نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل
جلد بیست و هشتم، شماره اول، ۱۴۰۰
۳۷-۵۲
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2021.18927.1920

بررسی خطر بادافتادگی درختان کاج الدار در پارک جنگلی سرخه‌حصار

بهمن کیانی*[1] و رامتین مددی[2]

[1]دانشیار دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، گروه محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران،
[2]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد جنگلداری، گروه محیط زیست، دانشگاه یزد، یزد، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۲/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۱/۱۴

چکیده

سابقه و هدف: بررسی و مطالعه ضریب قدکشیدگی و نسبت تاج درختان در پارک‌های جنگلی به‌منظور تعیین پایداری توده‌ها در برابر باد ازجمله موارد مهم در مدیریت این عرصه‌ها است. مهم‌ترین علّت نیز حضور گسترده خانواده‌ها و وسایل نقلیه در این مناطق است که در صورت افتادن درختان ممکن است خسارات جبران‌ناپذیری به بار آورد. ازاین‌رو این پژوهش باهدف بررسی حساسیت درختان سرپای کاج تهران در بخش‌های مختلف پارک جنگلی سرخه‌حصار، نسبت به بادافتادگی انجام شده است. هم‌چنین تلاش شده است تا مناسب بودن قطر برابر سینه به‌عنوان متغیّری که اندازه‌گیری آن ساده و کم‌هزینه است، برای پیش‌بینی نسبت تاج و ضریب قدکشیدگی به‌عنوان دو شاخص مهم در تعیین حساسیت درختان به بادافتادگی، مورد ارزیابی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها: پس از بازدید میدانی، تعداد ۱۴ قطعه جنگل‌کاری انتخاب شد به‌نحوی‌که پراکنش مناسبی در سرتاسر پارک داشته باشند. درمجموع ۱۵۱ اصله درخت به‌صورت تصادفی انتخاب و قطر در ارتفاع برابر سینه، ارتفاع کل، ارتفاع تنه، ارتفاع تاج، نسبت تاج و ضریب قدکشیدگی اندازه‌گیری و محاسبه شد. از آزمون t مستقل برای بررسی اختلافات در دو روش کاشت شامل ردیف‌های کنار جاده و لکه‌های جنگلی استفاده شد. تحلیل رگرسیون نیز برای مدل‌سازی رابطه قطر برابر سینه-ضریب قدکشیدگی و همچنین قطر برابر سینه-نسبت تاج انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، میانگین سطح مقطع درختان اندازه‌گیری شده ۰/۰۳۴ مترمربع و میانگین حجم آن‌ها ۰/۲۰۸ مترمکعب بود. با توجه به تنوع فواصل کاشت، سطح مقطع توده‌های کاج به ترتیب ۹/۴۵ تا ۵۴/۴ مترمربع در هکتار و حجم توده‌ها ۵۷/۸ تا ۳۳۲/۸ مترمکعب در هکتار محاسبه شد. نتایج نشان داد ضریب قدکشیدگی به‌طور متوسط ۵۷/۲۹ درصد بوده و ازنظر این شاخص ۰/۷ درصد درختان در وضعیت ناپایدار قرار داشتند. متوسط نسبت تاج نیز ۰/۵۵۷ بوده و ازنظر این شاخص، ۲/۶ درصد درختان در وضعیت بسیار ناپایدار قرار داشتند. اختلاف معنی‌داری بین لکه‌های جنگلی و ردیف‌های کنار خیابان ازنظر طول تاج، نسبت تاج، ارتفاع تنه و ضریب قدکشیدگی وجود داشت.

* مسئول مکاتبه: bnkiani@yazd.ac.ir

مدل خطی برازش معنی‌داری بر داده‌های قطر برابر سینه-ضریب قدکشیدگی و همچنین قطر برابر سینه-نسبت تاج داشته، درصد خطا به‌ترتیب ۱۳ و ۱۱/۷ درصد و مقدار ضریب تبیین ۰/۲۸ و ۰/۱۷ بود.

نتیجه‌گیری: درمجموع، درختان کاج الدار در پارک ملی سرخه‌حصار در وضعیت پایداری قرار داشته و درصد کمی از آن‌ها نیازمند بررسی بیومکانیکی بافت‌های چوب به‌منظور تعیین حداکثر سرعت باد قابل تحمل و تعیین اقدامات احتیاطی مانند هرس هستند. هم‌چنین متغیر قطر برابر سینه در جنگل‌کاری‌های متنوع انجام شده ازنظر تراکم، به‌تنهایی برای پیش‌بینی ضریب قدکشیدگی و نسبت تاج کافی نیست و علاوه بر آن لازم است اندازه‌گیری ارتفاع کل و ارتفاع تاج به‌منظور محاسبه و پیش‌بینی شاخص‌های پایداری انجام شود. با توجه تأثیر مساحت و شکل لکه‌های درختکاری در بروز و شدت بادافتادگی، لازم است شکل لکه‌ها به صورت قطره اشکی که رأس آن به سمت بادهای غالب منطقه باشد در نظر گرفته شود تا خطر بادافتادگی در مکان‌های پرتردد به حداقل برسد.

واژه‌های کلیدی: پایداری، جنگل‌کاری، قدکشیدگی، مدیریت پارک، نسبت تاج

مقدمه

امروزه با افزایش جمعیت و توسعه شهرنشینی، از یک جهت نیاز انسان‌ها به تفریح و گردشگری و بازسازی جسم و روح در فضاهای طبیعی افزایش یافته و از جهتی دیگر پوشش گیاهی و منابع طبیعی را در پالایش آلودگی‌های شهری بیش از گذشته مورد توجه قرار داده است (۱۰). بسط و افزایش فضاهای سبز شهری و پارک‌های جنگلی علاوه بر لزوم حمایت و فعالیت همه‌جانبه مسئولان و مردم، نیازمند استفاده از متخصصان مجرب و آگاه به علم جنگلداری شهری می‌باشد (۲٤). احداث پارک‌های جنگلی و جنگل‌های مصنوعی دست‌کاشت ازجمله طرح‌هایی هستند که به‌منظور ایجاد تفرجگاه بسیار بااهمیت می‌باشند (۲٦).

در عصر پیش رو، جنگل‌کاری‌های گسترده‌ای در نواحی خشک و نیمه‌خشک کشورمان به‌ویژه در پیرامون کلان‌شهرها در دهه ٤۰ شمسی آغاز شد. ازجمله آن‌ها می‌توان به پارک جنگلی سرخه‌حصار که اینک بیش از ۵۱ سال از کاشت درختان این پارک می‌گذرد، اشاره نمود (۱۰). یکی از مهم‌ترین گونه‌های جنگل‌کاری شده این پارک، گونه کاج تهران یا کاج الدار (*Pinus eldarica* Medw.) است که حدود ٦۰ درصد از کل درختان کاشته شده در اراضی مختلف پارک ملی سرخه‌حصار تهران را به خود اختصاص داده، به‌طوری‌که پارک یک سیمای پوشیده از کاج را از دوردست به خود می‌گیرد (۱٤). کاج الدار به دلیل مقاومت به خشکی و سازش زیاد اکولوژیک، در بسیاری از مناطق دیگر ایران نیز کشت می‌شود (۹، ۳٤ و ۳۷).

در دهه‌های اخیر با توجّه به تغییرات اقلیم در جهان، روند اختلالات و آسیب‌های طبیعی همچون تندبادهای شدید رو به فزونی گذاشته و متناسب با آن، وقوع بادافتادگی درختان در جنگل‌ها و پارک‌ها نمی‌تواند دور از انتظار باشد. رژیم وقوع بادافتادگی مانند سایر حوادث طبیعی، بسیار متغیّر است و علّت آن نیز گره خوردن شرایط اقلیمی با شرایط فیزیوگرافی محلی می‌باشد. بادافتادگی درختان جنگلی در مقیاسی وسیع و با شدت زیاد، سبب بر هم خوردن

برخی جنبه‌های اکوسیستم می‌شود که نیاز است اطلاعات جامعی در خصوص این پدیده به جهت شناخت و کاهش خسارت ناشی از آن به عمل آید (۵). وزش بادهای شدید می‌تواند منجر به شکستگی تاج و یا تنه درختان یا ریشه‌کن شدن آن‌ها شود. (۲۲). اگرچه شرایط نامساعد جوّی، شیوع آفات و بیماری‌ها سبب ضعف درختان و حساسیت آن‌ها به بادافتادگی می‌شود امّا بی‌شک دخالت‌های انسانی نیز در آن تأثیرگذار هستند (۱۲).

یکی از شاخص‌های مهم در بررسی پایداری درختان، ضریب لاغری یا قدکشیدگی می‌باشد که از نسبت ارتفاع کل به قطر برابر سینه درخت به دست می‌آید و بیانگر محیط رشد پیرامون درخت است (۳). هم‌چنین نسبت تاج در برخی پژوهش‌ها به‌عنوان شاخصی برای تعیین پایداری درخت مورد استفاده قرار گرفته است (۲۹). نمایه نسبت تاج نشان‌دهنده بنیه درخت بوده و یک متغیر مهم زیستگاهی محسوب می‌شود. این نمایه، ابزار مهمی در مدیریت جنگل برای پیش‌بینی تولید محصول و مدل‌سازی آن است و از تقسیم طول تاج به ارتفاع کل درخت محاسبه می‌شود. درواقع نسبت تاج درصدی از ارتفاع کل درخت است که واجد شاخ و برگ می‌باشد (۲).

ازجمله پژوهش‌های انجام شده در خصوص ضریب قدکشیدگی می‌توان به مونیشی و چامشاما (۱۹۹٤) اشاره نمود که در مطالعه خسارت باد بر رویشگاه گونه *Pinus patula* (Schiede ex Schltdl. & Cham) در تانزانیا بیان کردند که تنک کردن سبک تا حدّ زیادی به مقابله با آسیب‌های باد کمک می‌کند چراکه این امر منجر به کاهش نسبت ارتفاع به قطر برابر سینه درختان شده است (۲۷). متاجی (۱۹۹۹) در بررسی ضریب قدکشیدگی درختان بخش گرازبن بیان نمود که گونه راش نسبت به سایر گونه‌ها دارای ضریب قدکشیدگی بیشتری است (۲۳). عبدالله‌زاده (۲۰۰۲) ضریب قدکشیدگی درختان کاج تهران پارک جنگلی لویزان تهران را در چهار جهت جغرافیایی اصلی بررسی کرد. نتایج نشان داد که درختان جهت شرقی همانند درختان جهات غربی و شمالی، بیش‌ترین و درختان جهت جنوبی، کم‌ترین میزان ضریب قدکشیدگی را داشتند (۱). پژوهش‌های اخوان و نمیرانیان (۲۰۰۳) در بررسی ضریب قدکشیدگی در جنگل خیرود نشان داد که بین قطر برابرسینه و ضریب قدکشیدگی درختان یک رابطه کاهشی از نوع نمایی وجود دارد و رابطه معنی‌داری بین ضریب قدکشیدگی با تراکم توده وجود ندارد (۳). هم‌چنین رودنیکی و همکاران (۲۰۰٤) در مطالعه خود در یک توده کاج در آلبرتای کانادا نتیجه گرفتند که ضریب قدکشیدگی با میزان بسته بودن تاج‌پوشش رابطه‌ای مستقیم داشته، در توده‌های بسته به علّت زیاد بودن رشد ارتفاعی و کم‌تر بودن رشد قطری، میزان پایداری در برابر بادافتادگی کم‌تر است (۳۳).

ضریب قدکشیدگی درختان کاج الدار در پارک جنگلی قرچک تهران توسط محمودیان (۲۰۰۵) محاسبه شد که در دامنه شرقی ٤٤/٦٨ و در دامنه غربی ٤٨/١٢ به‌دست آمد. ایشان نتیجه گرفت که نیازی به دخالت پرورشی در توده نیست و درختان در مقابل باد و برف پایدار هستند (۲۱). لوپز و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی تأثیر خطرات باد در افتادن درختان در محیط‌های شهری در لیسبون پایتخت پرتغال پرداختند. نتایج نشان داد که خسارت به درختان در محیط شهری به عواملی مانند متوسط طول عمر درختان و نحوه هرس بستگی دارد. هم‌چنین درختان مسن‌تر نسبت به خطر باد آسیب‌پذیرتر هستند (۱۹). لوییس و همکاران (۲۰۱۰) در بررسی پایداری

توده‌های همسال سوزنی برگ در پرتغال نشان دادند که ضریب قدکشیدگی درختان رابطه مستقیم با ریسک شکستگی ساقه و باد افتادگی دارد (۱۸). کامی‌مورا و همکاران (۲۰۱۳) خسارت ناشی از طوفان‌های گرمسیری بر درختان در جنگل‌های ژاپن را در بازه سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۰۷ بررسی کرده و بیان نمودند که عواملی مانند سن توده، تراکم توده، ارتفاع توده، قطر برابر سینه درخت و ضریب قدکشیدگی در شکستگی ناشی از ساقه اثر داشته و تنک کردن منجر به ایجاد فضای باز در توده و نفوذ باد می‌شود (۱۵).

در پژوهش فقاهتی و علوی‌نژاد (۲۰۱۳) پایداری جنگل‌های طبیعی کم‌تر دست‌خورده بلوط ایرانی رویشگاه زاگرس بررسی و میانگین ضریب قدکشیدگی بلوط ایرانی ۲۵/۶۰ درصد به‌دست آمده و وضعیت توده ازلحاظ پایداری، مطلوب ارزیابی شد (۱۱). کیانی و نادی (۲۰۱۶) در جنگل‌کاری‌های مجاور سد زاینده‌رود ضریب قدکشیدگی درختان کبوده و چنار را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که میزان پایداری برای توده‌های مورد مطالعه کم است، بنابراین اجرای عملیات جنگل‌شناسی به‌ویژه تنک کردن را برای افزایش مقاومت در مقابل بادافتادگی توصیه نمودند (۱۷).

در پژوهش دیگری مقدار ضریب قدکشیدگی درختان راش توسط بزرگی و شیخ‌الاسلامی (۲۰۱۶) در جنگل‌های حاجی‌کلا مازندران بررسی شد و به این نتیجه رسید که با افزایش سن و رویش قطری، بر پایداری درخت افزوده می‌گردد (۶). ضریب قدکشیدگی درختان در جنگل‌های ارسباران توسط ساسانی‌فر و همکاران (۲۰۱۷) بررسی شد. نتایج نشان داد میزان ضریب قدکشیدگی در منطقه حفاظت‌شده در رده ناپایدار و در منطقه غیر حفاظتی در رده خیلی ناپایدار قرار دارد (۳۵). در پژوهش راد و همکاران (۲۰۱۸) ضریب قدکشیدگی ۱۱ گونه درختی آبیاری شده با پساب در شرایط اقلیمی خشک شهر یزد بررسی شد و به این نتیجه رسید که گونه کاج الدار ضریب قدکشیدگی مناسبی دارد (۳۲). شیندلر و کلاب (۲۰۲۰) به ارزیابی حساسیت کاج اسکاتلندی در برابر باد در منطقه مرزی بین فرانسه و آلمان پرداختند. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش ارتفاع درخت، سرعت باد در قسمت‌های مختلف تاج بیش‌تر می‌شود اما هرچه ریشه‌های درخت قوی‌تر باشند، خطر آسیب دیدن در اثر باد کم‌تر است (۳۶).

ضریب قدکشیدگی و نسبت تاج درختان به‌عنوان شاخص مقاومت در برابر بادافتادگی به کار می‌روند (۲۷، ۳). اهمیت بررسی و مطالعه این دو شاخص برای درختان پارک‌های جنگلی جهت تعیین پایداری توده‌ها در برابر باد امری لازم تلقّی می‌شود. مهم‌ترین علّت نیز حضور گسترده خانواده‌ها و وسایل نقلیه در این مناطق است که در صورت افتادن درختان ممکن است خسارات جبران‌ناپذیری را به بار آورد. به‌علاوه، حفاظت از درختان و جنگل‌های دست‌کاشت، به جهت نقش اکولوژیک آن‌ها در بوم‌سازگان شهری نیز بسیار اهمیت دارد. از این‌رو این پژوهش با هدف بررسی حساسیت درختان سرپای کاج تهران در بخش‌های مختلف پارک جنگلی سرخه‌حصار، نسبت به رویداد بادافتادگی انجام شده است. هم‌چنین تلاش شده تا مناسب بودن قطر برابر سینه به‌عنوان متغیّری که اندازه‌گیری آن ساده و کم‌هزینه است، برای پیش‌بینی این دو شاخص مهم مورد ارزیابی قرار گیرد. درعین‌حال برآوردی از سطح مقطع و حجم در مقیاس تک‌درخت و در واحد سطح ارائه شده است.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه: پارک جنگلی سرخه‌حصار با قدمتی بیش از ۵۰ سال با امتداد شرقی–غربی، در قالب یک مجموعه و با مساحتی بالغ بر ۵٤۰ هکتار در شرق شهر تهران استقرار یافته است. این منطقه، در محدوده جغرافیایی بین ´۳۰ °۵۱ تا ´۳۵ °۵۱ طول شرقی و ´٤۲ °۳۵ تا ´٤٤ °۳۵ عرض شمالی قرار گرفته است. حداکثر ارتفاع منطقه ۱۸۸۱ متر، حداقل ارتفاع آن ۱۲۸۸ متر و ارتفاع متوسط وزنی آن از سطح دریا ۱٤۷۷/٦ متر است. سطح جنگل‌کاری شده پارک سرخه‌حصار یا به عبارتی وضعیت موجود آن معادل ٤۱۰ هکتار می‌باشد که با کاشت عرصه‌هایی در جنوب پارک در حال افزایش می‌باشد. بارش سالانه بر اساس آمار ۳۰ ساله (۱۳۹۸–۱۳٦۸) ایستگاه‌های مهرآباد و دوشان تپّه به ترتیب برابر ۲۳٦/۳ و ۲۵۹/۸ میلی‌متر و متوسط بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه بر اساس نقشه هم‌باران ۳۳٤/۲ میلی‌متر برآورد گردید. میانگین درجه حرارت سالانه ۱۲/٦ درجه سانتی‌گراد بوده و مقادیر حداکثر و حداقل مطلق آن به ترتیب ٤۳+ و ۱۲– درجه سانتی‌گراد هستند. این منطقه ازنظر اقلیمی بر اساس روش دومارتن دارای اقلیم خشک و بر اساس روش آمبرژه دارای اقلیم نیمه‌خشک سرد می‌باشد که طول دوره خشکی در آن نسبتاً طولانی بوده و حداقل به شش ماه در سال می‌رسد (۱٤).

قرار داشتن این پارک در روی دامنه تپّه‌های کم‌ارتفاع بین رودخانه و کوهستان منجر به حرکت و جریان ملایم هوا در روز از دشت به کوه و در شب برعکس از کوه به دشت می‌گردد. ضمن این‌که این منطقه تحت‌تأثیر بادهای معروف به باد شهریار که جهت غالب آن جنوب‌غربی می‌باشد در فصول تابستان و پاییز قرار دارد. باد غالب منطقه در فصل بهار و پاییز در جهت شمال‌شرقی بوده و در بقیه فصول سال در جهت جنوب غربی می‌باشد. شیب در محدوده پارک متغیر و بین ۵–۱۵٪ تا بیش از ۳۰٪ نیز می‌باشد. بافت خاک شنی–لومی تا شنی–رسی و از نظر حاصلخیزی و ظرفیت نگهداری آب در خاک، در بخش‌های شیب‌دار و پای دامنه‌ها و تپه‌ماهورها ضعیف و در مناطق پست و کم‌شیب در حد متوسط تا خوب می‌باشد (۱٤).

روش تحقیق: نخست بازدید میدانی در زمستان ۱۳۹۸ از پارک انجام و ۱٤ قطعه جنگل‌کاری که برخی به‌صورت لکه جنگلی و برخی به‌صورت ردیف کنار خیابان بودند جهت نمونه‌برداری انتخاب شد به‌نحوی‌که محل‌های نمونه‌برداری پراکنش مناسبی در سرتاسر پارک داشته باشند. در هر قطعه، ردیف‌های جنگل‌کاری شماره‌گذاری و یک ردیف به‌طور تصادفی برای برداشت انتخاب شد. فواصل کاشت در تمامی لکه‌ها با متر نواری مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. با محاسبه میانگین فواصل، تراکم کاشت نیز از طریق رابطه ۱ تعیین گردید. تعداد درختان اندازه‌گیری شده در لکه‌ها درمجموع ۱۵۱ اصله درخت بود. برای هر درخت قطر در ارتفاع برابر سینه با نوار قطرسنج اندازه‌گیری شد. ارتفاع کل و ارتفاع تنه درختان با شیب‌سنج سونتو تا دقّت دسی‌متر اندازه‌گیری شد. با کسر نمودن این دو، ارتفاع تاج و با تقسیم ارتفاع تاج به ارتفاع کل، نسبت تاج محاسبه شد. ضریب قدکشیدگی با کمک رابطه ۲ مورد محاسبه قرار گرفت (۱٦):

$$D = ۱۰۰۰۰ / s^{۲} \qquad (۱)$$

$$\rho = h / dbh \qquad (۲)$$

که در آن، ρ ضریب قدکشیدگی، h ارتفاع کل درخت و dbh قطر برابر سینه درخت هر دو برحسب متر، s فاصله متوسط بین درختان بر حسب متر و D تراکم

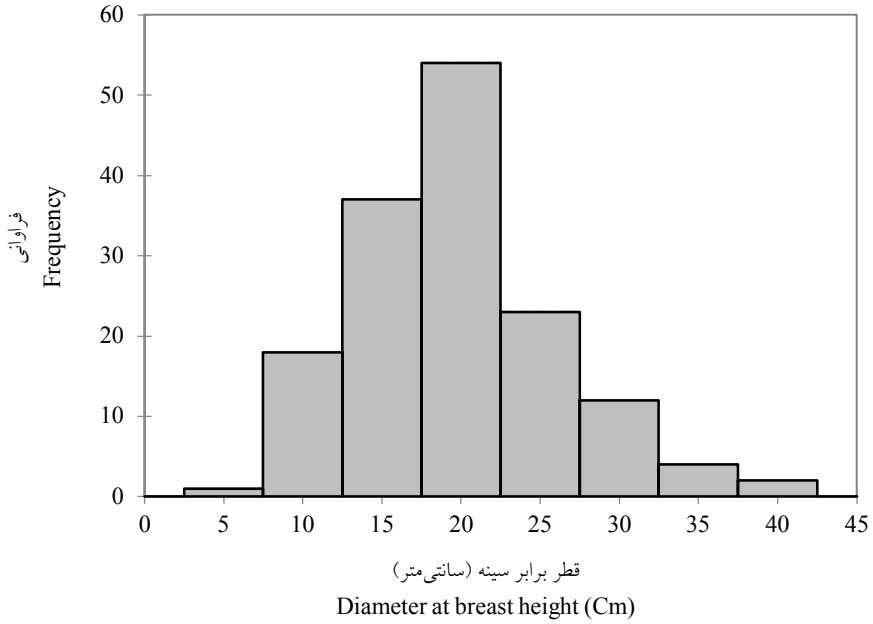
توده بر حسب تعداد درخت در هکتار هستند. درختان با مقادیر ضریب قدکشیدگی بیش از ۱۰۰ جزو طبقه کاملاً ناپایدار، ۱۰۰–۸۰ در کلاسه ناپایدار و کم‌تر از ۸۰ در کلاسه پایدار قرار می‌گیرند (۲۰). طبقه‌بندی پایداری می‌تواند بر اساس نسبت تاج نیز انجام شود. به این صورت که درختان با نسبت تاج کم‌تر از ۰/۳ در کلاسه کاملاً ناپایدار، ۰/۵–۰/۳ در کلاسه ناپایدار، ۰/۶۲–۰/۵ در کلاسه پایدار و بیش از ۰/۶۲ در کلاسه کاملاً پایدار قرار می‌گیرند (۲۹). سطح مقطع درختان بر اساس قطر تنه در ارتفاع برابر سینه (فرمول مساحت دایره) محاسبه و برای تعیین حجم نیز از رابطه ۳ استفاده شد که در آن V حجم برحسب متر مکعب، d قطر برابر سینه و h ارتفاع کل درخت هر دو برحسب متر هستند (۱۷).

$$V = ۰/٤ \times d^{۲} \times h \qquad (۳)$$

تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS 21 انجام شد. ابتدا نرمالیته داده‌ها با آزمون کلموگروف–اسمیرنوف بررسی شد. درخصوص متغیر ضریب قدکشیدگی، از تبدیل لگاریتمی برای نرمال کردن توزیع داده‌ها استفاده شد. برای بررسی همگنی واریانس‌ها از آزمون لیون استفاده شد. از آزمون t مستقل برای بررسی اختلافات و مشخص نمودن فرم کاشت برتر (لکه‌ای یا ردیفی) استفاده شد. مقایسه طول تاج درختان در دو فرم کاشت، به علت نرمال نشدن توزیع داده‌ها، با آزمون من–ویتنی انجام شد. رابطه قطر برابر سینه با ضریب قدکشیدگی و نسبت تاج با تحلیل رگرسیون خطی مورد بررسی قرار گرفت. برای اعتبار سنجی مدل‌ها از ۳۰ درصد داده‌ها استفاده شد و اختلاف مقدار ثابت و شیب خط با رویه General Linear Model ازنظر آماری مورد بررسی قرار گرفت. ضریب تبیین به‌عنوان شاخص قدرت پیش‌بینی مدل و ریشه میانگین نرمال شده مربعات خطا (NRMSE) به‌عنوان شاخص صحت مدل مورد استفاده قرار گرفت.

نتایج و بحث

فاصله درختان کاج الدار در بخش‌های مختلف پارک بین ۲/۵ تا ٦ متر اندازه‌گیری شد. بر این اساس تراکم این توده‌ها ۲۷۸ تا ۱٦۰۰ پایه در هکتار خواهد بود. متوسّط سطح مقطع درختان اندازه‌گیری شده ۰/۰۳٤ مترمربع و متوسّط حجم آن‌ها ۰/۲۰۸ مترمکعب محاسبه شد. بدین‌ترتیب سطح مقطع توده‌های کاج بین ۹/٤۵ تا ٥٤/٤ مترمربع در هکتار و حجم توده‌ها بین ٥۷/۸ تا ۳۳۲/۸ مترمکعب در هکتار خواهد بود. شکل ۱ نمودار فراوانی درختان در طبقات قطری پنج سانتی‌متری را نشان می‌دهد. با توجه به شکل نمودار می‌توان گفت توده نسبتاً همسال است. بیش‌ترین فراوانی درختان در طبقه قطری ۲۰ سانتی‌متر و کم‌ترین فراوانی در طبقات قطری ۵ و ٤۰ سانتی‌متر مشاهده شد. البته در مورد این که آیا کاشت‌ها به‌صورت همزمان انجام شده یا در طول سال‌های مختلف بوده و مواردی از این قبیل اطلاعاتی در دست نیست. در برخی قطعات ممکن است واکاری انجام شده و روش‌های متفاوت مراقبت و نگهداری اجرا شده باشد. در هر صورت شکل ۱ نمودار پراکنش درختان در طبقات قطری را در وضعیت فعلی نشان می‌دهد.



شکل ۱- نمودار فراوانی درختان در طبقات قطری پنج سانتی‌متری.

Figure 1. Histogram of trees in five centimeters diameter classes.

آماره‌های توصیفی متغیّرها در جدول ۱ دیده می‌شوند. همان‌گونه که مشخص است اشتباه نمونه‌برداری در مورد تمامی صفات کم‌تر از حد مجاز ۱۰ درصد بوده که بیانگر کافی بودن تعداد نمونه برداشت‌شده است. ضریب قدکشیدگی به‌طور متوسّط ۵۷/۲۹ درصد به‌دست آمده که نشان‌دهنده پایدار بودن درختان به‌صورت میانگین است. اما حداکثر آن نشان می‌دهد که درختان کاملاً ناپایدار نیز در توده وجود دارند.

جدول ۱- آماره‌های توصیفی متغیرهای اندازه‌گیری‌شده درختان نمونه.

Table 1. Descriptive statistics of the variables for sampled trees.

اشتباه نمونه‌برداری Sampling error (%)	انحراف معیار Standard deviation	میانگین Mean	بیشینه Maximum	کمینه Minimum	تعداد نمونه Sample size	صفت Variable
4.49	3.01	10.79	18.75	5.16	151	ارتفاع کل (متر) Total height (m)
5.25	6.48	19.84	41.4	5.73	151	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) Diameter at breast height (cm)
10.7	0.023	0.034	0.125	0.003	151	سطح مقطع (مترمربع) Basal area (m^2)
14.4	0.187	0.208	1.285	0.009	151	حجم (مترمکعب) Volume (m^3)
6.35	1.77	4.5	10.35	1.2	151	ارتفاع تنه (متر) Trunk height (m)
6.32	2.47	6.29	15.75	1.32	151	طول تاج (متر) Crown length (m)
3.61	0.129	0.577	0.869	0.244	151	نسبت تاج Crown ratio
4.48	15.98	57.29	126.9	25.36	151	ضریب قدکشیدگی (درصد) Slenderness coefficient (%)

با در نظر گرفتن طبقات پایداری بر اساس ضریب قدکشیدگی، فراوانی درختان در این طبقات محاسبه شد نتایج نشان داد که ۹۳/۳ درصد درختان در وضعیت پایدار قرار دارند. سهم درختان ناپایدار ۵/۳ درصد و درختان کاملاً ناپایدار ۱/۳ درصد بود. با در نظر گرفتن طبقات پایداری بر اساس نسبت تاج، نتایج نشان داد که ۳۷/۱ درصد درختان در وضعیت کاملاً پایدار و ۳۵/۸ درصد در وضعیت پایدار قرار دارند. سهم درختان ناپایدار ۲٤/۵ درصد و درختان کاملاً ناپایدار ۲/٦ درصد بود. نتایج پژوهش حسنی و سینکی (۲۰۱۱) نشان داد که گونه کاج الدار نسبت به گونه‌های سرو نقره‌ای، سرو زربین و نوش بیشترین توانایی را در مقابل تنش مکانیکی باد در مناطق خشک دارد و نسبت به گونه‌های نامبرده مقاوم‌تر و سازگارتر است (۱۳). در پژوهش پیش رو فاصله درختان کاج الدار از یکدیگر در قسمت‌های مختلف پارک بین ۲/۵ الی ٦ متر به دست آمد. در قسمت‌هایی که فاصله درختان کاشته شده کم‌تر بود (تعداد پایه‌های بیش‌تر)، درختان قدکشیده‌تر و باریک‌تر بودند. در پژوهش چرکزی و همکاران (۲۰۱٦) میانگین ضریب قدکشیدگی برای کاج بروسیا ۵۹/۸ و برای گونه زربین ٦۸/٤۰ به دست آمده و مشخص شد که پایداری کاج بروسیا بیش‌تر از گونه زربین بود (۷). در پژوهش عبدالله‌زاده (۲۰۰۲) در پارک جنگلی لویزان، میانگین ضریب قدکشیدگی برای کاج الدار ۳٦/۸ به دست آمد که نشان می‌دهد درختان کاج در پارک جنگلی سرخه‌حصار بیش‌تر در معرض استرس باد قرار دارند (۱).

متغیّر نسبت تاج یک متغیّر زیستگاهی بوده و مهم‌ترین ویژگی تاج در اغلب پژوهش‌ها می‌باشد. این صفت بیانگر قدرت و بنیه درخت است و برای توصیف اندازه تاج درختان به کار می‌رود (٤). در این پژوهش میانگین نسبت تاج درختان کاج الدار ۰/۵۷ به‌دست آمد که نشان می‌دهد به‌طور متوسّط بیش از نصف ارتفاع درختان به تاج اختصاص یافته است. طبق نظر پومرنینگ و گرابارنیک (۲۰۱۹) درختانی که نسبت تاج آن‌ها بیش از ۰/۵ باشد قدرت حیاتی (بنیه) زیاد خواهند داشت (۳۰). بررسی‌ها نشان داد که ۲۷/۱ درصد درختان کاج الدار در پارک جنگلی سرخه‌حصار ازنظر نسبت تاج در طبقه ناپایدار قرار دارند و بنیه آن‌ها متوسّط تا ضعیف است. پیشنهاد می‌شود برای درختانی که در وضعیت ناپایدار قرار دارند وضعیت سلامت بافت‌های درخت با دستگاه توموتری که مبتنی بر امواج صوتی است (۲۸) مورد ارزیابی و در صورت وجود پوسیدگی نسبت به اتخاذ تدابیر احتیاطی اقدام شود.

جدول ۲ نتایج آزمون t مستقل را برای مقایسه مشخصات درختان بین لکه‌های جنگلی و ردیف‌های درختی کنار خیابان نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشخص است اختلاف معنی‌داری بین لکه‌های جنگلی و ردیف‌های کنار خیابان ازنظر نسبت تاج، ارتفاع تنه و ضریب قدکشیدگی وجود دارد. درختان کاشته شده به‌صورت ردیفی به‌علت برخورداری از نور بیشتر و رقابت کم‌تر، نسبت تاج بیش‌تر و ضریب قدکشیدگی کم‌تری داشته و کم‌تر مستعد بادافتادگی هستند. البته باید توجه داشت که در کشت‌های لکه‌ای احتمال بادافتادگی بیش‌تر مربوط به درختان حاشیه لکه‌ها خواهد بود. در این بخش‌ها شکل لکه اهمیت زیادی در پیشگیری از بادافتادگی دارد. در این زمینه پژوهش‌های مکسل و همکاران (۲۰۱۰) نشان داده است که اگر لکه‌های درختی شکل بیضی داشته و محور بزرگ بیضی در جهت بادهای غالب منطقه باشد، خطر بادافتادگی کاهش خواهد یافت. هم‌چنین افزایش اندازه لکه‌ها، اثر مثبتی در کاهش خطر بادافتادگی دارد (۲۵).

جدول ۲- نتایج آزمون t مستقل برای مقایسه مشخصات درختان کنار جاده و درختان داخل لکه‌های جنگلی.

Table 2. Independent t-test results to compare the characteristics of roadside trees and trees within forest patches.

	نسبت تاج Crown ratio			ارتفاع تنه Trunk height			ضریب قد کشیدگی Slenderness coefficient		
	t	درجه آزادی d.f.	میانگین Mean	t	درجه آزادی d.f.	میانگین Mean	t	درجه آزادی d.f.	میانگین Mean
لکه‌های جنگلی Forest patches	-4.702**	149	54.6[b]	4.219**	149	4.8[a]	3.598**	149	59.7[a]
کنار جاده Roadside			64.7[a]			3.7[b]			51.6[b]

در خصوص صفت طول تاج با توجّه به نرمال نبودن توزیع داده‌ها از آزمون من-ویتنی برای مقایسه دو گروه استفاده شد. نتایج بیانگر اختلاف معنی‌دار بین آن‌ها بود (p-value = ۰/۰۱۸). درختان کنار جاده طول تاج بیش‌تری داشتند (جدول ۳).

جدول ۳- نتایج آزمون من-ویتنی برای مقایسه درختان کنار جاده و درختان داخل لکه‌های جنگلی ازنظر طول تاج.

Table 3. Man-Whitney test results for comparison of roadside trees and trees in forest patches in terms of crown length.

روش کاشت Planting method	آماره آزمون Z	تعداد n	میانگین Mean
لکه‌های جنگلی Forest patches	-2.375**	105	6.11[b]
کنار جاده Road side		46	6.71[a]

تحلیل رگرسیون نشان داد که مدل خطی در سطح یک درصد برازش معنی‌داری بر داده‌های قطر برابر سینه-ضریب قدکشیدگی دارد. مقدار NRMSE برای این مدل برابر با ۱۳ درصد بود که نشان‌دهنده یک مدل خوب از نظر صحت است. هم‌چنین مقدار ضریب تبیین برابر با ۰/۲۸ بود که نشان می‌دهد تنها ۲۸ درصد تغییرات این صفت تحت‌تأثیر قطر برابر سینه قرار دارند. در پژوهش‌های اخوان و نمیرانیان (۲۰۰۳) در بررسی ضریب قدکشیدگی در جنگل خیرود نشان داد که بین قطر برابرسینه و ضریب قدکشیدگی درختان یک رابطه کاهشی از نوع نمایی وجود دارد و رابطه معنی‌داری بین ضریب قدکشیدگی با تراکم توده وجود ندارد (۳). پژوهش‌های دیگر نیز نشان داده‌اند که بین ضریب قدکشیدگی درختان و میزان بادافتادگی ارتباط معنی‌داری وجود دارد (۱۲). بررسی‌های کائوچی و همکاران (۲۰۰۵) در مورد کاج *P. pinaster* (Ait) در غرب اروپا نشان داد که با افزایش تراکم، ضریب قد کشیدگی افزایش و حساسیت به باد افتادگی در درختان بیش‌تر می‌شود (۸).

مدل خطی در سطح یک درصد برازش معنی‌داری بر داده‌های قطر برابر سینه-نسبت تاج داشت. مقدار

NRMSE برای این مدل برابر با ۱۱/۷ درصد و مقدار ضریب تبیین برابر با ۰/۱۷ بود که نشان می‌دهد تنها ۱۷ درصد تغییرات این صفت تحت‌تأثیر قطر برابر سینه قرار دارند. درهرحال ارتفاع درختان نیز در تعیین این ضرایب نقش داشته که خود تحت‌تأثیر تراکم کاشت، آمیختگی، شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا و حاصلخیزی خاک قرار دارد. باید توجه داشت که نسبت تاج تحت‌تأثیر متغیّرهای دیگری مانند تراکم کاشت و آمیختگی که رژیم نوری را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و شرایط رقابتی داخل توده نیز قرار دارد. در پژوهش امیری و کیانی (۲۰۱۸) نیز قطر برابر سینه توانست تنها ۳۳ درصد از تغییرات نسبت تاج را برای درختان بنه پیش‌بینی کند و بیان نمود که این نسبت تحت‌تأثیر متغیّرهای متعدّدی قرار دارد (٤). نتایج پرچ و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی اندازه تاج و نیاز به فضا برای گونه‌ها در پارک‌های شهری جنوب آلمان نشان دادند که اندازه تاج درخت تأثیر مستقیمی بر روی رشد درخت و خطراتی که باد برای درخت دارد می‌گذارد به‌نحوی‌که، درختان با تاج‌های بزرگ در یک قطر مشخص دارای ارتفاع کم‌تر بوده و در برابر باد مقاوم‌تر هستند (۳۱).

جدول ٤- نتایج بررسی و مدل‌سازی رابطه قطر-ضریب قدکشیدگی با ۷۰ درصد داده‌ها.

Table 4. Results of investigating and modeling of the diameter-slenderness index relation with 70% of the data.

متغیر وابسته Dependent variable	اجزای مدل Model components	ضرایب مدل Model parameters		t	P-value
		B	اشتباه معیار Standard error		
ضریب قدکشیدگی Slenderness coefficient	مقدار ثابت Constant	83.266	4.093	20.342	0.000
	قطر برابر سینه (متر) Diameter at breast height (m)	-129.086	19.770	-6.529	0.000
نسبت تاج Crown ratio	مقدار ثابت Constant	41.005	3.108	13.193	0.000
	قطر برابر سینه (متر) Diameter at breast height (m)	84.164	14.895	5.651	0.000

نتایج اعتبارسنجی مدل نشان داد که اختلاف معنی‌داری ازنظر مقدار ثابت و نیز شیب خط بین دو مدل برازش شده بر داده‌های آزمون و داده‌های اعتبارسنجی وجود ندارد (جدول‌های ۵ و ٦). بیش‌تر بودن مقادیر p-value از ۰/۰۵ در مواردی که پررنگ شده، نشان‌دهنده عدم تفاوت معنی‌دار بین دو مدل برازش شده و اعتبارسنجی از نظر مقدار ثابت و شیب خط است. مقدار ضریب تبیین برای رابطه دو مدل برای ضریب قدکشیدگی و نسبت تاج به‌ترتیب ۰/۷۳ و ۰/٦۷ به‌دست آمد.

جدول ۵- نتایج اعتبارسنجی مدل با ۳۰ درصد داده‌ها برای پیش‌بینی ضریب قدکشیدگی.

Table 5. Model validation results with 30% of the data for predicting slenderness coefficient.

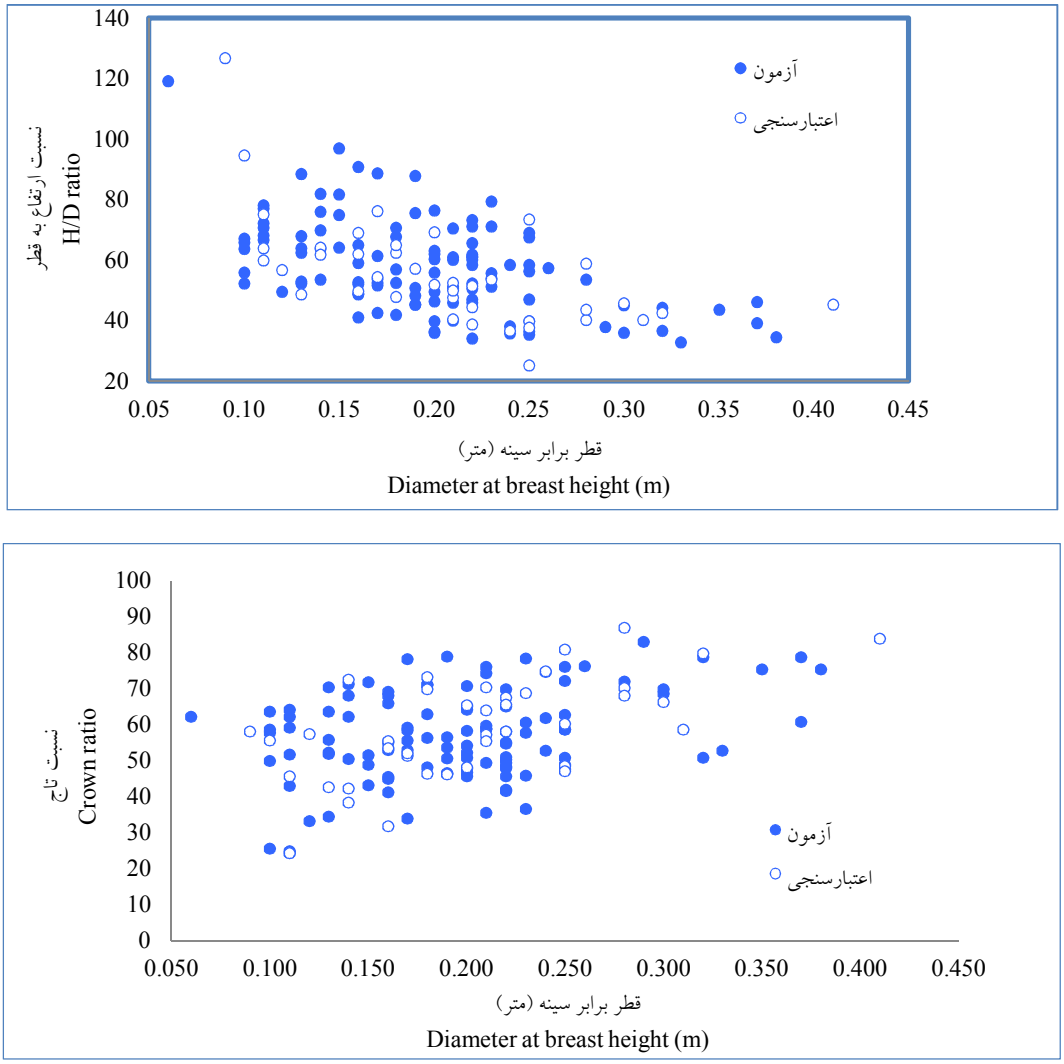
P-value	F	میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی d.f.	منابع تغییرات Sources of variations
0.000	1783.7	295556.77	1	مقدار ثابت Constant
0.000	2.416	400.30	64	قطر برابر سینه Diameter at breast height
0.605	0.271	44.83	1	گروه group
0.802	0.725	120.19	23	قطر برابر سینه × گروه Diameter at breast height × group
		165.69	62	خطا error

جدول ٦- نتایج اعتبارسنجی مدل با ۳۰ درصد داده‌ها برای پیش‌بینی نسبت تاج.

Table 6. Model validation results with 30% of the data for predicting crown ratio.

P-value	F	میانگین مربعات Mean squares	درجه آزادی d.f.	منابع تغییرات Sources of variations
0.000	2457.85	332396.58	1	مقدار ثابت Constant
0.047	1.530	206.88	64	قطر برابر سینه Diameter at breast height
0.967	0.002	0.22	1	گروه group
0.316	1.157	156.52	23	قطر برابر سینه × گروه Diameter at breast height × group
		135.23	62	خطا error

شکل ۲ نمودار پراکنش رابطه دو متغیّر قطر برابر سینه-ضریب قدکشیدگی را برای دو سری داده‌های آزمون و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص می‌شود که داده‌های اعتبارسنجی در محدوده داده‌های آزمون قرار داشته و تغییرات آن‌ها متناسب با تغییرات یکدیگر است.



شکل ۲- بررسی انطباق دو مجموعه داده آزمون و اعتبارسنجی به‌منظور پیش‌بینی ضریب قدکشیدگی (بالا) و نسبت تاج (پایین).

Figure 2. Investigating the conformity of the two sets of test and validation data in order to predict the slenderness coefficient (top) and the crown ratio (bottom).

در پژوهش گلپور (۲۰۱۷) به بررسی برخی عوامل اکولوژیک مؤثر در بادافتادگی و ریشه‌کن شدن درختان در حوزه غرب هراز پرداخته شد. نتایج نشان داد که بادافتادگی، بیش‌تر در گونه‌های دارای ریشه کم‌عمق و در خاک‌های کم‌عمق با زهکشی پایینی اتفاق می‌افتد (۱۲). بر این اساس با رعایت ارتفاع هرس مناسب و در دسترس قرار دادن فضای کافی برای رشد ریشه و تاج، امکان بادافتادگی در مورد آن‌ها به حداقل می‌رسد که در مدیریت پارک لازم است این موارد مورد توجه قرار گیرند.

نتیجه‌گیری کلی

به‌طورکلی نتایج این پژوهش نشان داد که درختان کاج الدار پارک جنگلی سرخه‌حصار به لحاظ مقاومت به بادافتادگی، پایداری مناسبی داشته و توانایی خوبی برای مقابله با بادافتادگی دارند. البته تعداد کمی از درختان با توجّه به کوتاهی نسبت تاج و کم بودن نسبت ارتفاع به قطر، مستعد بادافتادگی بوده و بهتر است مورد بررسی بیومکانیکی قرار گیرند تا حداکثر سرعت باد قابل‌تحمل توسط آن‌ها مشخص و اقدامات احتیاطی موردنیاز مشخص شوند. هم‌چنین این

پژوهش نشان داد که متغیر قطر برابر سینه در جنگل‌کاری‌های متنوع انجام شده ازنظر تراکم، به‌تنهایی برای پیش‌بینی ضریب قدکشیدگی و نسبت تاج کافی نیست و علاوه بر آن لازم است اندازه‌گیری ارتفاع کل و ارتفاع تاج به‌منظور تعیین ضریب قدکشیدگی و نسبت تاج انجام شود. با توجه به تجربیات به‌دست آمده در سایر کشورها، پیشنهاد می‌شود شکل لکه‌های درختی در پارک‌های جنگلی به‌صورت قطره اشکی که رأس آن به سمت بادهای غالب منطقه باشد در نظر گرفته شود تا خطر بادافتادگی در مکان‌های پرتردد به حداقل برسد. هم‌چنین بهتر است در کاشت‌های آتی یا واکاری‌ها، فواصل کاشت از ابتدا بیش‌تر در نظر گرفته شده یا به مرور تنک کردن برای ایجاد فرم پایدار در درختان مدنظر قرار گیرد.

منابع

1. Abdollahzadeh, B. 2002. Quantitative and qualitative study of *Pinus eldarica* Medw. in Lavizan Park. Master Thesis, Faculty of Natural resources, Tarbiat Modares University, Iran, 82p. (In Persian)
2. Adeyemi, A.A., Jimoh, S.O., and Adesoye, P.O. 2013. Crown ratio models for tropical rainforests species in Oban division of the cross river national park, Nigeria. J. of Agriculture and Social Research. 13: 1. 63-76.
3. Akhavan, R., and Namiranian, M. 2007. Slenderness coefficient of five major tree species in the Hyrcanian forests of Iran. Iranian, J. of Forest and Poplar Research. 15: 2. 165-180. (In Persian)
4. Amiri, A., and Kiani, B. 2018. Measuring the crown ratio of wild pistachico in the Iran-Turanian Mountain forests. International Conference on Society and Environment. University of Tehran, 8p. (In Persian)
5. Bagheri, R. 2010. Investigation on relationship between wind-throw trees and topography characteristics and stand structure in compartment two of Shastkalateh forest. Gorgan, M.Sc. Thesis, Faculty of Forestry, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Iran. 82p. (In Persian)
6. Bozorgi, K., and Sheykholeslami, A. 2016. Survey Slenderness Coefificient of Beech Mixed Trees in Hajikola Tirankoli Area-Sari. J. of Renewable Natural Resources Research. 7: 1 .1-10.
7. Charkazi, A., Amiri, M., Ravanbakhsh, H., and Moghadasi, D. 2016. Examination of Quantitative and Qualitative Characterictics of *Cupressus Sempervirens* Var. Horizontalis and *Pinus Brutia* in Plantation Forests in the Ramian, Golestan Province. J. of wood and Forest Science and Technology. 23: 4. 1-20. (In Persian)
8. Cucchi, V., Meredieo C., Stokes, A., Coligny, F.D. Suarez, J., and Gardiner, B.A. 2005. Modelling the windthrow risk for simulated forest stands of Maritime pine (*Pinus pinaster* Ait). Forest Ecology and Management. 213: 1-3. 184-196.
9. Eshaghi Rad, J., Ghaffarnejad, P., and Banedg Shafiee, A. 2014. Quantitative evaluation of *Pinus nigra* plantation and its effect on plant diversity and soil chemical properties of rangeland ecosystems (Case study: Urmia airport plantation). Iranian, J. of Forest. 6: 4. 471-482. (In Persian)
10. Farrokhzadeh, N., Ravanbakhsh, H., Moshki, A., and Mollashahi, M. 2018. The natural regeneration establishment and diversity of different 50-year-old plantation types in Sorkhe-Hesar Forest Park. J. of Forest Research and Development. 4: 1. 43-57. (In Persian)
11. Feghahati, R., and Alvani Nejad, S. 2013. Stability determination of less disturbed forests of Persian oak by trunk coefficient and canopy indices. In: Proceedings of the 1st International Conference of IALE-Iran, Isfahan University of Technology, Iran. 7p. (In Persian)

12. Golpoor, A. 2017. Surveying of some effective ecological factors in windthrow of forest trees (Case study: Chamestan forest- 12 series, forestry plan of west of Haraz). M.Sc. Thesis, Faculty of Desert Studies, Semnan University, Iran. 94p. (In Persian)
13. Hasani, N., and Sinaki, M. 2011. Ability of different tree species in the reduction of mechanical stress of wind in the arid regions, J. of Agronomy Sciences. 6: 4. 65-77. (In Persian)
14. JWWR (Jihad of Water and Watershed Researches), 2007. Master plan of development and improvement of Sorkheh-Hesar forest park: Vegetation report. 159p. (In Persian)
15. Kamimura, K., Saito, S., Kinoshita, H., Kitagawa, K., Uchida, T., and Mizunaga, H. 2013. Analysis of wind damage caused by multiple tropical storm events in Japanese *Cryptomeria japonica* forests, An International J. of Forest Research. 86: 4. 411-420.
16. Kiani, G., Jalilvand, H., and Pourmajidian, M.R. 2013. Diameter increment of Maple tree (*Acer velutinum* Boiss) in plantations in Mazandaran (Case study: Pahnekola Region). Iranian, J. of Forest Ecology. 1: 2. 86-94. (In Persian)
17. Kiani, B., and Nadi, H. 2016. Comparative investigation of Oriental Plane and White Poplar plantations near Zayanderud dam, Isfahan. Iranian J. of Forest Ecology. 4: 7. 9-17. (In Persian)
18. Luis, N., Jose, T., and Margarida, T. 2010. Stability of pure even-aged conifer stands in Portugal, in IUFRO conference, Mixed and Pure Forests in a Changing World. 6-8 October, Vila Real, Portugal.
19. Lopes, A., Oliveira, S., Fragoso, M., Andrade, J.A., and Pedro, P. 2009. Wind risk assessment in urban environments: The case of falling trees during windstorm events in Lisbon, In: Střelcová K. et al. (eds) Bioclimatology and Natural Hazards. Springer, Dordrecht. pp. 55-74.
20. Mohammadi, J., Shataee, Sh., and Namiranian, M. 2014. Comparison of quantitative and qualitative characteristics of forests structure and composition in natural and managed forest stands (Case study: Shast Kalate forests of Gorgan), J. of Wood and Forest Science and Technology. 21: 1. 65-83. (In Persian)
21. Mahmoudian, M. 2005. Successful consideration of Afghan pine (*Pinus eldarica*) in Ghochak Forest Park, Tehran. M.Sc. Thesis, Natural resources faculty, Mazandaran University, Iran. 94p. (In Persian)
22. Marvie Mohajer, M.R. 2013. Silviculture (4th Edition). Tehran Univ. Press, 386p. (In Persian)
23. Mataji, A. 1999. Investigation of the Distribution of Number in elevated classes in Natural forests (Grazbon section of Nowshahr kheyroudkenar forest). Master Thesis, Faculty of Natural resources, University of Tehran, Iran. 90p. (In Persian)
24. Mataji, A., Akhavan, R., and Aghakhani, S. 2007. Evalution of afforestation success by broad leaf species in Arak city. Iranian, J. of Forest and Poplar Research. 14: 4. 338-359. (In Persian)
25. Maxwell, S., Green, D.S., and Zhang, W. 2010. Identifying the determinants of windthrow damage in wildlife tree patches in the Boreal White and Black Spruce biogeoclimatic zone of northeastern British Columbia, J. of Ecosystems and Management. 10: 3. 1-8.
26. Mossadegh, A. 2010. Afforestation and Forest Nursery (4th Edition). Tehran University Press, 516p. (In Persian)
27. Munishi, P.K.T., and Chamshama, S.A.O. 1994. A study of wind damage on *Pinus patula* stands in Southern Tanzania. J. of Forest Ecology and Management. 63: 1. 13-21.
28. Ostrovsky, A., Kobza, M., and Gazo, J. 2017. Extensively damaged trees tested with acoustic tomography considering tree stability in urban greenery, Trees. 31. 1015-1023.
29. Pommerening, A. 2007. Basic tree variables, forestry summary characteristics and biodiversity measures. Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Umea, 34p.

30. Pommerening, A., and Grabarnik, P. 2019. Individual based methods in forest ecology and management, Springer, 411p.
31. Pretzsch, H., Bibera, P., Uhla, E., Dahlhausen, J., Rotzera, Th., Caldenteyb, J., Koike, T., Van Cono, T., Chavanne, A., Seifert, T., Toit, B.D., Farnden, C., and Pauleith, S. 2015. Crown size and growing space requirement of common tree species in urban centers, parks, and forests, Urban Forestry and Urban Greening. 14: 466-479.
32. Rad, M.H., Keneshloo, H., and Soltani, M. 2018. The effects of wastewater irrigation on vegetative performance of various woody species under arid condition (Case study: Yazd city). Iranian, J. of Forest and Poplar Research. 26: 2. 240-251. (In Persian)
33. Rudnicki, M., Silinus, U., and Lieffers, V.J. 2004. Crown cover is correlated with relative density, tree slenderness and tree height in lodgepole pine. J. of Forest science. 50: 3. 356-363.
34. Sabeti, H. 2008. Forests, Trees and Shrubs of Iran (5th Edition), Yazd Univ. Press, 876p. (In Persian)
35. Sasanifar, S., Alijanpour, A., Banj Shafiei, A., Eshaghi Rad, J., and Molaei, M. 2017. Investigation of Height Parameters and slender coefficient of Trees in Two Protected and Non-Protected Areas of Arasbaran Forests. International Conference on Natural Resources in Developing Countries, Faculty of Natural Recourses, University of Tehran, Iran. 10p. (In Persian)
36. Schindler, D., and Kolbe, S. 2020. Assessment of the Response of a Scots Pine Tree to Effective Wind Loading, Environmental Meteorology, 11: 2. 145.
37. Shayanmehr, F., Jalali, Gh.A., Ghanati, F., and Katoolinejad, D. 2009. The study of conical and ball-shaped pines, two probable mutant forms of *Pinus eldarica*: comparison of needle anatomy structure. Iranian J. of Forest. 1: 2. 151-161. (In Persian)

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
J. of Wood & Forest Science and Technology, Vol. 28 (1), 2021
http://jwfst.gau.ac.ir
DOI: 10.22069/jwfst.2021.18927.1920

Assessing the risk of windthrow for Eldar pine trees in Sorkhe-Hesar forest park

B. Kiani*[1] and R. Madadi[2]
[1]Associate Prof., Faculty of Natural Resources and Desert Studies, Dept. of Environmental Science, Yazd University, Yazd, Iran,
[2] M.Sc. Graduate of Forestry, Dept. of Environmental Science, Yazd University, Yazd, Iran
Received: 03.04.2021; Accepted: 04.03.2021

Abstract
Background and Objectives: Study of slenderness coefficient and crown ratio of trees in forest parks to determine the stability of the stands against the wind is one of the important issues in the park management. The most important reason is the intensive presence of people and vehicles in these areas, which can cause irreparable damage if trees fall. Therefore, this study was conducted to investigate the sensitivity of Elder pine trees in different parts of Sorkheh Hesar Forest Park to wind throw. Attempts have also been made to evaluate the suitability of diameter at breast height, as a variable that is simple and inexpensive to measure, to predict the crown ratio and slenderness coefficient as two important indicators for determining the susceptibility of trees to wind throw.

Materials and Methods: After a field survey, 14 patches were selected for sampling so that sampling sites were well distributed throughout the park. A total of 151 trees were randomly selected and their diameter at breast height, total height, trunk height, slenderness index and canopy ratio were calculated. Independent t-test was used to examine differences between tree lines and patches. Regression analysis was also performed to model the relationship between diameter-slenderness index as well as diameter-crown ratio.

Results: Based on the results, the average basal area of the measured trees was 0.034 m^2 and their average volume was 0.208 m^3. Considering the variety of planting spaces, basal area and volume of pine stands were calculated 9.45-54.4 m^2. ha^{-1}, and 57.8-332.8 m^3 ha^{-1}, respectively. The results showed that the average slenderness index was 57.29% and that 0.7% of the trees were in unstable conditions. The average crown ratio was 0.557 and based on this index, 2.6% of trees were unstable. There was a significant difference between the forest patches and the tree lines along the streets in terms of crown length, canopy ratio, trunk height, and slenderness index. The linear model had a significant fitting to the data of diameter-slenderness index as well as diameter-crown ratio, with error percentage of 13 and 11.7% and coefficient of determination of 0.28 and 0.17, respectively.

Conclusion: In general, pine trees in Sorkheh Hesar National Park are in a stable condition and a small percentage of them need biomechanical study of wood tissues in order to determine the maximum tolerable wind speed and take precautions such as pruning. Also, diameter at the breast height in various plantings in terms of density, alone is not enough to predict the slenderness coefficient and the crown ratio of the trees. It is necessary to measure the total height and crown height of the trees to determine the slenderness coefficient and crown ratio. Due to the effect of the area and shape of tree patches in the incidence and severity of wind throw, it is necessary to consider the shape of the spots as a teardrop that is directed towards the prevailing winds in the region to minimize the risk of falling in busy places.

Keywords: Crown ratio, Park management, Slenderness coefficient, Stability, Tree plantation

*Corresponding author: bnkiani@yazd.ac.ir