

مدل سازی زیتوده جنگل های شاخه زاد بلوط غرب با استفاده از متریک های استخراج شده از داده های لایدار هوایی

فرزاد یآوری^۱

هرمز سهرابی^{۲*}

hsohrabi@modares.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۷/۶/۱۴

تاریخ دریافت: ۹۷/۲/۳

چکیده

زمینه و هدف: یکی از مهمترین داده های فعال سنجش از دوری برای استفاده در کمی کردن ویژگی های مختلف توده ها جنگلی داده های لایدار است. از جمله حوزه های فعال تحقیقاتی سنجش از دور، امکان سنجی برآورد زیتوده درختان با استفاده از متریک های مختلف داده های لایدار هوایی است.

روش بررسی: زیتوده درختان در ۱۲۷ قطعه نمونه مربعی به روش منظم تصادفی در دو منطقه کم تراکم و پرتراکم به ابعاد ۹۰۰ متر مربع برای اندازه گیری موجود در قطعات نمونه برداشت شد. داده های لایدار برای یافتن و حذف هر گونه خطا بررسی، DTM^۳، DSM^۴ و CHM^۵ از این داده ها استخراج و شاخص های آماری مختلف از ارتفاعی داده های لایدار برای هر قطعه نمونه استخراج شد. به منظور برآورد زیتوده رگرسیون گام به گام استفاده شد.

یافته ها: نتایج دقت متوسط برای برآورد زیتوده توسط داده های لایدار نشان داد به شکلی که مقدار ضریب تعیین و جذر میانگین مربعات خطا (بر حسب تن در هکتار) در برآورد زیتوده با داده های لایدار برای برگ، سرشاخه، شاخه، تنه و کل درخت در کل منطقه به ترتیب (۰/۵۸ و ۰/۲۸)، (۰/۵۴ و ۰/۲۳)، (۰/۶۸ و ۰/۳۵)، (۰/۶۸ و ۰/۵۳) و (۰/۶۵ و ۰/۶۹) بود.

بحث و نتیجه گیری: به دلیل خطای بالا در مشخص کردن نوک تاج درختان در توده های پهن برگ و مخصوصا توده های شاخه زاد به دلیل ارتفاع کم و شکل غیرهندسی تر، برآورد ارتفاع و سایر مشخصه ها در این توده ها با خطای زیادی همراه است. رسیدن به دقت های بالا مستلزم تحقیقات بیشتر است.

واژه های کلیدی: زی توده روی زمین، معادلات رگرسیونی، لایدار، تاج پوشش، جنگل شاخه زاد.

۱- دانش آموخته کارشناس ارشد، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- دانشیار، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. * (مسئول مکاتبات)

Modeling biomass of coppice Persian oak forests using metrics extracted from aerial laser scanner (LiDAR) data

Farzad Yavari¹

Hormoz Sohrabi^{2*}

hsohrabi@modares.ac.ir

Admission Date: September 5, 2018

Date Received: April 23, 2018

Abstract

Background and Objective: One of the most important active remotely sensed data for quantification of different attributes of forest stands is LiDAR data. A research hotspot in this subject is to estimate forest biomass using different LiDAR derived metrics.

Material and Methodology: Forest biomass was measured in 127 systematically designed 900-meter square rectangular plots in two different sites (dense and sparse sites). LiDAR data was inspected for any possible error. DTM, DSM, and CHM were extracted from LiDAR data and different metrics at plot level were calculated. For modeling, stepwise regression was applied.

Findings: Result showed a moderate precision for biomass estimation using LiDAR data in a way that the coefficient of determination and root mean square error (Ton/ha) for biomass estimation of leaves, twigs, branches, bole, and whole tree were 0.58-28, 0.54-23, 0.68-1.35, 0.68-1.53, .65-3.69, respectively.

Discussion and Conclusion: Due to high error of determination of tree tips in broadleaves forests especially in coppice stands which have low tree height with irregular shapes; the error of the estimation of tree height using LiDar data is high. Better results demand further researches.

Key words: Aboveground biomass, Regression equations, LiDAR, Crown Canopy, Coppice Forests.

1- MSc Graduated, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2- Associate Professor, Faculty of Natural Resources and Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. *(Corresponding author)

مقدمه

تهیه اطلاعات مرتبط با درختان از طریق عملیات میدانی مستلزم صرف زمان و هزینه‌های زیادی است و گسترده‌گی عمومی سطح جنگل‌ها، کوهستانی بودن عرصه‌ها و همچنین تغییرات شدید با فواصل زمانی کوتاه به کارگیری روش‌ها سنتی را با مشکلات اجرایی رو به رو ساخته است (۱). بنابراین همواره سعی می‌شود تا با استفاده از دستاوردهای حاصل شده در زمینه‌های مختلف علمی از روش‌های جایگزین با هزینه کمتر و با سطح دقت قابل قبول استفاده شود (۱). زیتوده یکی از مهم‌ترین مزایای درختان در اکوسیستم‌های جنگلی محسوب می‌شود که در اندام‌های مختلف درختان انجام می‌شود، افزایش ذخیره انرژی معادل افزایش زیتوده گیاهی، افزایش تولید، بهبود و حاصلخیزی خاک و افزایش ظرفیت نگهداری آب در خاک است (۲). یکی از متداول‌ترین روش‌ها در برآورد زی‌توده درختان جنگلی، استفاده از معادلات آلومتریک است (۳).

امروزه استفاده از سنجش از دور با کمک داده‌های محدود زمینی، تحولی شگرف در تدوین و بهره‌برداری از اطلاعات مربوط به زیتوده و اندوخته کربن جنگل ایجاد کرده است (۴). لایدار یکی از فنون سنجش از دور است که برای برآورد پارامترهای مختلف درختان سرپا و توده‌ها به ویژه زیتوده روی زمین مورد استفاده قرار می‌گیرد (۵). انعطاف‌پذیری هوایی لایدار همراه با سطح بالای دقت و صحت موضعی و تراکم نقطه‌ای آن سبب شده است که لایدار ابزاری مهم برای اندازه‌گیری طیف گسترده‌ای از پارامترهای درخت و جنگل باشد (۶). از جمله این اندازه‌گیری‌ها می‌توان به اندازه‌گیری ارتفاع Anderson و همکاران در سال ۲۰۰۶ (۷)؛ Naasset و همکاران در سال ۲۰۰۲ (۸)؛ Sexton و همکاران در سال ۲۰۰۹ (۹) با داده‌های لایدار اشاره کرد که در جنگل‌های سوزنی برگ انجام گرفته و ضریب تعیین برآورد ارتفاع را به ترتیب ۰/۸۰، ۰/۸۷ و ۰/۹۰ برآورد کردند، همچنین در بررسی برآورد زیتوده Lefsky و همکاران در سال ۲۰۰۲ (۱۰)؛ Li و همکاران در سال ۲۰۰۸ (۱۱)؛ VanAardat و همکاران در سال ۲۰۰۶ (۱۲)؛ Qi Chen و همکاران در سال ۲۰۱۲ (۱۳)؛

Takagi و همکاران در سال ۲۰۱۵ (۱۴)؛ Godwin و همکاران در سال ۲۰۱۵ (۱۵) با داده‌های لایدار در جنگل‌های سوزنی‌برگ و پهن‌برگ (عمدتاً سوزنی برگ) انجام دادند که ضریب تعیین برآورد زیتوده را به ترتیب ۰/۸۴، ۰/۸۸، ۰/۶۰، ۰/۸۳ و ۰/۷۸ گزارش دادند، در بررسی قابلیت داده‌های لایدار در برآورد حجم توده Naasset در سال ۲۰۰۲، در بررسی اندازه‌گیری پارامترهای جنگل را نظیر متوسط ارتفاع درختان، ارتفاع غالب، قطر متوسط، تعداد، سطح مقطع و حجم چوب را با ضریب تعیین ۰/۶۰ تا ۰/۹۷ برآورد کرد (۷)؛ همچنین Latifi و همکاران در سال ۲۰۱۰ در یک جنگل آمیخته به بررسی قابلیت چند روش سنجش از دوری نظیر جنگل تصادفی و نزدیکترین همسایه و الگوریتم GA پرداختند، نتایج پژوهش نشان داد که الگوریتم GA و نزدیکترین همسایه دقتی مشابه را در برآورد حجم دارند و روش جنگل تصادفی از دو روش قبلی برآورد دقیق‌تری را انجام می‌دهد (۱۶) و در بررسی سطح برگ Lefsky و همکاران در سال ۲۰۰۵ (۱۷)؛ Morsdorf و همکاران، ۲۰۰۶، نشان دادند با داده‌های لایدار می‌توان میزان شاخص سطح برگ موجود در جنگل را به ترتیب با ضریب تعیین ۰/۹۲ و ۰/۷۰ اندازه گرفت (۱۸). تحقیقات بسیار زیادی در سرتاسر دنیا برای ارزیابی کاربردهای مختلف داده‌های لایدار در برآورد متغیرهای مختلف درختان سرپا در سطح تک درخت و توده صورت گرفته است. نتایج حاصل از تمامی مطالعاتی که در این تحقیق به آنها اشاره شده است، بیان‌کننده بهبود دقت و کاهش مقدار جذر میانگین مربعات خطا به هنگام استفاده از داده‌های لایدار در مقایسه با داده‌های ماهواره‌ای است. با این وجود سعی بر آن است که با استفاده از روش‌های مناسب مانند استفاده همزمان از اطلاعات ارتفاعی داده‌های لایدار با استفاده از مدل‌های رگرسیونی، روابط متغیرهای موجودی جنگل و داده‌های لایدار را به دست آورد (۱۹). تحقیق حاضر نیز به منظور بررسی توانایی داده‌های لایدار در برآورد زیتوده درخت و اجزاء آن در منطقه جنگلی روستای بیشه واقع در شهرستان دورود-استان لرستان انجام گرفته است.

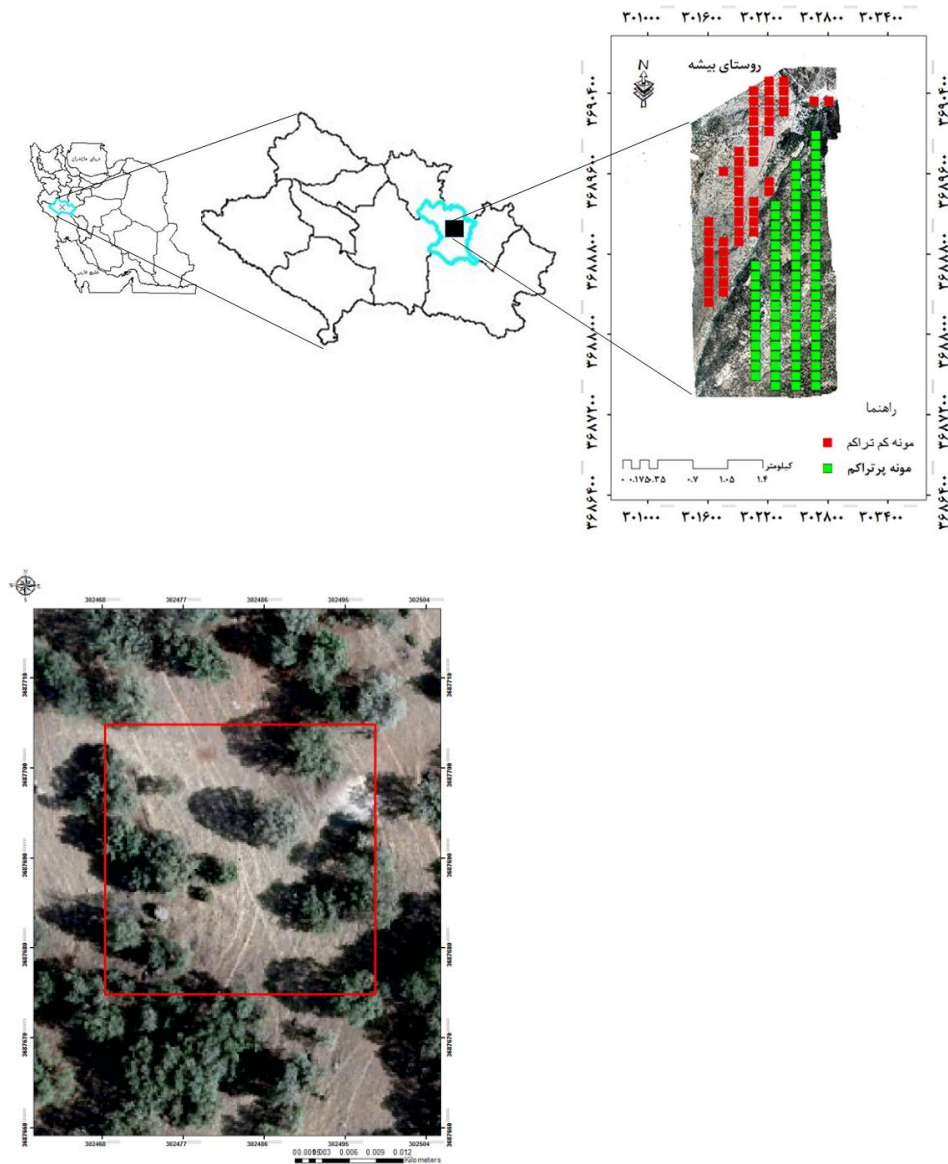
روش بررسی

تحقیق حاضر در شهرستان درود در استان لرستان با طول جغرافیایی ۳۳ درجه و ۱۹ دقیقه و ۵۳ ثانیه و عرض جغرافیایی ۴۸ درجه و ۵۲ دقیقه و ۲۶ ثانیه با ارتفاع متوسط ۱۶۰۰ متر از سطح دریا در دو رویشگاه جنگلی پرتراکم (۷۶ قطعه نمونه) و کم تراکم (۵۱ قطعه نمونه) انجام شد (شکل ۱). قطعه جنگلی پرتراکم واقع در قسمت جنوب غربی روستای بیشه و دارای درختانی بلند و پایه‌های مرغوب بود و قطعه کم-تراکم در قسمت شمال غربی روستای بیشه واقع شده بود. در مجموع، دو رویشگاه جنگلی مورد نظر ۱۲۰ هکتار مساحت داشت و رویشگاه‌های انتخاب شده مجموعه‌ای از پایه‌های دانه‌زاد و شاخه‌زاد را در بر می‌گرفت.

نمونه برداری زمینه با برداشت قطعات نمونه صورت گرفت و تعداد ۱۲۷ قطعه نمونه مربعی به مساحت ۹۰۰ مترمربع به روش منظم تصادفی در قالب شبکه آماربرداری منظم تصادفی به ابعاد ۲۰×۱۰ متر، در دو رویشگاه پرتراکم و کم تراکم مطابق شکل ۱ طراحی و برداشت شد. برای اندازه‌گیری قطر تاج از دستگاه متر لیزری و متر نواری و برای اندازه‌گیری ارتفاع درختان از دستگاه ورتکس لیزری (Vertex Laser) استفاده شد. پس از آماربرداری منطقه و استخراج داده‌های هر درخت و همچنین با توجه به وضعیت زاداوری درختان اندازه‌گیری شده با استفاده از معادلات آلومتریکی (۲۰) در سطح معنی داری ۰/۰۱ (جدول ۱) زیتوده اجزای مختلف درخت در سه سطح درخت و قطعه نمونه و منطقه (هکتار) برای درختان دانه‌زاد و شاخه‌زاد به صورت جداگانه محاسبه شد.

داده‌های لایدار مربوط به این تحقیق با تراکم پالس ۱/۶ در مترمربع توسط شرکت رایان نقشه با میانگین ارتفاع پرواز ۱۰۰۰ متر از سطح زمین در تاریخ ۲۰۱۱/۰۸/۱۱ برداشت گردید. مدل رقومی ارتفاعی زمین نقش مهمی در مدلسازی مشخصه‌های کمی ساختار جنگل دارد. امروزه تکنیک‌های مختلفی مانند نقشه‌برداری زمینی، فتوگرامتری، رادار و لایدار برای استخراج مدل رقومی ارتفاعی زمین وجود دارند. با توسعه چشمگیر فناوری لایدار در دهه گذشته توانایی این فناوری در تهیه مدل رقومی زمین در مقیاس بزرگ افزایش پیدا کرد (۲۱) و که با استفاده از الگوریتم (۲۲) و با استفاده از نرم افزار FUSION پس از حذف خطا لایه مربوط به Bare Earth Surface تهیه گردید و با استفاده از لایه سطح زمین بدون پوشش DTM (مدل رقومی سطح زمین) با اندازه پیکسل یک متر (۲۱) تهیه شد.

برای جدا کردن پالس‌های پالس‌های بازگشتی از سطح فوقانی تاج پوشش از پالس‌های زیر تاج پوشش و زمین و بدست آوردن ارتفاع تاج، به کارگیری یک حد آستانه ارتفاعی، لازم و ضروری است (۲۳) که این حد آستانه با توجه به شرایط پوشش درختی منطقه (۲۴) ۰/۵ متر در نظر گرفته شد. با کسر DSM از CHM، DTM به دست آمد. یک نمونه CHM (مدل رقومی ارتفاع تاج) برای یکی از قطعات نمونه در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل ۱- منطقه مورد مطالعه، چیدمان نمونه‌ها و یک قطعه نمونه برداشت شده در عرصه

Figure 1. The location of study area, sample plots, and an established plot

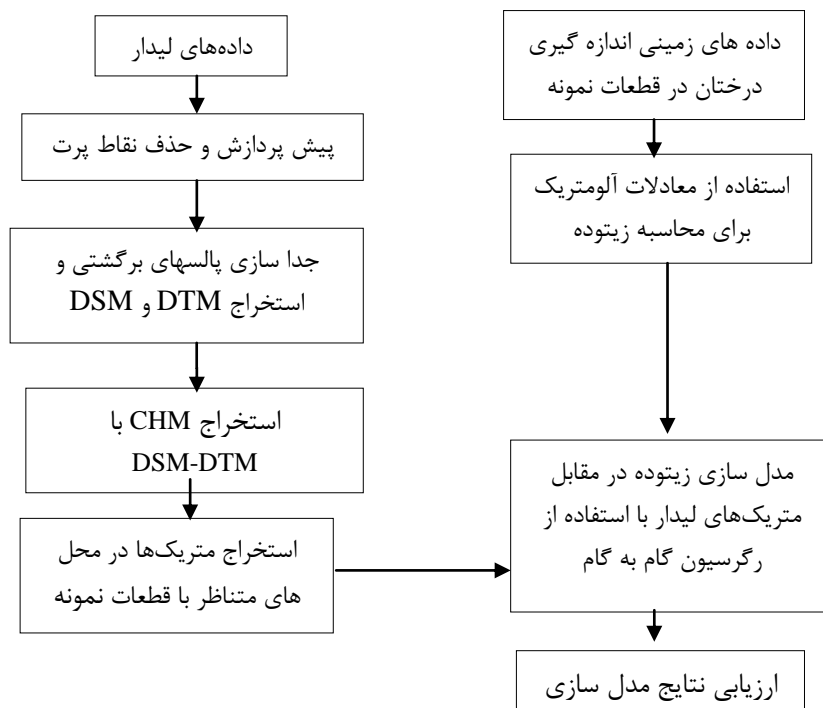
جدول ۱- مدل‌های آلومتریک مورد استفاده برای برآورد زیتوده روی‌زمینی بلوط ایرانی (ایرانمنش و همکاران، ۱۳۹۲)

Table 1. Allometric equations for the estimation of aboveground biomass of Persian oak tress (Iranmanesh et al., 2013)

فرم استاندارد		جست گروه		اجزاء درخت
معادله	R ² (adj)	معادله	R ² (adj)	
$Y = 0.060 \times x^{2.178}$	0.153	$Y = 0.1536 \times x^{1.688}$	0.181	برگ
$Y = 0.090 \times x^{2.054}$	0.159	$Y = 0.1694 \times x^{1.397}$	0.170	سرشاخه
$Y = 0.001 \times x^{4.690}$	0.186	$Y = 0.246 \times x^{2.514}$	0.175	شاخه فرعی

$Y = 0.002 \times x4/680$	۰/۸۲	$Y = 0.108 \times x3/281$	۰/۸۱	شاخه اصلی
$Y = 0.024 \times x3/478$	۰/۸۸	$Y = 0.314 \times x2/916$	۰/۹۰	تنه
$Y = 0.0004 \times x4/603$	۰/۸۹	$Y = 0.108 \times x2/574$	۰/۶۳	کنده
$Y = 0.32 \times x3/924$	۰/۸۹	$Y = 1/868 \times x2/487$	۰/۹۱	کل

شرح علایم: Y زیتوده اندام درخت به کیلوگرم، X ارتفاع کل درخت و $R^2_{(adj)}$ ضریب تعیین تطبیق یافته (Adjusted coefficient of determination) است.



شکل ۲- فلوجارت مراحل مختلف اجرای تحقیق

Figure 2. Flowchart of different stages of current research



شکل ۳- نمایش ابر نقاط مدل رقومی تاج در یکی از قطعات نمونه

Figure 3. An illustration of point cloud of canopy height model in one the sample plots

نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‌های آماری، ۳۰ درصد از داده‌ها در ۵ طبقه به صورت تصادفی انتخاب و بعنوان مجموعه داده‌های ارزیابی از کلیه تجزیه و تحلیل‌ها کنار گذاشته شد. با در اختیار داشتن مقادیر تخمینی، \hat{y}_i و مقدار واقعی زیتوده y_i با استفاده از معیارهای آماری مجذور میانگین مربعات خطا و ارزیابی به صورت مطلق و نسبی اعتبار مدل‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت (رابطه‌های ۱ و ۲ و ۳ و ۴).

$$RMSE = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}}{\sqrt{n}} \quad (1)$$

$$RMSE_r = \frac{RMSE}{\bar{y}} \quad (2)$$

$$Bias = \frac{\sum_{i=1}^n \hat{y}_i - y_i}{n} \quad (3)$$

$$Bias_r = \frac{Bias}{\bar{y}} \times 100 \quad (4)$$

همچنین برای شناسایی اعداد پرت از رسم باقیمانده‌ها در برابر مقادیر مشاهده شده (\hat{y}_i) استفاده شد.

با توجه به مدل رقومی تاج (ارتفاع تاج) بدست آمده، مشخصه‌های آماری ارتفاعی داده‌های لایدار، برای دو مجموعه داده پالس اول و پالس آخر، بطور جداگانه، با استفاده از CHM تولید شده مطابق با سطح قطعه نمونه تهیه شد. این مشخصه‌ها شامل:

الف) چندک‌های ارتفاعی: برای محاسبه این چندک‌ها، همه مقادیر ارتفاعی نقاط درون قطعات نمونه طبقه مرتب شد و مشخصه‌ها بر اساس موقعیت نقاط در هر طبقه (۱، ۵، ۱۰، ...، ۵۰، ۵۵، ۵۵) محاسبه گردید (جدول ۲).

ب) تمامی آماره‌های توصیفی ارتفاعی نقاط داده‌های لایدار در قطعه نمونه، شامل میانگین، بیشینه، حداقل، ضریب تغییرات، انحراف از معیار، مد، مدیان، چولگی و کشیدگی و غیره محاسبه شد.

اعتبار سنجی مدل‌ها به شیوه‌های مختلفی انجام می‌گیرد. در این تحقیق به منظور ارزیابی برازش مدل‌های رگرسیونی و

جدول ۲- مشخصه‌های آماری ارتفاعی استخراج شده از داده‌های لایدار

Table 2. Statistical indices derived from LiDAR data

توضیحات	مشخصه آماری	توضیحات	مشخصه آماری	توضیحات	مشخصه آماری
انحراف معیار ارتفاع	Hsd	میانگین ارتفاع	Hmean	صدک‌های ارتفاع	$hp5, \dots, hp90$
چولگی ارتفاع	Hskewnes	میانه ارتفاع نقاط	Hmed	بیشترین مقدار ارتفاع	Hmax
کشیدگی ارتفاع	Hkurtosis	دامنه تغییرات ارتفاع	Hrange	کمترین مقدار ارتفاع	Hmin

یافته‌ها

میانگین قطر تاج و ارتفاع درختان در سطح قطعه نمونه و در سطح توده (هکتار)، (جدول ۳) محاسبه شد.

بر اساس آماربرداری انجام شده از درختان بلوط ایرانی در ۱۲۷ قطعه نمونه مورد بررسی، ویژگی‌های توصیفی درختان تک پایه و شاخه‌زاد مشخص شد. در نهایت ویژگی‌های توصیفی نظیر

جدول ۳- اطلاعات توصیفی داده‌های زمینی درختان و توده‌های مورد بررسی

Table 3. Descriptive information for trees and stands in the study area

ویژگی‌های توده‌ها			ویژگی‌های درختان			تعداد نمونه	منطقه
زیتوده در هکتار (تن در هکتار)	تراکم پایه‌ها (تعداد در هکتار)	درصد تاج پوشش	زی توده (کیلوگرم)	ارتفاع	قطر تاج		
۱۲/۲۷ (۰/۸۴)	۱۲۹/۴۴ (۷/۰۶)	۱۳/۱۶ (۰/۷۳)	۹۴/۷۷ (۲/۴۳)	۴/۶۱ (۰/۰۵)	۳/۲۸ (۰/۰۵)	۷۶	پرتراکم
۶/۹۰ (۰/۶۲)	۱۳۸/۲۵ (۸/۹۷)	۷/۰۱ (۰/۵۳)	۵۴/۶۸ (۲/۹۰)	۳/۴۵ (۰/۰۶)	۲/۳۸ (۰/۰۴)	۵۱	کم تراکم
۱۰/۰۸ (۰/۶۰)	۱۳۲/۹۱۲ (۵/۵۴)	۱۰/۲۶ (۰/۵۵)	۷۸/۳۴۴ (۱/۹۲)	۴/۱۳ (۰/۰۴)	۲/۹۲ (۰/۰۳)	۱۲۷	کل

اعداد داخل پرانتز مقدار اشتباه معیار است

جدول ۴- نتایج مدل سازی زیتوده قسمت‌های درختان به تفکیک رویشگاه و کل منطقه

Table 4. Results of biomass modelling of different tree components in different sites

RMSE _r	RMSE	R ²	ضرایب مدل	منطقه	اجزاء درخت
۳۸/۴۹	۰/۳۰	۰/۵۷	(صدک ۱۰)	پرتراکم	برگ
۳۵/۴۳	۰/۲۰	۰/۶۲	(صدک ۳۰)	کم تراکم	
۴۱/۱۱	۰/۲۸	۰/۵۸	(صدک ۲۰)	کل	
۳۷/۱۶	۰/۲۵	۰/۵۴	(صدک ۱۰)	پرتراکم	سرشاخه
۳۷/۶۰	۰/۱۸	۰/۸۵	(صدک ۳۰)	کم تراکم	
۴۰/۹۴	۰/۲۳	۰/۵۴	(صدک ۲۰)	کل	
۴۴/۶۵	۱/۵۲	۰/۶۵	(صدک ۲۵، ضریب تغییرات)	پرتراکم	شاخه
۴۰/۴۶	۱/۰۷	۰/۵۹	(صدک ۵۰)	کم تراکم	
۴۵/۹۷	۱/۳۵	۰/۶۸	(صدک‌های ۲۵، ۹۰، ۵۰)	کل	
۴۲	۱/۷۲	۰/۶۴	(صدک ۲۵، ضریب تغییرات)	پرتراکم	تنه
۳۷/۶۴	۱/۲۰	۰/۶۰	(صدک ۵۰)	کم تراکم	
۴۳/۱۰	۱/۵۳	۰/۶۸	(صدک‌های ۲۵، ۹۰، ۵۰)	کل	
۳۲/۵۷	۴/۱۰	۰/۶۲	(صدک ۲۵)	پرتراکم	کل
۳۵/۴۹	۲/۶۵	۰/۶۴	(صدک ۳۰)S	کم تراکم	
۴۴/۴۷	۳/۶۹	۰/۶۵	(صدک ۲۵)	کل	

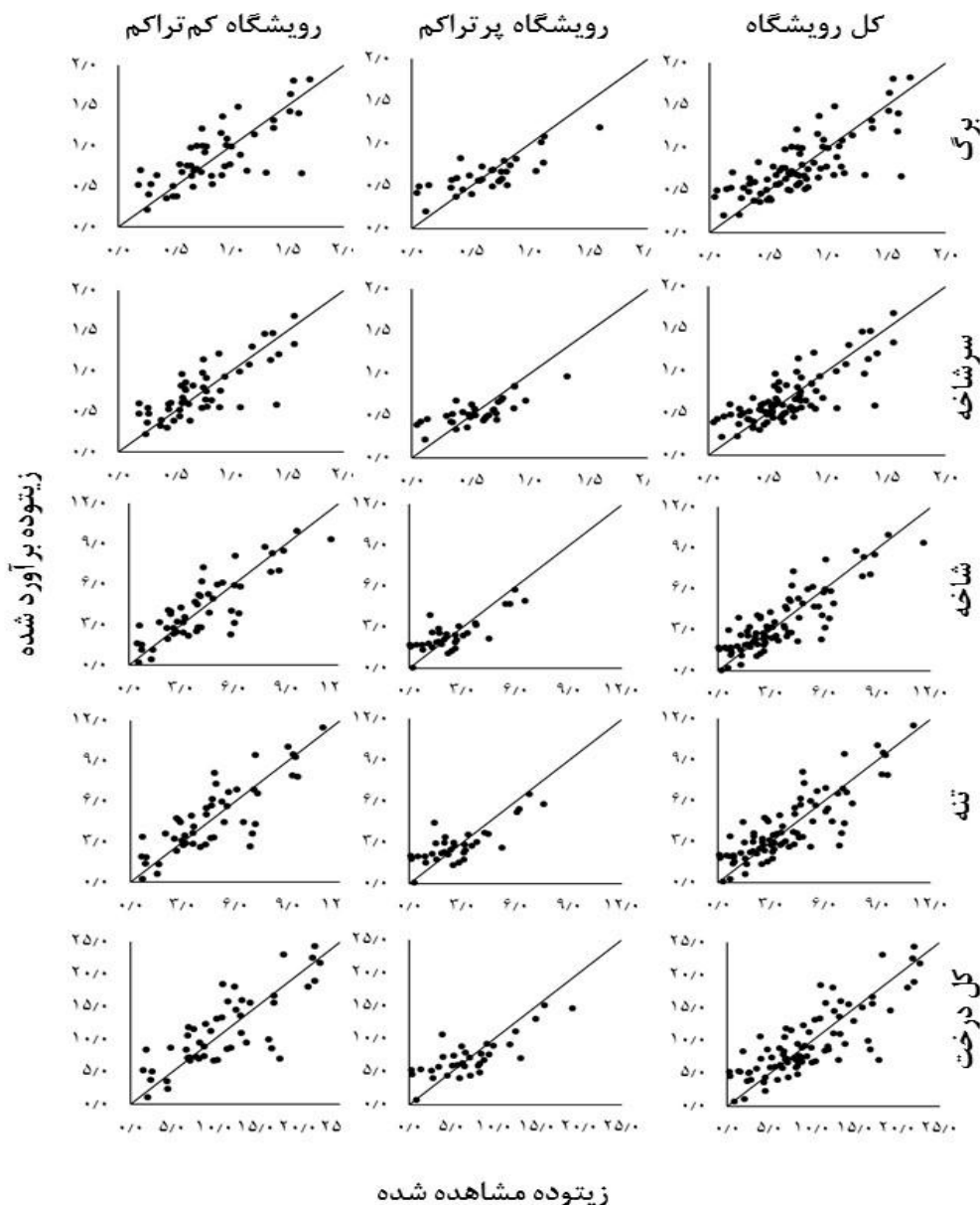
با معادلات آلومتریک برآورد زیتوده به عنوان متغیر وابسته (جدول ۲)، مقادیر ضریب تعیین برآورد زیتوده و جذر میانگین

بر اساس نتایج تحلیل رگرسیون بین آماره‌های استخراج شده از داده‌های لایدار به عنوان متغیر مستقل و زیتوده محاسبه شده

بدست آمد و در نهایت در بررسی مقدار پیش‌بینی شده مقادیر زیتوده در هکتار در مقابل مقادیر مشاهده شده (داده‌های آموزش) به تفکیک اجزا درخت و در رویشگاه‌های پرتراکم، کم-تراکم و کل منطقه (شکل ۴) نشان داد که پراکنش نقاط حول خط صفر به درستی و با دقت بالایی انجام گرفته است. نتایج احراز اعتبار مدل بدست آمده، حکایت از توانایی مناسب مدل برای برآورد زیتوده نمونه‌های جدید داشت. به طوری که درصد جذر میانگین مربعات خطای نسبی (شکل ۵) نشان می‌دهد که در رویشگاه‌های کم‌تراکم و پرتراکم در بررسی زیتوده تنه کمترین مقادیر درصد مجذور میانگین مربعات خطا مشاهده شد، همچنین در بررسی درصد اریبی (شکل ۶) برآورد زیتوده به تفکیک اجزاء و رویشگاه‌ها نشان داد که همانند پژوهش‌های Lim و همکاران در سال ۲۰۰۴ (۲۵)؛ Ya و همکاران در سال ۲۰۰۴ (۲۶)؛ Coops و همکاران در سال ۲۰۰۴ (۲۷) مقدار ارتفاع اندازه‌گیری زمینی در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری با لایدار (بجز در سه حالت رویشگاه کم‌تراکم و پرتراکم در بررسی زیتوده شاخه و رویشگاه پرتراکم بررسی زیتوده کل) دارای مقادیر اریبی و اریبی نسبی منفی است.

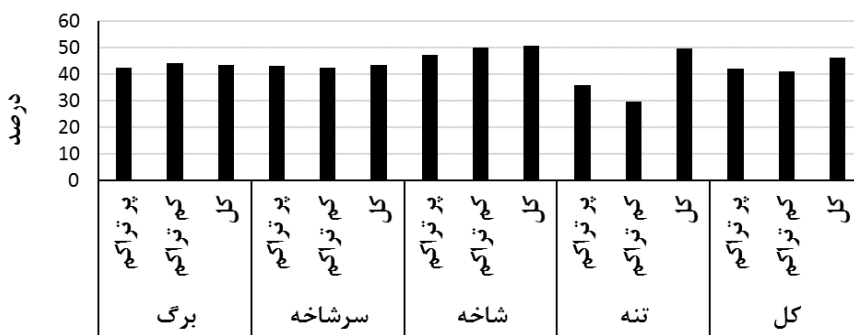
مربعات خطا به تفکیک اجزاء درخت زیتوده برگ، سرشاخه، شاخه، تنه و کل در هر رویشگاه و کل منطقه بررسی شد (جدول ۴). نتایج بررسی زیتوده پس از بررسی نرمالیده و همگنی واریانس با استفاده از متغیرهای اندازه‌گیری شده از درخت و متریک‌های استخراج شده از داده‌های لایدار برازش داده شد. در این تحقیق از رگرسیون گام به گام با معادله $Y = aX_1 + \dots + a_n X_n + b$ که در آن Y و X به ترتیب متغیرهای وابسته و مستقل هستند و a و b ضرایب رگرسیون (به ترتیب شیب و عرض از مبدا) هستند.

نتایج حاصل از مدل‌سازی زیتوده به تفکیک اجزاء درخت و رویشگاه نشان داد که از بین متغیرهای مستقل (متریک‌های ارتفاعی استخراج شده از داده‌های لایدار) بهترین متغیرهای برآورد کننده زیتوده برگ و سرشاخه و زیتوده کل صدک‌های ارتفاعی ۱۰، ۲۵، ۳۰ و متغیرهای برآورد کننده زیتوده شاخه و تنه صدک‌های ۲۵، ۵۰، ۹۰ و ضریب تغییرات ارتفاع مدل رقومی تاج بودند. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین ضریب تعیین برآورد زیتوده مربوط به زیتوده سرشاخه در رویشگاه کم‌تراکم و کمترین مقادیر خطای نسبی برآورد زیتوده مربوط به برآورد زیتوده کل در رویشگاه پرتراکم با مقدار ۳۲/۵۷ درصد



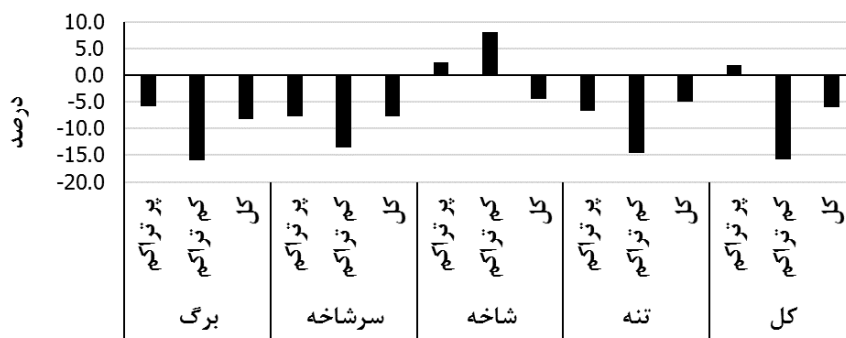
شکل ۴- مقادیر مشاهده شده در مقابل مقادیر برآورد شده برای داده‌های آموزش

Figure 4. Estimated versus predicted values for the training data



شکل ۵- درصد مجذور میانگین مربعات خطا برای برآورد زیتوده بر حسب اجزاء درخت در رویشگاه‌های مختلف و کل

Figure 5. Relative RMSE (%) for different components in different sites and the total



شکل ۶- درصد اریبی برآورد زیتوده بر حسب اجزاء درخت در رویشگاه‌های مختلف و کل

Figure 5. Relative bias (%) for different components in different sites and the total

برآورد زیتوده اجزا مختلف درختان جنگلی مورد ارزیابی قرار گرفت.

بر اساس نتایج تجزیه و تحلیل داده‌ها، ضریب تعیین مدل‌های رگرسیونی برآورد زیتوده با استفاده از داده‌های لایدار در رویشگاه‌های پرتراکم و کم‌تراکم و کل منطقه به ترتیب برای برگ، سرشاخه، شاخه، تنه و زیتوده کل درخت به ترتیب (۵۷٪ و ۶۲٪ و ۵۸٪)، (۵۴٪ و ۸۵٪ و ۵۴٪)، (۶۵٪ و ۵۹٪ و ۶۸٪)، (۶۴٪ و ۶۰٪ و ۶۸٪)، (۶۴٪ و ۶۴٪ و ۶۵٪) مشاهده شد که کمترین ضریب تبیین برآورد مربوط به سرشاخه در رویشگاه پرتراکم و کل منطقه و بیشترین مقدار مربوط به تنه و زیتوده کل در کل منطقه بود. همچنین بیشترین مقدار میانگین خطای نسبی مربوط به زیتوده شاخه و در کل منطقه و کمترین مقدار درصد خطای نسبی مربوط به زیتوده کل در منطقه کم-تراکم و پرتراکم می‌باشد، همچنین میزان درصد مجذور مربعات خطا در دو منطقه کم تراکم و پرتراکم از کل مناطق کمتر بوده است.

مقادیر منفی اریبی و اریبی نسبی مشاهده شده را می‌توان ناشی از درون‌یابی داده‌های لایدار و اندازه سلول مدنظر برای درون‌یابی بیان کرد که به افزایش ارتفاع نقاط در DTM و کاهش ارتفاع در DSM و در نهایتا مقادیر خطای بیشتر در CHM تولید شده دانست.

این نتایج نشان داد که با استفاده از داده‌های لایدار، برآورد درصد تاج پوشش و زیتوده با صحت قابل قبولی امکان‌پذیر است. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با یافته‌های پژوهش‌های مشابه در جهان تا حدودی دشوار به نظر می‌رسد، زیرا شرایط و

نتایج بررسی مقدار زیتوده پیش بینی شده در هکتار و رسم آنها در مقابل مقادیر مشاهده شده داده‌های آزمون (شکل ۴) و قرار گرفتن نقاط در نزدیکی خط نیمساز نشان می‌دهد که مقادیر برآورد شده و مشاهده شده نزدیک به هم بوده و اختلاف زیادی ندارند و همچنین بیان می‌کند که ارزیابی مدل با صحت قابل قبولی انجام گرفته است و این مقادیر به شکل مناسبی در اطراف خط نیمساز توزیع شده‌اند.

بحث و نتیجه گیری

هدف اصلی آماربرداری جنگل، آماده کردن اطلاعات دقیق و به روز برای مدیریت منابع طبیعی خصوصاً منابع جنگلی و هماهنگ‌سازی سیاست‌ها و برنامه‌ها نظیر برنامه‌های حفاظتی و پایش منابع جنگلی است. مقدار زی توده در اکوسیستم‌های جنگلی علاوه بر اینکه بیانگر توان تولید در واحد سطح یا زمان (مقدار ذخایر کربن موجود در جنگل) است، بر چرخه‌های بیوژئوشیمیایی جنگل نیز تأثیر می‌گذارد (۲۸). اندازه‌گیری و برآورد زی‌توده درختان، یکی از نیازهای اساسی در برنامه ریزی‌های مدیریتی جنگل و بررسی‌های جریان انرژی در بوم‌سازگان به حساب می‌آید و طی سالیان اخیر این موضوع مورد توجه بسیاری از محققان قرار گرفته است (۲۹).

استفاده از داده‌های لایدار به دلایل برخوردار از مزایایی چون توانایی ثبت بعد سوم (ارتفاع پدیده‌ها) و دقت بالا در تلفیق با تصاویر رقومی هوایی به دلیل ثبت بازتاب سطح پدیده‌ها از گزینه‌های مهم و کاربردی در دستیابی به اطلاعات دقیق مورد نظر می‌باشند (۳۰). در این تحقیق قابلیت داده‌های لایدار در

لایدار برای اجرای این تحقیق صمیمانه قدردانی می‌گردد. همچنین زحمات آقای مهندس دریایی در عملیات آماربرداری زمینی و همکاری‌های ارزنده سرکار خانم مهندس عظیمه سعیدی در پردازش و تحلیل داده‌های لایدار در خور ارج و قدردانی است.

References

1. Mohammadi, J. and Shataee, Sh. (2009), "Sensitivity Evaluation of Spectral Vegetation Indices Using Sensitivity Functions for Stand Volume Estimation." *J. of Wood & Forest Science and Technology*, Vol. 16, No. 2, PP. 101-120. (In Persian)
2. ABDI, N., MADAH, A. H., & ZAHEDI, A. G. (2008), "Estimation of carbon sequestration in Astragalus rangelands of Markazi province (Case study: Malmir rangeland in Shazand region)" *Iranian Journal of Range and Desert Research*, Vol.15, No. 2, PP. 269-282.
3. Bakhtiarvand Bakhtiari, S. and Sohrabi, H. (2012), "Allometric equations for estimating above and below-ground carbon storage of four broadleaved and coniferous trees." *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, Vol. 20, No. 3, PP. 481-492, (In Persian)
4. Aghayani-pour, K. and Hakemifar, J. (2008), "Theoretical and Experimental Study of the Strength of Piezoelectric Structures Under Pressure Forces," *Proc. of the 1st Conference on Dynamics of Advanced Structures*, Mechanics Research Center, Isfahan, pp. 23-25, (In Persian)
5. Reutebuch, S. E., McGaughey, R. J., Andersen, H. E., & Carson, W. W. (2003), "Accuracy of a high-resolution lidar terrain model under a conifer forest canopy." *Canadian journal of*

ساختار جنگل، نوع توده جنگلی مورد مطالعه، تراکم پالس‌های لیزر، زاویه اسکن و واگرایی پرتو لیزر و همچنین روش‌ها و الگوریتم‌های برآورد با داده‌های لیزر تا حدودی نتایج تحقیقی را تحت تاثیر قرار می‌دهد. گرچه ممکن است برآورد زیتوده در تراز تک درخت یا استفاده از داده‌های لایدار با تراکم زیاد و یا استفاده از روش‌های مدل سازی ناپارامتریک بتواند دقت نتایج حاصل از این تحقیق را بهبود دهد.

مقایسه نتایج حاصل از این تحقیق با سایر مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که درصد مجذور میانگین مربعات خطا و انحراف معیار تفاوت‌های بدست آمده در این تحقیق برای مشخصه زیتوده در هکتار بالاتر از تحقیقات صورت گرفته در دیگر نقاط جهان با داده‌های لایدار است. تحقیقات Lefsky و همکاران در سال ۲۰۰۲ (۹)؛ Li و همکاران در سال ۲۰۰۸ (۱۰)؛ Qichen و همکاران در سال ۲۰۱۲ (۱۲)؛ Godwin و همکاران در سال ۲۰۱۵ (۱۴)؛ Takagi Kentaro و همکاران در سال ۲۰۱۵ (۱۳) همگی دقت‌های بیشتری برای برآورد زیتوده در مقایسه با تحقیق حاضر، گزارش نمودند. با توجه به اینکه پژوهش‌های ذکر شده با داده‌های لایدار با تراکم زیاد (بیش از ۴ پالس در متر مربع) در جنگل‌های استاندارد (جنگل-های دانه‌زاد سوزنی برگ) صورت گرفته است، دستیابی به دقت‌های بالاتر خارج از انتظار نیست.

از طرف دیگر، در توده‌های پهن‌برگ شاخه‌زاد نسبت به توده‌های دانه‌زاد، متوسط ارتفاع تاج پوشش به مراتب کمتر است و درختان نیز شکل تاج غیرهندسی‌تری دارند، بنابراین بالاتر بودن خطای برآورد زیتوده نسبت به توده‌های پهن‌برگ جنگل-های خزری با استفاده از داده‌های لایدار متصور است. در تحقیقات صورت گرفته در مناطق با پوشش جنگلی مشابه تحقیق حاضر مانند پژوهش‌های Glenn و همکاران در سال ۲۰۱۱ (۳۱) و Estornell و همکاران در سال ۲۰۱۲ (۳۲) دقت‌های گزارش شده با تحقیق پیش رو همسان است.

تشکر و قدردانی

از مدیریت محترم و کارشناسان ارجمند شرکت رایان نقشه بابت همکاری‌های ارزنده و نیز در اختیار قرار دادن داده‌های

- from light detection and ranging data. *Western Journal of Applied Forestry*.” *Western Journal of Applied Forestry*, Vol. 23, No. 4, PP. 223-231.
12. Van Aardt, J. A., Wynne, R. H., & Oderwald, R. G. (2006), “Forest volume and biomass estimation using small-footprint lidar-distributional parameters on a per-segment basis.” *Forest Science*, Vol. 52, No. 6, PP. 636-649.
 13. Chen, Q., Laurin, G. V., Battles, J. J., Saah, D. (2012), “Integration of airborne lidar and vegetation types derived from aerial photography for mapping aboveground live biomass.” *Remote Sensing of Environment*, Vol. 121, PP. 108-117.
 14. Takagi, K., Yone, Y., Takahashi, H., Sakai, R., Hojyo, H., Kamiura, T., ... & Yoshida, T. (2015), “Forest biomass and volume estimation using airborne LiDAR in a cool-temperate forest of northern Hokkaido, Japan.” *Ecological Informatics*, Vol. 26, PP. 54-60.
 15. Godwin, C., Chen, G., Singh, K. K. (2015), “The impact of urban residential development patterns on forest carbon density: An integration of LiDAR, aerial photography and field mensuration.” *Landscape and Urban Planning*, Vol. 136, PP. 97-109.
 16. Latifi, H., Nothdurft, A., Koch, B. (2010), “Non-parametric prediction and mapping of standing timber volume and biomass in a temperate forest: application of multiple optical LiDAR-derived predictors.” *Forestry*, Vol. 83, No. 4, PP. 395-407.
 17. Lefsky, M. A., Hudak, A. T., Cohen, W. B., & Acker, S. A. (2005), “Geographic variability in LiDAR predictions of forest stand structure in remote sensing, Vol. 29, No. 5, PP. 527-535.
 6. Stephens, P. R., Kimberley, M. O., Beets, P. N., Paul, T. S., Searles, N., Bell, A., ... & Broadley, J. (2012), “Airborne scanning LiDAR in a double sampling forest carbon inventory”. *Remote Sensing of Environment*, Vol. 117, PP. 348-357.
 7. Anderson, J., Martin, M. E., Smith, M. L., Dubayah, R. O., Hofton, M. A., Hyde, P., ... & Knox, R. G. (2006), “The use of waveform lidar to measure northern temperate mixed conifer and deciduous forest structure in New Hampshire.” *Remote Sensing of Environment*, Vol. 105, No. 3, PP. 248-361.
 8. Næsset, E. (2002), “Predicting forest stand characteristics with airborne scanning laser using a practical two-stage procedure and field data.” *Remote Sensing of Environment*, Vol. 80, No. 1, PP. 88-99.
 9. Sexton, J. O., Bax, T., Siqueira, P., Swenson, J. J., Hensley, S. (2009), “A comparison of lidar, radar, and field measurements of canopy height in pine and hardwood forests of southeastern North America.” *Forest Ecology and Management*, Vol. 257, No. 3, PP. 1136-1147.
 10. Lefsky, M. A., Cohen, W. B., Harding, D. J., Parker, G. G., Acker, S. A., Gower, S. T. (2002), “Lidar remote sensing of above-ground biomass in three biomes. *Global Ecology and Biogeography*.” *Global Ecology and Biogeography*, Vol. 11, No. 5, PP. 393-399.
 11. Li, Y., Andersen, H. E., McGaughey, R. (2008), “A comparison of statistical methods for estimating forest biomass

- Journal of Remote Sensing, Vol. 32, PP. 473–501.
24. Næsset, E., and Bjercknes, K.O. (2001), “Estimating tree heights and number of stems in young forest stands using airborne laser scanner data”. Remote Sensing of Environment, Vol. 78, PP. 328–340.
 25. Lim, K., Treitz, P., Wulder, M., St-Onge, B., & Flood, M. (2003), “LiDAR remote sensing of forest structure”. Progress in physical geography, Vol. 27, No. 1, PP. 88–106.
 26. Yu, X., Hyypä, J., Kaartinen, H., & Maltamo, M. (2004), “Automatic detection of harvested trees and determination of forest growth using airborne laser scanning”. Remote Sensing of Environment, Vol. 90, No. 4, PP. 451–462.
 27. Coops, N. C., Wulder, M. A., Culvenor, D. S., & St-Onge, B. (2004), “Comparison of forest attributes extracted from fine spatial resolution multispectral and lidar data”. Canadian Journal of Remote Sensing, Vol. 30, No. 6, PP. 855–866.
 28. Husch, B., T.W. Beers & J.A. Kershaw, (2003), Forest mensuration. 4th Edition, John Wiley & Sons Inc, PP. 443.
 29. Zianis, D., Muukkonen, P., Mäkipää, R., & Mencuccini, M. (2005), “Biomass and stem volume equations for tree species in Europe”, FI.
 30. Mohamadi, j. (2013), “Improving in Estimation of Some Forest Structure Quantitative Characteristics by Combining the Lidar and Digital Aerial Images in Shast Kalate Hardwood Forests of Gorgane”, (Thesis).
 - the Pacific Northwest.” Remote Sensing of Environment, Vol. 95, No. 4, PP. 532-548.
 18. Morsdorf, F., Kötz, B., Meier, E., Itten, K. I., Allgöwer B., (2006), “Estimation of LAI and fractional cover from small footprint airborne laser scanning data based on gap fraction.” Remote Sensing of Environment, Vol. 104, No. 1, PP. 50-61.
 19. Næsset, E. (2004), “Practical large-scale forest stand inventory using a small-footprint airborne scanning laser”. Scandinavian Journal of Forest Research, Vol. 19, No. 2, PP. 164-179.
 20. Iranmanesh, Y., Jalali, S.G.A., Sagheb-Talebi, Kh., Hosseini, S.M., Sohrabi, H. (2013), “Allometric equations of biomass and carbon stocks for *Quercus brantii* acorn and its nutrition elements in Lordegan, Chaharmahal Va Bakhtiari”. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, Vol. 20 No. 4, PP. 551-564. (In Persian)
 21. Hyypä, J., Hyypä, H., Leckie, D., Gougeon, F., Yu, X., Maltamo, M. (2008), “Review of methods of small footprint airborne laser scanning for extracting forest inventory data in boreal forests”. International Journal of Remote Sensing, Vol. 29, PP. 1339–1366.
 22. Kraus, K., & Pfeifer, N. (1998), “Determination of terrain models in wooded areas with airborne laser scanner data”. ISPRS Journal of Photogrammetry and remote Sensing, Vol. 53, No. 4, PP. 193–203.
 23. Næsset, E. (2011), “Estimating above-ground biomass in young forests with airborne laser scanning”. International

crown area on sloped terrain". Journal of Arid Environments, Vol. 75, No. 4, PP. 377–382.

31. Glenn, N. F., Spaete, L. P., Sankey, T. T., Derryberry, D. R., Hardegree, S. P., & Mitchell, J. J. (2011), "Errors in LiDAR-derived shrub height and