

## آشکارسازی الگوی مکانی تیپ‌های مختلف جنگل‌های هیرکانی (مطالعه موردی: جنگل‌های ناو اسالم گیلان)

پیمان فرهادی<sup>۱\*</sup>

[Peyman\\_farhadi@yahoo.com](mailto:Peyman_farhadi@yahoo.com)

جواد سوسنی<sup>۲</sup>

سید یوسف عرفانی فرد<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۱۷

### چکیده

**زمینه و هدف:** الگوی مکانی یکی از ویژگی‌های کلیدی اکوسیستم‌های جنگلی است که به همراه ترکیب و ساختار، عملکرد و خود تنظیمی جنگل را کنترل می‌کند. در این تحقیق الگوی مکانی درختان موجود در تیپ‌های راش (*Fagus*)، راش-ممرز (*Fagus-Carpinus*) و راش-افرا (*Fagus-Acer*) با استفاده از شاخص‌های کلارک و اوانز، زاویه یکنواخت و تابع همبستگی جفتی در جنگل‌های ناو اسالم گیلان بررسی شد.

**روش بررسی:** به منظور انجام این تحقیق ۳ قطعه نمونه یک هکتاری در هر یک از تیپ‌های مذکور جنگلی ناو اسالم گیلان که از لحاظ شرایط محیطی همگن بودند، آماربرداری شدند و با استفاده از نرم افزار Crancod (ver 1.3) شاخص‌های مورد نظر محاسبه شدند. **یافته‌ها:** نتایج حاصل از شاخص‌های کلارک و اوانز و زاویه یکنواخت، نشان‌دهنده الگوی مکانی تصادفی برای درختان سه تیپ مورد بررسی بود. همچنین نتایج تابع همبستگی جفتی نشان داد که در تیپ راش جفت درختانی که فاصله بین آنها کمتر از سه متر است، از حالت مورد انتظار در توزیع تصادفی بیشتر بوده و بیان‌کننده الگوی کپه‌ای درختان می‌باشد. اما این مقدار برای تیپ راش-ممرز پنج متر و برای تیپ راش-افرا برابر با هشت متر می‌باشد.

**بحث و نتیجه‌گیری:** شاخص‌های به کار رفته در این تحقیق ابزار بسیار مفیدی جهت تحلیل الگوی مکانی تیپ‌های مختلف و همچنین ویژگی‌های بوم‌شناختی گونه‌های درختی هستند.

**واژه‌های کلیدی:** الگوی مکانی، بوم‌شناختی، تابع همبستگی جفتی، گونه‌های درختی.

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران\* (مسوول مکاتبات)

<sup>۲</sup> استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه لرستان، خرم‌آباد، ایران

<sup>۳</sup> دانشیار، بخش منابع طبیعی و محیط زیست، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

## **Revelation spatial pattern different types Hyrcanian forests (Case Study: Nave Asalem-Gilan forests)**

**Peyman Farhadi**<sup>1\*</sup>

[Peyman\\_farhadi@yahoo.com](mailto:Peyman_farhadi@yahoo.com)

**Javad Soosani**<sup>2</sup>

**Seyed Yousef Erfanifard**<sup>3</sup>

Accepted Date: May 3, 2025

Date Received: January 6, 2025

### **Abstract**

**Background and Objective:** spatial pattern is one of the key features of forest ecosystems, which, along with the composition and the structure, controls function and regulation of forest. In this study, spatial pattern existence trees in *Fagus*, *Fagus-Carpinus* and *Fagus-Acer* types investigated by using Clark-evans, Uniform angle indices and Pair correlation function in Nave Asalem-Gilan forests.

**Methods:** In order to do this research three plots one-ha inventoried in each Nave Asalem-Gilan forest types, who were homogeneous in terms of environmental conditions, and with use Crancod (ver. 1.4) software calculated intended indices.

**Finding:** The results of Clark-evans and Uniform angle indices showed a random positioning for the trees in the studied types. Also results of Pair correlation function showed in *Fagus* type pair of trees the distance between them is less than three meters, was higher than expected in random distribution and expressing the clumpe pattern of trees. But this amounts is for *Fagus-Carpinus* type five meters and *Fagus-Acer* type equal to eight meters.

**Discussion and Conclusion:** The utilized indices in this study are very useful tool to analyze of spatial pattern different types and also the ecological features of tree species.

**Keywords:** Spatial pattern, Ecological, Pair correlation function, Tree species

---

<sup>1</sup> Ph.D. Student Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Lorestan, Khorramabad, Iran \* (*Corresponding Author*)

<sup>2</sup> Assistant Prof Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Lorestan, Khorramabad, Iran

<sup>3</sup> Associate Prof., Department of Natural Resources and Environment, Faculty of Agriculture, University of Shiraz, Shiraz, Iran

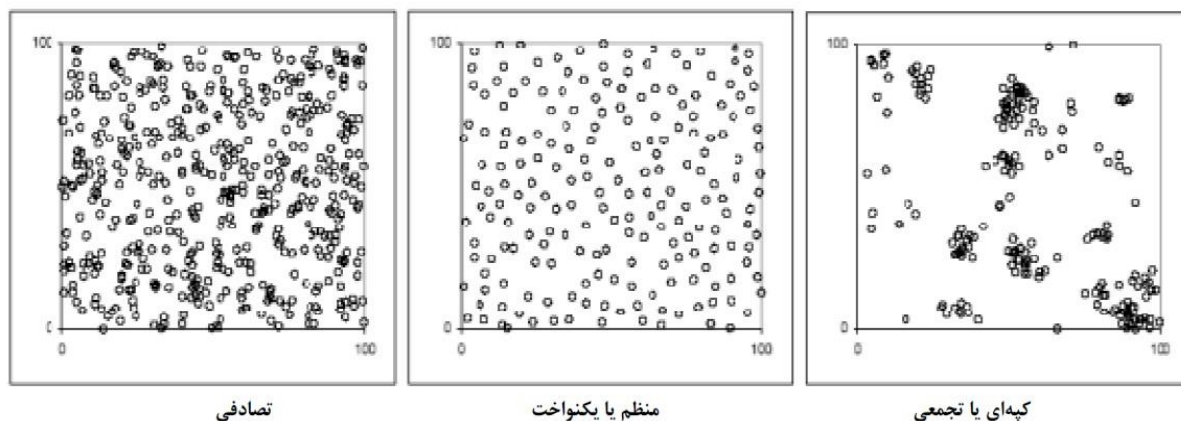
## مقدمه

یکی از آشکارترین جنبه‌های ساختاری یک توده جنگلی، الگوی مکانی یا نحوه توزیع درختان در آن است (۱). بررسی الگوی پراکنش از نخستین مشاهددهایی است که در بررسی هر جامعه‌ای صورت می‌گیرد و نقش بسیار مهمی در ارزیابی یکنواختی و نبود یکنواختی محیطی، نوع تکثیر و تولید مثل، انتشار، الگوهای رفتاری گیاهان و تعیین روش‌های مناسب و دقیق برای اندازه‌گیری خصوصیات کمی گیاهان مانند پراکنش و تراکم دارد (۲). چگونگی استقرار درختان در عرصه در رابطه با دیگر درختان بر موجودی در هکتار توده، رشد تک درختان و انتخاب روش آماربرداری و چگونگی اجرای آن تاثیر مستقیم دارد (۳). از نظر اکولوژی، روابط مکانی بین درختان نه تنها برای خود آنها بلکه برای سایر موجودات زنده مرتبط با درختان از قبیل گیاه‌خواران، حشرات و سایر موجوداتی که درختان زیستگاه آنها را فراهم می‌آورند، دارای اهمیت ویژه‌ایست (۴). از نظر بیولوژی، الگوی مکانی توده شاخصی برای توسعه جامعه گیاهیست. از نظر اجرایی، بررسی الگوی مکانی درختان در امور مختلفی از جمله انتخاب طرح‌های مدیریتی و آماربرداری، در رابطه با مسائل زادآوری و دخالت‌های جنگل‌شناسی لازم و ضروریست (۵). عوامل مختلفی وجود دارند که سبب ایجاد الگو در جوامع گیاهی می‌شوند. هاجینسون یکی از اولین

اکولوژیست‌هایی بود که اهمیت الگوی مکانی را در جوامع گیاهی مورد بررسی قرار داد و عوامل مختلف موثر که منجر به ایجاد الگو در موجودات زنده می‌شود را تعیین و به صورت زیر بیان نمود:

عوامل برداری (Vertical factors): که نتیجه نیروهای خارجی محیطی است مانند باد، جریان آب و شدت نور؛ عوامل تکثیر و زادآوری (Regeneration factors): مرتبط با نوع و حالت آن مانند کلونی؛ عوامل اجتماعی (Social factors): که به دلیل رفتارهای غریزی ایجاد می‌شود مانند رفتارهای تعیین قلمرو؛ عوامل رفتارهای اضطراری (Coative factors): که ناشی از کنش‌های متقابل درون گونه‌ایست مانند رقابت؛ عوامل تصادفی (Stochastic factors): پیش بینی نشده؛ ناشی از تغییرات تصادفی که ممکن است در هر یک از عوامل ذکر شده روی دهد. بنابراین، فرایندهایی که در الگوهای مکانی موثر هستند ممکن است مربوط به ویژگی‌های درونی مانند تولید مثل، اجتماعی، رفتارهای اضطراری و یا ویژگی‌های بیرونی (برداری) مربوط باشند (۶).

به‌طور کلی سه نوع الگوی مکانی اصلی در طبیعت وجود دارد: الف) کپه‌ای یا تجمعی، ب) منظم یا یکنواخت و پ) تصادفی (شکل ۱) (۷).



شکل ۱- انواع الگوهای مکانی (۷).  
Figure 1- Types of spatial pattern (7).

کپه‌ای معرفی کردند. عرفانی فرد و همکاران (۱۰) به منظور بررسی روابط بوم‌شناختی درختان شاخه زاد بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس از پنج شاخص نزدیک‌ترین همسایه از جمله کلارک و اوانس استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند درختان منطقه مورد مطالعه مستقل از یکدیگر هستند و بر نحوه استقرار یکدیگر تاثیر ندارند. فرهادی و همکاران (۱۱) الگوی مکانی

الگوی مکانی توده‌ها با اندازه‌گیری و تعیین موقعیت درختان توده‌ها و وارد کردن آنها در چارچوب‌های تحلیلی، اندازه‌گیری می‌شود (۸). از تحقیقات انجام شده در زمینه آنالیز الگوی مکانی می‌توان به این موارد اشاره کرد: علوی و همکاران (۹) با استفاده از روش میانگین مربعات، الگوی مکانی درختان ملج در جنگل خیرودکنار نوشهر را یک الگوی بینابینی تصادفی -

پویایی توده موثر باشد؛ هدف از این تحقیق تعیین الگوی مکانی تیپ‌های راش، راش-ممرز و راش-افرا در جنگل‌های ناحیه رویشی هیرکانی با استفاده از شاخص‌های کلارک و اوانز، زاویه یکنواخت و تابع همبستگی جفتی می‌باشد که در جنگل‌های ناو اسالم گیلان صورت گرفت.

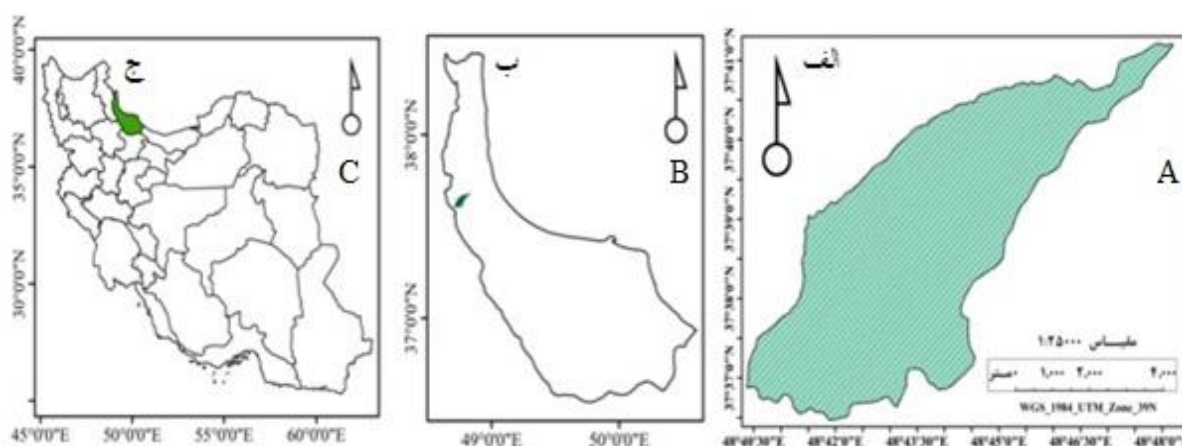
### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

سری شماره سه ناو، که یکی از سری‌های حوزه هفت ناو در استان گیلان و شهرستان تالش به شمار می‌آید، بین عرض جغرافیایی  $37^{\circ}-41^{\circ}-22'$  تا  $37^{\circ}-36^{\circ}-28'$  شمالی و طول‌های جغرافیایی  $48^{\circ}-40^{\circ}-22'$  تا  $48^{\circ}-48^{\circ}-04'$  شرقی واقع شده است. این سری در حدود ارتفاعی ۴۵۰ تا ۲۱۵۰ متر از سطح دریا با ارتفاع اکثریت سطح سری ۱۲۰۰ متر واقع شده است (شکل ۱). جنگل‌های این منطقه از نظر زمین‌شناسی متعلق به دوران دوم زمین‌شناسی و از نظر خاکشناسی، تیپ خاک هوموسی واریزی و نوع سنگ مادری آن شیست است. متوسط بارش سالانه منطقه، حدود ۹۴۵ میلی‌متر و متوسط درجه حرارت سالیانه منطقه  $12/4$  درجه سانتی‌گراد بوده و نوع اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه، از نوع مرطوب سرد می‌باشد. در این منطقه از عمده‌ترین گونه‌های موجود به همراه راش درختان ممرز، بلوط، توسکا، افرا، شیردار، ملج، ون، خرمندی و گیلان وحشی می‌باشد (۱۸).

درختان در جنگل‌های قلعه‌گل خرم آباد را با استفاده از شاخص‌های کلارک و اوانز و زاویه یکنواخت، کپه‌ای تشخیص دادند. آکالا و همکاران (۱۲) الگوی پراکنش درختان در جنگل‌های کبک کانادا را کپه‌ای تعیین کردند. زینر و پک (۱۳) الگوی پراکنش درختان در جنگل‌های آمریکا را یکنواخت تشخیص دادند. اسمیت (۱۴) طی مطالعاتی که در زمینه آنالیزهای اکولوژیکی و آمار مکانی با استفاده از شاخص‌ها و تابع‌های مختلف انجام داد، به کاربرد شاخص‌ها و تابع‌های مختلف از جمله شاخص زاویه یکنواخت و تابع همبستگی جفتی در تعیین الگوی مکانی درختان پرداخت.

جنگل‌های شمال ایران از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین اکوسیستم‌های کشور و منبع تولید چوب محسوب می‌شود، که در برگیرنده ۱۵ درصد مساحت کل جنگل‌های ایران و ۱/۱ درصد از مساحت کل کشور است (۱۵). این جنگل‌ها با داشتن حدوداً ۸۰ گونه درختی و ۵۰ گونه درختچه‌ای جزء جنگل‌های غنی دنیا بوده و شباهت‌های زیادی با جنگل‌های پهن‌برگ مخلوط اروپای مرکزی دارد؛ ولی از نظر تعداد و تنوع گونه‌ای بسیار غنی‌تر است (۱۶). بررسی الگوی مکانی گیاهان در تشخیص سازوکارهای خاص آنها، تشریح پایداری اکوسیستم، تهیه طرح‌های مدیریتی مناسب، اقدامات حفاظتی و احیایی و اعمال دخالت‌های جنگل‌شناسی مفید است (۱۷) با توجه به اینکه هدف نهایی تعیین الگوی مکانی، تشکیل و ارائه فرضیه‌های مربوط به ساختار جوامع بوم‌شناختی است و آگاهی از آن می‌تواند در درک ارتباط بین گونه‌ها، اتخاذ شیوه‌های جنگل‌شناسی، انتخاب روش آماربرداری و بهبود مدل‌های



شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه در سری شماره سه ناو اسالم (الف)، استان گیلان (ب) و ایران (ج).

Figure 2- Location of study area in the number three Series Nave Asalem (A), Gilan province (B) and Iran (C).

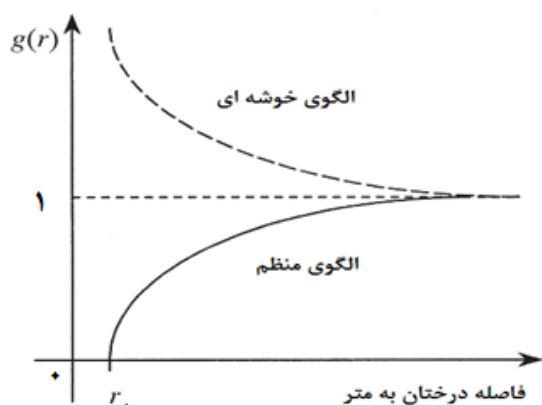
رابطه ۳:

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

در رابطه فوق،  $r_i$  عبارت است از فاصله بین درخت  $i$  و نزدیکترین همسایه آن به متر؛  $N$  نشان دهنده‌ی تعداد کل درختان در داخل قطعه نمونه؛  $A$  سطح قطعه نمونه به متر مربع؛ و  $P$  محیط قطعه نمونه به متر است. زمانی که توزیع درختان در توده مورد مطالعه از الگوی تصادفی پیروی کند، مقدار  $CE$  برابر با ۱ می‌شود. درحالی که  $CE$  کمتر از ۱ نشان دهنده‌ی حالت کپه‌ای؛ و  $CE$  بیشتر از ۱ بیان کننده‌ی موقعیت یکنواخت درختان است (۲۱).

#### تابع همبستگی جفتی ( $g(r)$ ):

میزان این تابع به فاصله بین درختان بستگی دارد و بر خلاف بعضی از شاخص‌های مربوط به الگوی مکانی، نتیجه این تابع به شکل یک عدد نیست، بلکه به شکل یک نمودار ارائه می‌گردد. شکل ۳ نشان دهنده حالت‌های مختلف این تابع در هنگام بررسی الگوی مکانی درختان است.



شکل ۳- حالت‌های مختلف نمودار تابع همبستگی جفتی (۲۲)  
Figure 3- Diagram different moods pair correlation function (22)

میزان این تابع از رابطه ۴ قابل محاسبه است.

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

رابطه ۴:

که در آن  $P(r)$  احتمال پیدا کردن یک درخت در دو دایره فرضی  $C_1$  و  $C_2$  با مساحت‌های بسیار کوچک  $df_1$  و  $df_2$ ؛  $\lambda$  عبارت است از تراکم جنگل مورد بررسی و  $g(r)$  عبارت است از تابع همبستگی جفتی.

پس از تعیین تیپ‌های مختلف در منطقه مورد مطالعه، در هر یک از تیپ‌های راش، راش-ممرز و راش-افرا، سه پلات یک هکتاری (مجموعاً ۹ پلات) مشخص و مورد آماربرداری قرار گرفت و مشخصاتی از جمله نوع گونه، قطر برابر سینه، فاصله و آزمون درختان نسبت به یک نقطه‌ی مشخص ثبت شد. در مرحله بعد، به منظور بررسی الگوی مکانی درختان موجود در این منطقه داده‌ها آماده و با استفاده از نرم‌افزار Crancod 1.3 (۱۹) مورد آنالیز قرار گرفت.

#### شاخص‌های مورد مطالعه

شاخص زاویه یکنواخت (Uniform Angle Index)

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 ( $\alpha_j$ ) نسبت به زاویه استاندارد ( $\alpha_0$ ) است. مقدار زاویه‌ی استاندارد ( $\alpha_0$ ) و شاخص زاویه یکنواخت ( $W_i$ ) به ترتیب از روابط ۱ و ۲ قابل محاسبه است.

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

رابطه ۱:

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

رابطه ۲:

با توجه به رابطه ۳، مقدار شاخص زاویه یکنواخت در هنگام استفاده از چهار درخت همسایه، یکی از پنج ارزش صفر، ۰/۲۵، ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ است. با میانگین‌گیری از این ارزش‌ها مقدار متوسط تجمع ( $\bar{W}_i$ ) برای کل توده قابل محاسبه است. ارزش پایین  $\bar{W}_i$  نشان دهنده الگوی یکنواخت و ارزش بالای آن نشان دهنده الگوی کپه‌ای درختان است. بنابراین می‌توان بیان نمود که: کپه‌ای  $\bar{W}_i < \bar{W}_{\text{تصادفی}} < \bar{W}_{\text{منظم}}$  (۲۰).

#### شاخص کلارک و اوانز (CE)

از این شاخص برای تعیین میزان انحرافی که یک توده جنگلی از جنگل پواسون (جنگلی با توزیع تصادفی) دارد، استفاده می‌شود. در این شاخص، با استفاده از رابطه ۱ میانگین فاصله بین یک درخت و نزدیکترین همسایه آن ( $r_A$ ) با میانگین مورد انتظار در صورتی که موقعیت درختان به طور تصادفی پراکنده شده باشند ( $r_E$ ) مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۵. نتایج بدست آمده از تابع همبستگی جفتی برای تیپ راش تا فاصله بین درختی سه متر بیش از یک است.

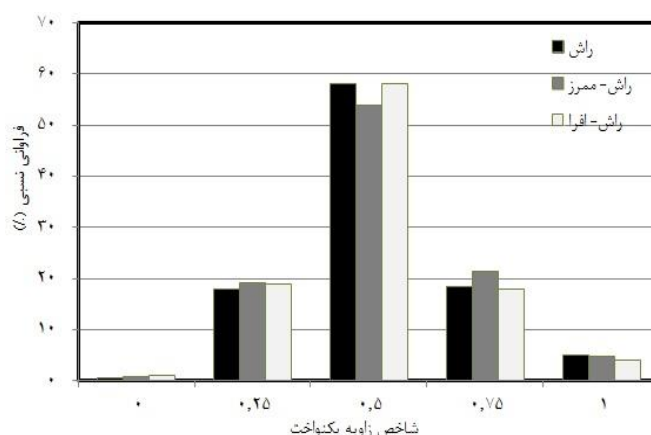
میانگین قطر برابر سینه درختان موجود در تیپ راش - ممرز، ۴۸/۹ سانتی متر و میانگین فواصل درختان در هکتار ۷/۴ متر محاسبه شد. میانگین شاخص کلارک و اوانز برای کل درختان موجود در تیپ راش - ممرز برابر با ۰/۹۱ محاسبه شد که نشان دهنده الگوی تصادفی درختان است. همچنین مقدار میانگین شاخص زاویه یکنواخت برای کل درختان موجود در این تیپ و صرف نظر از نوع گونه درخت مرجع برابر با ۰/۵۴ محاسبه شد که نشان دهنده تجمع تصادفی درختان همسایه در اطراف درخت مرجع است. در شکل ۴ طبقات مختلف توزیع ارزش‌های شاخص زاویه یکنواخت برای درختان موجود در تیپ راش - ممرز ترسیم شده است. طبق شکل ۶ نتایج بدست آمده از تابع همبستگی جفتی برای درختان موجود در تیپ راش - ممرز تا فاصله بین درختی پنج متر بیش از یک است.

میانگین قطر برابر سینه درختان موجود در تیپ راش - افرا ۴۶/۴ سانتی متر و میانگین فواصل درختان در هکتار ۶/۸ متر محاسبه شد. میانگین شاخص کلارک و اوانز برای کل درختان موجود در تیپ راش - افرا برابر با ۱/۱۱ محاسبه شد که نشان دهنده الگوی تصادفی درختان است. همچنین مقدار میانگین شاخص زاویه یکنواخت برای کل درختان موجود در این تیپ و صرف نظر از نوع گونه درخت مرجع برابر با ۰/۵۳ محاسبه شد که نشان دهنده تجمع تصادفی درختان همسایه در اطراف درخت مرجع است. در شکل ۴ طبقات مختلف توزیع ارزش‌های شاخص زاویه یکنواخت برای درختان موجود در تیپ راش - افرا ترسیم شده است. طبق شکل ۷ نتایج بدست آمده از تابع همبستگی جفتی برای درختان موجود در تیپ راش - افرا تا فاصله بین درختی هشت متر بیش از یک است.

در هنگام بررسی یک جنگل با الگوی تصادفی، نمودار تابع همبستگی جفتی، موازی محور افقی (فاصله درختان به متر) و برابر با ۱ می‌باشد. در مواقعی که موقعیت درختان دارای تمایل به یکنواخت شدن باشد (برای مثال: توده‌های خیلی پیر با فواصل بین درختی زیاد)، ارزش‌های  $g(r)$  در فواصل کم بین درختان برابر با صفر و اگر الگوی مکانی یک توده‌ی به صورت کپه‌ای باشد مقدار این تابع در فواصل کم بین درختان بیش از یک می‌باشد (۲۲).

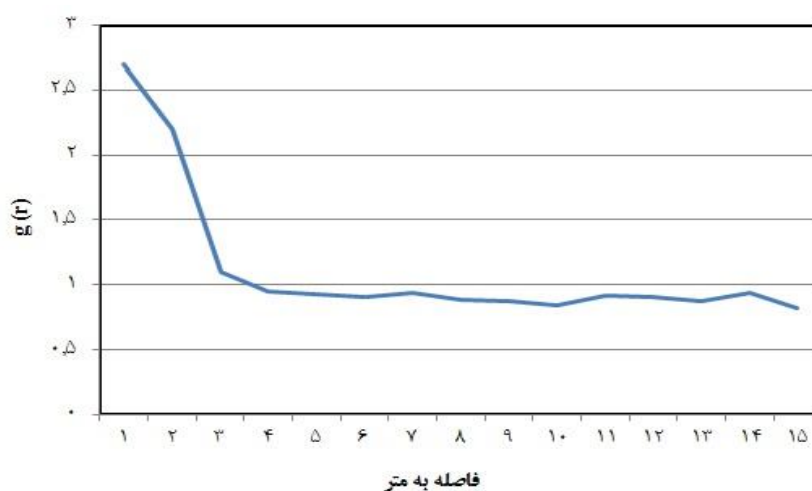
#### یافته‌ها

در این تحقیق به منظور بررسی الگوی مکانی هر یک از تیپ‌ها در سری سه ناو اسالم، درختان با قطر بیشتر از ۷/۵ سانتی متر مورد مطالعه قرار گرفت. در منطقه مورد مطالعه در تیپ راش مجموعاً ۹۱۸ پایه، در تیپ راش - ممرز مجموعاً ۵۴۰ پایه و در تیپ راش - افرا مجموعاً ۶۵۴ پایه ثبت شد. میانگین قطر برابر سینه درختان موجود در تیپ راش، ۳۴/۷ سانتی متر و میانگین فواصل درختان در هکتار ۵/۷ متر محاسبه شد. میانگین شاخص کلارک و اوانز برای کل درختان موجود در تیپ راش برابر با ۰/۸۸ محاسبه شد که نشان دهنده الگوی تصادفی است. همچنین مقدار میانگین شاخص زاویه یکنواخت برای کل درختان موجود در این تیپ و صرف نظر از نوع گونه درخت مرجع برابر با ۰/۵۱ محاسبه شد که نشان دهنده تجمع تصادفی درختان همسایه در اطراف درخت مرجع است. در شکل ۴ طبقات مختلف توزیع ارزش‌های شاخص زاویه یکنواخت برای درختان موجود در تیپ راش ترسیم شده است. بر خلاف دو شاخص دیگر، تابع همبستگی جفتی با ایجاد یک نمودار به بررسی موقعیت مکانی درختان می‌پردازد. طبق شکل



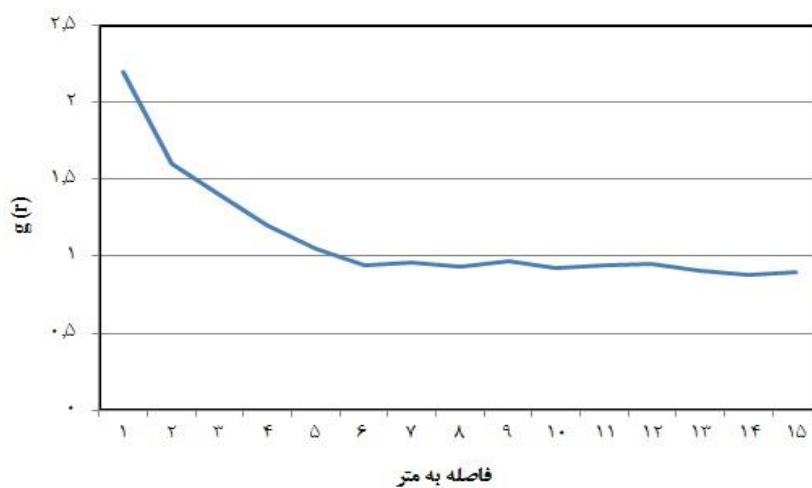
شکل ۴- نمودار توزیع ارزش‌های شاخص زاویه یکنواخت برای تمام درختان موجود در تیپ‌های مختلف.

Figure 4- Diagram of distribution value of uniform angle index for all trees existing in different types.



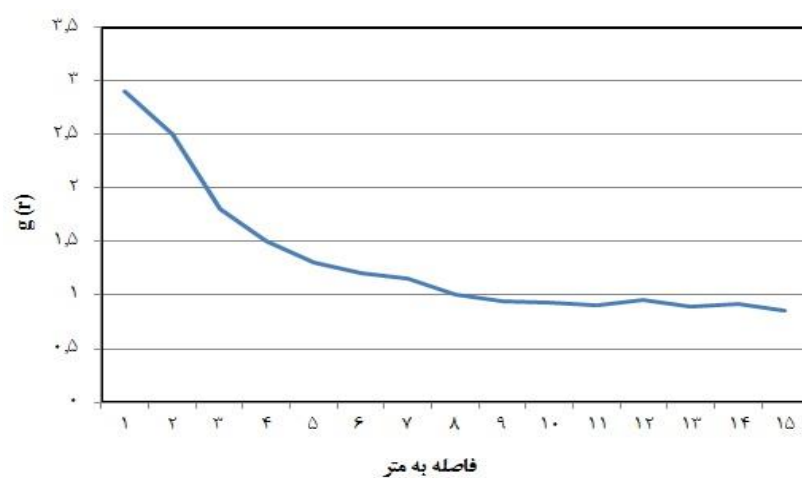
شکل ۵- نمودار تابع همبستگی جفتی تیپ راش جنگل‌های ناو اسالم گیلان.

Figure 5- Diagram of pair correlation function *Fagus Nave Asalem-Gilan* forests.



شکل ۶- نمودار تابع همبستگی جفتی تیپ راش - ممرز جنگل‌های ناو اسالم گیلان.

Figure 6- Diagram of pair correlation function *Fagus-Carpinus Nave Asalem-Gilan* forests.



شکل ۷- نمودار تابع همبستگی جفتی تیپ راش - افرا جنگل‌های ناو اسالم گیلان.

Figure 7- Diagram of pair correlation function *Fagus-Acer Nave Asalem-Gilan* forests.



## بحث و نتیجه‌گیری

استقرار مکانی گیاهان وابسته به دامنه گسترده‌ای از فرآیندهای زنده، نوع زادآوری، محدودیت‌های پراکنش و رقابت می‌تواند باشد. در مقابل فرآیندهای غیر زنده مثل ناهمگنی رویشگاه، آشوب‌ها یا دیگر وقایع اتفاقی رخ داده می‌تواند در غیر تصادفی بودن پراکنش درختان شرکت کند (۲۳). در این تحقیق برای بررسی الگوی مکانی تیپ‌های راش، راش-ممرز و راش-افرا از شاخص‌های کلارک و اوانز و زاویه یکنواخت و تابع همبستگی جفتی استفاده شد. نتایج حاصل از شاخص کلارک و اوانز نشان دهنده الگوی تصادفی برای درختان موجود در سه تیپ مورد مطالعه بود. از مزایای این شاخص می‌توان به سادگی محاسبه و محدود بودن ارزش میانگین آن (۲/۱۴۹۱ - ۰) اشاره کرد؛ بنابراین کاربرد این شاخص را در هنگام مقایسه توده‌های مختلف به سادگی امکان پذیر می‌سازد. نکته قابل توجه در رابطه با این شاخص، پایین بودن اعتمادپذیری آن در هنگام بررسی توده‌های با توزیع کپه‌ای است (۲۱). شاخص زاویه یکنواخت با بررسی زاویه بین درختان به بررسی نحوه چیدمان آنها نسبت به یکدیگر می‌پردازند. در پژوهشی که هوی و همکاران (۲۴) انجام دادند بیان کردند که شاخص زاویه یکنواخت به منظور بررسی موقعیت مکانی درختان دارای توانایی بالایی می‌باشد. مقدار میانگین این شاخص نیز در سه تیپ مورد مطالعه نشان‌دهنده تصادفی بودن چیدمان درختان نسبت به یکدیگر است که از علل آن می‌توان به طبیعی بودن جنگل‌های منطقه مورد مطالعه اشاره کرد. نکته مهمی که در این زمینه باید به آن توجه نمود این است که در جنگل‌های طبیعی الگوی مکانی درختان تحت تاثیر آشفستگی منطقه، روابط متقابل رقابتی و حضور گونه‌های مهاجم قرار دارد (۲۵). همچنین نحوه مدیریت توده‌ها تاثیر مستقیمی بر روی الگوی پراکنش درختان در جنگل‌های طبیعی دارد؛ به گونه‌ای که در توده‌های مدیریت شده کپه‌ها به نفع درختان مرغوب تنک می‌شوند و در نتیجه منجر به ایجاد تغییر در توزیع درختان می‌شود (۲۱). بنابراین می‌توان عواملی مانند اندازه و وزن بذر درخت، شکل و شیب زمین، شرایط جوی منطقه (باد، برف، بارندگی و رواناب ناشی از آن در فصل ریزش بذر) و سرانجام دخالت‌های انسانی را در چگونگی انتشار بذر درختان و در نهایت الگوی پراکنش آن‌ها موثر دانست؛ که در بین آن‌ها اندازه و وزن بذر با مسافت انتشار رابطه معکوس داشته و مابقی رابطه مستقیم دارند (۲۶).

تابع همبستگی جفتی به طور مکمل با دو شاخص قبلی، اطلاعات مفیدی را در رابطه با پراکنش درختان ارائه می‌دهد، این تابع با استفاده از نمودار به بررسی الگوی مکانی درختان می‌پردازد.

نوسان این نمودار وابستگی شدیدی به شرایط منطقه مورد مطالعه و نحوه قرار گیری درختان در آن دارد. برای تیپ راش (با توجه به شکل ۵) میزان این تابع تا مقدار سه متر بیشتر از یک می‌باشد؛ که به این معنی است که تعداد جفت درختانی که فاصله بین آنها کمتر از سه متر است از حالت مورد انتظار در توزیع تصادفی بیشتر است و بیان‌کننده الگوی کپه‌ای درختان می‌باشد. مقدار تابع همبستگی جفتی (با توجه به شکل ۶ و ۷) برای تیپ راش-ممرز و راش-افرا به ترتیب تا مقدار پنج و هشت متر بیشتر از یک می‌باشد. مقادیر به دست آمده برای تیپ راش-ممرز نشان‌دهنده این موضوع است که جفت درختانی که فاصله بین آنها کمتر از پنج متر است دارای الگوی کپه‌ای هستند. اما در مورد تیپ راش-افرا جفت درختانی که فاصله بین آنها کمتر از هشت متر است دارای الگوی کپه‌ای هستند. نتایج حاصل از این شاخص با توجه به جوان بودن منطقه مورد بررسی و قرارگیری درختان در فواصل نسبتاً کم از یکدیگر قابل توجیه است. علی‌جانی و همکاران (۲۷) با استفاده از تابع همبستگی جفتی به بررسی الگوی مکانی درختان جنگل‌های میان بند شمال ایران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که تعداد جفت درختانی که فاصله بین آنها کمتر از ۵/۵ متر است دارای الگوی کپه‌ای می‌باشد. فرهادی و همکاران (۲۸) به منظور بررسی اثر تخریب بر روی موقعیت مکانی درختان بلوط ایرانی در جنگل‌های زاگرس از تابع همبستگی جفتی استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که تخریب درختان بلوط ایرانی موجب شده که درختان موجود در این منطقه از فواصل ۴/۵ به ۵/۱ متر برای الگوی کپه‌ای تغییر کنند. در واقع این موضوع بیانگر این است که تا قبل از تخریب، درختان بلوط با فاصله بین درختی کمتر از ۴/۵ متر دارای الگوی مکانی کپه‌ای بودند اما تخریب درختان در این منطقه باعث تغییر این میزان تا فاصله بین درختی ۵/۱ متر شده است.

برای گونه‌هایی که عمده زادآوری آنها توسط بذر صورت می‌گیرد، الگوی مکانی آنها در ارتباط با نحوه الگوی پراکنش بذر است (۲۹). اما برای گونه‌هایی که عمدتاً زادآوری آنها توسط روش‌های غیر جنسی از قبیل ریشه جوش و پاجوش انجام می‌گیرد، الگوهای مستقر شده تا حد زیادی تحت تاثیر الگوی ایجاد شده ابتدایی ناشی از آشوب‌های داخل توده است (۳۰). همچنین در مورد گونه‌هایی که زادآوری آنها توسط ترکیبی از روش‌های ذکر شده انجام می‌گیرد، الگوی مکانی آنها تا حد زیادی توسط ویژگی‌های خود درخت (سرشت درختان) و عوامل محیطی مختلف زنده و غیر زنده موجود شکل می‌گیرد (۳۱). در راشستان‌های آمیخته، راش غالب‌ترین درخت از لحاظ تراکم می‌باشد و در اشکوب برین بر سایر درختان غلبه دارد (۳۲). در منطقه مورد مطالعه نیز چنین وضعیتی مشاهده شد.



- Study of the spatial pattern of trees during forest development stages in intact stands of beech (*Fagus orientalis* Lipsky) in Kelardasht. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18 (2): 322-336.
- 8- Wang, J., Sharma, B.D., Li, Y., Miller, G.W., 2009. Modeling and validating spatial patterns of a 3D stand generator for central Appalachian hardwood forests. *Computers and Electronics in Agriculture*, 68, 141-149.
  - 9- Alavi, Jalil. Zahedi Amiri, Qavamuddin. Marvi Mohajer, Mohammad Reza. 2005. Determining the spatial distribution pattern of the species Melaj in the forests of northern Iran (a case study in the educational and research forest of Khairudkenar, Nowshahr). *Natural Resources of Iran*. 58 (4): 804-793.
  - 10- Erfanifard, Seyed Yousef, Zare, Laya, Fakhi, Jahangir. 2013. Application of nearest neighbor indices in the scions of Iranian oak (*Quercus brantii* var. *Persica*) in the forests of Zagros. *Applied Ecology* 5 (3): 24-15.
  - 11- Farhadi, Peyman. Sosni, Javad. Adeli, Kamran. Alijani, Vahid. 2014. Analysis of the structure of Zagros forests using nearest neighbor-based indices (Case study: Qaleh-e-Gol forests of Khorramabad). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 22 (2): 294-306.
  - 12- Aakala, T., Kuuluvainen, T., De Grandpre, L., Gauthier, S., 2007. Trees dying standing in the northeastern boreal old-growth forests of Quebec: spatial patterns, rates and temporal variation. *Canadian journal of forest research*, 37, 50-61.
  - 13- Zenner, E.K., Peck, J.E., 2009. Characterizing structural conditions in mature managed red pine: spatial dependency of metrics and adequacy of plot size. *Forest ecology and management*, 257, 311-320.
  - 14- 14. Szmyt, J., 2014. Spatial statistics in ecological analysis: from indices to functions. *Silva Fennica*, 38:1-31.
  - 15- Nouri, Zahra. Faqhi, Jahangir. Alavi, Seyed Jalil. 2008. Investigating the sustainability of tree species diversity using common sample plots in forestry projects (case study: Grozbon section of Khairud forest, Nowshahr). *Journal of Natural Resources of Iran*, 61 (4): 919-909.
  - 16- Marvi Mohajer, M., R. 2011. *Silviculture and Forestry*, Tehran University Press, No. 2709, 418p.
  - 17- Safari, Amir. Shabanian, Naghi. Heydari, Reza Hossein. Erfanifard, Seyed Yousef. Pourreza, Morteza. 2010. Investigating the spatial pattern of Iranian oak trees (*Quercus brantii* Lindl.) in the deciduous forests of Kermanshah. *Iranian Forest and Poplar Research Quarterly*, 18 (4): 608-596.
- نتایج حاصل از این مطالعه نشان‌دهنده یکسان بودن الگوی مکانی سه تیپ مورد مطالعه بود. به همین دلیل در سطح پارسل و یا سایر واحدهایی که ممکن است از چندین تیپ مختلف تشکیل شده باشد، می‌توان بدون توجه به نوع تیپ الگوی مکانی کلی را تعیین کرد.
- آگاهی از ساختار مکانی گونه‌ها به مدیران جنگل در تصمیم‌گیری و مدیریت پایدار جنگل در عملیات پرورشی، جنگل‌کاری و نشانه‌گذاری نیز کمک می‌نماید، به طوری که با مشاهده الگوهای ساختاری موجود در طبیعت، جنگل‌شناس شناختی از ویژگی‌های اکولوژیکی گونه‌های مختلف به دست آورده و با استفاده از عملیات نشانه‌گذاری می‌تواند به تنظیم موقعیت مکانی درختان بپردازد، همچنین به منظور جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف می‌توان از ساختار طبیعی الگو برداری کرد. نظر به این‌که گونه راش یکی از با ارزش‌ترین و اقتصادی‌ترین گونه‌های جنگل‌های شمال کشور می‌باشد، اهمیت مطالعه بیش‌تر در زمینه ساختار و الگوی مکانی این گونه در توده‌های جنگلی و دخالت دادن آن در مطالعه بوم‌شناختی مرتبط با مناطق جنگلی را بیش از پیش آشکار می‌نماید.

#### منابع

- 1- Kint, V. D., Wulf Robert, L, Noel. 2004. Evaluation of sampling methods for the estimation of structural indices in forest stands. *Ecological Modeling*. 180: 461-476.
- 2- Jannat Rostami, Mojtaba. Zare Chahoki, Mohammad Ali. Azarnivand, Hossein. Ebrahimi Darcheh, Khadijeh. 2009. Study and analysis of the distribution patterns of several plant species in the marginal pastures of the Satan Pond of Qom. *Watershed Management Research (Research and Construction)*, 84: 80-72.
- 3- Erfanifard, Seyyed Yousef. Faqhi, Jahangir. Zubiri, Mahmoud. Nemiraniyan, Manouchehr. 2007. Study of the spatial pattern of trees in the forests of Zagros. *Iranian Natural Resources Quarterly*, 60 (4): 1328-1319.
- 4- Dale, M.R.T., 1998. *Spatial Pattern Analysis in Plant Ecology*. Cambridge University Press, 326 p.
- 5- Grabarnik, P. and Särkkä, A., 2009. Modeling the spatial pattern of forest stands by multivariate point processes with hierarchical interactions. *Ecological Modeling*, 220: 1232-1240.
- 6- Jayaraman, K., 1999. *A Statistical Manual for Forestry Research*, FORSPA-FAO Publication, 231 p.
- 7- Akhavan, Reza. Saqeb Talebi, Khosro. Hassani, Majid. Parhizgar, Pejman. 2010.

- 18- Fallah Chai, Mir Mozaffar. Kalantari Cherudeh, Khashayar. Payam, Hamid. 2011. Comparison of quantitative characteristics of natural forest stands in two protected and non-protected areas (case study: Nav Asalem forests). Journal of Biological Sciences, Lahijan Branch, 1 (4): 113-121.
- 19- Pommerening, A. 2006. Crancod 1.3-Manual. University of wales, Bangor. 24 p.
- 20- Corral-Rivas, J.J., Wehenkel, C., Castellanos-Bocaz H., Vargas-Laretta, B., and Dieguez-Aranda, U. 2010. A permutation test of spatial randomness: application to nearest neighbor indices in forest stands. Journal of Forestry Research, 15: 218-225.
- 21- Kint, V., Lust, N., Ferris, R., and Olsthoom, A.F.M. 2000. Quantification of forest stand structure applied to Scots Pine (*Pinus Sylvestris* L.) Forests. Investigación Agraria: Sistemasy Recursos Forestales, 1: 147-163.
- 22- Pommerening, A., 2002. Approaches to quantifying forest structures. Forestry. 3, 305-324.
- 23- Li, L., Huang, Zh., Ye, W., Cao, H., Wei, Sh., Wang, Zh., Lian, J., Sun, I., Ma, K. and He, F. 2009. Spatial distributions of tree species in a subtropical forest of China. Oikos, 118: 495-502.
- 24- Hui, G., Li, L., Zhonghua, Z., and Puxing, D. 2007. Comparison of methods in analysis of the tree spatial distribution pattern. Acta ecologica Sinica. 27: 11. 4717- 4728.
- 25- Frelich, L.E., Calcote, R.L., Davis, M.B., and Pastor, J. 1993. Patch formation and maintenance in an old-growth hemlock-hardwood forest. Journal of Ecology, 72: 2. 513-527.
- 26- Hosseini, A. 2011. Seed dispersal and natural establishment of sexual reproduction of Iranian oak, holm oak and holm oak tree species in Zagros forests (case study: intertidal forests in Ilam province), Iranian Journal of Natural Ecosystems 3 (1): 74-65.
- 27- Alijani, V., Fakhi, J., Zubiri, M., Marvi Mohajer, M. 2012. Quantification of spatial structure of intertidal forests in northern Iran (case study: Grazbon section of Khairud forest), Natural Environment, 65 (1): 111-125.
- 28- Farhadi, P., Soosani, J., Adeli, K. and Alijani, V. 2013. The effect of destruction in positioning of *Quercus brantii* in Zagros forests, Iran (Case Study: Ghalehbol forest, Khoramabad City). Journal of Biodiversity and Environmental Sciences, 3 (8):49-57.
- 29- Calvino-Cancela, M., 2002. Spatial patterns of seed dispersal and seedling ecruitment in *Corema album* (Empertaceae): the importance of unspecialized dispersers for regeneration. Journal of Ecology 90: 775-784.
- 30- Mou, P., Fahey, T.J. & Hughes, J.w., 1993. Nutrient accumulation in vegetation following whole-tree harvest of a northern haedwood ecosystem. Journal of applied Ecology 30:661-675.
- 31- Grubb, P.J., 1977. The maintenance of spatial diversity in plant communities: The importance of regeneration riche. Biological Review 52: 107-145.
- 32- Saniga, M. and Schutz, J.P., 2001. Dynamics of changes in dead wood share in selected beechvirgin forests in Slovakia within their development cycle. J. For. Sci. 47: 557-565.