



مدل‌سازی ضریب شکل درختان راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) با استفاده از رگرسیون‌های غیرخطی در جنگل‌های گیلان

فریور نقوی جورشیری^{۱*}، امیر اسلام بنیاد^۲، کامبیز طاهری آبکنار^۲، حسن پوربابایی^۳

^۱ دانشجوی دکتری جنگلداری، گروه جنگلداری، پردیس دانشگاهی دانشگاه گیلان، رشت، ایران
^۲ استاد گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران
^۳ دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه گیلان، صومعه‌سرا، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۹/۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۱۱/۲۵)

چکیده

یکی از عوامل مهم در تعیین حجم درختان برای بهره‌برداری مطابق با اصول بوم‌شناختی، انتخاب و محاسبه ضریب شکل مناسب است. در این بررسی، به منظور تعیین مناسب‌ترین فرمول ضریب شکل برای جایگزینی ضریب شکل واقعی و همچنین مدل‌سازی متغیر ضریب شکل در جنگل‌های گیلان، ۱۵۰ اصله درخت راش انتخاب شد. سه ضریب شکل طبیعی، مصنوعی و هوه‌نادل با استفاده از آزمون مقایسه‌های جفتی با ضریب شکل واقعی مقایسه شدند. از رگرسیون‌های غیرخطی نمایی، لجستیک و چارپمن-ریچارد به منظور مدل‌سازی ضریب شکل درختان راش استفاده شد. برای ارزیابی مدل‌های به دست آمده از ضریب تبیین (R^2)، Student t-test، جفتی و از چهار آماره ارزیابی صحت میانگین خطا، جذر میانگین مربعات خطا، میانگین خطای نسبی و جذر میانگین مربعات خطای نسبی استفاده شد. نتایج نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین سه ضریب شکل طبیعی، مصنوعی و هوه‌نادل با ضریب شکل واقعی درختان راش وجود دارد. همچنین نتایج ضریب تبیین نشان داد که هیچ‌کدام از مدل‌ها از ضریب تبیین مناسبی برخوردار نیستند. آماره‌های ارزیابی صحت نیز نشان داد که دو مدل نمایی و لجستیک از صحت کافی در برآورد متغیر ضریب شکل درختان راش برخوردارند. همچنین اختلاف معنی‌داری بین میانگین برآوردی به دست آمده از مدل لجستیک با میانگین واقعی وجود نداشت. بنابراین مدل لجستیک به عنوان بهترین مدل برای برآورد مشخصه ضریب شکل درختان راش در جنگل‌های گیلان انتخاب شد.

واژه‌های کلیدی: جنگل‌های گیلان، راش شرقی، رگرسیون غیرخطی، ضریب شکل درخت.

مقدمه

گونه راش، از عمده‌ترین گونه‌های تجاری جنگل‌های شمال ایران است و سطح وسیعی از این جنگل‌ها را به خود اختصاص داده است.

شناخت چرخه توالی و دوره زیستی این گونه ارزشمند به برنامه‌ریزان و مدیران اجرایی طرح‌های جنگلداری کمک می‌کند تا با شناخت بهتر روند تکامل این توده‌ها، به تدوین برنامه‌ها و اجرای آنها اقدام کنند. گونه راش اقتصادی‌ترین گونه جنگل‌های شمال ایران است که برداشت آن بر مبنای حجم صورت می‌گیرد. شکل و فرم درخت بر میزان و نحوه برآورد حجم درخت مؤثر است، بنابراین شکل ظاهری درخت راش اهمیت زیادی در تولید اقتصادی این درخت دارد. شکل ظاهری درخت نتیجه سه عامل مهم زیر است: ۱. خصوصیات ژنتیکی درخت که از پایه‌های مادری به ارث می‌رسد؛ ۲. شرایط پایگاهی یا اکولوژیک که بر شکل ظاهری درخت اثر می‌گذارد؛ و ۳. عامل انسانی که با اجرای عملیات پرورشی می‌تواند در شکل ظاهری درختان اصلاحاتی را به وجود آورد (Marvie-Mohadjer, 2006). برای نشان دادن فرم مقطع طولی ساقه از مشخصه‌هایی استفاده می‌شود که در آنها تغییرات قطر در ارتفاعات مختلف ساقه، نسبت به یک مبنا سنجیده شود. از جمله این مشخصه‌ها می‌توان از ضریب شکل درخت نام برد. ضریب شکل بعد از دو عامل قطر برابر سینه و ارتفاع، مهم‌ترین پارامتر برای محاسبه حجم درخت است (Bonyad, 2014). ضریب شکل را می‌توان به روش‌های مختلفی تعیین کرد. از بین ضرایب محاسبه‌شده، ضریبی انتخاب می‌شود که با ضرب در حجم استوانه فرضی، حجمی نزدیک به حجم واقعی درخت به دست آید و در عین حال اندازه‌گیری و برآورد آن امکان‌پذیر باشد. شکل درخت از گونه‌ای به گونه دیگر و از توده‌ای به توده دیگر تغییر می‌کند. شکل درخت تابع عواملی چون نوع گونه، رویشگاه، تراکم توده، سن، موقعیت درخت در توده و شکل زمین

است. طرز قرار گرفتن درخت در موقعیت‌های مختلف سبب می‌شود که رویش قطری در تمام قسمت‌های تنه یکسان نباشد. با تغییر در رویش قطری ضریب شکل درخت نیز تغییر می‌کند. برای مقایسه شکل ساقه درخت یک گونه در رویشگاه‌های مختلف بهتر است قطر ساقه را در ارتفاعات مختلف اندازه‌گیری و نسبت یا درصد آن را نسبت به یک قطر مبنا مقایسه کرد (Zobeiri, 2005). بسیاری از محققان نیز مدل‌هایی را برای نشان دادن پروفیل طولی ساقه تشکیل داده و سپس براساس این مدل‌ها، شکل ساقه را در میان گروه‌های مختلف درختان مقایسه کرده‌اند (Garbur & Maguire, 2003; Lee et al., 2003). Bonyad & Rahimnejad (2004) به منظور تعیین مناسب‌ترین ضریب شکل در توده‌های ۲۶ ساله کاج تدا بیان کردند که تفاوت معنی‌داری بین ضریب شکل واقعی و ضریب شکل هوه‌نادل وجود ندارد. Ostakh et al. (2017) نشان دادند که بین ضریب شکل واقعی و سه ضریب شکل طبیعی، مصنوعی و هوه‌نادل تفاوت معنی‌داری وجود دارد و در نتیجه هیچ‌کدام قابلیت جایگزینی ضریب شکل واقعی را ندارند. Tenzin et al. (2016) به بررسی و مقایسه چهار تابع مختلف ضریب شکل Short Swedish, Pollanchütz, Meyer و F. Evert برای نه‌گونل صنعتی از درختان پرداختند که نتایج نشان داد اگرچه همه توابع استفاده‌شده به‌طور مشابهی اجرا شدند، تابع Pollanchütz نسبت به دیگر توابع به دلیل داشتن ثبات در برآورد ضریب شکل همه درختان بررسی‌شده به‌عنوان مناسب‌ترین تابع انتخاب شد. (Saud et al. 2016) از مدل لجستیک به‌منظور مدل‌سازی نسبت تاجی درختان کاج (*Pinus echinata* Mill.) استفاده کردند که نتایج نشان داد مدل لجستیک از صحت کافی در برآورد نسبت تاجی درختان کاج برخوردار است. هدف از تحقیق حاضر تعیین مناسب‌ترین رابطه ضریب شکل برای جایگزینی با ضریب شکل واقعی به‌منظور برآورد حجم نزدیک به حجم واقعی درختان راش و

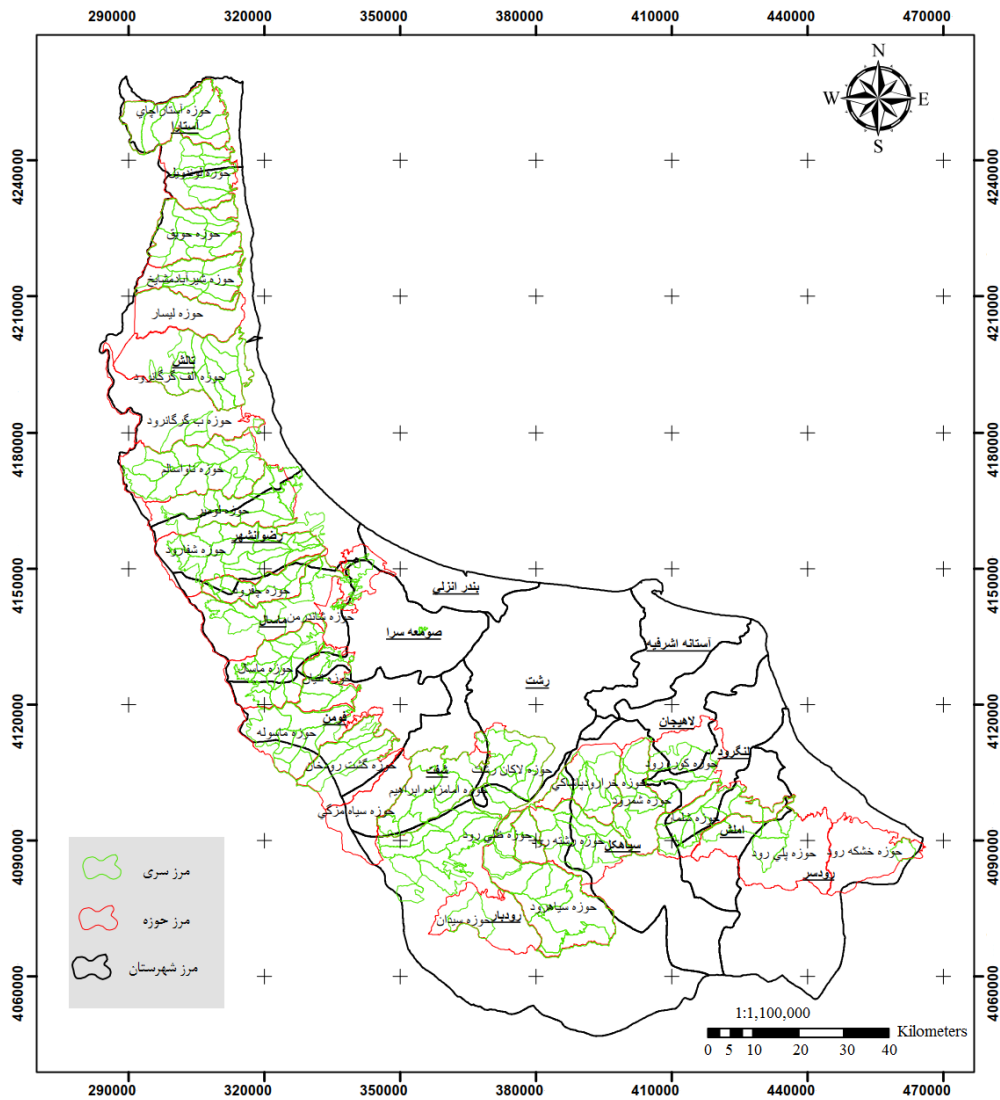
منطقه تحقیق براساس روش دومارتن دارای اقلیم خیلی مرطوب نوع الف، متوسط بارندگی سالانه ۹۴۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۲/۴ درجه سانتی‌گراد است. همچنین حوزه ۲۵ بین طول جغرافیایی ۴۹° ۵۶' ۴۹" تا ۴۹° ۵۷' ۴۹" شرقی و عرض جغرافیایی ۳۶° ۵۵' ۲۴" تا ۳۷° ۱۰' ۰۴" شمالی واقع شده است. منطقه تحقیق براساس روش دومارتن دارای اقلیم نیمه مرطوب و معتدل، متوسط بارندگی سالانه ۱۲۶۴/۵ میلی‌متر و متوسط دمای سالانه ۱۶ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۱).

همچنین مدل‌سازی ضریب شکل به منظور برآورد ضریب شکل درختان راش در جنگل‌های گیلان بود.

مواد و روش‌ها

منطقه تحقیق

مناطق تحت مطالعه، محدوده جنگل‌های حوزه‌های ۷ و ۲۵ جنگل‌های شمال کشور در استان گیلان بود. حوزه ۷ بین طول جغرافیایی ۳۷° ۱۵' ۱۵" تا ۴۸° ۲۵' ۲۵" شرقی و عرض جغرافیایی ۳۷° ۳۶' ۲۹" تا ۳۷° ۴۴' ۵۸" شمالی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت مناطق تحت مطالعه

روش پژوهش

در این بررسی از ۱۵۰ اصله درخت راش قطع و تجدید حجم‌شده توسط سازمان اجرایی در حوزه‌های ۷ و ۲۵ جنگل‌های شمال کشور استفاده شد. انتخاب درخت براساس طبقات قطری صورت گرفت. تعداد طبقات ۲۳ و حداقل طبقه قطری ۱۵ و حداکثر آن ۱۲۵ بود. به‌طور متوسط در هر طبقه تعداد ۷ اصله درخت اندازه‌گیری و بررسی شد. در هر درخت، متغیرها شامل قطر در $1/3$ ، $1/2$ ، $2/3$ ، $3/4$ ، $4/5$ ، $5/6$ ، $6/7$ ، $7/8$ و $8/9$ طول درخت، ارتفاع کامل درخت اندازه‌گیری و سپس سطح مقطع از رابطه $g_i = (\pi/4)d_i^2$ و ضرایب h/d ، d^2h ، d^2h^2 ، dh^2 به‌منظور استفاده در مدل‌سازی محاسبه شد. همچنین حجم دقیق هر اصله درخت با استفاده از رابطه هوبر $V_i = g_m \times L$ محاسبه شد. ضریب شکل واقعی (رابطه ۱)، ضریب شکل طبیعی (رابطه ۲)، ضریب شکل مصنوعی (رابطه ۳) و ضریب شکل هوه‌نادال (رابطه ۴) با استفاده از روابط زیر برای درختان نمونه محاسبه شد (Zobeiri, 2005; Namiranian, 2006):

$$f_r = \frac{v}{g_{1.3} \times h} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$f_{0.1} = \frac{d_m^2}{d_{0.1}^2} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$f_{1.30} = \frac{d_m^2}{d_{1.30}^2} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$f_h = 0.2 \left(1 + \frac{d_{0.3}^2}{d_{0.1}^2} + \frac{d_{0.5}^2}{d_{0.1}^2} + \frac{d_{0.7}^2}{d_{0.1}^2} + \frac{d_{0.9}^2}{d_{0.1}^2} \right) \quad \text{رابطه ۴}$$

f_r : ضریب شکل واقعی

$f_{0.1}$: ضریب شکل طبیعی

$f_{1.30}$: ضریب شکل مصنوعی

f_h : ضریب شکل هوه‌نادال

$d_{1/3}$: قطر برابر سینه به سانتی‌متر

$d_{0.1}$ ، $d_{0.3}$ ، $d_{0.5}$ ، $d_{0.7}$ ، $d_{0.9}$ و d_m به ترتیب قطر در $0/1$

$0/3$ ، $0/5$ ، $0/7$ ، $0/9$ و میانه ارتفاع درخت به سانتی‌متر

h : ارتفاع درخت به متر

$g_{1.3}$: سطح مقطع برابر سینه به متر مربع

v : حجم درخت به متر مکعب

از ۱۵۰ اصله درخت اندازه‌گیری شده، ۱۲۷ اصله (۸۵ درصد) برای مدل‌سازی استفاده شد و ۲۳ اصله (۱۵ درصد) نیز به‌طور تصادفی به‌منظور اعتبارسنجی و برآورد خطای مدل‌ها کنار گذاشته شد (Vafaei et al., 2016). به‌منظور مدل‌سازی ضریب شکل درختان راش از روش‌های رگرسیون غیرخطی لجستیک (رابطه ۵)، نمایی (رابطه ۶) و چپمن-ریچارد^۱ (رابطه ۷) استفاده شد. شکل کلی این روابط به‌صورت زیر است (Popoola & Adesoye, 2012; Fu et al., 2015):

$$\text{رابطه ۵} \quad y = 1 / [1 - e^{-b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n}]$$

$$\text{رابطه ۶} \quad y = 1 / [1 + e^{-b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n}]^{0.5}$$

$$\text{رابطه ۷} \quad y = b_0 + e^{-b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_nx_n}$$

y : متغیر وابسته

b_0 تا b_n : ضرایب مدل

x_1 تا x_n : متغیرهای مستقل

به‌منظور بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف و به‌منظور مقایسه میانگین ضریب شکل طبیعی، مصنوعی و هوه‌نادال درختان راش با میانگین ضریب شکل واقعی از آزمون تی جفتی استفاده شد. از آزمون همبستگی پیرسون به‌منظور بررسی همبستگی بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل استفاده شد. برای مقایسه میانگین برآوردی مشخصه ضریب شکل به‌دست‌آمده از مدل‌های مختلف بررسی شده با میانگین اندازه‌گیری شده از آزمون تی جفتی استفاده شد. برای انجام تجزیه و تحلیل‌ها از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۲ و برای ارزیابی صحت برآوردها از آماره‌های

¹- Chapman-Richard

ME: میانگین خطا
 RMSE: جذر میانگین مربعات خطا
 $\hat{A}(x_i)$: مقدار برآوردی مشخصه‌های موردنظر
 $\bar{A}(x_i)$: میانگین اندازه‌گیری شده مشخصه‌های موردنظر
 $A(x_i)$: مقدار اندازه‌گیری شده مشخصه‌های موردنظر
 n: تعداد نمونه‌ها

میانگین خطای نسبی (ME_r) و جذر میانگین مربعات خطا نسبی ($RMSE_r$) استفاده شد. شایان ذکر است که هرچه مقدار این آماره‌ها کمتر باشد، مدل مناسب‌تر است و به عبارتی از صحت بیشتری برخوردار است. این آماره‌ها به صورت روابط زیر تعریف می‌شوند (Johnston et al., 2001):

رابطه ۸

$$ME = \frac{\sum [A(x_i) - \hat{A}(x_i)]}{n} \rightarrow$$

$$ME_r = [ME / \bar{A}(x_i)] \times 100$$

رابطه ۹

$$RMSE = \sqrt{(\sum [A(x_i) - \hat{A}(x_i)]^2 / n)} \rightarrow$$

$$RMSE_r = [RMSE / \bar{A}(x_i)] \times 100$$

نتایج

نتایج پارامترهای آماری ضریب شکل‌های اندازه‌گیری شده شامل ضریب شکل واقعی، ضریب شکل طبیعی، ضریب شکل مصنوعی و ضریب شکل هوهنادل درختان راش در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- پارامترهای آماری ضریب شکل‌های اندازه‌گیری شده

متغیر	میانگین	انحراف معیار	چولگی	کشیدگی
ضریب شکل واقعی	۰/۴۹۵	۰/۰۲۸	-۰/۳۸۸	۳/۶۸
ضریب شکل طبیعی	۰/۳۵۱	۰/۰۴۵	-۱/۶۳	۶/۴۰
ضریب شکل مصنوعی	۰/۳۸۹	۰/۰۲۲	-۰/۳۸۸	۳/۶۸
ضریب شکل هوهنادل	۰/۴۴۴	۰/۰۶۸	-۰/۰۲۶	۰/۵۴۸

میانگین ضریب شکل‌های طبیعی، مصنوعی و هوهنادل وجود دارد (جدول ۲).

نتایج آزمون t-test نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین ضریب شکل واقعی درختان راش با

جدول ۲- مقایسه میانگین ضریب شکل واقعی با میانگین ضریب شکل‌های اندازه‌گیری شده

ضریب شکل	Student t-test	df	سطح معنی‌داری
طبیعی	-۳۸/۸۷	۱۴۹	۰/۰۰***
مصنوعی	-۵۸/۶۲	۱۴۹	۰/۰۰***
هوهنادل	-۹/۰۶	۱۴۹	۰/۰۰***

*** اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵ درصد

است. با توجه به نتایج بیشترین میزان همبستگی متغیر وابسته ضریب شکل واقعی با متغیر ضریب h/d (۰/۲۳۶-) است. بنابراین از این متغیر برای مدل‌سازی ضریب شکل واقعی درختان راش استفاده شد.

نتایج همبستگی بین متغیر وابسته ضریب شکل واقعی با متغیرهای مستقل قطر برابرسینه، ارتفاع درخت، سطح مقطع برابرسینه، حجم و ضرایب h/d، dh^2 ، d^2h ، d^2h^2 در جدول ۳ ارائه شده

جدول ۳- نتایج همبستگی بین متغیر وابسته ضریب شکل واقعی و متغیرهای مستقل

متغیر	قطر برابر سینه	ارتفاع	سطح مقطع	حجم	h/d	d ² h ²	d ² h	dh ²
ضریب شکل واقعی	۰/۰۷۶	-۰/۰۷۳	۰/۰۷۵	۰/۰۹۴	-۰/۲۳۶**	۰/۰۴۱	۰/۰۵۴	۰/۰۲۴

** معنی داری در سطح ۰/۰۱

درختی که برای اعتبارسنجی مدل ها کنار گذاشته شده بود، محاسبه و نتایج آن در جدول ۵ ارائه شده است. همان طور که نتایج نشان می دهد، میانگین ضریب شکل به دست آمده از مدل لجستیک به میانگین نمونه های اندازه گیری شده نزدیک تر است (شکل ۲).

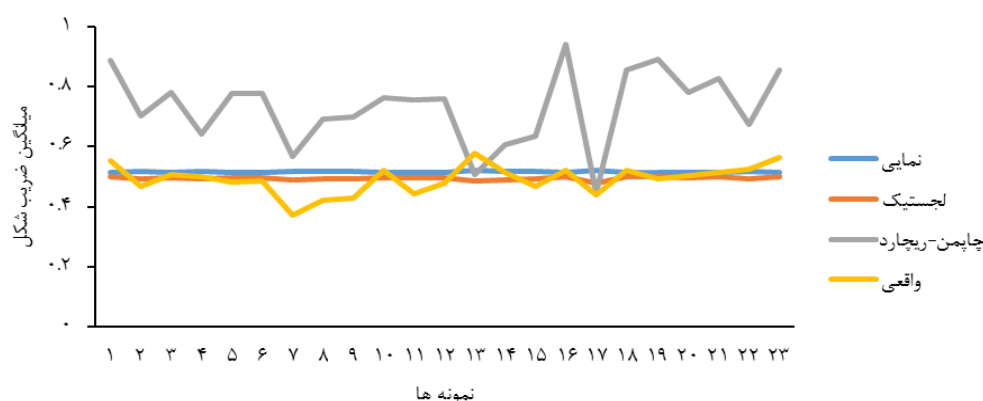
نتایج حاصل از مدل سازی ضریب شکل درختان راش شرقی با استفاده از روش های رگرسیون غیر خطی نمایی، لجستیک و چاپمن- ریچارد در جدول ۴ ارائه شده است. همان طور که نتایج نشان می دهد، مدل های بررسی شده از ضریب تبیین تعدیل یافته کمتری برخوردارند. با استفاده از مدل های به دست آمده ضریب شکل ۲۳ اصله

جدول ۴- ضریب تبیین مدل های ضریب شکل درختان راش شرقی

تابع	مدل	ضریب تبیین تعدیل یافته
نمایی	$f_r = -0.490 + \exp(0.001hd)$	۰/۰۴۷
لجستیک	$f_r = 1 / (1 + \exp(-0.39 + (0.001hd)))$	۰/۰۴۷
چاپمن- ریچارد	$f_r = -0.876 / (1 - \exp(1 + (0.01hd))^{1/5})$	۰/۰۴۶

جدول ۵- پارامترهای آماری مدل های ضریب شکل درختان راش شرقی

تابع	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات
نمایی	۰/۵۱۶	۰/۰۰۲	۰/۳۸
لجستیک	۰/۴۹۴	۰/۰۰۵	۱/۰۱
چاپمن- ریچارد	۰/۷۳۱	۰/۱۲۴	۱۶/۹۶
اندازه گیری شده	۰/۴۹۱	۰/۰۴۸	۹/۷۷



شکل ۲- مقادیر مشاهده شده متغیر ضریب شکل و مقدار برآوردی با مدل های بررسی شده

مدل‌های بررسی‌شده در جدول ۶ نشان داده شده است. نتایج آزمون Student t-test جفتی نشان داد که تنها میانگین برآوردی با استفاده از مدل لجستیک اختلاف معنی‌داری با میانگین اندازه‌گیری‌شده ندارد، اما میانگین برآوردی به‌دست‌آمده از دیگر مدل‌های بررسی‌شده اختلاف معنی‌داری را با میانگین اندازه‌گیری‌شده نشان دادند (جدول ۷).

نتایج آماره‌های ارزیابی صحت میانگین خطا، میانگین خطای نسبی، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نسبی نشان داد که مدل‌های نمایی و لجستیک برای برآورد ضریب شکل درختان راش شرقی از دقت کافی برخوردارند (جدول ۶). همچنین این نتایج نشان داد که مدل لجستیک دارای بیشترین دقت در برآورد ضریب شکل درختان راش شرقی است. نتایج آماره‌های ارزیابی صحت

جدول ۶- ارزیابی صحت مدل‌های بررسی‌شده در برآورد ضریب شکل درختان راش شرقی

تابع	ME	ME _r	RMSE	RMSE _r
نمایی	-۰/۰۲۴	-۴/۹۹	۰/۰۵۳	۱۰/۹۸
لجستیک	-۰/۰۰۳	-۰/۶۶۶	۰/۰۴۶	۹/۳۶
چاپمن-ریچارد	-۰/۲۳۹	-۴۸/۷۹	۰/۲۶۵	۵۳/۹۶

جدول ۷- مقایسه میانگین برآوردی مدل‌های ضریب شکل با میانگین اندازه‌گیری‌شده

تابع	Student t-test	df	معنی‌داری
نمایی	-۲/۳۹	۲۲	۰/۰۲۶*
لجستیک	-۰/۳۳۵	۲۲	۰/۷۴۱ ^{ns}
چاپمن-ریچارد	-۹/۹۲	۲۲	۰/۰۰۰*

** اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵، ns عدم اختلاف معنی‌دار در سطح ۰/۰۵

از ضریب شکل‌های طبیعی، مصنوعی و هوهه‌نادل با ضریب شکل واقعی اختلاف معنی‌داری ندارند که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی ندارد. از دلایل تفاوت نتایج می‌توان به متفاوت بودن گونه‌های درختی بررسی‌شده و همچنین نوع جنگل تحت مطالعه اشاره کرد. همچنین (Ostakh et al. 2017) با مطالعه ضریب شکل کاج بروسیا (*Pinus Brutia* Ten.) در شهرستان خرم‌آباد نشان دادند سه ضریب شکل طبیعی، مصنوعی و هوهه‌نادل قابلیت جایگزینی ضریب شکل واقعی را برای گونه کاج بروسیا ندارند. همچنین (Kalantari et al. 2012) به‌منظور تعیین مناسب‌ترین ضریب شکل برای درختان زربین در جنگل‌های شمال

بحث

برآورد صحیح حجم چوب تولیدشده از عوامل مهم در حفظ شرایط بوم‌شناختی جنگل و برنامه‌ریزی اصولی است. انتخاب ضریب شکل مناسب اهمیت بسیار زیادی در برآورد حجم درختان دارد. نتایج این بررسی نشان داد که میانگین ضریب شکل واقعی، طبیعی، مصنوعی و هوهه‌نادل به‌ترتیب ۰/۴۹۵، ۰/۳۵۱، ۰/۳۸۹ و ۰/۴۴۴ به‌دست آمد (جدول ۱) که نتایج مقایسه این ضرایب نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین ضریب شکل واقعی با دیگر ضرایب محاسبه‌شده وجود دارد. (Eslamdoust et al. 2015) با بررسی ضریب شکل دو گونه صنوبر و دارتالاب بیان کردند که هیچ‌یک

لجستیک و چاپمن-ریچارد) با استفاده از آماره‌های میانگین خطا، میانگین خطای نسبی، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نسبی نشان داد که از بین مدل‌های برازش‌شده، دو مدل نمایی و لجستیک از دقت کافی در برآورد ضریب شکل واقعی درختان راش شرقی برخوردارند (جدول ۶). Leites et al. (2009) نشان دادند که مدل لجستیک نسبت به مدل نمایی از دقت بیشتری در برآورد متغیرهای کمی درختان سوزنی‌برگ در جنگل‌های آمریکا برخوردار است که با وجود متفاوت بودن گونه‌های بررسی‌شده با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. Fu et al. (2015) از مدل‌های غیرخطی زیادی به منظور مدل‌سازی نسبت تاجی درختان *Quercus mongolica* در جنگل‌های چین استفاده کردند که نتایج نشان داد مدل نمایی دارای دقت بیشتری است که با نتایج تحقیق حاضر همخوانی ندارد. از دلایل تفاوت نتایج باید به نوع گونه‌های درختی و همچنین متغیرهای بررسی‌شده اشاره کرد. مدل‌های رشد و محصول جنگل، ابزارهای تصمیم‌گیری در مدیریت جنگلداری هستند. زمانی که مدل‌ها در پیش‌بینی دقیق‌اند، ارزیابی مفیدی از گزینه‌های جایگزین مدیریتی ارائه می‌دهند. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از آماره‌های ارزیابی صحت (میانگین خطا، میانگین خطای نسبی، جذر میانگین مربعات خطا و جذر میانگین مربعات خطای نسبی) و همچنین نتایج آزمون t می‌توان گفت که از بین مدل‌های بررسی‌شده به‌منظور برآورد ضریب شکل واقعی درختان راش شرقی، مدل لجستیک از دقت کافی در برآورد ضریب شکل واقعی برخوردار است؛ بنابراین مدل لجستیک به‌عنوان مناسب‌ترین مدل انتخاب شد.

ایران نشان دادند که اختلاف معنی‌داری بین ضریب شکل واقعی با ضریب شکل هوه‌نادل وجود دارد که علی‌رغم متفاوت بودن گونه‌های مورد بررسی در دو مطالعه ذکرشده، با نتایج تحقیق حاضر همخوانی دارد. هر گونه تغییر کوچک در شکل درختان، می‌تواند روی ضریب شکل آنها تأثیر عمده‌ای داشته باشد. شکل درختان در مراحل رویشی مختلف متفاوت است و باید این نکته را در نظر داشت که قابلیت جایگزینی انواع ضریب شکل به‌جای ضریب شکل واقعی به نوع گونه، مراحل رویشی، سن و شرایط رویشگاهی بستگی دارد. تحقیق حاضر ضرایب شکل طبیعی، مصنوعی و هوه‌نادل را با امکان جایگزینی آنها با ضریب شکل واقعی برای گونه راش شرقی در جنگل‌های استان گیلان ارائه داد که براساس نتایج هیچ‌کدام از ضرایب شکل قابلیت جایگزینی ضریب شکل واقعی را ندارند. از آنجا که برای محاسبه متغیرهایی که اندازه‌گیری آنها وقت‌گیر و پرهزینه است، از جمله ضریب شکل واقعی، از مدل‌های آماری استفاده می‌کنند، در بررسی حاضر نیز از مدل‌های نمایی، لجستیک و چاپمن-ریچارد به‌منظور مدل‌سازی و برآورد ضریب شکل واقعی درختان راش شرقی استفاده شد. هرچند نتایج ضریب تبیین تعدیل‌یافته نشان داد که مدل‌های بررسی‌شده از ضریب تبیین بالایی برخوردار نیستند (جدول ۴)، مقادیر میانگین برآوردی ضریب شکل با استفاده از مدل‌ها نشان داد که میانگین برآوردی مدل لجستیک نسبت به دیگر مدل‌های بررسی‌شده به مقدار میانگین واقعی نزدیک‌تر است (جدول ۵ و شکل ۲). ضمن اینکه نتایج آزمون t نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین برآوردی مدل لجستیک با میانگین واقعی متغیر ضریب شکل وجود ندارد (جدول ۷). ارزیابی صحت مدل‌های بررسی‌شده (نمایی،

References

- Bonyad, A.E. (2014). Sampling Methods in Forest. University of Guilan Press.
- Bonyad, A.S., & Rahimnejad, S. (2004). Volume table estimation for Loblolly Pine (*Pinus taeda*) in the north of Iran. *Pajouhesh and sazanedegi*, 66: 84-88.

- Bonyad, A.E., Torkaman, J., & Rohi, A. (2013). Growth stages and site components influence on form factors of beech (*Fagus orientalis* Lipsky). *Iranian Journal of Forest*, 5(2): 109-117.
- K. Ahmadi, S.J. Alavi, and M. Tabari Kouchaksaraei. Evaluation of oriental beech (*Fagus orientalis* L.) site productivity using generalized additive model (Case study: Tarbiat Modares University Forest Research Station). *Iranian Journal of Forest*, Vol. 7, No. 1, Spring 2015: 17-32.
- S.J. Alavi, V. Mardanpour, and C.F. Dormann. Investigation on the adequacy of ordinary least square regression in modeling the oriental beech tree height in relation to environmental predictors in experimental and educational forest of Tarbiat Modares University. *Iranian Journal of Forest*, Vol. 8, No. 1, Spring 2016: 105-118.
- Z. Ahadi, S.J. Alavi, and S.M. Hosseini. Investigation on the potential of regression kriging for mapping oriental beech forest site productivity in research forest of Tarbiat Modares University. *Iranian Journal of Forest*, Vol. 9, No. 4, Winter 2018: 571-585
- Eslamdoust, J., Sohrabi, H., Hosseini, M., & Moradi, Z. (2015). Assessment of different methods of form factor determination for volume estimation of planted *Populus deltoides* and *Taxodium distichum* Trees (Klodeh Region– Mazandaran Province). *Iranian Journal of Applied Ecology*, 4(12): 67-76.
- Fu, L., Zhang, H., Lu, J., Zang, H., Lou, M., & Wang, G. (2015). Multilevel Nonlinear Mixed-Effect Crown Ratio Models for Individual Trees of Mongolian Oak (*Quercus mongolica*) in Northeast China. *PLOS ONE*, 10(8): e0133294.
- Garber, S.M., & Maguire, D.A. (2003). Modeling stem taper of three central Oregon species using nonlinear mixed effects models and autoregressive error structures. *Forest Ecology and Management*, 179: 507-522.
- Johnston, K., VerHoef, J.M., Krivoruchko, K., & Lucas, N. (2001). Using ArcGIS geostatistical analyst. Esri Redlands.
- Kalantari, H., Fallah, A., Hodjati, S.M., & Parsakhoo, A. (2012). Determination of the most appropriate form factor equation for *Cupressus sempervirens* L. var *horizontalis* in the north of Iran. *Advances in Applied Science Research*, 3(2):644-648.
- Lee, W.K., Seo, J.H., Son, Y.M., Lee, K.H., & Gadov, K.V. (2003). Modeling stem profiles for *Pinus densiflora* in Korea. *Forest Ecology and Management*, 172: 69-77.
- Leites, L.P., Robinson, A.P., & Crookston, N.L. (2009). Accuracy and equivalence testing of crown ratio models and assessment of their impact on diameter growth and basal area increment predictions of two variants of the forest vegetation simulator. *Canadian Journal of Forest Research*, 39: 655–665.
- Marvie Mohadjer, M.R. (2006). *Silviculture*. Tehran University Press, Tehran.
- Namiranian, M. (2006). *Measurement of tree and forest biometry*, University of Tehran Press, Iran.
- Ostakh, E., Soosani, J., Pilehvar, B., Khosravi, M., Poursartip, L., & Hedayati, S. (2017). The best form factor formula for *Pinus brutia* Ten. in Khorramabad city. *Forest and Wood Products*, 70(3): 461-468.
- Popoola, F.S., & Adesoye, P.O. (2012). Crown ratio models for *Tectona grandis* (Linn. f) stands in Osho forest reserve, Oyo state, Nigeria. *Journal of Forest Science*, 28(2): 63–67.
- Saud, P., Lynch, T.B., Anup, K.C., & Guldin, J.M. (2016). Using quadratic mean diameter and relative spacing index to enhance height–diameter and crown ratio models fitted to longitudinal data. *Forestry*, 89: 215-229.
- Tenzin, J., Wangchuk, T., & Hasenauer, H. (2016). Form factor functions for nine commercial tree species in Bhutan. *Forestry*, 90(3): 359-366.
- Vafaei, S., Pourhashemi, M., Pirbavaghar, M., & Jafari, E. (2016). Applying artificial neural network and multiple linear regression models for estimation of forest density in Marivan forests. *Iranian Journal of Forest*, 7(4): 539-555.
- Zobeiri, M. (2005). *Forest Inventory (Measurement of tree and forest)*. Tehran University Press, Tehran.



Research Article

Modeling form factor of *Fagus orientalis* trees using nonlinear regressions in the Caspian forests of Guilan Province

F. Naghavi Jorshari^{1*}, A.E. Bonyad², K. Taheri Abkena³, H. Pourbabaei²

¹ PhD Student, Department of Forestry, University Campus 2, University of Guilan, Rasht, Iran

² Professor, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh sara, Iran

³ Associate Professor, Faculty of Natural Resources, University of Guilan, Someh sara, Iran

(Received: 23 November 2018, Accepted: 14 February 2019)

Abstract

One of the most important factors for determining the volume of trees is selection of an appropriate form factor. This study determined the most appropriate form factor formula and modeling the actual form factor in the Caspian region of northern Iran, Guilan's forests. Totally, 150 beech (*Fagus orientalis*) trees were measured. Three coefficients of natural, artificial, and Hohenadel were compared with the actual form factor using pair-wise comparison test. Several nonlinear equations including logistics, Chapman-Richard, and exponential functions were used for modeling the form factor of beech trees. These functions were evaluated in terms of coefficient of determination (R^2), paired t test, and accuracy statistics of ME, Root Mean Square Error (RMSE), ME_r and $RMSE_r$. The result showed that there were significant differences between the actual form factor and the each mentioned coefficients. None of the models presented high R^2 values. Accuracy statistics showed that exponential and logistic models can be usefully applied for estimation of the actual form factor coefficient. Also the results of t-test showed that there was no significant difference between of actual and estimated means of form factor derived from the logistic model. Therefore, logistic model was selected as the best for the estimating form factor of beech trees in Guilan's forests of the Caspian region.

Keywords: Guilan's Forests, *Fagus orientalis*, nonlinear regression, form factor.