University of Tehran

Journal of Forest and Wood Products

Online ISSN: 2383-0530

Home Page: https://jfwp.ut.ac.ir

Assessment of growth characteristics and stand structure of *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne in Hormozgan Province, Iran

Maryam Moslehi[1*] | Seyed Mousa Sadeghi[2] | Akram Ahmadi[3]

1. Corresponding author, Research Division of Natural Resources, Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Bandar Abbas, Iran. Email: m.moslehi@areeo.ac.ir
2. Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran. Email: smbooraki@gmail.com
3. Research Division of Natural Resources, Golestan. Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, AREEO, Gorgan, Iran. Email: ahmadi.1870@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Article

Article History:
Received: 27 July 2026
Revised: 19 September 2026
Accepted: 14 October 2026
Published online: 20 November 2026

Keywords:
Acacia tortilis,
Hormozgan Province,
Natural regeneration,
Stand structure,
Structural indices.

ABSTRACT

Introduction: *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne is a key species of tree in the scorching hot and dry regions of Iran; its natural habitat is entirely limited to Hormozgan Province. Understanding the quantitative and spatial structure of *A. tortilis* is crucial for sustainable management, preservation and long-term monitoring of this species. The aim of this paper is to find out the structural properties of the natural stands of this species and create a baseline database for future monitoring of the species in Homeyran and Kong regions of Bandar Lengeh County, southern Iran.

Method: For this purpose, two one-hectare sample plots were established, and the following variables were measured for all trees: collar diameter, height, crown area, number of shoots, stand density, natural regeneration, and spatial position. In addition, the spatial and quantitative structure of the stands was assessed using Crancod 3.1 software and nearest-neighbor-based structural indices, including neighborhood distance, uniform angle index, diameter differentiation, height differentiation, diameter dominance, mingling, and structural diversity.

Results: According to the results, the number of living trees was (49 and 60 ha^{-1} in Hamiran and Kong respectively). On the other hand, the density of regeneration was almost three times greater in the case of Homeyran (60 saplings ha^{-1}) than in Kong (22 saplings ha^{-1}), thus indicating a better potential for natural regeneration there. Nevertheless, Kong demonstrated higher values in terms of mean basal area (16.49 cm), tree height (3.58 m), and crown area (42.88 m^2) as well as substantially better canopy cover (72.25%) in comparison to Homeyran (39.50%). Among the percent of dead trees Homeyran had many more of them (30.06% versus 8.33% for Kong) suggesting that the site may be less favorable or may have experienced greater environmental stress compared to the latter. The distributions for diameter and height are irregular for both habitats of trees with the biggest number of trees being in the lower and intermediate classes which means that there are more young trees than the old ones. The mean distance between the nearest neighboring tree is equal to 4.83 m and 4.99 m for Homeyran and Kong correspondingly while the nearest neighbor's index is equal to 8.95 m and 8.79 m for these two stands respectively. Results from the Clark and Evans index showed that Homeyran exhibited a clustered spatial distribution while Kong showed a nearly random pattern leaning towards regularity, and the uniform angle index (0.62 and 0.51) indicated that both stands have an aggregated distribution of trees. Diameter differentiation (0.67 and 0.51) and height differentiation (0.50 and 0.34) are also relatively substantial and pronounced in Homeyran than in Kong meaning that Homeyran is more structurally heterogeneous compared to Kong. The low structural diversity index (0.30 in Homeyran and 0.25 in Kong) and a zero mingling index also confirmed that both stands have a rather simplified, mono-specific and homogeneous structure.

Conclusion: The results revealed significant differences in the quantitative and spatial structure of natural *Acacia tortilis* stands between Homeyran and Kong. Despite exhibiting higher natural regeneration, the Homeyran stand showed greater tree mortality and a more aggregated spatial pattern, whereas the Kong stand was characterized by larger trees, higher canopy cover, and relatively greater stand stability. These findings provide valuable baseline information for the long-term monitoring, conservation, and sustainable management of natural *A. tortilis* stands in southern Iran.

Cite this article: Moslehi, M., Sadeghi, S.M., Ahmadi, A. (2026). Assessment of growth characteristics and stand structure of *Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne in Hormozgan Province, Iran. *Journal of Forest and Wood Products*, 79 (3), 291-305. DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2026.419477.1408

© The Author(s) **Publisher:** University of Tehran Press.
DOI: http//doi.org/10.22059/jfwp.2026.419477.1408

نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب
سایت نشریه: https://jfwp.ut.ac.ir
دانشگاه تهران
شاپا الکترونیکی: ۰۵۳۰-۲۳۸۳

بررسی و تحلیل رویش و ساختار توده‌های گبر (*Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne.) در استان هرمزگان

مریم مصلحی[1*] | سید موسی صادقی[2] | اکرم احمدی[3]

۱. نویسنده مسئول، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، بندرعباس، ایران. رایانامه: m.moslehi@areeo.ac.ir
۲. موسسهٔ تحقیقات جنگل‌ها و مراتع، سازمان تحقیقات آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران. رایانامه: smbooraki@gmail.com
۳. بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گلستان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، گرگان، ایران. رایانامه: ahmadi.1870@gmail.com

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:
تاریخ دریافت: ۱۴۰۵/۰۵/۰۵
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۵/۰۶/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۷/۲۲
تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۸/۲۹

کلیدواژه:
استان هرمزگان،
تجدید حیات طبیعی،
ساختار توده،
شاخص‌های ساختاری،
گونهٔ گبر.

چکیده

مقدمه: گونهٔ گبر (*Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne.) یکی از گونه‌های ارزشمند مناطق گرم و خشک ایران است که پراکنش طبیعی آن به‌طور انحصاری به رویشگاه‌های استان هرمزگان محدود می‌شود. شناخت ساختار کمی و مکانی این توده‌ها، پیش‌نیاز مدیریت پایدار، حفاظت و پایش تغییرات بلندمدت آنها محسوب می‌شود. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی ساختار توده‌های طبیعی گبر و ایجاد بانک اطلاعاتی پایه برای پایش‌های آتی در دو رویشگاه حمیران و کنگ از توابع شهرستان بندرلنگه انجام شد.

روش پژوهش: بدین‌منظور، دو قطعه‌نمونهٔ یک هکتاری پیاده شد و مشخصه‌هایی شامل قطر یقه، ارتفاع، سطح تاج، تعداد جست، تراکم، تجدید حیات و موقعیت مکانی تمامی درختان اندازه‌گیری شد. همچنین ساختار فضایی و کمی توده‌ها با استفاده از نرم‌افزار Crancod 3.1 و شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه شامل فاصلهٔ همسایگی، زاویهٔ یکنواختی، تمایز قطری، تمایز ارتفاعی، چیرگی قطری، آمیختگی و تنوع ساختاری ارزیابی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد تعداد درختان زنده در توده‌های حمیران و کنگ به‌ترتیب ۴۹ و ۶۰ پایه در هکتار بود، در حالی‌که تراکم تجدید حیات در حمیران (۶۰ پایه در هکتار) حدود سه برابر بیشتر از کنگ (۲۲ پایه در هکتار) برآورد شد که بیانگر ظرفیت بالاتر نوسازی طبیعی این توده است. در مقابل، میانگین قطر یقه (۱۶/۴۹ سانتی‌متر)، ارتفاع (۳/۵۸ متر) و مساحت تاج (۴۲/۸۸ مترمربع) در تودهٔ کنگ بیشتر بود و درصد تاج‌پوشش نیز در این توده (۲۵/۷۲ درصد) بیشتر از تودهٔ حمیران (۵/۳۹ درصد) بود. همچنین درصد درختان خشک‌دار در حمیران (۲۲/۴۴ درصد) به‌مراتب بیشتر از کنگ (۸/۳۳ درصد) بود که می‌تواند بیانگر شرایط رویشی نامناسب‌تر یا شدت بیشتر تنش‌های محیطی در این توده باشد. بررسی ساختار قطری و ارتفاعی نشان داد پراکنش درختان در هر دو توده نامنظم بوده و بخش عمدهٔ درختان در طبقات قطری و ارتفاعی پایین تا متوسط قرار دارند که نشان‌دهندهٔ غلبهٔ درختان جوان و میان‌سال در ساختار توده است. میانگین فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه در حمیران و کنگ به‌ترتیب ۴/۸۳ و ۴/۹۹ متر و شاخص فاصلهٔ همسایگی به‌ترتیب ۸/۹۵ و ۸/۷۹ متر به‌دست آمد که بیانگر تراکم پایین درختان است. شاخص کلارک و ایوانز، الگوی کپه‌ای را برای حمیران و الگویی نزدیک به تصادفی با گرایش به یکنواختی را برای کنگ نشان داد، در حالی‌که شاخص زاویهٔ یکنواختی (۰/۶۲ و ۰/۵۱) بیانگر استقرار تجمعی درختان در هر دو توده بود. مقادیر شاخص تمایز قطری (۰/۶۷ و ۰/۵۱) و تمایز ارتفاعی (۰/۵۰ و ۰/۳۴) نیز نشان‌دهندهٔ ناهمگنی بیشتر ابعاد درختان در تودهٔ حمیران نسبت به کنگ است. همچنین پایین بودن شاخص تنوع ساختاری ترکیبی در حمیران (۰/۳۰) و کنگ (۰/۲۵)، همراه با مقدار صفر شاخص آمیختگی، بیانگر ساختار نسبتاً ساده، تک‌گونه و پیچیدگی کم این توده‌ها است.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد توده‌های طبیعی گبر در حمیران و کنگ از نظر ساختار کمی و فضایی تفاوت‌های محسوسی را نشان دادند. حمیران با وجود تجدید حیات بیشتر، خشکیدگی بالاتر و الگوی تجمعی‌تری را داشت، در حالی‌که کنگ از درختان درشت‌تر، تاج‌پوشش بیشتر و پایداری نسبی بالاتری برخوردار بود. این یافته‌ها اطلاعات پایهٔ مناسبی برای پایش، حفاظت و مدیریت پایدار توده‌های طبیعی گبر در جنوب ایران فراهم نمود.

استناد: مصلحی؛ مریم، صادقی؛ سید موسی، احمدی؛ اکرم (۱۴۰۵). بررسی و تحلیل رویش و ساختار توده‌های گبر (*Acacia tortilis* (Forssk.) Hayne.) در استان هرمزگان. *نشریهٔ جنگل و فرآورده‌های چوب*، ۷۹ (۳)، ۳۰۵-۲۹۱. DOI: https://10.22059/jfwp.2026.419477.1408

© نویسندگان.
ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.
https://doi.org/10.22059/jfwp.2026.419477.1408

۱. مقدمه

جنگل‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک، با وجود وسعت محدودتر نسبت به جنگل‌های مرطوب، از مهم‌ترین بوم‌سازگان‌های خشکی به‌شمار می‌روند و نقش اساسی در حفظ پایداری محیط‌زیست ایفا می‌کنند. این بوم‌سازگان‌ها با کاهش فرسایش آبی و بادی، تثبیت خاک و شن‌های روان، تنظیم چرخهٔ عناصر غذایی، ذخیرهٔ کربن، حفاظت از تنوع زیستی و تأمین بخشی از خدمات بوم‌سازگانی، سهم قابل‌توجهی در پایداری سرزمین‌های خشک دارند [۱، ۲]. با این حال، محدودیت منابع آب، افزایش تنش‌های اقلیمی، چرای دام، بهره‌برداری بی‌رویه و تخریب زیستگاه‌ها موجب شده است که بسیاری از جنگل‌های خشک با کاهش تراکم، افت توان تجدید حیات و تغییر در ساختار توده روبه‌رو شوند. در چنین شرایطی، شناخت ویژگی‌های رویشی و ساختاری این جنگل‌ها، یکی از پیش‌نیازهای اساسی برای ارزیابی وضعیت کنونی آنها و تدوین راهکارهای مدیریتی و حفاظتی به‌شمار می‌آید [۳].

گونهٔ گبر (*Acacia tortilis*(Forssk.) Hayne.) از گونه‌های شاخص نواحی خشک و فراخشک آفریقا، شبه‌جزیره عربستان و جنوب‌غرب آسیا، از جمله بخش‌هایی از ایران است و به‌دلیل برخورداری از سازگاری‌های کارکردی و ریخت‌شناختی ویژه، توان استقرار در محیط‌های با بارندگی اندک، دمای بالا، خاک‌های فقیر و حتی اراضی شور را دارد [۳]. این گونه با برقراری همزیستی با باکتری‌های تثبیت‌کنندهٔ نیتروژن، نقش مؤثری در بهبود حاصلخیزی خاک ایفا کرده و به‌واسطهٔ تاج گسترده و سیستم ریشه‌ای عمیق، در تثبیت خاک، کاهش فرسایش و ایجاد شرایط مناسب برای استقرار سایر گونه‌های گیاهی نیز مؤثر است. علاوه بر اهمیت بوم‌شناختی، گبر از نظر تأمین علوفه، سوخت، تولید صمغ و حمایت از معیشت جوامع محلی نیز ارزش قابل‌توجهی دارد [۴، ۵]. در ایران، پراکنش طبیعی این گونه به نواحی جنوبی کشور و عمدتاً استان هرمزگان محدود است و رویشگاه‌های آن از ارزش حفاظتی بالایی برخوردارند [۶].

شناخت ساختار توده، یکی از مهم‌ترین رویکردها در ارزیابی وضعیت بوم‌شناختی جنگل‌ها محسوب می‌شود، زیرا ساختار جنگل حاصل برهم‌کنش فرآیندهای رویشی، تجدید حیات، رقابت، مرگ‌ومیر و عوامل محیطی در طول زمان است. ویژگی‌هایی نظیر توزیع قطری و ارتفاعی درختان، تراکم، تاج‌پوشش و الگوی پراکنش مکانی، اطلاعات ارزشمندی دربارهٔ پویایی توده، میزان رقابت بین درختان، وضعیت استقرار نسل جدید و میزان ناهمگنی ساختاری فراهم می‌کنند. ازاین‌رو، بررسی همزمان شاخص‌های کمی و فضایی، امکان تفسیر دقیق‌تر وضعیت جنگل و شناسایی تفاوت‌های ساختاری بین توده‌ها را فراهم می‌سازد [۷]. در سال‌های اخیر، استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه، از جمله شاخص کلارک و ایوانز، زاویهٔ یکنواختی، تمایز قطری و ارتفاعی و شاخص‌های تنوع ساختاری، به‌عنوان ابزارهایی کارآمد برای تحلیل ساختار فضایی و کمی جنگل‌ها مورد توجه قرار گرفته است، زیرا این شاخص‌ها علاوه بر توصیف وضعیت موجود، امکان مقایسهٔ ساختار توده‌های مختلف را نیز فراهم می‌کنند [۹-۷]. Rostami-Kia و همکاران (۲۰۲۵) با بررسی ساختار توده‌های جنگلی ارس و بنه در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ دوستلو، کارایی شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه را در توصیف ویژگی‌های کمی، الگوی پراکنش و ناهمگنی ساختاری توده‌ها نشان دادند و بر کاربرد این شاخص‌ها در ارزیابی و مدیریت جنگل‌ها تأکید کردند [۱۰].

مطالعات انجام‌شده در جنگل‌های ایران نیز نشان داده‌اند که ساختار توده‌ها تحت تأثیر شرایط فیزیوگرافی، ویژگی‌های رویشی و میزان دخالت‌های انسانی قرار دارد. در جنگل‌های زاگرس، الگوی پراکنش کپه‌ای و آمیختگی گونه‌ای پایین در بسیاری از توده‌ها گزارش شده است و تغییرات شیب، جهت و ارتفاع از سطح دریا با تغییر در مشخصه‌هایی مانند قطر، ارتفاع، سطح مقطع و سطح تاج همراه بوده است؛ هرچند شدت و جهت این روابط در مناطق مختلف متفاوت است [۷]. همچنین، بررسی جنگل‌های زاگرس شمالی نشان داده است که فاصله از سکونتگاه‌ها و شدت بهره‌برداری می‌تواند بر پیوستگی تاج‌پوشش و مشخصه‌هایی مانند قطر، ارتفاع و سطح تاج اثرگذار باشد [۸]. در مطالعه‌ای در زاگرس شمالی و جنوبی نیز تغییرات تاج‌پوشش در برخی توده‌ها طی دورهٔ بررسی افزایش یافت، اگرچه میزان و معنی‌داری این تغییرات بین توده‌ها متفاوت بود [۹]. این یافته‌ها نشان می‌دهد که بررسی همزمان مشخصه‌های کمی و فضایی می‌تواند در شناخت وضعیت و پویایی توده‌های جنگلی در شرایط محیطی و مدیریتی متفاوت مؤثر باشد. ازاین‌رو، استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه، از جمله شاخص‌های الگوی پراکنش، تمایز قطری و ارتفاعی و یکنواختی، به‌عنوان رویکردی مناسب برای توصیف ساختار فضایی و کمی توده‌های جنگلی مورد توجه قرار گرفته است [۱۰].

اگرچه پژوهش‌های متعددی در زمینهٔ بوم‌شناسی، فیزیولوژی و سازگاری گونه در مناطق خشک جهان انجام شده است، بخش عمدهٔ این مطالعات بر جنبه‌هایی نظیر تحمل خشکی، تثبیت نیتروژن، احیای اراضی تخریب‌شده و تولید علوفه متمرکز بوده‌اند و اطلاعات مربوط به ساختار کمی و فضایی توده‌های طبیعی این گونه محدود است. گبر در ایران در ناحیهٔ رویشی صحارا–سندی و عمدتاً در بخش‌هایی از جنوب کشور پراکنش دارد و رویشگاه‌های طبیعی آن در استان هرمزگان از مهم‌ترین محدوده‌های حضور این گونه به‌شمار می‌روند. مطالعات انجام شده در ایران در زمینهٔ تحلیل ساختار جنگل و الگوهای تجدید حیات در بوم‌سازگان‌های مختلف، بر اهمیت ارزیابی ویژگی‌های ساختاری توده‌ها در مدیریت و حفاظت از جنگل‌ها تأکید دارند [۱۱]، اما این مطالعات عمدتاً در جنگل‌های هیرکانی یا ایران–تورانی انجام شده‌اند و اطلاعات مشابه دربارهٔ توده‌های طبیعی گبر بسیار محدود است. در ایران نیز مطالعات انجام‌شده دربارهٔ گبر بیشتر به معرفی فلور، پراکنش، ویژگی‌های رویشی و برخی جنبه‌های حفاظتی اختصاص یافته و ارزیابی جامع ساختار توده‌های طبیعی این گونه، به‌ویژه با استفاده از شاخص‌های نوین ساختاری، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. این کمبود اطلاعات، شناخت وضعیت فعلی توده‌های گبر و مقایسهٔ ویژگی‌های ساختاری رویشگاه‌های مختلف را با محدودیت مواجه کرده است. بر این اساس، پژوهش حاضر با هدف بررسی ویژگی‌های رویشی و تحلیل ساختار کمی و فضایی توده‌های طبیعی گبر در دو رویشگاه استان هرمزگان انجام شد.

۲. روش‌شناسی پژوهش

۲–۱. منطقهٔ مورد پژوهش

بندر لنگه در عرض جغرافیایی ۲۶ درجه و ۳۵ دقیقه و طول جغرافیایی ۵۴ درجه ۵۰ دقیقه و ارتفاع از سطح دریا ۱۴/۲ متر واقع شده است. براساس اطلاعات ایستگاه هواشناسی بندر لنگه از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۹۵، متوسط بارندگی و درجه حرارت سالیانه در این بندر به‌ترتیب ۱۰۴/۲۹ میلی‌متر و ۲۷/۷۶ درجهٔ سانتی‌گراد است [۱۲]. مناطق مورد مطالعه توده‌های گبر در ذخیره‌گاه کنگ و حمیران واقع در شهرستان لنگه قرار دارد که تک گونه و دارای تیپ غالب گبر است. در زیرآشکوب آن گونه دهیر (*Lycium shawii* Roem. & Schult.) به‌صورت پراکنده وجود دارد (شکل ۱). خاک قطعات نمونه سبک، شنی تا شنی–لومی و پوشش چوبی منطقه، گونهٔ گبر (*Acacia tortilis* forssk. Hayne) و درختچهٔ دهیر *Lycium shawii* Roem. & Schult است و پوشش‌کف غالب گونه علفی چندسالهٔ رمس (*Hammada salicornica* (Moq.) Iljin) است. پوشش گیاهی یک‌ساله پس از بارندگی مناسب، به‌صورت فصلی در منطقه مشاهده می‌شود. از نظر سابقهٔ مداخلات انسانی، در مطالعهٔ حاضر سابقه و شدت اختلالات انسانی به‌صورت کمی اندازه‌گیری نشد و بنابراین نمی‌توان اثر مستقل عواملی مانند چرای دام یا بهره‌برداری را بر ویژگی‌های ساختاری توده‌ها تعیین کرد. با این حال، با توجه به ماهیت مناطق خشک و اهمیت حفاظتی این رویشگاه‌ها، عوامل انسانی و طبیعی به‌عنوان عوامل بالقوه مؤثر بر ساختار توده و تجدید حیات در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گرفتند [۱۳]. مشخصات هر دو قطعه‌نمونه در جدول ۱ ارائه شده است.

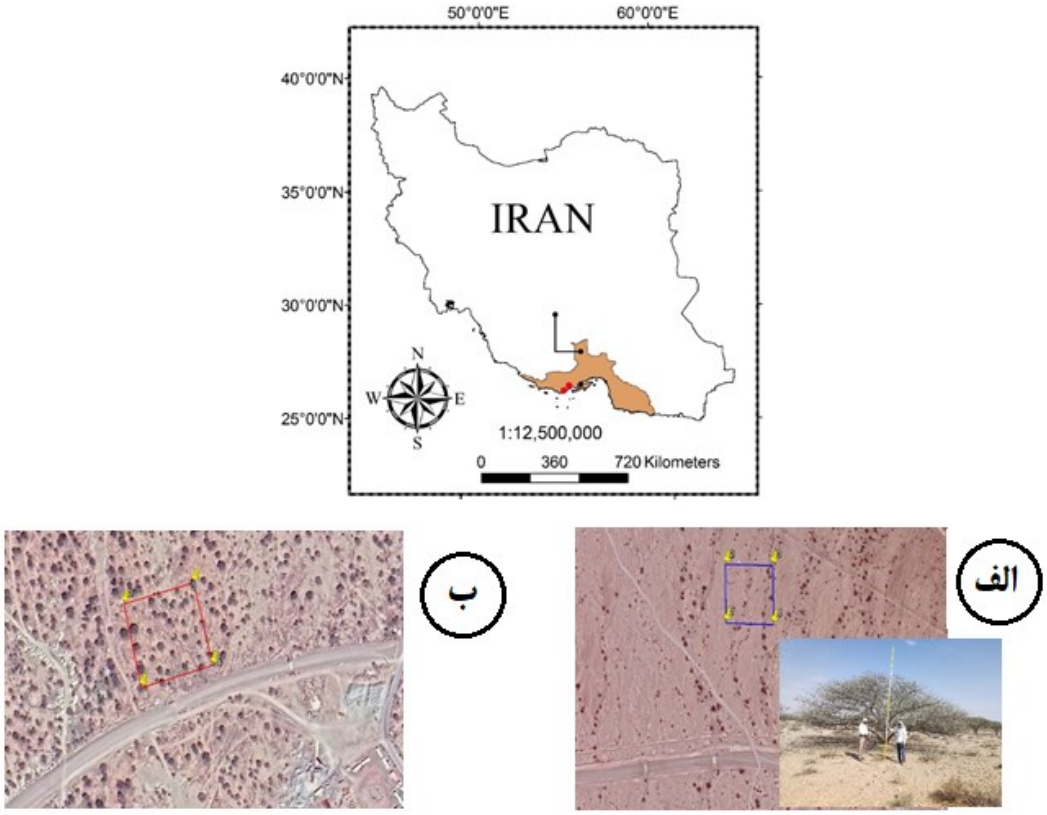
۲–۲. روش پژوهش

۲–۲–۱. برداشت ویژگی‌های کمی توده

به‌منظور استخراج خصوصیات کمی درختان در جنگل‌های گبر، قطعات نمونه‌ای به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر (معادل یک هکتار) به صورت تصادفی از انتخاب شد که نمایندهٔ وضعیت رویشگاهی جامعهٔ گیاهی مورد نظر بود. پس از تعیین و پیاده‌سازی قطعات نمونه، آماربرداری کامل (کنترل سوئیسی یا ۱۰۰درصد) از تمامی درختان موجود در هر دو قطعه‌نمونه طی یک دورهٔ برداشت در سال ۱۴۰۰ انجام شد. در این مرحله، پارامترهای کمی درختان شامل قطر یقه (COD)[۱]، قطرهای کوچک و بزرگ تاج (به‌منظور محاسبه سطح تاج)، تراکم و ارتفاع کلیهٔ درختان اندازه‌گیری شد (شکل ۱، الف). همچنین زادآوری درختان با قطر کمتر از ۱ سانتی‌متر در

[۱] Collar Diameter (COD)

ارتفاع ۳۰ سانتی‌متری از یقه، به‌عنوان نهال شمارش شدند. تمامی درختان موجود در قطعات نمونه اندازه‌گیری و مختصات مکانی آنها ثبت شد. موقعیت هر درخت با استفاده از روش فاصله–آزیموت تعیین شد؛ بدین‌صورت که پس از انتخاب یک نقطهٔ مرجع در هر قطعه، فاصله و زاویهٔ آزیموت هر درخت به‌ترتیب با دستگاه VERTEX و قطب‌نمای Suunto اندازه‌گیری شد. همچنین با توجه به اهمیت خشک‌دارها در بوم‌سازگان‌های جنگلی، تعداد خشک‌دارها و وضعیت کیفی آنها نیز براساس روش Akala (۲۰۱۰) (جدول ۲) طبقه‌بندی و ارزیابی شد [۱۴].



شکل ۱. موقعیت قطعات نمونهٔ جنگل گبر در کنگ (الف) و حمیران (ب)

جدول ۱. مشخصات قطعات نمونه

قطعه‌نمونه	شیب منطقه (درصد)	ارتفاع از سطح دریا (متر)	مختصات محدوده		خاک
			Y	X	
حمیران	۳	۶	۲۹۵۴۸۷۷/۵۶	۳۰۸۸۹۶/۲۰	سبک، شنی تا شنی–لومی
			۲۹۵۴۹۶۴/۸۶	۳۰۸۸۵۳/۴۰	
			۲۹۵۵۰۰۶/۶۴	۳۰۸۹۴۶/۴۹	
			۲۹۵۴۹۱۸/۲۰	۳۰۸۹۹۰/۰۶	
کنگ	۲	۵	۲۹۴۵۶۳۶/۹۴	۲۹۴۴۷۷/۸۸	سبک، شنی تا شنی–لومی
			۲۹۴۵۷۳۷/۴۳	۲۹۴۴۷۰/۴۸	
			۲۹۴۵۷۴۶/۶۶	۲۹۴۵۶۸/۷۹	
			۲۹۴۵۶۴۷/۱۸	۲۹۴۵۷۸/۷۶	

جدول ۲. تقسیم‌بندی طبقه‌های پوسیدگی خشک‌دارها بر اساس ویژگی‌های آن‌ها [۱۴]

درجه پوسیدگی	نوع خشک‌دار	توضیحات
یک	افتاده یا سرپا	شاخه‌های کوچک همراه با حداقل چند شاخ و برگ هنوز پیوسته.
دو	افتاده یا سرپا	فقدان شاخ و برگ. جوانه‌های کوچک هنوز حضور دارند.
سه	افتاده یا سرپا	فقدان کوچک‌ترین جوانه‌ها، بیشتر شاخه‌های بزرگ کماکان حضور دارند.
چهار	افتاده	احتمالاً تنها کمی از شاخه‌های بزرگ حضور دارند، پایه‌ها گرد شده‌اند.
پنج	سرپا	شاخه‌های بزرگ شکسته شده‌اند، تنها کمی از آنها احتمالاً وجود دارند.
شش	افتاده	شاخه‌ای وجود ندارد، گرده بینه شکل و حالت خود را از دست داده است.
هفت	سرپا	ارتفاع کمتر از ۲ متر، بسیار تخریب یافته و شاخه‌ها از بین رفته‌اند.

۲-۲-۲. تحلیل ساختار و الگوی پراکنش مکانی جنگل

به‌منظور ارزیابی ویژگی‌های ساختاری و الگوی پراکنش مکانی درختان در توده‌های مورد مطالعه، از شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. برای هر درخت مرجع، چهار نزدیک‌ترین همسایه تعیین و تمامی شاخص‌ها براساس روابط مکانی و ابعادی میان درخت مرجع و همسایگان محاسبه شدند. این روش امکان ارزیابی همزمان الگوی پراکنش، تنوع گونه‌ای، رقابت و ناهمگنی ابعادی درختان را فراهم می‌کند [۱۵]. به‌منظور گردآوری داده‌های صحرایی، مختصات دکارتی درختان با استفاده از روابط مثلثاتی محاسبه و برای تحلیل‌های ساختاری مورد استفاده قرار گرفت[۱۶] .

الگوی پراکنش مکانی درختان با استفاده از شاخص زاویهٔ یکنواخت[۱] و شاخص کلارک و ایوانز[۲] ارزیابی شد. شاخص W نوع آرایش فضایی درختان را براساس زاویهٔ بین همسایگان مشخص می‌کند، در حالی‌که شاخص CE با مقایسهٔ فاصلهٔ مشاهده‌شده و فاصلهٔ مورد انتظار تحت فرض پراکنش تصادفی، نوع الگوی پراکنش را تعیین می‌کند. در تفسیر شاخص CE، مقادیر کمتر از ۱ نشان‌دهندهٔ تمایل به الگوی کپه‌ای، مقدار ۱ بیانگر الگوی تصادفی و مقادیر بیشتر از ۱ نشان‌دهندهٔ تمایل به الگوی یکنواخت است. تشریح شاخص‌های مورد استفاده و روابط محاسباتی آنها در جدول ۲ ارائه شده است [۱۷، ۱۸].

به‌منظور بررسی ویژگی‌های همسایگی و رقابت، از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه[۳] و شاخص فاصلهٔ همسایگی[۴] استفاده شد. شاخص NND میانگین فاصله درخت مرجع تا نزدیک‌ترین همسایه را بیان می‌کند، در حالی‌که NDI شدت رقابت فضایی میان درخت مرجع و همسایگان را نشان می‌دهد؛ به‌گونه‌ای که مقادیر کمتر بیانگر رقابت شدیدتر است [۱۹].

برای ارزیابی تنوع گونه‌ای و ناهمگنی ابعادی توده‌ها، به‌ترتیب شاخص آمیختگی[۵]، شاخص تمایز قطری[۶] و شاخص تمایز ارتفاعی[۷] محاسبه شدند. شاخص Mi میزان اختلاط گونه‌ای در اطراف هر درخت را نشان می‌دهد، در حالی‌که شاخص‌های TD و HD به‌ترتیب اختلاف قطر و ارتفاع درخت مرجع نسبت به همسایگان را بیان می‌کنند؛ مقادیر بالاتر این شاخص‌ها بیانگر ناهمگنی بیشتر در ساختار توده است [۲۰].

علاوه بر این، شاخص چیرگی قطری برای ارزیابی برتری نسبی درخت مرجع از نظر قطر نسبت به همسایگان محاسبه شد. در

---

۱ Uniform Angle Index; W

۲ Clark and Evans Index; CE

۳ Nearest Neighbor Distance; NND

۴ Neighborhood Distance Index; NDI

۵ Mingling Index; Mi

۶ Diameter Differentiation; TD

۷ Height Differentiation; HD

نهایت، به‌منظور بررسی پیچیدگی کلی ساختار توده، شاخص تنوع ساختار ترکیبی[۱] مورد استفاده قرار گرفت. این شاخص با تلفیق اطلاعات مربوط به موقعیت مکانی، آمیختگی گونه‌ای و ناهمگنی ابعادی، تصویری جامع از تنوع ساختاری توده‌های جنگلی ارائه می‌دهد [۲۰]. تشریح شاخص‌های مورد استفاده در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. تشریح شاخص‌های مورد استفاده به‌منظور کمی‌سازی ویژگی‌های ساختاری جنگل

ویژگی	شاخص	رابطه	تشریح	منبع
تراکم درختان	فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها	$D_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} S_{ij}$	فاصله درخت مرجع= S_{ij} تا همسایه‌ها	[۱۹]
موقعیت مکانی	زاویهٔ یکنواخت	$W_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} v_{ij}$	$v_{ij}=\begin{bmatrix}1 \rightarrow & \alpha_j<\alpha_0\\ 0 \rightarrow & \alpha_j\geq\alpha_0\end{bmatrix}$	[۲۰]
موقعیت مکانی	زاویهٔ جهت‌دار	$R_i = \sqrt{1+\left(\sum_{j=2}^{n}\cos(a_{ij})\right)^2+\left(\sum_{j=2}^{n}\sin(a_{ij})\right)^2}$	زاویهٔ بین درختان i و j α_{ij}	[۲۰]
آمیختگی	آمیختگی	$M_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} V_{ij}$	$v_{ij}=\begin{bmatrix}1 \rightarrow j \text{ گونهٔ} & \neq i \text{ گونهٔ}\\ 0 \rightarrow j \text{ گونهٔ} & = i \text{ گونهٔ}\end{bmatrix}$	Pastorella & Paletto, 2013
ابعاد درختان	تمایز قطری و تاج درختان	$T_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4}(1-r_{ij})$	$r_{ij}=\frac{\min(X_i,X_j)}{\max(X_i,X_j)}$	[۱۹و۲۰]
ابعاد درختان	چیرگی قطر برابر سینه و تاج پوشش	$TD_i = \frac{1}{3}\sum_{j=1}^{3} v_{ij}$ $v_{ij}=\begin{bmatrix}1 \rightarrow DBH_i \geq DBH_j\\ 0 \rightarrow DBH_i < DBH_j\end{bmatrix}$	DBH= قطر برابر سینه	[۱۵]
سطح تنوع درختی	تنوع ساختاری ترکیبی	$SI = (T_i \times w_1)+(M_i \times w_2)+(W_i \times w_3)$	شاخص اختلاف ابعاد = T_i شاخص مینگلینگ= M_i شاخص زاویه یکنواخت = W_i	[۲۰و۲۱]
رقابت تاجی	فاصله همسایگی	$Di = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n} sj$	فاصلهٔ بین درخت مرجع با درختان همسایه = Sj	[۲۲]

۲-۲-۳. روش آماری

به‌منظور تحلیل ویژگی‌های ساختاری توده‌های مورد مطالعه، داده‌ها در نرم‌افزارهای Excel 2019 و SPSS 26 پردازش و تجزیه‌وتحلیل شدند. همچنین، شاخص‌های ساختاری با استفاده از نرم‌افزار Crancod (نسخهٔ ۳,۱) محاسبه شدند.

۳. یافته‌های پژوهش و بحث

۳-۱. آماره‌های توصیفی درختان دو توده گبر

در قطعه‌نمونهٔ حمیران ۴۹ و در ذخیره‌گاه کنگ ۶۰ درخت در هکتار، بدون احتساب خشک‌دارها، وجود داشت. میانگین قطر یقه، مساحت تاج و ارتفاع درختان در ذخیره‌گاه کنگ بیشتر از تودهٔ حمیران بود؛ به‌طوری‌که میانگین قطر یقه، مساحت تاج و ارتفاع درختان در این توده به‌ترتیب ۱۶/۴۹ سانتی‌متر، ۴۲/۸۸ مترمربع و ۳/۵۸ متر به‌دست آمد. در مقابل، تراکم تجدیدحیات در حمیران با ۶۰ پایه در هکتار، بیشتر از قطعه‌نمونهٔ کنگ با ۲۲ پایه در هکتار بود. همچنین، مجموع مساحت تاج گونهٔ گبر در حمیران و بندر کنگ به‌ترتیب ۵۳۹/۴۹ و ۲۵۷۲/۸۵ مترمربع در هکتار، معادل ۵/۳۹ و ۲۵/۷۲ درصد تاج‌پوشش، برآورد شد (جدول ۴).

تفاوت در ابعاد درختان و تراکم تجدیدحیات نشان می‌دهد که دو تودهٔ مورد مطالعه، علی‌رغم تعلق به یک گونه، از نظر وضعیت ساختاری و روند پویایی جمعیت متفاوت هستند. میانگین بیشتر قطر، ارتفاع و مساحت تاج درختان در کنگ، در کنار تراکم کمتر تجدیدحیات، می‌تواند نشان‌دهندهٔ توده‌ای با درختان بزرگ‌تر و ساختار بالغ‌تر باشد؛ در حالی که تراکم بالاتر تجدیدحیات در حمیران بیانگر ظرفیت بیشتر

[۱] Structural Diversity Index; SDI

استقرار افراد جدید در این توده است. به‌طور کلی، ساختار قطری و ارتفاعی از مهم‌ترین شاخص‌های ارزیابی وضعیت تکاملی توده‌های جنگلی به‌شمار می‌رود، زیرا حاصل برهم‌کنش فرآیندهای استقرار، رشد، رقابت و مرگ‌ومیر در طول زمان است [۳].

تفاوت‌های مشاهده‌شده را می‌توان تا حد زیادی به شرایط اکولوژیک متفاوت دو رویشگاه نسبت داد. در جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک، رشد درختان بیش از هر عامل دیگری تحت تأثیر محدودیت منابع آب، دمای بالا، شوری خاک و فقر مواد غذایی قرار دارد و این شرایط می‌تواند موجب کاهش سرعت رشد قطری و ارتفاعی شود [۲۳]. در مقابل، رویشگاه‌هایی که از اختلالات انسانی کمتری برخوردارند، معمولاً فرصت بیشتری برای تداوم رشد درختان و شکل‌گیری ساختارهای بالغ پیدا می‌کنند. بنابراین، ابعاد بزرگ‌تر درختان در ذخیره‌گاه کنگ می‌تواند با تفاوت در شرایط رویشگاهی، شدت اختلالات انسانی و استمرار رشد درختان در طول زمان مرتبط باشد. با این حال، از آنجا که ویژگی‌های خاک و سایر عوامل محیطی در مطالعهٔ حاضر مستقیماً اندازه‌گیری نشدند، این عوامل صرفاً به‌عنوان توضیحات احتمالی در نظر گرفته می‌شوند و نمی‌توان نقش مستقل هر یک را به‌طور قطعی تعیین کرد. از سوی دیگر، تراکم بیشتر تجدیدحیات در حمیران نشان‌دهندهٔ ظرفیت مناسب این توده برای استقرار طبیعی افراد جدید است، هرچند موفقیت این نهال‌ها در ورود به طبقات قطری بالاتر می‌تواند تحت تأثیر تنش‌های اقلیمی، چرای دام و سایر عوامل انسانی و طبیعی قرار گیرد. مطالعات انجام‌شده در جنگل‌های خشک نیز نشان داده‌اند که تفاوت در ساختار توده‌ها معمولاً تحت تأثیر شرایط محیطی، ویژگی‌های خاک، وضعیت حفاظتی و سابقه بهره‌برداری است و تنها به اختلاف سنی درختان محدود نمی‌شود [۲۴، ۲۵].

جدول ٤. آماره‌های توصیفی مورد بررسی در قطعه نمونه

قطعه نمونه	میانگین جست هر پایه	میانگین قطر یقه (سانتی‌متر)	میانگین ارتفاع (متر)	تراکم در هکتار	میانگین مساحت تاج (متر مربع)	مساحت تاج در هکتار (متر مربع در هکتار)	درصد تاج پوشش در هکتار	تراکم تجدید حیات در هکتار
حمیران	۲/۰۴±۰/۲۹	۱۱/۵۸±۱/۰۳	۱/۹۷±۰/۰۸	۴۹	۱۱/۰۱±۱/۰۹	۵۳۹/۴۹	۵/۳۹	۶۰
کنگ	۲±۰/۲۶	۱۶/۴۹±۱/۱۴	۳/۵۸±۱/۱۳	۶۰	۴۲/۸۸±۳/۹۰	۲۵۷۲/۸۵	۲۵/۷۲	۲۲

۳-۲. ویژگی‌های ساختاری درختان

۳-۲-۱. قطر و ارتفاع درختان

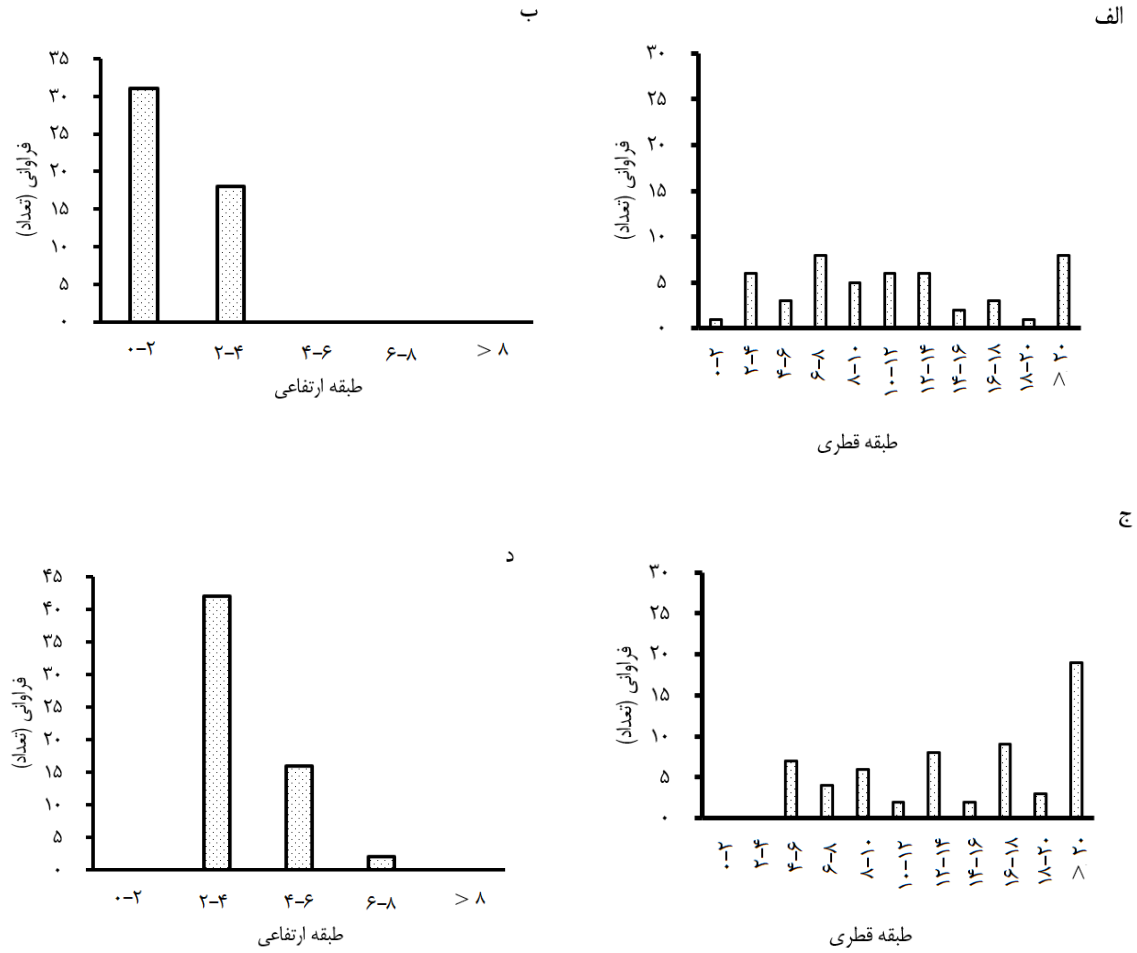
بررسی توزیع قطری نشان داد که در رویشگاه حمیران، با افزایش قطر، روند فراوانی درختان تغییر محسوسی نداشت و بیشترین پراکنش در طبقات قطری ۲ تا ۱۴ سانتی‌متر مشاهده شد. فراوانی درختان گبر از قطر ۱۴ سانتی‌متر روند کاهشی داشت و سپس در قطرهای بیش از ۲۰ سانتی‌متر افزایش یافت (شکل ۲، الف و ج). در تودهٔ گبر بندرکنگ، فراوانی درختان از طبقهٔ قطری ۴ سانتی‌متر آغاز شد و توزیع آنها در طبقات مختلف، الگوی منظمی نداشت؛ با این حال، بیشترین فراوانی در طبقات قطری بیش از ۲۰ سانتی‌متر مشاهده شد. از نظر ارتفاعی نیز، در قطعه‌نمونهٔ حمیران بیشتر درختان در دو طبقهٔ ارتفاعی ابتدایی قرار داشتند و تنها یک درخت در طبقهٔ ارتفاعی میانی مشاهده شد. بیشترین فراوانی در طبقهٔ ارتفاعی ۰ تا ۲ متر، با ۳۱ پایه در هکتار، ثبت شد (شکل ۲، ب). در مقابل، در قطعه‌نمونهٔ کنگ پراکنش درختان عمدتاً در طبقات ارتفاعی ۲ تا ۶ متر قرار داشت و ۷۰ درصد درختان گبر در طبقهٔ ارتفاعی ۲ تا ۴ متر مشاهده شدند (شکل ۲، د).

الگوی توزیع قطری و ارتفاعی، تفاوت آشکار دو توده را از نظر ساختار سنی – ابعادی نشان می‌دهد. غلبه افراد کم‌قطر و کوتاه‌تر در حمیران، همراه با تراکم بیشتر تجدیدحیات، می‌تواند بیانگر حضور افراد جوان و مراحل مختلف استقرار در این توده باشد؛ در حالی که فراوانی بیشتر درختان با قطر و ارتفاع بالاتر در کنگ، با وضعیت بالغ‌تر این توده مطابقت دارد. با این حال، بدون داده‌های سنی و پایش طولی نمی‌توان تفاوت مشاهده‌شده را مستقیماً به اختلاف سن توده‌ها نسبت داد و احتمال نقش شرایط رویشگاهی و تاریخچهٔ اختلالات نیز باید در نظر گرفته شود.

۳-۲-۲. خشک‌دارها

در تعداد درختان خشک‌دار طی سال‌های مختلف برداشت تغییری مشاهده نشد. همچنین، در توده‌های گبر، در برخی درختان بخشی

از تاج شکسته یا خشکیده بود. بر اساس نتایج، درصد درختان خشک‌دار نسبت به کل درختان توده در کنگ و حمیران به‌ترتیب ۸/۳۳ و ۲۲/۴۴ درصد بود (جدول ۵). درصد بیشتر خشک‌دارها در حمیران می‌تواند نشان‌دهندهٔ شدت بیشتر تنش و مرگ‌ومیر درختان در این رویشگاه باشد. در بوم‌سازگان‌های خشک، محدودیت آب، دمای بالا، رقابت برای منابع و سایر تنش‌های محیطی می‌توانند احتمال خشکیدگی و مرگ درختان را افزایش دهند. همچنین، تفاوت در سابقه اختلالات و شرایط خردرویشگاهی می‌تواند در تفاوت میزان خشک‌دارها بین دو رویشگاه نقش داشته باشد. با این حال، از آنجا که عوامل مستقیم مؤثر بر خشکیدگی در مطالعهٔ حاضر اندازه‌گیری نشدند، این عوامل باید به‌عنوان توضیحات احتمالی در نظر گرفته شوند. در مجموع، تفاوت در میزان خشک‌دارها همراه با تفاوت در ناهمگنی ابعادی نشان می‌دهد که فرآیندهای رشد، استقرار و مرگ‌ومیر در دو توده تحت شرایط متفاوتی عمل کرده‌اند [۲۹].



شکل ۲. توزیع فراوانی متغیر قطر یقه (سانتی‌متر) و ارتفاع (متر) گونهٔ گبر در طبقات قطری و ارتفاعی مختلف در توده‌های حمیران (الف و ب) و کنگ (ج و د)

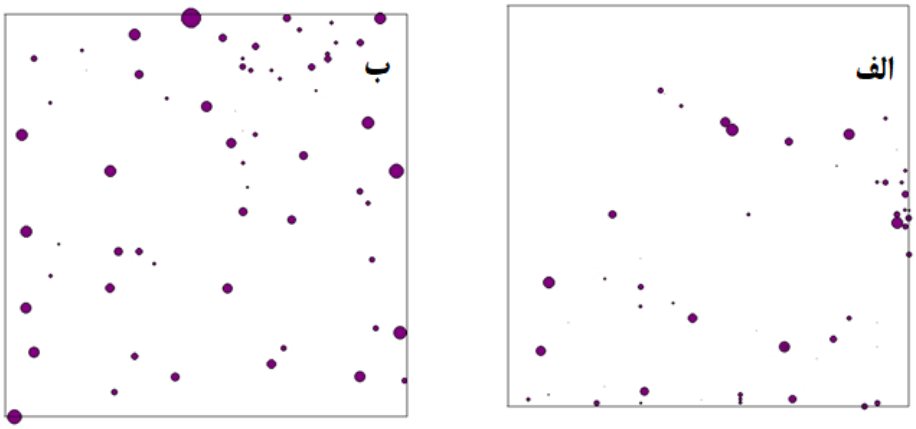
جدول ۵. درصد خشک‌دارهای گونهٔ گبر نسبت به درختان کل توده

توده	درجه پوسیدگی	توضیحات	تعداد	درصد خشک‌دارهای هر توده نسبت به کل درختان قطعه نمونه
گبر (حمیران)	۳	فقدان کوچک‌ترین جوانه‌ها، بیشتر شاخه‌های بزرگ کماکان حضور دارند	۵	۲۲/۴۴
	۵	شاخه‌های بزرگ شکسته شده‌اند، تنها کمی از آنها احتمالاً وجود دارند	۴	
	۷	ارتفاع کمتر از ۲ متر، بسیار تخریب یافته و شاخه‌ها از بین رفته‌اند.	۲	
گبر (کنگ)	۶	شاخه‌ای وجود ندارد، گرده بینه شکل و حالت خود را از دست داده است.	۱	۸/۳۳
	۷	ارتفاع کمتر از ۲ متر، بسیار تخریب یافته و شاخه‌ها از بین رفته‌اند.	۴	

۳-۲-۳. شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیکترین همسایه

به‌منظور بررسی فاصلهٔ درختان در دو توده، از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. مقدار این شاخص در توده‌های حمیران و کنگ به‌ترتیب ۴/۸۳ و ۴/۹۹ متر بود. فاصلهٔ متوسط بین اولین همسایه‌ها نشان‌دهندهٔ فاصلهٔ نسبتاً زیاد بین درختان و احتمال وجود فشار رقابتی متوسط در دو توده است. بر اساس شاخص کلارک و ایوانز، مقادیر ۰/۸۷ در حمیران و ۱/۰۲ در کنگ به‌ترتیب تمایل به الگوی کپه‌ای و الگویی نزدیک به یکنواخت را نشان دادند. در مقابل، شاخص زاویهٔ یکنواخت در حمیران و کنگ به‌ترتیب ۰/۶۲ و ۰/۵۱ به‌دست آمد که در هر دو توده کمتر از مقدار مرجع الگوی یکنواخت بوده و بیانگر تمایل به الگوی مکانی کپه‌ای در استقرار درختان است (جدول ۶ و شکل ۳).

تفاوت مشاهده‌شده بین دو شاخص مکانی را می‌توان به ماهیت متفاوت آنها نسبت داد. شاخص زاویهٔ یکنواخت، روابط زاویه‌ای بین نزدیک‌ترین همسایگان را ارزیابی می‌کند، در حالی که شاخص کلارک و ایوانز بر اساس میانگین فاصلهٔ بین درختان عمل می‌کند و حساسیت متفاوتی نسبت به مقیاس مکانی و تراکم توده دارد [۷]. بنابراین، مشاهده الگوی کپه‌ای بر اساس شاخص زاویهٔ یکنواخت در هر دو توده، در حالی که شاخص کلارک و ایوانز برای کنگ الگویی نزدیک به یکنواخت نشان می‌دهد، لزوماً متناقض نیست و می‌تواند ناشی از تفاوت در مقیاس و ماهیت دو شاخص باشد. مقدار بیشتر شاخص زاویهٔ یکنواخت در حمیران نیز نشان‌دهندهٔ تمایل بیشتر درختان این توده به الگوی کپه‌ای در مقایسه با کنگ است.



شکل ۳. الگوی پراکنش مکانی گونهٔ گبر در حمیران (الف) و کنگ (ب)

جدول ٦. میانگین شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیکترین همسایه در دو توده

شاخص	ویژگی	میانگین شاخص در قطعه نمونه حمیران	میانگین شاخص در قطعه نمونه کنگ	تشریح
شاخص فاصله تا نزدیکترین همسایه	–	۴/۸۳	۴/۹۹	متوسط اولین درخت
شاخص فاصله همسایگی	–	۸/۹۵	۸/۷۹	متوسط ۴ درخت
شاخص زاویهٔ یکنواخت	موقعیت مکانی	۰/۶۲	۰/۵۱	کپه‌ای
شاخص کلارک و ایوانز	موقعیت مکانی	۰/۸۷	۱/۰۲	کپه‌ای، یکنواخت
شاخص آمیختگی	تنوع گونه‌ای	۰	۰	تک گونه
شاخص تمایز قطری	تنوع ابعاد	۰/۶۷	۰/۵۱	زیاد
شاخص تمایز ارتفاعی	تنوع ابعاد	۰/۵	۰/۳۴	متوسط
شاخص چیرگی ابعاد (قطر)	تنوع ابعاد	۰/۵۲	۰/۵۱	آشکار
شاخص تنوع ساختار ترکیبی	موقعیت مکانی، تنوع گونه و ابعاد	۰/۳۰	۰/۲۵	میانگین قطر

الگوی تجمعی درختان یکی از ویژگی‌های رایج بوم‌سازگان‌های خشک است و معمولاً در نتیجه ناهمگنی رطوبت خاک، پراکنش لکه‌ای منابع، محدودیت پراکنش بذر و استقرار نهال‌ها در مجاورت درختان بالغ شکل می‌گیرد. این الگو می‌تواند نوعی راهبرد سازشی در شرایط تنش محیطی باشد، زیرا تجمع درختان ممکن است موجب بهبود شرایط ریزاقلیمی، کاهش تبخیر از سطح خاک و افزایش موفقیت استقرار نهال‌ها شود [۲۵، ۲۶].

نتایج شاخص فاصلهٔ همسایگی نیز نشان داد که در هر دو توده، فاصلهٔ میان درختان نسبتاً زیاد است و رقابت مستقیم برای منابع، در مقایسه با جنگل‌های متراکم، احتمالاً شدت کمتری دارد. با این حال، در بوم‌سازگان‌های خشک، حتی در تراکم‌های پایین نیز رقابت برای آب و مواد غذایی می‌تواند شدید باشد؛ زیرا گسترش ریشه‌ها و محدودیت منابع موجب همپوشانی نواحی جذب آب می‌شود. بنابراین، فاصلهٔ زیاد میان درختان لزوماً به معنای حذف کامل رقابت نیست، بلکه می‌تواند بازتابی از ظرفیت برد پایین رویشگاه و محدودیت منابع باشد [۲۷، ۲۸].

از نظر ترکیب گونه‌ای، شاخص آمیختگی در هر دو توده برابر صفر بود که نشان می‌دهد توده‌های مورد بررسی از نظر ترکیب گونه‌ای درختان، تک‌گونه بوده و سایر گونه‌های درختی در همسایگی افراد گبر مشاهده نشدند. پایین بودن آمیختگی گونه‌ای در این توده‌ها را نمی‌توان به‌تنهایی نشانه کاهش تنوع یا ناپایداری بوم‌سازگان دانست؛ زیرا در بوم‌سازگان‌های خشک و نیمه‌خشک، محدودیت منابع آب، دمای بالا، فقر خاک و شرایط اقلیمی سخت، استقرار و بقای تعداد محدودی از گونه‌های چوبی را امکان‌پذیر می‌کند. در نتیجه، تشکیل توده‌های غالب تک‌گونه‌ای می‌تواند بخشی از ویژگی طبیعی این زیست‌بوم‌ها باشد. مطالعات انجام‌شده بر روی توده‌های طبیعی گبر در مناطق خشک شمال آفریقا و خاورمیانه نیز نشان داده‌اند که غلبهٔ یک گونه و آمیختگی پایین می‌تواند بازتاب سازگاری اکولوژیک گونه با شرایط خشک، محدودیت‌های رویشگاهی و سابقه اختلالات طبیعی و انسانی باشد [۲۳، ۲۵].

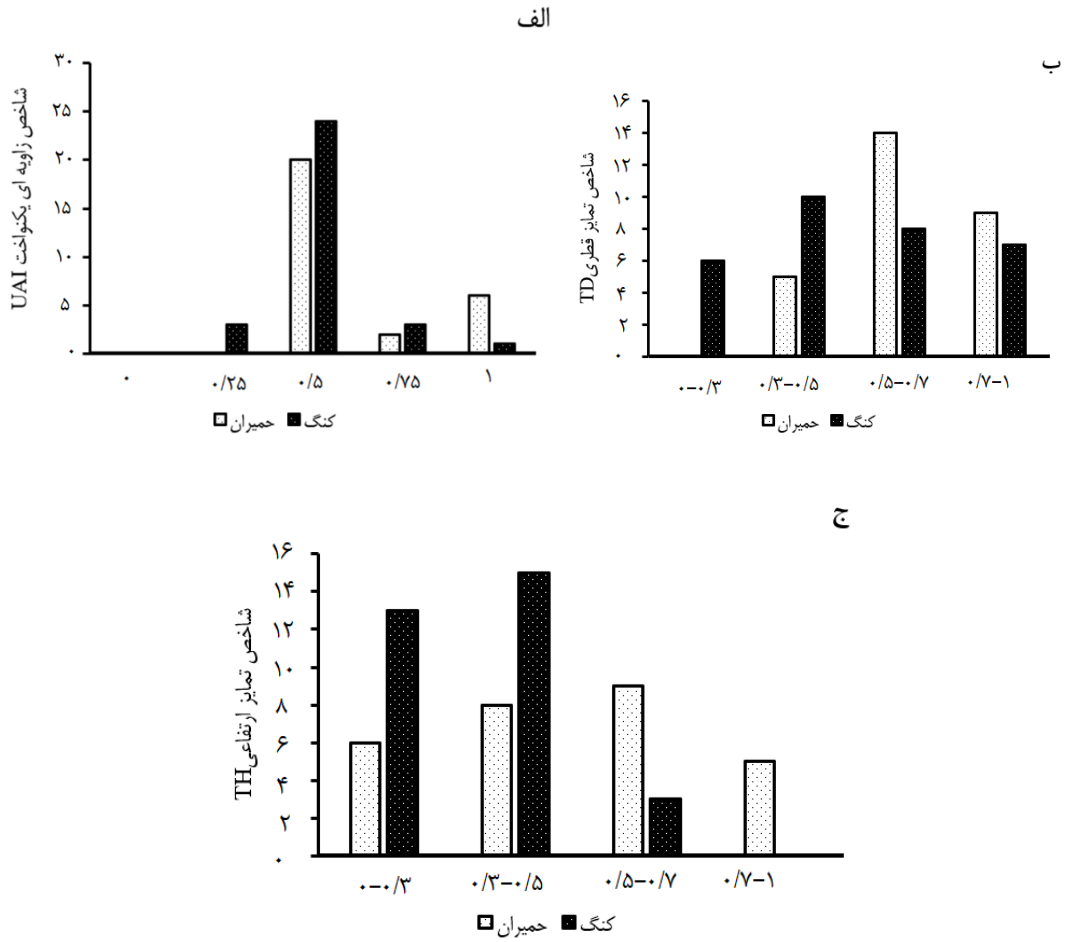
در بعد ساختار قطری، شاخص تمایز قطری در حمیران و کنگ به‌ترتیب ۰/۶۷ و ۰/۵۱ به‌دست آمد که نشان‌دهندهٔ تفاوت نسبتاً زیاد قطر درختان مجاور است. همچنین، شاخص چیرگی قطری بیانگر حضور درختان غالب از نظر قطر در کنار درختان با قطر کمتر بود و در هر دو توده، چیرگی قطری مشاهده شد. شاخص تمایز ارتفاعی نیز در حمیران و کنگ به‌ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۳۴ بود که بیانگر ناهمگنی متوسط در لایه‌بندی عمودی است (جدول ۲).

مقادیر نسبتاً بالای شاخص تمایز قطری و ارتفاعی نشان‌دهندهٔ ناهمگنی ابعادی بین درختان مجاور است. این ناهمگنی معمولاً حاصل تفاوت در سن، سرعت رشد، دسترسی به منابع و شدت رقابت بین درختان است و یکی از مؤلفه‌های مهم پیچیدگی ساختار جنگل محسوب می‌شود [۲۰]. بیشتر بودن این شاخص‌ها در حمیران نشان می‌دهد که اگرچه این توده از نظر ابعاد متوسط درختان کوچک‌تر است، اما از نظر اختلاف ابعادی بین افراد، ناهمگنی بیشتری دارد. این وضعیت می‌تواند ناشی از استقرار همزمان نهال‌ها و درختان مسن‌تر در کنار یکدیگر و همچنین ناهمگنی شرایط خردرویشگاهی باشد. در مقابل، تودهٔ کنگ با وجود برخورداری از درختان بلندتر و قطورتر، از یکنواختی ساختاری بیشتری برخوردار است.

به‌منظور درک بهتر توزیع گروه‌های ساختاری، فراوانی گروه‌های ساختاری در طبقات شاخص‌های زاویه‌ای، تمایز ارتفاعی و قطری بررسی شد (شکل ۳). توزیع ارزش شاخص زاویهٔ یکنواختی نشان داد که گروه‌های ساختاری در طبقهٔ ۰/۵ بیشترین فراوانی را داشتند که حاکی از الگوی تصادفی درختان در داخل کپه‌ها است (شکل ۴، الف). همچنین، فراوانی شاخص‌های تمایز قطری و ارتفاعی در تودهٔ کنگ عمدتاً در طبقهٔ ۰/۵-۰/۳، معادل اختلاف متوسط، و در تودهٔ حمیران در طبقهٔ ۰/۷-۰/۵، معادل اختلاف آشکار، قرار گرفت. این نتایج تأیید می‌کند که ناهمگنی ابعاد قطری و ارتفاعی در حمیران بیشتر از کنگ است و درختان این توده از نظر ابعاد، تنوع بیشتری نسبت به یکدیگر دارند (شکل ۴، ب و ج).

شاخص تنوع ساختار ترکیبی در توده‌های حمیران و کنگ به‌ترتیب ۰/۳۰ و ۰/۲۵ بود که بیانگر پایین بودن پیچیدگی کلی ساختار این توده‌ها است (جدول ۲). اگرچه تمایز قطری در هر دو توده نسبتاً بالا بود، تک‌گونه بودن توده‌ها و محدود بودن تنوع ارتفاعی موجب شده است پیچیدگی کلی ساختار جنگل پایین باقی بماند. این وضعیت احتمالاً حاصل برهم‌کنش چند عامل، از جمله غالب بودن یک گونه، محدود بودن تنوع ارتفاعی و قطری، تراکم پایین درختان و محدودیت‌های محیطی حاکم بر بوم‌سازگان‌های

خشک است. با این حال، پایین بودن شاخص تنوع ساختاری به‌تنهایی نباید به‌عنوان نشانه‌ای از وضعیت نامطلوب یا تخریب توده تلقی شود، زیرا در بسیاری از توده‌های طبیعی *A. tortilis*، شرایط اقلیمی خشک، محدودیت منابع آب و ویژگی‌های اکولوژیک گونه به‌طور طبیعی موجب شکل‌گیری ساختارهای ساده‌تر می‌شوند [۲۵، ۲۳].



شکل ٤. توزیع ارزش‌های شاخص‌های زاویهٔ یکنواختی (الف) تمایز قطری و (ب) ارتفاعی گونهٔ گبر در دو تودهٔ حمیران و کنگ

مقایسهٔ نتایج این پژوهش با مطالعات انجام‌شده در سایر جنگل‌های خشک و نیمه‌خشک ایران نشان می‌دهد که ساختار توده‌های گبر در حمیران و کنگ با برخی الگوهای گزارش‌شده برای جوامع جنگلی ایرانی – تورانی مطابقت دارد. در مطالعه‌ای بر روی جنگل‌های ارس و بنه در منطقهٔ حفاظت‌شدهٔ دوستلو، تفاوت در ساختار توده‌ها و الگوی تجدیدحیات گونه‌های غالب به تفاوت در شرایط رویشگاهی و ویژگی‌های ساختاری توده‌ها نسبت داده شد [۱۰]. همچنین، بررسی ساختار توده‌های جنگلی در اکوسیستم ایرانی ـ تورانی جیش‌آباد، نقش تفاوت در ترکیب گونه‌ای، ساختار توده و الگوی تجدیدحیات را در شکل‌گیری ساختارهای متفاوت جنگلی نشان داد [۱۱].

در مقایسه با این مطالعات، توده‌های گبر مورد بررسی در پژوهش حاضر به‌دلیل تک‌گونه بودن، تراکم پایین و شرایط خشک رویشگاه، ساختار ساده‌تری را نشان دادند؛ با این حال، تفاوت قابل‌توجه در تمایز قطری و ارتفاعی بین دو توده بیانگر وجود ناهمگنی ساختاری در مقیاس فردی است. بنابراین، تفاوت‌های ساختاری مشاهده‌شده در حمیران و کنگ را می‌توان در چارچوب تفاوت شرایط رویشگاهی و تاریخچهٔ شکل‌گیری توده‌ها تفسیر کرد. در مجموع، نتایج نشان می‌دهد که ساختار توده‌های طبیعی گبر حاصل برهم‌کنش ویژگی‌های گونه‌ای، شرایط محیطی، تجدیدحیات و اختلالات گذشته است و حتی در توده‌های تک‌گونه و کم‌تراکم نیز می‌تواند در مقیاس رویشگاه تفاوت قابل‌توجهی داشته باشد.

۴. نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد که توده‌های طبیعی گبر در دو رویشگاه حمیران و کنگ، اگر چه از یک گونه هستند، از نظر ویژگی‌های کمی و ساختار فضایی تفاوت‌های قابل‌توجهی دارند. در کنگ، درختان از نظر قطر یقه، ارتفاع، سطح تاج و درصد تاج‌پوشش وضعیت مطلوب‌تری داشتند؛ در مقابل، حمیران از نظر تجدید حیات طبیعی شرایط بهتری نشان داد و تراکم بیشتر نهال‌ها و زادآوری نشان از ظرفیت مناسب‌تر برای نوسازی طبیعی توده است. در عین حال، درصد بالاتر درختان خشک‌دار در حمیران می‌تواند بیانگر فشار یا تنش بیشتر بر درختان این رویشگاه باشد. نتایج شاخص‌های ساختاری نشان داد که درختان در هر دو رویشگاه عمدتاً به‌صورت تجمعی استقرار یافته‌اند و توده‌ها از نظر تنوع گونه‌ای و پیچیدگی ساختاری، وضعیت نسبتاً ساده‌ای دارند. با این حال، تفاوت در شاخص‌های تمایز قطری و ارتفاعی نشان داد که ناهمگنی ابعاد درختان در حمیران بیشتر از کنگ است. بنابراین، هر دو رویشگاه، شرایط ساختاری یکسانی ندارند و مدیریت آنها نیازمند توجه به ویژگی‌های خاص هر رویشگاه است. بر این اساس، در رویشگاه کنگ، حفاظت از درختان بالغ و حفظ شرایط موجود توده اهمیت بیشتری دارد؛ در حالی‌که در حمیران، حمایت از تجدید حیات طبیعی، کاهش فشار ناشی از چرای دام و جلوگیری از تخریب نهال‌ها و زیستگاه می‌تواند به تداوم و نوسازی توده کمک کند. در نهایت، اطلاعات به‌دست‌آمده از این پژوهش می‌تواند به‌عنوان مطالعات پایه برای پایش تغییرات آینده توده‌های طبیعی گبر مورد استفاده قرار گیرد و مبنایی برای برنامه‌ریزی اقدامات حفاظتی، احیایی و مدیریت پایدار این گونه در جنوب ایران فراهم آورد.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنها است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حمایت مالی

حمایت از این پژوهش از طرف موسسهٔ جنگلها و مراتع کشور در قالب پروژهٔ تحقیقاتی انجام شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: طراحی پژوهش، نظارت بر مراحل انجام پژوهش، تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها. نویسنده دوم: . طراحی پژوهش و همکاری در نگارش مقاله. نویسنده سوم: نگارش و ویرایش مقاله.

بیانیه دسترسی به داده‌ها

داده‌های پژوهش حاضر از طریق درخواست از نویسندگان قابل دسترسی است.

References

[1] Pan, Y., Birdsey, R.A., Fang, J., Houghton, R., Kauppi, P. E., Kurz, W.A., Phillips, O.L., Shvidenko, A., Lewis, S. L., Canadell, J.G., Ciais, P., Jackson, R.B., Pacala, S.W., McGuire, A.D., Piao, S., Rautiainen, A., Sitch, S. & Hayes, D. (2011). A large and persistent carbon sink in the world's forests. *Science*, 333(6045), 988-993. https://doi.org/10.1126/science.1201609

[2] Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2020). Global forest resources assessment 2020: Main report. FAO. https://doi.org/10.4060/ca9825en

[3] Pretzsch, H. (2009). Forest dynamics, growth and yield: From measurement to model. Springer. https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-540-88307-4

[4] Orwa, C., Mutua, A., Kindt, R., Jamnadass, R. & Simons, A. (2009). Agroforestree database: A tree reference and selection guide (Version 4.0). World Agroforestry Centre (ICRAF). https://www.landscapealliance.org/gtkp/resource/agroforestree-database/

[5] Brenan, J.P.M. (1983). Manual on taxonomy of Acacia species: Present taxonomy of four species of Acacia (*A. albida*, *A. senegal*, *A. nilotica* and *A. tortilis*). FAO.

[6] Najafi Shabankareh, H. (2003). Flora and vegetation of Hormozgan Province. Shiraz University Press. [In Persian]

[7] Khazaei-Poul, M., Eshaghi-Rad, J., Akhavan, R., & Swazcek, J. (2026). Analysis of forest structure in Iran: A review of research and findings in forest ecosystems of Iran. *Forest Research and Development*, 11(4), 445–478. https://jfrd.urmia.ac.ir/article_121771.html?lang=en

[8] Soroush, Z., Fathizadeh, A., Jamshidi Bakhtiar, A., Shabanian, N. & Namiranian, M. (2021). Horizontal and vertical structure of northern Zagros forests in relation to traditional forest management (Case study: Hawareh Khoul forests, Baneh County). *Iranian Journal of Forest Ecology*, 9(17), 62–74.

[9] Iranmanesh, Y., Pourhashemi, M., Jahanbazi Goujani, H., Heidari, M., Fani, B., Parsapour, M.K. & Mokhtarpour, T. (2024). Assessment of canopy cover changes in the northern and southern Zagros forests (Case study: Kurdistan and Chaharmahal and Bakhtiari Provinces). *Iranian Journal of Forest and Wood Products*, 77(2), 139-152. 10.22059/jfwp.2024.371768.1282

[10] Rostami-Kia, Y., Sagheb-Talebi, Kh. & Anbaran, M. S. (2025). Evaluation of the stand structure of *Juniperus excelsa* and *Pistacia atlantica* forests in the Irano-Turanian region (Case study: Doustlou Protected Area, Ardabil Province). *Iranian Journal of Forest and Wood Products*, 27(2), 112–142. (In Persian) https://doi.org/10.22059/jfwp.2025.390576.1337

[11] Aghajani, F., & Akbari-Rad, P. (2025). Analysis of forest stand structure and regeneration patterns of tree and shrub species in the Irano-Turanian ecosystem (Case study: Jishabad, Tarom). *Iranian Journal of Forest and Wood Products*, 20(5), 423-430. https://doi.org/10.22059/jfwp.2025.397154.1350 [In Persian]

[12] Poron, S., Yavari, Gh., & Rezazadeh, M. (2019). Climatic classification of Hormozgan Province based on the Litynski method. *Quarterly Journal of Physical Geography*, 46, 45–59. [In Persian]

[13] Moslehi, M., Dinarvand, M. & Sadeghi, S.M. (2026). Temporal changes and biodiversity indices of understory vegetation in a pure Acacia tortilis (Forssk.) Hayne stand (Case study: Bandar Kong Gaber forest stand). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*. https://doi.org/10.22092/ijfpr.2026.371022.2207

[14] Akala, T. (2010). Coarse woody debris in late-successional *Picea abies* forests in northern Europe: Variability in quantities and models of decay class dynamics. Forest Ecology and Management, 260(5), 770–779. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.05.035

[15] Graz, P.F. (2004). The behavior of the species mingling index Msp in relation to species dominance and dispersion. *European Journal of Forest Research*, 123, 87-92. DOI: 10.1007/s10342-004-0016-8

[16] Gorji Bahri, Y. (2001). Evaluation of site quality of Caucasian alder (*Alnus subcordata* C. A. Mey.) in the Hyrcanian region (Western Mazandaran Province). *Iranian Poplar and Forest Research*, 4(1), 1-24. [In Persian]

[17] Clark, P.J. & Evans, F. C. (1954). Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. *Ecology*, 35(4), 445-453. https://doi.org/10.2307/1931034

[18] Kint, V., De Wulf, R. & Noël, L. (2004). Evaluation of sampling methods for the estimation of structural indices in forest stands. *Ecological Modelling*, 180(4), 461-476. 10.1016/j.ecolmodel.2004.04.032

[19] Ruprecht, H., Dhar, A., Aigner, B., Oitzinger, G., Raphael, K. & Vacik, H. (2010). Structural diversity of English yew (*Taxus baccata* L.) populations. *European Journal of Forest Research*, 129, 189-198. DOI: 10.1007/s10342-009-0312-4

[20] Szmyt, J. & Dobrowolska, D. (2016). Spatial diversity of forest regeneration after catastrophic wind in northeastern Poland. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 9(3), 414-421. https://doi.org/10.3832/ifor1699-008

[21] Pastorella, F. & Paletto, A. (2013). Stand structure indices as tools to support forest management: an application in Trentino forests (Italy). *Journal of Forest Science*, 59(4), 159-168.

[22] Fuldner, K. (1995). Strukturbeschreibung von Buchen-Edellaubholz Mischwäldern [Describing forest structures in mixed beech-ash-maple–sycamore stands]. Ph.D. thesis, University of Göttingen, Cuvillier Verlag, Göttingen, 163 p. (In German).

[23] Mechergui, K., Altamimi, A.S., Jaouadi, W., Jaouadi, W., Naghmouchi, S. & El Wellani, S. (2021). Modelling current and future potential distributions of *Vachellia tortilis* (Forssk.) Hayne subsp. raddiana (Savi.) Brenan var. raddiana under climate change in Tunisia. *African Journal of Ecology*, 59(3). https://doi.org/10.1111/aje.12892

[24] Abadeh, A. (2024). Evaluation and monitoring forest soils and treelands of Sahara-Sindi region (phase 1): *Acacia tortilis, Acacia ehrenbergiana* and *Prosopis cineraria.* (Research report). Hormozgan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center [In Persian]

[25] Blanco, J., Genin, D. & Carrière, S. M. (2015). The influence of Saharan agro-pastoralism on the structure and dynamics of acacia stands. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 213, 21-31. https://doi.org/10.1016/j.agee.2015.07.013

[26] Kéfi, S., Génin, A., Garcia-Mayor, A., Guirado, E., Cabral, J.S., Berdugo, M., Guerber, J., Solé, R., & Maestre, F.T. (2024). Self-organization as a mechanism of resilience in dryland ecosystems. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 121(6), Article e2305153121. https://doi.org/10.1073/pnas.2305153121

[27] Patou, M., Moradi, S. & Ahmadi Sani, N. (2022). Investigation of the structure, composition, and species diversity of natural and managed forest stands in the northern Zagros forests. *Journal of Forest Research and Development*, 8(3), 311-327. (In Persian) https://doi.org/10.30466/jfrd.2022.54081.1596

[28] Alsafran, M. H. S. A. (2015). Environmental determinants of the ecology and distribution of *Acacia tortilis* under arid conditions in Qatar (Doctoral dissertation). Newcastle University. http://theses.ncl.ac.uk/jspui/handle/10443/2895

[29] Reich, K.F., Kunz, M., Bitter, A.W. & von Oheimb, G. (2022). Do different indices of forest structural heterogeneity yield consistent results?. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 15(5), 424-432. https://doi.org/10.3832/ifor4096-015