

بررسی تغییرات توابع توزیع احتمال طبقات قطر، ارتفاع و تاج پوشش درختان تحت تأثیر جهت دامنه

رؤیا عابدی^{۱*}

*- دکترای تخصصی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز

* ایمیل نویسنده مسئول: royaabedi@tabrizu.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۹/۰۱/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۱/۲۶

چکیده

در این پژوهش تغییرات توابع توزیع احتمال قطر برابر سینه، ارتفاع و سطح تاج پوشش درختان در توده‌های طبیعی آراسباران مورد مطالعه قرار گرفت. به این منظور شش هکتار از توده‌های خالص گونه ممرز در منطقه‌ای کاملاً حفاظت شده انتخاب و آماربرداری صد درصد شد. در مجموع ۶۲۵ پایه درخت ممرز (۲۶۲ پایه در دامنه شمال غربی) و (۳۶۳ پایه در دامنه شمال غربی) آماربرداری شد. توابع توزیع بتا، گاما، لگ نرمال، نرمال، نمایی و ویبول به روش بیشینه درست نمایی و با آزمون‌های کولموگروف-اسمیرنوف و اندرسون-دارلینگ برازش شدند. نتایج نشان داد که توزیع بتا برای مشخصه قطر برابر سینه در هر دو جهت دامنه، تابع توزیع لگ نرمال در دامنه شمال غربی و توزیع نرمال در جهت دامنه شمال شرقی برای مشخصه ارتفاع درخت، توابع گاما و بتا در جهت دامنه شمال غربی و تابع بتا در جهت شمال شرقی به‌عنوان مناسب‌ترین توابع برای سطح تاج پوشش درختان نشان داده شدند. بررسی مقایسه میانگین‌های مشخصه‌ها بر اساس آنالیز ANOVA نیز نشان داد درختان در دو دامنه مورد مطالعه از نظر قطر برابر سینه اختلاف معنی‌داری نداشتند ولی از نظر ارتفاع و سطح تاج پوشش دارای اختلاف معنی‌دار بودند که این موضوع سبب اختلاف در توابع توزیع احتمال نیز شد.

کلمات کلیدی

"پراکنش"، "تابع توزیع احتمال"، "توده طبیعی"، "مدل".

Investigation of Changes in Probability Distribution Functions of Diameter, Height and Canopy Area of Trees Affected by Slope Aspect

Roya Abedi^{1,*}

1. Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Iran

*Email Address: royaabedi@tabrizu.ac.ir

Abstract

Changes in probability distribution functions of diameter, height and canopy area of trees in Arasbaran natural stands were studied in this research. For this purpose, six hectares of pure stands of hornbeam species were selected in a protected area. A total of 625 hornbeams (consist of 262 trees in northwest slopes and 363 trees in northeast slopes) were measured. Beta, Gamma, Lognormal, Normal, Exponential and Weibull distribution functions were fitted to the maximum likelihood method, Kolmogorov-Smirnov and Anderson-Darling tests. The results showed the beta distribution for the diameter characteristic in both slope aspects, the log-normal distribution function in the northwest aspect and the normal distribution in the northeast aspect for the tree height characteristic, the gamma and beta functions in the northwest slope, and the beta function in the northeast aspect was shown as the most appropriate functions for trees canopy area. ANOVA analysis also showed that there were no significant differences between the two slope aspects in terms of tree diameter but there was a significant difference in height and canopy cover and this was the reason for differences in the probability distribution functions.

Keywords

"Distribution", "Model", "Natural stand", "Probability distribution function".

۱- مقدمه

ناهمسال حفاظت شده اردل در شهرکرد پرداختند. آن‌ها توابع گاما، نرمال، بتا، ویبول و لگ نرمال را مورد ارزیابی قرار داده و نشان دادن که تابع توزیع بتا مناسب‌ترین تابع در منطقه و برای گونه مورد مطالعه بود. حسن‌زاد ناورودی و مرادی امام قیسی (۱۳۹۸) مدل‌سازی توزیع فراوانی ارتفاع درختان راش در توده‌های طبیعی در ماسال را بر اساس توابع توزیع بررسی کردند و توزیع بتا را به‌عنوان بهترین توزیع فراوانی درختان راش براساس مشخصه ارتفاع معرفی کردند. Palaha و همکاران (۲۰۰۷) به مقایسه توابع گاما، SB جانسون، ویبول و ویبول اصلاح شده برای مدل‌سازی پراکنش قطری توده‌های جنگلی منطقه کاتالانیا در اسپانیا پرداختند و نشان دادند که تابع ویبول اصلاح‌شده بهترین نتایج را نشان داد. De Lima و همکاران (۲۰۱۴) پراکنش قطری درختان را در چهار توده جنگلی در کشور برزیل بر اساس ده نوع مدل توزیع بررسی کردند و در نهایت نشان دادند که عملکرد این مدل‌ها بسیار وابسته به نوع تیپ توده است و مدل‌های Odd-Weibull و Log-Logistic را با بهترین عملکرد معرفی کردند. Pogoda و همکاران (۲۰۱۹) پراکنش قطری را در توده‌های طبیعی گونه توسکا (*Alnus glutinosa*) در جنوب شرقی کشور لهستان بررسی کردند. آن‌ها از مدل ویبول استفاده کردند نشان دادند که این مدل تابع توزیع احتمال، در توده‌های مسن بیشتر از ۲۰ سال موفق‌تر عمل کرده و در توده‌های جوان فقط ۵۷ درصد صحت نشان داد. اگرچه که تعیین دقیق توزیع گونه‌ها معمولاً کار راحتی نیست زیرا یک گونه در آشیان اکولوژیک خود با روابط پیچیده‌ای از سیستم‌های زیستی در ارتباط است اما مطالعه در این زمینه اطلاعات بسیار خوبی درباره نحوه تصمیم‌گیری برای مدیریت پایدار توده‌ها و جنگل‌ها ارائه می‌دهد. تیپ گونه، عوامل محیطی همچون خاک و اقلیم برای این توابع اثر خواهند گذاشت (Martinez-Antuanez et al., 2015). بنابراین از آنجا که مطالعات بر روی مدل‌های توزیع در انواع توده‌های همسال، ناهمسال، تحت شرایط محیطی و مدیریتی مختلف و با گونه‌های متفاوت به‌شناخت بیشتر گونه‌ها و شرایط زندگی آن‌ها و نحوه عمل هر تابع کمک خواهد کرد. هدف مطالعه حاضر بررسی انواع الگوهای توزیع احتمال برای مشخصه‌های قطر، ارتفاع و تاج پوشش درختان و تعیین مناسب‌ترین تابع توزیع احتمال و تغییرات آن براساس شرایط جهت دامنه بود.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

به‌منظور بررسی برخی از انواع توابع توزیع احتمال برای مشخصه‌های قطر، ارتفاع و سطح تاج پوشش، منطقه مورد مطالعه در توده‌های ممرز منطقه‌ای حفاظت شده از جنگل ارسباران ارسباران با تیپ غالب گونه ممرز (*Carpinus betulus* L.) به‌عنوان مهم‌ترین گونه دارای پراکنش وسیع در ارسباران، در محدوده جغرافیایی ۳۷ درجه و ۵۷ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی انتخاب شد. جنگل-های حفاظت شده ارسباران با مساحت حدوداً ۷۷۴۹۳ هکتار نزدیک به ۵۶ درصد از کل مساحت جنگل‌های ارسباران را شامل می‌شود که از سال ۱۹۷۷ به‌عنوان ذخیره‌گاه بیوسفر در فهرست مناطق حفاظت شده سازمان یونسکو ثبت شده است (Sasanifard et al., 2019).

اندازه درخت اعم از قطر یا ارتفاع عاملی مؤثر و در عین حال ساده برای توصیف درختان در توده‌های جنگلی است که برای فعالیت‌های برنامه بهره‌برداری، پیش‌بینی رویش جنگل و بهبود در تولید در جنگل استفاده می‌شود. پراکنش اندازه درخت در توده برای بررسی حوادث گذشته جنگل، توالی توده‌ها، تضمین بیوماس روی زمین نیز مورد استفاده است که اگر برای هر گونه به‌طور مجزا مورد استفاده قرار گیرد اطلاعاتی جزئی‌تر و دقیق‌تر در سطح گونه شامل زادآوری، جمعیت‌شناسی و روند تغییرات در جمعیت در اختیار قرار خواهد داد. در گذشته برآوردها از طریق اندازه‌گیری قطر برابر سینه و پراکنش قطری صورت می‌گرفت اما از سال ۱۹۵۰ محققان علوم جنگل شروع به تحقیقات در زمینه مدل‌های بررسی توزیع قطری کردند که از مهم‌ترین این مدل‌ها، مدل‌های نمایی، لگ نرمال، ویبول و گاما بودند. اما هدف همه آن‌ها انتخاب بهترین مدل توزیع و مناسب‌ترین مدل برآورد توزیع گونه‌ها بود که کدام مدل می‌تواند برازش بهتری از پراکنش قطری، ارتفاعی و ... مشاهده شده در توده‌ها خواهد ارائه خواهد داد (De Lima et al., 2014). مدل‌های توزیع احتمال مشخصه‌های جنگل در حقیقت مدل‌های شبیه‌سازی هستند که رویش جنگل، توسعه جنگل تحت برنامه‌های مدیریتی مختلف و تکنیک‌های تصمیم‌گیری در جنگلداری مدرن محسوب می‌شوند. این مدل‌ها به تصمیم‌گیرندگان مدیریت جنگل برای پیش‌بینی وضعیت توسعه‌ای هر نوع توده از همسال تا ناهمسال و خالص و آمیخته کمک خواهند کرد (Palaha et al., 2007). استفاده از نظریه‌های توزیع احتمال برای پیش‌بینی وضعیت پراکنش تعداد درختان در یک توده جنگلی در برآورد تولید در سنین مختلف و برنامه‌ریزی روش‌های مختلف جنگلداری مفید است و تولید اقتصادی اکولوژیکی بهینه و پایدار توده را تضمین خواهد کرد (میرزایی و همکاران، ۱۳۹۳). مدل‌های توزیع متفاوتی از جمله بتا، گاما، نرمال، ویبول، لگ نرمال و نمایی برای تشریح توزیع انواع مشخصه‌های توده‌های جنگلی شامل قطر، ارتفاع و تاج پوشش در مناطق مختلف کشور و دنیا استفاده شده است. محمدعلی‌زاده و همکاران (۱۳۸۸) قطر برابر سینه درختان در جنگل خیرود نوشهر را براساس توزیع‌های نمایی، گاما و لگ نرمال بررسی کردند و نشان دادند که توزیع گاما برای مشخصه قطر در منطقه مورد مطالعه مناسب‌تر بود. سهرابی و طاهری سرتشنیزی (۱۳۹۱) توابع توزیع احتمال برای طبقات قطری گونه‌های مختلف بلوط در جنگل‌های گل‌زنی شده پرداختند و توزیع بتا را به‌عنوان بهترین تابع توزیع احتمال در طبقات قطری گونه‌های مورد مطالعه معرفی کردند. میرزایی و همکاران (۱۳۹۳) به‌منظور تعیین الگوی برازش توزیع احتمال در طبقات تاج پوشش درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس از توابع نمایی، گاما، نرمال و لگ نرمال استفاده کردند و نشان دادند که تاج پوشش درختان بلوط ایرانی از توزیع نرمال پیروی می‌کنند. میرزایی و بنیاد (۱۳۹۴) توزیع احتمال قطر برابر سینه درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های دالاب ایلام را بر اساس توابع بتا، گاما، نرمال و لگ نرمال بررسی کردند و نشان دادند که توزیع بتا و نرمال بهترین توزیع‌های احتمال برای مدل‌سازی توزیع طبقات قطری این درختان در جنگل تنک مورد مطالعه آن‌ها بود. مرادی امام قیسی و همکاران (۱۳۹۴) به برازش احتمال برای ارتفاع درختان در جنگل‌های

• روش نمونه بردای و آنالیز داده

مرادی امام قیسی، ۱۳۹۸؛ سهرابی و طاهری سرتشنیزی، (۱۳۹۱). در این مدل‌ها X نشان‌دهنده متغیر قطر، ارتفاع و سطح تاج پوشش و حروف یونانی معرف پارامترهای تابع هستند (محمدعلی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸). برازش مدل‌ها نیز توسط آزمون‌های کلموگروف-اسمیرنوف و اندرسن-دارلینگ انجام شد. فرض صفر در این آزمون‌ها بر عدم تفاوت معنی‌دار بین توزیع احتمال مشاهده شده با توزیع احتمال برآورد شده است (سهرابی و طاهری سرتشنیزی، ۱۳۹۱). در نهایت، توابع براساس این آزمون‌ها رتبه‌بندی شده و سطح اختلاف توابع با پراکنش واقعی درختان در دو سطح اطمینان ۹۵ و ۹۹ درصد بررسی شد. تمامی مراحل تجزیه و تحلیل‌ها در محیط نرم افزار EasyFit 5.5 انجام شد. همچنین پس از بررسی نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون Kolmogorov-smirnov، به منظور مقایسه میانگین-های مشخصه‌های قطر برابر سینه، ارتفاع و سطح تاج پوشش تحت تأثیر جهت دامنه، از آنالیز ANOVA با استفاده از آزمون توکی استفاده شد.

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از آماربرداری صد درصد در دو توده هر کدام به مساحت شش هکتار به دست آمد که هر یک در دو جهت دامنه غالب در جنگل‌های ارسباران شامل شمال غربی و شمال شرقی قرار داشتند. هر دو توده از نظر شیب و ارتفاع از سطح دریا دارای شرایط یکسانی بودند. مشخصه‌های قطر برابر سینه درختان ممز (به-عنوان فراوان‌ترین گونه در جنگل ارسباران)، ارتفاع کل و دو قطر تاج عمود برهم اندازه‌گیری شدند. در نهایت ۶۲۵ پایه درخت ممز شامل ۲۶۲ پایه درخت ممز در جهت شمال غربی و ۳۶۳ پایه درخت در جهت شمال شرقی در هر توده اندازه‌گیری شد. محاسبات اولیه شامل محاسبه انواع آماره‌های توصیفی شامل میانگین، میانه، واریانس، انحراف معیار، ضریب تغییرات، اشتباه معیار، چولگی و ضریب کشیدگی بود. سپس به منظور بررسی توزیع آماری از مهم‌ترین مدل‌های توابع توزیع پیوسته شامل بتا، گاما، نرمال، لگ نرمال، ویبول بر اساس جدول ۱ استفاده شد (محمدعلی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸؛ حسن‌زاد و

جدول ۱. مدل توابع توزیع احتمال مورد بررسی و مشخصه‌های آن‌ها		
نام توزیع	تابع تراکم	مشخصه‌های تابع
بتا	$f(x) = \frac{(x-a)^{a_1-1}(b-x)^{a_2-1}}{\beta(\sigma_1, \sigma_2)(b-a)^{a_1+a_2-1}}$	توزیعی پیوسته است که در بازه صفر تا یک تعریف می‌شود و دارای دو پارامتر آلفا و بتا است. X متغیر تصادفی، f(x) تابع تراکم و حروف a و b مشخصه‌های کران‌ها و a ₁ و a ₂ مشخصه‌های شکل است.
نمایی	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$ $\lambda > 0 \quad 0 < x < +\infty$	این توزیع به توزیع زمان انتظار نیز معروف است. توزیعی یک متغیره و پیوسته است و از انعطاف‌پذیری نسبتاً کمی برخوردار است.
گاما	$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\beta^\alpha \Gamma(\alpha)} e^{-\frac{x}{\beta}}$ $\alpha, \beta > 0 \quad 0 \leq x \leq +\infty$	توزیعی تک متغیره و پیوسته است که انعطاف‌پذیری نسبتاً خوبی دارد. منحنی فراوانی این توزیع چوله به راست است. X متغیر تصادفی، e=۳/۱۴، f(x) تابع تراکم، آلفا و بتا پارامترها و τ نماد تابع گاما است.
نرمال	$f(x) = \frac{e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}}{\sigma\sqrt{2\pi}}$ $-\infty < x \quad \mu < +\infty \quad \sigma > 0$	این تابع اساسی‌ترین توزیع در آمار کلاسیک است زیرا پایه بسیاری از روش‌های آمار کلاسیک بر این توزیع است. X متغیر تصادفی، e=۳/۱۴، f(x) تابع تراکم، حروف آلفا و بتا پارامتر، μ نماد میانگین و σ نماد واریانس است.
لگ نرمال	$f(x) = \frac{e^{-\frac{(\ln x - \mu)^2}{2\sigma^2}}}{x\sigma\sqrt{2\pi}}$ $x, \mu, \sigma > 0$	توزیعی پیوسته است که نشان می‌دهد اگر متغیر تصادفی توزیع لگ نرمال داشته باشد لگاریتم طبیعی آن دارای توزیع نرمال است. منحنی فراوانی این نوع توزیع چوله به راست است. X متغیر تصادفی، e=۳/۱۴، f(x) تابع تراکم، حروف آلفا و بتا پارامتر، μ نماد میانگین، σ نماد واریانس و ln لگاریتم طبیعی است.
ویبول	$f(x) = \frac{\alpha}{\beta} \left(\frac{x}{\beta}\right)^{\alpha-1} e^{-\left(\frac{x}{\beta}\right)^\alpha}$ $0 \leq x \leq +\infty \quad \alpha, \beta > 0$	توزیعی پیوسته با انعطاف‌پذیری بالا است و در مطالعات زیست‌سنجی جنگل کاربرد فراوان دارد. منحنی این توزیع اغلب چوله به راست است. X متغیر تصادفی، e=۳/۱۴، f(x) تابع تراکم، حروف آلفا و بتا پارامتر هستند.

۳- نتایج

۳/۹۱ متر و سطح تاج پوشش این درختان ۸/۱ مترمربع با دامنه ۲۰/۱۵ مترمربع بود. درحالی‌که ۳۶۳ درخت مورد بررسی در دامنه شمال شرقی، دارای میانگین قطر ۱۵/۵ سانتی‌متر با دامنه ۱۳ سانتی‌متر و ارتفاع ۵/۱ متر با دامنه ۴/۱۱ متر و سطح تاج پوشش ۷ متر مربع با دامنه ۱۳/۳۳ مترمربع بودند. همه مشخصه‌ها به جز قطر در دامنه شمال شرقی چولگی کم مثبت و به سمت راست داشتند.

بر اساس نتایج آمار توصیفی که در جدول ۲ نشان داده شده است، بررسی آماری ۲۶۲ درخت ممز از نظر قطر، ارتفاع و سطح تاج پوشش در دامنه شمال غربی نشان داد که میانگین قطر برابر سینه درختان ۱۵/۴ با دامنه ۱۴ سانتی‌متر، میانگین ارتفاع درختان ۵/۳ متر با دامنه

شمال شرقی			شمال غربی			جهت دامنه
سطح تاج پوشش (مترمربع)	ارتفاع (متر)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	سطح تاج پوشش (مترمربع)	ارتفاع (متر)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	آماره
363	363	363	262	262	262	اندازه نمونه
2.25-15.58	3.1-7.21	10-23	1.78-21.93	3.2-7.11	9-23	حداقل و حداکثر
13.33	4.11	13	20.15	3.91	14	دامنه
7.0	5.1	15.5	8.1	5.3	15.4	میانگین
6.63	5.1	15	7.27	5.27	15.5	میانه
11.23	0.64	8.59	13.30	0.42	9.55	واریانس
3.35	0.80	2.93	3.65	0.65	3.00	انحراف معیار
0.48	0.16	0.19	0.452	0.12	0.20	ضریب تغییرات
0.18	0.04	0.15	0.23	0.04	0.19	اشتباه معیار
0.61	0.021	-0.05	0.72	0.34	0.13	چولگی
-0.51	-0.17	-0.81	0.36	0.20	-0.64	ضریب کشیدگی

ترتیب شامل نرمال، بتا، گاما، لگ نرمال و ویبول) نشان‌دهنده توزیع ارتفاعی درختان مرمرز در این دامنه بودند (سطح اطمینان ۹۵ درصد). بررسی توابع سطح تاج پوشش در دامنه شمال غربی نشان داد که اکثر توابع شامل گاما، بتا، لگ نرمال و ویبول توانستند بدون اختلاف معنی‌دار بین توزیع احتمال مشاهده شده و مورد انتظار و در جهت دامنه شمال شرقی نیز تابع بتا بدون اختلاف معنی‌دار (در سطح اطمینان ۹۵ درصد)، توزیع احتمال سطح تاج پوشش درختان مرمرز را نشان دهند. در نهایت براساس رتبه، توابع بتا و گاما به‌عنوان مناسب‌ترین توابع توزیع سطح تاج پوشش انتخاب شدند. مقادیر برآورد شده پارامترهای هر یک از توابع در جدول ۴ ارائه شده است.

نتایج برازش توابع توزیع احتمال بر اساس مقادیر آماره‌های کولموگروف-اسمیرنوف و اندرسون-دارلینگ در جدول ۳ ارائه داده شده است. بررسی قطر برابر سینه نشان داد که بهترین تابع برای نمایش توزیع قطری درختان مرمرز در جهت دامنه شمال غربی، توزیع بتا بود که در سطح اطمینان ۹۵ درصد بدون اختلاف معنی‌دار با فرض صفر (فرض صفر: داده‌ها از توزیع مورد نظر تبعیت می‌کنند) بود. به بیان دیگر توزیع پیش‌بینی شده قطر درختان از تابع توزیع بتا (مشاهده شده) تبعیت می‌کند. قطر درختان مرمرز در جهت دامنه شمال شرقی نیز از توابع بتا، ویبول و نرمال در سطح اطمینان ۹۹ درصد تبعیت می‌کند. توزیع ارتفاع درختان مرمرز در دامنه شمال غربی نشان‌دهنده توابع لگ نرمال، بتا، گاما و نرمال بود و در جهت شمال شرقی نیز همه توابع به جز تابع نمایی (به

شمال غرب							
قطر برابر سینه							
اندرسون-دارلینگ			کولموگروف - اسمیرنوف				
رتبه	Critical Value	آماره	رتبه	سطح معنی‌داری	Critical Value	آماره	توزیع
1	2.502 ^{ns}	2.247	1	0.005	0.084*	0.107	بتا
6	2.502*	77.29	6	0	0.084*	0.474	نمایی
3	2.502*	3.209	4	0	0.084*	0.131	گاما
5	2.502*	3.501	5	0	0.084*	0.136	لگ نرمال
2	2.502*	2.76	2	0.002	0.084*	0.114	نرمال
4	2.502*	3.439	3	0.002	0.084*	0.116	ویبول
ارتفاع							
2	2.502 ^{ns}	1.705	3	0.027	0.084*	0.09	بتا
6	2.502*	93.96	6	0.084	0*	0.533	نمایی
3	2.502 ^{ns}	1.714	2	0.084	0.0287*	0.089	گاما
1	2.502 ^{ns}	1.559	1	0.084	0.037*	0.087	لگ نرمال
4	2.502 ^{ns}	2.283	4	0.084	0.014*	0.096	نرمال
5	2.502*	6.381	5	0.084	0.001*	0.118	ویبول

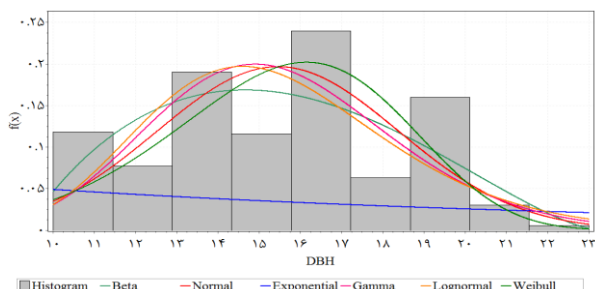
سطح تاج پوشش							
1	1.105 ^{ns}	1.105	3	0.157	0.084 ^{ns}	0.069	بتا
6	36.81*	36.81	6	0	0.084*	0.281	نمایی
2	2.502 ^{ns}	1.368	1	0.278	0.084 ^{ns}	0.061	گاما
3	2.502 ^{ns}	2.118	4	0.048	0.084 ^{ns}	0.084	لگ نرمال
5	2.502*	3.051	5	0.022	0.084*	0.092	نرمال
4	2.502 ^{ns}	2.274	2	0.179	0.084 ^{ns}	0.067	ویبول
شمال شرق							
قطر برابر سینه							
1	3.907 ^{ns}	3.295	1	0.002	0.071*	0.096	بتا
6	2.502*	109.5	6	0	0.071*	0.476	نمایی
4	2.502*	4.464	4	0	0.071*	0.119	گاما
3	2.502*	4.869	5	0	0.071*	0.121	لگ نرمال
5	3.907 ^{ns}	3.347	3	0	0.071*	0.103	نرمال
2	3.907 ^{ns}	3.757	2	0.002	0.071*	0.097	ویبول
ارتفاع							
2	2.502 ^{ns}	1.001	2	0.082	0.071 ^{ns}	0.679	بتا
6	2.502*	118.8	6	0	0.071*	0.489	نمایی
3	2.502 ^{ns}	1.48	3	0.031	0.071*	0.0753	گاما
4	2.502 ^{ns}	1.987	5	0.007	0.071*	0.0877	لگ نرمال
1	2.502 ^{ns}	0.975	1	0.146	0.071 ^{ns}	0.0596	نرمال
5	2.502 ^{ns}	2.439	4	0.018	0.071*	0.0801	ویبول
سطح تاج پوشش							
1	2.502 ^{ns}	2.479	1	0.091	0.071 ^{ns}	0.065	بتا
6	2.502*	45.83	6	0	0.071*	0.299	نمایی
2	2.502*	4.444	3	0.002	0.061*	0.098	گاما
3	2.502*	5.22	2	0.003	0.071*	0.094	لگ نرمال
5	2.502*	7.215	4	0.001	0.071*	0.100	نرمال
4	2.502*	6.017	5	0	0.071*	0.103	ویبول

* اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد، ** اختلاف معنی دار در سطح اطمینان ۹۹ درصد، ^{ns} عدم وجود اختلاف معنی دار

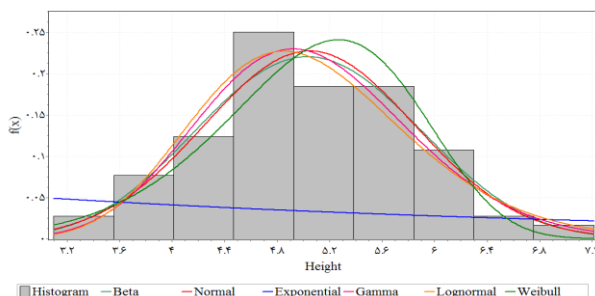
جدول ۴- مقادیر پارامترهای برآورد شده توزیع‌ها						
شمال شرقی			شمال غربی			جهت دامنه
سطح تاج پوشش	ارتفاع	قطر برابر سینه	سطح تاج پوشش	ارتفاع	قطر برابر سینه	نوع توزیع
$\alpha_1 = 1.059$ $\alpha_2 = 2.071$ $a = 2.251$ $b = 16.43$	$\alpha_1 = 10.98$ $\alpha_2 = 11.91$ $a = 1.293$ $b = 9.121$	$\alpha_1 = 1.935$ $\alpha_2 = 2.511$ $a = 9.33$ $b = 23.26$	$\alpha_1 = 2.219$ $\alpha_2 = 7.682$ $a = 1.596$ $b = 30.48$	$\alpha_1 = 45.4$ $\alpha_2 = 408.6$ $a = 0.7498$ $b = 46.55$	$\alpha_1 = 2.262$ $\alpha_2 = 3.121$ $a = 8.729$ $b = 24.58$	بتا
$\alpha = 4.365$ $\beta = 1.604$	$\alpha = 39.71$ $\beta = 0.127$	$\alpha = 27.78$ $\beta = 0.5563$	$\alpha = 4.896$ $\beta = 1.648$	$\alpha = 67.8$ $\beta = 0.0786$	$\alpha = 24.832$ $\beta = 0.620$	گاما
$\sigma = 0.497$ $\mu = 1.828$	$\sigma = 0.163$ $\mu = 1.606$	$\sigma = 0.197$ $\mu = 2.719$	$\sigma = 0.4758$ $\mu = 1.981$	$\sigma = 0.1211$ $\mu = 1.666$	$\sigma = 0.205$ $\mu = 2.714$	لگ نرمال
$\sigma = 3.352$ $\mu = 7.003$	$\sigma = 0.801$ $\mu = 5.047$	$\Sigma = 2.932$ $\mu = 15.45$	$\sigma = 3.647$ $\mu = 8.07$	$\sigma = 0.6473$ $\mu = 5.33$	$\sigma = 3.0905$ $\mu = 15.401$	نرمال
$\lambda = 0.143$	$\lambda = 0.198$	$\lambda = 0.065$	$\lambda = 0.1239$	$\lambda = 0.1876$	$\lambda = 0.0649$	نمایی
$\alpha = 2.406$ $\beta = 7.864$	$\alpha = 7.626$ $\beta = 5.364$	$\alpha = 6.222$ $\beta = 16.6$	$\alpha = 2.586$ $\beta = 9.0$	$\alpha = 10.02$ $\beta = 5.594$	$\alpha = 5.919$ $\beta = 16.582$	ویبول

توابع در هر دو جهت دامنه کمترین است و سایر توابع از انطباق مناسبی نسبت به هم برخوردار هستند.

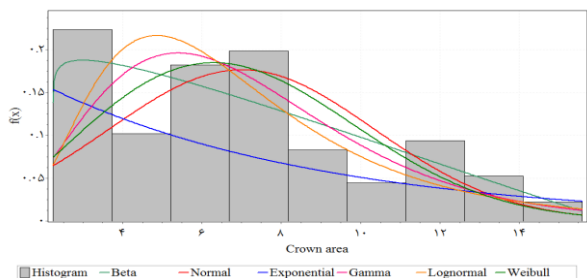
هیستوگرام و منحنی برازش شده توابع برای هر یک از مشخصه‌های مورد مطالعه نیز در شکل‌های ۱ تا ۶ به تفکیک جهت دامنه نشان داده شده است که بر اساس آن، انطباق هیستوگرام تابع توزیع نمایی از بقیه



شکل ۲. هیستوگرام توزیع‌های طبقات قطری در دامنه شمال شرقی

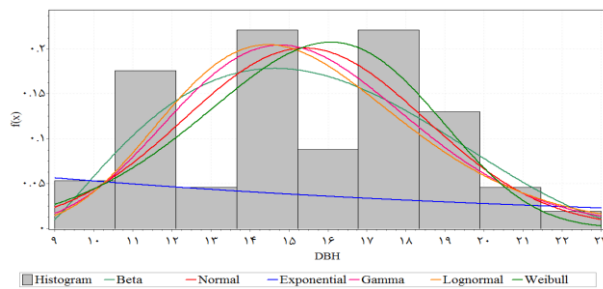


شکل ۴. هیستوگرام توزیع‌های ارتفاع در دامنه شمال شرقی

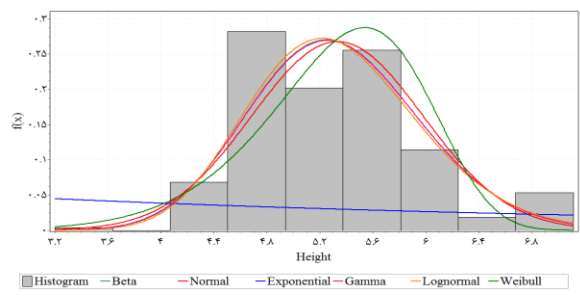


شکل ۶. هیستوگرام توزیع‌های تاج پوشش در دامنه شمال شرقی

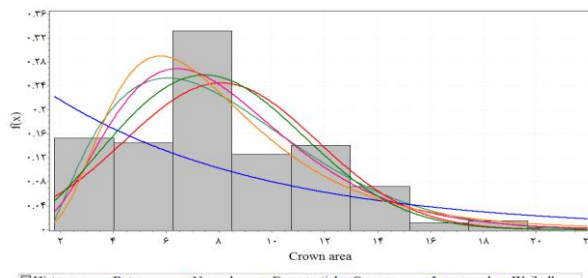
پوشش درختان در دو جهت دارای اختلاف معنی‌داری است (در سطح اطمینان ۹۵ درصد).



شکل ۱. هیستوگرام توزیع‌های طبقات قطری در دامنه شمال غربی



شکل ۳. هیستوگرام توزیع‌های ارتفاع در دامنه شمال غربی



شکل ۵. هیستوگرام توزیع‌های تاج پوشش در دامنه شمال غربی

نتایج آنالیز ANOVA در جدول ۵ نشان داده شده است. بنابر نتایج- این آزمون، درختان ممرز از نظر قطر برابر سینه در دو جهت دامنه شمال شرقی و شمال غربی تفاوت معنی‌داری ندارند اما ارتفاع و سطح تاج

جدول ۵. آنالیز واریانس قطر برابر سینه، ارتفاع و سطح تاج پوشش در دو جهت دامنه						
Sig	F	میانگین مربعات	درجه آزادی	مجموع مربعات		
0.829 ^{ns}	0.046	0.418	1	0.418	بین گروه‌ها	قطر برابر سینه
		8.997	623	5605.124	درون گروه‌ها	
			624	5605.524	کل	
0.0*	22.185	12.165	1	12.165	بین گروه‌ها	ارتفاع
		0.548	623	341.610	درون گروه‌ها	
			624	353.774	کل	
0.0*	14.318	173.251	1	173.251	بین گروه‌ها	سطح تاج پوشش
		12.100	623	7538.389	درون گروه‌ها	
			624	7711.640	کل	

* معنی‌دار در سطح اطمینان ۹۵ درصد،^{ns} بدون اختلاف معنی‌دار

۴- بحث و نتیجه گیری

امروزه مدل‌های مختلف توابع توزیع احتمال به فراوانی برای توصیف انواع ویژگی‌های توده شامل قطر برابر سینه، ارتفاع و غیره در توده‌های جنگلی مورد استفاده قرار می‌گیرند. این توابع، توده‌های جنگلی را تحت شرایط مختلف منطقه‌ای، تیپ توده و تحت رژیم‌های مختلف مدیریتی بررسی می‌کنند. از مهم‌ترین مزایای این مدل‌ها انعطاف‌پذیری آنها نسبت به شرایط توده‌های جنگلی و همچنین برآورد آسان و سریع پارامترهای توابع با استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری است که مورد توجه قرار گرفته است (Chen et al., 2019). مدل‌های ریاضی ابزاری کارآمد برای مدل‌سازی پدیده‌های مختلف هستند و کاربردشان در علوم نوین جنگل برای بررسی توزیع فراوانی متغیرهای مختلف مورفولوژی درختان مانند نمایش کلی توزیع فراوانی، مطالعه ساختار توده، ساختن مدل‌های رویشی، شبیه‌سازی به کمک اعداد تصادفی و تعیین تابع تراکم احتمال مورد استفاده قرار می‌گیرد (حسن‌زاد و مرادی، ۱۳۹۸). توزیع بتا برای قطر برابر سینه در انواع گونه‌های مختلف توسط محققان تشخیص داده شده است. به طوری که در مطالعه سهرابی و طاهری سرتشنیزی (۱۳۹۱) این توزیع به عنوان بهترین تابع توزیع احتمال در طبقات قطری سه گونه بلوط در جنگل‌های گلازنی شده در زاگرس شمالی معرفی شد. میرزایی و بنیاد (۱۳۹۴) نیز توزیع‌های بتا و نرمال را برای مدل‌سازی طبقات قطری در جنگل‌های تنک بلوط در-ایلام گزارش کردند. Mirzaei و همکاران (۲۰۱۶) نیز مدل ویبول و بتا را برای داده‌های قطر برابر سینه درختان بلوط ایرانی در یک جنگل تنک مناسب ارزیابی کردند. این نتایج مطابق با نتیجه مطالعه حاضر بود به طوری که در مطالعه حاضر نیز توزیع بتا به عنوان بهترین مدل نشان-دهنده توزیع قطری درختان ممرز در هر دو جهت دامنه تشخیص داده شد. علت این امر انعطاف‌پذیری بالای این تابع است. همچنین بیان شده است که در جنگل‌هایی که در گذشته تحت دخالت‌های سنتی واقع شده‌اند توزیع بتا برازش مناسب‌تری را نشان می‌دهد (حسن‌زاد و مرادی، ۱۳۹۸). بنابر استدلال Pogoda و همکاران (۲۰۱۹) نیز در توده‌های جوان گاهی هیچ یک از این مدل‌ها قادر به تعیین نوع توزیع قطر نخواهد بود. سهرابی و طاهری سرتشنیزی (۱۳۹۱) در مطالعه خود بر تأثیر بهره‌برداری سنتی بر توزیع طبقات قطری درختان تأکید کردند و به نقل از Plieninger و همکاران (۲۰۰۴) بیان کردند که عوامل فیزیوگرافی جزو عوامل مؤثر در توزیع احتمال گونه‌ها است. بنابراین عوامل متعددی با تأثیر بر مشخصه‌های درختان می‌توانند بر توزیع این مشخصه‌ها نیز مؤثر باشند که عامل جهت دامنه در تحقیق حاضر بررسی شد و نتایج عدم وجود تفاوت معنی‌دار در قطر درختان دو دامنه را نشان داد که در نهایت این عامل بر توابع توزیع قطری درختان در دو دامنه نیز نیز تغییری نشان نداد. بررسی توابع توزیع احتمال برای ارتفاع درختان به عنوان یک مشخصه مهم به خصوص در توده‌های شاخه‌زاد که مصارف صنعتی ندارند به عنوان معیاری مناسب برای ارزیابی توده معرفی شده است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۴)، به طوری که در مطالعه حسن‌زاد ناورودی و مرادی امام قیسی (۱۳۹۸) برای ارتفاع گونه راش در جنگل-های غرب گیلان و مرادی و همکاران (۱۳۹۴) برای توزیع ارتفاعی یک جنگل ناهمسال در چارطاق توزیع بتا را نشان داد. آنها بیان کردند که این توزیع دارای قابلیت تبیین بالایی در توزیع فراوانی قطر و ارتفاع درختان

است. در مطالعه Mirzaei و همکاران (۲۰۱۶) توزیع‌های بتا و ویبول برای ارتفاع گونه بلوط ایرانی تشخیص داده شد. در مطالعه حاضر توزیع لگ نرمال و نرمال به ترتیب برای دامنه شمال غربی و شمال شرقی نشان داده شد که این تفاوت در دو دامنه می‌تواند به دلیل تفاوت معنی‌دار در میانگین ارتفاع درختان در دو جهت دامنه باشد. سطح تاج پوشش در مطالعات اندکی از نظر توابع توزیع مورد ارزیابی قرار گرفته است. میرزایی و همکاران (۱۳۹۳) مشخصه تاج پوشش را در توده‌های شاخه-زاد برای قضاوت وضعیت توده و پایش آن مناسب دانستند و تابع توزیع نرمال را برای تاج پوشش درختان بلوط تشخیص دادند. Mirzaei و همکاران (۲۰۱۶) مدل ویبول و گاما را برای تاج پوشش درختان بلوط ایرانی مناسب ارزیابی کردند. نتایج مطالعه مدبری و سوسنی (۱۳۹۵) نشان داد که بروز زوال بر مشخصه تاج پوشش درختان شاخه‌زاد در زاگرس مرکزی اثر معنی‌داری داشت به طوری که تاج پوشش قبل از زوال از توزیع گاما پیروی می‌کرد و بعد از قطع نوع توزیع به جانسون تغییر کرد و نتیجه آنها نشان داد که بروز زوال با تأثیر بر فراوانی تخریب در منطقه، بر توزیع تاج پوشش تأثیر معنی‌دار داشته است. در مطالعه حاضر نیز مدل‌های گاما، بتا و ویبول در دامنه شمال غربی و تابع بتا در دامنه شمال شرقی معرفی شدند که نشان‌دهنده اثر جهت جغرافیایی بر نحوه توزیع فراوانی سطح تاج پوشش در منطقه بود. تابع نمایی در هیچ کدام از مشخصه‌های مورد مطالعه حاضر نتوانست در تبیین داده‌ها مناسب عمل کند. این نتیجه مطابق با نتیجه محمدعلی‌زاده و همکاران (۱۳۸۸) بود و دلیل این موضوع را انعطاف‌پذیری ناچیز این تابع بیان کردند. نتایج این تحقیق اثر معنی‌دار جهت دامنه بر تغییرات توابع توزیع پراکنش گونه را به اثبات رساند همان‌طور که شرایطی همچون اثرات گلازنی (سهرابی و طاهری سرتشنیزی، ۱۳۹۱)، تراکم توده (میرزایی و بنیاد، ۱۳۹۴؛ Palahi et al., 2007)، تنک کردن و تغییر در اندازه قطعه نمونه (De Lima et al., 2014) و تأثیر آشفستگی زوال (مدبری و سوسنی، ۱۳۹۵) بر تغییرات توزیع‌های آماری در توده‌های مختلف گزارش شده بود. اگرچه هنوز تفسیر روشنی از فرضیات تئوریک درباره شرایط ظهور هر مدل وجود ندارد اما تأثیر انواع عوامل بر نحوه توزیع به اثبات رسیده است به طوری که به عنوان مثال عاملی مانند تنک کردن و قطع درختان در قطرهای مشخص با تغییر تابع توزیع قطری مرتبط است. یا تغییر اندازه قطعه نمونه در نتیجه مطالعه مدل‌های توزیع اثر خواهد داشت، به طوری که مدل لگ نرمال مدل مناسبی برای قطعات نمونه کوچک، گونه‌های سایه‌پسند و کند رشد خواهد بود و مدل Odd-Weibull برای قطعه‌نمونه‌های بزرگ بهتر عمل خواهد کرد. توابع توزیع گاما و ویبول مدل‌هایی با انعطاف بالا معرفی شده‌اند زیرا مدل ویبول دارای انعطاف کافی برای نشان دادن ارتباط بین متغیرهای محیطی و نوع فراوانی گونه‌ها و همچنین نشان‌دهنده ثبات مرگ و میر در توده شناخته شده است. توابع نمایی در شرایط تخریب شدید نشان داده شده است و توده‌های به شدت تخریب شده و رویش تک درختان در حال شکل‌گیری است از توزیع نرمال تبعیت خواهند کرد. (De Martinez-Antuanez et al., 2014؛ Lima et al., 2015) اما آنچه مسلم است آن است که با تکرار این نوع مطالعات و مقایسه انواع توده‌های حفاظت شده و غیر حفاظتی و به تفکیک گونه شناخت عمیق‌تری در این محث کسب خواهد شد زیرا از جمله

با توجه به تغییرات جهت دامنه مناسب ارزیابی شدند. همچنین با مقایسه میانگین‌های این مشخصه‌ها در جهت‌های مختلف دامنه، تفاوت معنی‌داری در مشخصه‌های ارتفاع و تاج پوشش مشاهده شد که تغییر در توزیع‌ها نیز بر حساب این تفاوت متغیر بود. بنابراین جهت دامنه به‌عنوان یک عامل محیطی در تعیین مدل توزیع پراکنش انواع مشخصه‌های قطر، ارتفاع و تاج پوشش درختان ممرز تأثیر داشت. از این رو پیشنهاد می‌شود که اثر سایر عوامل محیطی نیز بر مدل‌های توزیع انواع گونه‌های درختی در ارسباران بررسی شود.

توانمندی‌های کاربرد توزیع‌های آماری در جنگل عبارت از شناخت وضعیت فعلی و آینده توده‌های جنگلی، واکنش به تغییرات محیطی و دخالت‌های پرورشی مانند برنامه‌ریزی تنک کردن توده است. همچنین ارزیابی این مدل‌ها در طول زمان امکان بررسی سیر تخریب، تحول و روند توالی اکوسیستم را فراهم می‌کند. در مطالعه حاضر انواع مشخصه‌های مورفولوژیک قطر برابر سینه، ارتفاع و تاج پوشش توده‌های ممرز در منطقه‌ای حفاظت شده در جنگل ارسباران از نظر توابع توزیع احتمال مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد تابع بتا برای قطر برابر سینه، توابع نرمال و لگ نرمال برای ارتفاع و توابع بتا و گاما برای تاج پوشش

منابع

- حسن‌زاد ناورودی، الف، مرادی امام قیسی، الف، ۱۳۹۸. برازش توابع توزیع احتمال ارتفاع درختان راش در توده‌های طبیعی غرب گیلان (مطالعه موردی: جنگلهای ماسال)، بوم‌شناسی جنگل‌های ایران، سال ۷، شماره ۱۴، ص. ۱-۹.
- سهرابی، ه، طاهری سرتشنیزی، م.ج، ۱۳۹۱. برازش توابع توزیع احتمال برای مدل‌سازی توزیع قطری گونه‌های بلوط در جنگل‌های گلازنی شده زاگرس شمالی (مطالعه موردی: آرمرده -بانه)، مجله جنگل ایران، سال چهارم، شماره ۴، ص. ۳۳۳-۳۴۳.
- محمدعلی‌زاده، خ، زبیری، م، نمیرانیان، م، هورفر، ع، مروی مهاجر، م، ۱۳۸۸. برازش توزیع فراوانی قطر برابر سینه با بکارگیری برخی مدل‌های توزیع‌های آماری (مطالعه موردی: جنگل خیرودکنار -نوشهر)، تحقیقات جنگل و صنوبر ایران، جلد ۱۷، شماره ۱، ص. ۱۱۶-۱۲۴.
- مدبری، الف، سوسنی، ج، ۱۳۹۵. تأثیر آشفتنگی زوال بر تغییرات توزیع‌های آماری مشخصه تاج پوشش در جنگل‌های شاخه‌زاد زاگرس مرکزی، مجله پژوهش و توسعه جنگل، جلد ۲، شماره ۱، ص. ۷۳-۸۳.
- مرادی امام قیسی، الف، بنیاد، الف، حسن‌زاد ناورودی، الف، ۱۳۹۴. برازش توابع توزیع احتمال برای فراوانی ارتفاع درختان در جنگل‌های ناهمسال حفاظت شده اردل، اولین همایش ملی محیط زیست طبیعی، رشت، ایران، ص. ۱-۶.
- میرزایی، م، بنیاد، الف، ۱۳۹۴. برازش توابع توزیع احتمال برای مدل‌سازی توزیع قطری گونه بلوط ایرانی در جنگل‌های تنک (مطالعه موردی منطقه دالاب ایلام)، مجله جنگل ایران، سال ۷، شماره ۱، ص. ۱۲۷-۱۳۶.
- میرزایی، م، بنیاد، الف، محبی بیچارپس، م، ۱۳۹۳. کاربرد توزیع‌های احتمال برای برازش طبقات تاج پوشش درختان بلوط ایرانی مطالعه موردی: جنگل دالاب ایلام، نشریه توسعه پایدار جنگل، دوره ۱، شماره ۲، ص ۱۹۵-۲۰۳.
- Chen, Y., et al. 2019. Stand Diameter Distribution Modeling and Prediction Based on Maximum Entropy Principle, Forests, Vol. 10(859), P. 1-18.
- De Lima, R.A.F, et al. Modeling Tree Diameter Distributions in Natural Forests: An Evaluation of 10 Statistical Models, Forest science, Vol. 61, P. 320-327.
- Martinez-Antunez, P., et al. 2015. Use of the Weibull function to model maximum probability of abundance of tree species in northwest Mexico, Annals of Forest Science, Vol 72(2), P. 243-251.
- Mirzaei, M., et al. 2016. Modeling frequency distributions of tree height, diameter and crown area by six probability functions for open forests of *Quercus persica* in Iran, Journal of Forest Research, Vol. 27, P. 901-906.
- Palahi, M. et al. 2007. Comparison of beta, Johnson's SB, Weibull and truncated Weibull functions for modeling the diameter distribution of forest stands in Catalonia (north-east of Spain), European Journal of Forest Research, Vol. 126, P. 563-571.
- Plieninger, T., et al. 2004. Effects of land-use and landscape structure on holm oak recruitment and regeneration at farm level in *Quercus ilex* L. dehesas, Journal of Arid Environments, Vol. 57, P. 345-364.
- Pogoda, P., et al. 2019. Modeling Diameter Distribution of Black Alder (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) Stands in Poland, Forests, Vol. 10 (412), P. 1-16.
- Sasanifar, S., et al. 2019. Forest protection policy: Lesson learned from Arasbaran biosphere reserve in Northwest Iran. Land use Policy, Vol. 87, P. 1-8.