كمي‌سازي ساختار مكاني جنگل‌هاي ميان بند شمال ايران (مطالعه موردي: بخش گرازبن جنگل خيرود)

وحيد علي‌جاني[۱]*، جهانگير فقهي[۲]، محمود زبيري[۳] و محمدرضا مروي مهاجر[۳]
[*۱] دانشجوي كارشناسي ارشد گروه جنگلداري و اقتصاد جنگل دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران، ايران
[۲] دانشيار گروه جنگلداري و اقتصاد جنگل دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران، ايران
[۳] استاد گروه جنگلداري و اقتصاد جنگل دانشكده منابع طبيعي دانشگاه تهران، ايران
(تاريخ دريافت: ۱۳۸۹/۱۲/۱۹ ، تاريخ تصويب: ۱۳۹۰/۸/۲۳)

چكيده
كمي‌سازي ساختار مكاني، از مهمترين اجزاي تشريح بوم‌سازگان‌هاي طبيعي و تنوع زيستي آنهاست. در اين پژوهش ضمن معرفي مجموعه‌اي از شاخص‌ها و توابع مربوط به ساختار مكاني، با استفاده از ۱۰۲ قطعه نمونه ۱۰۰۰ متر مربعي ساختار مكاني تيپ ممرز-راش بخش گرازبن جنگل خيرود بررسي شد. بدين منظور از شاخص‌هاي كلارک و اوانز، زاويه يكنواخت، شانون-وينر، آميختگي، اندازه قطر برابر سينه و ارتفاع و تابع‌های همبستگي جفتي و همبستگي ويژگي‌ها استفاده شد. شاخص‌هاي مذكور به بررسي تنوع موقعيت مكاني، تنوع گونه‌اي و تنوع ابعاد درختان مي‌پردازند. ميانگين شاخص‌هاي كلارک و اوانز و زاويه يكنواخت به ترتيب ۰/۸۶ و ۰/۵۳ محاسبه شد كه نشان دهنده‌ي توزيعي بين تصادفي و كپه‌اي است. همچنين تابع همبستگي جفتي بيان كرد كه تعداد جفت درختان با فاصله بين درختي كمتر از ۵/۵ متر بيشتر از جنگل دارای توزيع تصادفي است. ميانگين شاخص‌هاي شانون-وينر و آميختگي به ترتيب ۱/۱۷ و ۰/۳۶ محاسبه شد. شاخص آميختگي نشان دهنده‌ي اختلاط كم گونه‌هاي راش و ممرز و اختلاط بالاي ساير گونه‌ها است. مقدار ميانگين دو شاخص اندازه قطر برابر سينه و ارتفاع ۰/۵۱ محاسبه شد كه نشان دهنده‌ي غالبيت ابعاد گونه-هايي از جمله نمدار و توسكاي ييلاقي و مغلوبيت گونه‌هايي مانند ملج و خرمندي است. تابع همبستگي ويژگي‌ها نشان داد كه درختاني كه در فاصله كمتر از ۷/۵ متر نسبت به يكديگر قرار دارند داراي قطر كمتري نسبت به متوسط تيپ هستند. شاخص و تابع-های بكار رفته در اين تحقيق توانايي بالايي در تشريح ساختار گونه‌هاي تيپ ممرز-راش دارند و نتايج آن جهت مديريت پايدار جنگل مفيد است.

واژه هاي كليدي: ساختار مكاني، موقعيت مكاني، تنوع گونه‌اي، تنوع ابعاد، جنگل خيرود

* نويسنده مسئول: وحيد علي‌جاني تلفن: ۰۹۳۷۳۵۹۳۳۱۱ فاكس: ۰۲۶۳۲۲۴۹۳۱۲ E-mail: v_alijani@ut.ac.ir

مقدمه

در سال‌هاي اخير با افزايش علم و پيشرفت علوم طبيعي، اهميت تنوع زيستي در زمينه‌هاي مختلف آشکار شده است (Memarian *et al.*, 2007). تنوع زيستي[1] بالا نه تنها همانند سپري بوم‌سازگان را در مقابل اختلال‌هاي عمده طبيعي حفظ مي‌کند؛ بلکه باعث افزايش حاصلخيزي آنها نيز مي‌شود (Ghomi Avili *et al.*, 2007).

ساختار مکاني جنگل ارتباطي مستقيم با زيستگاه بسياري از گونه‌هاي گياهي و جانوري دارد (Kint *et al.*, 2000)؛ به همين دليل به عنوان يکي از مهمترين اجزاي کليدي در تشريح اکوسيستم‌هاي جنگلي و تنوع زيستي به کار مي‌رود (Kint *et al.*, 2004). به طور کلي، موضوع "ساختار جنگل[2]" چيدمان فضايي يکسري از ويژگي‌هاي درختان از جمله سن درخت، ابعاد، گونه، جنسيت (در مورد درختان دو پايه) و مواردي از اين دست را مورد توجه قرار مي‌دهد (Graz, 2006). به منظور تشريح ساختار جنگل نياز است که ساختار مکاني در سه جنبه تنوع موقعيت مکاني، تنوع گونه‌اي و همچنين تنوع ابعاد درختان مورد بررسي قرار گيرد (Kint *et al.*, 2000; Pommerenng, 2002; Aguirre *et al.*, 2003; Pommerening, 2006b). تنوع موقعيت مکاني درختان منعکس کننده‌ي الگوي پراکنش آنها مي‌باشد که ممکن است از يکي از الگوهاي کپه‌اي، تصادفي، منظم و يا حالتي مابين آنها پيروي کند. تنوع گونه‌اي به بررسي چيدمان مکاني گونه‌هاي مختلف در ارتباط با يکديگر مي‌پردازد؛ درحالي که تنوع ابعاد درختان در برگيرنده چيدمان مکاني مشخصه‌هايي از جمله قطر برابر سينه و ارتفاع است (Pommerening, 2006b).

در ايران تاکنون مطالعه خاصي که در برگيرنده‌ي هر سه جنبه ساختار مکاني باشد، انجام نگرفته است و پژوهش‌هاي انجام شده در اين زمينه تنها به بررسي موقعيت مکاني درختان پرداخته‌اند. از جمله اين تحقيقات مي‌توان به (Alavi *et al.*, 2005)، (Basiri *et al.*, 2006)، (Habashi *et al.*, 2007)، (Erfanifard *et al.*, 2008)، (Safari *et al.*, 2010) و همچنين (Haji Mirza Aghayee *et al.*, 2010) اشاره کرد. اما در پژوهش‌هاي خارج از ايران هر سه جنبه ساختار مکاني مورد توجه قرار گرفته است. (Biber Weyerhaeuser, 1998) بيان کردند که بکارگيري مجموعه‌اي از شاخص‌هاي مربوط به ساختار مکاني به منظور استفاده‌هاي اکولوژيکي و جنگل‌شناسي بسيار مفيد است. (Kint *et al.*, 2000) ضمن تشريح ساختار مکاني و اجزاي آن به کمي‌سازي ساختار يک توده متشکل از کاج (*Pinus sylvestris*) و بلوط (*Quercus robur* و *Quercus rubra*) پرداختند. همچنين (Pommerening, 2002) بيان کرد که به منظور تعيين اختلافات موجود در بين توده‌هاي جنگلي در زمان و مکان‌هاي مختلف و همچنين بررسي تاثير مديريت بر روي ساختار جنگل کمي‌سازي ساختار با استفاده از ترکيبي از شاخص‌هاي موجود لازم است. (Aguiree *et al.*, 2003) يک مجموعه از شاخص‌هاي مبتني بر نزديکترين همسايه را بکار بردند و از مزاياي اين شاخص-ها به عدم نياز به اندازه‌گيري فاصله بين درختان اشاره کردند. ساختار مکاني به شدت تحت تاثير فعاليت‌هايي از جمله عمليات پرورشي و بهره‌برداري قرار دارد؛ به همين دليل (Kint, 2005) ضمن تشريح اثرات تکامل طبيعي بر روي ساختار يک توده کهنسال کاج (*Pinus sylvestris*) بيان کرد که نتايج حاصل از اين چنين پژوهش‌هايي بايد به عنوان يک مرجع در اختيار مدير جنگل قرار گيرد. (Graz, 2006) با بکارگيري شاخص‌هاي مبتني بر نزديکترين همسايه بيان کرد که اين شاخص‌ها نه تنها وضعيت فعلي تنوع زيستي را نشان مي‌دهند بلکه مي-توانند وضعيت اکولوژيکي گونه‌هاي مختلف را مشخص نمايند. همچنين در طي پژوهشي که (Ruprecht *et al*, 2010) انجام دادند، بر لزوم در اختيار داشتن دانش کافي در رابطه با ساختار مکاني جنگل به منظور مديريت حفاظتي گونه‌هاي در معرض خطر تاکيد کردند. (Pommerening Stoyan, 2006) با تاکيد بر لزوم اصلاح

[1] Biodiversity
[2] Forest Structure

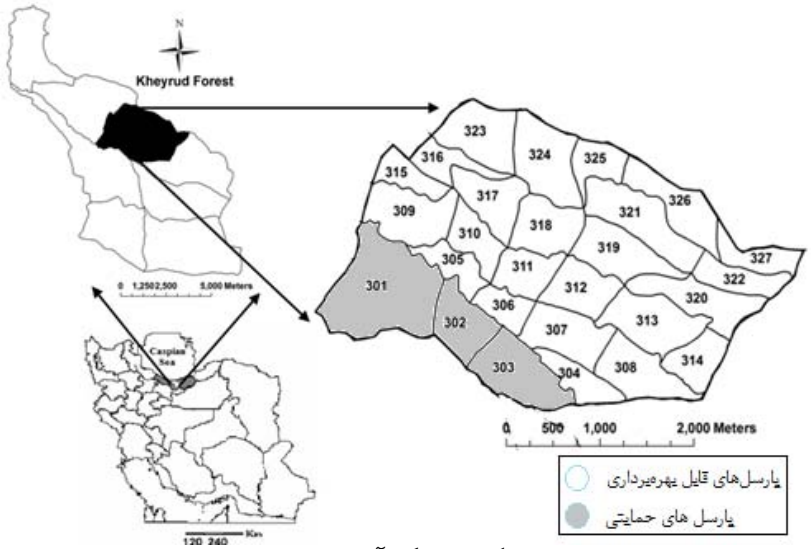
تاثير درختان نزديک به مرز قطعات نمونه در هنگام محاسبه شاخص‌هاي مبتني بر نزديکترين همسايه بيان کردند که روش تصحيح حاشيه NN داراي توانايي بالايي در برطرف نمودن اين مشکل است.

جنگل‌هاي شمال ايران از مهم‌ترين و با ارزش‌ترين اکوسيستم‌هاي کشور و منبع توليد چوب محسوب مي-شود، که در برگيرنده‌ي ۱۵ درصد مساحت کل جنگل-هاي ايران و ۱/۱ درصد از مساحت کل کشور است (Nouri *et al.*, 2009). اين جنگل‌ها با داشتن حدودا ۸۰ گونه درختي و ۵۰ گونه‌ي درختچه‌اي جزء جنگل‌هاي غني دنيا بوده و شباهت‌هاي زيادي با جنگل‌هاي پهن-برگ مخلوط اروپاي مرکزي دارد؛ ولي از نظر تعداد و تنوع گونه‌اي بسيار غني‌تر است (Marvi Mohadjer, 2005). بنابراين، به دليل اهميت اين جنگل‌ها و به منظور مديريت صحيح آن نياز است که اطلاعات کافي در رابطه با ساختار مکاني تيپ‌هاي جنگلي و گونه‌هاي موجود در آن جمع‌آوري و در اختيار مديران جنگل قرار گيرد. به اين منظور در اين پژوهش که در تيپ ممرز-راش بخش گرازبن جنگل آموزشي و پژوهشي خيرود صورت گرفت، سعي شد که با ترکيبي از شاخص و تابع‌ها به بررسي جنبه‌هاي مختلف ساختار مکاني گونه‌هاي درختي موجود در اين تيپ پرداخته شود. همچنين در اين تحقيق سعي خواهد شد فرضيه مناسب بودن اين شاخص و تابع‌ها در کمي‌سازي ساختار مکاني گونه‌هاي درختي مورد بررسي قرار گيرد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

اين بررسي در تيپ ممرز-راش بخش گرازبن جنگل آموزشي و پژوهشي خيرود انجام شد. اين بخش به عنوان سومين بخش از جنگل خيرود، داراي مساحتي در حدود ۱۰۰۱ هکتار و از ۲۷ پارسل تشکيل شده، که داراي مساحتي بين ۱۵/۵۶ تا ۸۳/۳۷ هکتار مي‌باشند (شکل۱).



شکل ۱- موقعيت بخش گرازبن جنگل آموزشي و پژوهشي خيرود نوشهر

ميزان بارندگي در اين بخش در حدود ۱۳۰۰-۱۶۰۰ ميليمتر در سال است که حداقل و حداکثر آن به ترتيب در تير و مهر ماه ريزش مي‌کند. همچنين سنگ مادر اين بخش آهکي و به دوران ژوراسيک عليا تعلق دارد و از نظر خاکشناسي داراي خاک‌هاي قهوه‌اي جنگلي است (Forest management plan, 2010).

شاخص و تابع‌هاي مورد بررسي

در اين پژوهش از اطلاعات ۱۰۲ قطعه نمونه ثابت ۱۰۰۰ متر مربعي برداشت شده در تيپ ممرز-راش بخش گرازبن استفاده شد. در داخل هر قطعه نمونه مشخصه-هايي از جمله نوع گونه، قطر برابر سينه، فاصله و آزيموت هر درخت تا مرکز قطعه نمونه و همچنين ارتفاع قطورترين و نزديکترين درخت به مرکز قطعه نمونه برداشت شد. به منظور کمي‌سازي ساختار مکاني درختان موجود در اين تيپ، از نرم‌افزار Crancod 1.3 (Pommerening, 2006a) استفاده شد. اين نرم‌افزار که به منظور آناليز و بررسي شاخص‌هاي ساختاري طراحي شده، قادر است که با استفاده از اطلاعات آماربرداري صد درصد و همچنين قطعات نمونه دايره‌اي و مستطيلي به بررسي ساختار مکاني بپردازد. به منظور بررسي تنوع موقعيت مکاني از شاخص‌هاي کلارک و اوانز[1]، زاويه يکنواخت[2] و تابع همبستگي جفتي[3] و براي کمي‌سازي تنوع گونه‌هاي درختي از شاخص‌هاي شانون-وينر[4] و آميختگي[5] استفاده شد. همچنين به منظور کمي‌سازي تنوع ابعاد درختان از شاخص‌هاي اندازه قطر برابر سينه[6]، اندازه ارتفاع[7] و تابع همبستگي ويژگي‌ها[8] استفاده شد. در اين قسمت براي تشريح بهتر روش کار، شاخص و تابع-های مورد استفاده معرفي مي‌شوند.

شاخص و تابع‌های مربوط به تنوع موقعيت مکاني

شاخص کلارک و اوانز (**CE**)

از اين شاخص براي تعيين ميزان انحرافي که يک توده جنگلي از جنگل پوآسون[9] (جنگلي با توزيع تصادفي) دارد، استفاده مي‌شود. در اين شاخص، با استفاده از رابطه ۱ ميانگين فاصله بين يک درخت و نزديکترين همسايه آن (r_A) با ميانگين مورد انتظار در صورتي که موقعيت درختان به طور تصادفي پراکنده شده باشند (r_E) مورد مقايسه قرار مي‌گيرد.

رابطه ۱:

$$CE=\frac{r_A}{r_E}=\frac{\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} r_i}{0.5\times\sqrt{\frac{A}{N}+0.0514\times\frac{P}{N}+0.041\times\frac{P}{N^{3/2}}}}$$

در رابطه فوق، r_i عبارت است از فاصله بين درخت i و نزديکترين همسايه آن به متر؛ N نشان دهنده‌ي تعداد کل درختان در داخل قطعه نمونه؛ A سطح قطعه نمونه به متر مربع؛ و P محيط قطعه نمونه به متر است. زماني که توزيع درختان در توده مورد مطالعه از الگوي تصادفي پيروي کند، مقدار CE برابر با ۱ مي‌شود. درحالي که CE کمتر از ۱ نشان دهنده‌ي حالت کپه‌اي؛ و CE بيشتر از ۱ بيان کننده‌ي موقعيت منظم درختان است (kint *et al.*, 2000).

شاخص زاويه يکنواخت (**W_i**)

اين شاخص بر اساس روش‌هاي مبتني بر نزديکترين همسايه به بررسي درجه منظم بودن موقعيت مکاني درختان در گروه‌هاي ساختاري مي‌پردازد. هر گروه ساختاري شامل يک درخت مرجع و چندين همسايه آن است. اساس کار اين شاخص بر مبناي مقايسه‌ي زاويه‌ي بين درختان همسايه (α_j) نسبت به زاويه استاندارد (α_0) است. مقدار زاويه‌ي استاندارد (α_0) و شاخص زاويه يکنواخت (W_i) به ترتيب از روابط ۲ و ۳ قابل محاسبه است.

رابطه ۲:

$$\alpha_0=\frac{360}{1+\text{تعداد همسائه}}$$

رابطه ۳:

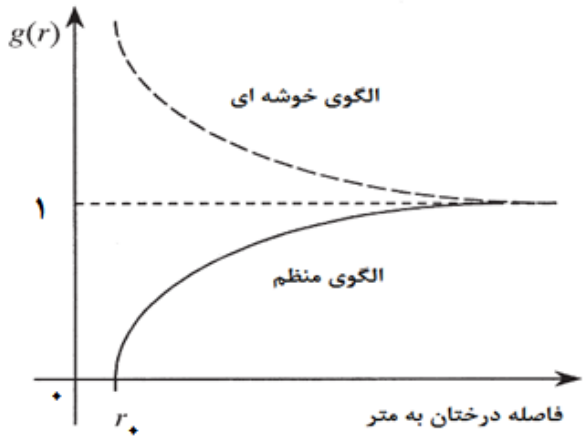
$$W_i=\frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} v_{ij} \qquad v_{ij}=\begin{bmatrix}1\rightarrow & \alpha_j<\alpha_0\\ 0\rightarrow & \alpha_j\geq\alpha_0\end{bmatrix}$$

[1] Clark & Evans
[2] Uniform angle index
[3] Pair correlation function
[4] Shannon-Wiener index
[5] Mingling index
[6] DBH dominance
[7] Height dominance
[8] Mark correlation function
[9] Poisson

با توجه به رابطه ۳، مقدار شاخص زاويه يكنواخت در هنگام استفاده از چهار درخت همسايه، يكي از پنج ارزش صفر ، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و يا ۱ است. با ميانگين‌گيري از اين ارزش‌ها مقدار متوسط تجمع ($\overline{w_i}$) براي كل توده قابل محاسبه است. ارزش پايين $\overline{w_i}$ نشان دهنده الگوي منظم و ارزش بالاي آن نشان دهنده‌ي الگوي كپه‌اي درختان است. بنابراين مي‌توان بيان نمود كه: $\overline{W}_{\text{كپه‌اي}} > \overline{W}_{\text{تصادفي}} > \overline{W}_{\text{منظم}}$. (Corral *et al.*, 2010).

تابع همبستگي جفتي ((g(r))

ميزان اين تابع به فاصله بين درختان بستگي دارد و بر خلاف بعضي از شاخص‌هاي مربوط به بررسي ساختار مكاني از جمله شاخص كلارک و اوانز، نتيجه اين تابع به شكل يک عدد نيست، بلكه به شكل يک نمودار ارائه مي‌گردد. شكل ۲ نشان دهنده حالت‌هاي مختلف اين تابع در هنگام بررسي موقعيت مكاني درختان است.



شكل۲- حالت‌هاي مختلف نمودار تابع همبستگي جفتي (منبع: **Pommerening, 2002**)

ميزان اين تابع از رابطه ۴ قابل محاسبه است.

رابطه ۴: $P(r) = \lambda^2 \times g(r) \times df_1 \times df_2$

كه در آن P(r) احتمال پيدا كردن يک درخت در دو دايره فرضي C_1 و C_2 با مساحت‌هاي بسيار كوچک df_1 و df_2 ؛ λ عبارت است از تراكم جنگل مورد بررسي و g(r) عبارت است از تابع همبستگي جفتي. در هنگام بررسي يک جنگل با موقعيت درختان تصادفي، نمودار تابع همبستگي جفتي، موازي محور افقي (فاصله درختان به متر) و برابر با ۱ قرار مي‌گيرد. در مواقعي كه موقعيت درختان داراي تمايل به منظم شدن باشد (براي مثال: توده‌هاي خيلي پير با فواصل بين درختي زياد)، ارزش-هاي g(r) در فواصل كم بين درختان برابر با صفر و اگر موقعيت مكاني يک توده‌ي داراي الگوي كپه‌اي مورد بررسي قرار گيرد مقدار اين تابع در فواصل كم بين درختان بيش از يک مي‌باشد (Pommerening, 2002).

شاخص‌هاي مربوط به تنوع گونه‌هاي درختي

شاخص شانون- وينر (H')

اين شاخص كه از رابطه ۵ قابل محاسبه است، نمونه‌اي از يک شاخص مستقل از فاصله بوده كه در اين پژوهش بطور مكمل با شاخص آميختگي بكار رفته است.

رابطه ۵: $H' = -\sum_{i=1}^{n} (P_i) \times (\text{Ln}\, P_i)$

در رابطه فوق، n تعداد گونه‌هاي موجود در منطقه مورد مطالعه؛ P_i نسبت فراواني افراد يک گونه نسبت به كل

درختان و H′ مقدار شاخص شانون-وينر است که مي‌تواند بين صفر تا ۵ متغير باشد (Bakus, 2004).

شاخص آميختگي گونه‌اي ($\mathbf{DM_i}$)

اين شاخص همانند شاخص زاويه يکنواخت به بررسي وضعيت درختان در يک گروه ساختاري مي‌پردازد. مقدار اين شاخص از رابطه ۶ قابل محاسبه است:

رابطه ۶:

$$DM_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} v_{ij} \qquad v_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow j \text{ گونه} & \neq i \text{ گونه} \\ 0 \rightarrow j \text{ گونه} & = i \text{ گونه} \end{bmatrix}$$

در رابطه فوق، i درخت مرجع و j درختان همسايه است. با توجه به فراواني نسبي و موقعيت قرارگيري گونه‌ها نسبت به يکديگر اين شاخص داراي ارزشي بين ۱-۰ است. در هنگام استفاده از چهار همسايه در يک گروه ساختاري، يکي از مقادير صفر (همه همسايه‌ها مشابه گونه مرجع)، ۰/۲۵ (يک همسايه متفاوت با درخت مرجع)، ۰/۵۰ (دو همسايه متفاوت با درخت مرجع)، ۰/۷۵ (سه همسايه متفاوت با درخت مرجع) و يا ۱ (هيچ‌کدام از همسايه‌ها مشابه گونه مرجع نمي‌باشند) بدست خواهد آمد (Ruprecht *et al.*, 2010).

شاخص و تابع‌هاي مربوط به تنوع اندازه درختان

شاخص اندازه قطر برابر سينه ($\mathbf{TD_i}$)

اين شاخص بر اساس روش‌هاي مبتني بر نزديکترين همسايه به بررسي نسبت ابعاد قطر برابر سينه درختان مجاور يکديگر مي‌پردازد (رابطه ۷).

رابطه ۷:

$$TD_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} v_{ij} \qquad v_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow & DBH_i \geq DBH_j \\ 0 \rightarrow & DBH_i < DBH_j \end{bmatrix}$$

در رابطه فوق، i درخت مرجع و j درختان همسايه مي‌باشد. ارزش‌هاي بدست آمده از اين شاخص در هنگام استفاده از چهار درخت همسايه، همانند دو شاخص زاويه يکنواخت و آميختگي يکي از پنج مقدار صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و ۱ است. زماني که درختان مرجع از نظر قطر برابر سينه نسبت به ساير گونه‌هاي مجاور خود چيره باشند، ارزش اين شاخص به سمت ۱ ميل مي‌کند و بالعکس (Graz, 2006).

شاخص اندازه ارتفاع ($\mathbf{TH_i}$)

اساس کار اين شاخص (رابطه ۸) کاملا شبيه به شاخص اندازه قطر برابر سينه است؛ و تنها تفاوت موجود در مشخصه مورد بررسي است. (Graz, 2006).

رابطه ۸:

$$TH_i = \frac{1}{4}\sum_{j=1}^{4} v_{ij} \qquad v_{ij} = \begin{bmatrix} 1 \rightarrow & H_i \geq H_j \\ 0 \rightarrow & H_i < H_j \end{bmatrix}$$

تابع همبستگي ويژگي‌ها ($\mathbf{K(r)}$)

اساس کار اين تابع همانند "تابع همبستگي جفتي" است، و تنها تفاوت اين است که اين تابع علاوه بر در نظر گرفتن موقعيت درختان به بررسي ويژگي m (قطر برابر سينه) نيز مي‌پردازد. يک جزء اساسي اين تابع، تابع غير منفي $F(m_1,m_2)$ است، که به شکل $F(m_1,m_2)=m_1.m$ تعريف مي‌شود. در اين تابع $Z(r)$ يک عدد متغير است که در صورتي که در هر يک از دو دايره فرضي با مساحت بسيار کم df_1 و df_2، يک مرکز نقاط يافت شود داراي ارزش $F(m_1,m_2)$ بوده و در غير اينصورت داراي ارزش صفر مي شود. در رابطه ۹، نحوه محاسبه ارزش مورد انتظار براي $Z(r)$ ($E(Z(r))$) نشان داده شده است.

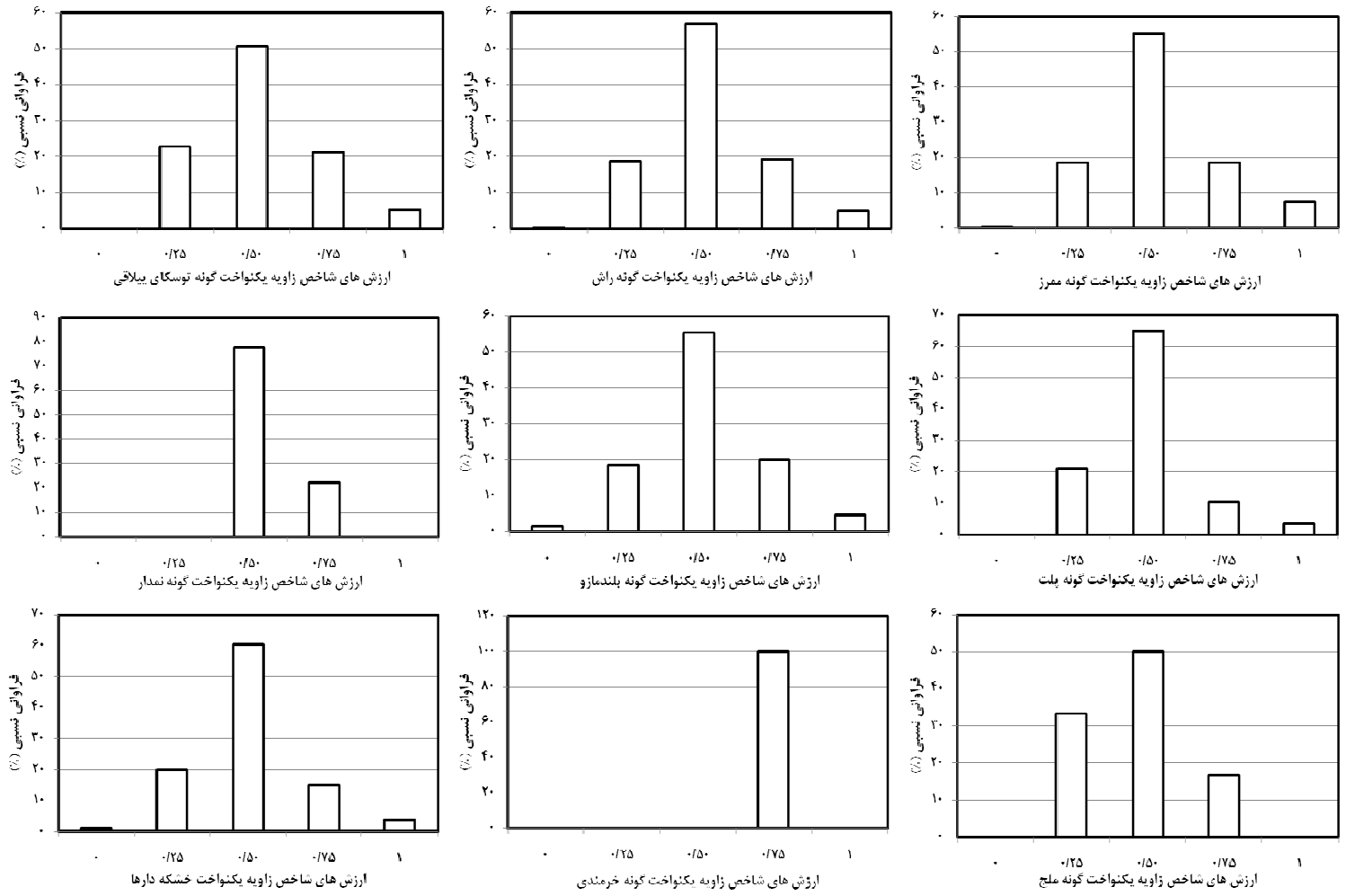
رابطه۹: $E(Z(r)) = K_f(r) \times g(r) \times \overline{m}^2 \times \lambda df_1 \times \lambda df_2$

در رابطه فوق $K_f(r)$ مقدار تابع همبستگي ويژگي‌ها، $g(r)$ تابع همبستگي جفتي، $\overline{m}^2$ مجذور ميانگين حسابي همه ويژگي‌ها (m) و λ تراکم جنگل مورد بررسي است. در هنگام استفاده از اين تابع در بررسي قطر برابر سينه درختاني که در فاصله کمي از يکديگر قرار گرفته‌اند، مقدار اين تابع کمتر از ۱ برآورد مي‌شود. مقادير کمتر از ۱ براي اين تابع نشان دهنده کمتر بودن

قطر برابر سينه جفت درخت مورد مطالعه نسبت به قطر متوسط توده مي‌باشد (Biber Weyerhaeuser, 1998). يكي از مشكلاتي موجود در محاسبه شاخص‌هاي مبتني بر نزديكترين همسايه، تاثير درختان نزديک به مرز قطعات نمونه است. به گونه‌اي كه بعضي از همسايگان اين درختان در خارج از قطعه نمونه قرار دارند و به علت عدم اندازه‌گيري آن‌ها، انحرافي در محاسبه شاخص‌ها ايجاد مي‌شود. در اين پژوهش به منظور برطرف نمودن اين مشكل از روش تصحيح حاشيه NN استفاده شد. در هنگام استفاده از اين روش، درختان مرجعي كه فاصله آن‌ها تا مرز قطعه نمونه كمتر از فاصله آن‌ها تا همسايگان خود است در محاسبه‌هاي مربوط به ساختار مكاني به عنوان درخت مرجع در نظر گرفته نمي‌شوند (Pommerening Stoyan, 2006)

نتايج

به منظور بررسي تراكم درختان موجود در تيپ ممرز-راش از ميانگين فاصله هر درخت تا نزديكترين همسايه خود استفاده شد كه برابر با ۲/۶۷ متر به دست آمد. با استفاده از اين ميانگين، به راحتي مي‌توان تراكم تيپ‌هاي مختلف را با يكديگر مورد مقايسه قرار داد. ميانگين شاخص كلارک و اوانز براي كل درختان برابر با ۰/۸۶ محاسبه شد كه نشان دهنده‌ي حالتي مابين الگوي تصادفي و كپه‌اي است. همچنين مقدار ميانگين شاخص زاويه يكنواخت براي كل درختان و صرف نظر از نوع گونه درخت مرجع برابر با ۰/۵۳ محاسبه شد كه نشان دهنده-ي تجمع تصادفي درختان همسايه در اطراف درخت مرجع است. همچنين با استفاده از شاخص زاويه يكنواخت، موقعيت مكاني گونه‌هاي درختي به طور مجزا از يكديگر مورد بررسي قرار گرفت. ميانگين اين شاخص براي هر گونه در جدول ۱ نشان داده شده است. اگرچه مقدار ميانگين شاخص زاويه يكنواخت براي بررسي ساختار يک توده كاملا مفيد است، اما با اين وجود به منظور تفسير بهتر موقعيت مكاني از نمودار توزيع ارزش-هاي اين شاخص در طبقه‌هاي مختلف استفاده شد (شكل ۳). نتايج حاصل از اين شاخص براي تمامي درختان حالت مشابهي را نشان مي‌دهد به جز گونه خرمندي كه به دليل تعداد كم پايه‌هاي مشاهده شده نتيجه حاصل قابل استناد نيست. بر خلاف دو شاخص ديگر، تابع همبستگي جفتي با ايجاد يک نمودار به بررسي موقعيت مكاني درختان مي‌پردازد (شكل ۴). ميزان اين تابع تا فاصله بين درختي ۵/۵ متر بيش از ۱ است؛ كه به اين معني است كه تعداد جفت درختاني كه فاصله بين آنها كمتر از ۵/۵ متر است از حالت مورد انتظار در توزيع تصادفي بيشتر است و بيان‌كننده‌ي الگوي كپه‌اي درختان مي‌باشد. ميانگين شاخص‌هاي شانون-وينر و آميختگي براي كل تيپ به ترتيب برابر با ۱/۱۷ و ۰/۳۶ محاسبه شد. همچنين در جدول ۱ و شكل ۵ مقدار ميانگين و نمودارهاي توزيع ارزش‌هاي شاخص آميختگي براي هر گونه آورده شده است. نتايج حاصل از اين شاخص به خوبي نشان دهنده‌ي اختلاط كم گونه‌هاي ممرز و راش و اختلاط بالاي ساير گونه‌هاي مورد بررسي مي‌باشد. همچنين مقدار ميانگين دو شاخص اندازه قطر برابر سينه و اندازه ارتفاعي براي كل درختان برابر با ۰/۵۱ محاسبه شد. ميانگين ارزش‌هاي اين دو شاخص براي هر گونه درختي به طور جداگانه محاسبه (جدول ۱) و نمودار توزيع ارزش‌هاي آن‌ها ترسيم شده است (شكل ۶). نتايج حاصل از اين دو شاخص بيان كننده‌ي چيرگي نسبي گونه‌هاي نمدار، توسكاي ييلاقي، پلت و بلندمازو و مغلوب بودن گونه‌هاي ملج و خرمندي است. همچنين گونه‌هاي ممرز و راش داراي الگوي توزيع كم و بيش يكساني هستند. تابع همبستگي ويژگي‌ها همانند تابع همبستگي جفتي با ايجاد يک نمودار وضعيت اختلاف ابعاد قطري گونه‌هاي درختي را تشريح مي‌كند (شكل ۷). اين نمودار نشان دهنده‌ي بهايي است كه درختان به علت نزديک بودن به يكديگر مي‌پردازند؛ به گونه‌اي كه درختان با فاصله كمتر از ۷/۵ متر از يكديگر داراي قطري كمتر نسبت به متوسط تيپ مورد مطالعه هستند.

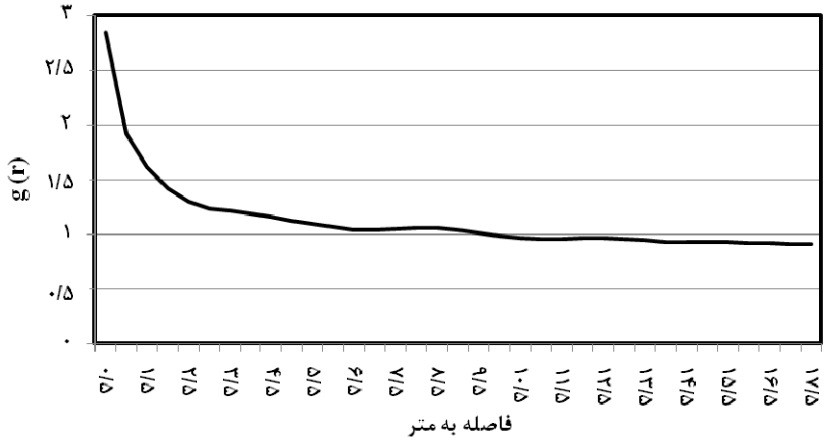


شکل ۳- توزیع ارزش‌هاي شاخص زاويه يكنواخت براي گونه‌هاي موجود در تيپ ممرز-راش

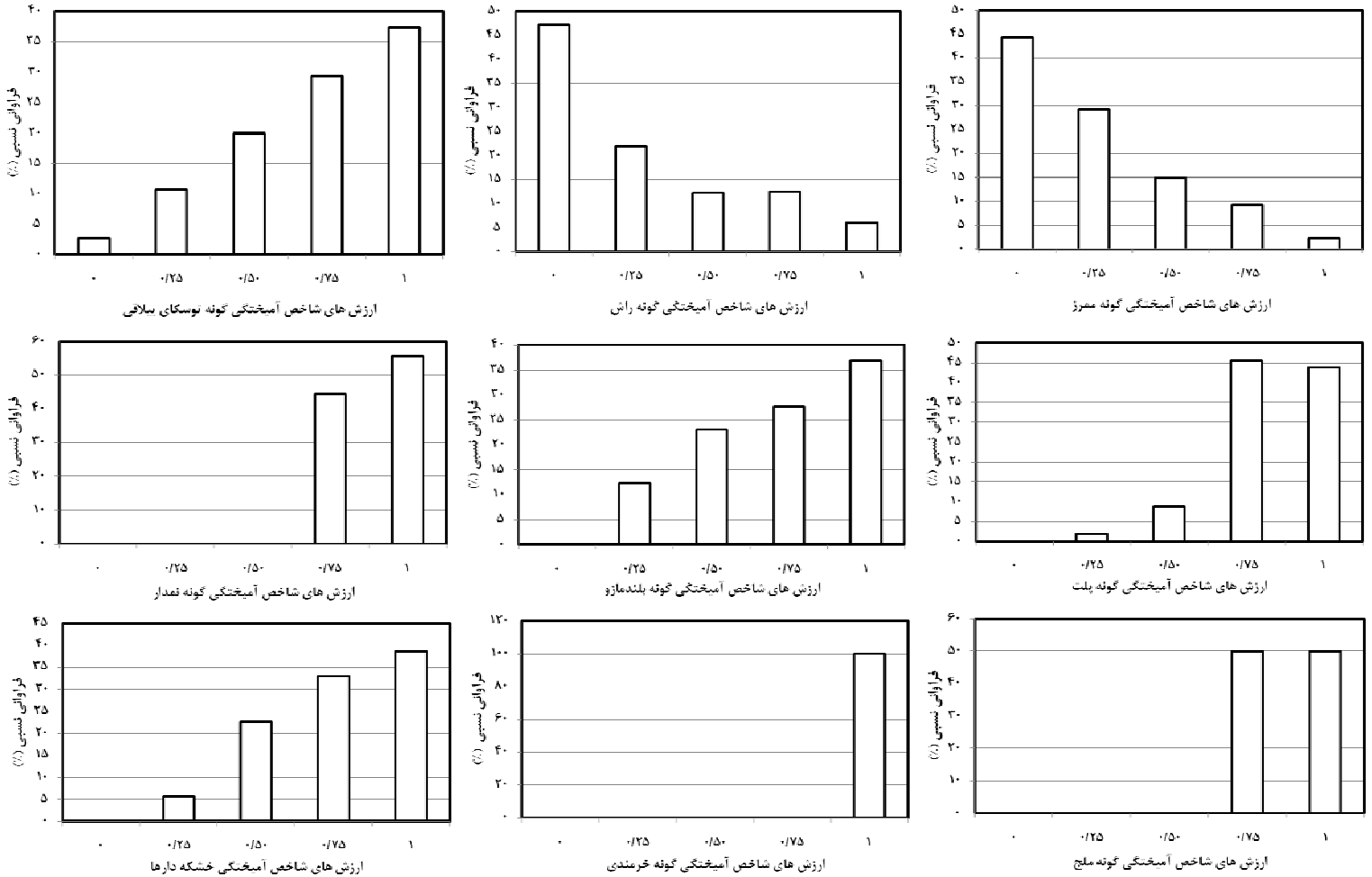
جدول ۱- میانگین شاخص‌هاي زاویه یکنواخت، آمیختگي، اندازه قطر برابر سینه و اندازه ارتفاع گونه‌هاي موجود در تیپ ممرز – راش (بدون واحد)

گونه	تعداد گروه ساختاری قبل از تصحیح حاشیه	تعداد گروه ساختاری بعد از تصحیح حاشیه	$\overline{W_i}$	$\overline{MD_i}$	$\overline{TD_i}$	$\overline{TH_i}$
راش	۷۸۳	۳۲۱	۰/۵۲	۰/۲۶	۰/۵۲	۰/۵۰
ممرز	۱۴۷۰	۷۶۱	۰/۵۴	۰/۲۴	۰/۴۹	۰/۴۹
بلندمازو	۱۱۶	۶۵	۰/۵۲	۰/۷۲	۰/۵۷	۰/۶۱
توسکای ییلاقی	۱۵۱	۷۰	۰/۵۲	۰/۷۴	۰/۷۷	۰/۷۷
پلت	۱۳۱	۵۷	۰/۴۹	۰/۸۳	۰/۶۴	۰/۷۳
نمدار	۱۶	۹	۰/۵۶	۰/۸۹	۰/۶۹	۰/۷۲
خرمندی	۲	۱	۰/۷۵	۱	۰/۲۵	۰
ملج	۱۴	۶	۰/۴۶	۰/۸۸	۰/۰۸	۰/۱۷
خشکه‌دار	۱۶۱	۱۰۵	۰/۵۰	۰/۷۶	۰/۲۶	۰/۲۶

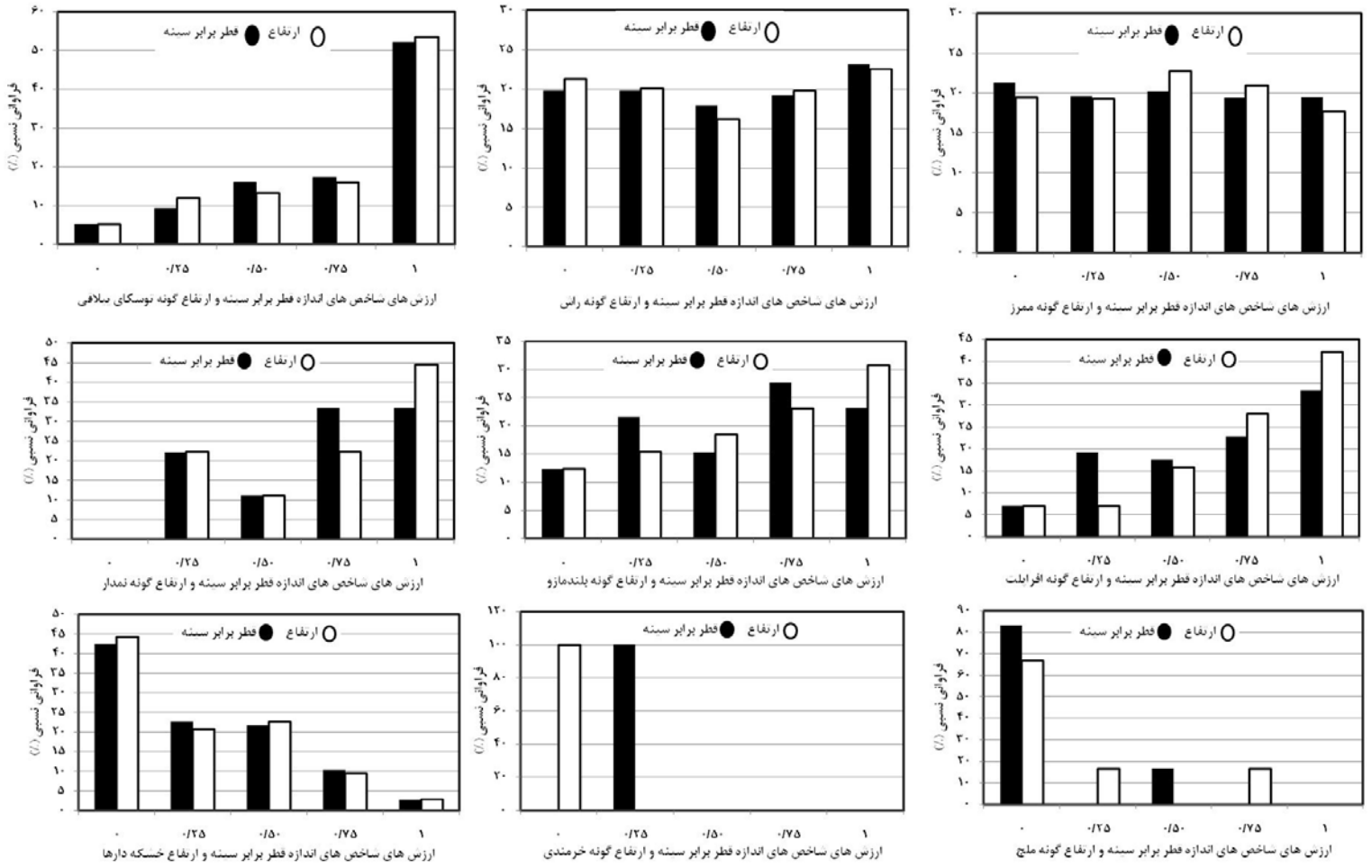
$\overline{W_i}$ = میانگین شاخص زاویه یکنواخت؛ $\overline{MD_i}$ = میانگین شاخص آمیختگی؛ $\overline{TD_i}$ = میانگین شاخص اندازه قطر برابر سینه؛ $\overline{TH_i}$ = میانگین شاخص اندازه ارتفاعی



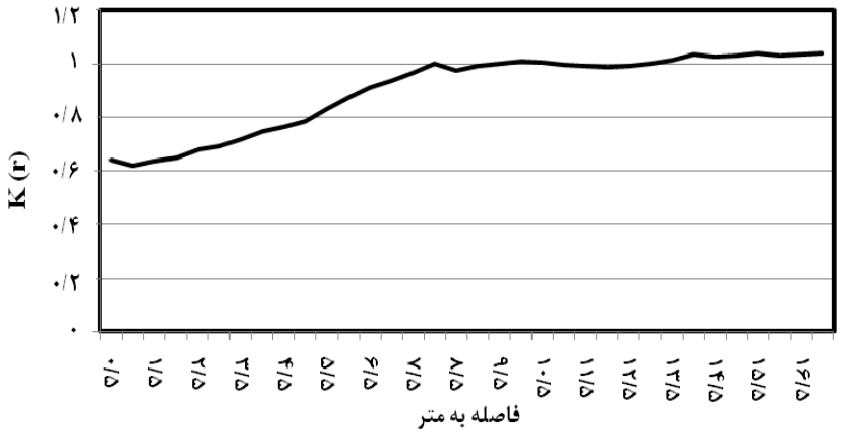
شکل۴- نمودار تابع همبستگي جفتي کل گونه‌هاي درختي تیپ ممرز-راش



شكل ۵- توزيع ارزش‌هاي شاخص آميختگي براي گونه‌هاي موجود در تيپ ممرز-راش



شکل ۶- توزیع ارزش‌هاي شاخص‌هاي اندازه قطر برابر سينه و ارتفاع براي گونه‌هاي موجود در تيپ ممرز-راش



شكل۷- نمودار تابع همبستگي ويژگي‌هاي كل گونه‌هاي درختي تيپ ممرز-راش

بحث و نتيجه‌گيري

يكي از اهداف مهم جنگلداري نوين، حفظ ساختار و تنوع زيستي اكوسيستم‌هاست. به اين منظور، براي مديريت جنگل به ابزارهايي نياز است كه بتوان با صرف كمترين هزينه و زمان به بررسي وضعيت فعلي و همچنين تغييرات ايجاد شده بر اثر فعاليت‌هاي مديريتي و تكامل طبيعي جنگل پرداخت. شاخص و تابع‌هاي به كار رفته در اين پژوهش داراي مزايايي هستند كه كاربرد آنها را نسبت به اندازه‌گيري‌هاي مستقيم تنوع زيستي ارجحيت مي‌بخشد. زيرا علاوه بر بررسي تنوع گونه‌اي به بررسي موقعيت مكاني و همچنين اختلاف اندازه درختان مي-پردازند.

نتايج حاصل از شاخص كلارک و اوانز نشان دهنده الگويي بين تصادفي تا كپه‌اي براي درختان موجود در تيپ ممرز-راش بود. از مزاياي اين شاخص مي‌توان به سادگي محاسبه و محدود بودن ارزش ميانگين آن (۲/۱۴۹۱ - ۰) اشاره كرد؛ و بنابراين كاربرد اين شاخص را در هنگام مقايسه توده‌هاي مختلف به سادگي امكان پذير مي‌سازد. نكته قابل توجه در رابطه با اين شاخص، پايين بودن اعتمادپذيري آن در هنگام بررسي توده‌هاي با توزيع كپه-اي است (Kint *et al.*, 2000). نتايج حاصل از اين شاخص با نتايج (Haji Mirza Aghayee *et al*, 2010) كه با استفاده از شاخص‌هاي پراكنش گرين[1] و موريسيتا[2] الگوي گونه‌هاي ممرز، راش، انجيلي، پلت و شيردار را كپه‌اي معرفي مي‌كند، همخواني دارد. (Habashi *et al.*, 2007) يكي از مهمترين دلايل كپه‌اي بودن پراكنش درختان را الگوي تجديد حيات آنها بيان كردند. همچنين (Graz, 2004) در بررسي خود بر تاثير نحوه‌ي زادآوري درختان بر الگوي مكاني آنها تاكيد كرد. شاخص زاويه يكنواخت، الگوي تجمع تصادفي را براي گونه‌هاي مورد مطالعه در اين پژوهش نشان داد كه به دليل طبيعي بودن جنگل‌هاي منطقه مورد مطالعه است. (kint *et al.*, 2000) بيان كردند كه الگوي مكاني توده‌ها تحت تاثير مديريت جنگل قرار دارد، به گونه‌اي كه در توده‌هاي مديريت شده خوشه‌ها به نفع درختان مرغوب تنک مي-شوند و در نتيجه پراكنش درختان به سمت منظم شدن تمايل پيدا مي‌كند. همچنين در پژوهشي كه (Hui *et al.*, 2007) انجام دادند بيان كردند كه شاخص زاويه يكنواخت نسبت به ساير شاخص‌هاي مربوط به تنوع موقعيت مكاني داراي توانايي بالاتري مي‌باشد. تابع همبستگي جفتي به طور مكمل با دو شاخص قبلي، اطلاعات مفيدي را در رابطه با پراكنش درختان ارائه مي‌دهد، اين تابع بيان مي-كند كه تعداد جفت درختاني كه در فواصل كمتر از ۵/۵

[1] Green
[2] Morisata

متر نسبت به يكديگر قرار دارند، داراي فراواني بيشتري نسبت به حالت تصادفي هستند. نتايج حاصل از اين شاخص با توجه به جوان بودن منطقه مورد بررسي و قرارگيري درختان در فواصل كم از يكديگر قابل توجيه است. تنوع گونه‌اي، دومين جنبه از ساختار مكاني است كه با استفاده از دو شاخص شانون و آميختگي مورد بررسي قرار گرفت. يكي از معايب شاخص شانون-وينر اين است كه با يک ميانگين به بررسي تنوع گونه‌اي مي-پردازد و در تشريح روابط بين گونه‌ها ناتوان است. اين عيب توسط توانايي شاخص آميختگي در بررسي روابط بين درختان جبران شده است. شاخص آميختگي به خوبي نشان دهنده‌ي اختلاف ساختار گونه‌هاي مختلف بوده؛ به گونه‌اي كه نتايج حاصل از اين پژوهش نشان داد كه گونه‌هاي ممرز و راش داراي تمايل زيادي به حضور در كنار پايه‌هاي همجنس خود هستند در حالي كه گونه-هايي از قبيل توسكاي ييلاقي، پلت، بلندمازو، نمدار، ملج و خرمندي غالبا با پايه‌هايي از گونه‌هايي ديگر اختلاط دارند. نتايج حاصل از بكارگيري اين شاخص در رابطه با آميختگي راش با نتايج (Habashi *et al.*, 2007) كه با بررسي جامعه‌پذيري راش بيان كردند كه راش داراي جامعه‌پذيري منفي است، همخواني دارد. همچنين (Pommerening, 2002) بيان كرد كه آميختگي گونه‌اي تحت تاثير موقعيت مكاني درختان قرار دارد و گونه‌هايي كه داراي الگوي كپه‌اي هستند داراي آميختگي كمي مي‌باشند. سومين جنبه ساختار مكاني مورد بررسي تنوع ابعاد درختان بود. نتايج حاصل از دو شاخص اندازه قطر برابر سينه و ارتفاع به خوبي اختلاف گونه‌هاي مختلف را نشان داد، بر اساس اين دو شاخص گونه‌هايي از جمله نمدار، توسكاي ييلاقي، پلت و بلندمازو داراي چيرگي بالايي نسبت به درختان مجاور خود هستند، در حالي كه خرمندي و ملج غالبا به صورت مغلوب در توده ظاهر شده‌اند. نمودارهاي توزيع ارزش‌هاي شاخص‌هاي اندازه قطر برابر سينه و ارتفاع ممرز و راش نشان دهنده شباهت نسبي وضعيت چيرگي اين دو گونه است، اما نكته قابل توجه كم بودن فراواني نسبي طبقه ۱ در گونه ممرز نسبت به راش است كه به اين علت است كه گونه ممرز داراي چيرگي كمتري نسبت به راش است. تابع همبستگي ويژگي‌ها كه به بررسي اختلاف قطري جفت درختان در فواصل مختلف پرداخت، بر اين اصل كه هر چه درختان به يكديگر نزديكتر باشند قطر برابر سينه آنها نسبت به متوسط توده كمتر است، تاييد كرد. از دلايل كم بودن قطر درختان نزديک به يكديگر مي‌توان به رقابت بوجود آمده در بين درختان اشاره كرد. (Pommerening, 2002) بيان كرده است كه ارزش‌هاي كم اين شاخص مي‌تواند نتيجه وجود خوشه‌هايي با درختان جوان و باريک باشد.

بر اساس نتايج حاصل مشاهده شد كه شاخص و تابع‌هاي بكار رفته داراي توانايي بالايي در تشريح وضعيت فعلي ساختار مكاني و تنوع زيستي تيپ‌هاي جنگلي مي‌باشند. از مزاياي اين شاخص‌ها و توابع مي‌توان به صحت بالا، ارزان بودن و انعطاف پذيري بالا در انتخاب تعداد درختان همسايه اشاره كرد. از ديگر مزاياي اين شاخص‌ها اين است كه با استفاده از قطعات نمونه ثابت مي‌توان سير تكاملي جنگل و همچنين تاثير مديريت بر ساختار مكاني جنگل را مورد ارزيابي قرار داد؛ و از نتايج آن جهت مديريت پايدار جنگل استفاده كرد.

References

- Aguirre, O., Hui, G., Gadow, K.V., Jimenez, J., 2003. An analysis of forest structure using neighborhood-based variables. Forest Ecology and Management. 183, 137-145.
- Alavi, S.J., Zahedi Amiri, Gh., Marvi Mohadjer, M.R., 2006. An investigation of spatial pattern in Wych Elm (*Ulmus glabra*) in Hyrcanian forest, Case study: Kheyroudkenar forest, Noshahr. Iranian Journal Natural Resource. 4, 793-804
- Bakus, G.J., 2004. Quantitative analysis of mapping biological communities. John Wiley press. 435 pp.
- Basiri, R., Sohrabi, H., Mozayen, M., 2006. A statistical analysis of the spatial pattern of trees species in Ghamisheleh Marvian region, Iran. Journal of the Iranian Natural Resource. 2, 579-588.

- Biber, P., Weyerhaeuser, H., 1998. Numerical methods for characterizing structure and diversity applied to a natural tropical forest and even aged Teak stand. In Mies, E. 1998 (Ed): Natural and socioeconomic analysis and modeling of forest and agroforestry systems in Southeast Asia. Publication by the German foundation for international development, Zchortau, Germany, 83-104.
- Corral, J.J., Wehenkel, C., Castelanos, H.A., Vargas, B., Dieguez, U., 2010. A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbor indices in forest stands. Journal of Forest Research. 15, 218-225.
- Erfanifard, S.Y., Feghhi, J., Zobeiri, M., Namiranian, M., 2008. Investigation on the spatial pattern of trees in Zagros forests. Journal of the Iranian Natural Resource. 4, 1319-1328.
- Forest Management plan of Gorazbon district, kheirud, Noushahr. 2010. University of Tehran. 297 pp.
- Ghomi Avili, A., Hosseini, S. M., Mataji, A. A., Jalali, S. GH. A., 2007. Biodiversity of woody species in different soils of two plant associations. Iranian Journal of Biology. 2, 200-206.
- Graz, P.F., 2004. The behavior of the species mingling index M_{sp} in relation to species dominance and dispersion. European Journal of Forest Research. 123, 87-92.
- Graz, P.F,. 2006. Spatial diversity of dry savanna woodlands. Biodiversity and Conservation. 15, 1143-1157.
- Habashi, H., Hosseini, S. M., Mohammadi, J., Rahmani, R., 2007. Stand structure and spatial pattern of trees in mixed Hyrcanian Beech forest of Iran. Iranian Journal of Forest and Poplar Research. 1, 55-64.
- Haji Mirza Aghayee, S., Jalilvand, H., Kooch, Y., Pormajidian, M.R., 2010. Analysis of important value and spatial pattern of woody species in ecological units (Case study: Sardabrood forests of Chalous). Iranian Journal of Forest. 1, 51-60.
- Hui, G., Li, L., Zhonghua, Z., Puxing, D., 2007. Comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern. Acta Ecologica Sinica. 27(11), 4717-4728.
- Kint, V., Lust, N., Ferris, R., Olsthoorn, A.F.M., 2000. Quantification of forest stand structure applied to Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.) Forests. Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales. 1, 147-163.
- Kint, V., Wulf Robert, D., Noel, L., 2004. Evaluation of sampling methods for the estimation of structural indices in forest stands. Ecological Modeling. 180, 461-476.
- Kint, V., 2005. Structural development in ageing temperate Scots pine stands. Forest Ecology and Management. 214, 237-250.
- Marvi Mohadjer, M. R., 2005. Silviculture. University of Tehran press. 387pp.
- Memarian, F., Tabbary, M., Hosseini, S.M., Banj Shafiee, A., 2007. A comparison between biodiversity in needle leaf mixed stand with broad leaf mixed stand in Kalardasht. Journal of Environmental Studies. 42, 103-108.
- Nouri, Z., Feghhi, J., Alavi, S.J., 2009. Investigation on the sustainability of tree species diversity using common sample plots in forest management planning (Case study: Gorazbon district, Kheyroud Forest). Journal of the Iranian Natural Res,. 4, 909-919.
- Pommerening, A., 2002. Approaches to quantifying forest structures. Forestry. 3, 305-324.
- Pommerening, A., 2006a. Crancod 1.3-Manual. University of wales, Bangor. 24 pp.
- Pommerening, A., 2006b. Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. Forest Ecology and Management. 224, 266-277.
- Pommerening, A., Stoyan, D., 2006. Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. Canadian Journal of Forest Research. 36, 1723-1739.
- Ruprecht, H., Dhar, A., Aigner, B., Oitzinger, G., Raphael, K., Vacik, H., 2010. Structural diversity of English yew *(Taxus bacata L.)* populations. European Journal of Forest Research. 129, 189-198.
- Safari, A., Shabanian, N., Erfanifard, S.Y., Heidari, R.H., Purreza, M., 2010. Investigation of the spatial pattern of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf) (Case study: Bayangan forests, Kirmanshah). Iranian Journal of Forest. 2, 177-185.

Quantifying the Spatial Structure in Hyrcanian Submountain Forest (Case Study: Gorazbon District of Kheirud Forest-Noushahr-Iran)

V. Alijani[1*], J. Feghhi[2], M. Zobeiri[3] and M.R. Marvi Mohadjer[3]
[1] M.Sc. student, Faculty of Natural Resource, University of Tehran, I.R. Iran
[2]Associate Professor, Faculty of Natural Resource, University of Tehran, I.R. Iran
[3]Prof., Faculty of Natural Resource, University of Tehran, I.R. Iran
(Received: 09/03/2011 , Accepted: 13/11/2011)

Abstract
Quantifying spatial structure is one of the most important components, describing natural ecosystems and their biodiversity. In this study, a set of indices and functions related to spatial structure using 102 established plots with an area of 1000 m^2 were presented. To achieve spatial structure of *Carpinus-Fagus* type, a set of indices (Clark & Evans, uniform angle, Shannon-Wiener, mingling and DBH/Height dimension) and functions (pair correlation and mark correlation) were applied. The indices and functions demonstrated the diversity of tree positioning, species, and tree dimension. The mean values of Clark & Evans and uniform angle indices were 0.86 and 0.53, respectively, indicating a distribution between random and cluster patterns. Also, pair correlation function indicated trees with inter-tree distance smaller than 5.5 m were more than the same forest with a random distribution. The mean values of Shannon-Wiener and mingling indices were computed 1.17 and 0.36, respectively. Mingling index properly showed a low mixture of beech and hornbeam and a high mixture of other species. Furthermore, the mean values of both DBH/Height dominance indices were 0.51, which indicated that some species such as linden and alder were dominance and species including elm and persimmon were conquered. Mark correlation function showed that trees with inter-tree distance less than 7.5 m had a smaller DBH rather than the average of forest. The utilized indices and functions in this study had a high ability in describing of available species structure in *Carpinus-Fagus* forest type, so the result could be applied in sustainable forest management.

Keywords: Spatial structure, Tree positioning, Species diversity, Dimension diversity, Kheirud forest

*Corresponding author: Tel: +989373593311 Fax:+982632249312 E-mail: v_alijani@ut.ac.ir