Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Journal of Wood and Forest Science and Technology

Print ISSN: 2322-2077
Online ISSN: 2322-2786

Evaluation of the inter-species competition in pure stand plantations using competition index

Tooba Abedi[1], Roya Abedi[*2]

1. Assistant Prof., Environmental Research Institute, Academic Center for Education, Culture and Research, Rasht, Iran. E-mail: t.abedi@aceecr.ac.ir
2. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Forestry, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Iran. E-mail: royaabedi@tabrizu.ac.ir

Article Info

Article type:
Full Length Research Paper

Article history:
Received: 04.24.2023
Revised: 08.06.2023
Accepted: 08.11.2023

Keywords:
Distance competition index,
Distance-independent competition index,
Plantation,
Poplar

ABSTRACT

Background and Objectives: Numerous models, ranging from simple to multidimensional, have been developed to estimate tree competition within forest stands. These models serve to measure and illustrate the interactions between trees, intending to evaluate the intensity of competition based on these interactions. Typically, these indices rely on the morphological characteristics of trees or the distance between neighboring trees. The assessment of individual tree competition, through the use of competition indices, is based on mathematical techniques that quantify the level of competition experienced by a tree from its neighboring trees. This outcome is commonly interpreted as the detrimental impact of neighboring trees on the growth of individual trees, as they compete for limited resources.

Materials and Methods: Distance-independent competition indices are commonly employed to assess the competitiveness of tree species by utilizing tree size ratios, such as dbh, height, basal area, or canopy cover. In contrast, distance-dependent indices take into account the dimensions of neighboring trees and their spatial proximity. To calculate the competitive indices, namely the distance-independent competition index (IDI), distance-dependent competition index by diameter (DDI_{dbh}), and distance-dependent competition index by height (DDI_{h}), measurements of diameter and total height were conducted for all trees within sample plots covering a one-hectare area. This investigation was carried out in four stands of poplar plantations located in Gilan province. The distance between the trees was also measured. Subsequently, to determine the wood density and incorporate its value into the distance-independent competition index, 15 trees from various diameter classes were randomly selected within each plot and felled for wood density analysis. The density calculation process was then conducted.

Results: The obtained results indicated significant competitive conditions in both types of indices across all stands. In terms of the distance-independent index, all stands exhibited a significant difference ($P \geq 0.05$). However, when comparing the distance-dependent index for tree diameter, stand 3 displayed a significant difference compared to the other stands. Additionally, stands 1, 3, and 4 also exhibited significant differences ($P \geq 0.05$). Furthermore, the comparison of the distance competition index for tree height revealed no difference between stands 1 and 2, but a significant difference was observed between stands 3 and 4 ($P \geq 0.05$).

Conclusion: The calculating of various competition indices holds value in silvicultural programs such as thinning. Such studies yield a clear comprehension of the spatial structure of trees.

Cite this article: Abedi, Tooba, Abedi, Roya. 2023. Evaluation of the inter-species competition in pure stand plantations using competition index. *Journal of Wood and Forest Science and Technology*, 30 (3), 27-44.

© The Author(s).
DOI: 10.22069/JWFST.2023.21289.2017
Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل

شاپا چاپی: ۲۳۲۲-۲۰۷۷
شاپا آنلاین: ۲۳۲۲-۲۷۸۶

بررسی رقابت درون‌گونه‌ای در توده خالص دست‌کاشت با استفاده از شاخص‌های رقابت

طوبی عابدی[۱]، رؤیا عابدی*[۲]

۱. استادیار پژوهشکده محیط زیست، جهاد دانشگاهی، رشت، ایران. رایانامه: t.abedi@aceecr.ac.ir

۲. نویسنده مسئول، دانشیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، ایران. رایانامه: royaabedi@tabrizu.ac.ir

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله کامل علمی- پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۰۴
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۲/۰۵/۱۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۰

واژه‌های کلیدی:
جنگل‌کاری،
شاخص رقابت فاصله‌ای،
شاخص رقابت مستقل از فاصله،
صنوبر

چکیده

سابقه و هدف: به‌منظور تخمین رقابت درختان مدل‌های رقابتی زیادی از ساده تا چندبعدی توسعه یافته‌اند که در همه آن‌ها شاخص رقابت به‌عنوان معیاری برای نمایش تعامل بین درختان است و هدف این شاخص‌ها ارزیابی تنش رقابتی با توجه به تعاملات بین درختان است. این شاخص‌ها عموماً بر اساس ویژگی‌های مورفولوژیک درختان ساخته شده‌اند و یا تابعی از فاصله تا نزدیک‌ترین درختان همسایه هستند. روشن شدن رقابت فردی درختان، با استفاده از شاخص‌های رقابت مبتنی بر تکنیک‌های ریاضی است که نشان‌دهنده درجه‌ای از رقابت است که درخت از همسایگان تأثیر می‌پذیرد و اغلب این نتیجه متصور است که اثرات همسایگی بر رشد درختان به دلیل محدود شدن دسترسی به منابع، در درجه اول منفی است. ازاین‌رو هدف پژوهش حاضر بررسی رقابت درون‌گونه‌ای در توده خالص دست کاشت با استفاده از برخی از شاخص‌های رقابت است.

مواد و روش‌ها: شاخص‌های رقابت مستقل از فاصله معمولاً به‌عنوان نسبت اندازه درختان مدنظر است (مانند قطر در ارتفاع برابر سینه، ارتفاع، سطح مقطع یا تاج پوشش) تا رقابت‌پذیری آن‌گونه را نشان دهند. در شاخص‌های وابسته به فاصله نیز از ابعاد درختان همسایه و فاصله آن‌ها از یکدیگر استفاده می‌شود. به‌منظور محاسبه شاخص‌های رقابتی شامل شاخص رقابت مستقل از فاصله (IDI)، شاخص رقابت وابسته به فاصله بر حسب قطر (DDI_{dbh}) و شاخص رقابت وابسته به فاصله بر حسب ارتفاع (DDI_h) پارامترهای قطر برابر سینه و ارتفاع کل تمام درختان به‌صورت آماربرداری صد درصد در داخل قطعات نمونه به مساحت یک هکتار در چهار توده از جنگل دست کاشت گونه صنوبر در استان گیلان انجام شد. هم‌چنین فاصله درختان نیز اندازه‌گیری شد. سپس به‌منظور بررسی چگالی چوب و استفاده از مقدار آن در شاخص رقابت مستقل از فاصله، در هر قطعه‌نمونه ۱۵ درخت به‌صورت تصادفی و دارای

پراکنش مناسب در طبقات قطری مختلف انتخاب و برای انجام آنالیز چگالی چوب قطع شدند و فرآیند محاسبه چگالی انجام شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که توده‌ها از نظر هر دو نوع شاخص دارای شرایط رقابتی معنی‌داری نسبت به یکدیگر بودند. از نظر شاخص رقابتی مستقل از فاصله همه توده‌ها دارای اختلاف معنی‌داری بودند (P≤۰/۰۵)؛ اما نتیجه مقایسه شاخص رقابت وابسته به فاصله برای قطر درختان نشان داد که توده ۳ دارای اختلاف معنی‌داری با سایر توده‌ها است و توده‌های ۱، ۳ و ٤ نیز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند (P≤۰/۰۵). مقایسه شاخص رقابت فاصله‌ای برای ارتفاع درختان نیز نشان داد که توده‌های ۱ و ۲ بدون اختلاف بوده اما با توده‌های ۳ و ٤ اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (P≤۰/۰۵).

نتیجه‌گیری: محاسبه انواع شاخص‌های رقابت می‌تواند در برنامه‌های پرورشی مانند تنک کردن توده‌های دست کاشت بسیار کاربردی باشد. نتایج چنین مطالعاتی می‌تواند درک روشن‌تری از ساختار مکانی و فضایی درختان در اختیار قرار دهد.

استناد: عابدی، طوبی، عابدی، رؤیا (۱۴۰۲). بررسی رقابت درون‌گونه‌ای در توده خالص دست‌کاشت با استفاده از شاخص‌های رقابت. *نشریه پژوهش‌های علوم و فناوری چوب و جنگل*، ۳۰ (۳)، ۴۴-۲۷.
DOI: 10.22069/JWFST.2023.21289.2017

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
© نویسندگان.

مقدمه

یکی از عواملی که به‌طور ذاتی در رویشگاه‌های جنگلی وجود دارد و مربوط به توده بوده و با رشد و نمو و مرگ درختان ارتباط تنگاتنگی دارد، رقابت است. برخی پژوهش‌گران رقابت را جزء عوامل مستعدکننده مرگ‌ومیر درختان معرفی کرده‌اند (۱). رقابت به مفهوم ارتباط درختان در یک فضای رویشی مشترک با هدف افزایش موفقیت در کسب منابع محدود مانند نور، آب و مواد مغذی از طریق رشد و نمو آنها است. رقابت بین درختان یک فرآیند بوم‌شناختی است که تأثیر مهمی بر پویایی جمعیت، بقا، رشد، جایگزینی گونه‌ها، ساختار و ترکیب جوامع درختی دارد. اگرچه که عوامل مختلفی بر رویش درختان تأثیرگذار است اما رقابت بین درختان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و تنها عاملی است که می‌تواند از طریق عملیات جنگل‌شناسی مدیریت شود (۲).

رقابت به‌عنوان عاملی مؤثر بر رشد درختان، ساختار و پویایی توده، از مرحله نونهالی شروع و تا مرگ درختان ادامه دارد و در اثر عوامل مختلفی شامل عوامل محیطی دچار تغییر می‌شود. رقابت به‌عنوان انرژی بیولوژیک بوده که مدل‌های پویایی جنگل را به حرکت درمی‌آورد و بین پایه‌ها به‌صورت درون‌گونه‌ای و بین‌گونه‌ای اتفاق می‌افتد که وابسته به گونه، ارتفاع، قطر، تاج یا فاصله درختان از یکدیگر است (۳). رقابت عاملی کلیدی است که تحت‌تأثیر نور، خاک، آب و مواد مغذی، پویایی جنگل و ساختار توده را در طول توسعه توده هدایت می‌کند (٤) رقابت بین درختان یک فرایند تعاملی اولیه و اساسی در جوامع گیاهی است و مبنای تنک شدن طبیعی، شدت رقابت گیاهی است که با شاخص رقابت اندازه‌گیری می‌شود و همان‌طور که گفته شد در دو دسته شاخص‌های مستقل از فاصله و وابسته به فاصله طبقه‌بندی می‌شود (۳). رقابت زمانی اتفاق می‌افتد که دو یا چند درخت تلاش می‌کنند تا یک منبع مشترک نور، آب و مواد غذایی را جذب کنند. این فرایند توده‌های خالص یا آمیخته درختان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. تهی شدن یک اکوسیستم از این منابع پیامدهای زیادی را برای اکوسیستم و حتی مدیریت جنگل دارد؛ بنابراین عقیده بر این است که فرایند رقابت بین درختان باعث کاهش رشد و افزایش میزان مرگ‌ومیر آن‌ها می‌شود. رقابت زمانی که یک هدف مدیریتی شامل پویایی اکوسیستم‌های طبیعی مدنظر باشد، بسیار مهم است (۳). ازآن‌جاکه اندازه‌گیری رقابت درختان از طریق شاخص‌های عددی مقدور است، استفاده از این شاخص‌ها به‌عنوان موضوعی مهم در بوم‌شناسی جنگل مطرح شده است (۲). اغلب شاخص‌های رقابتی در پژوهش‌های مختلف را می‌توان به دو گروه عمده تقسیم کرد که شامل شاخص‌های مستقل از فاصله و شاخص‌های وابسته به فاصله (به‌صورت موقعیت درختان نسبت به درختان همسایه) اندازه‌گیری می‌شوند؛ بنابراین یکی از تکنیک‌های مورد استفاده در ارزیابی رقابت درختان جنگل، استفاده از این شاخص‌های رقابتی است. شاخص‌های رقابت از نظر مفهومی به دلیل معیارهایی که برای بیان روابط بین درختان استفاده می‌شود، متفاوت هستند و در مطالعات انجام‌شده انواع شاخص‌های وابسته به فاصله (Distance dependent index)، مستقل از فاصله (Independent distance index) و نیمه وابسته به فاصله (Semi-dependent index) مطرح بوده‌اند (۵، ٦).

استفاده از شاخص‌های رقابت به بخش مهمی از مدیریت جنگل در جهان تبدیل شده است. رقابت درون‌گونه‌ای درختان برودار در لرستان نشان داد که بین شاخص رقابت و قطر تاج درختان توده همبستگی معنی‌داری وجود داشت، اما قطر و ارتفاع و زی‌توده

ریشه درختان همبستگی معنی‌داری نداشتند و هم‌چنین در ارتباط با عامل توپوگرافی، ارتفاع از سطح دریا بر این شاخص در توده‌های مورد مطالعه اثر معنی‌داری نداشت (۲). بررسی رقابت گونه‌های درختی در توده‌های سالم و تحت زوال نشان داده است که میزان رقابت درختان توده در پیرامون درختان خشکیده بیش‌تر از درختان سالم بود و میزان رقابت درختی با انبوهی و تراکم توده ارتباط مستقیمی داشت (۱). تغییرات محاسبه شاخص رقابت وابسته به فاصله در جنگل راش شرقی در استان مازندران با هدف بررسی چگونگی پاسخ پایه‌ها به تعاملات رقابتی در توده و ارزیابی روند تغییرات شاخص‌های رقابت در اثر اقدامات مدیریتی شامل نشانه‌گذاری در جنگل راش خالص، نشان داد که پس از نشانه‌گذاری در توده در مقدار شاخص‌های رقابتی تغییر معنی‌داری ایجاد نشده است؛ بنابراین نشانه‌گذاری، غیرهدفمند ارزیابی شد (۷). از شاخص‌های رقابت فاصله‌ای با هدف تحلیل چگونگی قابلیت این شاخص‌ها برای محاسبه تأثیر مقدار فضای نسبی بین درختان بر عملکرد تولیدی آن‌ها در برهمکنش‌های رقابتی بین سه گونه *Picea abies*، *Pinus sylvestris*، *Betula pubescens* و *Populus tremula* در جنگل‌های بورآل روسیه نیز استفاده شده است (۸). نتایج کمی‌سازی شاخص رقابت درختان در جنگل‌کاری *Cunninhamia lanceolata* در چین نشان داد که ارتباط شاخص رقابت با قطر درختان به‌صورت همبستگی منفی بود و با افزایش قطر از شدت رقابت بین درختان کاسته شد و این مطالعه با هدف درک روشن‌تری از ساختار فضایی جنگل‌ها و به‌منظور کمک به فرآیند انتخاب درختان در عملیات تنک کردن انجام شد (۳). ارزیابی رقابت درختان در توده‌های خزان‌کننده با استفاده از شاخص‌های غیروابسته به فاصله و شاخص‌های رقابتی فاصله‌ای نشان داده است که رقابت در درختان جنگل نمی‌تواند تنها به‌وسیله اجتماع درختان و همسایه‌هایش و به‌صورت فاصله‌ای تعیین کرد و این یک فرایند چندجانبه است (۵). ارزیابی شاخص‌های رقابت مستقل و وابسته به فاصله برای پیش‌بینی افزایش سطح مقطع درختان در توده‌هایی از گونه‌های *Pseudotsuga menziesii*، *Pinus ponderosa* و *Larix occidentalis* در جنگل‌های مونتانا در ایالات‌متحده امریکا نشان داد که بهترین شاخص‌های رقابت وابسته به فاصله، بخش بهتری از تغییرات رشد را نسبت به شاخص‌های مستقل از فاصله نشان دادند (۹). هم‌چنین بررسی اندازه رقابت با استفاده از ابعاد درختان در قالب شاخص‌های تمایز قطری و ارتفاعی و شاخص فاصله همسایگی نمایانگر فشار رقابتی درختان در توده‌های دست کاشت آمیخته ۲۵ ساله در پارک صائب تبریزی در شهر تبریز انجام شد (۱۰).

پویایی ساختار توده‌های جنگلی معمولاً پیچیده است و توسط عوامل خارجی (ازجمله مدیریت توده) و عامل داخلی (از جمله رویش درختان، بازسازی رقابت و مرگ‌ومیر طبیعی) هدایت می‌شوند؛ بنابراین در هم کنش‌ها منجر به الگوی پیچیده‌ای از تعاملات در جنگل‌ها می‌شوند که بر پایداری و کارایی استفاده از منابع اثر می‌گذارند. به‌منظور تخمین رقابت درختان مدل‌های رقابتی زیادی از ساده تا چندبعدی توسعه یافته‌اند که در همه آن‌ها شاخص رقابت به‌عنوان معیاری برای نمایش تعامل بین درختان است. هدف این شاخص‌ها ارزیابی تنش رقابتی با توجه به تعاملات بین درختان است. این شاخص‌ها عموماً براساس ویژگی‌های مورفولوژیک درختان ساخته می‌شوند و یا تابعی از فاصله تا نزدیک‌ترین درختان همسایه و ویژگی‌های آن‌ها هستند (۶، ۱۱). روشن شدن رقابت فردی درختان، با استفاده از شاخص‌های رقابت مبتنی بر تکنیک‌های ریاضی است که

نشان‌دهنده درجه‌ای از رقابت است که درخت از همسایگان تأثیر می‌پذیرد و اغلب این نتیجه متصور است که اثرات همسایگی بر رشد درختان در درجه اول منفی است و به دلیل محدود کردن منابع اتفاق می‌افتد. شاخص‌های رقابت مستقل از فاصله معمولاً به‌عنوان نسبت اندازه درختان مدنظر است (مانند dbh، ارتفاع، سطح مقطع یا تاج پوشش) تا رقابت‌پذیری آن‌گونه را نشان دهند. در شاخص‌های وابسته به فاصله نیز از ابعاد درختان همسایه و فاصله درختان از یکدیگر استفاده می‌شود (۳). ازاین‌رو فاصله بین درختان و روش‌های ارزیابی فاصله‌ای همواره موردتوجه پژوهش‌گران بوده است از آن جمله در برآورد مشخصه‌های کمّی جنگل مانند تراکم درختان (۱۲، ۱۳، ١٤)، برآورد تنوع زیستی در جنگل (۱۵)، الگوی پراکنش مکانی درختان (١٦، ۱۷).

به‌منظور بررسی توسعه جنگل‌کاری‌ها نیاز به درک بهتری از اندازه‌گیری نحوه رقابت و چگونگی رشد درختان تحت شرایط رقابتی است. مطالعات، ارزیابی کرده‌اند که رقابت چگونه بر رشد درختان تأثیر می‌گذارد و شاخص‌های متعددی نیز برای تعیین کمیت رقابتی که هر درخت تجربه می‌کند، ایجاد شده‌اند (۹). هدف از مطالعه حاضر بررسی چند شاخص رقابت مستقل از فاصله و وابسته به فاصله در برآورد رقابت بین درختان در توده‌های دست کاشت خالص بود.

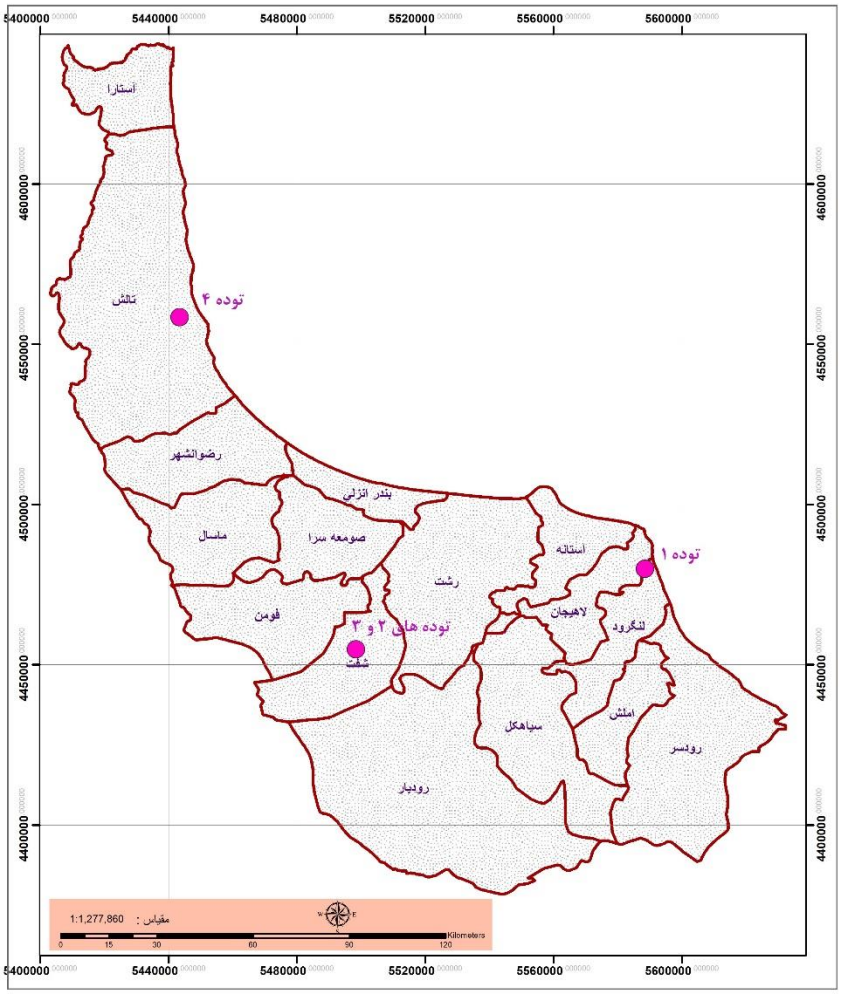
مواد و روش‌ها

به‌منظور محاسبه شاخص‌های رقابتی مورد نظر، پارامترهای قطر برابر سینه و ارتفاع کل تمام درختان به‌صورت آماربرداری صد درصد در داخل قطعه‌نمونه‌هایی به مساحت یک هکتار به دلیل خالص بودن از نظر ترکیب گونه‌ای و شرایط محیطی کاملاً همگن (۱۸) در چهار توده از جنگل دست کاشت گونه صنوبر دلتوئیدس (*Populud deltoides* Marshall.) در استان گیلان انجام شد. توده‌ها با پراکنش از شرق تا غرب استان و در ارتفاع کم‌تر از ۱۰۰ متر بالاتر از سطح دریا و بدون شیب انتخاب شدند (شکل ۱، جدول ۱) (۱۸، ۱۹).

جدول ۱- مشخصات توده‌های مورد مطالعه.

Table 1. Characteristics of the studied stands.

	فاصله کاشت (مترمربع) Planting spacing (m^2)	سن (سال) Age	مساحت (هکتار) Area (hectares)
توده ۱ Stand 1	5×5	32	39
توده ۲ Stand 2	4×3	37	43
توده ۳ Stand 3	3×3	38	66
توده ٤ Stand 4	3.5×5	37	89



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی توده‌های مورد مطالعه در استان گیلان.

Figure 1. The geographical location of the studied stands in Gilan province.

هم‌چنین فاصله درختان نیز اندازه‌گیری شدند. سپس به‌منظور بررسی چگالی چوب و استفاده از مقدار آن در شاخص رقابت، در هر قطعه‌نمونه پانزده اصله درخت با پراکنش کافی در طبقات قطری به‌صورت تصادفی انتخاب و برای انجام آنالیز چگالی چوب قطع شدند (۲۰). در بررسی چگالی چوب، از مرکز دیسک به سمت بیرون دیسک، قطعات چوبی با ابعاد مساوی ٤×٤×٤ سانتی‌متر جدا شد. وزن و حجم اولیه نمونه‌های تهیه‌شده مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و به مدت ٢٤ ساعت در درون آب قرار گرفتند تا اشباع شوند. سپس ابعاد توسط کولیس با دقت یک‌صدم میلی‌متر و حجم هر یک از نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. پس از تعیین حجم اشباع، نمونه‌ها در داخل آون با درجه حرارت ۵±۱۰۰ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ٢٤ ساعت قرار داده شدند تا کاملاً خشک شوند. در پایان، نمونه‌ها پس از خنک شدن با ترازو وزن شدند و حجم آن‌ها محاسبه و چگالی آن‌ها با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (۲۰، ۲۱، ۲۲).

$$D_r = \frac{m_0}{V_w} \qquad (۱)$$

که در آن، D_r چگالی چوب صنوبر، m_0 وزن خشک و V_w حجم اشباع.

سپس به‌منظور بررسی رقابت بین درختان در توده‌های مورد نظر، دو دسته شاخص‌های مستقل از فاصله (Independent Distance Index, IDI) طبق رابطه ۲ (۱۱، ۲۳، ۲٤)؛ و شاخص رقابت وابسته به فاصله بر حسب قطر درخت (Dependent Distance Index, DDI_{dbh}) طبق رابطه ۳ (٦، ۱۱) و شاخص رقابت وابسته به فاصله برحسب ارتفاع درخت (DDI_h) طبق رابطه ٤ (۱۱) محاسبه شدند.

$$IDI = \sum_{i=1}^{n} d_i^2 \times h_i \times p \qquad (۲)$$

که در آن، IDI شاخص رقابت مستقل از فاصله، d_i قطر برابر سینه درخت i، h_i ارتفاع درخت i، p_i چگالی چوب درخت

$$DDI_{dbh} = \sum_{i=1}^{n} \frac{(\frac{d_i}{d_j})^2}{dist_{ij}+1} \qquad (۳)$$

که در آن، DDI_{dbh} شاخص رقابت وابسته به فاصله بر حسب قطر، d_i قطر درخت i (هدف)، d_j قطر درخت j (همسایه) و $dist_{ij}$ فاصله بین دو درخت i و j است.

$$DDI_h = \sum_{i=1}^{n} \frac{(\frac{h_i}{h_j})^2}{dist_{ij}+1} \qquad (٤)$$

که در آن، DDI_h شاخص رقابت وابسته به فاصله بر حسب ارتفاع، h_i قطر درخت i (هدف)، h_j قطر درخت j (همسایه) و $dist_{ij}$ فاصله بین دو درخت i و j است.

در ابتدا نرمال بودن داده‌ها با استفاده از آزمون کولموگروف–اسمیرنوف تأیید شد و آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) با آزمون Tukey در سطح ۵ درصد به‌منظور بررسی تفاوت مقادیر این شاخص‌ها در توده‌های مورد مطالعه، انجام شد. همبستگی پیرسون بین مشخصات کمّی شامل قطر برابرسینه، ارتفاع و نسبت ارتفاع به قطر و شاخص‌های رقابت در سطح خطای ۵ درصد نیز محاسبه شد.

نتایج

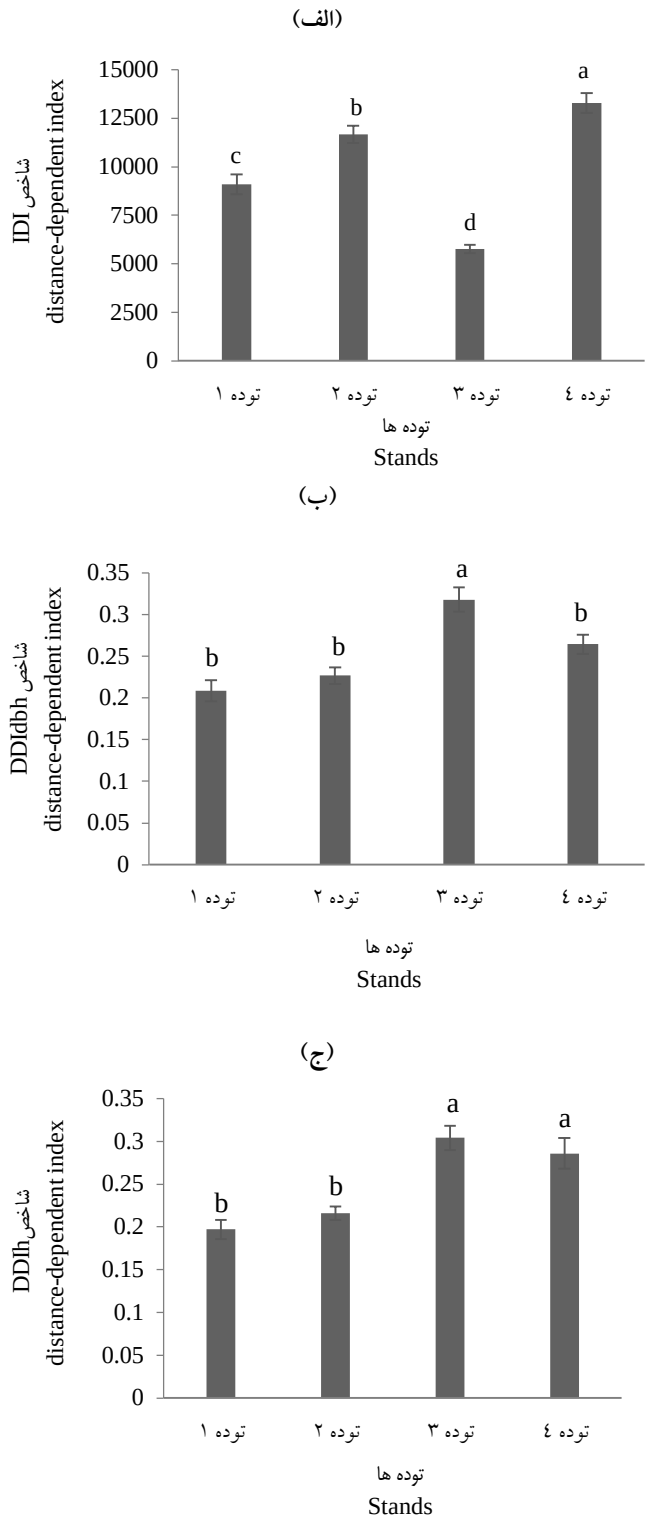
مقادیر میانگین و اشتباه معیار، حداقل و حداکثر شاخص‌های رقابت وابسته فاصله (DDI) و مستقل از فاصله (IDI) در جدول ۱ گزارش شده است که نشان داد شاخص رقابت مستقل از فاصله در توده ٤ بیش‌ترین مقدار را داشت (IDI=۱۳۲۸٤/۵۸) و نشان‌دهنده توان رقابتی بالای درختان این توده نسبت به سایر توده‌ها است. از نظر شاخص رقابتی فاصله‌ای نیز توده ۳ دارای بیش‌ترین مقدار میانگین برای این شاخص بر حسب قطر (DDI_{dbh}=۰/۳۱۸) و ارتفاع (DDI_h=۰/۳۰٤) درختان بود (جدول ۲).

هم‌چنین مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد که توده‌ها از نظر هر دو شاخص دارای شرایط رقابتی معنی‌داری نسبت به یکدیگر بودند. از نظر شاخص رقابتی مستقل از فاصله همه توده‌ها دارای اختلاف معنی‌داری باهم بودند (P≤۰/۰۵)؛ اما نتیجه مقایسه شاخص رقابت فاصله‌ای برای قطر درختان نشان داد که توده ۳ دارای اختلاف معنی‌داری با سایر توده‌ها است و توده‌های ۱، ۳ و ٤ نیز اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند (P≤۰/۰۵). مقایسه شاخص رقابت فاصله‌ای برای ارتفاع درختان نیز نشان داد که توده‌های ۱ و ۲ بدون اختلاف بوده اما با توده‌های ۳ و ٤ اختلاف معنی‌داری را نشان دادند (P≤۰/۰۵) (شکل ۲، جدول ۳).

جدول ۲- آمار توصیفی شاخص‌های رقابت به تفکیک توده‌های مورد مطالعه.

Table 2. Descriptive statistics of competition indices in the studied stands.

اشتباه معیار Standard error	میانگین Mean	حداکثر Maximum	حداقل Minimum	منطقه Region	شاخص رقابت Competition index
511.544	9084.463	31049.160	1645.556	توده ۱ Stand 1	IDI
441.814	11674.200	25438.550	1766.566	توده ۲ Stand 2	
213.138	5760.402	20247.790	317.982	توده ۳ Stand 3	
508.599	13284.58	41192.270	2137.545	توده ٤ Stand 4	
0.013	0.209	0.635	0.0398	توده ۱ Stand 1	DDI_{dbh}
0.010	0.227	0.685	0.035	توده ۲ Stand 2	
0.014	0.318	2.367	0.040	توده ۳ Stand 3	
0.011	0.264	0.889	0.048	توده ٤ Stand 4	
0.011	0.197	0.793	0.033	توده ۱ Stand 1	DDI_h
0.008	0.216	0.735	0.043	توده ۲ Stand 2	
0.014	0.304	2.250	0.028	توده ۳ Stand 3	
0.018	0.286	1.653	0.026	توده ٤ Stand 4	



شکل ۲- مقایسه میانگین (± اشتباه معیار) شاخص رقابت مستقل از فاصله (الف) و شاخص رقابت وابسته به فاصله (ب) در توده‌های مورد مطالعه (حروف غیرمشابه در هر ستون بیانگر اختلاف معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد است و میانگین‌های هر ستون که دارای حداقل یک حرف مشترک هستند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال ۵ درصد تفاوت معنی‌داری ندارند).

Figure 2. Comparison of the mean (± standard error) distance-independent competition index (a) and distance-dependent competition index (b) in the studied stands.

جدول ۳- آنالیز واریانس شاخص رقابت مستقل از فاصله و وابسته به فاصله در توده‌های مورد مطالعه.

Table 3. Analysis of variance of the distance-independent and distance-dependent competition indices in the studied stands.

نوع شاخص رقابت Competition index	منبع تغییرات Source of variation	مجموع مربعات Sum of squares	درجه آزادی df	میانگین مربعات Mean of squares	F	سطح معنی‌داری Sig.
IDI	بین گروه‌ها Between groups	7916122522.098	3	2638707507.366	92.185	0.000*
	درون گروه‌ها Within groups	22498597357.663	786	28624169.666		
	کل Total	30414719879.761	789			
DDI_{dbh}	بین گروه‌ها Between groups	1.496	3	0.499	12.417	0.000*
	درون گروه‌ها Within groups	31.395	782	0.040		
	کل Total	32.891	785			
DDI_h	بین گروه‌ها Between groups	1.510	3	0.503	11.773	0.000*
	درون گروه‌ها Within groups	33.434	782	0.043		
	کل Total	34.944	785			

* معنی‌دار در سطح احتمال ۵ درصد

نتیجه همبستگی پیرسون بین شاخص‌های رقابتی مستقل از فاصله (IDI) با ویژگی‌های کمی درختان نشان داد که همبستگی بین این شاخص‌ها با قطر و ارتفاع درختان مثبت و بالا و معنی‌دار بود. بیش‌ترین همبستگی با قطر برابر سینه مشاهده شد؛ اما همبستگی با نسبت ارتفاع به قطر یا کشیدگی توده منفی و پایین و در تمام توده‌ها معنی‌دار بود (P≤۰/۰۵). نتیجه همبستگی پیرسون بین شاخص‌های رقابت وابسته به فاصله با قطر برابر سینه (DDI_{dbh}) با ویژگی‌های کمی درختان نیز نشان می‌دهد که همبستگی بین این شاخص‌های با ویژگی‌های کمی نسبت به شاخص‌های مستقل از فاصله کم‌تر و معنی‌دار بود (P≤۰/۰۵). این شاخص نیز با نسبت ارتفاع به قطر توده همبستگی منفی و پایین داشت و در تمام توده‌ها معنی‌دار بود (P≤۰/۰۵). همبستگی پیرسون بین شاخص‌های رقابت فاصله‌ای برحسب ارتفاع (DDI_h) با ویژگی‌های کمی درختان نیز نشان داد که این شاخص رقابت با قطر، ارتفاع و نسبت قطر و ارتفاع توده از همبستگی پایین و معنی‌داری برخوردار بود (P≤۰/۰۵) (جدول ٤).

جدول ٤- همبستگی پیرسون بین شاخص رقابت مستقل از فاصله و وابسته به فاصله ویژگی‌های کمی درختان (قطر برابرسینه، ارتفاع و نسبت ارتفاع به قطر) در توده‌های مورد مطالعه.

Table 4. Pearson's correlation between distance-independent and distance-dependent competition indices of quantitative characteristics of trees (dbh, height, and the ratio of height to diameter) in the studied stands.

نسبت ارتفاع به قطر (h/d) Ratio of height to diameter			ارتفاع (متر) Height (m)			قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)			
DDI_h	DDI_{dbh}	IDI	DDI_h	DDI_{dbh}	IDI	DDI_h	DDI_{dbh}	IDI	
0.456*	-0.396*	-0.439*	0.512*	0.548*	0.843*	0.440*	0.699*	0.981*	توده ١
P= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	Stand 1
0.437*	-0.368*	-0.441*	0.413*	0.419*	0.893*	0.474*	0.539*	0.974*	توده ٢
P= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	Stand 2
0.317*	-0.191*	-0.407*	0.387*	0.420*	0.88*	0.323*	0.442*	0.961*	توده ٣
P= 0.0	*P*= 0.01	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	Stand 3
0.394*	-0.203*	-0.51*	0.409*	0.384*	0.824*	0.380*	0.600*	0.947*	توده ٤
P= 0.05	*P*= 0.05	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	*P*= 0.0	Stand 4

* همبستگی معنی‌دار در سطح احتمال ٥ درصد

بحث

رقابت بین درختان یک تعامل در جامعه گیاهی است و زمانی اتفاق می‌افتد که دو یا چند درخت برای استفاده از منابع مشترک (نور، آب و مواد مغذی) در شرایطی که این منابع توان پاسخگویی به تمام نیازهای توده برای رسیدن به رویش بهینه را ندارند، اتفاق می‌افتد. این فرایند در توده‌های خالص و یا آمیخته، رشد درختان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد و این امر موجب کاهش و یا افزایش فرآیندهای بقا، رشد و تولیدمثل آن‌ها خواهد شد. وقتی‌که یک هدف مدیریتی از پویایی طبیعی اکوسیستم استفاده می‌کند، درک و محاسبه میزان رقابت درختان اهمیت ویژه‌ای پیدا خواهد کرد. عملیات تنک شدن طبیعی با دست‌کاری در روند طبیعی توالی توده، بر شدت رقابت اثر کاهنده خواهد داشت (٣، ٢٥). رقابت عاملی تعیین‌کننده و مهم در رشد جنگل‌ها است. رقابت با تراکم درختان متغیر است زیرا ساختار توده تحت شرایط ناهمگن و متفاوت ایجاد می‌شود. نور محدودیت اصلی رشد درختان است. مقایسه شاخص‌های مختلف رقابت از نظر اثربخشی آن‌ها به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده رشد در مدل‌های درختی در شرایط جنگل انجام می‌شود (٩).

در مطالعه حاضر، شاخص‌های مستقل از فاصله مبتنی بر قطر، ارتفاع و چگالی چوب در شناسایی اختلاف رقابتی بین درختان در توده‌های مورد مطالعه بهتر عمل کرد زیرا اگرچه که انتظار می‌رفت با تغییر فاصله بین درختان رقابت اتفاق بیافتد مگر این‌که توده‌ها از این مرحله از رقابت عبور کرده باشند. در این مورد Dehghan و همکاران (١٠) نیز بیان کردند که اغلب با گذشت زمان و افزایش رقابت بین پایه‌های درختی در جنگل همسال برای نور و نیازهای فیزیولوژیک، درختان به‌طور طبیعی حذف می‌شوند. این مرحله کاهش پایه‌های درختی شناخته می‌شود و این تغییرات مختص مرحله جوانی است و در این مرحله بیش‌ترین مقدار است (١٠).

در شاخص‌های وابسته به فاصله، مختصات مکانی به هر درخت نسبت داده می‌شود که به محقق اجازه می‌دهد تا رقابت هر درخت و همسایگانش را تخمین

بزند و درنتیجه روند پیچیده‌تر و دقیق‌تری برای جمع‌آوری داده در این زمینه نیاز است؛ اما شاخص‌های مستقل از فاصله از اطلاعات مربوط به توزیع مکانی افراد استفاده نمی‌کنند بلکه نسبت مشخصات درختان مانند سطح مقطع، میانگین قطر یا میانگین ارتفاع درختان و هم‌چنین متغیرهای تعداد پایه درخت تبدیل به کمیت رقابت می‌شوند (۹). در مطالعه توده‌های *Larix laricina* و *Picea mariana* به‌عنوان دو گونه اقتصادی در کانادا نیز نتایج مشابهی گزارش شد (۲۶) که اندازه درختان همسایه پارامتر اصلی مؤثر بر رقابت شناخته شد اما فاصله درختان اثر ناچیز و غیرمعنی‌دار بر روی مقدار شاخص‌های رقابت داشت و دلیل این امر را رویش تا مرحله چیرگی توده معرفی کردند و هم‌چنین درختان دارای فضای کافی رشد بوده‌اند. به نظر می‌رسد که این امر در توده‌های مورد مطالعه حاضر با توجه به تعداد سال‌هایی که از کاشت آن‌ها گذشته است، نیز حاکم باشد.

مقدار شاخص IDI (مستقل از فاصله) در رویشگاه هیرکانی در استان مازندران برای گونه راش برابر با ۱۸۰/۱۸ ± ۲۵۸۸/۴۹، برای گونه ممرز برابر با ۵۱۵/٤ ± ۲۲۵۵/۹۸ و توسکا ۲۵۵/٦۹ ± ۳۹٦۳/۸۷ محاسبه شد (۲۳) که در مقایسه با مطالعه حاضر، مقادیر کم‌تری بودند. در مطالعه حاضر این شاخص دارای دامنه‌ای از ۵۷٦۰/٤۲ تا ۱۳۲۸٤/۵۸ بود که نشان از رقابت بسیار زیاد در توده دست‌کاشت صنوبر نسبت به توده‌های جنگلی طبیعی دارد. در جنگل‌های آمیخته، اختلاط گونه‌ای رقابت را کاهش می‌دهد و رویش تحت‌تأثیر ترکیب و تعامل بین گونه‌ها است. هم‌چنین تراکم کم‌تر در توده‌های آمیخته نیز در این زمینه مؤثر است. از سوی دیگر رقابت بین‌گونه‌ای و درون‌گونه‌ای تحت‌تأثیر خالص یا آمیخته بودن گونه‌های توده نیز مطرح است، بنابراین یکسان بودن مقدار رقابت در توده‌های خالص و آمیخته منتفی خواهد بود. ازاین‌رو است که علاقه به جنگل‌کاری چند کشتی در طی ۲۰ سال اخیر بیش‌تر شده است مانند آن‌چه توسط Tavankar و همکاران (۲۷) در توده‌های دست‌کاشت *Pinus nigra* و *Picea abies* درباره ویژگی‌های رویشی درختان و اثر آن بر تنوع زیستی گزارش شد زیرا در این نوع توده‌ها اختلاط گونه با رویش بیش‌تر مرتبط است و عامل اصلاح‌کننده رقابت محسوب می‌شود (۲۸). البته که انتخاب نوع گونه در این زمینه نیز بسیار مهم است چراکه بعضی گونه‌ها به رقابت درون‌گونه‌ای و برخی به رقابت بین‌گونه‌ای حساس هستند (۲٦) و کاشت این نوع گونه‌ها ممکن است که رقابت آب موجود در خاک را تشدید کند و در نتیجه بر اهداف توسعه پایدار تأثیر منفی بگذارد، هر چند که بسیاری معتقدند که جنگل‌کاری چند کشتی می‌تواند به افزایش تنوع زیستی و تولید بیوماس بیش‌تر منجر بیش‌تر شود (۲۹).

مقدار شاخص مستقل از فاصله در نیاز نوری بیش‌تر، سرعت رشد بیش‌تر، قطر برابر سینه بیش‌تر و ارتفاع بیش‌تر، مقادیر بیش‌تری را نشان خواهد داد؛ بنابراین در بررسی سه گونه توسکا، راش و ممرز شاخص رقابت برای گونه ممرز مقدار بالاتری را داشت. دراین‌بین عامل وزن مخصوص چوب به دلیل مشابهت مقدار در تمام توده‌ها عامل اثرگذاری نخواهد بود؛ اما این عامل در توده‌های آمیخته و با گونه‌های متفاوت عامل متغیر و بسیار مؤثر خواهد بود. اگرچه که رویش درختان تابعی از ارتباط فاصله با درختان مجاور است ولی عواملی مانند اندازه درخت، ژنوتیپ و ویژگی‌های غیر حیاتی رویشگاه نیز مهم معرفی شده‌اند (۲۳).

در مطالعه Abrari Vajari (۲۳) ارتباط معنی‌دار بین مشخصه‌های قطر، ارتفاع و قطر تاج و نسبت h/d گونه‌های جنگلی با شاخص رقابت اثبات شد که همسو با نتایج مطالعه حاضر بود.

در مطالعه توده‌های بلوط در استان ایلام، فشار رقابتی را با خشکیدگی توده و هم‌چنین تحت‌تأثیر عوامل و خصوصیات محیطی مرتبط دانستند و ویژگی‌هایی مانند میزان رطوبت، فیزیوگرافی زمین و جهت جغرافیایی را در مقدار شاخص رقابت مرتبط با تاج پوشش دانستند. مطالعه میزان رقابت واحدهای همگن درختی در ارتباط با خشکیدگی نشان داده است که بیش‌ترین شاخص رقابت با بیش‌ترین خشکیدگی بوده است و برعکس کم‌ترین شاخص رقابت نیز در خشکیدگی کم بوده است؛ زیرا در توده‌های انبوه‌تر رقابت شدیدتر بوده و در کسب رطوبت فشار رقابتی زیادی تحمیل شده و درختان ضعیف‌تر می‌شوند (۱) توجه به این امر در جنگل‌کاری‌ها که هدف اصلی سلامت درختان است، باید به ایجاد فاصله کاشت مناسب برای دسترسی به منابع دقت شود. به نظر می‌رسد که بررسی عوامل محیطی مؤثر بر رقابت در توده‌های خالص دست‌کاشت نیز می‌تواند به نتایج کاربردی در این زمینه منجر شود. Proulx و همکاران (۲۶) نیز به اثر عوامل محیطی بر رقابت اشاره کردند.

شدت رقابت با توجه به روند رویشی درختان کاهش می‌یابد و افزایش تفاوت در اندازه درختان، ممکن است که رقابت بین درختان را دچار تغییر کند. به‌بیان‌دیگر ناهمگنی اندازه و رویش درختان تحت‌تأثیر رقابت است. به همین دلیل است که با افزایش قطر و ارتفاع درختان شاخص رقابت نیز افزایش می‌یابد. هم‌چنین افزایش تراکم یعنی کاهش فاصله بین پایه‌ها و افزایش تعداد در هکتار درختان به رقابت بیش‌تر می‌انجامد و فاصله مناسب درختان که در جنگل‌های طبیعی با عملیات پرورشی و در جنگل‌های دست‌کاشت با فاصله کاشت مطرح هستند، راه‌حلی در محدود کردن رقابتی که ممکن است کاهنده رویش قطری درختان باشد، معرفی شده است (۱۰، ۳۰، ۳۱). همچنین قطر درختان عامل دیگری است که با رقابت دارای همبستگی معنی‌دار است و هم‌چنین با افزایش قطر تاج رقابت نیز افزایش می‌یابد (۲، ۳۲). Rozendaal و همکاران (۳۳) رویش سطح مقطع درختان را به‌شدت تحت‌تأثیر رقابت معرفی کرد زیرا سطح مقطع تابعی از اندازه درخت است. درختان بزرگ‌تر منابع بیش‌تری مصرف می‌کنند و سطح برگ و سیستم ریشه‌ای بزرگ‌تری دارند. درختان با اندازه کوچک حتی با زیراشکوب جنگل و درختچه‌ها نیز در حال رقابت هستند. ازاین‌رو رقابت را عاملی محرک در ساختار و پویایی جامعه جنگلی در سطح جهان معرفی کردند (۳۳).

مقادیر همبستگی بین شاخص رقابت و متغیرهای درختان، نشان‌دهنده تأثیر متغیرهای درختان بر این شاخص و در نتیجه توان رقابتی درختان است و این شاخص‌ها اطلاعات مناسبی درباره توان رقابتی انواع گونه‌ها در اختیار قرار می‌دهند.

نکته قابل‌توجه این است که Marques و همکاران (٤) نشان دادند که ازآن‌جاکه مؤلفه‌های رقابت در طول زمان تغییر می‌کنند اثر آن‌ها بر درختان توده نیز تغییر خواهد کرد و به‌تبع آن اثرات رقابت در طول زمان تغییر می‌کند. به‌طوری‌که اندازه درخت (قطر) در مراحل اولیه رویش به‌عنوان عامل افزاینده رقابت و در پایان دوره رویش تمایل به کاهش دارد.

نتایج پژوهش حاضر نشان از حساسیت گونه صنوبر به هر دو دسته عوامل فاصله‌ای و غیر فاصله‌ای (قطر و ارتفاع درختان) داشت این نتیجه مطابق با نتایج پژوهش Seifert و همکاران (۳٤) نیز بود که بیان کردند رقابت توده‌های مورد مطالعه آن‌ها در آفریقای جنوبی نیز هم از فاصله بین درختان و نیز از سطح مقطع درختان تأثیر می‌پذیرفت.

نتایج Forrester و همکاران (۲٤) درباره اثر شاخص رقابت مطابق با نتیجه پژوهش حاضر بود.

آن‌ها نشان دادند که تنوع گونه‌ای کم‌ترین اثر را بر شاخص رقابت داشت که این امر با توجه به توده‌های خالص مورد مطالعه حاضر نیز کاربرد دارد، زیرا شاخص‌های رقابتی تحت‌تأثیر تعداد و تنوع گونه‌ها نبوده و بیش‌ترین عامل مؤثر فاصله درختان و مشخصه‌های کمّی آن‌ها است که می‌تواند تحت رقابت قرار گیرند. بااین‌حال این مطالعات نشان می‌دهد که هیچ‌یک از شاخص‌های رقابت واحد یا دسته‌ای از شاخص‌ها برتری جهانی ندارند، بلکه هر شاخص با توجه به جنگل مورد مطالعه عملکرد متفاوتی داشته و از این شاخص‌ها می‌توان به‌صورت ترکیبی نیز استفاده شود (۹).

نتیجه‌گیری

تحلیل شرایط رقابتی می‌تواند در بازسازی ساختار توده و تفسیر مراحل توالی و تحولی توده مفید باشد. ازآن‌جاکه در زمینه پاسخ‌های رویشی درختان به عامل رقابت در توده‌های خالص در کشور اطلاعات کمی در دسترس است، ازاین‌رو هدف مقاله حاضر تعیین مقدار کمی اثرات رقابتی و تحلیل پاسخ‌های رقابتی درختان در توده دست‌کاشت بود. نتیجه حاصل از پژوهش حاضر نشان داد که مقدار شاخص مبتنی بر فاصله دارای رابطه معکوسی با فاصله بین درختان بود به‌طوری‌که توده‌ها با افزایش فاصله بین پایه‌ها از مقادیر شاخص رقابت فاصله‌ای کم‌تری برخوردار بودند و برعکس با کاهش فاصله مقدار شاخص رقابت فاصله‌ای افزایش یافت که این نشان از کاهش رقابت پایه‌ها با افزایش فاصله بین آن‌ها است. از طرف دیگر شاخص رقابت مستقل از فاصله دارای ارتباط مستقیمی با ارتفاع توده‌ها بود زیرا افزایش شاخص رقابت مستقل از فاصله سبب افزایش ارتفاع توده‌ها شد و برعکس در توده‌های با کم‌ترین مقدار شاخص رقابت نیز کم‌ترین ارتفاع ثبت شد.

منابع

1. Hosseini, A., Hosseini, S. M., Rahmani, A., & Azadfar, D. (2014). Comparison between two oak stands (healthy and affected by oak decline) with respect to characteristics of competitive environments in Ilam province. *Iranian J. of Forest and Poplar Research*. 21 (4), 606-616. [In Persian]
2. Charipour, S., Abrari Vajari, K., & Soosani, J. (2018). Intra-specific competition of Persian Oak (*Quercus brantii* Var. persica) and its relationship with physiographic factors and fine root biomass (Case study: Ghalegol, Lorestan). *Iranian J. of Forest*. 10 (3), 307-317. [In Persian]
3. Zhang, Y., Deng, X., Huang, Y., Li, Y., Xiang, W., & Yan, W. (2019). Quantification of individual tree competition index taking Chinese-fir plantations in the subtropical low hilly area as an example. *Polish J. of Ecology*. 67 (1), 1-16.
4. Marques, L., Camarero, J. J., Zavala, M. A., Stoffel, M., Ballesteros-Cánovas, J.A., Sancho-García, C., & Madrigal-González, J. (2021). Evaluating tree-to-tree competition during stand development in a relict Scots pine forest: how much does climate matter? *Trees*. 35, 1207-1219.
5. Junior, I. M. L., Castro, R. V. O., Gaspar, R. O., Araújo, J. B. C. N., & Fabiana, G. A. (2019). Competition indexes to evaluate tree growth in a semi-deciduous seasonal forest. *Floresta e Ambiente*. 26 (4), 1-12.
6. Stadt, K. J., Huston, C., Coates, K. D., Feng, Z., Dale, M. R. T., & Liefferts, V. J. (2007). Evaluation of competition and light estimation indices for predicting diameter growth in mature boreal mixed forests. *Annals of Forest Science*. 64 (5), 477-490.
7. Mataji, A., Sheydaei, R., & Kiadaliri, H. (2018). Evaluation of competition indices

to assess the effect of management interventions onoriental beech (*Fagus orientalis* Lipsky) forest of Lavij-Noor region, Mazandaran, province. *Iranian J. of Forest and Poplar Research.* 26 (1), 81-92. [In Persian]

8. Shanin, V., Hökkä, H., & Grabarnik, P. (2021). Testing the performance of some competition indices against experimental data and outputs of spatially explicit simulation models. *Forests*. 12, 1-11.
9. Contreras, M. A., Affleck, D., & Chung, W. (2011). Evaluating tree competition indices as predictors of basal area increment in western Montana forests. *Forest Ecology and Management*. 262, 1939-1949.
10. Dehghan, M., Sefidi, K., & Sadeghi, S. M. M. (2021). Structure of mixed planted forests after management abandoning, *J. of Wood and Forest Science and Technology*. 27 (4), 97-112.
11. Versace, S., Gianelle, D., Frizzera, L., Tognetti, R., Garfì, V., & Dalponte, M. (2019). Prediction of competition indices in a Norway spruce and silver fir-dominated forest using Lidar data. *Remote sensing*. 11, 1-18.
12. Haidari, R. H., Khalati, K., & Salimikhah, N. (2021). Study of distance sampling methods for estimating quantitative characteristics of forest. *The Quarterly Scientific J. of Applied Biology*. 35 (3), 41-57.
13. Abedi, R., & Ostad Hashemi, R. (2021). Estimation of Density using Plotless Density Estimator Criteria in Arasbaran Forest. *Ecology of Iranian Forests*. 8 (16), 39-47.
14. Haidari, R. H. (2020). Presentation of a new Joint-point Sampling method estimator for tree density. *J. of Forest Research and Development.* 6 (3), 505-517.
15. Abedi, R., & Abedi, T. (2017). Evaluation of nearest neighbor distance method for biodiversity estimation in Arasbaran forest ecosystem. *Ecology of Iranian Forests*. 5 (10), 61-69.
16. Haghani, A. S., Heidary, R. H., & Aghabeigi Ami, S. (2021). Study of the effect of forest stand spatial pattern on results of different estimators of the nearest individual distance method (Case study: in Forests of Chaharzbar Olia village in Kermanshah province). *J. of Plant Ecosystem Conservation*. 8 (17), 123-138.
17. Safari, M., Sefidi, K., Alijanpour, A., & Elahian, M. R. (2020). Efficiency evaluation of the plotless method methods for estimating the spatial structure of Persian oak (*Quercus macranthera*) stands in Arasbaran forests. *J. of Forest Research and Development*. 5 (4), 599-612.
18. Arora, G., Chaturvedi, S., Kaushal, R., Nain, A., Tewari, S., & Alam, N.M. (2014). Growth, biomass, carbon stocks, and sequestration in age series of *Populus deltoides* plantations in Tarai region of central Himalaya. *Turkish J. of Agriculture and Forestry*. 38, 550-560.
19. Mohammadi, Z., Mohammadi Limaei, S., Lohmander, P., & Olsson, L. (2017). Estimating the aboveground carbon sequestration and its economic value (case study: Iranian Caspian forests). *J. of Forest Science*. 63 (11), 511-518.
20. Metsaranta, J. M., & Bhatti, J. S. (2016). Evaluation of whole tree growth increment derived from tree-ring series for use in assessments of changes in forest productivity across various spatial scales. *Forests*. 7 (303), 1-11.
21. Henry, M., Besnard, A., Asante, W. A., Eshun, J., Adu-Bredu, S., Valentini, R., Bernoux M., & Saint-André, L. (2010). Wood density, phytomass variations within and among trees, and allometric equations in a tropical rainforest of Africa. *Forest Ecology and Management*. 260, 1375-1388.
22. Kiaei, M. (2014). Investigation on wood properties of Eldar pine (*Pinus eldarica* Medw) and its relations to soil chemical and physical characteristics (in western Mazandaran province plantation). *Iranian J. of Wood and Paper Science Research.* 29 (2), 199-207. [In Persian]
23. Abrari Vajari, K. (2020). Interaction between competition index and some features of broad-leaved trees in Hyrcanian forest (Case study: beech

forest of Savadkoh-Mazandaran). *Iranian J. of Forest*. 12 (3), 349-357. [In Persian]

24. Forrester, D. I., Benneter, A., Bouriaud, O., & Bauhus, J. (2017). Diversity and competition influence tree allometric relationships – developing functions for mixed-species forests. *J. of Ecology*. 105, 761-774.
25. Feng, W., Jinhong, X., & Brazee, R. J. (2010). New development in study of the faustmann optimal forest harvesting. *Chinese J. of Population, Resources and Environment*. 8 (3), 38-43.
26. Proulx, S. R., Leduc, A., Thiffault, N., & Ameztegui, A. (2023). Tree size drives growth interactions in mixed mature stands of black spruce (*Picea mariana*) and tamarack (*Larix laricina*). *Forest Ecology and Management.* 543, 121150.
27. Tavankar, T., Rafie, H., Latterini, F., Nikooy, M., Senfett, M., Keivan Behjou, F., & Maleki, M. (2018). Growth parameters of *Pinus nigra* J.F. Arnold and *Picea abies* (L.) H. Karst. plantations and their impact on understory woody plants in above-timberline mountain areas in the north of Iran. *J. of Forest Science*. 64 (10), 416-426.
28. Condés, S., Pretzsch, H., & del Río, M. (2023). Species admixture can increase potential tree growth and reduce competition. *Forest Ecology and Management*. 539, 120997.
29. Huang, L., Pei, Y., Shao, M., Jia, X., Tang, X., Zhang, Y., & Pan, Y. (2023). Multi-species plantation intensifies soil water competition and groundwater depletion in a water-limited desert region. *Forest Ecology and Management.* 537, 120953.
30. Pretzsch, H., del Río, M., Arcangeli, C., Bielak, K., Dudzinska, M., Ian Forrester, D., Kohnle, U., Ledermann, T., Matthews, R., Nagel, R., Ningre, F., Nord-Larsen, T., Szeligowski, H., & Biber, P. (2023). Competition-based mortality and tree losses. An essential component of net primary productivity. *Forest Ecology and Management.* 544, 121204.
31. Arzouma, S., Gbaguidi, R., Ayélo, G., Gildas Akueson, A. H., & Akossou, A. Y. J. (2023). Cutting height as a competition control factor in teak (*Tectona grandis* L.f) plantations in southern Benin. *Heliyon*. 9 (6), e17289.
32. Barbosa, O., Arcanjo dos Santos, J., Ataide Gonçalves, A. F., Campoe, O. C., Soares Scolforo, J. R., & Scolforo, H. F. (2023). Competition in forest plantations: Empirical and process-based modeling in pine and eucalypt plantations. *Ecological Modelling*. 483, 110410.
33. Rozendaal, D. M. A., Phillips, O. L., Lewis, S. L., Affum-Baffoe, K., Alvarez-Davila, E., Andrade, A., Aragão, L. E. O. C., Araujo-Murakami, A., Baker, T. R., Bánki, O., Brienen, R. J. W., Camargo, J. L. C., Comiskey, J. A., Djuikouo Kamdem, M. N., Fauset, S., Feldpausch, T. R., Killeen, T. J., Laurance, W. F., Laurance, S. G. W., Lovejoy, T., Malhi, Y., Marimon, B. S., Marimon Junior, B. H., Marshall, A. R., Neill, D. A., Núñez Vargas, P., Pitman, N. C. A., Poorter, L., Reitsma, J., Silveira, M., Sonké, B., Sunderland T., Taedoumg, H., Ter Steege, H., Terborgh, J. W., Umetsu, R. K., van der Heijden, G. M. F., Vilanova, E., Vos, V., White, L. J. T., Willcock, S., Zemagho, L., & Vanderwel, M. C. (2020). Competition influences tree growth, but not mortality, across environmental gradients in Amazonia and tropical Africa. *Ecology*. 101 (7), e03052.
34. Seifert, T., Seifert, S., Seydack, A., Durrheim, G., & Gadow, K. (2014). Competition effects in an afro-temperate forest. *Forest Ecosystems*. 1, 1-115.