

کمی‌سازی ساختار مکانی جنگل‌های میان بند شمال ایران (مطالعه موردی: بخش گرازبن جنگل خیرود)

وحید علی جانی^{1*}، جهانگیر فقهی²، محمود زبیری³ و محمدرضا مروی مهاجر³

^{1*} دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

² دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

³ استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: 1389/12/19، تاریخ تصویب: 1390/8/23)

چکیده

کمی‌سازی ساختار مکانی، از مهمترین اجزای تشریح بوم‌سازگان‌های طبیعی و تنوع زیستی آنهاست. در این پژوهش ضمن معرفی مجموعه‌ای از شاخص‌ها و توابع مربوط به ساختار مکانی، با استفاده از 102 قطعه نمونه 1000 متر مربعی ساختار مکانی تیپ ممرز-راش بخش گرازبن جنگل خیرود بررسی شد. بدین منظور از شاخص‌های کلارک و اوانز، زاویه یکنواخت، شانون-وینر، آمیختگی، اندازه قطر برابر سینه و ارتفاع و تابع‌های همبستگی جفتی و همبستگی ویژگی‌ها استفاده شد. شاخص‌های مذکور به بررسی تنوع موقعیت مکانی، تنوع گونه‌ای و تنوع ابعاد درختان می‌پردازند. میانگین شاخص‌های کلارک و اوانز و زاویه یکنواخت به ترتیب 0/86 و 0/53 محاسبه شد که نشان دهنده‌ی توزیعی بین تصادفی و کپه‌ای است. همچنین تابع همبستگی جفتی بیان کرد که تعداد جفت درختان با فاصله بین درختی کمتر از 5/5 متر بیشتر از جنگل دارای توزیع تصادفی است. میانگین شاخص‌های شانون-وینر و آمیختگی به ترتیب 1/17 و 0/36 محاسبه شد. شاخص آمیختگی نشان دهنده‌ی اختلاط کم گونه‌های راش و ممرز و اختلاط بالای سایر گونه‌ها است. مقدار میانگین دو شاخص اندازه قطر برابر سینه و ارتفاع 0/51 محاسبه شد که نشان دهنده‌ی غالبیت ابعاد گونه‌هایی از جمله نمدار و توسکای ییلاقی و مغلوبی‌ت گونه‌هایی مانند ملج و خرمنندی است. تابع همبستگی ویژگی‌ها نشان داد که درختانی که در فاصله کمتر از 7/5 متر نسبت به یکدیگر قرار دارند دارای قطر کمتری نسبت به متوسط تیپ هستند. شاخص و تابع‌های بکار رفته در این تحقیق توانایی بالایی در تشریح ساختار گونه‌های تیپ ممرز-راش دارند و نتایج آن جهت مدیریت پایدار جنگل مفید است.

واژه‌های کلیدی: ساختار مکانی، موقعیت مکانی، تنوع گونه‌ای، تنوع ابعاد، جنگل خیرود

مقدمه

در سال‌های اخیر با افزایش علم و پیشرفت علوم طبیعی، اهمیت تنوع زیستی در زمینه‌های مختلف آشکار شده است (۲۰۰۷، قع م غ کع لاع ک غ ج). تنوع زیستی^۱ بالا نه تنها همانند سپری بوم‌سازگان را در مقابل اختلال‌های عمده طبیعی حفظ می‌کند؛ بلکه باعث افزایش حاصلخیزی آنها نیز می‌شود (قع م غ ق ف ن ک گ غ ج ۲۰۰۷).

ساختار مکانی جنگل ارتباطی مستقیم با زیستگاه بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری دارد (قع م غ م ک ف ج ۲۰۰۰، قع م غ م ک ف ج). به همین دلیل به عنوان یکی از مهمترین اجزای کلیدی در تشریح اکوسیستم‌های جنگلی و تنوع زیستی به کار می‌رود (قع م غ م ک ف ج). به طور کلی، موضوع "ساختار جنگل"^۲ چیدمان فضایی یکسری از ویژگی‌های درختان از جمله سن درخت، ابعاد، گونه، جنسیت (در مورد درختان دو پایه) و مواردی از این دست را مورد توجه قرار می‌دهد (۲۰۰۶، پ ع ل ا ت). به منظور تشریح ساختار جنگل نیاز است که ساختار مکانی در سه جنبه تنوع موقعیت مکانی، تنوع گونه‌ای و همچنین تنوع ابعاد درختان مورد بررسی قرار گیرد (۲۰۰۲ - ۲۰۰۳، ک ف ک ع ل ا ع ک گ خ - ۲۰۰۰، قع م غ م ک ف ج ع ۲۰۰۶، ک ف ک ع ل ا ع ک گ خ - ۲۰۰۳، قع م غ ل ا ل ف م غ ا). تنوع موقعیت مکانی درختان منعکس کننده‌ی الگوی پراکنش آنها می‌باشد که ممکن است از یکی از الگوهای کپه‌ای، تصادفی، منظم و یا حالتی مابین آنها پیروی کند. تنوع گونه‌ای به بررسی چیدمان مکانی گونه‌های مختلف در ارتباط با یکدیگر می‌پردازد؛ درحالی که تنوع ابعاد درختان در برگیرنده چیدمان مکانی مشخصه‌هایی از جمله قطر برابر سینه و ارتفاع است (ک ف ک ع ل ا ع ک گ خ ع ۲۰۰۶).

در ایران تاکنون مطالعه خاصی که در برگیرنده هر سه جنبه ساختار مکانی باشد، انجام نگرفته است و پژوهش‌های انجام شده در این زمینه تنها به بررسی موقعیت مکانی درختان پرداخته‌اند. از جمله این تحقیقات

می‌توان به (۲۰۰۵، قع م غ ن ع قا)، (۲۰۰۶، قع م ل ا ف ل ع ب)، (۲۰۰۷، قع م ف غ ل ا ع ع ث)، (۲۰۰۸، قع م ل ا ع غ ف ک ع غ ل ا پ)، (۲۰۱۰، قع م ل ا ع غ ع ذ) و همچنین (ع پ ل ا ف ج ف ع ث ۲۰۱۰، قع م غ غ ع غ ع غ ا) اشاره کرد. اما در پژوهش‌های خارج از ایران هر سه جنبه ساختار مکانی مورد توجه قرار گرفته است. (۱۹۹۸، ل ا ع ل م ع غ ل ا ع غ ل ا ع غ س ل ا ع غ ف ب) بیان کردند که بکارگیری مجموعه‌ای از شاخص‌های مربوط به ساختار مکانی به منظور استفاده‌های اکولوژیکی و جنگل‌شناسی بسیار مفید است. (۲۰۰۰، قع م غ م ک ف ج) ضمن تشریح ساختار مکانی و اجزای آن به کمی‌سازی ساختار یک توده متشکل از کاج (*Pinus sylvestris*) و بلوط (*Quercus robur* و *Quercus rubra*) پرداختند. همچنین (۲۰۰۲، ک ف ک ع ل ا ع ک گ خ) بیان کرد که به منظور تعیین اختلافات موجود در بین توده‌های جنگلی در زمان و مکان‌های مختلف و همچنین بررسی تاثیر مدیریت بر روی ساختار جنگل کمی‌سازی ساختار با استفاده از ترکیبی از شاخص‌های موجود لازم است. (م غ ل ا ف م غ ا ۲۰۰۳، قع) یک مجموعه از شاخص‌های مبتنی بر نزدیکترین همسایه را بکار بردند و از مزایای این شاخص-ها به عدم نیاز به اندازه‌گیری فاصله بین درختان اشاره کردند. ساختار مکانی به شدت تحت تاثیر فعالیت‌هایی از جمله عملیات پرورشی و بهره‌برداری قرار دارد؛ به همین دلیل (۲۰۰۵، ک ف ج) ضمن تشریح اثرات تکامل طبیعی بر روی ساختار یک توده کهنسال کاج (*Pinus sylvestris*) بیان کرد که نتایج حاصل از این چنین پژوهش‌هایی باید به عنوان یک مرجع در اختیار مدیر جنگل قرار گیرد. (۲۰۰۶، پ ع ل ا ت) با بکارگیری شاخص‌های مبتنی بر نزدیکترین همسایه بیان کرد که این شاخص‌ها نه تنها وضعیت فعلی تنوع زیستی را نشان می‌دهند بلکه می‌توانند وضعیت اکولوژیکی گونه‌های مختلف را مشخص نمایند. همچنین در طی پژوهشی که (قع م غ م غ ع غ ل ا گ م د ۲۰۱۰) انجام دادند، بر لزوم در اختیار داشتن دانش کافی در رابطه با ساختار مکانی جنگل به منظور مدیریت حفاظتی گونه‌های در معرض خطر تاکید کردند. (۲۰۰۶، ک ع م ذ ک ف ک ع ل ا ع ک گ خ) با تاکید بر لزوم اصلاح

^۱ م خ ل ا ع ق ع ک ب

^۲ ع ل ا م ع ل ا م ذ ل ا ل ا ت

گرازین جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود صورت گرفت، سعی شد که با ترکیبی از شاخص و تابعها به بررسی جنبه‌های مختلف ساختار مکانی گونه‌های درختی موجود در این تیپ پرداخته شود. همچنین در این تحقیق سعی خواهد شد فرضیه مناسب بودن این شاخص و تابعها در کمی‌سازی ساختار مکانی گونه‌های درختی مورد بررسی قرار گیرد.

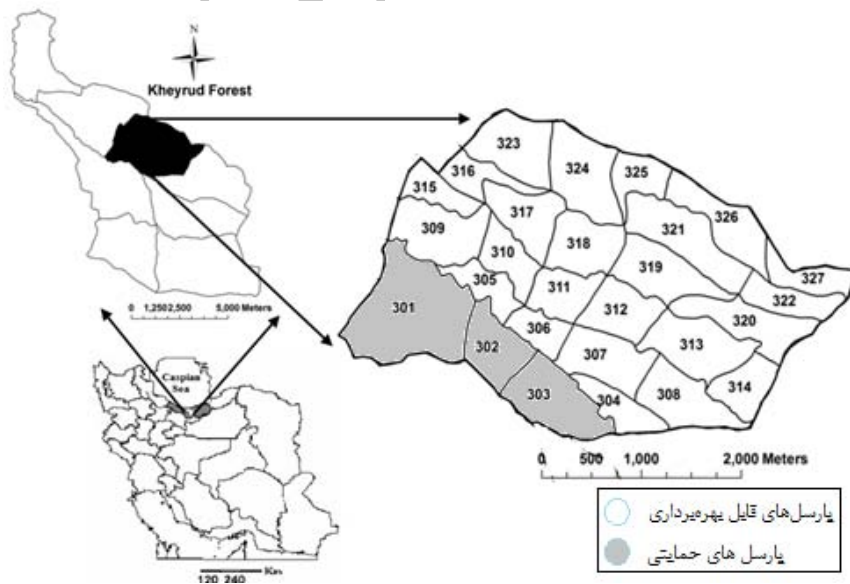
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

این بررسی در تیپ ممرز-راش بخش گرازین جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود انجام شد. این بخش به عنوان سومین بخش از جنگل خیرود، دارای مساحتی در حدود 1001 هکتار و از 27 پارسل تشکیل شده، که دارای مساحتی بین 15/56 تا 83/37 هکتار می‌باشند (شکل 1).

تاثیر درختان نزدیک به مرز قطعات نمونه در هنگام محاسبه شاخص‌های مبتنی بر نزدیکترین همسایه بیان کردند که روش تصحیح حاشیه **ح** دارای توانایی بالایی در برطرف نمودن این مشکل است.

جنگل‌های شمال ایران از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های کشور و منبع تولید چوب محسوب می‌شود، که در برگیرنده‌ی 15 درصد مساحت کل جنگل‌های ایران و 1/1 درصد از مساحت کل کشور است (۲۰۰۹، **قلم‌فلاک‌ح**). این جنگل‌ها با داشتن حدوداً 80 گونه درختی و 50 گونه‌ی درختچه‌ای جزء جنگل‌های غنی دنیا بوده و شباهت‌های زیادی با جنگل‌های پهن-برگ مخلوط اروپای مرکزی دارد؛ ولی از نظر تعداد و تنوع گونه‌ای بسیار غنی‌تر است (**دلاغ‌فزع‌نگ‌چن‌لاع‌چ** ۲۰۰۵). بنابراین، به دلیل اهمیت این جنگل‌ها و به منظور مدیریت صحیح آن نیاز است که اطلاعات کافی در رابطه با ساختار مکانی تیپ‌های جنگلی و گونه‌های موجود در آن جمع‌آوری و در اختیار مدیران جنگل قرار گیرد. به این منظور در این پژوهش که در تیپ ممرز-راش بخش



شکل 1- موقعیت بخش گرازین جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود نوشهر

بخش آهکی و به دوران ژوراسیک علیا تعلق دارد و از نظر خاکشناسی دارای خاک‌های قهوه‌ای جنگلی است (۲۰۱۰، **دک‌دکم‌ک‌ک‌غ‌فزع‌ک‌م‌ل‌ع‌ل‌ات**).

میزان بارندگی در این بخش در حدود 1300-1600 میلیمتر در سال است که حداقل و حداکثر آن به ترتیب در تیر و مهر ماه ریزش می‌کند. همچنین سنگ مادر این

دارد، استفاده می‌شود. در این شاخص، با استفاده از رابطه 1 میانگین فاصله بین یک درخت و نزدیکترین همسایه آن (لا) با میانگین مورد انتظار در صورتی که موقعیت درختان به طور تصادفی پراکنده شده باشند (پلا) مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

رابطه 1:

$$P = \frac{W_A}{W_E} = \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{1}{A_i}}{0.15 \times \sqrt{\frac{1}{C} + 0.0514 \times \frac{X}{C} + 0.041 \times \frac{X^2}{C}}}$$

در رابطه فوق W_A عبارت است از فاصله بین درخت F و نزدیکترین همسایه آن به متر؛ C نشان دهنده تعداد کل درختان در داخل قطعه نمونه؛ A سطح قطعه نمونه به متر مربع؛ و X محیط قطعه نمونه به متر است. زمانی که توزیع درختان در توده مورد مطالعه از الگوی تصادفی پیروی کند، مقدار P برابر با 1 می‌شود. درحالی که P کمتر از 1 نشان دهنده حالت کپه‌ای؛ و P بیشتر از 1 بیان کننده موقعیت منظم درختان است (پ. ۲۰۰۰، ق. م. ف. ک. ق.).

شاخص زاویه یکنواخت (W_i)

این شاخص بر اساس روش‌های مبتنی بر نزدیکترین همسایه به بررسی درجه منظم بودن موقعیت مکانی درختان در گروه‌های ساختاری می‌پردازد. هر گروه ساختاری شامل یک درخت مرجع و چندین همسایه آن است. اساس کار این شاخص بر مبنای مقایسه‌ی زاویه‌ی بین درختان همسایه (α_i) نسبت به زاویه استاندارد (α_0) است. مقدار زاویه‌ی استاندارد (α_0) و شاخص زاویه یکنواخت (W_i) به ترتیب از روابط 2 و 3 قابل محاسبه است.

$$\alpha_0 = \frac{360}{n+1} \quad \text{رابطه 2:}$$

رابطه 3:

شاخص و تابع‌های مورد بررسی

در این پژوهش از اطلاعات 102 قطعه نمونه ثابت 1000 متر مربعی برداشت شده در تیپ ممرز-راش بخش گرازبن استفاده شد. در داخل هر قطعه نمونه مشخصه‌هایی از جمله نوع گونه، قطر برابر سینه، فاصله و آزیموت هر درخت تا مرکز قطعه نمونه و همچنین ارتفاع قوتورترین و نزدیکترین درخت به مرکز قطعه نمونه برداشت شد. به منظور کمی‌سازی ساختار مکانی درختان موجود در این تیپ، از نرم‌افزار ۱.۳ **ک. ک. ک. ل. ا. ب. ع** (۲۰۰۶ **ک. ک. ک. ل. ا. ب. ک. ک. خ**) استفاده شد. این نرم‌افزار که به منظور آنالیز و بررسی شاخص‌های ساختاری طراحی شده، قادر است که با استفاده از اطلاعات آماربرداری صد درصد و همچنین قطعات نمونه دایره‌ای و مستطیلی به بررسی ساختار مکانی بپردازد. به منظور بررسی تنوع موقعیت مکانی از شاخص‌های کلارک و اوانز¹، زاویه یکنواخت² و تابع همبستگی جفتی³ و برای کمی‌سازی تنوع گونه‌های درختی از شاخص‌های شانون-وینر⁴ و آمیختگی⁵ استفاده شد. همچنین به منظور کمی‌سازی تنوع ابعاد درختان از شاخص‌های اندازه قطر برابر سینه⁶، اندازه ارتفاع⁷ و تابع همبستگی ویژگی‌ها⁸ استفاده شد. در این قسمت برای تشریح بهتر روش کار، شاخص و تابع‌های مورد استفاده معرفی می‌شوند.

شاخص و تابع‌های مربوط به تنوع موقعیت مکانی

شاخص کلارک و اوانز (CE)

از این شاخص برای تعیین میزان انحرافی که یک توده جنگلی از جنگل پواسون⁹ (جنگلی با توزیع تصادفی)

¹ کلن پ. ی. ل. ا. ع. ق. ب.

² و. ک. ک. ع. ق. ک. ک. ل. ا. ب. ک. ک. خ.

³ ک. ک. م. م. ک. ک. ق. ق. ل. ل. ا. ل. ا. ع. ل. ا. ع. خ.

⁴ و. ع. ف. ل. ا. ع. ک. س. ک. ک. ک. ع. غ. ذ.

⁵ و. ع. ع. ف. ک. ک. ع. ک. ک. چ.

⁶ ع. ک. ک. ک. ک. ک. ک. ب. پ.

⁷ ع. ک. ک. ک. ک. ک. ک. ع. ق. ع. غ. ث.

⁸ ک. ک. م. م. ع. ک. ک. م. ع. ل. ل. ا. ع. ق. ل. ا. ع. چ.

⁹ ک. ک. ل. ا. ب. ک. خ.

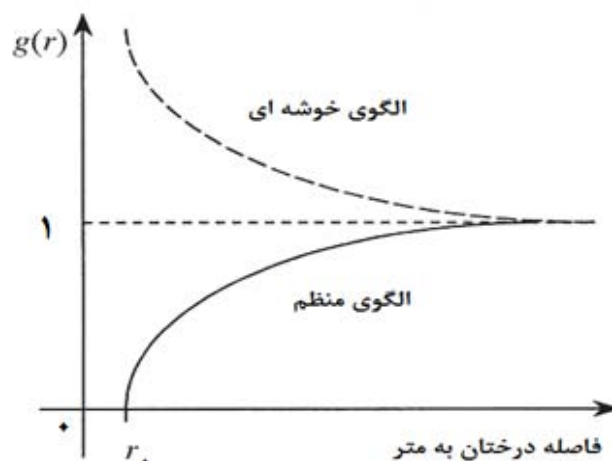
کپه‌ای \bar{s} < تصادفی \bar{s} < منظم \bar{s} . («قع م ع قلاگ»
(۲۰۱۰).

$$\left[\begin{array}{l} \alpha_0 < \alpha_1 \rightarrow 1 \\ \alpha_0 \geq \alpha_1 \rightarrow 0 \end{array} \right] \text{ فدن} \quad \text{فدن} \quad \frac{1}{4} \sum_{f=1}^4 \text{قس}$$

با توجه به رابطه 3، مقدار شاخص زاویه یکنواخت در هنگام استفاده از چهار درخت همسایه، یکی از پنج ارزش صفر، 0/25، 0/5، 0/75 و یا 1 است. با میانگین‌گیری از این ارزش‌ها مقدار متوسط تجمع \bar{f} برای کل توده قابل محاسبه است. ارزش پایین \bar{f} نشان دهنده الگوی منظم و ارزش بالای آن نشان دهنده الگوی کپه‌ای درختان است. بنابراین می‌توان بیان نمود که:

تابع همبستگی جفتی $(g(r))$

میزان این تابع به فاصله بین درختان بستگی دارد و بر خلاف بعضی از شاخص‌های مربوط به بررسی ساختار مکانی از جمله شاخص کلارک و اوانز، نتیجه این تابع به شکل یک عدد نیست، بلکه به شکل یک نمودار ارائه می‌گردد. شکل 2 نشان دهنده حالت‌های مختلف این تابع در هنگام بررسی موقعیت مکانی درختان است.



شکل 2- حالت‌های مختلف نمودار تابع همبستگی جفتی (منبع: Pommerening, 2002)

موقعیت مکانی یک توده‌ی دارای الگوی کپه‌ای مورد بررسی قرار گیرد مقدار این تابع در فواصل کم بین درختان بیش از یک می‌باشد («ف کلاگ ککخ» ۲۰۰۲).

شاخص‌های مربوط به تنوع گونه‌های درختی

شاخص شانون-وینر (H')

این شاخص که از رابطه 5 قابل محاسبه است، نمونه‌ای از یک شاخص مستقل از فاصله بوده که در این پژوهش بطور مکمل با شاخص آمیختگی بکار رفته است.

$$\text{رابطه 5: } H' = - \sum_{f=1}^k p_f \ln p_f$$

میزان این تابع از رابطه 4 قابل محاسبه است.

$$\text{رابطه 4: } H' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n p_i \ln p_i$$

که در آن p_i احتمال پیدا کردن یک درخت در دو دایره فرضی 1 و 2 با مساحت‌های بسیار کوچک ΔA_i و ΔA_j عبارت است از تراکم جنگل مورد بررسی و λ عبارت است از تابع همبستگی جفتی. در هنگام بررسی یک جنگل با موقعیت درختان تصادفی، نمودار تابع همبستگی جفتی، موازی محور افقی (فاصله درختان به متر) و برابر با 1 قرار می‌گیرد. در مواقعی که موقعیت درختان دارای تمایل به منظم شدن باشد (برای مثال: توده‌های خیلی پیر با فواصل بین درختی زیاد)، ارزش‌های H' در فواصل کم بین درختان برابر با صفر و اگر

استفاده از چهار درخت همسایه، همانند دو شاخص زاویه یکنواخت و آمیختگی یکی از پنج مقدار صفر، 0/25، 0/50، 0/75 و 1 است. زمانی که درختان مرجع از نظر قطر برابر سینه نسبت به سایر گونه های مجاور خود چیره باشند، ارزش این شاخص به سمت 1 میل می کند و بالعکس (۲۰۰۶، پیوسته)

شاخص اندازه ارتفاع (TH_i)

اساس کار این شاخص (رابطه 8) کاملاً شبیه به شاخص اندازه قطر برابر سینه است؛ و تنها تفاوت موجود در مشخصه مورد بررسی است. (۲۰۰۶، پیوسته).
رابطه 8:

$$\left[\begin{array}{l} \text{فٹ هٹ} \rightarrow 1 \\ \text{فٹ کٹ} \rightarrow 0 \end{array} \right] \text{فٹن} \quad \frac{1}{4} \sum_{\text{ف}=1}^4 \text{فٹن} \quad \text{قٹر}$$

تابع همبستگی ویژگی ها (K(r))

اساس کار این تابع همانند "تابع همبستگی جفتی" است، و تنها تفاوت این است که این تابع علاوه بر در نظر گرفتن موقعیت درختان به بررسی ویژگی ک (قطر برابر سینه) نیز می پردازد. یک جزء اساسی این تابع، تابع غیر منفی (کک) است، که به شکل ک.ک آ(کک) تعریف می شود. در این تابع (لا) یک عدد متغیر است که در صورتی که در هر یک از دو دایره فرضی با مساحت بسیار کم ع و ع و ع یک مرکز نقاط یافت شود دارای ارزش (کک) بوده و در غیر این صورت دارای ارزش صفر می شود. در رابطه 9، نحوه محاسبه ارزش مورد انتظار برای (لا) ((لا)) نشان داده شده است.

$$\text{رابطه 9: } \text{ع} \times \text{ع} \times \text{ع} \times \text{ع} \times \text{ع} \times \text{ع} = \text{ع} \times \text{ع} \times \text{ع} \times \text{ع} \times \text{ع} \times \text{ع}$$

در رابطه فوق (لا) مقدار تابع همبستگی ویژگی ها، (لا) تابع همبستگی جفتی، ک مجذور میانگین حسابی همه ویژگی ها (ک) و λ تراکم جنگل مورد بررسی است. در هنگام استفاده از این تابع در بررسی قطر برابر سینه درختانی که در فاصله کمی از یکدیگر قرار

در رابطه فوق، ک تعداد گونه های موجود در منطقه مورد مطالعه، نسبت فراوانی افراد یک گونه نسبت به کل درختان و ن مقدار شاخص شانون-وینر است که می تواند بین صفر تا 5 متغیر باشد (۲۰۰۴، پیوسته).

شاخص آمیختگی گونه ای (DM_i)

این شاخص همانند شاخص زاویه یکنواخت به بررسی وضعیت درختان در یک گروه ساختاری می پردازد. مقدار این شاخص از رابطه 6 قابل محاسبه است:
رابطه 6:

$$\left[\begin{array}{l} \text{گونه} \neq \text{گونه} \rightarrow 1 \\ \text{گونه} = \text{گونه} \rightarrow 0 \end{array} \right] \text{فٹن} \quad \frac{1}{4} \sum_{\text{ف}=1}^4 \text{فٹن} \quad \text{قٹر}$$

در رابطه فوق ف درخت مرجع و ف درختان همسایه است. با توجه به فراوانی نسبی و موقعیت قرارگیری گونه ها نسبت به یکدیگر این شاخص دارای ارزشی بین 0-1 است. در هنگام استفاده از چهار همسایه در یک گروه ساختاری، یکی از مقادیر صفر (همه همسایه ها مشابه گونه مرجع)، 0/25 (یک همسایه متفاوت با درخت مرجع)، 0/50 (دو همسایه متفاوت با درخت مرجع)، 0/75 (سه همسایه متفاوت با درخت مرجع) و یا 1 (هیچ کدام از همسایه ها مشابه گونه مرجع نمی باشند) بدست خواهد آمد (۲۰۱۰، پیوسته م غ ع لا گ مد).

شاخص و تابع های مربوط به تنوع اندازه درختان

شاخص اندازه قطر برابر سینه (TD_i)

این شاخص بر اساس روش های مبتنی بر نزدیکترین همسایه به بررسی نسبت ابعاد قطر برابر سینه درختان مجاور یکدیگر می پردازد (رابطه 7).

رابطه 7:

$$\left[\begin{array}{l} \text{فٹبب هٹبب} \rightarrow 1 \\ \text{فٹبب کٹبب} \rightarrow 0 \end{array} \right] \text{فٹن} \quad \frac{1}{4} \sum_{\text{ف}=1}^4 \text{فٹن} \quad \text{قٹر}$$

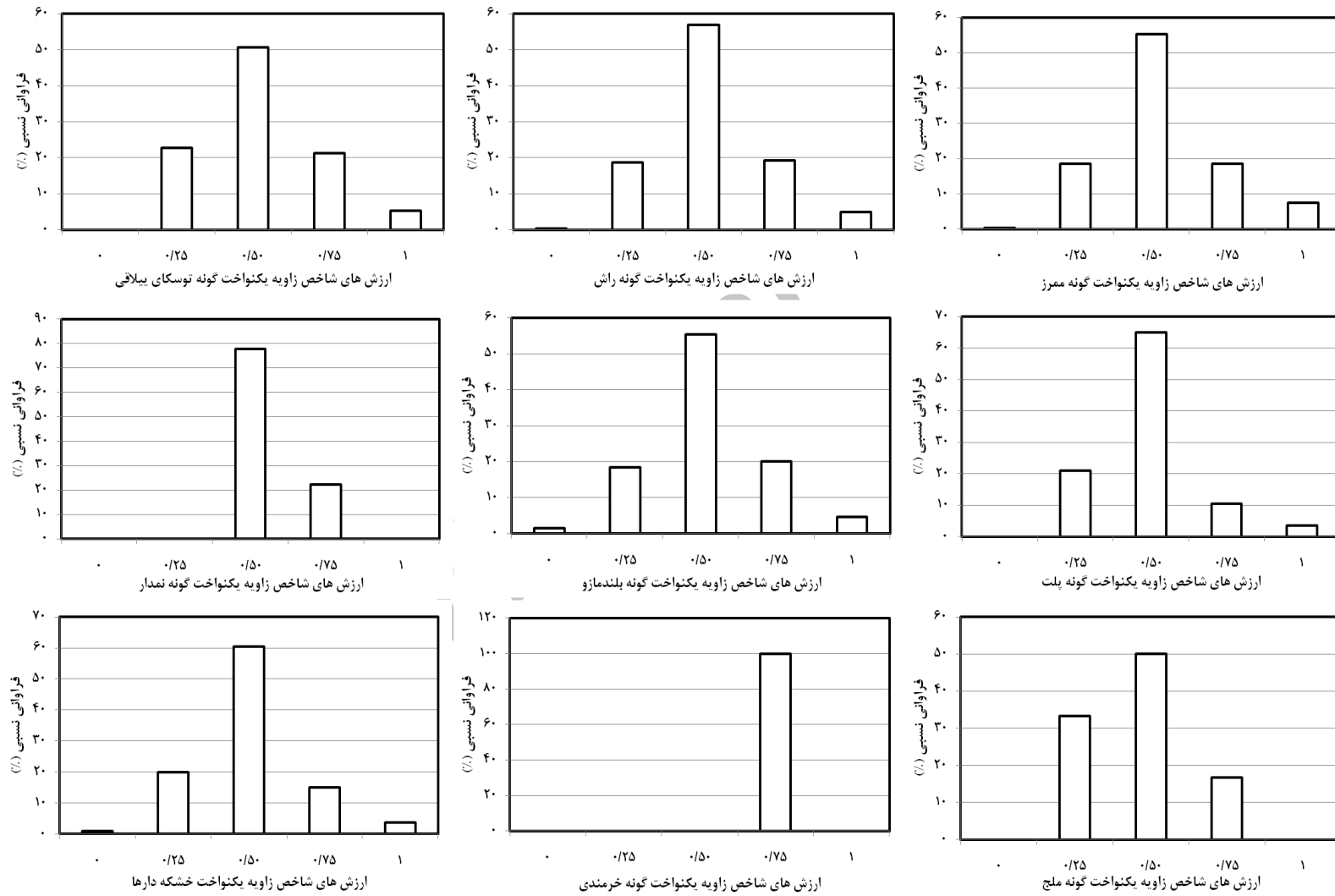
در رابطه فوق، ا درخت مرجع و ز درختان همسایه می باشد. ارزش های بدست آمده از این شاخص در هنگام

منظور تفسیر بهتر موقعیت مکانی از نمودار توزیع ارزش-های این شاخص در طبقه‌های مختلف استفاده شد (شکل 3). نتایج حاصل از این شاخص برای تمامی درختان حالت مشابهی را نشان می‌دهد به جز گونه خرمندی که به دلیل تعداد کم پایه‌های مشاهده شده نتیجه حاصل قابل استناد نیست. بر خلاف دو شاخص دیگر، تابع همبستگی جفتی با ایجاد یک نمودار به بررسی موقعیت مکانی درختان می‌پردازد (شکل 4). میزان این تابع تا فاصله بین درختی 5/5 متر بیش از 1 است؛ که به این معنی است که تعداد جفت درختانی که فاصله بین آنها کمتر از 5/5 متر است از حالت مورد انتظار در توزیع تصادفی بیشتر است و بیان‌کننده‌ی الگوی کپه‌ای درختان می‌باشد. میانگین شاخص‌های شانون-وینر و آمیختگی برای کل تیپ به ترتیب برابر با 1/17 و 0/36 محاسبه شد. همچنین در جدول 1 و شکل 5 مقدار میانگین و نمودارهای توزیع ارزش‌های شاخص آمیختگی برای هر گونه آورده شده است. نتایج حاصل از این شاخص به خوبی نشان دهنده‌ی اختلاط کم گونه‌های مرمرز و راش و اختلاط بالای سایر گونه‌های مورد بررسی می‌باشد. همچنین مقدار میانگین دو شاخص اندازه قطر برابر سینه و اندازه ارتفاعی برای کل درختان برابر با 0/51 محاسبه شد. میانگین ارزش‌های این دو شاخص برای هر گونه درختی به طور جداگانه محاسبه (جدول 1) و نمودار توزیع ارزش‌های آن‌ها ترسیم شده است (شکل 6). نتایج حاصل از این دو شاخص بیان‌کننده‌ی چیرگی نسبی گونه‌های نمودار، توسکای ییلاقی، پلت و بلندمازو و مغلوب بودن گونه‌های ملج و خرمندی است. همچنین گونه‌های مرمرز و راش دارای الگوی توزیع کم و بیش یکسانی هستند. تابع همبستگی ویژگی‌ها همانند تابع همبستگی جفتی با ایجاد یک نمودار وضعیت اختلاف ابعاد قطری گونه‌های درختی را تشریح می‌کند (شکل 7). این نمودار نشان دهنده‌ی بهایی است که درختان به علت نزدیک بودن به یکدیگر می‌پردازند؛ به گونه‌ای که درختان با فاصله کمتر از 7/5 متر از یکدیگر دارای قطری کمتر نسبت به متوسط تیپ مورد مطالعه هستند.

گرفته‌اند، مقدار این تابع کمتر از 1 برآورد می‌شود. مقادیر کمتر از 1 برای این تابع نشان دهنده کمتر بودن قطر برابر سینه جفت درخت مورد مطالعه نسبت به قطر متوسط توده می‌باشد (۹۹۸ ایلغ لمغ ع غلا غ س ل غ ب). یکی از مشکلاتی موجود در محاسبه شاخص‌های مبتنی بر نزدیکترین همسایه، تاثیر درختان نزدیک به مرز قطعات نمونه است. به گونه‌ای که بعضی از همسایگان این درختان در خارج از قطعه نمونه قرار دارند و به علت عدم اندازه‌گیری آن‌ها، انحرافی در محاسبه شاخص‌ها ایجاد می‌شود. در این پژوهش به منظور برطرف نمودن این مشکل از روش تصحیح حاشیه ح استفاده شد. در هنگام استفاده از این روش، درختان مرجعی که فاصله آن‌ها تا مرز قطعه نمونه کمتر از فاصله آن‌ها تا همسایگان خود است در محاسبه‌های مربوط به ساختار مکانی به عنوان درخت مرجع در نظر گرفته نمی‌شوند (۶، ۲۰۰ گ م ک ف ک ع ل غ ک گ خ)

نتایج

به منظور بررسی تراکم درختان موجود در تیپ مرمرز-راش از میانگین فاصله هر درخت تا نزدیکترین همسایه خود استفاده شد که برابر با 2/67 متر به دست آمد. با استفاده از این میانگین، به راحتی می‌توان تراکم تیپ‌های مختلف را با یکدیگر مورد مقایسه قرار داد. میانگین شاخص کلارک و اوانز برای کل درختان برابر با 0/86 محاسبه شد که نشان دهنده‌ی حالتی مابین الگوی تصادفی و کپه‌ای است. همچنین مقدار میانگین شاخص زاویه یکنواخت برای کل درختان و صرف نظر از نوع گونه درخت مرجع برابر با 0/53 محاسبه شد که نشان دهنده‌ی تجمع تصادفی درختان همسایه در اطراف درخت مرجع است. همچنین با استفاده از شاخص زاویه یکنواخت، موقعیت مکانی گونه‌های درختی به طور مجزا از یکدیگر مورد بررسی قرار گرفت. میانگین این شاخص برای هر گونه در جدول 1 نشان داده شده است. اگرچه مقدار میانگین شاخص زاویه یکنواخت برای بررسی ساختار یک توده کاملاً مفید است، اما با این وجود به

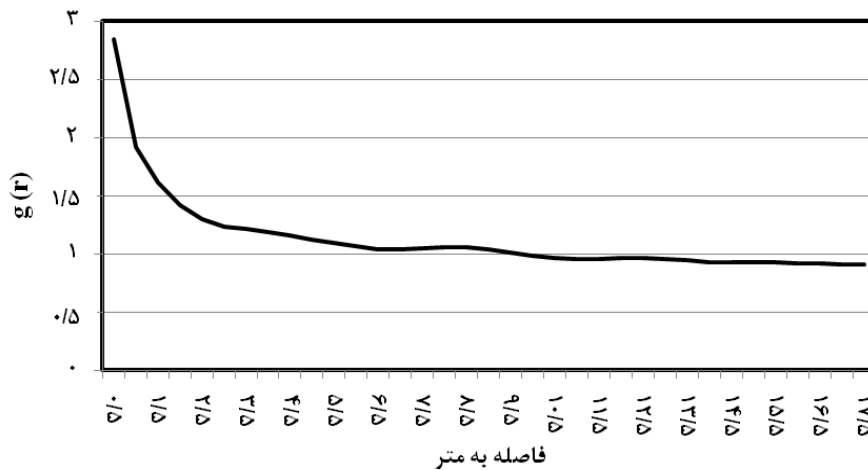


شکل 3- توزیع ارزش‌های شاخص زاویه یکنواخت برای گونه‌های موجود در تپه ممرز-راش

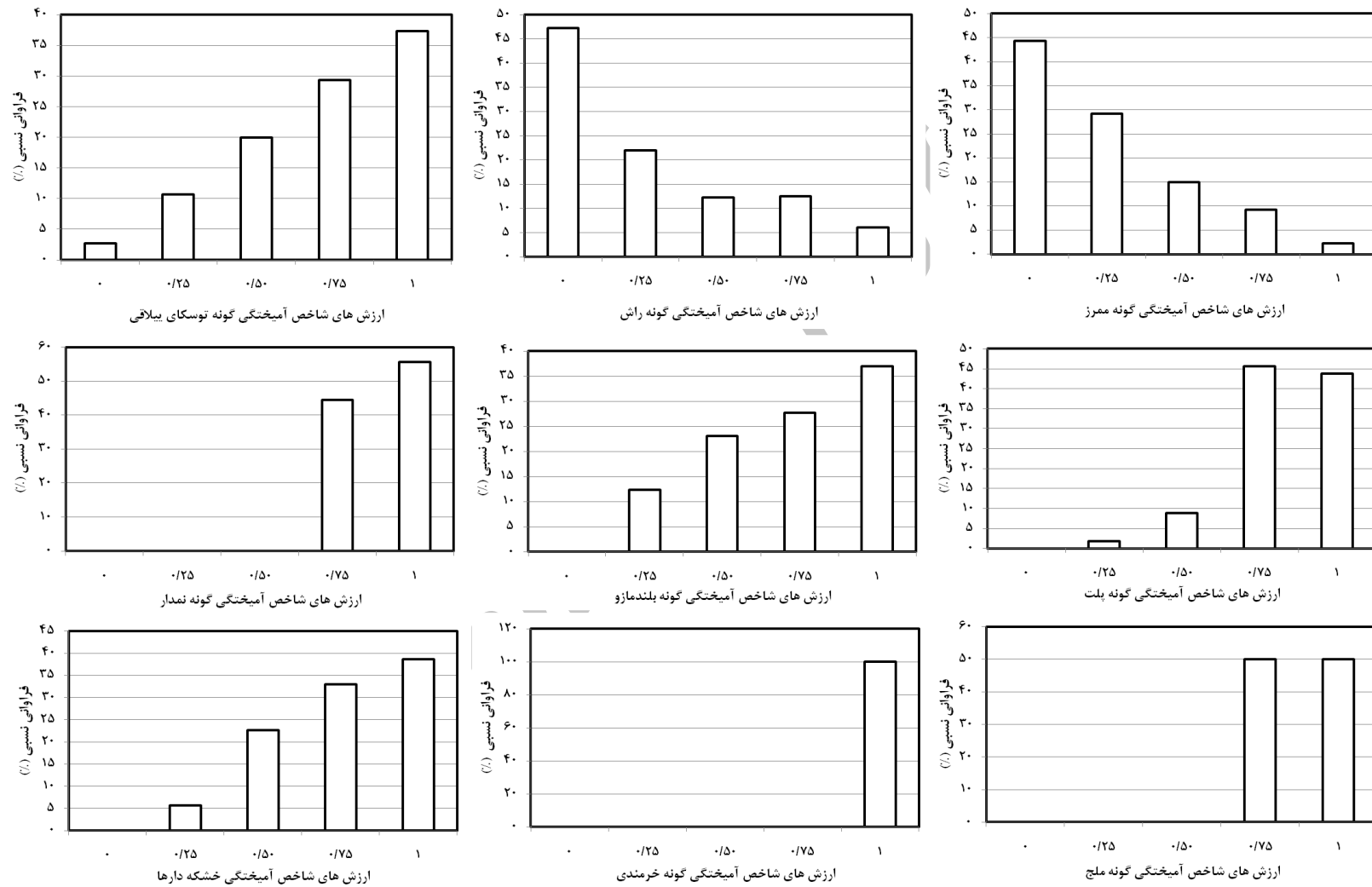
جدول 1- میانگین شاخص‌های زاویه یکنواخت، آمیختگی، اندازه قطر برابر سینه و اندازه ارتفاع گونه‌های موجود در تیپ ممرز-راش (بدون واحد)

گونه	تعداد گروه ساختاری قبل از تصحیح حاشیه	تعداد گروه ساختاری بعد از تصحیح حاشیه	فس	فپچ	فپر	فثر
راش	783	321	0/52	0/26	0/52	0/50
ممرز	1470	761	0/54	0/24	0/49	0/49
بلندمازو	116	65	0/52	0/72	0/57	0/61
توسکای بیلاقی	151	70	0/52	0/74	0/77	0/77
پلت	131	57	0/49	0/83	0/64	0/73
نمدار	16	9	0/56	0/89	0/69	0/72
خرمندی	2	1	0/75	1	0/25	0
ملج	14	6	0/46	0/88	0/08	0/17
خشکه‌دار	161	105	0/50	0/76	0/26	0/26

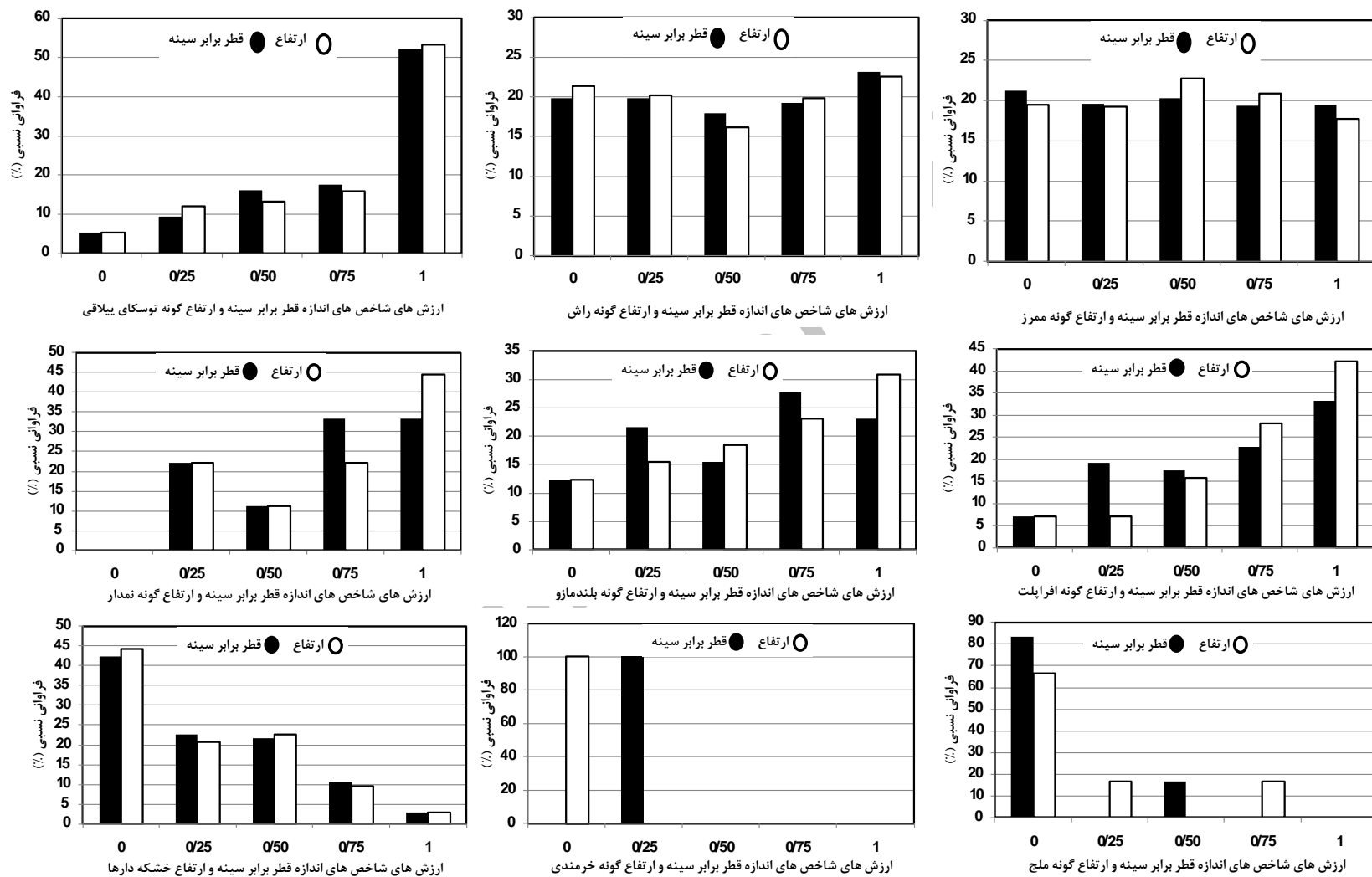
فس = میانگین شاخص زاویه یکنواخت = فپچ = میانگین شاخص آمیختگی = فپر = میانگین شاخص اندازه قطر برابر سینه = فثر = میانگین شاخص اندازه ارتفاع



شکل 4- نمودار تابع همبستگی جفتی کل گونه‌های درختی تیپ ممرز-راش



شکل 5- توزیع ارزش‌های شاخس آمیختگی برای گونه‌های موجود در تپه ممرز-راش



شکل 6- توزیع ارزش‌های شاخص‌های اندازه قطر برابر سینه و ارتفاع برای گونه‌های موجود در تیپ ممرز-راش

