

## بررسی ساختار تیپ‌های مختلف جنگلی با استفاده از شاخص‌های نزدیک‌ترین همسایه (مطالعه موردی: بخش گرازبن جنگل خیرود)

وحید علی جانی، جهانگیر فقهی\*، محمود زبیری و محمدرضا مروی مهاجر<sup>۱</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۸/۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۲/۳)

### چکیده

برای مدیریت صحیح اکوسیستم‌های جنگلی داشتن اطلاعات کافی در رابطه با ساختار گونه‌های درختی ضروری می‌باشد. در این تحقیق، ساختار گونه‌های درختی تیپ‌های راش (*Fagus*)، راش-ممرز (*Fagus-Carpinus*)، ممرز-راش (*Carpinus-Fagus*) و ممرز-بلوط (*Carpinus-Quercus*) جنگل‌های هیرکانی مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت. اطلاعات مورد استفاده برای این تحقیق، با استفاده از ۲۳۹ قطعه نمونه ۱۰۰۰ مترمربعی که به روش منظم تصادفی در بخش گرازبن جنگل خیرود پیاده شده بود، جمع‌آوری و با استفاده از نرم‌افزار *CrancoD (Ver. 1.3)* شاخص‌های زاویه یکنواخت، آمیختگی و ابعاد قطر برابر سینه و ارتفاع محاسبه شد. نتایج حاصل از شاخص زاویه یکنواخت نشان‌دهنده موقعیت مکانی تصادفی برای درختان چهار تیپ مورد بررسی بود. نتایج شاخص آمیختگی، آمیختگی کمی را برای چهار تیپ مورد بررسی نشان داد. نتایج به دست آمده از این شاخص نشان داد که اکثراً گونه‌های *Fagus orientalis* و *Carpinus betulus* دارای رقابت درون گونه‌ای و سایر گونه‌های مورد بررسی دارای رقابت بین گونه‌ای می‌باشند. میانگین شاخص‌های ابعاد قطر برابر سینه و ارتفاع نشان‌دهنده شباهت نسبی تیپ‌های مورد بررسی از نظر این ویژگی بود. نتایج حاصل از این دو شاخص غالبیت نسبی گونه‌های *Acer velutinum*، *Tilia begonifolia* و *Alnus subcordata* و مغلوبیت *Ulmus glabra* و *Diospyros lotus* را نشان دادند. مقایسه ساختار گونه‌های مشابه در تیپ‌های مختلف، نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار بین آنها از نظر ویژگی‌های موقعیت مکانی، ابعاد قطر برابر سینه و ارتفاع بود؛ و تنها اختلافات دیده شده در آمیختگی گونه‌های *Carpinus betulus*، *Fagus orientalis*، *Acer velutinum* و *Tilia begonifolia* و همچنین خشکه‌دارها در تیپ‌های مورد بررسی بود. شاخص‌های به کار رفته در این تحقیق دارای توانایی بالایی در تشریح ساختار تیپ‌های مختلف و همچنین ویژگی‌های اکولوژیکی گونه‌های درختی هستند.

واژه‌های کلیدی: ساختار جنگل، جنگل‌های هیرکانی، موقعیت مکانی، آمیختگی، ابعاد درختان

۱. گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: jfegghi@ut.ac.ir

## مقدمه

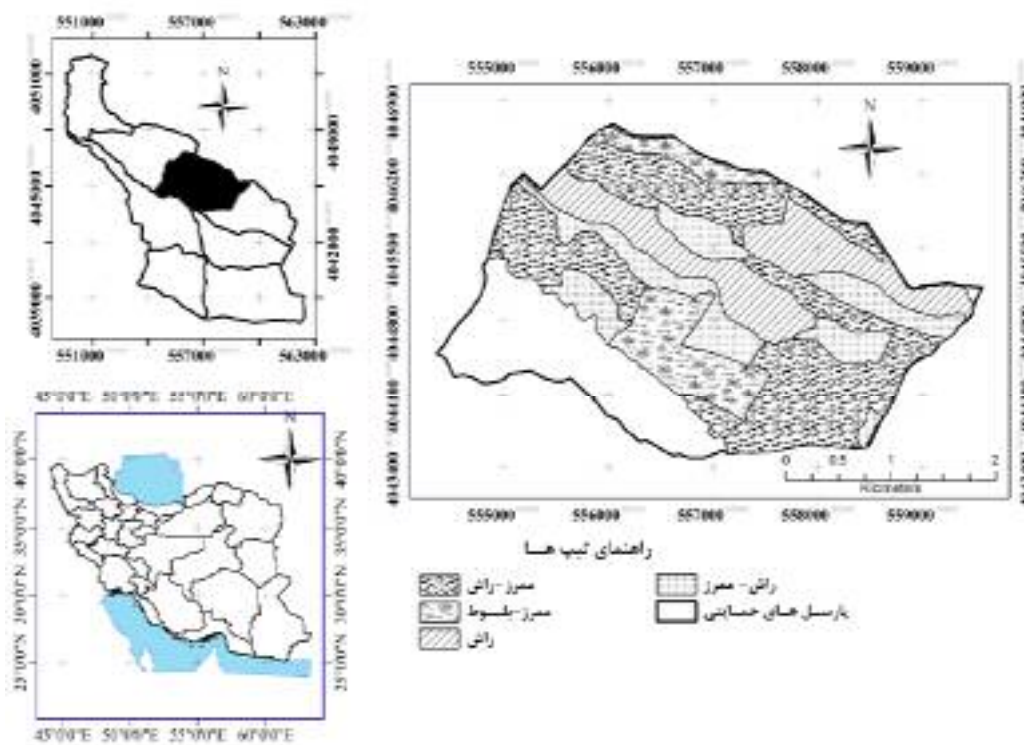
جنگل‌های هیرکانی ایران، به‌عنوان یکی از آخرین نواحی یافت شده از جنگل‌های پهن‌برگ دوران باستان شناخته شده‌اند (۱۶). با وجود این‌که این جنگل‌ها سطح کمی از مساحت کشور را پوشانده‌اند (کمتر از یک درصد)، نقش مهمی را در حفاظت خاک، ذخیره آب، زیستگاه حیات وحش و جذب توریسم دارند و به‌عنوان یک منبع تولیدی دارای ارزش‌های معنوی و مادی زیادی هستند (۱۴).

مطالعات مربوط به ساختار جنگل یکی از مباحث مورد توجه و ضروری مخصوصاً در راستای اهداف جنگل‌شناسی نزدیک به طبیعت می‌باشد (۳). به منظور بررسی ساختار جنگل، نیاز است که تعریفی مشخص از ساختار و ویژگی‌های آن صورت پذیرد. در همین راستا، محققین مختلف در نظر گرفتن سه ویژگی تنوع موقعیت مکانی، تنوع آمیختگی و تنوع ابعاد درختان را توصیه نموده‌اند (۹، ۱۸ و ۲۰). تنوع موقعیت مکانی درختان منعکس‌کننده الگوی پراکنش آنها می‌باشد که ممکن است از یکی از الگوهای کپه‌ای، تصادفی، منظم و یا حالتی مابین آنها پیروی کند (۴). تنوع گونه‌ای به بررسی چیدمان مکانی گونه‌های مختلف در ارتباط با یکدیگر می‌پردازد و تنوع ابعاد درختان در برگیرنده چیدمان مکانی مشخصه‌هایی از جمله قطر برابر سینه و ارتفاع است (۲۰). به منظور بررسی ساختار جنگل، یک گروه تحقیقاتی از مؤسسه مدیریت جنگل دانشگاه گوتینگن (آلمان) مجموعه‌ای از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه را توسعه دادند. این شاخص‌ها با عملکردی مشابه به ملکول‌های شیمیایی به بررسی نزدیک‌ترین همسایه‌های هر درخت یا نقطه مجزا در توده جنگلی می‌پردازند (۲۰).

کینت و همکاران در بررسی این شاخص‌ها به توانایی بالای آنها در تشریح دقیق ساختار توده و هم‌چنین بررسی سیر تکامل توده اشاره کردند (۱۸). هم‌چنین پومرنینگ از دیگر مزایای این شاخص‌ها به توانایی به‌کار بردن آنها در اندازه‌گیری اختلافات بین توده‌ها در زمان و مکان‌های

مختلف، تعیین اختلاف بین ساختار جنگل مشاهده شده و مورد انتظار و هم‌چنین کمی‌سازی تغییرات حاصل از عملیات بهره‌برداری اشاره کرد (۱۹). در تحقیقی دیگر آگویری و همکاران از مزایای این شاخص‌ها به عدم نیاز به ثبت موقعیت درختان و اندازه‌گیری فاصله بین آنها اشاره و بیان کردند که ارزیابی ساختار جنگل با استفاده از این شاخص‌ها کامل‌تر و راحت‌تر از روش‌های سنتی می‌باشد (۹). اما یکی از مشکلات موجود در کمی‌سازی ساختار جنگل با استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه، تأثیر حاشیه قطعات نمونه بر محاسبه آنها می‌باشد. در سال‌های اخیر به منظور رفع این مشکل تعداد زیادی روش‌های تصحیح حاشیه توسعه یافته‌اند. در تحقیقی دیگر پومرنینگ و استویان، ضمن تشریح این مشکل بیان کردند که استفاده از روش تصحیح حاشیه نزدیک‌ترین همسایه (Nearest Neighbor) در صورت وجود تعداد کافی درخت در قطعات نمونه می‌تواند مفید باشد (۲۱). هم‌چنین کینت کاربرد نتایج حاصل از این شاخص‌ها را در مدیریت پایدار جنگل و به‌خصوص در رابطه با گونه‌های در معرض انقراض توصیه کرد (۱۷ و ۲۲). و اما در جنگل‌های ایران در مطالعات متعددی جنبه‌های مختلف ساختار جنگل مورد بررسی قرار گرفته‌اند؛ ولی برای اولین بار کاربرد شاخص‌های مذکور در جنگل‌های ایران با تحقیقی که روی گونه ملج (*Ulmus glabra*) و هم‌چنین تحقیق دیگری که روی ساختار گونه‌های درختی تپ ممرز-راش (*Carpinus-Fagus*) جنگل خیرود انجام شد مورد بررسی قرار گرفت (۵ و ۶).

با توجه به اهمیت زیاد جنگل‌های هیرکانی ایران، لازم است که در تمامی برنامه‌ریزی‌های توسعه در مناطق شمالی کشور حفظ و گسترش این جنگل‌ها به‌عنوان مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های جنگلی کشور و منبع مهم تولید چوب و سایر فرآورده‌های جنگلی مدنظر قرار گیرد (۷). به منظور مدیریت بهینه این منابع با ارزش به‌دست آوردن درک صحیحی از ساختار این جنگل‌ها ضروری است. به همین دلیل هدف از این



شکل ۱. نقشه تپ‌های جنگلی بخش گرازبن جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود

اقلیم منطقه با استفاده از ضریب آمبرژه مرطوب سرد تعیین شده است (۱).

در این تحقیق به منظور کمی‌سازی ساختار تپ‌های ذکر شده در بالا از تعداد ۲۳۹ قطعه نمونه دایره‌ای با مساحت ۱۰۰۰ مترمربع که براساس طرح منظم تصادفی پیاده شده‌اند استفاده شد. از این تعداد، ۵۵ قطعه نمونه در تپ *Fagus*، ۴۶ قطعه نمونه در تپ *Fagus-Carpinus*، ۱۰۲ قطعه نمونه در تپ *Carpinus-Fagus* و ۳۶ قطعه نمونه در تپ *Carpinus-Quercus* قرار گرفته است.

#### شاخص‌های مورد مطالعه

در این تحقیق به منظور بررسی ساختار تپ‌های مذکور مشخصاتی از جمله نوع گونه، قطر برابر سینه، ارتفاع و هم‌چنین فاصله و آزیموت هر درخت نسبت به مرکز قطعات نمونه اندازه‌گیری شد. سپس داده‌های جمع‌آوری شده به منظور انجام

تحقیق علاوه بر کمی‌سازی ساختار تپ‌های جنگلی بخش گرازبن جنگل خیرود، مقایسه ساختار آنها با یکدیگر می‌باشد.

#### مواد و روش‌ها

##### مشخصات منطقه مورد مطالعه

این مطالعه در تپ‌های راش (*Fagus*)، راش-ممرز (*Fagus-Carpinus*)، ممرز-راش (*Carpinus-Fagus*) و ممرز-بلوط (*Carpinus-Quercus*) بخش گرازبن که با مساحتی در حدود ۱۰۰۰ هکتار، سومین بخش از جنگل آموزشی و پژوهشی دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران (جنگل خیرود) می‌باشد، انجام شده است (شکل ۱). سنگ مادر این بخش آهکی و متعلق به دوران ژوراسیک علیا بوده و خاک این منطقه به‌طور عمده جزء خاک‌های قهوه‌ای جنگلی می‌باشد. میزان بارندگی در این بخش در حدود ۱۶۰۰-۱۳۰۰ میلی‌متر در سال است که حداقل آن در تیر ماه و حداکثر آن در مهر ماه ریزش می‌کند. هم‌چنین

جدول ۱. تشریح شاخص‌های ساختاری مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه‌ها (بدون واحد)

| نام شاخص                      | ویژگی مورد بررسی          | فرمول                                    | تشریح  |
|-------------------------------|---------------------------|--|--|
| زاویه یکنواخت                 | تنوع موقعیت مکانی         | $W_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$  | $v_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow \alpha_j < \alpha_i \\ 0 \rightarrow \alpha_j \geq \alpha_i \end{cases}$                         |
| آمیختگی                       | تنوع آمیختگی              | $DM_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$ | $v_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow \text{گونه } i \neq \text{گونه } j \\ 0 \rightarrow \text{گونه } i = \text{گونه } j \end{cases}$ |
| ابعاد قطر برابر سینه          | تنوع ابعاد قطر برابر سینه | $TD_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$ | $v_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow DBH_i \geq DBH_j \\ 0 \rightarrow DBH_i < DBH_j \end{cases}$                                     |
| ابعاد ارتفاع                  | تنوع ابعاد ارتفاع         | $TH_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n v_{ij}$ | $v_{ij} = \begin{cases} 1 \rightarrow H_i \geq H_j \\ 0 \rightarrow H_i < H_j \end{cases}$   |
| فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها | تراکم درختان              | $D_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n s_{ij}$  | فاصله درخت مرجع تا همسایه‌ها $S_{ij}$  |

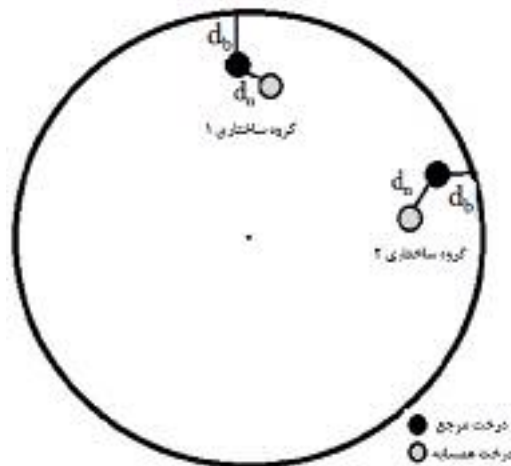
می‌پردازد (۱۴). در هنگام محاسبه این شاخص در گروه‌های ساختاری با چهار درخت همسایه یکی از ارزش‌های صفر، ۰/۲۵، ۰/۵۰، ۰/۷۵ و یا ۱ به دست می‌آید که با میانگین گرفتن از ارزش‌های همه گروه‌های ساختاری میانگین این شاخص برای کل توده قابل محاسبه است. ارزش‌های کم این شاخص نشان‌دهنده توزیع منظم درختان و ارزش‌های بالای این شاخص نشان‌دهنده توزیع کپه‌ای درختان می‌باشد. بنابراین می‌توان بیان نمود که: کپه‌ای  $\bar{W}_i < \bar{W}_{\text{تصادفی}} < \bar{W}_{\text{منظم}}$  (۱۰)

شاخص آمیختگی ( $DM_i$ ) به بررسی تنوع آمیختگی می‌پردازد. در هنگام محاسبه این شاخص برای هر گروه ساختاری با چهار درخت همسایه یکی از ارزش‌های صفر (همه همسایه‌ها مشابه گونه مرجع)، ۰/۲۵ (یک همسایه متفاوت با درخت مرجع)، ۰/۵۰ (دو همسایه متفاوت با درخت مرجع)، ۰/۷۵ (سه همسایه متفاوت با درخت مرجع) و یا ۱ (همه همسایه‌ها متفاوت با گونه مرجع) به دست می‌آید (۱۲). ارزش‌های کم این شاخص نشان‌دهنده آمیختگی کم و ارزش‌های بالای این شاخص نشان‌دهنده آمیختگی زیاد توده جنگلی می‌باشد.

شاخص‌های ابعاد قطر برابر سینه ( $TD_i$ ) و ابعاد ارتفاع ( $TH_i$ ) به ترتیب به بررسی چیدمان درختان از نظر قطر برابر

محاسبات ساختاری، آماده و محاسبات مربوط در نرم‌افزار *Crancood (Ver 1.3)* انجام گرفت. در این تحقیق، از شاخص‌های زاویه یکنواخت (Uniform angle)، آمیختگی (Mingling)، ابعاد قطر برابر سینه (DBH dominance) و ابعاد ارتفاع (Height dominance) به ترتیب برای کمی‌سازی تنوع موقعیت مکانی، تنوع آمیختگی و تنوع ابعاد قطری و ارتفاعی درختان استفاده شد. هم‌چنین با استفاده از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها (Distance to nearest neighbours)، تراکم درختان هر تیپ مورد بررسی قرار گرفت. در جدول ۱ هر یک از شاخص‌های فوق به اختصار توضیح داده شده است. یکی از مزایای شاخص‌های به‌کار رفته در این تحقیق امکان در نظر گرفتن تعداد مختلف همسایه می‌باشد. اما در این تحقیق براساس تحقیقات پیشین چهار درخت همسایه نزدیک به درخت مرجع در نظر گرفته شد و شاخص‌های ساختاری برای هر گونه و در هر تیپ جنگلی مورد بررسی قرار گرفتند (۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲، ۱۳، ۱۹ و ۲۰).

شاخص زاویه یکنواخت ( $W_i$ ) براساس محاسبه زاویه بین درختان همسایه و مرجع ( $\alpha_j$ ) و مقایسه آن با زاویه استاندارد ( $\alpha_0$ ) (در هنگام استفاده از چهار درخت همسایه ۷۲ درجه می‌باشد) به بررسی موقعیت مکانی درختان



شکل ۲. نحوه عمل روش تصحیح حاشیه نزدیک‌ترین همسایه

نمی‌شود و تنها در صورتی شاخص‌های مذکور برای یک گروه ساختاری محاسبه می‌شود که فاصله بین  $n$  مین همسایه تا درخت مرجع ( $d_n$ ) کمتر از فاصله آن تا حاشیه قطعه نمونه ( $d_b$ ) باشد (شکل ۲) (۲۱).

### نتایج

در این تحقیق با استفاده از روش تصحیح حاشیه نزدیک‌ترین همسایه تأثیر حاشیه قطعات نمونه بر تشکیل گروه‌های ساختاری اصلاح شد. در جدول ۲ تعداد گروه‌های ساختاری گونه‌های مختلف و هم‌چنین خشکه‌دارها، قبل و بعد از تصحیح حاشیه نشان داده شده است.

میانگین شاخص زاویه یکنواخت در هر چهار تیپ *Fagus-Carpinus-Quercus* و *Carpinus-Fagus-Fagus-Carpinus* یکسان و برابر با ۵۳٪ محاسبه شد که نشان‌دهنده چیدمان تصادفی درختان نسبت به یکدیگر است. هم‌چنین در هر تیپ جنگلی میانگین این شاخص برای گونه‌های مختلف محاسبه و نتایج حاصل از آن در جدول ۳ ارائه شد. نتایج حاصل از این شاخص نشان‌دهنده چیدمان کم و بیش تصادفی برای اکثر گونه‌های مورد مطالعه می‌باشد. البته در برخی موارد نتایج مختلفی به دست آمد که می‌توان به میانگین این شاخص در گونه *Tilia begonifolia* در تیپ *Fagus-Carpinus* (۲۵٪) و

سینه و ارتفاع می‌پردازند. ارزش‌های این دو شاخص نیز همانند شاخص‌های قبلی یکی از ارزش‌های صفر، ۲۵٪، ۵۰٪، ۷۵٪ و یا ۱ محاسبه می‌شوند (۱۳). ارزش‌های بالای این دو شاخص نشان‌دهنده غالبیت گونه مرجع نسبت به درختان همسایه می‌باشد.

شاخص‌های به‌کار رفته در این تحقیق بدون در نظر گرفتن فاصله بین درختان و تراکم جنگل مورد مطالعه، به بررسی ساختار آنها می‌پردازند. لذا در این تحقیق از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها ( $D_i$ ) به‌طور مکمل با سه شاخص دیگر استفاده شد. میانگین این شاخص به چیدمان درختان و هم‌چنین تراکم جنگل مورد مطالعه بستگی دارد؛ و به سادگی امکان محاسبه میانگین فاصله بین درختان در یک گروه ساختاری و مقایسه آن با سایر مناطق را ممکن می‌سازد (۲۲).

یکی از مشکلات کمی‌سازی ساختار جنگل با استفاده از قطعات نمونه با شکل ثابت، تأثیر حاشیه قطعات نمونه بر تشکیل گروه‌های ساختاری می‌باشد. در این تحقیق به منظور برطرف نمودن این مشکل از روش تصحیح حاشیه نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. در هنگام استفاده از این روش اگر فاصله بین  $n$  مین همسایه تا درخت مرجع ( $d_n$ ) بیشتر از فاصله آن تا حاشیه قطعه نمونه ( $d_b$ ) باشد، گروه ساختاری مورد بحث (گروه ساختاری ۲) در محاسبات وارد

جدول ۲. تعداد گروه‌های ساختاری قبل و بعد از تصحیح حاشیه به روش نزدیک‌ترین همسایه (بدون واحد)

| تیپ‌های مورد مطالعه     |              |                       |              |                       |              |              |              | گونه‌های مورد مطالعه    |
|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------|-----------------------|--------------|--------------|--------------|-------------------------|
| <i>Carpinus-Quercus</i> |              | <i>Carpinus-Fagus</i> |              | <i>Fagus-Carpinus</i> |              | <i>Fagus</i> |              |                         |
| قبل از تصحیح            | بعد از تصحیح | قبل از تصحیح          | بعد از تصحیح | قبل از تصحیح          | بعد از تصحیح | قبل از تصحیح | بعد از تصحیح |                         |
| ۴۵                      | ۱۰۱          | ۳۲۱                   | ۷۸۳          | ۱۶۰                   | ۴۵۲          | ۲۵۹          | ۷۲۲          | <i>F. orientalis</i>    |
| ۴۹۷                     | ۸۹۳          | ۷۶۱                   | ۱۴۷۰         | ۲۸۱                   | ۵۷۳          | ۲۶۰          | ۴۶۴          | <i>C. betulus</i>       |
| ۸۸                      | ۱۶۵          | ۶۵                    | ۱۱۶          | ۱۸                    | ۳۴           | ۲۶           | ۳۷           | <i>Q. castaneifolia</i> |
| ۴۳                      | ۹۸           | ۷۰                    | ۱۵۱          | ۱۱                    | ۳۰           | ۱۷           | ۲۹           | <i>A. subcordata</i>    |
| ۱۳۶                     | ۲۰۹          | ۵۷                    | ۱۳۱          | ۱۲                    | ۳۵           | ۷۳           | ۱۴۵          | <i>A. velutinum</i>     |
| ۴۲                      | ۶۷           | ۹                     | ۱۶           | ۱                     | ۱۱           | ۴            | ۱۱           | <i>T. begonifolia</i>   |
| ۰                       | ۱            | ۱                     | ۲            | -                     | -            | -            | -            | <i>D. lotus</i>         |
| ۱                       | ۲            | -                     | -            | -                     | -            | ۳            | ۴            | <i>P. communis</i>      |
| ۴                       | ۹            | ۶                     | ۱۴           | ۳                     | ۵            | ۲            | ۶            | <i>U. glabra</i>        |
| -                       | -            | -                     | -            | -                     | -            | ۱۱           | ۱۶           | <i>S. torminalis</i>    |
| ۳۷                      | ۷۵           | ۱۰۵                   | ۱۶۱          | ۲۰                    | ۴۳           | ۳۵           | ۶۶           | خشک‌دار                 |
| ۸۹۳                     | ۱۶۲۱         | ۱۳۹۵                  | ۲۸۴۴         | ۵۰۶                   | ۱۱۸۳         | ۶۹۰          | ۱۵۰۰         | مجموع                   |

جدول ۳. مقادیر میانگین شاخص زاویه یکنواخت برای گونه‌های درختی موجود در تیپ‌های مختلف (بدون واحد)

| گونه‌های مورد مطالعه |                  |                    |                 |                       |                     |                      |                         |                   |                      |                         |
|----------------------|------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|
| <i>S. torminalis</i> | <i>U. glabra</i> | <i>P. communis</i> | <i>D. lotus</i> | <i>T. begonifolia</i> | <i>A. velutinum</i> | <i>A. subcordata</i> | <i>Q. castaneifolia</i> | <i>C. betulus</i> | <i>F. orientalis</i> |                         |
| ۰/۵۵                 | ۰/۴۸             | ۰/۵۰               | -               | ۰/۶۳                  | ۰/۵۴                | ۰/۵۰                 | ۰/۵۸                    | ۰/۵۴              | ۰/۵۲                 | <i>Fagus</i>            |
| ۰/۵۶                 | -                | ۰/۵۰               | -               | ۰/۲۵                  | ۰/۴۲                | ۰/۶۱                 | ۰/۶۰                    | ۰/۵۲              | ۰/۵۳                 | <i>Fagus-Carpinus</i>   |
| ۰/۵۰                 | -                | ۰/۴۶               | ۰/۷۵            | ۰/۵۶                  | ۰/۴۹                | ۰/۵۲                 | ۰/۵۲                    | ۰/۵۴              | ۰/۵۲                 | <i>Carpinus-Fagus</i>   |
| ۰/۴۹                 | -                | ۰/۴۴               | -               | ۰/۵۲                  | ۰/۵۲                | ۰/۵۷                 | ۰/۵۴                    | ۰/۵۳              | ۰/۵۵                 | <i>Carpinus-Quercus</i> |

گونه‌های مختلف نسبت به یکدیگر می‌باشد. ارزش میانگین این شاخص در تیپ‌های *Fagus-Carpinus-Fagus* و *Carpinus-Quercus* به ترتیب برابر با ۰/۳۴، ۰/۲۹، ۰/۳۶ و ۰/۴۰ محاسبه شد که نشان‌دهنده آمیختگی نسبتاً کم

هم‌چنین گونه *Diospyros lotus* در تیپ *Carpinus-Fagus* (۰/۷۵) اشاره کرد که به ترتیب نشان‌دهنده چیدمان منظم و کپه‌ای برای این دو مورد می‌باشد. شاخص آمیختگی گونه‌ای، نشان‌دهنده نحوه چیدمان

جدول ۴. مقادیر میانگین شاخص آمیختگی گونه‌های درختی موجود در تیپ‌های مختلف (بدون واحد)

| گونه‌های مورد مطالعه |                      |                  |                    |                 |                       |                     |                      |                         |                   |                      |                         |
|----------------------|----------------------|------------------|--------------------|-----------------|-----------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|----------------------|-------------------------|
| خشکساز               | <i>S. torminalis</i> | <i>U. glabra</i> | <i>P. communis</i> | <i>D. lotus</i> | <i>T. begonifolia</i> | <i>A. velutinum</i> | <i>A. subcordata</i> | <i>Q. castaneifolia</i> | <i>C. betulus</i> | <i>F. orientalis</i> |                         |
| ۰/۸۱                 | ۰/۷۷                 | ۱                | ۱                  | -               | ۱                     | ۰/۵۰                | ۰/۶۰                 | ۰/۸۹                    | ۰/۲۵              | ۰/۲۲                 | <i>Fagus</i>            |
| ۰/۹۳                 | -                    | ۱                | -                  | -               | ۱                     | ۰/۹۲                | ۰/۸۶                 | ۰/۸۳                    | ۰/۲۰              | ۰/۲۰                 | <i>Fagus-Carpinus</i>   |
| ۰/۷۶                 | -                    | ۰/۸۸             | -                  | ۱               | ۰/۸۹                  | ۰/۸۳                | ۰/۷۴                 | ۰/۷۲                    | ۰/۲۴              | ۰/۲۶                 | <i>Carpinus-Fagus</i>   |
| ۰/۸۶                 | -                    | ۰/۷۵             | ۱                  | -               | ۰/۶۶                  | ۰/۴۴                | ۰/۷۲                 | ۰/۷۵                    | ۰/۲۵              | ۰/۴۰                 | <i>Carpinus-Quercus</i> |

چیرگی متوسط گونه‌های *Fagus orientalis* و *Carpinus betulus* و در اکثر موارد چیرگی زیاد گونه‌های *Quercus Tilia Acer velutinum Alnus subcordata castaneifolia* و *begonifolia* و *Pyrus communis* بود. اما نتایج به دست آمده از شاخص فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه‌ها در تیپ‌های *Fagus Carpinus-Quercus* و *Carpinus-Fagus Fagus-Carpinus* به ترتیب برابر با ۳/۴۵، ۳/۷۸، ۳/۵۸ و ۲/۷۷ محاسبه شد که به خوبی نشان‌دهنده تراکم بیشتر درختان در تیپ *Carpinus-Quercus* بود.

پس از کمی‌سازی ساختار تیپ‌های مختلف، با استفاده از آزمون کای اسکوار سه ویژگی تنوع موقعیت مکانی، تنوع آمیختگی و تنوع ابعاد درختان در تیپ‌های مختلف مورد مقایسه قرار گرفت. در جدول ۷ مقادیر سطح معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد برای شاخص‌های مذکور ارائه شده است. نتایج حاصل از این آزمون نشان می‌دهد که گونه‌های درختی تیپ‌های مختلف از نظر ویژگی‌های تنوع موقعیت مکانی، تنوع ابعاد درختان و تنوع ابعاد ارتفاع اختلاف معنی‌داری را نشان نمی‌دهند و تیپ‌های مختلف تنها از نظر آمیختگی گونه‌ای اختلافات معنی‌داری را در سطح ۹۹ درصد نشان دادند.

### بحث

در جنگل‌داری نوین، کمی‌سازی ساختار جنگل با یک دامنه

درختان موجود در تیپ‌های مذکور می‌باشد. براساس نتایج حاصل از این شاخص تیپ *Fagus-Carpinus* دارای کمترین آمیختگی و تیپ *Carpinus-Quercus* دارای بیشترین آمیختگی است. هم‌چنین ارزش‌های میانگین این شاخص در گونه‌های مختلف در جدول ۴ ارائه شده است. مقادیر میانگین این شاخص نشان‌دهنده آمیختگی کم گونه‌های *Fagus orientalis* و *Carpinus betulus* و آمیختگی بالای سایر گونه‌های موجود در چهار تیپ مورد بررسی است.

سومین ویژگی ساختار جنگل، تنوع ابعاد درختان است. در این تحقیق به منظور کمی‌سازی تنوع ابعاد درختان، دو مشخصه قطر برابر سینه و ارتفاع درختان مورد بررسی قرار گرفتند. مقادیر میانگین شاخص ابعاد قطر برابر سینه در تیپ‌های *Fagus-Carpinus Fagus-Carpinus Fagus-Carpinus* و *Carpinus-Quercus* به ترتیب برابر با ۰/۴۸، ۰/۵۰، ۰/۵۰ و ۰/۴۹ محاسبه شد. هم‌چنین ارزش‌های میانگین شاخص ابعاد ارتفاع در تیپ‌های *Fagus-Carpinus Fagus-Carpinus Fagus-Carpinus* و *Carpinus-Quercus* به ترتیب برابر با ۰/۴۹، ۰/۵۰، ۰/۵۱ و ۰/۵۰ محاسبه شد. در جداول ۵ و ۶ ارزش‌های میانگین شاخص‌های ابعاد قطر برابر سینه و ابعاد ارتفاع برای گونه‌های مختلف ارائه شده است. به‌طور کلی، نتایج حاصل از این دو شاخص نشان‌دهنده مغلوبیت گونه‌های *Diospyros lotus*، *Ulmus glabra* و *Sorbus torminalis* و هم‌چنین خشکسازها؛

جدول ۵. مقادیر میانگین شاخص ابعاد قطر برابر سینه گونه‌های درختی موجود در تیپ‌های مختلف (بدون واحد)

| گونه‌های مورد مطالعه    |                      |                   |                         |                      |                     |                       |                 |                    |                  |                      |         |
|-------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|------------------|----------------------|---------|
|                         | <i>F. orientalis</i> | <i>C. betulus</i> | <i>Q. castaneifolia</i> | <i>A. subcordata</i> | <i>A. velutinum</i> | <i>T. begonifolia</i> | <i>D. lotus</i> | <i>P. communis</i> | <i>U. glabra</i> | <i>S. torminalis</i> | خشک‌دار |
| <i>Fagus</i>            | ۰/۴۸                 | ۰/۴۷              | ۰/۶۹                    | ۰/۶۹                 | ۰/۵۴                | ۰/۳۸                  | -               | ۱                  | ۰/۳۸             | ۰/۳۶                 | ۰/۲۲    |
| <i>Fagus-Carpinus</i>   | ۰/۵۱                 | ۰/۴۸              | ۰/۵۸                    | ۰/۸۰                 | ۰/۶۰                | ۱                     | -               | -                  | ۰/۵۸             | -                    | ۰/۲۵    |
| <i>Carpinus-Fagus</i>   | ۰/۵۲                 | ۰/۴۹              | ۰/۵۷                    | ۰/۷۷                 | ۰/۶۴                | ۰/۶۹                  | ۰/۲۵            | -                  | ۰/۰۸             | -                    | ۰/۲۶    |
| <i>Carpinus-Quercus</i> | ۰/۵۷                 | ۰/۴۹              | ۰/۵۱                    | ۰/۷۲                 | ۰/۵۰                | ۰/۴۶                  | -               | ۱                  | ۰/۱۹             | -                    | ۰/۲۲    |

جدول ۶. مقادیر میانگین شاخص ابعاد ارتفاع گونه‌های درختی موجود در تیپ‌های مختلف (بدون واحد)

| گونه‌های مورد مطالعه    |                      |                   |                         |                      |                     |                       |                 |                    |                  |                      |         |
|-------------------------|----------------------|-------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------|--------------------|------------------|----------------------|---------|
|                         | <i>F. orientalis</i> | <i>C. betulus</i> | <i>Q. castaneifolia</i> | <i>A. subcordata</i> | <i>A. velutinum</i> | <i>T. begonifolia</i> | <i>D. lotus</i> | <i>P. communis</i> | <i>U. glabra</i> | <i>S. torminalis</i> | خشک‌دار |
| <i>Fagus</i>            | ۰/۴۶                 | ۰/۴۸              | ۰/۷۳                    | ۰/۶۶                 | ۰/۵۹                | ۰/۴۴                  | -               | ۱                  | ۰/۵۰             | ۰/۲۵                 | ۰/۲۷    |
| <i>Fagus-Carpinus</i>   | ۰/۵۲                 | ۰/۴۷              | ۰/۶۸                    | ۰/۸۴                 | ۰/۷۵                | ۰/۷۵                  | -               | -                  | ۰/۵۸             | -                    | ۰/۲۴    |
| <i>Carpinus-Fagus</i>   | ۰/۵۰                 | ۰/۴۹              | ۰/۶۱                    | ۰/۷۷                 | ۰/۷۳                | ۰/۷۲                  | ۰               | -                  | ۰/۱۷             | -                    | ۰/۲۶    |
| <i>Carpinus-Quercus</i> | ۰/۵۸                 | ۰/۴۸              | ۰/۵۸                    | ۰/۶۷                 | ۰/۵۴                | ۰/۴۴                  | -               | ۱                  | ۰/۱۹             | -                    | ۰/۲۳    |

جدول ۷. مقادیر سطح معنی‌داری شاخص‌های ساختاری (بدون واحد)

| شاخص‌های مورد مطالعه |         |                      |              |                         |
|----------------------|---------|----------------------|--------------|-------------------------|
| زاویه یکنواخت        | آمیختگی | ابعاد قطر برابر سینه | ابعاد ارتفاع |                         |
| ۰/۳۶۶                | **      | ۰/۶۳۴                | ۰/۲۶۷        | <i>F. orientalis</i>    |
| ۰/۰۷۶                | **      | ۰/۶۰۳                | ۰/۶۴۳        | <i>C. betulus</i>       |
| ۰/۸۴۱                | ۰/۰۷۷   | ۰/۲۶۲                | ۰/۵۹۶        | <i>Q. castaneifolia</i> |
| ۰/۰۸۲                | ۰/۲۴۵   | ۰/۸۷۸                | ۰/۳۷۸        | <i>A. subcordata</i>    |
| ۰/۱۴۱                | **      | ۰/۴۱۱                | ۰/۱۲۹        | <i>A. velutinum</i>     |
| ۰/۳۷۹                | ۰/۰۱۰** | ۰/۲۱۴                | ۰/۰۷۵        | <i>T. begonifolia</i>   |
| ۰/۷۴۴                | ۰/۳۶۳   | ۰/۱۸۰                | ۰/۳۵۳        | <i>U. glabra</i>        |
| ۰/۶۱۳                | ۰/۰۰۴** | ۰/۰۵۳                | ۰/۰۹۲        | خشک‌دار                 |

گونه‌های مورد بررسی

\* معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد اطمینان؛ \*\* معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد اطمینان



خوبی نشان‌دهندهٔ اختلاف ساختار گونه‌های مختلف است. این شاخص اطلاعات مناسبی را در رابطه با رقابت درون گونه‌ای و بین‌گونه‌ای درختان ارائه می‌دهد. به‌طور کلی نتایج حاصل از این شاخص نشان‌دهندهٔ آمیختگی کم گونه‌های *Carpinus betulus* و *Fagus orientalis* و آمیختگی بالای سایر گونه‌هاست. میانگین آمیختگی گونه *Fagus orientalis* در تیپ *Carpinus-Fagus-Carpinus* نسبتاً بیشتر از سه تیپ *Fagus-Carpinus*، *Fagus-Carpinus* و *Quercus* است که به‌علت تعداد کم پایه‌های این گونه در تیپ *Carpinus-Quercus* است. با مقایسه میانگین آمیختگی گونه *Fagus orientalis* و *Quercus castaneifolia* در تیپ *Carpinus-Quercus* تفاوت‌های ساختاری این دو گونه به خوبی آشکار می‌شود. به‌گونه‌ای که با وجود این‌که تعداد پایه‌های *Quercus castaneifolia* بیشتر از گونه *Fagus orientalis* است اما آمیختگی *Quercus castaneifolia* به مراتب بیشتر از *Fagus orientalis* می‌باشد. نتایج حاصل از به‌کارگیری این شاخص در رابطه با آمیختگی *Fagus orientalis* با تحقیقات حبشی و همکاران (۲) که با بررسی جامعه‌پذیری *Fagus orientalis* بیان کردند که این گونه دارای جامعه‌پذیری منفی است، همخوانی دارد. هم‌چنین پومرنینگ بیان کرد که آمیختگی گونه‌ای تحت تأثیر موقعیت مکانی درختان قرار دارد و گونه‌های با الگوی کپه‌ای، به‌طور معمول دارای آمیختگی کمی هستند (۱۹).

سومین جنبه ساختاری مورد مطالعه در این تحقیق، تنوع ابعاد درختان است. نتایج به دست آمده از دو شاخص ابعاد قطر برابر سینه و ارتفاع به خوبی اختلاف گونه‌های مختلف را نشان داد. نتایج حاصل از این دو شاخص نشان‌دهندهٔ شباهت نسبی دو گونه *Carpinus betulus* و *Fagus orientalis* از لحاظ قطر برابر سینه و ارتفاع می‌باشد. هم‌چنین گونه‌هایی از جمله *Acer velutinum*، *Tilia begonifolia* و *Alnus subcordata* دارای تمایل به چیرگی بالاتری نسبت به سایر گونه‌ها هستند و گونه‌های از جمله *Ulmus glabra* و *Diospyros lotus* نسبتاً به شکل مغلوب در جنگل ظاهر می‌شوند. در این تحقیق، علاوه بر

وسعی از اهداف انجام می‌گیرد (۲۲). یکی از مهم‌ترین این اهداف، حفظ ساختار و تنوع زیستی اکوسیستم‌های جنگلی می‌باشد. بدین منظور به شاخص‌هایی نیاز است که بتوان با صرف کمترین زمان و هزینه بیشترین اطلاعات را در رابطه با وضعیت فعلی ساختار جنگل، تکامل طبیعی و تغییرات ناشی از مدیریت جنگل ارائه دهد. در سال‌های اخیر استفاده از شاخص‌های مبتنی بر نزدیک‌ترین همسایه به‌علت دارا بودن مزایایی از جمله صحت بالا، سادگی محاسبه، ارزان بودن و انعطاف‌پذیری بالا در انتخاب تعداد درختان همسایه مورد توجه محققین مختلف قرار گرفته است. در این تحقیق سعی شد با استفاده از قطعات نمونه دایره‌ای ۱۰۰۰ مترمربعی، ساختار تیپ‌های جنگلی *Fagus-Carpinus*، *Fagus-Carpinus*، *Fagus-Carpinus-Quercus* و *Carpinus-Quercus* مورد بررسی قرار گیرد.

یکی از مشکلات موجود در هنگام استفاده از این قطعات نمونه تأثیر حاشیه این قطعات نمونه بر تشکیل گروه‌های ساختاری است. به منظور برطرف نمودن این مشکل روش‌های مختلفی توسعه یافته‌اند. در این تحقیق از روش تصحیح حاشیه نزدیک‌ترین همسایه برای از بین بردن اثر حاشیه قطعات نمونه استفاده شد. پومرنینگ و استویان بیان کردند که روش تصحیح حاشیه نزدیک‌ترین همسایه در صورتی که تعداد زیادی درخت وجود داشته باشد دارای کارایی بالایی می‌باشد (۲۱). شاخص زاویه یکنواخت با بررسی زاویه بین درختان به بررسی نحوهٔ چیدمان آنها نسبت به یکدیگر می‌پردازد. مقدار میانگین این شاخص در چهار تیپ مورد مطالعه نشان‌دهندهٔ تصادفی بودن چیدمان درختان نسبت به یکدیگر است که از علل آن می‌توان به طبیعی بودن جنگل‌های منطقه مورد مطالعه اشاره کرد. کینت و همکاران بیان کردند که الگوی مکانی توده‌ها تحت تأثیر مدیریت جنگل قرار دارد، به گونه‌ای که در توده‌های مدیریت شده، خوشه‌ها به نفع درختان مرغوب تنک شده و در نتیجه پراکنش درختان به سمت منظم شدن تمایل پیدا می‌کند (۱۸). هم‌چنین گراز نحوهٔ زادآوری درختان را از دیگر عوامل مؤثر بر موقعیت مکانی درختان می‌داند (۱۲). شاخص آمیختگی به

آمیختگی مشاهده شد که گونه‌های *Acer velutinum* و همچنین خشکه‌دارها دارای اختلاف معنی‌داری در سطح تیپ‌های مختلف می‌باشند. به همین دلیل محاسبه این جنبه از ساختار در سطح پارسل و یا سایر واحدهایی که ممکن است از چندین تیپ مختلف تشکیل شده باشند قابل توصیه نمی‌باشد. در مجموع نتایج حاصل از این تحقیق نشان‌دهنده توانایی بالای این شاخص‌ها در تشریح ویژگی‌های ساختاری تیپ‌های مختلف و همچنین نشان دادن اختلافات اکولوژیکی گونه‌های مختلف می‌باشد. و اما لازم است که در مطالعات آینده مواردی از جمله تعداد گروه‌های ساختاری مورد نیاز جهت کمی‌سازی ساختار گونه‌های مختلف، کاربرد این شاخص‌ها در مراحل تحولی توده‌ها و همچنین کاربرد آن در مدیریت جنگل مورد بررسی قرار گیرند.

کمی‌سازی ساختار درختان زنده، ساختار خشکه‌دارها نیز بررسی شد. نتایج حاصل از این تحقیق در مورد خشکه‌دارها بیان کرد که بیشتر خشکه‌دارهای موجود در بخش گرازبن مربوط به گونه *Carpinus betulus* بوده و نسبت به درختان اطراف خود حالت مغلوب دارند. در مطالعه‌ای که مروی مهاجر و همکاران انجام دادند دلیل فراوانی خشکه‌دارهای *Carpinus betulus* در این بخش را طغیان آفت برگ‌خوار از خانواده ژئومتریده در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۱ بیان کردند (۸) و ابعاد کم آنها ناشی از این است که اکثر این پایه‌ها قبل از رسیدن به سن دیرزستی بر اثر عواملی از جمله رقابت یا آفات و بیماری‌ها خشک شده‌اند.

نتایج حاصل از آزمون کای اسکوار نشان‌دهنده عدم وجود اختلاف معنی‌دار موقعیت مکانی و ابعاد گونه‌های درختی تیپ‌های مختلف می‌باشد که نشان‌دهنده عدم وابستگی موقعیت مکانی و ابعاد درختان به نوع تیپ می‌باشد. اما در رابطه با

### منابع مورد استفاده

۱. بی نام، ۱۳۸۹. طرح جنگلداری بخش گرازبن جنگل آموزشی و پژوهشی خیرود، گروه جنگل‌داری و اقتصاد جنگل دانشگاه تهران.
۲. حبشی، ه. م. حسینی، ج. محمدی و ر. رحمانی. ۱۳۸۶. تعیین الگوی پراکنش و ساختار در جنگل آمیخته راش شصت کلاته گرگان. تحقیقات جنگل و صنوبر ایران ۱۵(۱): ۵۵-۶۴.
۳. حسین‌زاده، ج. م. نمیرانیان، م. مروی مهاجر و ق. زاهدی امیری. ۱۳۸۳. بررسی ساختار جنگل‌های کمتر تخریب یافته بلوط در استان ایلام. مجله منابع طبیعی ایران ۵۷(۱): ۷۵-۹۰.
۴. حیدری، ر. ۱۳۸۷. روش‌های نمونه‌برداری فاصله‌ای در آماربرداری جنگل. انتشارات دانشگاه رازی، کرمانشاه.
۵. علی‌جانی و. ج. فقهی. ۱۳۹۰. بررسی ساختار مکانی گونه ملج (*Ulmus glabra* Hudson) به منظور مدیریت پایدار آن (مطالعه موردی: بخش گرازبن جنگل خیرود). محیط‌شناسی ۳۷(۶۰): ۳۵-۴۴.
۶. علی‌جانی، و. ج. فقهی، م. زبیری و م. مروی مهاجر. ۱۳۹۱. کمی‌سازی ساختار مکانی جنگل‌های میان بند شمال ایران (مطالعه موردی: بخش گرازبن جنگل خیرود). محیط زیست طبیعی ۶۵(۱): ۱۱۱-۱۲۵.
۷. مروی مهاجر، م. ۱۳۸۴. جنگل‌شناسی و پرورش جنگل. انتشارات دانشگاه تهران.
۸. مروی مهاجر، م. م. زبیری، و. اعتماد و م. جورغلامی. ۱۳۸۷. اجرای شیوه تک‌گزینی در سطح پارسل و نیاز آن به آماربرداری صد در صد گونه‌های درختی (مطالعه موردی: بخش گرازبن جنگل خیرود)، نشریه دانشکده منابع طبیعی، ۶۱(۴): ۸۸۹-۹۰۸.
9. Aguirre, O., G. Hui, K.V. Gadow and J. Jimenez. 2003. An analysis of forest structure using neighborhood-based variables. *Forest Ecology and Management* 183: 137-145.

10. Corral, J.J., C. Wehenkel, H.A. Castelanos, B.Vargas and U Dieguez. 2010. A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbor indices in forest stands. *Journal of Forest Research* 15: 218-225.
11. Gadow, K.V. 2006. Forsteinrichtung, Adaptive Steuerung und Mehrpfadprinzip, University of Gottingen.
12. 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.
13. Graz, P.F. 2006. Spatial diversity of dry savanna woodlands. *Biodiversity and Conservation* 15: 1143-1157.
14. Hosseini, S.A. and K. Solaymani. 2006, Investigation of Effective Factors for Path Tracing Using GIS in Kheroud Forest (Iran-Mazandaran Province). *Pakistan Journal of Biological Sciences* 9(11): 2055-2061.
15. Hui, G., L. Li, Z. Zhonghua and D. Puxing. 2007. Comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern. *Acta Ecologica Sinica* 27(11): 4717-4728.
16. Kernan, H.S. 1953. A Policy of Conservation for the Caspian Forests of Iran. *Middle East Journal* 7(2): 228-234.
17. Kint, V. 2005. Structural development in ageing temperate Scots pine stands. *Forest Ecology and Management* 214: 237-250.
18. Kint, V., N. Lust, R. Ferris and A.F.M. Olsthoorn. 2000. Quantification of forest stand structure applied to Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.) *Forests, Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales*, 1: 147-163.
19. Pommerening, A. 2002 Approaches to quantifying forest structures. *Forestry* 3: 305-324.
20. Pommerening, A. 2006, Evaluating structural indices by reversing forest structural analysis. *Forest Ecology and Management* 224: 266-277.
21. Pommerening, A. and D. Stoyan. 2006. Edge-correction needs in estimating indices of spatial forest structure. *Canadian Journal of Forest Research* 36: 1723-1739.
22. Ruprecht, H., A. Dhar, B. Aigner, G. Oitzinger, K. Raphael and H. Vacik. 2010. Structural diversity of English yew (*Taxus bacata* L.) populations. *European Journal of Forest Research* 129: 189-198.