مجلهٔ جنگل ایران، انجمن جنگلبانی ایران
سال دهم، شمارهٔ ۴، زمستان ۱۳۹۷
ص ۴۳۱-۴۴۷

مدلسازی زی‌تودهٔ جست‌های جوان وی‌ول و پاسخ آن به تیمار تنک کردن در جنگل‌های زاگرس شمالی (مطالعهٔ موردی: بانه، استان کردستان)

سمیه ابراهیمی[۱]، احمد ولی‌پور[۲*]، هرمز سهرابی[۳] و لقمان قهرمانی[۴]

[۱]دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی دانشگاه کردستان، سنندج
[۲]استادیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و مرکز پژوهش و توسعهٔ جنگلداری زاگرس شمالی دانشگاه کردستان، سنندج
[۳]دانشیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور
[۴]دانشیار گروه جنگلداری، دانشکدهٔ منابع طبیعی و مرکز پژوهش و توسعهٔ جنگلداری زاگرس شمالی دانشگاه کردستان، سنندج

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۴/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۲)

چکیده

این پژوهش به‌منظور درک بخشی از پویایی‌های زادآوری شاخه‌زاد بلوط وی‌ول در زاگرس شمالی انجام گرفت. در این زمینه، تأثیر تیمارهای تنک کردن بر مقدار زی‌تودهٔ جست‌ها و جست‌گروه‌های جوان وی‌ول بررسی شد و مقدار زی‌تودهٔ جست‌ها و اندام‌های آنها با استفاده از روابط آلومتریک به‌عنوان هدف‌های اصلی برآورد شد. ۴۵ اصله درخت وی‌ول در پنج رویشگاه و سه طبقهٔ قطری قطع و کنده‌های آنها برای بررسی چگونگی جست‌دهی حفاظت شدند. در سال دوم پس از قطع، تیمارهای تنک کردن ملایم (اندوخته‌گیری شش جست در جست‌گروه) و شدید (اندوخته‌گیری سه جست در جست‌گروه)، روی دوسوم جست‌گروه‌ها اعمال شد و بقیهٔ جست‌گروه‌ها به‌عنوان شاهد دست‌نخورده نگه داشته شدند. زی‌تودهٔ جست‌ها به‌تفکیک اندام‌های مختلف پس از هفت سال رویشی (مرحلهٔ زادآوری) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیشترین زی‌تودهٔ جست‌ها مربوط به تنه (۵۷/۴ درصد) بود و پس از آن به‌ترتیب شاخه، برگ و سرشاخه‌ها قرار گرفتند. میانگین رطوبت جست‌ها ۴۲ درصد و بیشتر آن متعلق به شاخه‌ها بود. تجزیهٔ واریانس نشان داد که طبقه‌های قطری کنده‌های مادری بر زی‌تودهٔ جست و جست‌گروه‌ها اثر معنی‌داری نداشت، اما اختلاف زی‌تودهٔ جست‌ها در رویشگاه‌های مختلف معنی‌دار بود. براساس مقایسهٔ تیمارهای تنک کردن، بیشترین زی‌توده در جست‌های تنک کردن ملایم وجود داشت و اختلاف معنی‌داری بین تنک کردن شدید و شاهد وجود نداشت. مدل برآوردکنندهٔ زی‌تودهٔ جست کامل و اندام‌های آن، با استفاده از رابطهٔ توانی برازش داده شد. با توجه به نمایه‌های R^2، STDEV، RMSE، rRMSE و nRMSE و اعتبارسنجی مدل به روش Leave one-out مشخص شد که از بین متغیرهای مستقل، قطر یقه بهترین متغیر پیش‌بینی‌کنندهٔ زی‌توده در همهٔ موارد بود.

واژه‌های کلیدی: جست‌گروه، زی‌توده، شاخه‌زاد، مدل‌های آلومتریک.

مقدمه

جنگل‌ها به‌عنوان مهم‌ترین اکوسیستم‌های خشکی، تأثیر زیادی در جریان انرژی، ماده و تبدیل این دو بین زمین و اتمسفر بازی می‌کنند. مهم‌ترین تأثیر جنگل بر آب‌وهوا، بر مقدار دی‌اکسید کربن آن است (Brown et al., 1999). امروزه برای شناخت وضعیت اکوسیستم‌ها و نظارت و ارزیابی بر تغییرات ایجادشده در طی زمان، از شاخص‌های اکولوژیک

*نویسندهٔ مسئول شمارهٔ تماس: ۰۰۹۸۸۷۳۳۶۲۰۵۵۱+ ایمیل: ahmadvalipour@uok.ac.ir

استفاده می‌شود. از جمله شاخص‌های اکولوژیکی که ضعف اطلاعات مربوط به آن در کشور ما به‌خوبی دیده می‌شود، آگاهی از توان تولید زی‌تودهٔ گونه‌های جنگلی است (Adl, 2007; Sohrabi & Shirvani, 2012). زی‌توده شاخص بسیار مهمی برای ارزیابی ساختار جنگل و ارزشگذاری فرایندهای اقتصادی و اکولوژیک مانند چرخهٔ عناصر غذایی و ذخیرهٔ سوختی محسوب می‌شود (Chambers et al., 2001).

اندازه‌گیری مقدار زی‌تودهٔ همهٔ اندام‌های گونه‌های چوبی بسیار دشوار است. اندازه‌گیری زی‌تودهٔ واقعی درخت به‌طور مستقیم در عرصه، روش بسیار دقیقی است، اما وقتگیر و پرهزینه است و به نیروی کارگری زیادی نیاز دارد. به همین دلایل، عملیات اجرایی این روش در عرصه‌های محدود و برای درختان کوچک امکان‌پذیر است (Zianis & Mencuccini, 2004). با توجه به اینکه روش مستقیم بسیار مخرب است و در مقیاس‌های وسیع امکان‌پذیر نیست، برای برآورد مقدار زی‌توده بهتر است از روش‌های غیرمستقیم بهره برد. یک روش غیرمستقیم برآورد مقدار زی‌تودهٔ گونه‌ها و توده‌های جنگلی، استفاده از روابط آلومتریک است. به روابطی که مشخصه‌های زیستی درخت (مثل قطر و ارتفاع) را به زی‌تودهٔ آن مربوط می‌کنند روابط آلومتریک گفته می‌شود. برای به‌دست آوردن روابط آلومتریک مربوط به زی‌توده، به قطع درختان زیادی نیاز نیست و قطع تعدادی درخت و اندازه‌گیری مشخصه‌های زیستی آنها کافی است (Zianis & Mencuccini, 2004). امروزه اندازه‌گیری زی‌تودهٔ گونه‌های چوبی، از نیازهای اساسی در برنامه‌ریزی‌های مدیریت جنگل است (Zianis et al., 2005). مدل‌های آلومتریک یکی از روش‌های غیرمستقیم و غیرمخرب برآورد مقدار زی‌تودهٔ گونه‌ها و اکوسیستم‌هاست که در جای‌جای جهان از آن برای کاهش هزینه و زمان استفاده می‌شود. مدل‌های رگرسیونی گوناگونی وجود دارد، اما معمول‌ترین مدل برای برآورد زی‌تودهٔ درختان، مدل توانی است (Zianis & Mencuccini, 2004).

جنگل‌های زاگرس شمالی (محدودهٔ استان‌های آذربایجان غربی و کردستان) که به‌طور عمده از ترکیب سه گونهٔ بلوط وی‌ول، مازودار و برودار شکل گرفته‌اند، توسط جامعهٔ محلی بهره‌برداری می‌شوند. ناگفته نماند که حضور و فعالیت‌های انسان به‌ویژه در مناطق مدیترانه‌ای و شبه‌مدیترانه در شکل‌گیری فرم شاخه‌زاد، تأثیر انکارناپذیری داشته است (Marvi Mohajer, 2011).

گونه‌های بلوط جزو انواع درختان کندرشدند (Johnson et al., 2001). کندی رشد نهال‌های بلوط سبب شده که در صورت فراهم نشدن شرایط مناسب، استقرار زادآوری با مشکل مواجه شود و در نتیجه زادآوری کافی برای پایداری توده‌های جنگلی وجود نخواهد داشت. روش‌های دانه‌زاد و شاخه‌زاد دو شکل طبیعی استقرار درختان بلوط هستند که با حرکت از مناطق مرطوب به‌سمت رویشگاه‌های خشک، روش شاخه‌زاد بر دانه‌زاد غلبه پیدا می‌کند (Gardiner et al., 1998). رشد کند نهال‌های بلوط می‌تواند یکی از عوامل نبود زادآوری کافی در زاگرس باشد. با توجه به این مسئله، نهال‌های سبزشده یا کاشته‌شده تا سال‌ها در معرض تهدید چرای دام خواهند بود و احتمال رهایی آنها از افق چرای دام (Ghazanfari et al., 2004؛ Valipour, 2008) بسیار کم است. به همین دلیل استفاده از روش شاخه‌زاد در کوتاه‌مدت و میان‌مدت در ترکیب با روش دانه‌زاد می‌تواند راهبرد حل بخشی از مشکل زادآوری و بهبود ساختار جنگل‌های زاگرس در بلندمدت باشد. روش شاخه‌زاد با توجه به شرایط فعلی اجتماعی- اقتصادی و پذیرش زیاد آن از جانب ساکنان محلی منطقه، روش مؤثر و بهتری برای حل مسئله و مشکل زادآوری این جنگل‌ها به‌منظور حفظ استمرار آنهاست (Valipour, 2008). روش زادآوری شاخه‌زاد مبتنی بر جست‌دهی کندهٔ مادری است و به‌دلیل تغذیه از سیستم ریشه‌ای گستردهٔ درخت مادری، سرعت رشد جست‌ها به‌طور چشمگیری از نهال‌های دانه‌زاد بیشتر

است. نظام شاخه‌زاد جزو سیستم‌های با دورهٔ گردش کوتاه است و برای استفاده از زی‌تودهٔ تولیدی به‌عنوان انرژی یا سوخت زیستی به‌کار برده می‌شود (Pellis et al., 2004; Sims et al., 2001). براساس ضرورت زادآوری در جنگل‌های منطقه، ایدهٔ استفاده از فرم شاخه‌زاد که از دانه‌زاد تندرشدتر است بررسی شد. با وجود سرعت رشد زیاد جست‌ها، استفاده از تیمارهای پرورشی نیز برای افزایش رویش و تولید آنها می‌تواند سبب بهبود هرچه بیشتر شرایط شود. بر همین پایه، سازمان جنگل‌ها نیز در سال‌های اخیر به‌صورت آزمایشی به اعمال تیمارهای تنک کردن جست‌گروه‌ها پرداخته است.

در زمینهٔ اندازه‌گیری و برآورد زی‌تودهٔ جنگل و گونه‌های جنگلی پژوهش‌های فراوانی انجام گرفته است که البته این پژوهش‌ها در ایران پیشینهٔ زیادی ندارند. Ebrahimi et al. (1993) از نخستین پژوهشگرانی هستند که مدل‌های برآوردکنندهٔ زی‌تودهٔ جست‌های برودار را در جنگل‌های زاگرس ارائه کردند. Adl (2007) زی‌تودهٔ برگ دو گونهٔ بلوط ایرانی و بنه را در جنگل‌های یاسوج برآورد کرد که به‌ترتیب ۱۳۱۷/۳ و ۵۷/۲ کیلوگرم در هکتار به‌دست آمد. در همین زمینه Khosravi et al. (2012) در پژوهشی توان تولید زی‌تودهٔ برگ و شاخهٔ توده‌های وی‌ول را در جنگل‌های آرمرده بانه بررسی کرده و زی‌تودهٔ خشک شاخه و برگ را برای وی‌ول ۴/۹۲ تن در هکتار برآورد کردند. ۷۹ درصد این مقدار شاخه و ۲۱ درصد برگ بود. Iranmanesh et al. (2014) زی‌توده و اندوختهٔ کربن روی زمینی را در دو فرم رویشی بلوط ایرانی (*Quercurs brantii*) در جنگل‌های لردگان استان چهارمحال و بختیاری بررسی کردند و متوسط زی‌تودهٔ روی زمینی به‌ازای هر درخت در دو فرم تک‌پایه و جست‌گروه به‌ترتیب ۳۷۴/۱ و ۱۴۶/۳ کیلوگرم محاسبه شد. Shahabedini et al. (2018) به‌منظور برآورد زی‌تودهٔ تاج (علوفهٔ درختی) درختان وی‌ول گلازنی‌شده، از رگرسیون چندگانه با متغیرهای قطر برابرسینه و قطر تاج استفاده کردند. Touchan & Folliott(1999) اثر تنک کردن بلوط شاخه‌زاد را بر زی‌توده و چرخهٔ برداشت در جنوب شرقی آریزونا و شمال سونورا در مکزیک را ارزیابی کردند و نشان دادند که تیمار تنک کردن سبب افزایش تولید و همچنین کوتاه شدن چرخهٔ برداشت شده است. Pellis et al. (2004) تولید جنگل‌های دست‌کاشت شاخه‌زاد صنوبر در یک دورهٔ کوتاه‌مدت و ارتباط آن با زی‌تودهٔ برگ را در بلژیک بررسی و زی‌تودهٔ برگ را سه تا هشت تن در هکتار در سال برآورد کردند. Liu (2009) مقدار زی‌تودهٔ دو گونهٔ کاج (*Pinus sylvestris*) و نوئل (*Picea abies*) را در سطح درخت و توده‌های جنگلی بورآل در جنوب فنلاند ارزیابی کرد. زی‌تودهٔ کل نوئل به‌ازای هر درخت در تودهٔ مورد بررسی برای پایه‌های زیراشکوب ۵۶ کیلوگرم، برای پایه‌های غالب ۳۶۷ کیلوگرم و برای گونهٔ کاج ۱/۵ برابر بود. متوسط کل زی‌تودهٔ روی زمین در توده نیز ۱۷۰/۸ تن در هکتار محاسبه شد.

آگاهی از اندازهٔ زی‌تودهٔ درختان به‌طور معمول برای برآورد مقدار تولید و محصول جنگل ضرورت دارد؛ با این‌حال در سال‌های اخیر با توجه به اهمیت یافتن مدلسازی اکوسیستمی جنگل، زیرمدل‌های زی‌توده نیز جایگاه شایان توجهی پیدا کرده‌اند (Lexer et al., 2001). در بیشتر مدل‌های زی‌تودهٔ درختان، پایه‌های دارای حداقل قطر قابل شمارش مدنظر قرار می‌گیرند؛ درحالی که مدل آلومتریکِ زی‌تودهٔ درختان کوچک و زادآوری تأثیر مهمی در افزایش اعتبار و دقت مدل‌های اکوسیستمی دارد. بنابراین هدف از این پژوهش، بررسی تأثیر تیمارهای تنک کردن بر مقدار زی‌تودهٔ جست‌ها و جست‌گروه‌های هفت‌ساله (به‌طور کلی با قطر کمتر از ۵ سانتی‌متر) گونهٔ وی‌ول و همچنین برآورد مقدار زی‌تودهٔ جست‌ها و اندام‌های جست‌ها به تفکیک با استفاده از روابط آلومتریک است تا بتوان با متغیرهایی

که اندازه‌گیری آنها آسان است و به تخریب پایه‌ها نیازی ندارند، مقدار زی‌تودهٔ جست‌ها را برآورد کرد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ پژوهش

منطقهٔ پژوهش در نزدیکی شهر آرمرده در ۱۳ کیلومتری جنوب غربی شهرستان بانه در استان کردستان، در غرب ایران واقع شده است. در شعاع چندین کیلومتری شهر آرمرده نوعی زندگی روستایی به نام کوخ‌نشینی به وجود آمده که ساکنان آن در روستاهای کوچکی (تا ۱۰ خانوار) در سطح جنگل به‌صورت پراکنده زندگی می‌کنند (Valipour et al., 2014). جنگل‌های این منطقه از گذشته توسط ساکنان کوخ‌ها و روستاها بهره‌برداری شده است. ساکنان، براساس قواعد مالکیت عرفی جنگل را به سامان‌های عرفی خانوار، گلاجار، تقسیم کرده‌اند. شغل اصلی ساکنان منطقهٔ اجرای این تحقیق دامداری است. جامعهٔ محلی بخشی از علوفهٔ زمستانهٔ مورد نیاز دام‌های خود را با گلازنی (سرشاخه‌زنی درختان) از برگ درختان بلوط تهیه می‌کنند. در این روش جنگلداری سنتی در آرمرده، سیستم شاخه‌زاد روی درخت به‌کار گرفته می‌شود و پرورش تاج درختان به‌منظور تولید علوفهٔ درختی (برگ) بیشتر مدنظر است. مهم‌ترین ضعف شاخه‌زاد روی درخت، مراقبت نکردن از نهال‌ها و نبود زادآوری کافی برای پایداری توده‌های جنگلی است (Valipour et al., 2014; Ghazanfari et al., 2004). برای این پژوهش، پنج سامان عرفی خانوار یا گلاجار از میان داوطلبان همکاری انتخاب شد. به‌منظور پوشش دادن شرایط مختلف، گلاجارها در نقاط مختلف انتخاب شدند و در تجزیه‌وتحلیل‌های آماری این مسئله در نظر گرفته شد. ویژگی‌های گلاجارها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های گلاجارها (رویشگاه‌ها)ی انتخاب‌شده برای بررسی جست‌دهی درختان وی‌ول

شماره و بهره‌بردار عرفی رویشگاه	جهت عمومی	شیب (٪)	متوسط ارتفاع (متر)	تیپ	کاربری	موقعیت جغرافیایی طول	عرض
۱. محمود رشیدی	NW	۳۵	۱۶۸۰	وی‌ول-مازودار	چرا-گلازنی	۵۷۰۶۹۲	۳۹۷۵۸۹۵
۲. علی رشیدی	NW	۳۵	۱۶۸۰	وی‌ول-مازودار	چرا-گلازنی	۵۷۴۲۶۶	۳۹۷۶۰۲۲
۳. عبدالله فرجی	W-SW	۴۵	۱۸۰۰	وی‌ول-مازودار-برودار	چرا	۵۷۳۹۶۲	۳۹۷۵۹۳۱
۴. رحمان رشیدی	NE	۴۰	۱۶۷۰	وی‌ول-مازودار	چرا-گلازنی	۵۷۱۳۳۹	۳۹۷۷۸۴۷
۵. احمد امینی	NE	۴۰	۱۷۰۰	وی‌ول-مازودار	چرا-گلازنی	۵۷۳۴۹۹	۳۹۷۷۶۰۵

روش پژوهش

به‌منظور بررسی ابعاد مناسب درختان برای جست‌دهی در مدیریت شاخه‌زاد ناهمسال، ۴۵ اصله درخت بلوط وی‌ول در پنج سامان عرفی (گلاجار) و سه طبقهٔ قطری ۳۵-۲۵، ۴۵-۳۵ و بیش از ۴۵ سانتی‌متر در زمستان سال ۱۳۸۵ انتخاب و قطع شد (Valipour, 2008). کنده‌های مادری به‌صورت انفرادی حفاظت شده و به‌منظور بررسی پویایی‌های جست‌گروه‌ها، جست‌های حاصل (با قطر کمتر از ۵ سانتی‌متر، قطر حد شمارش) پس از هفت سال رویشی از نو بررسی شدند. به این ترتیب برای دستیابی به روش مناسب پرورش جست‌گروه‌ها، تیمار جنگل‌شناسی تنک کردن در سال دوم رویشی اعمال شد. جست‌گروه‌ها به‌صورت تصادفی به سه گروه تقسیم شدند. در جست‌های گروه‌های اول و دوم، تیمارهای تنک کردن با شدت کم (اندوخته‌گیری شش جست در هر جست‌گروه) با کد اختصاری 6T و تنک کردن با شدت زیاد (اندوخته‌گیری سه جست در

هر جست‌گروه) و کد اختصاری ۳T انجام گرفت. جست‌های گروه سوم نیز بدون هیچ‌گونه دخالتی به‌عنوان شاهد با کد اختصاری N.T در نظر گرفته شد. روش تخصیص تیمارهای تنک کردن به این صورت بود که در سه طبقهٔ قطری و پنج رویشگاه به‌نسبت یکسان پخش شدند.

اندازه‌گیری زی‌توده

به‌منظور اندازه‌گیری زی‌تودهٔ جست‌ها، پس از قطع جست‌ها بلافاصله همهٔ اندام‌های آنها اعم از تنه (از محل یقه تا ارتفاع شروع تاج)، شاخه (از شروع تاج تا شروع سرشاخه) و برگ به‌تفکیک و با استفاده از ترازوی با دقت ۱۰ گرم توزین شدند. همچنین سرشاخه‌ها (شاخه‌های نازکی که هنوز چوبی نشده‌اند و توسط دام خورده می‌شوند) و نمونه‌های جداشده از تنه، شاخه‌ها و برگ‌ها (۳۰ عدد برگ از هر جست) برای اندازه‌گیری رطوبت با استفاده از ترازوی با دقت ۱ گرم توزین شدند. منظور از نمونه‌ها، مقداری از هر اندام است که برای اندازه‌گیری رطوبت، نمونه‌برداری و به آزمایشگاه منتقل شد. برای به‌دست آوردن وزن خشک، ازآنجا که امکان انتقال کل جست‌ها به آزمایشگاه ممکن نبود، نمونه‌هایی از همهٔ اندام‌ها به تفکیک تهیه شد. بدین ترتیب برای سهولت کار نمونه‌هایی با ضخامت ۴ تا ۵ سانتی‌متر از تنهٔ همهٔ جست‌ها در سه ارتفاع (یقه، برابرسینه و شروع تاج) برداشت شد و در عرصه، پوست نمونه‌ها جدا و با ترازوی با دقت ۱ گرم توزین شد. از هر پایه نیز برای نمونه‌های شاخه، ۱۰ شاخه با طول ۵ سانتی‌متر به‌طور تصادفی از همهٔ قسمت‌های تاج برداشته شد و پوست آنها جدا و سپس توزین شد. برای به‌دست آوردن نمونهٔ پوست، پوست نمونه‌های تنه و شاخه که از مرحلهٔ قبل جدا شده بود، توزین شد، اما سرشاخهٔ جست‌ها به‌طور کامل جدا، توزین و به‌عنوان نمونه انتخاب شد. نمونه‌برداری از برگ جست‌ها به این صورت بود که به‌طور تصادفی از همهٔ قسمت‌های تاج، ۳۰ برگ انتخاب، توزین و سپس بسته‌بندی شد. برای جلوگیری از کپک زدن نمونه‌ها، بسته‌بندی با کاغذ انجام گرفت و سپس نمونه‌ها برای ادامهٔ کار به آزمایشگاه بیولوژی جنگل دانشگاه کردستان انتقال یافتند.

همهٔ نمونه‌ها برای به‌دست آوردن وزن خشک در داخل آون با دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد قرار گرفتند. نمونه‌های برگ پس از ۴۸ ساعت با دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد خشک شدند و به وزن ثابتی رسیدند؛ سپس وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. پوست و سرشاخه‌ها پس از سه روز با دمای ۷۵ درجهٔ سانتی‌گراد به وزن پایداری رسیدند و توزین شدند. نمونه‌های شاخه و تنه در مدت طولانی‌تری و به‌ترتیب در چهار و پنج شبانه‌روز با دمای یادشده به وزن ثابت رسیدند. پس از اطمینان از خشک شدن کامل نمونه‌ها، وزن آنها اندازه‌گیری شد و از تفاضل وزنِ تر (وزن در عرصه) و وزن خشک، درصد رطوبت اندام‌های مختلف به‌دست آمد.

روش تحلیل

به‌منظور مقایسهٔ زی‌توده در شدت‌های مختلف تنک کردن و طبقات قطری پایه‌های مادری پس از تجزیهٔ واریانس، مقایسهٔ میانگین‌ها انجام گرفت. برای تجزیه‌وتحلیل واریانس‌ها از آزمایش فاکتوریل برپایهٔ طرح بلوک‌های ناقص تصادفی استفاده شد. به این ترتیب رویشگاه‌ها به‌عنوان بلوک در نظر گرفته شد و طبقات قطری کنده‌های مادری و شدت‌های تنک کردن عامل‌های مورد بررسی بودند. برای اجرای تحلیل واریانس و مقایسهٔ میانگین‌ها چهار شرط استقلال داده‌ها (آزمون دوربین – واتسون)، جمع‌پذیری، همگنی واریانس‌ها (آزمون لون) و تبعیت باقی‌مانده‌ها از توزیع نرمال (آزمون کولموگروف – اسمیرنوف) بررسی شد.

مدل‌های آلومتریک

از میان کل جست‌گروه‌ها، ۷۱ پایه جست با پراکنش اندازه‌ای مناسب انتخاب و ویژگی‌های قطر

یقه، قطر برابرسینه و ارتفاع کل آنها اندازه‌گیری شد. در مرحلهٔ بعد، جست‌های مورد نظر قطع شده و همهٔ اندام‌ها به‌تفکیک در عرصه توزین شدند. از این داده‌ها برای به‌دست آوردن روابط برآوردکنندهٔ زی‌توده استفاده شد. پیش از تعیین روابط آلومتریک، با بررسی ابرنقاط داده‌ها، موارد پِرت شناسایی و حذف شدند. ۱۵ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی روابط به‌صورت تصادفی انتخاب و کنار گذاشته شد و از همهٔ داده‌ها برای آموزش استفاده شد. معادله‌های رگرسیونی با روش حداقل مربعات و با استفاده از متغیرهای پیش‌بینی‌کنندهٔ قطر یقه، قطر برابرسینه و ارتفاع جست‌ها برازش داده شدند. با توجه به نتایج بیشتر تحقیقات صورت‌گرفته در زمینهٔ زی‌توده، در این پژوهش از مدل توانی با فرم عمومی $Biomas = b_0 size^{b_1}$ استفاده شد که در آن b_0 و b_1 پارامترهای مدل و size متغیر پیش‌بینی‌کننده یعنی یکی از ویژگی‌های جست (قطر یقه، قطر برابرسینه و ارتفاع) است.

اعتبارسنجی مدل

به‌منظور احراز اعتبار مدل، علاوه‌بر شاخص‌های ضریب تبیین (R^2)، انحراف معیار داده‌ها (STDEV) و ریشهٔ میانگین مربعات خطا (RMSE)، از روش حدود پیش‌بینی، ۱۵ درصد نمونه‌ها کنار گذاشته شد و در محاسبهٔ ضرایب رگرسیون دخالت داده نشد. پس از به‌دست آوردن مدل برآوردکنندهٔ زی‌توده، داده‌های اندازه‌گیری‌شده (نمونه‌های کنارگذاشته‌شده برای کنترل) با مقادیر پیش‌بینی‌شده توسط مدل مقایسه شدند. معیار پذیرش مدل‌ها، قرار گرفتن زی‌تودهٔ اندازه‌گیری‌شده در محدودهٔ اعتماد مدل بود. به‌منظور اعتبارسنجی مدل جست کامل (همهٔ بخش‌های روی زمینی جست)، علاوه‌بر این روش، از روش یکی بیرون (LOOCV)[1] استفاده شد. به این ترتیب یکی از داده‌ها بیرون از داده‌های آموزش قرار گرفت و مدل رگرسیونی بدون آن داده برازش داده شد و ضرایب و شاخص‌های رگرسیون به‌دست آمد. در برازش بعدی، دادهٔ دیگری از داده‌های آموزش بیرون گذاشته شد و دادهٔ قبلی که خارج شده بود دوباره به داده‌های آموزش بازگردانده شد. این کار تا زمانی ادامه پیدا کرد که همهٔ داده‌ها یک بار به‌عنوان دادهٔ اعتبارسنجی بیرون از داده‌های آموزش قرار گرفتند. در نهایت، میانگین ضرایب برازش‌های رگرسیون به‌عنوان ضرایب نهایی مدل در نظر گرفته شد. همچنین شاخص‌های ضریب تبیین، RMSE، RMSE نسبی و RMSE نرمال‌شده نیز محاسبه و برای احراز اعتبار هر مدل استفاده شدند.

نتایج

زی‌تودهٔ جست و جست‌گروه‌ها

درصد رطوبت

به‌منظور اندازه‌گیری وزن خشک جست‌ها، مقدار رطوبت اندام‌های تنه، پوست تنه، شاخه، پوست شاخه، سرشاخه و برگ محاسبه شد. درصد رطوبت اندام‌های مختلف جست‌ها در رویشگاه‌های مختلف به‌نسبت مشابه بود و میانگین آن برای کل جست‌ها بدون تفکیک اندام‌ها ۴۲ درصد محاسبه شد. نتایج حاکی از آن است که شاخه با ۴۹ درصد رطوبت، بیشترین، و سرشاخه با ۳۴ درصد در کل منطقه، کمترین رطوبت را دارد. نتایج تجزیهٔ واریانس اختلاف معنی‌داری را در گلاجارها از نظر متوسط درصد رطوبت کل اندام‌ها نشان نداد (p-value =۰/۳۲). اندازهٔ رطوبت جست‌ها در طبقات قطری درختان مادری (p-value=۰/۳۱۱)؛ و در تیمارهای تنک کردن (p-value=۰/۱۲۳) یکسان بود و اختلاف معنی‌داری را نشان نداد.

مقدار زی‌توده در رویشگاه‌ها

با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام‌گرفته از کل زی‌تودهٔ ۷۱ جست قطع‌شده، ۵۷/۴ درصد آن را تنه،

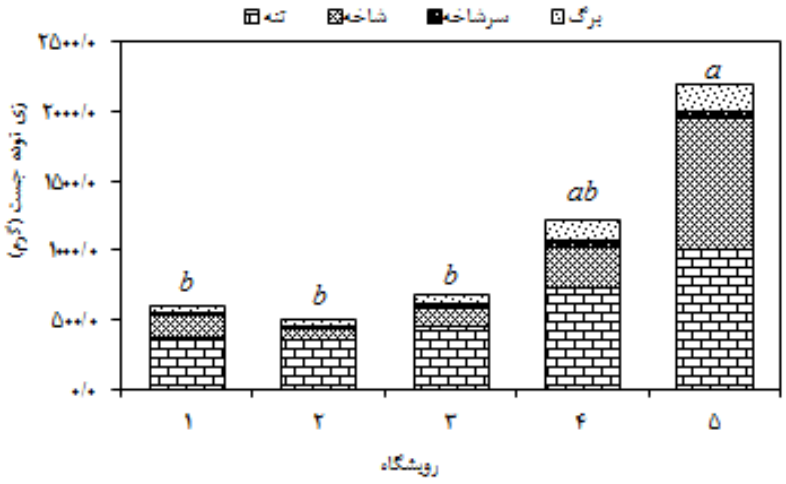
1. Leave one out cross validation

۳۱/۰ درصد را شاخه، ۲/۷ درصد را سرشاخه و ۸/۸ درصد را برگ تشکیل می‌دهد. متوسط زی‌تودهٔ یک جست در رویشگاه‌ها به‌ترتیب ۷۴۲/۹، ۵۸۴/۹، ۹۲۳/۴، ۱۳۹۸/۱ و ۲۲۷۰/۳ گرم است. ویژگی‌های کلی جست‌های هر رویشگاه به تفکیک در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- ویژگی‌های کلی جست‌ها به تفکیک رویشگاه؛ اعداد داخل پرانتزها اشتباه معیار است.

رویشگاه	تعداد جست (اصله)	تعداد کندهٔ جست‌دار	میانگین ارتفاع (سانتی‌متر)	ارتفاع غالب (سانتی‌متر)	میانگین قطر یقه (میلی‌متر)	میانگین قطر برابرسینه (میلی‌متر)
۱	۴۷	۸	۲۰۲/۹ (۱۲/۹)	۴۰۰	۳۰/۰۶ (۲/۳)	۲۲/۳ (۱/۷)
۲	۳۶	۶	۱۶۵/۱ (۱۵/۰۵)	۳۱۵	۲۶/۰ (۲/۰۶)	۲۲/۴ (۱/۴)
۳	۴۷	۵	۱۵۹/۴ (۹/۵)	۲۹۰	۲۷/۶ (۱/۶)	۲۴/۱ (۱/۶)
۴	۵۸	۹	۲۲۷/۹ (۱۳/۱)	۴۲۰	۳۸/۱ (۲/۳)	۲۸/۰ (۱/۶)
۵	۴۵	۷	۲۶۹/۱ (۶/۰۳)	۳۵۰	۴۵/۲ (۲/۵)	۳۱/۸ (۱/۸)
کل	۲۳۳	۳۵	۲۰۷/۳ (۶/۰۳)	۴۲۰	۳۳/۸ (۱/۱)	۲۶/۳ (۰/۸۱)

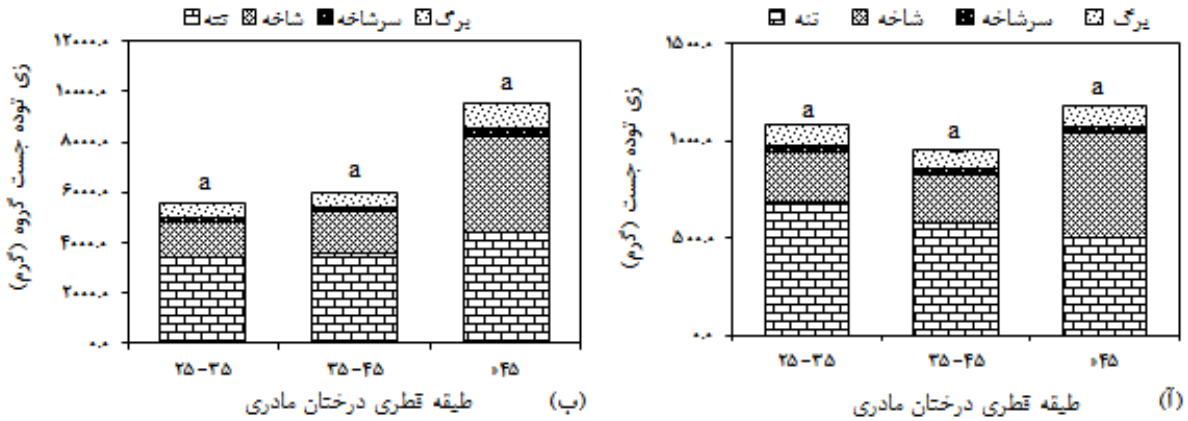
بررسی مقدار زی‌تودهٔ جست‌ها به‌صورت انفرادی نشان داد که متوسط آن در رویشگاه‌ها متفاوت بود و بیشترین مقدار زی‌توده در رویشگاه پنج (۲۲۷۰/۳ گرم) مشاهده شد (شکل ۱). مقایسهٔ میانگین‌های زی‌تودهٔ جست نشان داد که به احتمال ۹۵ درصد (p-value <۰/۰۵؛ F=۴/۳) اختلاف معنی‌داری بین رویشگاه‌ها وجود دارد. متوسط زی‌تودهٔ یک جست ۱۲۰۸/۷ گرم بود که ۵۷/۴ درصد آن را تنه تشکیل می‌دهد؛ ۱۷/۷ درصد از این مقدار زی‌تودهٔ تنه، پوست است. میانگین زی‌تودهٔ شاخهٔ جست‌ها نیز ۳۷۵/۲ گرم به‌دست آمد که ۲۷/۶ درصد آن پوست است. مقدار زی‌تودهٔ تنه در همهٔ رویشگاه‌ها بیشتر از دیگر اندام‌های جست بود و پس از آن به‌ترتیب، اندام‌های شاخه و برگ دارای بیشترین مقدار زی‌توده بودند.



شکل ۱- مقدار زی‌تودهٔ جست به تفکیک رویشگاه‌ها

اثر طبقات قطری درختان مادری بر مقدار زی‌توده

مقدار زی‌تودهٔ جست‌های قطع‌شده در طبقات قطری درختان مادری (۳۵-۲۵، ۴۵-۳۵ و بیش از ۴۵) به‌ترتیب ۲۶/۴۰۰، ۲۰/۹۰۰ و ۲۵/۳۰۰ کیلوگرم محاسبه شد. در سطح جست، طبقهٔ قطری بیش از ۴۵ سانتی‌متر مقدار زی‌تودهٔ بیشتری (۱۱۸۵/۴ گرم) دارد (شکل ۲ آ)؛ اگرچه تجزیهٔ واریانس اختلاف معنی‌داری بین طبقات قطری را نشان نداد (F=۰/۰۰۹ ؛p-value >۰/۰۵). مشابه همین نتیجه در بررسی مقدار زی‌تودهٔ جست‌گروه در طبقات قطری درختان مادری به‌دست آمد (F=۰/۵ ؛p-value >۰/۰۵) و متوسط زی‌توده در طبقهٔ قطری بیش از ۴۵ سانتی‌متر (۹۵۴۵/۴ گرم)، به‌دلیل تراکم زیاد جست‌ها، کمی بیشتر از طبقات قطری دیگر بود (شکل ۲ ب).



شکل ۲- میانگین زی‌تودهٔ جست (آ) و زی‌تودهٔ جست‌گروه (ب) به‌تفکیک طبقات قطری درختان مادری

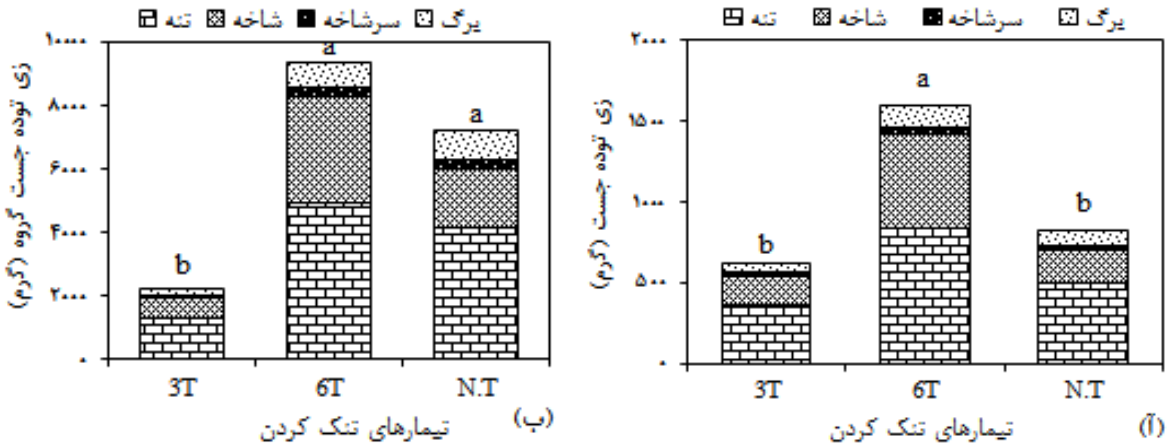
- اثر تیمارهای تنک کردن بر مقدار زی‌توده

مقدار زی‌تودهٔ جست‌های قطع‌شده در تیمارهای تنک کردن (شدید، ملایم و شاهد) به‌ترتیب ۸/۸۲۴، ۳۴/۹۰۰ و ۲۸/۸۰۰ کیلوگرم محاسبه شد. با توجه به نتیجهٔ تجزیهٔ واریانس، تیمارهای تنک کردن اعمال‌شده اثر معنی‌داری بر زی‌تودهٔ جست‌ها به احتمال ۹۵ درصد (F=۳/۳ ؛p-value <۰/۰۵) داشتند. شایان ذکر است که در هیچ موردی اثر متقابل بین متغیرها معنی‌دار نشد. همان‌طور که در شکل ۳ (مقایسهٔ میانگین تیمارها) نشان داده شده، در تیمار ملایم میانگین زی‌تودهٔ جست (۱۵۹۱/۴ گرم) بیشتر از تیمارهای دیگر است. شایان ذکر است که مقدار زی‌تودهٔ تنه و شاخه از اندام‌های دیگر بیشتر است. در سطح جست‌گروه نیز، متوسط زی‌تودهٔ جست‌گروه در تیمار تنک کردن ملایم (۹۳۲۶/۱ گرم) همانند زی‌تودهٔ جست بیشتر از تیمارهای دیگر بود (شکل ۳ ب). زی‌تودهٔ تنک کردن شدید کمترین مقدار را نشان داد، با این‌حال اختلاف معنی‌داری بین تیمار تنک کردن ملایم و گروه شاهد در سطح جست‌گروه مشاهده نشد (F=۱/۹ ؛p-value <۰/۰۵).

- روابط آلومتریک زی‌تودهٔ جست

نتایج مدلسازی برآورد مقدار زی‌تودهٔ اندام‌های هوایی جست با استفاده از متغیرهای مستقل قطر برابرسینه، قطر یقه و ارتفاع کل جست در جدول ۳ ارائه شده است. در این مدل‌ها از رایج‌ترین فرم مدل آلومتری زی‌توده، یعنی مدل توانی، برای مدلسازی زی‌توده استفاده شده است. براساس بررسی‌های

انجام‌گرفته، مدل‌های ایجادشده با قطر یقهٔ جست با ضریب تبیین بیش از ۰/۶۰ در متغیرهای وابسته زی‌تودهٔ تنه، زی‌تودهٔ سرشاخه، زی‌تودهٔ برگ و زی‌تودهٔ کل از مدل‌های دیگر بهترند و دقت بیشتری دارند.



شکل ۳- مقدار زی‌تودهٔ جست (آ) و مقدار زی‌تودهٔ جست‌گروه (ب) به‌تفکیک تیمارهای تنک کردن

جدول ۳- مدل‌های زی‌تودهٔ اندام‌های جست در مقابل متغیر قطر برابرسینه (DBH)، قطر یقه (DCH) به میلی‌متر و ارتفاع کل جست (H) به سانتی‌متر

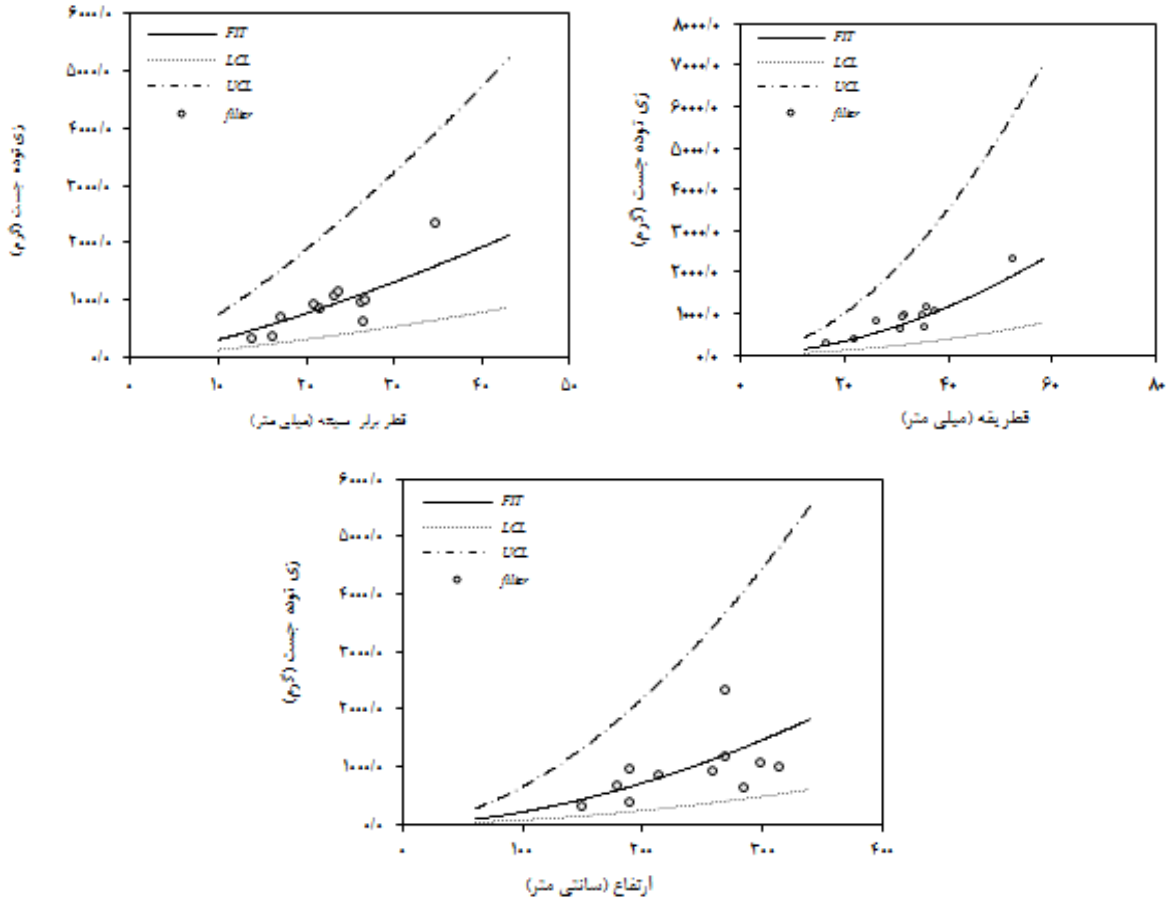
متغیر وابسته	مدل آلومتریک	R^2	F	RMSE	rRMSE	nRMSE	STDEV
زی‌تودهٔ تنه	$W = ۱/۳۳۴۷DBH^{۱/۹۷۳۳}$	۰/۶۱	۷۱/۴**	۳۰۶/۱	۰/۴۳۸	۰/۱۲۸	۵۱۱/۵
	$W = ۰/۱۳۸\ DCH^{۲/۴۰۱۶}$	۰/۷۸	۱۷۸/۶**	۲۱۰/۶	۰/۳۰۲	۰/۰۸۸	۵۴۷/۴
	$W = ۰/۰۳۳۷\ H^{۱/۸۲۲}$	۰/۷۵	۱۶۶/۷**	۳۱۹/۱	۰/۴۵۷	۰/۱۳۴	۳۹۱/۴
زی‌تودهٔ شاخه	$W = ۳/۵۶۹۴DBH^{۱/۴}$	۰/۳۳۷	۲۰/۹**	۲۳۳/۴	۰/۵۹۱	۰/۰۵	۱۷۰/۵
	$W = ۰/۰۴۶۸\ DCH^{۲/۵۴۱۵}$	۰/۷۱	۱۱۸/۹**	۱۴۲/۳	۰/۳۶۱	۰/۰۳	۲۶۱/۱
	$W = ۰/۰۶۲\ H^{۱/۹۹۸۳}$	۰/۶۸	۱۱۱/۳**	۲۳۳/۱	۰/۵۹۱	۰/۰۵	۱۸۸/۸
زی‌تودهٔ سرشاخه	$W = ۰/۱۰۱۶\ DBH^{۱/۸۴۰۵}$	۰/۴۹	۴۰/۱**	۱۷/۶	۰/۵۳۹	۰/۱۸۱	۲۲/۴
	$W = ۰/۰۰۵۲\ DCH^{۲/۵۰۲۱}$	۰/۷۹	۱۷۸/۲**	۱۳/۳	۰/۴۰۶	۰/۱۳۷	۲۹/۸
	$W = ۰/۰۰۰۵\ H^{۲/۰۵۳}$	۰/۷۵	۱۴۶/۸**	۲۵/۴	۰/۷۷۸	۰/۲۶۲	۲۲/۵
زی‌تودهٔ برگ	$W = ۱/۳۶۷۴\ DBH^{۱/۴۱۴۹}$	۰/۴۱	۲۸/۱**	۵۶/۹	۰/۵۲۹	۰/۱۵۴	۷۳/۶
	$W = ۰/۰۰۲۶\ DCH^{۲/۹۶۶۵}$	۰/۸۰	۱۶۹/۰**	۵۷/۳	۰/۵۳۳	۰/۱۵۶	۷۹/۱
	$W = ۰/۰۰۰۱H^{۲/۵۴۰۳}$	۰/۶۹	۱۱۹/۲**	۵۹/۳	۰/۵۵۲	۰/۱۶۱	۷۵/۴
زی‌تودهٔ جست	$W = ۴/۸۴۵۲\ DBH^{۱/۷۲۸۶}$	۰/۶۲	۷۰/۱**	۴۳۵/۵	۰/۳۵۳	۰/۰۶۴	۷۸۱/۹
	$W = ۰/۲۱۳۴DCH^{۲/۴۵۹۲}$	۰/۸۴	۲۸۴/۴**	۳۶۲/۵	۰/۲۹۴	۰/۰۵۳	۹۲۵/۹
	$W = ۰/۰۴۶۲\ H^{۱/۸۶۶۹}$	۰/۷۶	۱۷۵/۱**	۵۱۷/۵	۰/۴۲۰	۰/۰۷۶	۶۷۶/۸

به‌طور کلی با توجه به جدول ۳ در مدل‌های توانی که از ویژگی قطر یقه (DCH) به‌عنوان متغیر پیش‌بینی‌کننده استفاده شده است، برای برآورد زی‌تودهٔ اندام‌های تنه، شاخه و سرشاخه در بیشتر

موارد R^2 (ضریب تبیین) بیشتر، و STDEV (انحراف معیار داده‌ها) و RMSE (ریشهٔ میانگین مربعات خطا) کمتری نسبت به متغیرهای دیگر نشان داد.

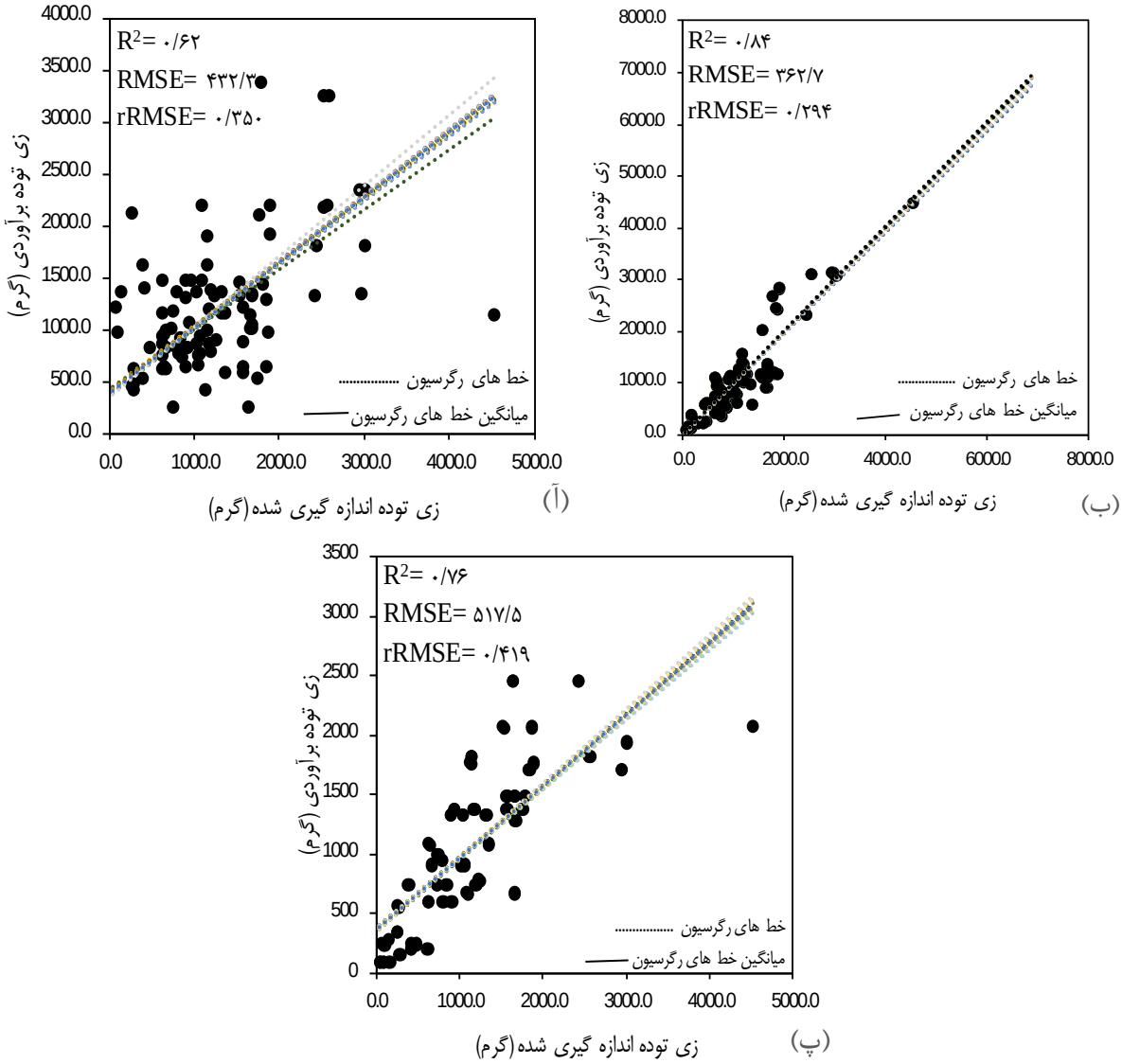
اعتبارسنجی مدل‌های برآورد زی‌تودهٔ جست

با توجه به تعداد زیاد روابط ارائه‌شده، نتایج اعتبارسنجی فقط برای زی‌تودهٔ جست در زیر ارائه شده است؛ درحالی که اعتبارسنجی برای همهٔ مدل‌ها انجام گرفت. نتایج اعتبارسنجی مدل‌های قطر برابرسینه، قطر یقه و ارتفاع جست برای برآورد زی‌تودهٔ جست کامل نشان داد که همهٔ نقاط کنار گذاشته‌شده برای اعتبارسنجی در محدودهٔ پیش‌بینی مدل قرار گرفت و بنابراین مدل‌ها از اعتبار خوبی برخوردارند (شکل ۴).



شکل ۴- رابطهٔ ویژگی‌های جست با مقدار زی‌تودهٔ برآوردی (FIT) و حدود اعتماد (LCL, UCL) و زی‌تودهٔ داده‌های اعتبارسنجی (filter) در مدل توانی

در شکل ۵، اعتبارسنجی مدل‌های توانی با روش یکی بیرون نیز بیانگر اعتبار خوب مدل‌های توانی به‌ویژه با متغیر پیش‌بینی‌کنندهٔ قطر یقه است. همبستگی بین مقادیر مشاهده‌شده و برآوردشده توسط مدل‌ها با متغیر قطر یقهٔ جست ۰/۹۲ بود. در نهایت می‌توان گفت که نتایج، نشان‌دهندهٔ برازش مناسب مدل توانی برای برآورد مقدار زی‌تودهٔ اندام‌ها و کل جست است.



شکل ۵- اعتبارسنجی با روش یکی بیرون، آ) برآورد زی‌توده با استفاده از متغیر مستقل قطر برابرسینهٔ جست، ب) برآورد زی‌توده با استفاده از متغیر مستقل قطر یقهٔ جست، پ) برآورد زی‌توده با استفاده از متغیر مستقل ارتفاع کل جست

بحث

درصد رطوبت اندام‌های جست

محاسبهٔ درصد رطوبت جست‌ها در منطقهٔ آرمرده نشان داد که به‌طور متوسط رطوبت اندام‌های جست گونهٔ وی‌ول ۴۲ درصد است. علاوه بر متوسط رطوبت کل جست، رطوبت اندام‌های جست به تفکیک محاسبه شد. اندازهٔ رطوبت اندام‌های تنه، پوست تنه، شاخه، پوست شاخه، سرشاخه و برگ به‌ترتیب ۴۶، ۳۶، ۴۹، ۳۹، ۳۴ و ۴۶ درصد است. Khosravi et al. (2012) در همین منطقه، مقدار رطوبت برگ و شاخهٔ درختان وی‌ول را به‌ترتیب ۴۴ و ۳۳ درصد محاسبه کردند. Adl (2007) با بررسی بلوط ایرانی، رطوبت برگ این گونه را ۴۳ درصد محاسبه کرد. مقایسهٔ این نتایج نشان می‌دهد که رطوبت جست‌ها کمی بیشتر از رطوبت درختان بالغ است. در خارج از کشور نیز بیشتر تحقیقات در زمینهٔ رطوبت اندام‌های درختان

بود که نتایج تحقیقات Top et al. (2004) بر روی سه گونه بلوط نشان داد رطوبت شاخه و برگ درختان به ترتیب ۵۳ و ۶۰ درصد است.

زی‌تودهٔ جست‌ها

زی‌توده یکی از شاخص‌های اکولوژیک است که توان تولید رویشگاه‌ها و گونه‌های چوبی را نشان می‌دهد. آگاهی از زی‌تودهٔ درختان برای شناخت بهتر جنگل‌ها، نظارت و ارزیابی آنها (Adl, 2007) و مدلسازی بوم‌سازگان جنگل (Valipour et al., 2014) ضروری است.

اندازه‌گیری و مقایسهٔ زی‌تودهٔ کل و زی‌تودهٔ همهٔ اندام‌های جست‌ها در پنج گلاجار تحت بررسی نشان داد که مقدار زی‌تودهٔ تولیدی در این رویشگاه‌ها با هم اختلاف معنی‌داری دارند. در بین اندام‌های مختلف جست‌ها، تنه و سرشاخه به‌ترتیب حداکثر (۵۷/۷ درصد) و حداقل (۳/۲ درصد) زی‌تودهٔ خشک را به خود اختصاص دادند. با توجه به کارکرد چراگاهی گلاجارها، ممکن است مقدار زی‌توده به‌ویژه در گلاجارهای یک و دو تا حدودی تحت تأثیر چرای سرشاخهٔ جست‌ها هم قرار گرفته باشد.

زی‌تودهٔ جست‌ها در گلاجارهای مختلف، متفاوت بود. بیشترین وزن جست‌ها در گلاجار پنج و کمترین مقدار آن در گلاجار دو مشاهده شد. در رویشگاه پنج، مراقبت جست‌گروه‌ها از طرف صاحب گلاجار به‌شکل بهتری انجام گرفت، پرزین‌ها هرساله مرمت شده بودند و چرای دام نیز در آن انجام نمی‌گرفت؛ درحالی که در گلاجار دو این وضعیت وجود نداشت و چرای دام، سرشاخه‌های برخی جست‌ها را از بین برده بود.

تحلیل اثر طبقات قطری درختان مادری بر زی‌تودهٔ جست و جست‌گروه نشان داد که بین طبقات قطری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در این بخش، مورد شایان توجه این بود که وزن تک‌جست‌ها در طبقهٔ قطری بیش از ۴۵ سانتی‌متر بیشترین مقدار است. در سطح جست‌گروه نیز بیشترین مقدار زی‌توده در همین طبقهٔ قطری دیده شد که ناشی از تعداد بیشتر جست‌ها در کنده‌های مربوط به این طبقهٔ قطری نسبت به دو طبقهٔ دیگر است.

اثر تیمارهای تنک کردن بر زی‌تودهٔ جست‌ها

تحلیل نتایج حاصل از بررسی اثر تیمارهای تنک کردن بر متوسط زی‌تودهٔ جست نشان داد که تیمار تنک کردن ملایم، عملکرد بسیار بهتری دارد. عملکرد این تیمار با متوسط زی‌تودهٔ جست ۱۵۹۱/۴ گرم، در حدود دوبرابر تیمارهای دیگر است. باید در نظر داشت که تنک کردن شدید جست‌گروه، که توسط مردم محلی هم بیشتر اجرا می‌شود، نتیجهٔ مطلوبی نداشته و به افزایش مقدار زی‌توده منجر نشده است. این مسئله نشان می‌دهد که بین منابع موجود و رقابت پایه‌ها باید تعادل وجود داشته باشد. به‌عبارت دیگر باید فضای تخصیص‌یافته برای هر جست به‌حدی باشد که جست‌ها برای دستیابی به نور بیشتر، رقابت حداقلی با هم داشته باشند. این رقابت اثر مثبتی بر مقدار تولید می‌گذارد و در مقایسه با حالت‌هایی که رقابت بسیار شدید (تیمار شاهد) یا بسیار کم (تنک کردن شدید) است نتیجهٔ بهتری ایجاد می‌شود.

Gardiner & Hodges (1998) با بررسی تأثیر مقدار نور در دسترس نهال برای بیشترین مقدار رشد و زی‌توده نشان داد نهال‌هایی که حدود ۵۰ درصد نور دریافت می‌کنند بیشترین رویش و زی‌توده را دارند. تیمار تنک کردن ملایم به‌دلیل اینکه جست‌گروه را به مرور زمان در مقابل عوامل محیطی همانند نور قرار می‌دهد، خسارت کمتری را به جست‌گروه وارد می‌کند. علاوه بر این مقدار زی‌تودهٔ جست در این تیمار بیشتر است و به این ترتیب از اهمیت بیشتری برخوردار است (Touchan & Ffolliott, 1999; Siahipour et al., 2010). Mehdifar et al. (2014) تأثیر تیمار تنک کردن بر ویژگی‌های کمّی جست‌گروه‌های برودار را در جنگل‌های خرم‌آباد بررسی کرد که نتایج نشان داد در صورتی که

جست‌گروه به مرور زمان تنک شود، رشد بیشتری خواهد داشت و در نتیجه به‌مراتب مقدار زی‌تودهٔ این جست‌گروه‌ها افزایش خواهد یافت. نتایج پژوهش Ducrey & Toth (1992) نشان داد که تیمار تنک کردن با شدت زیاد با مقدار زی‌توده رابطهٔ مستقیم دارد.

شایان ذکر است که متوسط زی‌تودهٔ اندام‌های تنه و شاخه، به‌ترتیب بیشترین مقدار را نسبت به اندام‌های دیگر دارند. بدین ترتیب با تحلیل و بررسی نسبت شاخه به تنه در سه شدت تنک کردن مشخص شد که تیمار ملایم بیشترین درصد را دارد. نسبت زی‌تودهٔ اندام شاخه به تنه جست در سه شدت تنک کردن (شدید، ملایم و شاهد) به‌ترتیب ۵۱، ۶۸ و ۴۰ درصد است.

تحلیل متوسط زی‌تودهٔ جست‌گروه نیز نتایج مشابهی را نشان داد؛ به‌طوری که همانند جست‌ها، تیمار تنک کردن ملایم بهترین عملکرد را داشت و متوسط زی‌تودهٔ اندام‌های تنه و شاخه به‌ترتیب بیشترین مقدار زی‌توده را به خود اختصاص دادند. Espelta et al. (2003) نشان دادند که تیمار تنک کردن ملایم بهترین عملکرد را دارد. تیمار تنک کردن شدید به‌علت کم بودن تعداد جست (۲۸ جست)، کمترین مقدار زی‌توده را داشت. با اینکه در تیمار شاهد تعداد جست بیشتری (۱۳۱ جست) باقی مانده بود، به‌علت رقابت بین جست‌ها، بیشتر آنها ضعیف و کم‌قطر بودند و وزن خشک زیادی نداشتند.

مدل‌های آلومتری برآورد زی‌تودهٔ جست

نیاز روزافزون به اطلاعات پایه برای مدیریت بهتر جنگل‌ها، پژوهشگران را بر آن داشته که با استفاده از روش‌های غیرمستقیم و بدون خسارت وارد کردن به اکوسیستم‌ها، اطلاعات لازم را به‌دست بیاورند (Zianis et al., 2005). نتایج پژوهش حاضر نشان داد که مشخصه‌هایی از جست‌ها (قطر یقه، قطر برابرسینه و ارتفاع کل) که اندازه‌گیری آنها آسان است از همبستگی زیادی برای برآورد مقدار زی‌تودهٔ خشک جست‌ها برخوردارند؛ یافته‌های Adl (2007) این نتایج را تأیید می‌کند. Peinado et al. (2011) با بررسی مدل‌های جدید برای ۱۰ گونهٔ چوبی در جنگل‌های اسپانیا نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

در این پژوهش متغیرهای قطر یقه، قطر برابرسینه و ارتفاع کل جست به‌عنوان متغیر پیش‌بینی‌کنندهٔ زی‌تودهٔ جست کامل و اندام‌های مختلف آن مقایسه شد. برپایهٔ نتایج، با استفاده از متغیر مستقل قطر یقه می‌توان با بیشترین دقت نسبت به متغیرهای دیگر، زی‌تودهٔ همهٔ اندام‌ها و جست کامل را برآورد کرد. با توجه به اینکه جست‌ها به‌شدت در حال رشد و تکامل‌اند و قطر یقه از متغیرهای دیگر ثبات بیشتری دارد، این نتیجه قابل انتظار بود. متغیر پیش‌بینی‌کنندهٔ قطر برابرسینه در همهٔ مدل‌ها به‌ویژه به‌منظور برآورد زی‌تودهٔ اندام‌های تاج (شاخه، سرشاخه و برگ) از توان لازم برخوردار نبود. دلایل این مسئله این است که برخی جست‌ها هنوز به ارتفاع برابرسینه نرسیده بودند، رویش ارتفاعی جست‌ها زیاد بود و به‌طور کلی فرم پایه‌ها هنوز نهایی نشده و تغییرات به‌ویژه در این متغیر زیاد بود.

متغیر مستقل ارتفاع کل قدرت پیش‌بینی بیشتری نسبت به قطر برابرسینه از خود نشان داد، اما در مقابل متغیر قطر یقه ضعیف‌تر بود. ارتفاع کل در برآورد زی‌تودهٔ برگ و زی‌تودهٔ کل جست، دقت کمتری از اندام‌های دیگر داشت. نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها با روش تقسیم داده‌ها به دو گروه داده‌های آموزش و داده‌های اعتبارسنجی، نشان‌دهندهٔ برآورد درست همهٔ مدل‌ها از زی‌توده بود، به‌طوری که همهٔ نقاط در دامنهٔ حدود اعتماد قرار گرفتند. با این‌حال در مدلی که از قطر یقه استفاده شده بود، از نظر ظاهری، مشاهده‌های گروه اعتبارسنجی نه‌تنها در داخل دامنهٔ حدود اعتماد واقع شدند، بلکه نسبت به مدل‌های دیگر در فاصلهٔ نزدیک‌تری نسبت به خط مدل قرار گرفتند؛ این وضعیت بیانگر دقت بیشتر مدل

توانی با قطر یقه به‌عنوان متغیر پیش‌بینی‌کننده است (Zianis & Mencuccini, 2004). علاوه‌بر برداشت ظاهری از نتیجهٔ اعتبارسنجی، محاسبهٔ فاصلهٔ نقاط برآوردشده با مقادیر مشاهده‌شده با استفاده از شاخص RMSE نشان داد که قطر یقه با کمترین مقدار این شاخص، نسبت به دو متغیر دیگر با خطای کمتری قادر به پیش‌بینی متغیر پاسخ زی‌توده است. اعمال روش یکی بیرون نیز به ایجاد تعداد زیادی مدل (به‌اندازهٔ تعداد مشاهدات) منجر شد که هر مدل پارامترهای خود را داشت. میانگین پارامترهای همهٔ مدل‌ها، به‌عنوان مدل نهایی در نظر گرفته شد. در شکل پنج رابطهٔ بین زی‌تودهٔ واقعی و برآوردشده توسط هر یک از مدل‌های یکی بیرون به‌صورت خط‌چین مشاهده می‌شود. این رابطه برای مدل نهایی نیز با خط کامل نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، در همهٔ موارد همبستگی خطی زیاد زی‌تودهٔ مشاهده‌شده و برآوردشده وجود دارد و خط رگرسیون نهایی نیز خطاها را تعدیل کرده است. همچنین در این روش R^2، RMSE، rRMSE و اشتباه معیار آنها محاسبه شد. همهٔ این شاخص‌ها و پارامترها میانگین حداقل ۵۰ بار اجرای (Run) مدل توانی بر روی داده‌ها برای همهٔ مشخصه‌ها بوده است.

یافته‌های Panahi et al. (2014) در مورد سه گونه جنگل‌های زاگرس شمالی در باغ ملی گیاه‌شناسی و Adl (2007) برای گونه‌های برودار و بنه نشان داد که مدل توانی برپایهٔ متغیر مستقل قطر برابرسینه برای برآورد مقدار زی‌تودهٔ برگ کارایی بیشتری از مدل‌های دیگر دارد. Sohrabi & Shirvani (2012) برای گونهٔ بنه در پارک ملی خجیر، مدل‌های آلومتریک توانی را در مقایسه با مدل‌های دیگر پیشنهاد کردند. مناسب‌ترین متغیر پیش‌بینی‌کننده در بیشتر تحقیقات، قطر برابرسینه معرفی شده است (برای مثال: Adl, 2007)، اما در موارد دیگر متغیرهایی مانند ارتفاع، طول و قطر تاج برآوردکننده‌های بهتری بوده‌اند (Khosravi et al., 2012، Shahabedini, 2018). با توجه به نتایج این پژوهش‌ها و تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد مدل توانی برای برآورد زی‌توده، بیشترین کارایی را دارد و تحت تأثیر گونهٔ درختی قرار نمی‌گیرد، اما متغیر پیش‌بینی‌کننده براساس گونه، اندام‌های مورد نظر برای مدلسازی و وضعیت سنی و رویشگاهی متفاوت است.

نتیجه‌گیری

جنگل‌های شاخه‌زاد بخش چشمگیری از جنگل‌های کشور به‌ویژه زاگرس را به خود اختصاص داده است. شاخه‌زاد یکی از روش‌های زادآوری درختان بلوط است که نسبت به روش دانه‌زاد کمتر به آن توجه شده است؛ درحالی که با توجه به بحران‌های اخیر (آفات و بیماری‌ها و گرم شدن و خشکی هوا) این سازوکار زادآوری به‌دلیل سرعت رشد به‌نسبت زیاد و تولید پایه‌های زیاد می‌تواند با شرایط موجود سازگار شود. در این پژوهش پس از سپری شدن یک دورهٔ میان‌مدت (هفت سال) از قطع درختان مادری بلوط و جست‌دهی، تولید آنها تحت تأثیر تیمارهای تنک کردن بررسی شد و مشخص شد که تنک کردن ملایم بیشترین زی‌توده را تولید می‌کند. اعمال تیمارهای تنک کردن در مراحل مختلف رشد درخت از مهم‌ترین اقدامات جنگل‌شناسان است که داده‌های این پژوهش می‌تواند در مرحلهٔ نهال استفاده شود. برازش و اعتبارسنجی مدل برآوردکنندهٔ مقدار زی‌توده نیز با مقایسهٔ اندام‌های مختلف انجام گرفت و مدل‌های نهایی با دقت زیاد و قابل قبول ایجاد شد. این مدل‌ها علاوه‌بر کاربرد برای برآورد مقدار تولید اندام‌های مختلف در مدلسازی بوم‌سازگان جنگل نقش مهمی دارد. نگاهی به منابع نشان می‌دهد که تاکنون بیشترین تمرکز بر مدلسازی زی‌تودهٔ درختان بالغ گونه‌های مختلف بوده است، درحالی که زادآوری و درختان جوان نیز جزو مهمی از جنگل‌اند و در بیشتر مدل‌های مدیریتی و بوم‌سازگانی، یک زیرمدل کامل را به خود

اختصاص می‌دهند (Lexer & Honninger, 2001; Valipour, 2013).

سپاسگزاری

مرحلهٔ آغازین این تحقیق در سال ۱۳۸۵ در چارچوب طرح پژوهشی ۷۲۰۲۰۱/۱/۳ دانشگاه تهران پایه‌گذاری شد و انجام گرفت و مطالعهٔ حاضر در ادامه و تکمیل آن با استفاده از منابع مالی و امکانات دانشگاه کردستان و مرکز پژوهش و توسعهٔ جنگلداری زاگرس شمالی انجام پذیرفت. مردم منطقهٔ آرمرده به‌ویژه افرادی که به‌مدت هفت سال در این طرح مشارکت داشتند نقش مهمی در حفاظت و پرژین جست‌ها، تنک کردن و جمع‌آوری داده‌های تحقیق داشتند. نویسندگان مقاله لازم می‌دانند از همهٔ سازمان‌ها و افراد دست‌اندرکار این پژوهش سپاسگزاری کنند.

References

Adl, H. R. (2007). Estimation of leaf biomass and leaf area index of two major species in Yasuj forests. Iranian Journal of *Forest and Poplar Research, 15*(4), 417-426.

Brown, S. L., Schroeder, P., & Kern, J. S. (1999). Spatial distribution of biomass in forests of the eastern USA. *Forest Ecology and Management, 123* (1), 81-90.

Chambers, J. Q., Santos, J. d., Ribeiro, R. J., & Higuchi, N. (2001). Tree damage, allometric relationships, and above-ground net primary production in central Amazon forest. *Forest Ecology and Management, 152* (1–3), 73-84.

Ducrey, M., & Toth, J. (1992). Effect of cleaning and thinning on height growth and girth increment in holm oak coppices (Quercus ilex L.). In Quercus ilex L. ecosystems: function, dynamics and management. F. Romane and J. Terradas (eds.), Springer Netherlands, pp. 365-376.

Ebrahimi, M. R., Biglar-beigi, B., Rasaneh, Y., & Zobeiri, M. (1993). Inventory method for the western oak forests of Iran, *Iranian Journal of Natural Resources, 46*, 1-14.

Espelta, J.M., Retana, J. and Habrouk, A. (2003). Resprouting patterns after fire and response to stool cleaning of two coexisting Mediterranean oaks with contrasting leaf habits on two different sites. *Forest Ecology and Management, 179* (1–3), 401-414.

Gardiner, E. S., & Hodges, J. D. (1998). Growth and biomass distribution of cherrybark oak (Quercus pagoda Raf.) seedlings as influenced by light availability. *Forest Ecology and Management, 108* (1–2), 127-134.

Ghazanfari, H., Namiranian, M., Sobhani, H., & Mohajer, R.M. (2004). Traditional forest management and its application to encourage public participation for sustainable forest management in the northern Zagros mountain of Kurdistan province, *Iran. Scandinavian Journal of forest science* (19), 65-71.

Iranmanesh, Y., Sagheb Talebi, Kh., Sohrabi, H., Jalali, S. Gh., & Hosseini, S. M. (2014). Biomass and carbon Stocks of Brant's oak (Quercus brantii Lindl.) in two vegetation forms in Lordegan, Chaharmahal & Bakhtiari Forests, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22* (4), 749-762.

Johnson, P. S., Shifley, S. R., & Rogers, R. (2001). The ecology and silviculture of oaks. CABI: Wallingford, Oxon; New York.

Khosravi, S, Namiranian, M., Ghazanfari, H., & Shirvani, A. (2012). Crown biomass relationships of Lebanon oak in northern Zagros forests of Iran. Croat. J. For. Eng. 33, 239–247.

Lexer, M. J, & Hönninger, K. (2001). A Modified 3D-patch Model for Spatially Explicit Simulation of Vegetation Composition in Heterogeneous Landscapes. *Forest Ecology and Management 144*, 43–65.

Liu, C. (2009). From a tree to a stand in Finnish boreal forests: biomass estimation and comparison of methods.

Marvi Mohajer, M. R. (2011). *Silviculture. University of Tehran Press*. 3th. Edition.418 pp.

Mehdifar, D., Pourhashemi, M. & Karamian, R. (2014). Impact of thinning on quantitative characteristics of Brant`s oak (Quercus brantii Lindl.) in Khorramabad Forests, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22* (2): 358-367

Panahi, P., Pourhashemi, M., & Hasaninejad, M. (2014). Allometric equations of leaf biomass and carbon stocks of oaks in National Botanical Garden of Iran, *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology), 27* (1), 12-22

Pellis, A., Laureysens, I., & Ceulemans, R. (2004). Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar I. Clonal differences in leaf characteristics in relation to biomass production. *Biomass and Bioenergy, 27* (1), 9-19.

Ruiz-Peinado, R., del Rio, M., & Montero, G. (2011). New models for estimating the carbon sink capacity of Spanish softwood species. *Forest Systems, 20* (1), 176-188.

Shahabedini, S., Ghahramany, L., & Pulido, F. (2018). Estimating leaf biomass of pollarded Lebanon oak in open silvopastoral systems using allometric equations. *Trees, 32* (1), 99-108.

Siahipour, Z., Amanzadeh, B., & Sagheb-Talebi, Kh. (2010). Preliminary results of impact of thinning on Norway spruce in Asalem region, *Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 18* (1), 35-45.

Sims, R. E. H., Maiava, T. G., & Bullock, B. T. (2001). Short rotation coppice tree species selection for woody biomass production in New Zealand. *Biomass and Bioenergy, 20* (5), 329-335.

Sohrabi, H., & Shirvani, A. (2012). Allometric Equations for Estimating Standing Biomass of Atlantic Pistache (Pistacia atlantica var. mutica) in Khojir National Park. *Iranian Journal of Forest, 4*, 55-64.

Top, N., Mizoue, N. & Kai, S., (2004). Estimating forest biomass increment based on permanent sample plots in relation to woodfuel consumption: a case study in Kampong Thom Province, Cambodia, *Journal of Forestry Research 9*, 117–123.

Touchan, R., & Ffolliott, P. F. (1999). Thinning of Emory oak coppice: effects on growth, yield, and harvesting cycles. The Southwestern Naturalist, 1-5.

Valipour, A. (2008). Study the suitable dimension of Lebanon oak (Quercus libani Oliv.) for sprouting in uneven-aged coppice management in northern zagros of Iran, M.Sc. thesis in Forestry, University of Tehran, Karaj, Iran. 76 pp.

Valipour, A. (2013). Development of a Management Model for Improving Oak Forest Structure (The Case of Armardeh, Northern Zagros of Iran). Ph.D. thesis, University of Tehran.

Valipour, A., Plieninger, T., Shakeri, Z., Ghazanfari, H., Namiranian, M. & Lexer, M.J. (2014). Traditional silvopastoral management and its effects on forest stand structure in northern Zagros, Iran. *Forest Ecology and Management, 327* (0), 221-230.

Zianis, D. & Mencuccini, M. (2004). On simplifying allometric analyses of forest biomass. *Forest Ecology and Management, 187* (2–3), 311-332.

Zianis, D., & Seura, S. M. (2005). Biomass and stem volume equations for tree species in Europe. *Finnish Society of Forest Science*, Finnish Forest Research Institute.

Iranian Journal of Forest
Vol. 10, No. 4, Winter 2019
pp. 431-447

Modelling the biomass of Lebanon oak sprouts and it's response to thinning in northern Zagros forests (The case of Baneh, Kurdistan Province)

S. Ebrahimi[1], A. Valipour[2*], H. Sohrabi[3], and L. Ghahramany[4]

[1] M.Sc. of Forestry, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran
[2] Assistant prof., Department of Forestry, The Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran
[3] Associate prof., Department of Forestry, University of Tarbiat Modarres, Nour, I. R. Iran
[4] Associate prof., Department of Forestry, The Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran

(Received: 15 July 2018, Accepted: 24 September 2018)

Abstract

This study was carried out to understand the dynamics of Lebanon oak coppice regeneration. In this regard, the effect of thinning on both individual sprouts and stools as well as estimation of sprout biomass using allometric equation were investigated. 45 Lebanon oak trees with different sizes (i.e. DBH from 25 to 65< cm) in five sites were cut and individual stumps were fenced to monitor the sprouting behavior. In the second year after the cutting, light (six sprouts reserved in each stool) and heavy thinning (three sprouts reserved in each stool) were conducted in two third of stools equally and the rest un-thinned ones were considered as control. Data analysis, five years after thinning, showed that the most portion of individual biomass allocated to main stem (57.4%), main branches, leafs and fine branches, respectively. On average 42% of total fresh mass of sprouts were reduced due to water loss in drying process. Analysis of variance indicated that stump size has no significant effect on biomass of individual sprout either stools while it was significantly different among sites. Comparison of thinning treatments and control one showed that light thinning resulted in sprouts with the most biomass while no significant difference was observed between heavy thinning and un-thinned. Using a basic power model, allometric equation was fitted to estimate the sprout biomass. Based on regression analysis as well as derived indicators (R^2, STDEV, RMSE, rRMSE and nRMSE) and models validation by leave one-out method, the collar diameter was found as the best explanatory variable in young sprouts biomass.

Keywords: Allometric models, Biomass, Coppice, Stool

*Corresponding author Tel: +988733620551 Email: ahmadvalipour@uok.ac.ir