۰۰۴
		RVI	$\text{Log AGB} = -1/41x + 3/02$	۰/۳۷	۰/۶۱	* ۰/۰۱۱	۰/۰۰۳

## انتخاب مطلوب‌ترین مدل رگرسیونی برآورد بیوماس

به منظور برآورد بیوماس روزمینی در سطح پارسل‌های هدف بر اساس ضریب  $R^2$  و سطح معنی‌داری رابطه رگرسیونی، مطلوب‌ترین شاخص‌ها که در همه مناطق شاخص NDVI بود، به منظور محاسبه و نقشه‌سازی بیوماس روزمینی انتخاب شد (شکل ۲). پس از انتخاب مطلوب‌ترین روابط رگرسیونی، شاخص NDVI به عنوان متغیر مستقل وارد معادله شده و

معادله لگاریتم بیوماس روزمینی (Log AGB) ساخته شد (جدول ۴). در نهایت نقشه بیوماس روزمینی بر حسب تن در هکتار (Mg/ha) بر اساس این روابط ساخته شد (شکل ۳). بر اساس نتایج به دست آمده بیشترین متوسط بیوماس روزمینی برآورد شده در مناطق مربوط به محدوده بالابند و میان‌بند منطقه اسالم بوده است (شکل ۳).

## جدول ۴- مطلوب‌ترین روابط رگرسیونی بین بیوماس روزمینی و NDVI - محاسبه بیوماس روزمینی بر حسب تن در

هکتار (Mg/ha)

Table 4. The best fit regression models between above ground biomass and NDVI - Estimation of above ground biomass (Mg / ha)

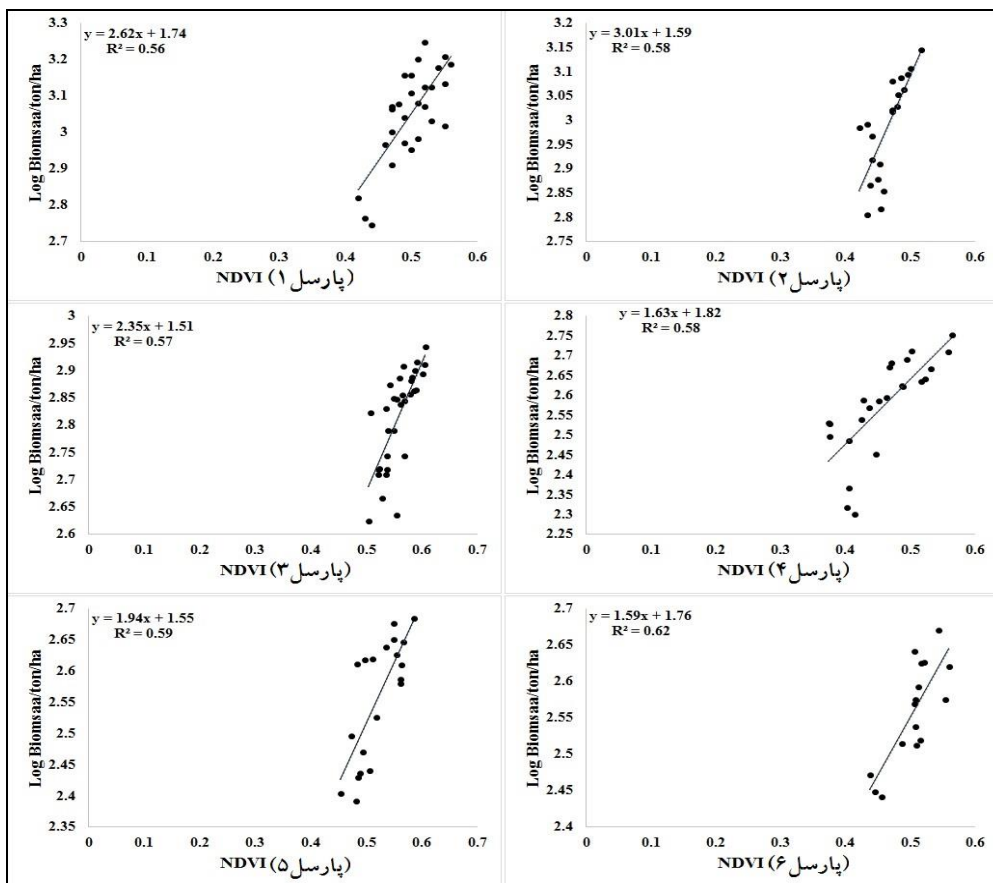
شماره پارسل	نام منطقه	شاخص گیاهی	مدل رگرسیونی
۱	اسالم بالابند	NDVI	$\text{Log AGB} = ۲/۶۲x + ۱/۷۴$
۲	اسالم میان بند	NDVI	$\text{Log AGB} = ۳/۰۱x + ۱/۵۸$
۳	سردآبرود بالابند	NDVI	$\text{Log AGB} = ۲/۳۵x + ۱/۵۱$
۴	سردآبرود میان بند	NDVI	$\text{Log AGB} = ۱/۶۳x + ۱/۸۲$
۵	کردکوی بالابند	NDVI	$\text{Log AGB} = ۱/۹۴x + ۱/۵۵$
۶	کردکوی میان بند	NDVI	$\text{Log AGB} = ۱/۵۹x + ۱/۷۶$

## بحث و نتیجه‌گیری

بر مبنای نتایج به دست آمده در مطالعه بیشترین میزان بیوماس در غرب (بالابند اسالم) محاسبه گردید و میزان برآورد شده در رابطه با بیوماس روزمینی از شرق به غرب افزایش داشته است. در بسیاری از مطالعات انجام گرفته در رابطه با میزان بیوماس و نرخ رویش جنگل‌های هیرکانی شمال ایران نتایج نشان داده است که از شرق به غرب این جنگل‌ها پارامترهای اکولوژیکی و اقلیمی دچار نوسانات چشمگیری می‌شوند (۱۹) و بخش‌های غربی دارای نرخ رویش و تنوع زیستی بالاتری نسبت به بخش‌های شرقی می‌باشند (۳۵). علاوه بر آن، میزان بیوماس روزمینی برآورد شده در سطح همه مناطق در ارتفاعات بالابند بیشتر از ارتفاعات میان‌بند بوده است. این امر

حاکمی از آن است که عامل ارتفاع دارای اثری محسوس بر میزان بیوماس روزمینی می‌باشد. این موضوع را می‌توان به تغییرات شرایط اکولوژیک در طول گرادیان ارتفاعی به خصوص تغییرات اقلیمی دما و بارش و به دنبال آن تغییرات گونه و ساختار جنگل‌های هیرکانی نسبت داد. همچنین بر مبنای مطالعات و طرح‌های انجام گرفته، نرخ تخریب انسانی و حضور دام در میان‌بند این جنگل‌ها بیشتر از ارتفاعات بالابند است (۳۶). این در حالی است که یکسری از مطالعات نتایج متفاوت و یا معکوسی از رابطه بیوماس روزمینی با ارتفاع را در جنگل‌های کوهستانی مناطق تروپیکال نشان می‌دهد (۳۷).

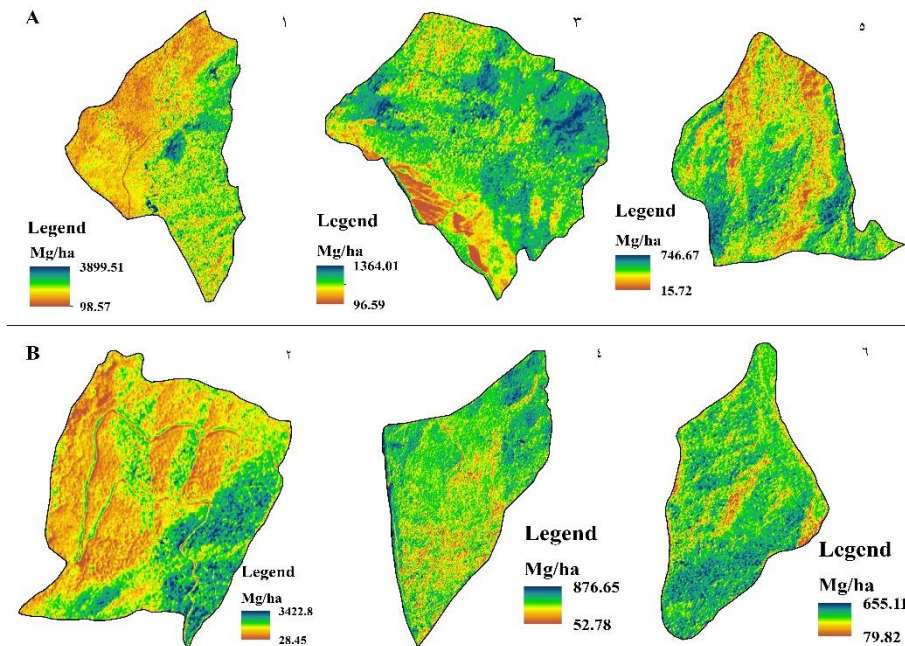




شکل ۲- مطلوب ترین مدل های رگرسیونی بین بیوماس و شاخص های پوشش گیاهی در سطح مناطق مطالعه  
 Figure 2. The best fit regression models between biomass and vegetation indices at the study regions

بیوماس روزمینی انتخاب گردیده است. نتایج Clerici و همکاران (۲۰۱۶) تایید می کند که شاخص های استفاده شده در تحقیق حاضر از جمله شاخص RVI با بیشترین ضریب  $R^2$  مطلوب ترین شاخص ها برای مطالعه بیوماس در عرصه های با پوشش نسبتاً مناسب بوده است (۱۷). مطالعه Kumar و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که شاخص های SAVI، EVI و RVI در مقایسه با NDVI رابطه قویتری را نشان داده اند (۱۲). در حالی که مطالعه Günlü و همکاران (۲۰۱۴) نیز نشان داد که به طور کلی مدل سازی بیوماس با شاخص پوشش گیاهی EVI در مقایسه با تک باندهای ماهواره لندست و شاخص NDVI، نتایج موفق تری داشته است (۱۶). نتایج مطالعه Devagiri و همکاران (۲۰۱۳) و Zhou و همکاران (۲۰۱۳) نیز همسو با نتایج این تحقیق بوده است (۸ و ۱۸).

برآورد و نقشه سازی بیوماس رو زمینی در عرصه های جنگلی اهداف مختلفی انجام دارد. عمده ترین دلیل در این مورد شناسایی مناطق جنگلی حساس و مستعد حفاظت است. از آنجا که در مطالعه بیوماس روزمینی پارامترهای مختلفی از عناصر درختی اندازه گیری می شود، صرف هزینه و زمان زیاد به عنوان نقطه ضعف آماربرداری زمینی تلقی می گردد. بنابراین استفاده از تکنیک های سنجش از دوری، راه کاری مناسب در مورد مطالعه پوشش گیاهی می باشد (۱۱). مدل ها و روابط رگرسیونی بین بیوماس و شاخص های پوشش گیاهی به عنوان معمول ترین روش های مطالعه بیوماس در تکنیک های سنجش از دور شناخته می شوند (۱۰، ۱۲ و ۱۴). بر مبنای نتایج تحقیق در تمامی مناطق شاخص NDVI و پس از آن شاخص RVI در بین شاخص های انتخاب شده دارای مطلوب ترین رابطه با



شکل ۳- نقشه بیوماس روزمینی بر حسب تن در هکتار (Mg/ha) در سطح محدوده های تحقیق (A: بالابند، B: میان بند، ۱ و ۲: اسالم، ۳ و ۴: سردآبرود، ۵ و ۶: کردکوی)

Figure 3. Above ground biomass map in terms of (Mg/ha) at the research areas (A: high altitude, B: middle altitude, 1 and 2: Asalem, 3 and 4: Sardabrud, 5 and 6: Kurdkoy)

- function of terrestrial vegetation. *J. Plant Ecology*, 32:200-209.
- Sedjo, R., 1993. The carbon cycle and global forest ecosystem. *Water, air and soil pollution*, 70:295-307.
  - Amini, J., and Sadeghi, Y., 2012. Satellite and radar images in modeling of forest biomass in northern Iran. *J Remote Sensing and GIS Iran*, 4(4): 69-82. (In Persian)
  - Dong, J., Kaufmann, R.K., Myneni, R.B., Compton, J.T., Kauppi, P.E., Liski, J., Buermann, W., Alexeyev, V., Hughes, M.K., 2003. Remote sensing estimates of boreal and temperate forest woody biomass: carbon pools, sources, and sinks. *J. Remote Sensing of Environment*, 84: 393-410.
  - Lorenz, K., and Lal, R., 2010. Carbon sequestration in forest ecosystems. Springer Science & Business Media,

مهم‌ترین مسأله در مورد انتخاب شاخص‌های پوشش گیاهی، استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی مناسب به منظور برآورد بیوماس با توجه به شرایط اقلیمی و پوشش زمین می‌باشد. در این تحقیق نیز با در نظر گرفتن ویژگی‌های منطقه تحقیق و مقایسه با سایر مطالعات انجام شده در این مورد، مناسب‌ترین شاخص‌ها به منظور برآورد بیوماس با توجه به روابط رگرسیونی انتخاب گردید. در نهایت نتایج نشان داد که تصاویر ماهواره ای مورد نظر نتایج رضایت بخشی از مدل سازی بیوماس روزمینی در جنگل های هیرکانی فراهم ساخته و برآوردهای سنجش از دوری به منظور برآورد سریع و قابل قبول بیوماس در این جنگل ها با استفاده از شاخص‌های پوشش گیاهی انتخابی این مطالعه، می تواند روشی مطلوب و کم هزینه به منظور مدیریت و حفاظت این جنگل های ارزشمند باشد.

## Reference

- Li, X.Y., and Tang, H.P., 2006. Carbon sequestration: manners suitable for carbon trade in China and

- images. *Journal of Remote Sensing*, 7:12192-12214.
12. Kumar, K., Nagai, M., Witayangkurn, A., Kritiyutanant, K., Nakamura, S., 2016. Above ground biomass assessment from combined optical and SAR remote sensing data in Surat Thani province, Thailand. *Journal of Geographic Information System*, 8: 506-516.
  13. Kalbi, S., Fallah, A., Shataei Joybari, Sh., 2014. Estimation of forest biophysical properties using SPOT HRG data (Case Study: Darabkola Experimental Forest). *J. of Wood & Forest Science and Technology*, 20(4): 117-133. (In Persian)
  14. Yan, F., Wu, B., Wang, Y., 2013. Estimating aboveground biomass in Mu Us Sandy Land using Landsat spectral derived vegetation indices over the past 30 years. *Journal of Arid Land*, 5(4): 521-530.
  15. Dimitrov, P., and Roumenina, E.K., 2013. Combining SPOT 5 imagery with plotwise and standwise forest data to estimate volume and biomass in mountainous coniferous site. *Central European Journal of Geosciences*, 5(2): 208-222.
  16. Günlü, A., Ercanlı, I., Başkent, E.Z., Çakır, G., 2014. Estimating aboveground biomass using Landsat TM imagery: A case study of Anatolian Crimean pine forests in Turkey. *Annals of Forest Research*, 57(2): 289-298.
  17. Clerici, N., Rubiano, K., Abd-Elrahman, A., Posada Hoestettler, J.M., Escobedo, F.J., 2016. Estimating aboveground biomass and carbon stocks in periurban Andean secondary forests using very high resolution Azar 4, 1388 AP - Science press; 277p.
  6. Vafaei, S., Soosani, J., Adeli, K., Fadaei, H., Naghavi, H., 2017. Estimation of aboveground biomass using optical and radar images (Case study: Nav-e Asalem forests, Gilan). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 25(2): 320-331. (In Persian)
  7. Vashum, K.T., Jayakumar, S., 2012. Methods to estimate above-ground biomass and carbon stock in natural forests - A Review. *J Ecosyst Ecogr*, 2(4), P.7.
  8. Devagiri, G.M., Money, S., Singh, S., Dadhawal, V.K., Patil, P., Khaple, A., Devakumar, A.S., Hubballi, S., 2013. Assessment of above ground biomass and carbon pool in different vegetation types of south western part of Karnataka, India using spectral modeling. *Journal of Tropical Ecology*, 54(2):149-165.
  9. Sabbaghzadeh, S., Zare, M., Mokhtari, M.H., 2009. Biomass Estimation Using Landsat Satellite Images (Case Study: Merck Basin, Birjand). *J. Pasture and Watershed Management*, 69(4): 907-920. (In Persian)
  10. Hosseini, S.Z., Abbasi, M., Bakhtiarvand, S., Salehi, M., 2015. Proper models to estimate aboveground biomass using Quickbird satellite imagery in plantation areas of Isfahan's Mobarakeh Steel Company. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 23(1):143-153. (In Persian)
  11. Zhu, Y., Liu, K., Liu, L., Wang, S., Liu, H., 2015. Retrieval of mangrove aboveground biomass at the individual species level with WorldView-2

- Africa. Forest Ecology and Management. 260:1375-1388.
25. (www.astrium.geo.com), 2013. Spot6 & Spot7 imagery user guid. Astrium and EADS company, July 2013, SI/DC/13034-v1, 0.
  26. Aricak, B., Bulut, A., Altunel, A.O., Sakici, O.E., 2015. Estimating above-ground carbon biomass using satellite image reflection values: A case study in camyazi forest directorate, Turkey. Journal of the Forestry Society of Croatia, 139(7-8): 369-376.
  27. Zahriban, M., Fallah, A., Shataee, Sh., and Kalbi, S., 2015. Estimating quantitative forest attributes using Pleiades satellite data and non-parametric algorithms in Darabkola forests, Mazandaran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 23(3): 465-477. (In Persian)
  28. Abdolahi H, and Shataee Joybari Sh, 2012, Comparative evaluation of IRS-P6-LISS-III and LISS IV Images for canopy cover mapping of Zagros forests (Case Study: Javanroud Forests) J. of Wood & Forest Science and Technology, 19(1):43-60. (In Persian)
  29. Kalbi, S., Fallah, A., Shataee, SH., Oladi, D., 2013. Estimation of Forest Structural Attributes Using ASTER Data. Iranian Journal of Natural Resources, 65(4): 461-474. (In Persian)
  30. Noorian, N., Shataee-Jouibary, SH., Mohammadi, J., 2016. Assessment of Different Remote Sensing Data for Forest Structural Attributes Estimation in the Hyrcanian Forests. Journal of Forest Systems, 25(3), p.19.
  31. Wang, X., Shao, G., Chen, H., Lewis, B.J., Qi, G., Yu, D., Zhou, L., Dai, L., 2013. An Application Data in Mapping imagery. Journal of Forests, 7(138), p.17.
  18. Zhou, J.J., Zhao, Zh., Zhao, Q., Zhao, J., Wang, H., 2013. Quantification of aboveground forest biomass using Quickbird imagery, topographic variables, and field data. Journal of Applied Remote Sensing, 7(1), 17p.
  19. Marvi-Mohajer M.R., 2005 , Silviculture. Tehran, university of Tehran press, 387p. (In Persian)
  20. B M U F M F C B C H F L, 2016. Building a Multiple-Use Forest Management Framework to Conserve Biodiversity in the Caspian Hyrcanian Forest Landscape. Caspian Hyrcanian Forest Project Empowered Communities Sustainable Forest, Global Heritage. Faculty of Natural Resources, University of Tehran, IRAN associated with UNDP, 236pp.
  21. Ponce-Hernandez, R., Koochafkan, P., Antoine, J., 2004. Assessing Carbon Stocks and Modelling Win-win Scenarios of Carbon Sequestration Through Land-use Changes. Rome. FAO.p.177.
  22. Namiranian, M., 2010. Measurement of tree and forest biometry. Tehran, university of Tehran press. 593 p. (In Persian)
  23. Vahedi, A.A., Bijani-Nejad, A.R., Djomo, A., 2016. Horizontal and vertical distribution of carbon stock in natural stands of Hyrcanian lowland forests: A case study, Nour Forest Park, Iran. Journal of Forest Science, 62(11): 501-510.
  24. Henry, M., Besnard, A., Asante, W.A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini R., Bernoux, M., Saint-André, L., 2010. Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of

35. Mohammadi, J., Shataee, S., Namiranian, M., Næsset, E., 2017. Modeling biophysical properties of broad-leaved stands in the hyrcanian forests of Iran using fused airborne laser scanner data and ultraCam-D images. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, 61:32–45.
36. Sefidi, K., Marvie Mohadjer, M.R., Mosandl, R., Copenheaver, C.A., 2011. Canopy gaps and regeneration in old-growth Oriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands, northern Iran. *Forest Ecology and Management*, 262: 1094–1099.
37. Girardin, C.A., Malhi, Y., Aragao, L.E., Mamani, M., Huaraca Huasco, W., Durand, L., Feeley, K.J., Rapp, J., SILVA-ESPEJO, J.E., Silman, M., Salinas, N., 2010. Net primary productivity allocation and cycling of carbon along a tropical forest elevational transect in the Peruvian Andes. *J Global Change Biology*, 16: 3176-3192.
38. Landscape-Level Forest Biomass for Monitoring the Effectiveness of forest policies in Northeastern China. *Environmental Management*, 52: 612–620.
32. Rouse, Jr.J., Haas, R.H., Schell, J.A., Deering, D.W., 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. *Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium. I: NASA, Washington, D.C., 1974, 309-317.p.*
33. Pearson, R.L., Miller, L.D., 1972. Remote mapping of standing crop biomass for estimation of the productivity of the shortgrass prairie, Pawnee National Grassland, Colorado. In: *International Symposium on Remote Sensing of the Environment*, 8., Ann Arbor. *Proceedings. Ann Arbor, USA, 2-6 October 1972.1355-1379. P.*
34. Perry, C.R., Lautenschlager, L.F., 1984. Functional equivalence of spectral vegetation indices. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 14:169-182.