



## مدلسازی زی توده جسته‌های جوان وی‌ول و پاسخ آن به تیمار تنک کردن در جنگل‌های زاگرس شمالی (مطالعه موردی: بانه، استان کردستان)

سمیه ابراهیمی<sup>۱</sup>، احمد ولی پور<sup>۲\*</sup>، هرمز سهرابی<sup>۳</sup> و لقمان قهرمانی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانش‌آموخته کارشناسی ارشد جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کردستان، سنندج  
<sup>۲</sup> استادیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی دانشگاه کردستان، سنندج  
<sup>۳</sup> دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس، نور  
<sup>۴</sup> دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی دانشگاه کردستان، سنندج

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

### چکیده

این پژوهش به منظور درک بخشی از پویایی‌های زادآوری شاخه‌زاد بلوط وی‌ول در زاگرس شمالی انجام گرفت. در این زمینه، تأثیر تیمارهای تنک کردن بر مقدار زی توده جسته‌ها و جسته‌های جوان وی‌ول بررسی شد و مقدار زی توده جسته‌ها و اندام‌های آنها با استفاده از روابط آلومتریک به‌عنوان هدف‌های اصلی برآورد شد. ۴۵ اصله درخت وی‌ول در پنج رویشگاه و سه طبقه قطری قطع و کنده‌های آنها برای بررسی چگونگی جسته‌دهی حفاظت شدند. در سال دوم پس از قطع، تیمارهای تنک کردن ملایم (اندوخته‌گیری شش جسته در جسته‌گروه) و شدید (اندوخته‌گیری سه جسته در جسته‌گروه)، روی دوسوم جسته‌گروه‌ها اعمال شد و بقیه جسته‌گروه‌ها به‌عنوان شاهد دست‌نخورده نگه داشته شدند. زی توده جسته‌ها به تفکیک اندام‌های مختلف پس از هفت سال رویشی (مرحله زادآوری) اندازه‌گیری شد. نتایج نشان داد که بیشترین زی توده جسته‌ها مربوط به تنه (۵۷/۴ درصد) بود و پس از آن به ترتیب شاخه، برگ و سرشاخه‌ها قرار گرفتند. میانگین رطوبت جسته‌ها ۴۲ درصد و بیشتر آن متعلق به شاخه‌ها بود. تجزیه واریانس نشان داد که طبقه‌های قطری کنده‌های مادری بر زی توده جسته و جسته‌گروه‌ها اثر معنی‌داری نداشت، اما اختلاف زی توده جسته‌ها در رویشگاه‌های مختلف معنی‌دار بود. براساس مقایسه تیمارهای تنک کردن، بیشترین زی توده در جسته‌های تنک کردن ملایم وجود داشت و اختلاف معنی‌داری بین تنک کردن شدید و شاهد وجود نداشت. مدل برآوردکننده زی توده جسته کامل و اندام‌های آن، با استفاده از رابطه 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 پیش‌بینی‌کننده زی توده در همه موارد بود.

واژه‌های کلیدی: جسته‌گروه، زی توده، شاخه‌زاد، مدل‌های آلومتریک.

### مقدمه

تأثیر جنگل بر آب و هوا، 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

جنگل‌ها به‌عنوان مهم‌ترین اکوسیستم‌های خشکی، تأثیر زیادی در جریان انرژی، ماده و تبدیل این دو بین زمین و اتمسفر بازی می‌کنند. مهم‌ترین

جنگل‌های زاگرس شمالی (محدوده استان‌های آذربایجان غربی و کردستان) که به‌طور عمده از ترکیب سه گونه بلوط وی‌ول، مازودار و برودار شکل گرفته‌اند، توسط جامعه 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 به سمت 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 سبز شده یا کاشته شده 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 جسته‌دهی کنده مادری است و به‌دلیل تغذیه از سیستم ریشه‌ای گسترده درخت مادری، سرعت رشد جسته‌ها به‌طور چشمگیری از نهال‌های دانه‌زاد بیشتر

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

اندازه‌گیری مقدار زی توده همه اندام‌های گونه‌های چوبی بسیار دشوار است. اندازه‌گیری زی توده 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 زی توده بهتر است از روش‌های غیرمستقیم بهره برد. یک روش غیرمستقیم برآورد مقدار زی توده گونه‌ها و توده‌های جنگلی، استفاده از روابط آلومتریک است. به روابطی که مشخصه‌های زیستی درخت (مثل قطر و ارتفاع) را به زی توده آن مربوط می‌کنند روابط آلومتریک گفته می‌شود. برای به‌دست آوردن روابط آلومتریک مربوط به زی توده، به قطع درختان زیادی نیاز نیست و قطع تعدادی درخت و اندازه‌گیری مشخصه‌های زیستی آنها کافی است (Zianis & Mencuccini, 2004). امروزه اندازه‌گیری زی توده گونه‌های چوبی، از نیازهای اساسی در برنامه‌ریزی‌های مدیریت جنگل است (Zianis et al., 2005). مدل‌های آلومتریک یکی از روش‌های غیرمستقیم و غیرمخرب برآورد مقدار زی توده 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 زی توده درختان، مدل توانی است (Zianis & Mencuccini, 2004).

رگرسیون چندگانه با متغیرهای قطر برابرسینه و قطر تاج استفاده کردند. (Touchan & Foliott, 1999) اثر تنک کردن بلوط شاخه‌زاد را بر زی‌توده و چرخه 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 چرخه برداشت شده است. (Pellis et al., 2004) تولید جنگل‌های دست‌کاشت شاخه‌زاد صنوبر در یک دوره کوتاه‌مدت و ارتباط آن با زی‌توده برگ را در بلژیک بررسی و زی‌توده برگ را سه تا هشت تن در هکتار در سال برآورد کردند. (Liu, 2009) مقدار زی‌توده دو گونه کاج (*Pinus sylvestris*) و نوئل (*Picea abies*) را در سطح درخت و توده‌های جنگلی بورآل در جنوب فنلاند ارزیابی کرد. زی‌توده کل نوئل به‌ازای هر درخت در توده مورد بررسی برای پایه‌های زیراشکوب ۵۶ کیلوگرم، برای پایه‌های غالب ۳۶۷ کیلوگرم و برای گونه کاج ۱/۵ برابر بود. متوسط کل زی‌توده روی زمین در توده نیز ۱۷۰/۸ تن در هکتار محاسبه شد.

آگاهی از اندازه زی‌توده درختان به‌طور معمول برای برآورد مقدار تولید و محصول جنگل ضرورت دارد؛ با این حال 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 زی‌توده درختان، پایه‌های دارای حداقل قطر قابل شمارش مدنظر قرار می‌گیرند؛ درحالی که مدل آلومتریکی زی‌توده 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 زی‌توده جست‌ها و جست‌گروه‌های هفت‌ساله (به‌طور کلی با قطر کمتر از ۵ سانتی‌متر) گونه وی‌ول و همچنین برآورد مقدار زی‌توده جست‌ها و اندام‌های جست‌ها به تفکیک با استفاده از روابط آلومتریکی است تا بتوان با متغیرهایی

است. نظام شاخه‌زاد جزو سیستم‌های با دوره گردش کوتاه است و برای استفاده از زی‌توده تولیدی به‌عنوان انرژی یا سوخت زیستی به‌کار برده می‌شود (Pellis et al., 2004; Sims et al., 2001). براساس ضرورت زادآوری در جنگل‌های منطقه، ایده 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 زمینه اندازه‌گیری و برآورد زی‌توده جنگل و گونه‌های جنگلی پژوهش‌های فراوانی انجام گرفته است که البته این پژوهش‌ها در ایران پیشینه زیادی ندارند. (Ebrahimi et al., 1993) از نخستین پژوهشگرانی هستند که مدل‌های برآوردکننده زی‌توده جست‌های برودار را در جنگل‌های زاگرس ارائه کردند. (Adl, 2007) زی‌توده برگ دو گونه 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 زی‌توده برگ و شاخه توده‌های وی‌ول را در جنگل‌های آرم‌رده بانه بررسی کرده و زی‌توده 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 اندوخته کربن روی زمینی را در دو فرم رویشی بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در جنگل‌های لردگان استان چهارمحال و بختیاری بررسی کردند و متوسط زی‌توده 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 زی‌توده تاج (علوفه درختی) درختان وی‌ول گل‌زنی‌شده، از

اجرای این تحقیق دامداری است. جامعه محلی بخشی از علوفه زمستانه مورد نیاز دام‌های خود را با گل‌زنی (سرشاخه‌زنی درختان) از برگ درختان بلوط تهیه می‌کنند. در این روش جنگلداری سنتی در آرم‌رده، سیستم شاخه‌زاد روی درخت به کار گرفته می‌شود و پرورش تاج درختان به منظور تولید علوفه 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 گلاچار از میان داوطلبان همکاری انتخاب شد. به منظور پوشش دادن شرایط مختلف، گلاچارها در نقاط مختلف انتخاب شدند و در تجزیه و تحلیل‌های آماری این مسئله در نظر گرفته شد. ویژگی‌های گلاچارها در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی‌های گلاچارها (رویشگاه‌ها)ی انتخاب‌شده برای بررسی جسته‌دهی 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-گل‌زنی	۵۷۰۶۹۲ ۳۹۷۵۸۹۵
۲. علی رشیدی	NW	۳۵	۱۶۸۰	وی‌ول-مازودار	چرا-گل‌زنی	۵۷۴۲۶۶ ۳۹۷۶۰۲۲
۳. عبدالله فرجی	W-SW	۴۵	۱۸۰۰	وی‌ول-مازودار-برودار	چرا	۵۷۳۹۶۲ ۳۹۷۵۹۳۱
۴. رحمان رشیدی	NE	۴۰	۱۶۷۰	وی‌ول-مازودار	چرا-گل‌زنی	۵۷۱۳۳۹ ۳۹۷۷۸۴۷
۵. احمد امینی	NE	۴۰	۱۷۰۰	وی‌ول-مازودار	چرا-گل‌زنی	۵۷۳۴۹۹ ۳۹۷۷۶۰۵

سانتی‌متر، قطر حد شمارش) پس از هفت سال رویشی از نو بررسی شدند. به این ترتیب برای دستیابی به روش مناسب پرورش جسته‌گروه‌ها، تیمار جنگل‌شناسی تنک کردن در سال دوم رویشی اعمال شد. جسته‌گروه‌ها به صورت تصادفی به سه گروه تقسیم شدند. در جسته‌های گروه‌های اول و دوم، تیمارهای تنک کردن با شدت کم (اندوخته‌گیری شش جسته در هر جسته‌گروه) با کد اختصاری ۶T و تنک کردن با شدت زیاد (اندوخته‌گیری سه جسته در

که اندازه‌گیری آنها آسان است و به تخریب پایه‌ها نیازی ندارند، مقدار زی توده جسته‌ها را برآورد کرد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

منطقه 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 به صورت 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، گلاچار، تقسیم کرده‌اند. شغل اصلی ساکنان منطقه

### روش پژوهش

به منظور بررسی ابعاد مناسب درختان برای جسته‌دهی در مدیریت شاخه‌زاد ناهمسال، ۴۵ اصله درخت بلوط وی‌ول در پنج سامان عرفی (گلاچار) و سه طبقه قطری ۲۵-۳۵، ۳۵-۴۵ و بیش از ۴۵ سانتی‌متر در زمستان سال ۱۳۸۵ انتخاب و قطع شد (Valipour, 2008). کنده‌های مادری به صورت انفرادی حفاظت شده و به منظور بررسی پویایی‌های جسته‌گروه‌ها، جسته‌های حاصل (با قطر کمتر از ۵

بسته‌بندی شد. برای جلوگیری از کپک زدن نمونه‌ها، بسته‌بندی با کاغذ انجام گرفت و سپس نمونه‌ها برای ادامه کار به آزمایشگاه بیولوژی جنگل دانشگاه کردستان انتقال یافتند.

همه نمونه‌ها برای به‌دست آوردن وزن خشک در داخل آون با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. نمونه‌های برگ پس از ۴۸ ساعت با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد خشک شدند و به وزن ثابتی رسیدند؛ سپس وزن خشک آنها اندازه‌گیری شد. پوست و سرشاخه‌ها پس از سه روز با دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به وزن پایدار رسیدند و توزین شدند. نمونه‌های شاخه و تنه در مدت طولانی‌تری و به ترتیب 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 وزن تر (وزن در عرصه) و وزن خشک، درصد رطوبت اندام‌های مختلف به‌دست آمد.

### روش تحلیل

به‌منظور مقایسه زی‌توده در شدت‌های مختلف تنک کردن و طبقات قطری پایه‌های مادری پس از تجزیه واریانس، مقایسه میانگین‌ها انجام گرفت. برای تجزیه و تحلیل واریانس‌ها از آزمایش فاکتوریل برپایه 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 مقایسه 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 آلومتری

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

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 طبقه قطری و پنج رویشگاه به‌نسبت یکسان پخش شدند.

### اندازه‌گیری زی‌توده

به‌منظور اندازه‌گیری زی‌توده جست‌ها، پس از قطع جست‌ها بلافاصله همه اندام‌های آنها اعم از تنه (از محل یقه تا ارتفاع شروع تاج)، شاخه (از شروع تاج تا شروع سرشاخه) و برگ به تفکیک 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، از آنجا که امکان انتقال کل جست‌ها به آزمایشگاه ممکن نبود، نمونه‌هایی از همه اندام‌ها به تفکیک تهیه شد. بدین ترتیب برای سهولت کار نمونه‌هایی با ضخامت ۴ تا ۵ سانتی‌متر از تنه همه جست‌ها در سه ارتفاع (یقه، برابر سینه 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 همه قسمت‌های تاج برداشته شد و پوست آنها جدا و سپس توزین شد. برای به‌دست آوردن نمونه پوست، پوست نمونه‌های تنه و شاخه که از مرحله قبل جدا شده بود، توزین شد، اما سرشاخه جست‌ها به‌طور کامل جدا، توزین و به‌عنوان نمونه انتخاب شد. نمونه‌برداری از برگ جست‌ها به این صورت بود که به‌طور تصادفی از همه قسمت‌های تاج، ۳۰ برگ انتخاب، توزین و سپس

رگرسیون بدون آن داده برازش داده شد و ضرایب و شاخص‌های رگرسیون به دست آمد. در برازش بعدی، داده دیگری از داده‌های آموزش بیرون گذاشته شد و داده قبلی که خارج شده بود دوباره به داده‌های آموزش بازگردانده شد. این کار تا زمانی ادامه پیدا کرد که همه داده‌ها یک بار به عنوان داده اعتبارسنجی بیرون از داده‌های آموزش قرار گرفتند. در نهایت، میانگین ضرایب برازش‌های رگرسیون به عنوان ضرایب نهایی مدل در نظر گرفته شد. همچنین شاخص‌های ضریب تبیین،  $RMSE$ ،  $RMSE$  نسبی و  $RMSE$  نرمال شده نیز محاسبه و برای احراز اعتبار هر مدل استفاده شدند.

### نتایج

#### زی توده جست و جست گروه‌ها

##### درصد رطوبت

به منظور 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 به نسبت 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 تجزیه واریانس اختلاف معنی‌داری را در گلاچارها از نظر متوسط درصد رطوبت کل اندام‌ها نشان نداد ( $p\text{-value} = 0/32$ ). اندازه رطوبت جست‌ها در طبقات قطری درختان مادری ( $p\text{-value} = 0/311$ )؛ و در تیمارهای تنک کردن ( $p\text{-value} = 0/123$ ) یکسان بود و اختلاف معنی‌داری را نشان نداد.

##### مقدار زی توده در رویشگاه‌ها

با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام گرفته از کل زی توده ۷۱ جست قطع شده، ۵۷/۴ درصد آن را تنه،

یقه، قطر برابرسینه و ارتفاع کل آنها اندازه‌گیری شد. در مرحله بعد، جست‌های مورد نظر قطع شده و همه اندام‌ها به تفکیک در عرصه توزین شدند. از این داده‌ها برای به دست آوردن روابط برآوردکننده زی توده استفاده شد. پیش از تعیین روابط آلومتریک، با بررسی ابرنقاط داده‌ها، موارد پرت شناسایی و حذف شدند. ۱۵ درصد داده‌ها برای اعتبارسنجی روابط به صورت تصادفی انتخاب و کنار گذاشته شد و از همه داده‌ها برای آموزش استفاده شد. معادله‌های رگرسیونی با روش حداقل مربعات و با استفاده از متغیرهای پیش‌بینی‌کننده قطر یقه، قطر برابرسینه و ارتفاع جست‌ها برازش داده شدند. با توجه به نتایج بیشتر تحقیقات صورت گرفته در زمینه زی توده، در این پژوهش از مدل توانی با فرم عمومی  $Biomass = b_0 size^{b_1}$  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

به منظور احراز اعتبار مدل، علاوه بر شاخص‌های ضریب تبیین ( $R^2$ )، انحراف معیار داده‌ها ( $STDEV$ ) و ریشه میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ )، از روش حدود پیش‌بینی، ۱۵ درصد نمونه‌ها کنار گذاشته شد و در محاسبه ضرایب رگرسیون دخالت داده نشد. پس از به دست آوردن مدل برآوردکننده زی توده، داده‌های اندازه‌گیری شده (نمونه‌های کنارگذاشته شده برای کنترل) با مقادیر پیش‌بینی شده توسط مدل مقایسه شدند. معیار پذیرش مدل‌ها، قرار گرفتن زی توده اندازه‌گیری شده در محدوده اعتماد مدل بود. به منظور اعتبارسنجی مدل جست کامل (همه بخش‌های روی زمینی جست)، علاوه بر این روش، از روش یکی بیرون ( $LOOCV$ )<sup>۱</sup> استفاده شد. به این ترتیب یکی از داده‌ها بیرون از داده‌های آموزش قرار گرفت و مدل

1. Leave one out cross validation

۹۲۳/۴، ۱۳۹۸/۱ و ۲۲۷۰/۳ گرم است. ویژگی‌های کلی جست‌های هر رویشگاه به تفکیک در جدول ۲ ارائه شده است.

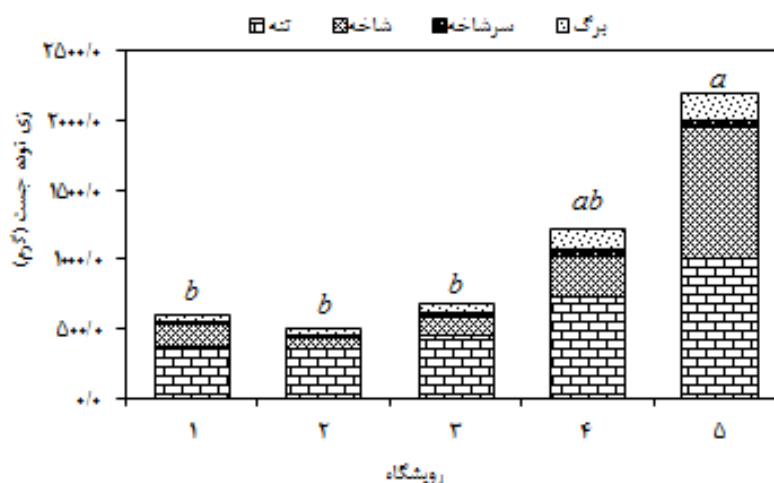
۳۱/۰ درصد را شاخه، ۲/۷ درصد را سرشاخه و ۸/۸ درصد را برگ تشکیل می‌دهد. متوسط زی توده یک جست در رویشگاه‌ها به ترتیب ۷۴۲/۹، ۵۸۴/۹،

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

رویشگاه	تعداد جست (اصله)	تعداد کنده جست‌دار	میانگین ارتفاع (سانتی‌متر)	ارتفاع غالب (سانتی‌متر)	میانگین قطر یقه (میلی‌متر)	میانگین قطر برابرینه (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)

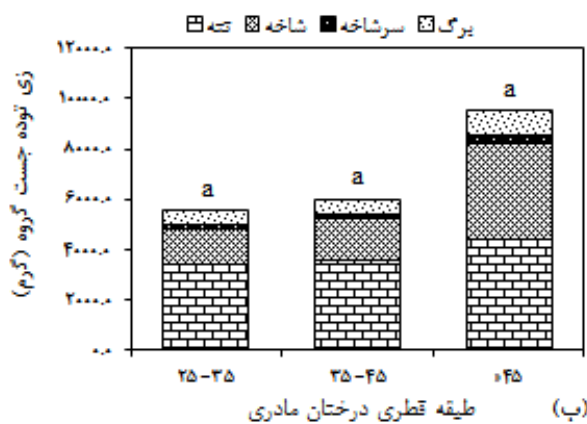
۱۲۰۸/۷ گرم بود که ۵۷/۴ درصد آن را تنه تشکیل می‌دهد؛ ۱۷/۷ درصد از این مقدار زی توده تنه، پوست است. میانگین زی توده شاخه جست‌ها نیز ۳۷۵/۲ گرم به دست آمد که ۲۷/۶ درصد آن پوست است. مقدار زی توده تنه در همه رویشگاه‌ها بیشتر از دیگر اندام‌های جست بود و پس از آن به ترتیب، اندام‌های شاخه و برگ دارای بیشترین مقدار زی توده بودند.

بررسی مقدار زی توده جست‌ها به صورت انفرادی نشان داد که متوسط آن در رویشگاه‌ها متفاوت بود و بیشترین مقدار زی توده در رویشگاه پنج (۲۲۷۰/۳ گرم) مشاهده شد (شکل ۱). مقایسه میانگین‌های زی توده جست نشان داد که به احتمال ۹۵ درصد ( $F=۴/۳$ ;  $p\text{-value} < ۰/۰۵$ ) اختلاف معنی‌داری بین رویشگاه‌ها وجود دارد. متوسط زی توده یک جست

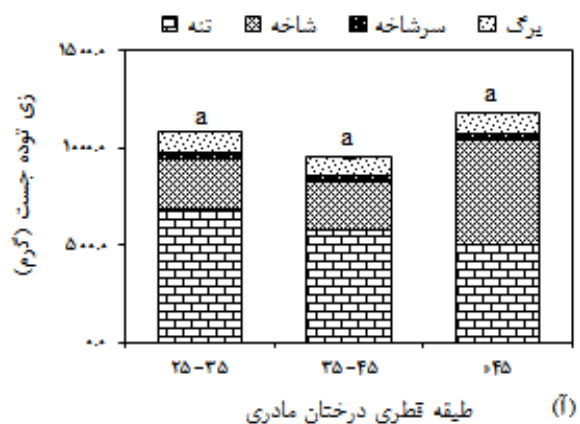


شکل ۱- مقدار زی توده جست به تفکیک رویشگاه‌ها

در بررسی مقدار زی توده جسته گروه در طبقات قطری درختان مادری به دست آمد ( $p\text{-value} > 0/05$ ;  $F=0/009$ ). مشابه همین نتیجه در درختان مادری به دست آمد ( $p\text{-value} > 0/05$ ) و متوسط زی توده در طبقه قطری بیش از ۴۵ سانتی متر (۹۵۴۵/۴ گرم)، به دلیل تراکم زیاد جسته ها، کمی بیشتر از طبقات قطری دیگر بود (شکل ۲ ب).



اثر طبقات قطری درختان مادری بر مقدار زی توده مقدار زی توده جسته های قطع شده در طبقات قطری درختان مادری (۲۵-۳۵، ۳۵-۴۵، ۴۵) به ترتیب ۲۶/۴۰۰، ۲۰/۹۰۰ و ۲۵/۳۰۰ کیلوگرم محاسبه شد. در سطح جسته، طبقه قطری بیش از ۴۵ سانتی متر مقدار زی توده بیشتری (۱۱۸۵/۴ گرم) دارد (شکل ۲ آ)؛ اگرچه تجزیه واریانس اختلاف معنی داری بین طبقات قطری را نشان نداد



شکل ۲- میانگین زی توده جسته (آ) و زی توده جسته گروه (ب) به تفکیک طبقات قطری درختان مادری

جسته گروه در تیمار تنک کردن ملایم (۹۳۲۶/۱ گرم) همانند زی توده جسته بیشتر از تیمارهای دیگر بود (شکل ۳ ب). زی توده تنک کردن شدید کمترین مقدار را نشان داد، با این حال اختلاف معنی داری بین تیمار تنک کردن ملایم و گروه شاهد در سطح جسته گروه مشاهده نشد ( $p\text{-value} < 0/05$ ;  $F=1/9$ ).

#### روابط آلومتریک زی توده جسته

نتایج مدلسازی برآورد مقدار زی توده اندام های هوایی جسته با استفاده از متغیرهای مستقل قطر برابر سینه، قطر یقه و ارتفاع کل جسته در جدول ۳ ارائه شده است. در این مدل ها از رایج ترین فرم مدل آلومتری زی توده، یعنی مدل توانی، برای مدلسازی زی توده استفاده شده است. براساس بررسی های

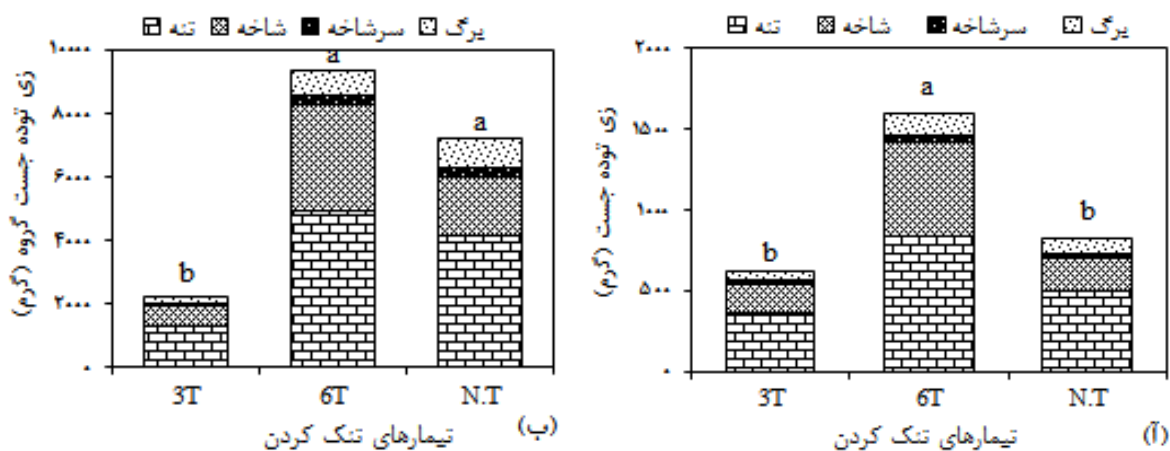
#### اثر تیمارهای تنک کردن بر مقدار زی توده

مقدار زی توده جسته های قطع شده در تیمارهای تنک کردن (شدید، ملایم و شاهد) به ترتیب ۸/۸۲۴، ۳۴/۹۰۰ و ۲۸/۸۰۰ کیلوگرم محاسبه شد. با توجه به نتیجه تجزیه واریانس، تیمارهای تنک کردن اعمال شده اثر معنی داری بر زی توده جسته ها به احتمال ۹۵ درصد ( $p\text{-value} < 0/05$ ;  $F=3/3$ ) داشتند. شایان ذکر است که در هیچ موردی اثر متقابل بین متغیرها معنی دار نشد. همان طور که در شکل ۳ (مقایسه میانگین تیمارها) نشان داده شده، در تیمار ملایم میانگین زی توده جسته (۱۵۹۱/۴ گرم) بیشتر از تیمارهای دیگر است. شایان ذکر است که مقدار زی توده تنه و شاخه از اندام های دیگر بیشتر است. در سطح جسته گروه نیز، متوسط زی توده



زی توده تنه، زی توده سرشاخه، زی توده برگ و زی توده کل از مدل‌های دیگر بهترند و دقت بیشتری دارند.

انجام گرفته، مدل‌های ایجادشده با قطر یقه جست با ضریب تبیین بیش از ۰/۶۰ در متغیرهای وابسته



شکل ۳- مقدار زی توده جست (آ) و مقدار زی توده جست گروه (ب) به تفکیک تیمارهای تنک کردن

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

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

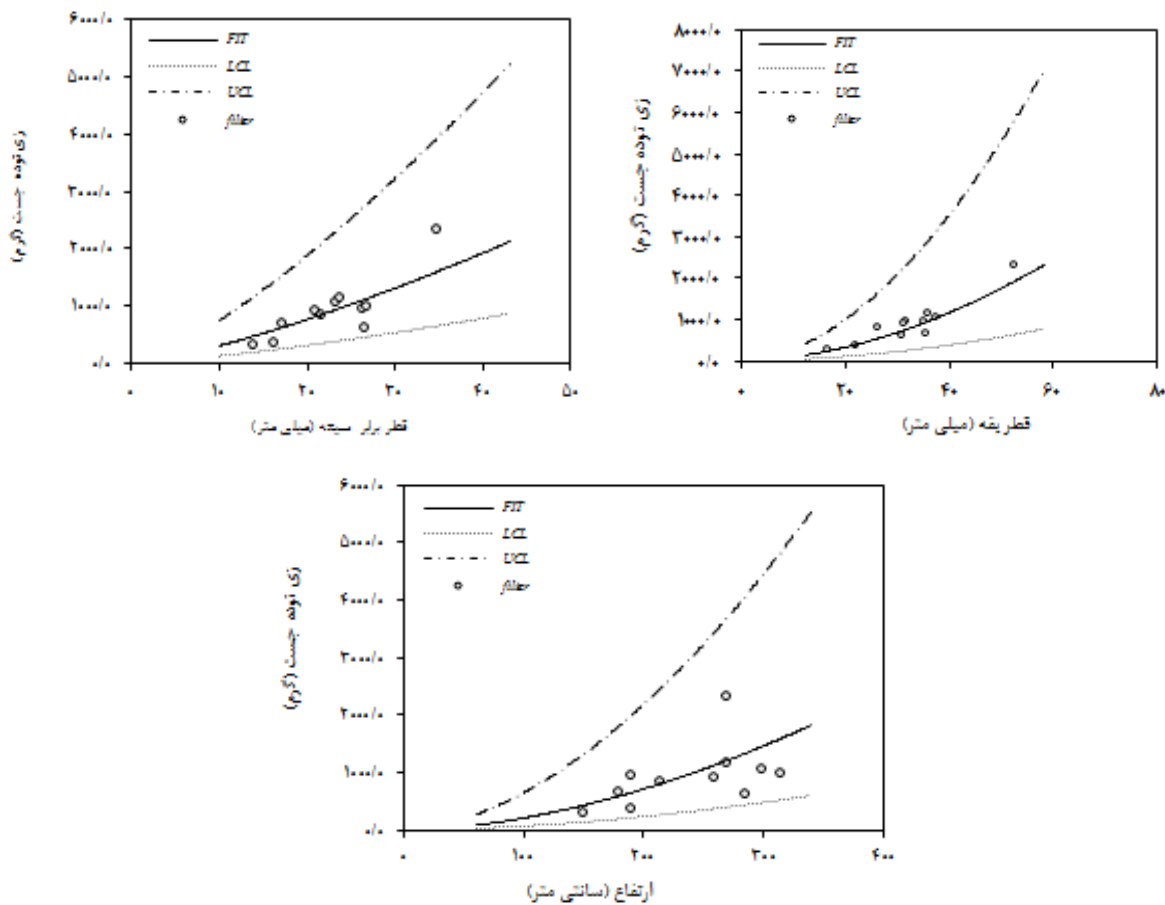
پیش‌بینی‌کننده استفاده شده است، برای برآورد زی توده اندام‌های تنه، شاخه و سرشاخه در بیشتر

به‌طور کلی با توجه به جدول ۳ در مدل‌های توانی که از ویژگی قطر یقه (DCH) به‌عنوان متغیر

انجام گرفت. نتایج اعتبارسنجی مدل‌های قطر برابر سینه، قطر یقه و ارتفاع جست برای برآورد زی توده جست کامل نشان داد که همه نقاط کنار گذاشته شده برای اعتبارسنجی در محدوده پیش‌بینی مدل قرار گرفت و بنابراین مدل‌ها از اعتبار خوبی برخوردارند (شکل ۴).

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

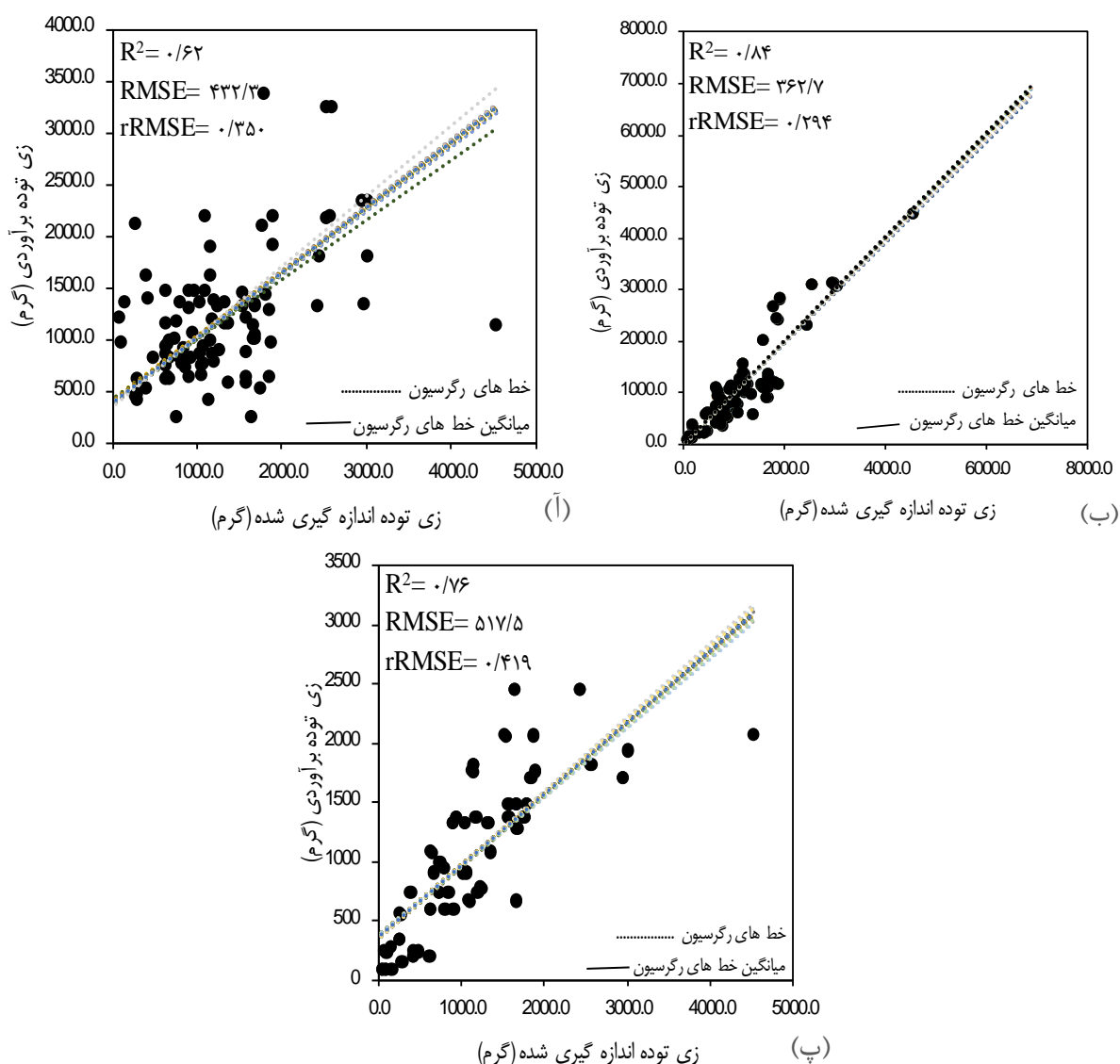
**اعتبارسنجی مدل‌های برآورد زی توده جست**  
با توجه به تعداد زیاد روابط ارائه شده، نتایج اعتبارسنجی فقط برای زی توده جست در زیر ارائه شده است؛ در حالی که اعتبارسنجی برای همه مدل‌ها



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

توسط مدل‌ها با متغیر قطر یقه جست ۰/۹۲ بود. در نهایت می‌توان گفت که نتایج، نشان‌دهنده برآزش مناسب مدل توانی برای برآورد مقدار زی توده اندام‌ها و کل جست است.

در شکل ۵، اعتبارسنجی مدل‌های توانی با روش یکی بیرون نیز بیانگر اعتبار خوب مدل‌های توانی به‌ویژه با متغیر پیش‌بینی‌کننده قطر یقه است. همبستگی بین مقادیر مشاهده شده و برآورد شده



شکل ۵- اعتبارسنجی با روش یکی بیرون، (آ) برآورد زی توده با استفاده از متغیر مستقل قطر برابر سینه جست، (ب) برآورد زی توده با استفاده از متغیر مستقل قطر یقه جست، (پ) برآورد زی توده با استفاده از متغیر مستقل ارتفاع کل جست

۳۹، ۳۴ و ۴۶ درصد است. (Khosravi et al. (2012) در همین منطقه، مقدار رطوبت برگ و شاخه درختان ویول را به ترتیب ۴۴ و ۳۳ درصد محاسبه کردند. (Adl (2007) با بررسی بلوط ایرانی، رطوبت برگ این گونه را ۴۳ درصد محاسبه کرد. مقایسه این نتایج نشان می‌دهد که رطوبت جست‌ها کمی بیشتر از رطوبت درختان بالغ است. در خارج از کشور نیز بیشتر تحقیقات در زمینه رطوبت اندام‌های درختان

### بحث

#### درصد رطوبت اندام‌های جست

محاسبه درصد رطوبت جست‌ها در منطقه آمورده نشان داد که به طور متوسط رطوبت اندام‌های جست گونه ویول ۴۲ درصد است. علاوه بر متوسط رطوبت کل جست، رطوبت اندام‌های جست به تفکیک محاسبه شد. اندازه رطوبت اندام‌های تنه، پوست تنه، شاخه، پوست شاخه، سرشاخه و برگ به ترتیب ۴۶، ۳۶، ۴۹،

در همین طبقه قطری دیده شد که ناشی از تعداد بیشتر جسته‌ها در کنده‌های مربوط به این طبقه قطری نسبت به دو طبقه دیگر است.

#### اثر تیمارهای تنک کردن بر زی توده جسته‌ها

تحلیل نتایج حاصل از بررسی اثر تیمارهای تنک کردن بر متوسط زی توده جسته نشان داد که تیمار تنک کردن ملایم، عملکرد بسیار بهتری دارد. عملکرد این تیمار با متوسط زی توده جسته ۱۵۹۱/۴ گرم، در حدود دوبرابر تیمارهای دیگر است. باید در نظر داشت که تنک کردن شدید جسته‌گروه، که توسط مردم محلی هم بیشتر اجرا می‌شود، نتیجه مطلوبی نداشته و به افزایش مقدار زی توده منجر نشده است. این مسئله نشان می‌دهد که بین منابع موجود و رقابت پایه‌ها باید تعادل وجود داشته باشد. به عبارت دیگر باید فضای تخصیص یافته برای هر جسته به حدی باشد که جسته‌ها 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 نتیجه بهتری ایجاد می‌شود.

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

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.

#### زی توده جسته‌ها

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

اندازه‌گیری و مقایسه زی توده کل و زی توده همه اندام‌های جسته‌ها در پنج گلاجر تحت بررسی نشان داد که مقدار زی توده تولیدی در این رویشگاه‌ها با هم اختلاف معنی‌داری دارند. در بین اندام‌های مختلف جسته‌ها، تنه و سرشاخه به ترتیب حداکثر (۵۷/۷ درصد) و حداقل (۳/۲ درصد) زی توده خشک را به خود اختصاص دادند. با توجه به کارکرد چراگاهی گلاجرها، ممکن است مقدار زی توده به‌ویژه در گلاجرهای یک و دو تا حدودی تحت تأثیر چرای سرشاخه جسته‌ها هم قرار گرفته باشد.

زی توده جسته‌ها در گلاجرهای مختلف، متفاوت بود. بیشترین وزن جسته‌ها در گلاجر پنج و کمترین مقدار آن در گلاجر دو مشاهده شد. در رویشگاه پنج، مراقبت جسته‌گروه‌ها از طرف صاحب گلاجر به شکل بهتری انجام گرفت، پرژین‌ها هرساله مرمت شده بودند و چرای دام نیز در آن انجام نمی‌گرفت؛ در حالی که در گلاجر دو این وضعیت وجود نداشت و چرای دام، سرشاخه‌های برخی جسته‌ها را از بین برده بود.

تحلیل اثر طبقات قطری درختان مادری بر زی توده جسته و جسته‌گروه نشان داد که بین طبقات قطری اختلاف معنی‌داری وجود ندارد. در این بخش، مورد شایان توجه این بود که وزن تک جسته‌ها در طبقه قطری بیش از ۴۵ سانتی‌متر بیشترین مقدار است. در سطح جسته‌گروه نیز بیشترین مقدار زی توده

همبستگی زیادی برای برآورد مقدار زی توده خشک جست‌ها برخوردارند؛ یافته‌های (Adl (2007) این نتایج را تأیید می‌کند. (Peinado et al. (2011) با بررسی مدل‌های جدید برای ۱۰ گونه چوبی در جنگل‌های اسپانیا نیز به نتایج مشابهی دست یافتند.

در این پژوهش متغیرهای قطر یقه، قطر برابرسینه و ارتفاع کل جست به‌عنوان متغیر پیش‌بینی‌کننده زی توده جست کامل و اندام‌های مختلف آن مقایسه شد. برپایه نتایج، با استفاده از متغیر مستقل قطر یقه می‌توان با بیشترین دقت نسبت به متغیرهای دیگر، زی توده همه 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 پیش‌بینی‌کننده قطر برابرسینه در همه مدل‌ها به‌ویژه به‌منظور برآورد زی توده 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 زی توده برگ و زی توده کل جست، دقت کمتری از اندام‌های دیگر داشت. نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها با روش تقسیم داده‌ها به دو گروه داده‌های آموزش و داده‌های اعتبارسنجی، نشان‌دهنده برآورد درست همه مدل‌ها از زی توده بود، به‌طوری که همه نقاط در دامنه حدود اعتماد قرار گرفتند. با این حال در مدلی که از قطر یقه استفاده شده بود، از نظر ظاهری، مشاهده‌های گروه اعتبارسنجی نه‌تنها در داخل دامنه حدود اعتماد واقع شدند، بلکه نسبت به مدل‌های دیگر در فاصله نزدیک‌تری نسبت به خط مدل قرار گرفتند؛ این وضعیت بیانگر دقت بیشتر مدل

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

شایان ذکر است که متوسط زی توده 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 زی توده اندام شاخه به تنه جست در سه شدت تنک کردن (شدید، ملایم و شاهد) به‌ترتیب ۵۱، ۶۸ و ۴۰ درصد است.

تحلیل متوسط زی توده جست‌گروه نیز نتایج مشابهی را نشان داد؛ به‌طوری که همانند جست‌ها، تیمار تنک کردن ملایم بهترین عملکرد را داشت و متوسط زی توده اندام‌های تنه و شاخه به‌ترتیب بیشترین مقدار زی توده 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 زی توده 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 زی توده 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

توجه به نتایج این پژوهش‌ها و تحقیق حاضر، به نظر می‌رسد مدل توانی برای برآورد زی توده، بیشترین کارایی را دارد و تحت تأثیر گونه 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 به دلیل سرعت رشد به نسبت زیاد و تولید پایه‌های زیاد می‌تواند با شرایط موجود سازگار شود. در این پژوهش پس از سپری شدن یک دوره میان‌مدت (هفت سال) از قطع درختان مادری بلوط و جسته‌دهی، تولید آنها تحت تأثیر تیمارهای تنک کردن بررسی شد و مشخص شد که تنک کردن ملایم بیشترین زی توده را تولید می‌کند. اعمال تیمارهای تنک کردن در مراحل مختلف رشد درخت از مهم‌ترین اقدامات جنگل‌شناسان است که داده‌های این پژوهش می‌تواند در مرحله نهال استفاده شود. برآزش و اعتبارسنجی مدل برآوردکننده مقدار زی توده نیز با مقایسه اندام‌های مختلف انجام گرفت و مدل‌های نهایی با دقت زیاد و قابل قبول ایجاد شد. این مدل‌ها علاوه بر 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 زی توده 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

توانی با قطر یقه به‌عنوان متغیر پیش‌بینی‌کننده است (Zianis & Mencuccini, 2004). علاوه بر برداشت ظاهری از نتیجه اعتبارسنجی، محاسبه فاصله 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 زی توده است. اعمال روش یکی بیرون نیز به ایجاد تعداد زیادی مدل (به اندازه تعداد مشاهدات) منجر شد که هر مدل پارامترهای خود را داشت. میانگین پارامترهای همه مدل‌ها، به‌عنوان مدل نهایی در نظر گرفته شد. در شکل پنج رابطه بین زی توده واقعی و برآوردشده توسط هر یک از مدل‌های یکی بیرون به صورت خط چین مشاهده می‌شود. این رابطه برای مدل نهایی نیز با خط کامل نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، در همه موارد همبستگی خطی زیاد زی توده 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. همه این شاخص‌ها و پارامترها میانگین حداقل ۵۰ بار اجرای (Run) مدل توانی بر روی داده‌ها برای همه 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 برپایه متغیر مستقل قطر برابر سینه برای برآورد مقدار زی توده برگ کارایی بیشتری از مدل‌های دیگر دارد. (Sohrabi & Shirvani, 2012) برای گونه بنه در پارک ملی خجیر، مدل‌های آلومتریکی توانی را در مقایسه با مدل‌های دیگر پیشنهاد کردند. مناسب‌ترین متغیر پیش‌بینی‌کننده در بیشتر تحقیقات، قطر برابر سینه معرفی شده است (برای مثال: (Adl, 2007)، اما در موارد دیگر متغیرهایی مانند ارتفاع، طول و قطر تاج برآوردکننده‌های بهتری بوده‌اند (Shahabedini, 2018, Khosravi et al., 2012). با

دانشگاه کردستان و مرکز پژوهش و توسعه جنگلداری زاگرس شمالی انجام پذیرفت. مردم منطقه آرمده 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.

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

### سپاسگزارى

مرحلهٔ آغازین این تحقیق در سال ۱۳۸۵ در چارچوب طرح پژوهشی ۷۲۰۲۰/۱/۱/۳ دانشگاه تهران پایه‌گذاری شد و انجام گرفت و مطالعه حاضر در ادامه و تکمیل آن با استفاده از منابع مالی و امکانات

### 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., Namirani, 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.





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

S. Ebrahimi<sup>1</sup>, A. Valipour<sup>2\*</sup>, H. Sohrabi<sup>3</sup>, and L. Ghahramany<sup>4</sup>

<sup>1</sup> M.Sc. of Forestry, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran

<sup>2</sup> Assistant prof., Department of Forestry, The Center for Research and Development of Northern Zagros Forestry, University of Kurdistan, Sanandaj, I. R. Iran

<sup>3</sup> Associate prof., Department of Forestry, University of Tarbiat Modarres, Nour, I. R. Iran

<sup>4</sup> 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

