



تعیین سطح مناسب قطعه نمونه برای بررسی مشخصه‌های ساختار توده‌های ارس (*Juniperus excelsa* M. Bieb.) در دامنه جنوبی البرز، ذخیره‌گاه امین‌آباد فیروزکوه

زهرا آدبش^{۱*}، وحید اعتماد^۲، هومن روانبخش^۳، مهدی پورهایشی^۴ و محمدعلی زارع چاهوکی^۵

^۱ دانشجوی دکتری علوم زیستی جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، ایران
^۲ دانشیار گروه علوم زیستی جنگل دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، ایران
^۳ دانشیار، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۴ استاد، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران
^۵ استاد گروه احیای مناطق خشک و کوهستانی دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی کرج، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۶/۱۲؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۲۹)

چکیده

مقدمه: تنوع چیدمان گونه‌ای و اندازه‌ای درختان سبب پدید آمدن ویژگی‌های بسیار زیاد و پیچیده در اکوسیستم‌های جنگل می‌شود که نتیجه فعل و انفعالات بین ساختارهای مکانی کوچک‌تر است. ساختار توده جنگلی سه جنبه مهم تنوع الگوی مکانی، تنوع گونه‌ای و تنوع ابعاد درختان را بررسی می‌کند. پژوهش پیش رو با هدف تعیین حداقل سطح قطعه نمونه برای بررسی مشخصه‌های ساختاری توده ارس (*Juniperus excelsa* M. Bieb.) و نیز بررسی تنوع ساختاری این توده‌ها در منطقه امین‌آباد فیروزکوه در ناحیه رویشی ایرانی - تورانی انجام گرفت.

مواد و روش‌ها: سه قطعه نمونه سه‌هکتاری (سه ایستگاه) که هر یک شامل شش قطعه نمونه مربعی تودرتو به مساحت ۰/۵، ۱، ۱/۵، ۲ و ۳ هکتار بود، به صورت تصادفی انتخاب شد. برای همه درختان و درختچه‌های مستقر در هر قطعه نمونه، مشخصات گونه، مختصات مکانی، ارتفاع و متغیرهای تاج شامل قطر بزرگ و قطر عمود بر آن اندازه‌گیری شد. مختصات مکانی درختان با استفاده از GPS چندفرکانسه برداشت شد. به منظور کمی‌سازی ساختار توده‌های تحت بررسی از شاخص‌های زاویه یکنواخت، فاصله همسایگی، آمیختگی مینگلینگ، تمایز ابعاد درختان و چیرگی ابعاد استفاده شد. برای تعیین مناسب‌ترین سطح قطعه نمونه، از منحنی‌های سطح - گونه و مقایسه‌های آماری متغیرها در سطوح مختلف (تجزیه واریانس و آزمون کروסקال والیس) استفاده شد.

نتایج: در منطقه پژوهش، ۱۳ گونه درختی و درختچه‌ای ثبت شد. بررسی تغییرات تعداد گونه با افزایش مساحت قطعه نمونه‌ها نشان داد که با افزایش مساحت قطعه نمونه تا ۱/۵ هکتار، افزایش تعداد گونه اتفاق افتاده است؛ اما پس از آن منحنی روند افقی به خود گرفته و تعداد گونه ثابت شده است، اما دوباره همزمان با افزایش مساحت به سه هکتار، افزایش تعداد گونه رخ داده است. افزایش اول، گونه‌های موجود در جامعه تحت بررسی را پوشش داده، اما افزایش دوم به دلیل خروج از محدوده جامعه گیاهی بوده است. متوسط قطر تاج درختان ارس با تغییر مساحت قطعه نمونه، اختلاف معنی‌داری نشان نداد؛ متوسط ارتفاع درختان ارس نیز در بین قطعه نمونه‌های یک تا سه هکتاری، فاقد اختلاف معنی‌دار بود، اما در ایستگاه اول تفاوت با قطعه نمونه‌های کوچک‌تر معنی‌دار بود. در مقایسه ابعاد درختچه‌ها در اندازه‌های مختلف قطعه نمونه نیز اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد، اما نتایج نشان داد که در مساحت کمتر از یک هکتار ممکن است تعداد کافی پایه‌های درختچه‌ای برای تجزیه و تحلیل موجود نباشد. شاخص زاویه یکنواخت در ایستگاه‌های اول و دوم الگوی تصادفی متمایل به کپه‌ای و در ایستگاه سوم الگوی تصادفی را نشان داد، ولی با تغییر مساحت قطعه نمونه، اختلاف معنی‌داری در الگوی پراکنش درختان و درختچه‌ها مشاهده نشد. در هیچ کدام از ایستگاه‌ها شاخص‌های آمیختگی، تنوع ابعاد و تنوع ساختاری ترکیبی با افزایش سطح از یک تا سه هکتار تفاوت معنی‌داری نشان ندادند، اما در قطعه نمونه‌های کوچک‌تر در موارد مختلف به‌ویژه در ایستگاه‌های اول و سوم اختلاف معنی‌دار مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج این پژوهش، مساحت مناسب برای مطالعات ساختار جنگل‌های ارس یک هکتار برآورد شد. در توده‌هایی با تراکم بیشتر (مثل ایستگاه دوم) با قطعه نمونه ۰/۷۵ هکتاری نیز نتیجه مطلوب به دست می‌آید و برای توده‌هایی با تراکم کمتر (مثل ایستگاه اول) مساحت ۱/۵ هکتار نیز قابل بررسی است. برای ثبت گونه‌های درختی و درختچه‌ای یک جامعه ارس، سطح حدود ۱/۵ هکتار و برای ثبت کامل فلور درختی و درختچه‌ای رویشگاه ارس، سطوح بیشتری (تا ۳ هکتار) نیاز است.

واژه‌های کلیدی: آمیختگی، ایرانی - تورانی، تنوع ابعاد، شاخص زاویه یکنواخت.

مقدمه

جنگل‌های ایرانی- تورانی وسیع‌ترین ناحیه رویشی کشور است و ارتفاعات شمال شرقی کشور، شیب‌های جنوبی البرز و مناطق کویری و مرکزی را در بر می‌گیرد. ناحیه رویشی ایرانی- تورانی از نظر وسعت، مسائل محیط زیستی، حفاظت خاک و توسعه منابع آب از اهمیت فراوانی برخوردار است (Rostamikia & Fattahi, 2021). با توجه به اهمیت جنگل‌های ایرانی- تورانی و وجود تیپ‌های متنوعی از این جنگل‌ها در دامنه جنوبی البرز از جمله تیپ‌های ارس- شیرخشت (*Juniperus excelsa* M. Bieb.- *Cotoneaster* spp.)، ارس- سیاه تنگرس (*J. excelsa*- *Rhamnus*)، ارس- زرشک (*J. excelsa*- *pallasii* Fisch. & C.A.Mey.)، ارس- *excelsa*- *Berberis integerrima* Bunge، پلاخور (*J. excelsa*- *Lonicera nummulariifolia* Jaub. & Spach.) و ارس خالص (Ravanbakhsh et al., 2010)، متأسفانه هنوز روند تخریب در این مناطق ادامه دارد و رویشگاه‌های یادشده در معرض آسیب‌های مختلف قرار دارند. در دهه‌های اخیر، این ناحیه رویشی به دلیل چرای مفرط و بهره‌برداری شدید برای تأمین سوخت با تخریب‌های گسترده مواجه بوده است. این روند سبب نابودی بخش بزرگی از این جنگل‌ها شده است، به طوری که در برخی مناطق، پوشش جنگلی به کلی از بین رفته و تنها بقایای پراکنده و شواهدی از حضور پیشین آنها مشاهده می‌شود (Panahi et al., 2024).

ارس (*J. excelsa*) یکی از مهم‌ترین گونه‌های سوزنی‌برگ در ایران است که در بسیاری از ارتفاعات ناحیه رویشی ایرانی- تورانی، توده‌های جنگلی بسیار ارزشمند و متنوعی را تشکیل می‌دهد (Sabeti, 1994). جنگل‌های ارس ایران در گذشته انبوه و نیمه‌انبوه بودند، ولی نبود مراقبت و حفاظت، آنها را به صورت تنک و پراکنده درآورده است. با توجه به نقش حائز اهمیت این جنگل‌ها در حفظ آب، خاک و مقابله با فرسایش خاک و حفظ غنای زیستی، احیا و توسعه این توده‌ها از

اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. گونه تشکیل‌دهنده جنگل‌های ارس ایران، از گروه ارس‌های ایستاده است که به دلیل نرمش اکولوژیک بیشتر خود، نسبت به بقیه گونه‌های ارس در گستره وسیع‌تری پراکنش دارد (Sagheb Talebi et al., 2014).

ساختار توده، عنصری مهم برای ارزیابی عملکردها و خدمات اکولوژیکی در اکوسیستم‌های جنگلی است. در بررسی ساختار جنگل، به موقعیت مکانی و نحوه قرار گرفتن درختان مختلف در توده و مشخصات آنها مانند نوع گونه، اندازه قطر و ارتفاع، سن و جنسیت درختان توجه می‌شود (Pastorella & Paletto, 2013; Graz, 2004). به عبارتی، ساختار توده جنگلی بر اساس سه ویژگی مهم تنوع الگوی مکانی درختان، تنوع گونه‌ای درختان و تنوع ابعاد درختان بررسی می‌شود (Pommerening, 2002; Aguirre et al., 2003). از طرف دیگر به منظور مدیریت پایدار جنگل‌ها، پایش تغییرات آنها در طول زمان و بررسی ساختار آنها ضرورت دارد. به طوری که تعیین پویایی توده‌های جنگلی با بررسی تغییرات ساختار آنها در طول زمان امکان‌پذیر است (Akhavan & Hasani, 2023). ساختار جنگل مفهوم چندبعدی و پیچیده‌ای است که مجموعه‌ای از ویژگی‌های فردی، گروهی (گروه‌های کوچک) و اجتماعی (گروه‌های بزرگ) درختان و درختچه‌های تشکیل‌دهنده جنگل را در بر می‌گیرد (Rostamikia & Fattahi, 2021). ساختار توده را می‌توان هم از روش بررسی مشخصه‌های ساختاری توده (مانند میانگین قطر، رویه زمینی و ارتفاع غالب) و هم با استفاده از شاخص‌های ساختاری توده (مانند شاخص‌های چیرگی و تمایز قطری، چیرگی و تمایز ارتفاعی، آمیختگی گونه‌ای و الگوی مکانی درختان) توصیف کرد. شاخص‌های ساختاری توده به دو دسته اصلی مکانی و غیرمکانی تفکیک می‌شوند (Gadow & Hui, 2003; Pastorella & Paletto, 2013). شاخص‌های مکانی بر اساس الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه استوارند و به موقعیت

خراسان رضوی بررسی کردند. نتایج نشان داد که شدت رقابت و الگوی پراکنش درختان با مرحله رویشی تغییر کرده و استفاده از آماره‌های مکانی ابزاری مؤثر برای تحلیل ساختار درختی است. (Li et al., 2017) در بررسی روابط نزدیک‌ترین همسایگی در قطعه نمونه با مساحت‌های مختلف در جنگل‌های آمیخته چین نشان دادند که سطوح آمیختگی گونه‌ها در مقیاس‌های مختلف مکانی متفاوت است و الگوهای همسایگی تحت تأثیر اندازه قطعه نمونه قرار می‌گیرد. Akhavan & Rostami Kia (2020) رقابت بین گونه‌ای ارس را در ذخیره‌گاه جنگلی کندیرق با استفاده از آماره O-ring و تابع همبستگی نشان‌دار بررسی کردند. نتایج نشان داد که شدت رقابت بین گونه‌ها و الگوی پراکنش مکانی آنها در توده‌های جنگلی متفاوت است و تحلیل‌های مکانی ابزار مؤثری برای فهم تعاملات گونه‌ای و مدیریت پایدار توده‌های جنگلی ارائه می‌کند. در پژوهشی تأثیر مساحت قطعه نمونه بر کمی‌سازی ساختار جنگل‌های شاخه‌زاد برودار (*Quercus brantii* Lindl.) بررسی شد. نتایج نشان داد که مساحت قطعه نمونه‌ها بر دو شاخص آمیختگی و زاویه یکنواخت تأثیرگذارند (Hosseinzadeh et al., 2022).

پژوهش‌های زیادی در زمینه ساختار و الگوی مکانی توده‌های ارس انجام گرفته است، اما تاکنون پژوهش‌های کمی در داخل یا خارج از کشور با هدف بررسی و تعیین سطح مناسب قطعه نمونه به‌منظور بررسی ساختار توده‌های جنگلی ارس اجرا شده است، پژوهش حاضر با دو هدف تعیین حداقل سطح قطعه نمونه برای بررسی مشخصه‌های ساختاری توده ارس و بررسی تنوع ساختاری این توده‌ها انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

این پژوهش در ذخیره‌گاه جنگلی ارس امین‌آباد در البرز جنوبی در شهرستان فیروزکوه انجام گرفت (شکل ۱). قسمتی از مناطق فوق با تیپ ارس که در

مکانی درختان نیاز دارند (Pommerening & Stoyan, 2006)، اما برای محاسبه شاخص‌های غیرمکانی، به موقعیت مکانی درختان نیازی نیست. تا کنون پژوهش‌های بسیاری در رویشگاه‌های جنگلی ایرانی- تورانی انجام گرفته است (Ravanbakhsh et al., 2010; Aliahmad Korori et al., 2011; Sagheb Talebi et al., 2014; Sadeghi et al., 2016; Ravanbakhsh et al., 2016)، اما همچنان کمبود آمار و اطلاعات دقیق برای تعیین برنامه‌های راهبردی بلندمدت در جنگل‌های ایرانی- تورانی محسوس است؛ بنابراین وجود آمار و تحلیل‌های کمی در این زمینه، اهمیت بسیاری دارد. همچنین به‌دلیل گستردگی و ناهمگنی پراکنش در مناطق کوهستانی و دسترسی دشوار به این جنگل‌ها باید در پی روش‌های نمونه‌برداری با سطح مناسب قطعه نمونه برای کمی‌سازی مشخصه‌های ساختاری این جنگل‌های بارز بود. اندازه قطعه نمونه، عامل مهمی است که دقت برآوردهای آماری متغیرها را تعیین می‌کند (Scott, 1998). (Batube et al., 2013) با هدف تعیین حداقل سطح مناسب قطعه نمونه برای تحلیل الگوی پراکنش مکانی گونه برودار در توده‌های کمتر دخالت‌شده جنگل‌های مریوان، از تابع K رایبلی استفاده کردند. نتایج نشان داد که الگوی پراکنش مکانی درختان جز برای سطح ۰/۲۵ هکتار، کپه‌ای و حداقل سطح مناسب برای این بررسی ۰/۵ هکتار است. Nouri et al. (2016) در پژوهشی به بررسی سطح بهینه قطعه نمونه به‌منظور محاسبه شاخص‌های ساختار مکانی در جنگل‌های راش شمال ایران (*Fagus orientalis* Lipsky) پرداختند. (Alijani et al., 2020) با بررسی شش اندازه قطعه نمونه (یک تا شش هکتار) مناسب‌ترین سطح قطعه نمونه برای تعیین الگوی مکانی درختان ارس در ذخیره‌گاه آتشگاه کرج را سه هکتار تعیین کردند. (Akhavan et al., 2017) الگوی پراکنش و رقابت درون گونه‌ای ارس را در مراحل رویشی مختلف با استفاده از آماره O-ring در جنگل‌های لاین استان

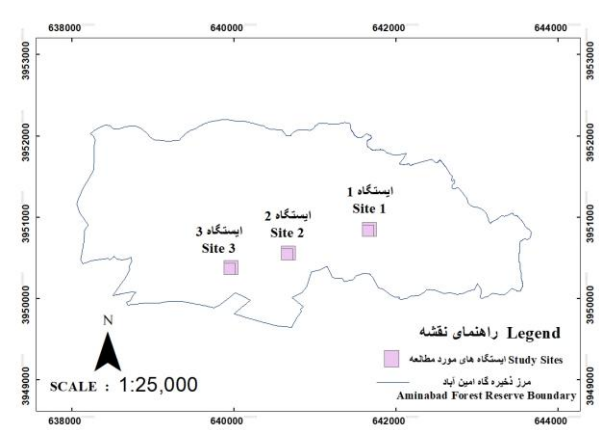
سال دی با درجه حرارت $23/0^{\circ}\text{C}$ - درجه سانتی گراد است.

شیوه اجرای پژوهش

در رویشگاه ارس امین آباد در محدوده مشخص شده، سه قطعه نمونه سه هکتاری (سه ایستگاه) به صورت تصادفی پیاده شد، به طوری که هر قطعه شامل شش قطعه نمونه مربعی تودرتو (حلزونی) به ابعاد $70/7 \times 70/7$ متر (نیم هکتار)، $86/6 \times 86/6$ متر ($0/75$ هکتار)، 100×100 متر (یک هکتار)، $122/5 \times 122/5$ متر ($1/5$ هکتار)، $141/4 \times 141/4$ متر (دو هکتار) و $173/2 \times 173/2$ متر (سه هکتار) بود (شکل های ۱ و ۲) (Pourhashemi et al., 2014). با توجه به تراکم و انبوهی جنگل های ارس دامنه جنوبی البرز و تفاوت های ساختاری، همه درختان و درختچه های دارای ارتفاع بیشتر از $0/5$ متر ثبت و اندازه گیری شدند (Ravanbakhsh et al., 2010). برای همه درختان و درختچه های مستقر در هر قطعه نمونه مشخصات گونه، مختصات مکانی، ارتفاع و با توجه به اهمیت تاج در ساختار جنگل های ایرانی-تورانی، متغیرهای تاج شامل قطر بزرگ و قطر عمود بر آن اندازه گیری شد (Panahi et al., 2024).

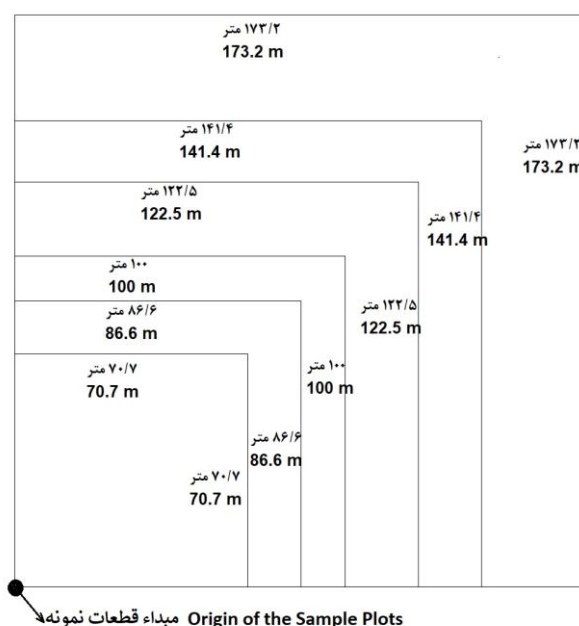
دسترس بود و در آن هیچ عملیات پرورشی، بذرکاری و بهره برداری برنامه ریزی شده انجام نگرفته بود، برای اجرای این پژوهش در نظر گرفته شد. رویشگاه ارس امین آباد به مساحت 613 هکتار در 20 کیلومتری غرب شهرستان فیروزکوه در استان تهران در محدوده طول جغرافیایی $52^{\circ} 33''$ تا $52^{\circ} 35''$ شرقی و عرض جغرافیایی $35^{\circ} 41''$ تا $35^{\circ} 43''$ شمالی قرار دارد. گونه درختی اصلی رویشگاه، ارس و گونه های همراه آن شیرخشت، زرشک، راناس (*Prunus microcarpa* C.A.Mey)، نسترن (*Rosa canina* L.)، بادام کوهی (*Prunus lycioides* (Spach.) C.K.Schneid)، سیاه تنگرس و ولیک (*Crataegus* sp.) هستند (Ravanbakhsh et al., 2016).

بر اساس آمار ایستگاه هواشناسی فیروزکوه واقع در 20 کیلومتری شرق منطقه، در یک دوره آماری 36 ساله از سال 1365 تا 1401 ، متوسط بارندگی منطقه 400 تا 550 میلی متر محاسبه شد. به علت کوهستانی بودن منطقه، مدت سرما و یخبندان طولانی است و بیشتر بارش ها به صورت برف در فصول سرد است. به استناد آمار ایستگاه سینوپتیک سنجش آلودگی فیروزکوه در محدوده طرح، گرم ترین ماه سال تیر با درجه حرارت $28/2^{\circ}\text{C}$ درجه سانتی گراد و سردترین ماه



شکل ۱- موقعیت پلات ها در ذخیره گاه امین آباد

Figure 1. Location of plots in the Aminabad Reserve



شکل ۲- نحوه پیاده‌سازی قطعه نمونه‌های تودرتو برای برداشت ساختار توده‌های ارس
Figure 2. Nested sample plot pattern for studying the structure of juniper stands

روش تحلیل

برای تعیین مناسب‌ترین سطح قطعه نمونه، از منحنی‌های سطح- گونه و مقایسه‌های آماری متغیرهای بررسی شده در سطوح مختلف استفاده شد. مقایسه‌های آماری با استفاده از آنالیز واریانس (ANOVA) (در صورت نرمال بودن داده‌ها) به همراه مقایسه میانگین دانکن و آزمون کروسکال والیس (در صورت نرمال نبودن داده‌ها) به همراه آزمون من ویتنی در محیط نرم‌افزار SPSS 22 انجام گرفت. نمودارها با استفاده از نرم‌افزار اکسل رسم شد.

نتایج

متغیرهای کمی

در مجموع در سه قطعه نمونه سه‌هکتاری، ۱۳ گونه مختلف درختی و درختچه‌ای ارس (*Juniperus excelsa*)، شیرخشت (*Cotoneaster nummularius*)، زرشک (*Berberis integerrima*)، راناس (*Prunus microcarpa*)، نسترن (*Rosa canina*)، پلاخور (*Lonicera nummulariifolia*)، بادام کوهی (*Prunus lycioides*)،

برای تعیین الگوی پراکنش مکانی درختان، مختصات مکانی درختان با استفاده از GPS چندفرکانسه برداشت شد. بدین منظور اطلاعات مربوط به توده‌ها با استفاده از روش آماربرداری صددرصد برداشت شد.

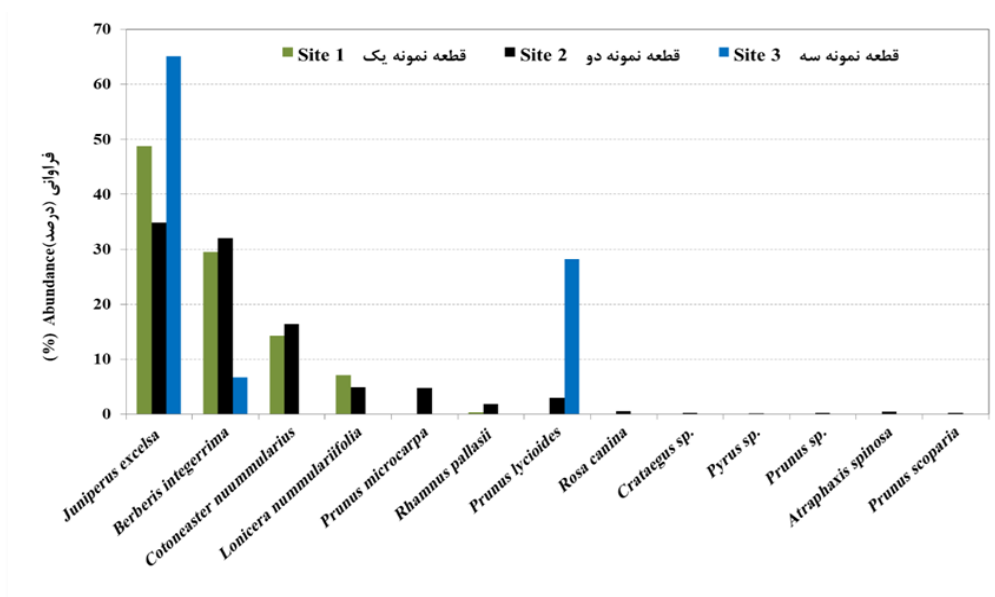
به‌منظور بررسی ویژگی‌های ساختاری این توده‌ها از مجموعه‌ای از شاخص‌های ساختاری استفاده شد و آنالیزهای مربوط با استفاده از نرم‌افزار Crancod ver. 1.4 انجام گرفت. برای تشریح ویژگی‌های ساختاری توده‌های جنگلی تحت بررسی، از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد (جدول ۱). این شاخص‌ها به بررسی ساختار جنگل بر اساس سه ویژگی تنوع الگوی مکانی، تنوع آمیختگی و تنوع ابعاد درختان می‌پردازند. به‌منظور بررسی تنوع موقعیت مکانی درختان از شاخص‌های زاویه یکنواخت و کلارک و ایوانز استفاده شد. برای بررسی آمیختگی گونه‌ای از شاخص آمیختگی مینگلینگ و برای بررسی تنوع ابعاد درختان، از شاخص‌های تمایز و چیرگی سطح تاج‌پوشش استفاده شد. تراکم درختان نیز با استفاده از شاخص فاصله تا همسایه‌ها اندازه‌گیری شد (Pommerening, 2002).

بادامک (*Prunus scoparia* (Spach) C.K.Schneid.)، وحشی (*Prunus* sp.) و گلابی وحشی (*Pyrus* sp.)،
کاروانکش (*Atraphaxis spinosa* L.)، سیاه تنگرس (*Crataegus* sp.)، ولیک (*Rhamnus pallasii*)،
جنگل‌ها گونه درختی ارس بود (شکل ۳).

جدول ۱- شاخص‌های ساختاری استفاده‌شده

Table 1. Structural indicators used

تشریح Description	رابطه Formula	شاخص Index	ویژگی Characteristic
S_{ij} : فاصله درخت مرجع تا همسایه‌ها S_{ij} : Distance of reference tree to neighbors	$D_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 s_{ij}$	فاصله تا همسایه‌ها Distance to neighbors	تراکم درختان Tree density
d_i : فاصله بین درخت مرجع و هر یک از درختان همسایه d_i : The distance between the reference tree and each of the neighboring trees	$\bar{d} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k d_i$	فاصله همسایگی Neighborhood distance	
$v_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow \alpha_j < \alpha_0 \\ 0 \rightarrow \alpha_j \geq \alpha_0 \end{cases}$	$W_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij}$	زاویه یکنواخت Uniform Angle	الگوی مکانی Spatial patterns
$v_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{گونه } i \neq \text{گونه } j \\ 0 \rightarrow \text{گونه } i = \text{گونه } j \end{cases}$	$M_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 v_{ij}$	مینگلینگ Mingling	آمیختگی Mingling
$r_{ij} = \frac{\min(X_i, X_j)}{\max(X_i, X_j)}$	$T_i = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^4 (1 - r_{ij})$	تمایز سطح تاج Crown area Difference	تنوع ابعاد Size diversity
$u_j = \begin{cases} 1, & \text{variable } i > \text{variable } j \\ 0, & \text{Otherwise در غیر اینصورت} \end{cases}$	$TD = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n u_j$	چیرگی سطح تاج Crown area Dominance	
$SI = (T_i \times w_1) + (M_i \times w_2) + (W_i \times w_3)$ T_i شاخص اختلاف ابعاد (مانند سطح تاج یا ارتفاع)، M_i شاخص مینگلینگ (آمیختگی)، W_i شاخص زاویه یکنواخت (نظم فضایی همسایگان)			شاخص ترکیبی تنوع ساختار Complex structural diversity index



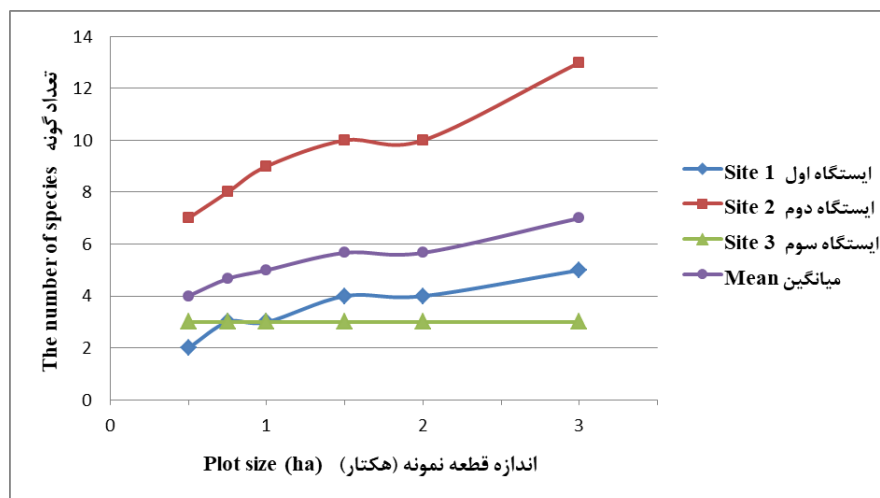
شکل ۳- ترکیب گونه‌های درختی و درختچه‌ای به تفکیک قطعه نمونه‌ها (ایستگاه‌ها) در توده‌های ارس
Figure 3. Composition of tree and shrub species by sample plot in the studied juniper stands

متوسط قطر تاج درختان ارس در قطعه نمونه‌های مختلف اختلاف معنی‌داری نداشت. ارتفاع متوسط درختان ارس نیز در قطعه نمونه‌های ۰/۵ و ۰/۷۵ هکتار ایستگاه اول به‌طور معنی‌داری کمتر از بقیه قطعه نمونه‌ها محاسبه شد و در بین قطعه نمونه‌های یک تا سه هکتاری، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۳).

در مقایسه ابعاد درختچه‌ها در اندازه‌های مختلف قطعه نمونه در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۴)، اما نتایج نشان داد که در مساحت کمتر از یک هکتار ممکن است تعداد کافی پایه‌های درختچه‌ای برای تجزیه و تحلیل موجود نباشد؛ برای مثال در قطعه ۰/۵ هکتاری ایستگاه اول، فقط یک پایه درختچه‌ای و در قطعه ۰/۷۵ هکتاری، شش پایه درختچه‌ای وجود داشت.

بررسی تغییرات تعداد گونه با افزایش مساحت قطعه نمونه‌ها (منحنی سطح - گونه) نشان داد که در مجموع با افزایش مساحت قطعه نمونه تا ۱/۵ هکتار، افزایش تعداد گونه اتفاق افتاده؛ اما بعد از آن منحنی روند افقی به خود گرفته و تعداد گونه ثابت شده، اما دوباره همزمان با افزایش مساحت به سه هکتار، افزایش گونه رخ داده است (شکل ۴).

در مجموع تغییرات اندازه قطعه نمونه بر مقادیر میانگین تراکم (تعداد در هکتار) درختان و درختچه‌ها تأثیر معنی‌داری نشان نداد (جدول ۲)، اما منحنی سطح- تراکم این تغییرات را نشان می‌دهد، به‌طوری که مقادیر تعداد پایه در هکتار از قطعه نمونه به مساحت نیم تا قطعه یک هکتار افزایش داشته و از آن پس ثابت شده است (شکل ۵) و این نشان می‌دهد که قطعه نمونه یک هکتاری سطح مناسبی برای برآورد تعداد در هکتار توده است.



شکل ۴- منحنی تغییر تعداد گونه ثبت شده با تغییر مساحت قطعه نمونه

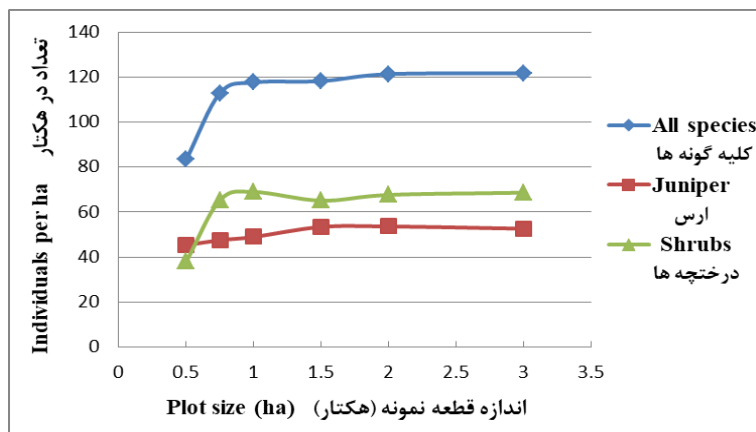
Figure 4. Diagram of the change in the number of recorded species with changing sample plot size

جدول ۲- تغییرات تراکم (تعداد در هکتار) با تغییر اندازه قطعه نمونه‌ها

Table 2. Density changes (number per hectare) with changing sample plot size

مساحت قطعه نمونه (هکتار) Plot size (ha)	تراکم (تعداد در هکتار)			انحراف معیار	
	ایستگاه اول Site 1	ایستگاه دوم Site 2	ایستگاه سوم Site 3	میانگین Mean	Std. Deviation
.50	36	126	88	83	45
.75	44	209	85	113	86
1.00	52	220	81	118	90
1.50	72	201	82	118	72
2.00	78.5	207	79	121	74
3.00	90	206	69	122	74

Chi-Square= 0.228
df= 5
Sig.: 0.999



شکل ۵- منحنی تغییر تعداد افراد ثبت شده در هکتار با تغییر مساحت قطعه نمونه

Figure 5. Diagram of change in the number of individuals per hectare with change in sample plot size

جدول ۳- مشخصات کمی درختان ارس در مساحت های مختلف در قطعه نمونه ها^۱

Table 3. Characteristics of juniper trees in different size in sample plots¹

	مساحت قطعه نمونه (هکتار) Plot size (ha)	ایستگاه اول Site 1			ایستگاه دوم Site 2			ایستگاه سوم Site 3		
		تعداد N	میانگین Mean (m)	انحراف معیار Std. Dev. (m)	تعداد N	میانگین Mean (m)	انحراف معیار Std. Dev. (m)	تعداد N	میانگین Mean (m)	انحراف معیار Std. Dev. (m)
Height (m) ارتفاع (متر)	.50	17	4.78 ^a	0.58	24	4.54 ^{ns}	1.30	27	2.95 ^{ns}	1.71
	.75	27	4.70 ^a	0.57	37	4.34 ^{ns}	1.40	43	2.91 ^{ns}	1.63
	1.00	39	4.50 ^{ab}	0.64	51	4.18 ^{ns}	1.46	56	2.90 ^{ns}	1.55
	1.50	69	4.36 ^b	0.60	86	4.34 ^{ns}	1.21	84	3.01 ^{ns}	1.48
	2.00	94	4.29 ^b	0.59	121	4.23 ^{ns}	1.21	107	2.99 ^{ns}	1.46
	3.00	135	4.21 ^b	0.63	204	4.19 ^{ns}	1.27	135	3.02 ^{ns}	1.44
Average Crown	.50	17	4.93 ^{ns}	0.62	24	4.23 ^{ns}	1.66	27	5.53 ^{ns}	3.67
Diameter (m) قطر (متر)	.75	27	4.93 ^{ns}	0.56	37	4.12 ^{ns}	1.80	43	5.46 ^{ns}	3.46
	1.00	39	5.34 ^{ns}	3.64	51	3.96 ^{ns}	1.78	56	5.41 ^{ns}	3.31
	1.50	69	5.00 ^{ns}	2.80	86	3.92 ^{ns}	1.50	84	5.55 ^{ns}	3.06
	2.00	94	4.85 ^{ns}	2.44	121	3.78 ^{ns}	1.45	107	5.40 ^{ns}	3.01
	3.00	135	4.55 ^{ns}	0.86	204	3.76 ^{ns}	1.40	135	5.32 ^{ns}	2.90

^۱ حروف کوچک مشترک نشان دهنده نبود اختلاف معنی دار در گروه ها هستند.

¹ The common low letters show no significant difference amongst groups.

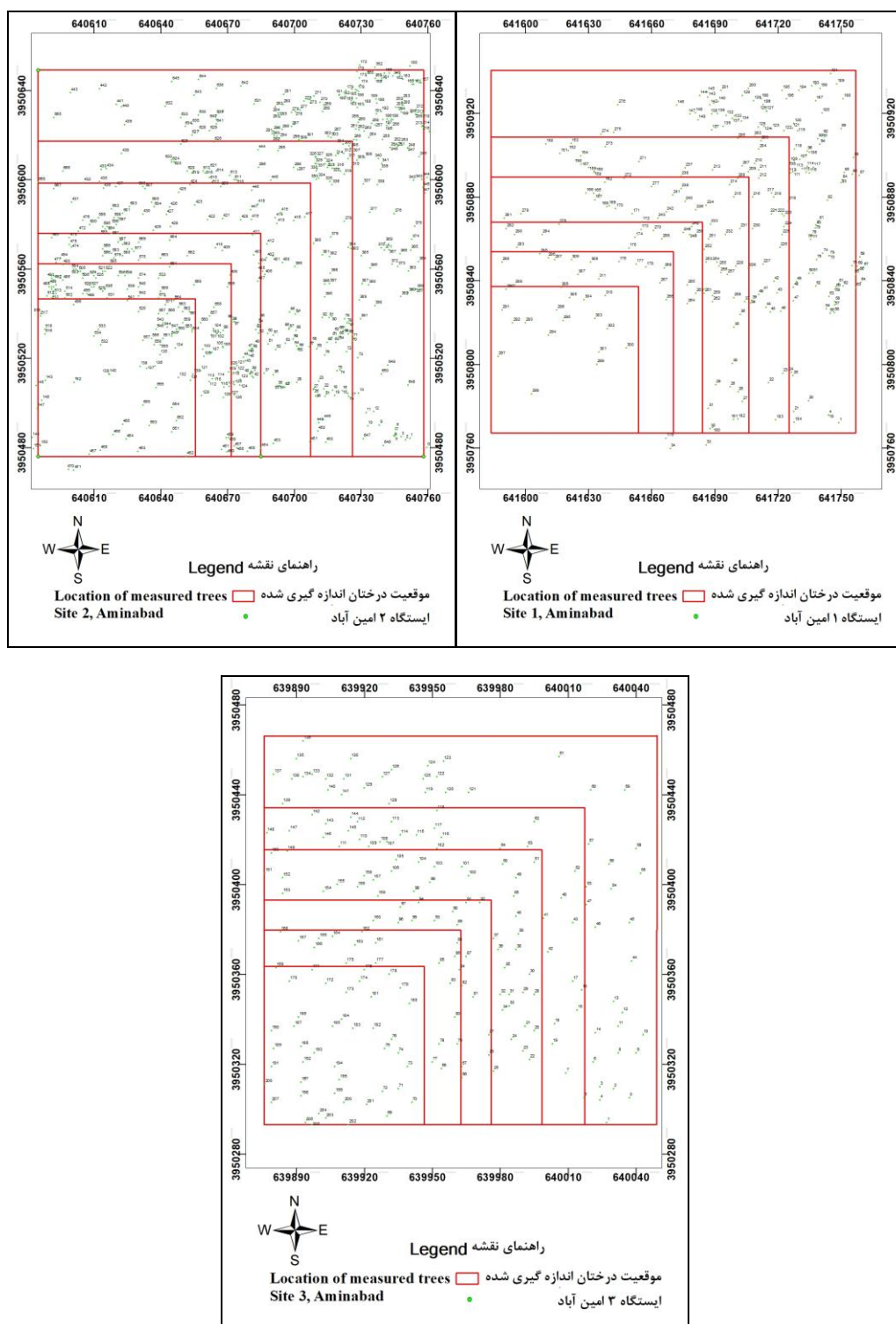
جدول ۴- مشخصات کمی درختچه ها در مساحت های مختلف در قطعه نمونه ها

Table 4. Characteristics of shrubs in different size in sample plots

	مساحت قطعه نمونه (هکتار) Plot size (ha)	ایستگاه اول Site 1			ایستگاه دوم Site 2			ایستگاه سوم Site 3		
		تعداد N	میانگین Mean (m)	انحراف معیار Std. Dev. (m)	تعداد N	میانگین Mean (m)	انحراف معیار Std. Dev. (m)	تعداد N	میانگین Mean (m)	انحراف معیار Std. Dev. (m)
Height (m) ارتفاع (متر)	.50	1	-	-	39	1.63 ^{ns}	0.55	17	1.03 ^{ns}	0.24
	.75	6	1.65 ^{ns}	0.65	120	1.70 ^{ns}	0.61	21	1.01 ^{ns}	0.22
	1.00	13	1.86 ^{ns}	0.53	169	1.69 ^{ns}	0.57	25	1.05 ^{ns}	0.28
	1.50	39	1.62 ^{ns}	0.60	215	1.68 ^{ns}	0.54	39	1.07 ^{ns}	0.26
	2.00	63	1.62 ^{ns}	0.61	292	1.65 ^{ns}	0.51	51	1.09 ^{ns}	0.29
	3.00	135	1.58 ^{ns}	0.52	413	1.61 ^{ns}	0.51	72	1.10 ^{ns}	0.30
Average Crown	.50	1	-	-	39	1.85 ^{ns}	0.73	17	0.86 ^{ns}	0.23
Diameter (m) قطر متوسط تاج (متر)	.75	6	2.07 ^{ns}	0.87	120	1.69 ^{ns}	0.68	21	0.85 ^{ns}	0.21
	1.00	13	2.31 ^{ns}	0.70	169	1.71 ^{ns}	0.64	25	0.89 ^{ns}	0.27
	1.50	39	2.04 ^{ns}	0.81	215	1.72 ^{ns}	0.63	39	1.00 ^{ns}	0.49
	2.00	63	2.06 ^{ns}	0.83	292	1.71 ^{ns}	0.62	51	1.02 ^{ns}	0.54
	3.00	135	1.99 ^{ns}	0.82	410	1.73 ^{ns}	0.70	72	1.09 ^{ns}	0.62

نمونه‌های تودرتوی ذخیره‌گاه امین‌آباد در شکل ۶
نمایش داده شده است.

پراکنش مکانی و شاخص‌های ساختاری
موقعیت مکانی و پراکنش درختان در قطعه



شکل ۶- موقعیت مکانی و پراکنش درختان در قطعات تودرتوی ذخیره‌گاه امین‌آباد

Figure 6. Location and distribution pattern of trees in nested plots in Aminabad Reserve

محدوده زیاد قرار گرفت ($>0/5$)، ولی تفاوت معنی داری بین سطوح مختلف مشاهده نشد.

در بررسی شاخص تمایز سطح تاج در ایستگاه اول در مساحت‌های بیش از ۱ هکتار، در ایستگاه دوم در مساحت‌های بیش از $0/75$ هکتار و در ایستگاه سوم در هیچ یک از مساحت‌ها تفاوت معنی داری مشاهده نشد.

شاخص چیرگی سطح تاج در بین اندازه‌های مختلف قطعه نمونه اختلاف معنی داری نشان نداد و در مجموع برای هر سه ایستگاه در محدوده متوسط قرار گرفت.

شاخص فاصله همسایگی در ایستگاه اول در قطعه نمونه دارای مساحت بیش از $1/5$ هکتار و در ایستگاه دوم بعد از ۱ هکتار تفاوت معنی داری نداشت. در قطعه نمونه سوم بین هیچ یک از مساحت‌ها اختلاف معنی داری مشاهده نشد.

شاخص ترکیبی تنوع ساختار در مساحت‌های مختلف ایستگاه دوم اختلاف معنی داری نداشت و در ایستگاه‌های اول و سوم در مساحت‌های بیش از یک هکتار تفاوت معنی داری نشان نداد.

پس از تصحیح حاشیه و حذف گروه‌های ساختاری که دارای یک یا چند همسایه در خارج از مرز قطعه نمونه بودند (جدول ۵)، شاخص‌های ساختاری محاسبه شد. جدول ۶، میانگین شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه برای کل گونه‌ها در قطعه نمونه‌های بررسی شده را در مساحت $0/5$ تا ۳ هکتار نشان می‌دهد. شاخص زاویه یکنواخت در ایستگاه‌های اول و دوم الگوی تصادفی متمایل به کپه‌ای و در ایستگاه سوم الگوی تصادفی را نشان داد. قطعه نمونه ۱ و ۲ نسبت به قطعه ۳ تمایل بیشتری به حالت کپه‌ای داشتند. بر اساس نتایج مقایسه آماری، با تغییر مساحت قطعه نمونه اختلاف معنی داری در الگوی پراکنش درختان و درختچه‌ها مشاهده نشد.

در هیچ کدام از ایستگاه‌ها شاخص آمیختگی با افزایش سطح از ۱ تا ۳ هکتار تفاوت معنی داری نشان نداد، اما در ایستگاه‌های اول و سوم در سطوح $0/5$ و $0/75$ هکتار آمیختگی به‌طور معنی داری کمتر از مساحت‌های بیشتر بود. در قطعه نمونه ۲ که در مجموع آمیختگی بیشتری از دو قطعه نمونه دیگر داشت، در همه مساحت‌های آن شاخص آمیختگی در

جدول ۵- تعداد گروه‌های ساختاری قبل و بعد از تصحیح حاشیه در ایستگاه‌های مختلف

Table 5. Number of structural groups before and after margin correction at different site

مساحت قطعه نمونه (هکتار) Plot size (ha)	ایستگاه اول Site 1		ایستگاه دوم Site 2		ایستگاه سوم Site 3	
	قبل از تصحیح حاشیه Before margin correction	بعد از تصحیح حاشیه After margin correction	قبل از تصحیح حاشیه Before margin correction	بعد از تصحیح حاشیه After margin correction	قبل از تصحیح حاشیه Before margin correction	بعد از تصحیح حاشیه After margin correction
.50	13	2	56	24	46	19
.75	25	10	126	78	66	32
1.00	45	17	197	151	83	50
1.50	104	61	297	243	127	81
2.00	159	112	391	325	159	117
3.00	278	228	596	521	209	161

جدول ۶- شاخص‌های ساختاری و نتایج مقایسه‌ها بین قطعه نمونه‌های مختلف^۱Table 6. Structural indices and results of comparisons between different sample plots¹

	مساحت قطعه نمونه (هکتار) Plot size (ha)	ایستگاه اول Site 1			ایستگاه دوم Site 2			ایستگاه سوم Site 3		
		تعداد N	میانگین Mean (m)	انحراف معیار Std. Dev. (m)	تعداد N	میانگین Mean (m)	انحراف معیار Std. Dev. (m)	تعداد N	میانگین Mean (m)	انحراف معیار Std. Dev. (m)
شاخص آمیختگی Mingling Index	.50	2	0.00 ^b	0.00	24	0.67 ^{ns}	0.34	19	0.25 ^{bc}	0.22
	.75	10	0.03 ^b	0.08	78	0.62 ^{ns}	0.34	32	0.23 ^c	0.23
	1.00	17	0.12 ^{ab}	0.27	151	0.67 ^{ns}	0.30	50	0.32 ^{abc}	0.29
	1.50	61	0.47 ^a	0.34	243	0.66 ^{ns}	0.30	81	0.37 ^{ab}	0.31
	2.00	112	0.49 ^a	0.33	325	0.63 ^{ns}	0.31	117	0.41 ^a	0.32
	3.00	228	0.54 ^a	0.32	521	0.64 ^{ns}	0.29	161	0.44 ^a	0.31
زاویه یکنواخت Uniform Angle (W _i)	.50	2	0.63 ^{ns}	0.18	24	0.50 ^{ns}	0.18	19	0.53 ^{ns}	0.16
	.75	10	0.50 ^{ns}	0.17	78	0.53 ^{ns}	0.18	32	0.46 ^{ns}	0.17
	1.00	17	0.53 ^{ns}	0.15	151	0.53 ^{ns}	0.18	50	0.46 ^{ns}	0.16
	1.50	61	0.52 ^{ns}	0.17	243	0.53 ^{ns}	0.19	81	0.47 ^{ns}	0.18
	2.00	112	0.51 ^{ns}	0.17	325	0.52 ^{ns}	0.19	117	0.47 ^{ns}	0.19
	3.00	228	0.53 ^{ns}	0.17	521	0.53 ^{ns}	0.19	161	0.48 ^{ns}	0.19
فاصله نزدیک‌ترین همسایه Nearest neighbor Distance	.50	2	6.08 ^{ab}	0.00	24	3.98 ^a	2.70	19	5.76 ^{ns}	1.60
	.75	10	7.55 ^a	2.22	78	3.16 ^{ab}	2.04	32	6.37 ^{ns}	1.60
	1.00	17	7.49 ^a	1.87	151	2.64 ^b	1.93	50	6.44 ^{ns}	1.67
	1.50	61	5.45 ^{ab}	2.42	243	2.73 ^b	1.90	81	6.30 ^{ns}	1.59
	2.00	112	4.86 ^b	2.54	325	2.77 ^b	1.93	117	6.27 ^{ns}	1.64
	3.00	228	4.05 ^b	2.51	521	2.68 ^b	1.96	161	6.70 ^{ns}	2.07
شاخص تمایز سطح تاج Crown area Difference	.50	2	0.15 ^c	0.09	24	0.65 ^a	0.16	19	0.62 ^{ns}	0.19
	.75	10	0.22 ^{bc}	0.10	78	0.58 ^{ab}	0.19	32	0.65 ^{ns}	0.18
	1.00	17	0.35 ^{ab}	0.25	151	0.56 ^b	0.19	50	0.70 ^{ns}	0.18
	1.50	61	0.44 ^a	0.19	243	0.55 ^b	0.19	81	0.71 ^{ns}	0.17
	2.00	112	0.47 ^a	0.19	325	0.54 ^b	0.18	117	0.69 ^{ns}	0.18
	3.00	228	0.51 ^a	0.20	521	0.54 ^b	0.18	161	0.69 ^{ns}	0.17
شاخص چیرگی سطح تاج Crown area Dominance	.50	2	0.63 ^{ns}	0.53	24	0.51 ^{ns}	0.39	19	0.47 ^{ns}	0.36
	.75	10	0.35 ^{ns}	0.41	78	0.50 ^{ns}	0.35	32	0.52 ^{ns}	0.37
	1.00	17	0.49 ^{ns}	0.41	151	0.49 ^{ns}	0.36	50	0.52 ^{ns}	0.37
	1.50	61	0.48 ^{ns}	0.34	243	0.49 ^{ns}	0.36	81	0.50 ^{ns}	0.36
	2.00	112	0.50 ^{ns}	0.34	325	0.49 ^{ns}	0.36	117	0.50 ^{ns}	0.36
	3.00	228	0.49 ^{ns}	0.35	521	0.50 ^{ns}	0.35	161	0.49 ^{ns}	0.37
فاصله همسایگی Neighborhood distance	.50	2	13.63 ^a	2.63	24	7.32 ^a	3.12	19	9.50 ^{ns}	1.23
	.75	10	11.77 ^a	2.44	78	5.33 ^b	2.95	32	9.76 ^{ns}	1.52
	1.00	17	11.09 ^a	2.11	151	4.51 ^c	2.59	50	9.53 ^{ns}	1.53
	1.50	61	8.11 ^b	2.86	243	4.53 ^c	2.49	81	9.41 ^{ns}	1.69
	2.00	112	7.60 ^b	2.91	325	4.64 ^{bc}	2.47	117	9.42 ^{ns}	1.69
	3.00	228	6.60 ^b	2.90	521	4.55 ^c	2.44	161	9.71 ^{ns}	2.08
شاخص ترکیبی تنوع ساختار Complex structural diversity index	.50	2	0.31 ^{bc}	0.16	24	0.59 ^{ns}	0.18	19	0.38 ^{bc}	0.13
	.75	10	0.23 ^c	0.12	78	0.57 ^{ns}	0.19	32	0.36 ^c	0.14
	1.00	17	0.31 ^{bc}	0.16	151	0.59 ^{ns}	0.17	50	0.40 ^{abc}	0.14
	1.50	61	0.49 ^{ab}	0.18	243	0.59 ^{ns}	0.17	81	0.43 ^{abc}	0.15
	2.00	112	0.50 ^{ab}	0.19	325	0.57 ^{ns}	0.17	117	0.44 ^{ab}	0.15
	3.00	228	0.52 ^a	0.19	521	0.58 ^{ns}	0.16	161	0.46 ^a	0.16

^۱ حروف کوچک مشترک نشان‌دهنده نبود اختلاف معنی‌دار در گروه‌ها هستند.¹ The common low letters show no significant difference amongst groups.

بحث

ساختار جنگل پایه و اساس عملکرد اکوسیستم‌های جنگلی است که تأثیر مهمی در تنظیم زادآوری، رشد و پایداری جنگل‌های طبیعی آمیخته ناهمسال دارند (Akhavan & Hasani, 2023). در منطقه پژوهش، ترکیب گونه‌ای توده‌های ارس در سه ایستگاه به ترتیب شامل پنج، سیزده و سه گونه بود. در پژوهش‌ها در ذخیره‌گاه جنگلی ارس - شیرخشت اوشان در استان تهران یازده گونه و در ارتفاعات حوزه لتیان سه گونه به عنوان گونه‌های همراه ارس گزارش شده است (Ravanbakhsh et al., 2010). گونه ارس در منطقه لاین خراسان همراه با پنج گونه نسترن وحشی، زرشک، دغدغک (*Colutea* sp.)، شیرخشت و پلاخور به صورت آمیخته حضور داشت (Momeni Moghadam et al., 2012). در پژوهش Sadeghi et al. (2016) در منطقه آتشگاه کرج، پنج گونه و در پژوهش Panahi et al. (2024) پنج و دو گونه درختی - درختچه‌ای از رویشگاه‌های مختلف منطقه حفاظت‌شده پرور گزارش شده است. همچنین پژوهش‌های مختلفی در کندیرق خلخال به ۷، ۸ و ۱۱ گونه اشاره کرده‌اند (Rostami, 2012; Kia & Zobeyri, 2012; Sefidi et al., 2018; Akhavan & Rostami Kia, 2020). مقایسه نتایج با تحقیقات مختلف نشان می‌دهد که پژوهش حاضر عرصه‌هایی با غنای گونه‌ای مختلف را پوشش داده و غنا و تنوع خوبی در منطقه تحت بررسی وجود داشته است. بررسی تغییرات تعداد گونه با افزایش مساحت قطعه نمونه‌ها نشان داد که با افزایش مساحت قطعه نمونه تا ۱/۵ هکتار، افزایش تعداد گونه اتفاق افتاده است، اما بعد از آن منحنی روند افقی به خود گرفته و تعداد گونه ثابت شده است. ولی دوباره همزمان با افزایش مساحت به سه هکتار، افزایش گونه رخ داده است. تثبیت منحنی سطح - گونه در مساحت بیش از ۱/۵ هکتار نشان می‌دهد که این مساحت، اندازه مناسبی برای برآورد تعداد گونه در یک جامعه گیاهی ارس است. اما افزایش گونه مجدد در مساحت بزرگ‌تر

به دلیل خارج شدن از جامعه گیاهی و ورود به جامعه دیگری بوده است (Guinochet, 1973). ایستگاه اول در مساحت کمتر از دو هکتار، با توجه به گونه‌های موجود، فردجامعه‌ای متعلق به جامعه *Cotoneastro nummulariis-Juniperetum excelsae* (Ravanbakhsh et al., 2016) بود؛ با افزایش مساحت به سه هکتار، گونه *Rhamnus pallasii* ظاهر شده که گونه‌ای مربوط به جامعه دیگری (*Rhamno pallasii-Juniperetum excelsae*) است (Ravanbakhsh et al., 2016) و این نشان می‌دهد که قطعه نمونه با افزایش سطح وارد فردجامعه دیگری شده و این دلیل افزایش شدن دوباره منحنی بوده است. در ایستگاه دوم افزایش گونه در مساحت بیش از دو هکتار مربوط به گونه‌های گوجه وحشی (*Prunus divaricate*)، گلابی جنگلی (*Pyrus* sp.) و ولیک (*Crataegus* sp.) بوده است که هر سه گونه در منطقه فقط در امتداد آبراهه‌ها و اطراف چشمه‌ها انتشار دارند. این موضوع نشان می‌دهد که افزایش مساحت قطعه نمونه سبب خروج از جامعه ارس و ورود به جامعه کرانرودی شده است. بنابراین می‌توان گفت بهترین مساحت برای ثبت تعداد گونه مناسب در جامعه ارس، یک تا ۱/۵ هکتار است، اما اگر ثبت گونه‌های موجود در منطقه مدنظر باشد، باید مساحت‌های بیشتر و حدود ۳ هکتار را بررسی کرد. ساختار عمودی هر سه ایستگاه شامل درختان ارس در آشکوب بالا و گونه‌های درختچه‌ای در آشکوب پایین بود. در ایستگاه‌های اول و دوم یک اشکوب درختچه‌ای به ارتفاع متوسط ۱/۶ متر (با گونه‌های غالب زرشک و شیرخشت) و در ایستگاه سوم دو اشکوب درختچه‌ای شامل اشکوب زرشک به ارتفاع متوسط ۱/۴ متر و اشکوب بادام کوهی به ارتفاع متوسط ۱ متر وجود داشت. چنین ساختاری از رویشگاه‌های مختلفی گزارش شده است (Ravanbakhsh et al., 2010; Azizi et al., 2017). با افزایش سطح قطعه نمونه، تغییر معنی‌داری در ارتفاع متوسط درختچه‌ها ایجاد نشد. متوسط ارتفاع درختان

ارس نیز در بین قطعه نمونه‌های یک تا سه هکتاری، فاقد اختلاف معنی‌دار بود، اما در ایستگاه اول تفاوت قطعه نمونه‌های بزرگ‌تر از یک هکتار با قطعه نمونه‌های کوچک‌تر معنی‌دار بود. بنابراین برای مطالعه ساختار عمودی توده، حداقل مساحت قطعه نمونه یک هکتار پیشنهاد می‌شود و مساحت‌های بیش از یک هکتار تغییری در محاسبه متوسط ارتفاع درختان و درختچه‌ها نخواهد داشت.

متوسط قطر تاج درختان ارس نیز با تغییر مساحت قطعه نمونه، اختلاف معنی‌داری نشان نداد؛ در مقایسه ابعاد درختچه‌ها نیز در اندازه‌های مختلف قطعه نمونه اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. به عبارت دیگر محاسبه متوسط ابعاد تاج درختان و درختچه‌ها تحت تأثیر اندازه قطعه نمونه نیست، اما گاهی در توده‌های کم‌تراکم، در مساحت کمتر از یک هکتار ممکن است تعداد کافی پایه درختچه‌ای برای تجزیه و تحلیل موجود نباشد؛ بنابراین می‌توان گفت برای دستیابی به نتایج مطلوب، حداقل مساحت تحت بررسی باید یک هکتار باشد.

شاخص زاویه یکنواخت در ایستگاه‌های اول و دوم نشان‌دهنده الگوی تصادفی متمایل به کپه‌ای و در ایستگاه سوم بیانگر الگوی تصادفی بود؛ با استناد به برخی منابع (Mauro et al., 2017) می‌توان الگوی پراکنش در ایستگاه‌های اول و دوم را کپه‌ای دانست. پژوهش Askari et al. (2014) به منظور شناسایی الگوی مکانی گونه ارس در منطقه چهارطاق زاگرس مرکزی نشان داد که شاخص‌های مختلف، نتایج مختلفی (تصادفی و کپه‌ای) را ارائه دادند. به نظر می‌رسد عوامل محیطی در این منطقه سبب شده شرایط زیستی برای گونه ارس مناسب باشد و الگوی پراکنش آن به سمت کپه‌ای شدن میل کرده باشد. با توجه به اینکه در توده‌های جنگلی ناحیه ایرانی-تورانی، نونهال‌ها و نهال‌ها بیشتر در اطراف پایه‌های مادری رشد می‌کنند و درختان مادری نقش پرستار را برای آنها دارند و همچنین به دلیل شرایط سخت

رویشگاهی در مناطق ایرانی-تورانی، الگوی کپه‌ای در این توده‌ها قابل قبول است. (Sohrabi, 2014) بررسی الگوی پراکنش مکانی ۱۲ گونه چوبی در ذخیره‌گاه جنگلی چهارطاق اردل در استان چهارمحال و بختیاری، الگوی پراکنش مکانی درختان ارس را در تمام فواصل کپه‌ای گزارش داد. نتایج پژوهش‌های Panahi et al. (2024) در منطقه حفاظت‌شده پرور سمنان، الگوی کپه‌ای را برای توده‌های ارس نشان داد. الگوی پراکنش مکانی یک گونه توسط عوامل مختلفی تعیین می‌شود و عوامل اساسی تعیین‌کننده برحسب گونه متفاوت‌اند (Allen et al., 2009). برای نمونه، Allen et al. (2009) نحوه انتشار بذر گونه‌ها را عامل تعیین‌کننده الگوی پراکنش مکانی مطرح کرده‌اند. در برخی از منابع، الگوی پراکنش مکانی مرتبط با فراوانی پایه‌ها در توده عنوان شده است (Hubbell, 1979). Allen et al. (2009) در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که همه گونه‌های دارای الگوی پراکنش تصادفی، در توده‌های تحت بررسی از نظر فراوانی جزء گونه‌های نادر (کمتر از ۱۰ پایه) بودند. بر اساس نتایج پژوهش پیش رو، با تغییر مساحت قطعه نمونه، اختلاف معنی‌داری در الگوی پراکنش درختان و درختچه‌ها مشاهده نشد که نشان می‌دهد الگوی پراکنش درختان و درختچه‌ها با مطالعه مساحت‌های مختلف (۵/۰ تا ۳ هکتار)، در جنگل‌های ارس یکسان است. این نتیجه بر مبنای شاخص زاویه یکنواخت به دست آمده است و پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آینده شاخص‌های دیگر مثل شاخص رایبلی و مشتقات آن (Batubeh et al., 2013) نیز استفاده شود. (Alijani et al., 2020) با بررسی شش اندازه قطعه نمونه (یک تا شش هکتار) مناسب‌ترین سطح قطعه نمونه را برای تعیین الگوی مکانی درختان ارس در ذخیره‌گاه آتشگاه کرج سه هکتار تعیین کردند. این پژوهش فقط گونه ارس را ثبت و اندازه‌گیری کرده و گونه‌های دیگر را مدنظر قرار نداده است که موجب می‌شود تراکم پایه‌ها عملاً کمتر از زمانی باشد که

همه پایه‌ها در تحلیل‌ها وارد می‌شوند. دلیل تفاوت نتایج این پژوهش با پژوهش حاضر را می‌توان همین نکته دانست. در جنگل‌های بلوط با مطالعه قطعات نمونه کوچک‌تر (۲۵ تا ۱۰۰ آر) مشخص شد که مساحت قطعه نمونه‌ها بر نتایج دو شاخص آمیختگی و زاویه یکنواخت اثرگذار است و مقادیر شاخص زاویه یکنواخت در قطعات کوچک‌تر با جامعه آماری دارای اختلاف معنی‌دارند (Hossein Zadeh et al., 2023). در پژوهش‌ها در جنگل‌های کم‌تردخال شده مریوان و مقایسه قطعه نمونه‌های ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و یک هکتاری، حداقل سطح مناسب بررسی الگوی پراکنش مکانی برودار (*Quercus brantii* Lindl.)، ۰/۵ هکتار تعیین شد (Batubeh et al., 2013).

شاخص آمیختگی مینگلینگ برای ایستگاه اول و سوم، نشان‌دهنده تنوع گونه‌ای متوسط و برای ایستگاه دوم نشان‌دهنده تنوع گونه‌ای زیاد بود. در ایستگاه دوم که از غنای گونه‌ای و از تراکم درختی-درختچه‌ای بیشتری برخوردار بود، تفاوت معنی‌داری با تغییر مساحت قطعه نمونه در مقادیر شاخص آمیختگی مشاهده نشد، اما در ایستگاه‌های اول و سوم در سطوح ۰/۵ و ۰/۷۵ هکتار آمیختگی به‌طور معنی‌داری کمتر از مساحت‌های بیشتر بود. در مجموع در مساحت‌های ۱ تا ۳ هکتار در هیچ‌یک از ایستگاه‌ها تفاوت معنی‌داری به لحاظ آمیختگی مشاهده نشد؛ بنابراین می‌توان مساحت مناسب برای بررسی وضعیت آمیختگی و تنوع گونه‌ای درختی-درختچه‌ای را یک هکتار در نظر گرفت. البته برای توده‌هایی با تراکم کمتر (مثل ایستگاه اول) مساحت ۱/۵ هکتار مناسب‌تر خواهد بود. شاخص آمیختگی در قطعه نمونه یک‌هکتاری منطقه حفاظت‌شده پرور، بیانگر آمیختگی متوسط بود؛ این قطعه تراکمی مشابه ایستگاه سوم پژوهش حاضر داشت (به ترتیب ۷۵ و ۸۱ پایه در هکتار) (Panahi et al., 2024).

در بررسی شاخص تمایز سطح تاج در ایستگاه اول در مساحت‌های بیش از ۱ هکتار، در ایستگاه دوم در

مساحت‌های بیش از ۰/۷۵ هکتار و در ایستگاه سوم در هیچ یک از مساحت‌ها تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. در ایستگاه دوم که از تراکم بیشتری برخوردار بود، با مساحت کوچک‌تر یعنی ۰/۷۵ نتیجه مطلوب حاصل شد و ایستگاه سوم به دلیل وجود گونه‌هایی با ابعاد متنوع‌تر در کنار هم (ارس، زرشک و بادام کوهی) در مجموع از تنوع ابعاد بیشتری برخوردار بود و در بین قطعه نمونه‌های آن با سطوح مختلف، اختلاف معنی‌داری مشاهده نشد. شاخص چیرگی سطح تاج در بین اندازه‌های مختلف قطعه نمونه، اختلاف معنی‌داری نشان نداد و در مجموع برای هر سه ایستگاه در محدوده متوسط قرار گرفت.

در بررسی تأثیر اندازه قطعه نمونه بر کمی‌سازی ساختار جنگل‌های بلوط نیز نتایج نشان داده شد که اندازه قطعه نمونه بر شاخص‌های تمایز و چیرگی اثرگذار نبوده است (Hossein Zadeh et al., 2023).

در هیچ‌کدام از شاخص‌های موقعیت مکانی، آمیختگی، ابعاد و شاخص تنوع ساختاری ترکیبی با افزایش سطح از یک تا سه هکتار تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما در قطعه نمونه‌های کوچک‌تر در موارد مختلف به‌ویژه در ایستگاه‌های اول و سوم تغییرات معنی‌داری وجود داشت که بیانگر مطلوبیت اندازه یک هکتار برای کمی‌سازی ساختار توده در جنگل‌های ارس است. در پژوهش‌های دیگری نیز این اندازه قطعه نمونه گزارش شده است (Sagheb-Talebi & Schütz, 2002; Korpel, 1982).

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، برخی متغیرهای ساختاری، تغییرات معنی‌داری در قطعات نمونه کوچک‌تر داشتند، اما بیشتر متغیرها در قطعه نمونه‌هایی با مساحت بیش از یک هکتار، اختلاف معنی‌داری نشان ندادند؛ بنابراین به نظر می‌رسد که برای به حداکثر رساندن دقت و به حداقل رساندن زمان و هزینه نمونه‌برداری، می‌توان اندازه یک هکتار

(یک قطعه ۱۰۰×۱۰۰ متر) را به عنوان اندازه بهینه برای قطعه نمونه توصیه کرد. البته در توده‌های تراکم‌تر (مثل ایستگاه دوم) با قطعه نمونه ۰/۷۵ هکتاری نیز نتیجه مطلوب به دست می‌آید و برای توده‌های کم‌تراکم‌تر (مثل ایستگاه اول) مساحت ۱/۵ هکتار نیز شایان بررسی است. برای تحقیق درباره

ساختار توده، سطح حدود یک هکتاری مناسب به نظر می‌رسد، اما برای ثبت گونه‌های درختی و درختچه‌ای یک جامعه ارس، به سطح حدود ۱/۵ هکتاری و برای ثبت کامل فلور درختی و درختچه‌ای رویشگاه ارس، به سطوح بیشتری (تا ۳ هکتار) نیاز است.

References

- Aguirre, O., Hui, G., von Gadow, K., & Jiménez, J. (2003). An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest ecology and management*, 183(1-3), 137-145.
- Akhavan, R., Momeni-Moghaddam, T., Akbari-Nia, M., & Hosseini, S.M. (2017). Spatial patterns and intra-specific competition of Juniper tree in different life stages using O- ring statistic in Layen Forests, Iran. *Journal of Forest and Wood Products*, 70(1), 111-125
- Akhavan, R., & Rostamikia, Y. (2020). Inter-specific competition of juniper trees in Kandiragh forest reserve using O-ring statistic and mark correlation function. *Forest and Wood Products*, 73(2), 189-200. doi: 10.22059/jfw.2020.295907.1066
- Akhavan, R., & Hassani, M. (2023). Quantifying the structure of pure beech forests using spatial structural indices (case study: Hyrcanian forests of Mazandaran province, Iran). *Forest research and Development*, 9(2), 221-235.
- Aliahmad Korori, S., Khoushnevis, M., & Matiniazadeh, M. (2011). Comprehensive studies of Juniper species in Iran. Publication of Pooneh, Forest & Ranges and Watershed Organization of Iran, Iran, 554p.
- Allen, L.J., Lou, Y., & Nevai, A.L. (2009). Spatial patterns in a discrete-time SIS patch model. *Journal of mathematical biology*, 58, 339-375.
- Askari, Y., Soltani, A., & Sohrabi, H. (2014). Evaluation of spatial distribution pattern of tree and shrub species in a central Zagros (Case study: Chahartagh forest reserve). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(2), 175-187.
- Azizi, Z., Sadeghi, H., & Hajimirzaei, A. (2017). Determining the status of tree and shrub type in irano-torani region (Case Study: Beik Poolad Watershed). *Natural Ecosystems of Iran*, 8(1), 1-8.
- Batubeh, P., Akhavan, R., Pourhashemi, M., & Kiadehleri, H. (2013). Determination of the minimum appropriate plot size for analyzing the spatial distribution pattern of *Quercus brantii* in less-disturbed stands of the Marivan forests using Ripley's K function. *Journal of Forest and Wood Products*, 66(1), 27-38.
- Gadow, K., Hui, G., Chen, B.W., & Albert, M. (2003). Beziehungen zwischen Winkelmaß und Baumabständen: Relationship between the Winkelmaß and Nearest Neighbor Distances. *Forstwissenschaftliches Centralblatt*, 122(2), 127-137.
- 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(1), 87-92.
- Hosseinzadeh, R., Soosani, J., & Naghavi, H. (2022). Investigation of competition and structural characteristics of *Fagus orientalis*, *Carpinus betulus* and *Quercus castanaefolia* in different stratus (Case Study: Asalem Forests). *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 35(2), 250-263.
- Hossein Zadeh, R., Soosani, J., Naghavi, H., Nourizadeh, M., & Darabi, M. (2023). The Effect of inventory method, and the size and shape of plots on quantifying structure of *Quercus brantii* Lindl coppice forests. *Forest and Wood Products*, 75(4), 331-340.
- Hubbell, S.P. (1979). Tree Dispersion, Abundance, and Diversity in a Tropical Dry Forest: That tropical trees are clumped, not spaced, alters conceptions of the organization and dynamics. *Science*, 203(4387), 1299-1309.
- Korpel, S. (1982). Degree of equilibrium and dynamic change of the forest an example of natural forest of Slovakia, *Act Faculties Forestails, Zvolen, Czechoslovakia*, 24, 9-30.

- Mauro, F., Haxtema, Z., & Temesgen, H. (2017) Comparison of sampling methods for estimation of nearestneighbor index values. *Canadian Journal of Forest Research*, 47(6), 703-715.
- Panahi, P., Sagheb Talebi, K., Ravanbakhsh, H., Moridi, M., Pourhashemi, M., Ajani, Y., Hasaninejad, M., & Fadaei Khojasteh, M. (2024). Structure analysis of juniper (*Juniperus excelsa* M.B.) stands in the Irano-Turanian vegetation zone (Case study: Parvar Protected Area, Semnan Province). *Forest and Wood Products*, 77(3), 301-312. <https://doi.org/10.22059/jfw.2024.380163.1354>. (In Persian)
- 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.
- Guinochet, M. (1973). Phytosociologie. Masson, France.
- Pommerening, A. (2002). Approaches to quantifying forest structures. *Forestry*, 3, 305-324.
- Pommerening, A., & Stoyan, D. (2006). Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(7), 1723-1739.
- Pourhashemi, M., Mansouri, F., Parhizkar, P., Panahi, P., & Hassani, M. (2014). Spatial pattern of sprout-clumps of Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) in utilized forest stands of Marivan. *Journal of Plant Research (Iranian Journal of Biology)*, 27(4), PP 534-543.
- Ravanbakhsh, H., Marvi Mohajer, M.M., Zahedi, A.G., & Shirvani, A. (2010). Forest typology in relation with altitude gradient on southern slopes of central Alborz Mountains (Latian Dam Watershed). *Journal of Forest and Wood Products*, 63(1), 9-22
- Ravanbakhsh, H., Hamzeh, E.B., Etemad, V., Marvie-Mohadjer, M.R., & Assadi, M. (2016). Phytosociology of *Juniperus excelsa* Beib. Forests in Alborz mountain range in the north of Iran. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 150(5), 987-1000.
- Ravanbakhsh, H., Mohajer, M.M., & Etemad, V. (2010). Natural regeneration of woody species in woodlands of southern slopes of Elborz mountains (case study: Latian watershed). *Iranian Journal of Forest*, 2(2), 113-125
- Ravanbakhsh, H., & Moshki, A. (2016). The influence of environmental variables on distribution patterns of Irano-Turanian forests in Alborz Mountains, Iran. *Journal of Mountain Science*, 13, 1375-1386.
- Ravanbakhsh, H., Pourhashemi, M., Hamzeh'ee, B., Rashidi, F., Iranmanesh, Y., Bordbar, S.K., Jahanbazy, H., Ramak, P., Rastegar, A., Zarafshar, M., Alimahmoodi Sarab, S., Askari, Y., Khanhasani, M., Mohammadian, A., Mohammadpour, M., Negahdarsaber, M.R., Henareh, J., Najafifar, A., & Rahimi, H. (2024). Reproduction and the importance of nurse species in the monitoring plots of Zagros forests, Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 32(1), 61-76.
- Rostamikia, Y., & Zobeiri, M. (2012). Study on the structure of *Juniperus excelsa* Beib. stand in Khakhal protected forests. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 19(4), 151-162.
- Rostamikia, Y., & Fattahi, M. (2021). Effect of landform and edaphic characteristics on the presence and vegetative traits of Buckthorn (*Rhamnus pallasii*) in Andabil forest, Khalkhal region using PCA analysis. *Journal of Plant Ecosystem Conservation*, 8, 1-18.
- Sabeti, H. (1994). *Forests, Trees and Shrubs of Iran*, Yazd. University of Yazd.
- Sadeghi, S.M.M., Alijani, V., Namiranian, M., & Mohamadizadeh, M. (2016). Structural characteristics of *Juniperus excelsa* in the mountainous forests of Alborz south facing slope (case study: Atashgah, Karaj). *Iranian Journal of Forest*, 8(1), 35-49.
- Sagheb Talebi, Kh., Sajedi, T., & Pourhashemi, M. (2014). *Forests of Iran: A Treasure from the Past, A Hope for the Future*. Springer, Dordrecht, Netherlands.
- Sagheb-Talebi, Kh., & Schütz, J.Ph., (2002). The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis*) in the Caspian region of Iran and potential for the application of the group selection system. Oxford University Press. *Forestry*, 75(4), 465-472.
- Sefidi, K., Firouzi, Y., Keivan Behju, F., Sharari, M., & Rostamikia, Y. (2018). Quantification of spatial structure of juniper stands in Kandaragh region. *Iranian Journal of Forest*, 10(2), 207-220.
- Scott, C. (1998). Sampling methods for estimating change in forest resources. *Ecol Appl*, 8, 228-233.
- Sohrabi, H. (2014). Spatial pattern of woody species in Chartagh forest reserve, Ardal. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22(1), 27-38.



Determination of an Appropriate Plot Size for Assessing Structural Characteristics of *Juniperus excelsa* M. Bieb. Stands on the Southern Slopes of the Alborz Mountains, Aminabad Reserve, Firuzkuh

Z. Adbesh^{1*}, V. Etemad², H. Ravanbakhsh³, M. Pourhashemi⁴, and M.A. Zare Chahooki⁵

¹Ph.D. Student, Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

²Associate Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

³Associate Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

⁴Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

⁵Prof., Reclamation of Arid and Mountainous Regions, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

(Received: 3 September 2025; Accepted: 20 December 2025)

Abstract

Introduction: Diversity in species composition and tree distribution leads to highly complex characteristics in forest ecosystems, arising from interactions among smaller-scale spatial structures. Forest stand structure encompasses three major aspects: spatial pattern diversity, species diversity, and tree size diversity. The present study aimed to determine the minimum plot size required to assess structural characteristics of *Juniperus excelsa* M. Bieb. stands and to evaluate the structural diversity of these stands in the Aminabad forest reserve of Firuzkuh, located within the Irano–Turanian phytogeographical region.

Materials and Methods: Three 3-ha sample plots (three stations) were randomly chosen, each consisting of six nested square subplots with areas of 0.5, 0.75, 1, 1.5, 2, and 3 ha. For all trees and shrubs within each subplot, species identity, spatial coordinates, height, and crown variables (maximum crown diameter and its perpendicular diameter) were measured. Tree spatial coordinates were recorded using a multi-frequency GPS. Stand structure was quantified using the uniform angle index, nearest-neighbor distance, mingling index, tree size differentiation, and size dominance indices. To determine the most appropriate plot size, species–area curves and statistical comparisons of variables across different plot sizes (analysis of variance and Kruskal–Wallis test) were applied.

Results: A total of 13 tree and shrub species were recorded in the study area. Analysis of species number variation with increasing plot size showed that species richness increased up to 1.5 ha, after which the curve reached a plateau and species number remained constant; however, with further increase to 3 ha, species richness increased again. The first increase represented the species within the target plant association, whereas the second increase resulted from inclusion of areas outside the association boundary. Mean crown diameter of *Juniperus* trees did not differ significantly among plot sizes. Mean tree height also showed no significant difference among plots ranging from 1 to 3 ha, although in the first station significant differences were observed compared with smaller plots. No significant differences were detected in shrub size attributes among different plot sizes; however, results indicated that plots smaller than 1 ha may not include a sufficient number of shrub individuals for reliable analysis. The uniform angle index indicated a random pattern tending toward clustered in the first and second stations and a random pattern in the third station, with no significant differences in spatial distribution patterns of trees and shrubs across plot sizes. In none of the stations; mingling, size diversity, or complex structural diversity indices showed no significant difference when plot size increased from 1 to 3 ha; however, significant differences were observed in smaller plots, particularly in the first and third stations.

Conclusion: Based on the results, a plot size of 1 ha was identified as appropriate for structural studies of *Juniperus* forests. In stands with higher density (e.g., the second stand), satisfactory results can also be obtained using 0.75-ha plots, whereas in lower-density stands (e.g., the first stand), plots of up to 1.5 ha may be required. To record tree and shrub species within a *Juniperus* association, an area of approximately 1.5 ha is necessary, while larger areas (up to 3 ha) are required to capture the complete tree and shrub flora of *Juniperus* habitats.

Keywords: Dimensional diversity, Mingling, Irano–Turanian, Uniform angle index.