

## تحلیل رقابت درون‌گونه‌ای راش در جنگل‌های هیرکانی ایران با استفاده از تابع همبستگی نشاندار (MCF)

رضا اخوان<sup>۱\*</sup>، پژمان پرهیزکار<sup>۲</sup>، بیت‌اله امان‌زاده<sup>۳</sup>، شیرزاد محمدنژاد کیاسری<sup>۴</sup>

۱. دانشیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
۲. استادیار پژوهش، مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها و مراتع کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران
۳. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان گیلان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، رشت
۴. استادیار پژوهش، بخش تحقیقات منابع طبیعی، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان مازندران، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، ساری

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۲/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۵/۰۸

### چکیده

تحلیل الگوی مکانی درختان یکی از ابزارهای بررسی رقابت در جنگل است که با در نظر گرفتن یکی از مشخصه‌های درخت مانند اندازه قطر، الگوی پراکنش قطرها را در جنگل به صورت سه‌بعدی بررسی می‌کند. این مهم به کمک تابع همبستگی نشاندار (MCF) انجام پذیر است. هدف این پژوهش، کمی کردن رقابت در توده‌های راش جنگل‌های هیرکانی شمال کشور با استفاده از MCF و تبیین کاربرد این تابع است. در این بررسی، سه قطعه نمونه یک‌هکتاری در سه مرحله تحولی اولیه، بلوغ و پوسیدگی در توده‌های شاهد راش خالص در مناطق سفارود، کلاردشت و نکا در جنگل‌های شمال کشور انتخاب و کلیه درختان با قطر برابر سینه بیشتر از ۷/۵ سانتی‌متر اندازه‌گیری و مختصات دکارتی آنها به روش فاصله-آزموت تعیین شد. نتایج استفاده از MCF در بررسی رقابت درون‌گونه‌ای راش نشان داد که قطر برابر سینه درختان راش مجاور در مرحله تحولی اولیه متفاوت بود که نشان از رقابت پایه‌ها در این مرحله دارد. در مراحل بلوغ و پوسیدگی، قطر درختان مجاور تا مقیاس فاصله‌ای حداکثر ۱۲ متر متفاوت (وجود رقابت) و پس از آن دارای تشابه قطری بود که مبین نبود رقابت درون‌گونه‌ای راش در هر یک از این دو مرحله است. نظر به کاربرد تابع همبستگی نشاندار در بررسی رقابت درون‌گونه‌ای راش در جنگل‌های شمال ایران در این پژوهش، می‌توان دخالت در توده‌ها و تنک کردن آنها را براساس وجود یا نبود رقابت در جنگل و شدت آن برنامه‌ریزی کرد.

واژه‌های کلیدی: اثر متقابل، راش شرقی، قطر برابر سینه، مراحل تحولی جنگل.

### مقدمه

افزایش می‌دهد [۱]. رقابت درختان در جنگل از جمله سازوکارهای حیاتی است که از عوامل مؤثر در فرایند توالی در جنگل است و بر ساختار توده جنگلی تأثیر می‌گذارد [۲]. با تعیین موقعیت مکانی و ابعاد درختان از گونه‌های مختلف، می‌توان به بسیاری از ابهام‌ها مانند تأثیر فرایندهای بوم‌شناختی و شرایط محیطی بر پراکنش گونه‌ها

شناخت و تشخیص رقابت از اهمیت ویژه‌ای برای محققان جنگل و صنعت چوب برخوردار است، زیرا سبب کاهش رویش در جنگل می‌شود و خطر مرگ‌ومیر را

\* نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۳۱۹۸۰۹۲

دست یافتند [۱]. He and Gray (۲۰۰۹) با استفاده از این تابع و متغیر قطر برابر سینه، رقابت را در چهار قطعه آمیخته یک‌هکتاری با فراوانی‌های مختلف دو گونه صنوبر لرزان و نوئل در آلبرتای کانادا بررسی کردند و دریافتند که رقابت اثر منفی بر رشد درختان داشته است [۶]. Ledo و همکاران (۲۰۱۱) با به‌کارگیری این تابع در جنگل‌های بارانی استوایی به اثرهای متقابل مثبت و منفی متفاوتی بین گونه‌های درختی اشکوب‌های مختلف جنگل دست یافتند و آن را به‌عنوان ابزار جدیدی در تحلیل اثرهای متقابل گونه‌ها معرفی کردند [۷]. Martinez و همکاران (۲۰۱۳) در یک توده آمیخته راش، سرخدار و فندق در اسپانیا با استفاده از MCF ارتباط بین نهال‌ها و درختان بالغ را بررسی کردند و تقریباً به هیچ‌گونه اجتماع‌پذیری مثبتی بین نهال‌ها با درختان بالغ در مقیاس کوچک (کمتر از ۵ متر) دست نیافتند [۸]. Erfanifard (۲۰۱۶) کنش‌های متقابل درون‌گونه‌ای در یک توده شاخه‌زاد بلوط ایرانی در یاسوج را با استفاده از تابع همبستگی نشاندار بررسی کرد و نشان داد که متغیرهای ارتفاع کل، ارتفاع تاج و قطر یقه به رقابت درون‌گونه‌ای بسیار حساس‌اند، اما متغیرهای قطر و مساحت تاج جست‌گروه‌های بلوط حساسیت کمتری به رقابت دارند [۹].

با توجه به پیشینه تحقیق یادشده، کاربرد استفاده از تابع همبستگی نشاندار در مطالعات اکولوژی جنگل کاملاً روشن است. بنابراین هدف این پژوهش، کمی کردن رقابت در توده‌های راش شرقی با استفاده از تابع همبستگی نشاندار و تبیین کاربرد این تابع در جنگل‌های باارزش هیرکانی شمال کشور است.

## مواد و روش‌ها

### مناطق مورد بررسی

داده‌های استفاده‌شده در این تحقیق از سه راشستان تقریباً خالص دست‌نخورده در پارسل‌های شاهد در سه منطقه از جنگل‌های هیرکانی شمال کشور شامل شفارود (گیلان)،

پاسخ داد [۳]؛ از این رو موقعیت مکانی درختان، اطلاعات مفیدی درباره تأثیر رقابت در شرایط محیطی ارائه می‌دهد. تحلیل ساختار جنگل ممکن است بدون بُعد (بررسی‌های کیفی)، تک‌بعدی (ضریب تغییرات قطر یا ارتفاع)، دو‌بعدی (بررسی الگوی مکانی درختان در جنگل) یا سه‌بعدی باشد [۴]. مورد اخیر هنگامی محقق می‌شود که هر درخت با مختصات  $X$  و  $Y$  دارای یک ارزش به‌صورت  $Z$  نیز باشد. در این صورت می‌توان اطلاعات موقعیت مکانی درختان را در پیوند با ابعادشان مانند قطر و ارتفاع تحلیل کرد. تابع همبستگی نشاندار (MCF) توانایی استفاده از چنین داده‌هایی را دارد و می‌توان از آن به‌منظور بررسی رقابت و اثر متقابل درختان در جنگل استفاده کرد. این تابع به بررسی شباهت یا نبود شباهت خصوصیات دو درخت (مانند قطر یا ارتفاع) که به فاصله مشخصی از هم قرار دارند می‌پردازد تا براساس آن بتوان به وجود یا نبود رقابت در بین آنها پی برد.

از تحقیقاتی که تاکنون با استفاده از MCF انجام گرفته، می‌توان به تحقیق Wälder and Wälder (۲۰۰۷) اشاره کرد؛ آنان در یک توده آمیخته راش و نوئل در آلمان همبستگی متغیرهای ارتفاع و قطر تاج این دو گونه را با استفاده از تابع همبستگی نشاندار بررسی کردند و برای متغیر ارتفاع درخت به نبود تشابه ارتفاع درختان مجاور (همبستگی منفی در ارتفاع) در فواصل کمتر از ۵۰ متر، و تشابه ارتفاع درختان مجاور (همبستگی مثبت ارتفاع این دو گونه درخت) در فواصل بیشتر از ۵۰ متر دست یافتند؛ درحالی که برای متغیر قطر تاج این همبستگی در اکثر قریب به اتفاق مقیاس‌ها منفی بود [۵]. Getzin و همکاران (۲۰۰۸) رقابت را در دو توده پهن‌برگ و دو توده سوزنی‌برگ با استفاده از MCF و متغیرهای قطر برابر سینه و سطح تاج درختان در جنگل‌های مرکز آلمان بررسی کردند و در بیشتر موارد به حالت‌های نبود رقابت در توده (بدون وجود همبستگی در نمودار MCF)

جدول ۱. مشخصات رویشگاهی رانشستان‌های مناطق سه‌گانه بررسی شده [۱۰-۱۲]

| نام منطقه | شماره سری | شماره پارسل | ارتفاع از سطح دریا (متر) | شیب (درصد) | جهت جغرافیایی | میانگین بارندگی سالانه (میلی‌متر) | میانگین دمای سالانه (سانتی‌گراد) |
|-----------|-----------|-------------|--------------------------|------------|---------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| شفاورد    | ۹ شفاورد  | ۳۴          | ۱۲۰۰                     | ۵۵         | شرقی          | ۱۲۸۶                              | ۱۵                               |
| کلاردشت   | ۱ لنگا    | ۱۳۹         | ۱۶۰۰                     | ۵۰         | شمال شرقی     | ۱۳۰۰                              | ۸                                |
| نکا       | ۴ هفت‌خال | ۳۶          | ۱۵۰۰                     | ۳۰         | شمال شرقی     | ۶۲۰                               | ۱۵                               |

زادآوری در کنار درختان قطور اتفاق می‌افتد و حجم توده رو به کاهش می‌گذارد. در مرحله پوسیدگی (تخریب) با پیشرفت پوسیدگی از تعداد درختان قطور کاسته می‌شود و توده به سمت جوان شدن (مرحله اولیه) میل می‌کند [۱۳].

#### اندازه‌گیری در قطعات نمونه

پس از تعیین محدوده قطعات نمونه در جنگل، به منظور ثبت مختصات درختان موجود در قطعات یک هکتاری از روش فاصله-آزیموت استفاده شد. سپس داده‌ها با استفاده از روابط مثلثاتی به مختصات دکارتی (X,Y) تبدیل شدند. برای هر درخت علاوه بر مختصات مکانی، قطر در ارتفاع برابر سینه نیز برای درختان قطورتر از ۷/۵ سانتی‌متر در طبقات قطری یک سانتی‌متری ثبت شد. سپس درختان اندازه‌گیری شده بر اساس اندازه قطر برابر سینه به چهار کلاس قطری کم‌قطر (۷/۵ تا ۳۲/۵ سانتی‌متر)، میان‌قطر (۳۲/۶ تا ۵۲/۵ سانتی‌متر)، قطور (۵۲/۶ تا ۷۲/۵ سانتی‌متر) و خیلی قطور (بیشتر از ۷۲/۵ سانتی‌متر) [۱۶] تقسیم شدند.

#### تابع همبستگی نشاندار (MCF)

در این تحقیق به منظور بررسی همبستگی قطر برابر سینه درختان در داخل قطعات نمونه مورد بررسی از تابع همبستگی نشاندار استفاده شد. تابع همبستگی نشاندار یا  $k_{mm}(d)$  را اولین بار Stoyan (۱۹۸۴) در آلمان معرفی کرد [۱۷]. در این تابع، هر نقطه مختصات‌داری که در مبحث تحلیل الگوی نقطه‌ای استفاده می‌شود، علاوه بر دو بُعد X و Y دارای بُعد سوم است که از آن به عنوان مارک یا نشان یاد می‌شود که این بُعد سوم برای الگوهای نقطه‌ای مربوط به درختان می‌تواند قطر برابر سینه، ارتفاع، قطر تاج یا سن

لنگای کلاردشت (غرب مازندران) و هفت‌خال نکا (شرق مازندران) جمع‌آوری شد. جدول ۱ مشخصات مناطق بررسی شده را نشان می‌دهد.

#### انتخاب قطعات نمونه

در رانشستان‌های مناطق سه‌گانه یادشده در هر مرحله تحولی اولیه<sup>۱</sup>، بلوغ (اوج)<sup>۲</sup> و پوسیدگی (تخریب)<sup>۳</sup> یک قطعه نمونه به مساحت یک هکتار و به ابعاد ۱۰۰×۱۰۰ متر و در مجموع نه قطعه نمونه (از هر مرحله تحولی سه تکرار) بر اساس تجربیات و تعاریف موجود در مورد مراحل تحولی جنگل [۱۳-۱۵] انتخاب شد. مطالعات قبلی مناسب بودن سطح یک هکتار را به منظور بررسی ساختار و پویایی جنگل‌های هیرکانی ایران تأیید کرده است [۱۵، ۱۶].

شایان ذکر است که در مرحله اولیه به دلیل سرعت رشد زیاد درختان جوان و رقابت نوری، ارتفاع درختان افزایش یافته و سهم درختان کم‌قطر بیشتر می‌شود و حجم توده افزایش می‌یابد، روشنه‌ها به تدریج بسته می‌شوند و به‌طور کلی ساختار توده تا حدودی ناهمسال و پلکانی است. در مرحله بلوغ (اوج)، توده جنگلی از نظر قطری شبیه جنگل همسال منظم و مدیریت‌شده است، اگرچه سن درختان در آن بسیار متفاوت است؛ توده به صورت یک‌اشکوبه، با تاج پوشش بسته و بدون زادآوری است و خشکه‌دار رسیده و واقعی در آن وجود ندارد. در اواخر مرحله بلوغ با افتادن درختان، روشنه<sup>۴</sup> (حفره) ایجاد می‌شود، نور بیشتری به کف جنگل می‌رسد، استقرار

1. Initial
2. Optimal
3. Decay
4. Gap

### نتایج و بحث

پس از اتمام عملیات میدانی در مجموع قطر برابرسیئه ۳۱۰۳ اصله درخت در نه قطعه نمونه یک هکتاری اندازه‌گیری و مختصات مکانی آنها تعیین شد. جدول ۲ اطلاعات کمی قطعات نمونه یک هکتاری را در مناطق سه‌گانه بررسی شده نشان می‌دهد.

همان‌گونه که در جدول ۲ مشخص است، تراکم (تعداد در هکتار) جنگل از قطعه مرحله اولیه به سمت قطعات بلوغ (به جز منطقه نکا) و پوسیدگی کاهش می‌یابد، به طوری که قطعات مرحله پوسیدگی کمترین تراکم را دارند، اما میانگین قطر برابرسیئه درختان در این قطعات روند معکوس دارد (به جز قطعه بلوغ منطقه کلاردشت)، به طوری که قطعات مربوط به مراحل پوسیدگی بیشترین و قطعات مربوط به مراحل اولیه کمترین قطر برابرسیئه را دارند. از سوی دیگر ضریب تغییرات قطر برابرسیئه در قطعات مرحله اولیه بیشتر از قطعات مرحله بلوغ است و در قطعات مرحله پوسیدگی کمترین مقدار را دارد (به جز قطعه پوسیدگی منطقه کلاردشت). این بدین معناست که قطعات مرحله اولیه از نظر تغییرات قطر برابرسیئه ناهمگن‌تر از دو قطعه دیگرند که علت اصلی آن سرعت رشد زیاد و رقابت شدید بین درختان در این مرحله است. بر اساس تعاریف Korpel (۱۹۹۵) درختان در مرحله اولیه به نسبت جوان‌اند و شتاب رشد زیادی داشته و تمایل شدیدی به صعود به طبقات ارتفاعی بالاتر در توده دارند. همچنین درختان در تمام طبقات ارتفاعی پایینی، میانی و بالایی حضور دارند. این تعریف ناهمگنی قطر برابرسیئه در مرحله اولیه را توجیه می‌کند [۱۳].

جدول ۳ فراوانی درختان در کلاسه‌های قطری مختلف را در مراحل مختلف تحولی جنگل در مناطق سه‌گانه بررسی شده نشان می‌دهد.

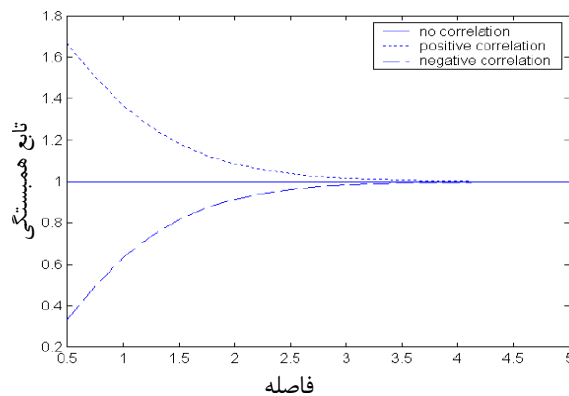
درخت باشد. هدف از تحلیل توابع همبستگی نشاندار ارزیابی همبستگی مکانی مارک‌ها یا نشان‌ها به عنوان تابعی از فاصله است. در این تابع تشابه یا نبود تشابه بین قطرهای دو درخت که به فاصله  $d$  از یکدیگر قرار گرفته‌اند از طریق رابطه ۱ کمی می‌شود:

$$f(m_1, m_2) = m_1 \times m_2 \quad (1)$$

به طوری که  $m_1$  و  $m_2$  یک مشخصه کمی (مانند قطر) از دو درخت مجاور به فاصله  $d$  است.

$k_{mm}(d)$  میانگین نرمال شده تابع  $f(m_1, m_2)$  برای همه نشان‌ها (مثلاً قطرهای) است که به فاصله  $d$  از یکدیگر قرار گرفته‌اند، به طوری که اگر  $k_{mm}(d) > 1$  باشد، قطرها (مارک‌ها) همبستگی مثبت نسبت به هم دارند، یعنی مشابه هم هستند؛ اگر  $k_{mm}(d) < 1$  باشد، قطرها (مارک‌ها) همبستگی منفی نسبت به هم دارند، یعنی متفاوت‌اند و در نهایت اگر  $k_{mm}(d) = 1$  باشد قطرها مستقل از هم و بدون همبستگی در نظر گرفته می‌شوند. تفاوت معنی‌دار این همبستگی از توزیع مستقل (بدون همبستگی) به کمک آزمون مونت کارلو تعیین می‌شود، به طوری که اگر نمودار MCF بالاتر از حد بالایی مونت کارلو قرار گیرد، همبستگی بین نشان‌ها مثبت است که نشان‌دهنده حالت حمایت پایه‌ها از یکدیگر (تسهیل‌کنندگی) و نبود رقابت است. اگر نمودار MCF پایین‌تر از حد پایین مونت کارلو قرار گیرد، همبستگی بین نشان‌ها منفی است که نشان‌دهنده رقابت (بازدارندگی) بین پایه‌هاست. در صورتی که نمودار MCF بین دو حد مونت کارلو قرار گیرد، مارک‌ها یا نشان‌ها بدون همبستگی و مستقل از هم هستند [۱۸] (شکل ۱). شایان ذکر است که هرچه فاصله نمودار MCF از حد پایین مونت کارلو بیشتر باشد و تابع آن تا فاصله بیشتری امتداد یابد، شدت و تأثیر رقابت بیشتر است [۱].

مارک یا نشان مورد استفاده در این تحقیق قطر برابرسیئه درختان است و حدود مونت کارلو با ۹۹ بار شبیه‌سازی در نرم‌افزار Programita 2010 [۱۹] تا فاصله ۵۰ متر (نصف طول ضلع قطعات) محاسبه شده است.



شکل ۱. یک تابع همبستگی نشاندار [۵]

(نقطه چین: همبستگی مثبت، خط چین: همبستگی منفی، خط افقی برابر عدد ۱: بدون همبستگی و مستقل)

جدول ۲. خلاصه اطلاعات کمی قطعات نمونه یک هکتاری در مناطق سه گانه بررسی شده

| منطقه    | مشخصه                   | مرحله اولیه | مرحله بلوغ | مرحله پوسیدگی |
|----------|-------------------------|-------------|------------|---------------|
| کلاس اول | تعداد درخت              | ۴۷۵         | ۳۰۳        | ۲۴۸           |
|          | میانگین قطر (سانتی‌متر) | ۲۴/۶        | ۳۳/۳       | ۳۵/۱          |
|          | ضریب تغییرات قطر (درصد) | ۸۶/۳        | ۶۸/۳       | ۶۴/۸          |
|          | فراوانی راش (درصد)      | ۹۲/۶        | ۹۵/۷       | ۸۵/۵          |
| کلاس دوم | تعداد درخت              | ۴۵۴         | ۳۳۶        | ۳۰۲           |
|          | میانگین قطر (سانتی‌متر) | ۲۷/۶        | ۳۶/۸       | ۳۵/۸          |
|          | ضریب تغییرات قطر (درصد) | ۸۳/۸        | ۵۵/۴       | ۵۹/۲          |
|          | فراوانی راش (درصد)      | ۹۰/۰        | ۸۴/۲       | ۹۰/۰          |
| کلاس سوم | تعداد درخت              | ۳۴۱         | ۳۹۶        | ۲۴۸           |
|          | میانگین قطر (سانتی‌متر) | ۲۷/۰        | ۲۹/۱       | ۳۹/۷          |
|          | ضریب تغییرات قطر (درصد) | ۱۰۰/۸       | ۷۱/۷       | ۷۰/۰          |
|          | فراوانی راش (درصد)      | ۹۸/۰        | ۹۷/۰       | ۸۵/۰          |

جدول ۳. فراوانی درختان در کلاس‌های مختلف قطری در مراحل مختلف تحولی جنگل در مناطق سه گانه بررسی شده

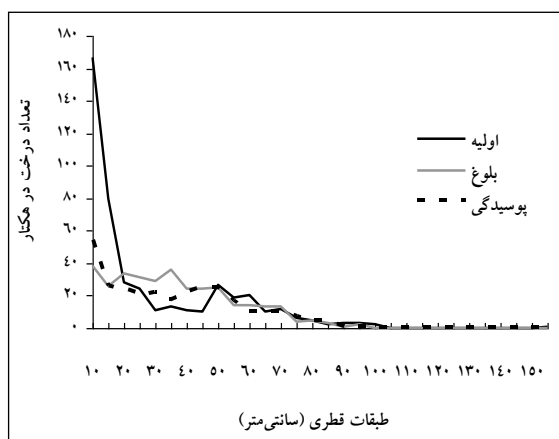
| منطقه     | کلاس      | تعداد در هکتار در مرحله تحولی |      |         |      |
|-----------|-----------|-------------------------------|------|---------|------|
|           |           | اولیه                         | بلوغ | پوسیدگی | قطری |
| شماره اول | کم قطر    | ۷۵/۶                          | ۱۷۴  | ۵۷/۴    | ۱۲۸  |
|           | میان قطر  | ۱۰/۱                          | ۶۶   | ۲۱/۸    | ۵۵   |
|           | قطور      | ۹/۹                           | ۴۳   | ۱۴/۲    | ۴۸   |
|           | خیلی قطور | ۴/۴                           | ۲۰   | ۶/۶     | ۱۷   |
| کلاس دوم  | کم قطر    | ۶۸/۴                          | ۱۵۷  | ۴۶/۷    | ۱۴۶  |
|           | میان قطر  | ۱۳/۶                          | ۱۰۹  | ۳۲/۵    | ۹۰   |
|           | قطور      | ۱۳/۲                          | ۵۳   | ۱۵/۸    | ۴۷   |
|           | خیلی قطور | ۴/۸                           | ۱۷   | ۵/۰     | ۱۹   |
| کلاس سوم  | کم قطر    | ۷۸/۰                          | ۲۶۸  | ۶۷/۷    | ۱۲۲  |
|           | میان قطر  | ۶/۱                           | ۸۱   | ۲۰/۵    | ۴۹   |
|           | قطور      | ۵/۳                           | ۲۷   | ۶/۸     | ۴۱   |
|           | خیلی قطور | ۱۰/۶                          | ۲۰   | ۵/۰     | ۳۶   |

کم قطر (تا قطر ۳۲/۵ سانتی‌متر)، میان قطر (بین قطر ۳۲/۶ تا ۵۲/۵ سانتی‌متر)، قطور (بین قطر ۵۲/۶ تا ۷۲/۵ سانتی‌متر) و خیلی قطور (بیشتر از قطر ۷۲/۶ سانتی‌متر)

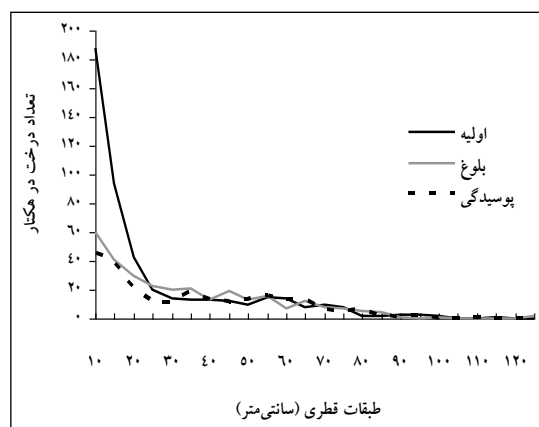
می‌شود (جدول ۳)؛ ضمن اینکه تراکم قطعه مرحله بلوغ منطقه نکا بیشتر از مرحله اولیه شده است (جدول ۲). علت اصلی این است که هر کدام از مراحل تحولی خود به فازهای مختلف با شرایط متفاوت تقسیم می‌شوند [۲۰]؛ در نتیجه مشخصه‌های درختان در فازهای مختلف (ابتدا، وسط و پایان هر مرحله تحولی) متفاوت خواهد بود.

شکل ۲ نمودار پراکنش تعداد درختان در طبقات قطری را در مناطق سه‌گانه بررسی شده نشان می‌دهد. با توجه به روند نزولی تعداد درختان در طبقات قطری در امتداد محور افقی، توده‌های مورد بررسی کاملاً ناهمسال‌اند، اما تعداد درختان در طبقات قطری کم در قطعه مرحله اولیه بسیار بیشتر از دو مرحله دیگر است که با تعاریف Korpel (۱۹۹۵) مطابقت دارد [۱۳].

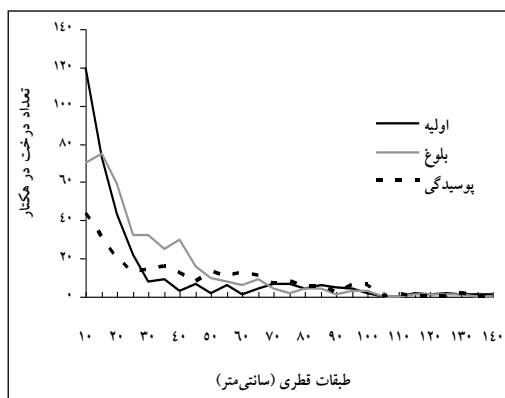
همان‌گونه که در جدول ۳ نیز مشخص است، فراوانی درختان در هر کدام از قطعات مربوط به مراحل مختلف تحولی از کلاس کم قطر به سمت کلاس خیلی قطور کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده ناهمسالی توده‌های مورد بررسی است که در شکل ۲ نیز مشاهده می‌شود. همچنین بیشترین فراوانی درختان در کلاس کم قطر در قطعات مرحله اولیه (به جز قطعه نکا) و کمترین فراوانی این کلاس در قطعات مرحله پوسیدگی مشاهده می‌شود. بیشترین فراوانی درختان در کلاس میان‌قطر در قطعات مرحله بلوغ مناطق کلاردشت و نکا مشاهده می‌شود. فراوانی کلاس‌های قطور و خیلی قطور در سه مرحله بررسی شده در مناطق شفارود و کلاردشت تقریباً یکسان است، اما در منطقه نکا بیشترین فراوانی کلاس‌های قطور و خیلی قطور در مرحله پوسیدگی دیده



منطقه کلاردشت



منطقه شفارود



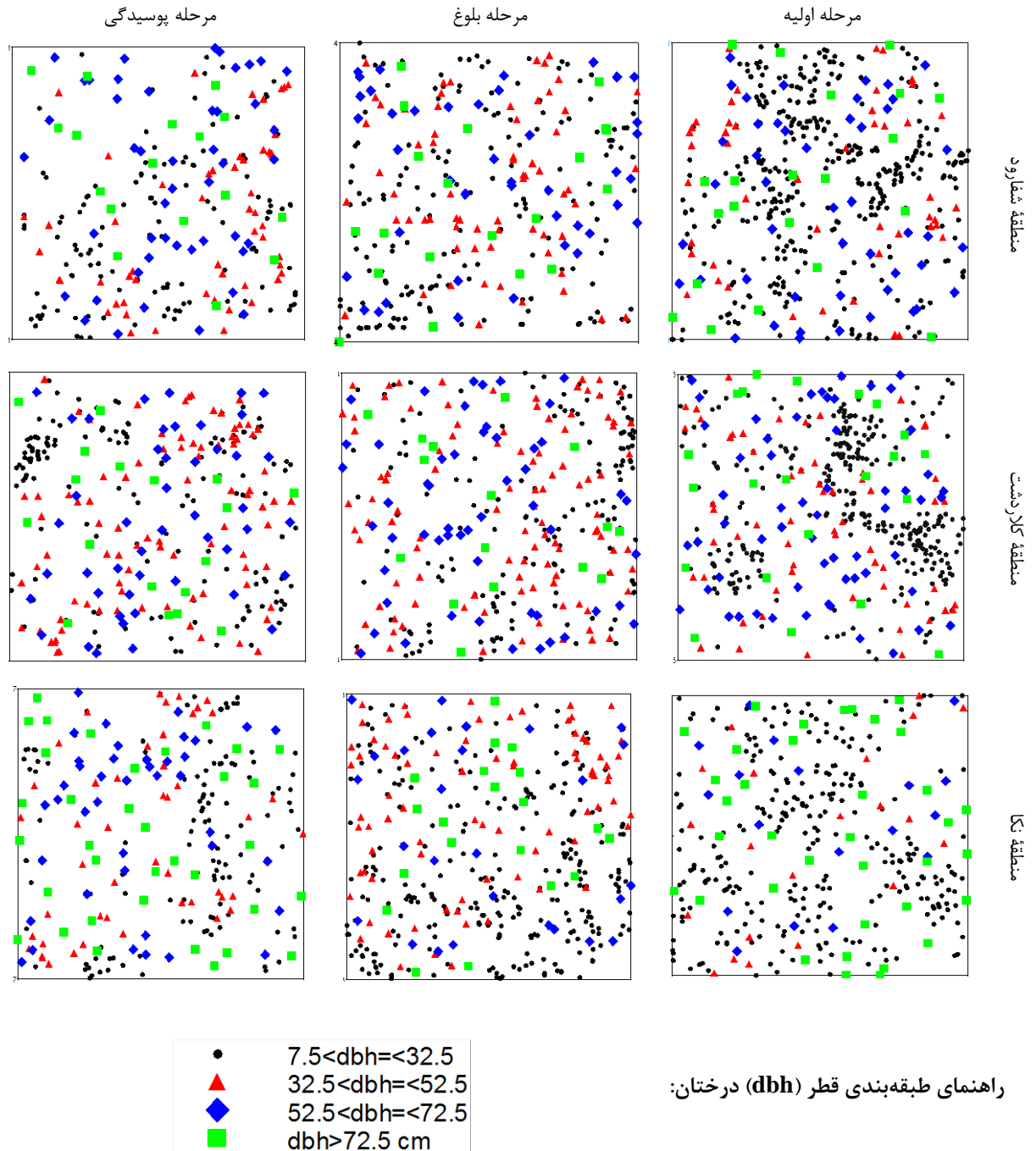
منطقه نکا

شکل ۲. نمودار پراکنش تعداد درختان در طبقات قطری در هر یک از مناطق سه‌گانه بررسی شده

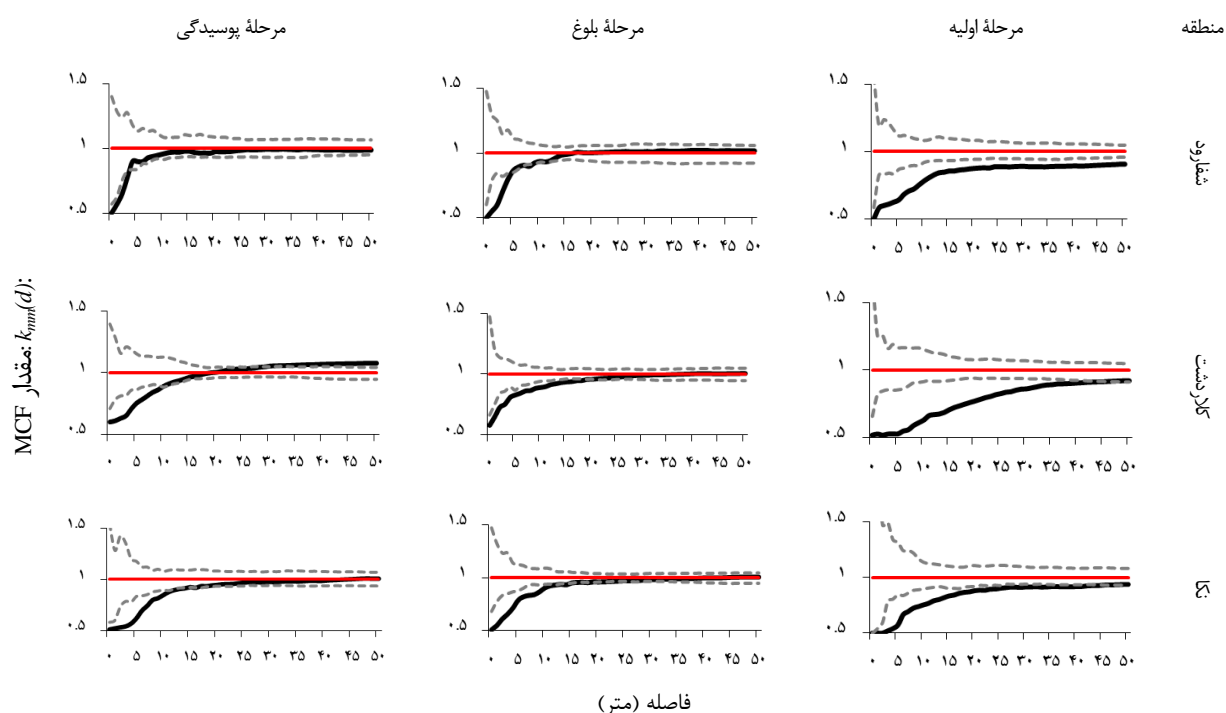
شده‌اند. شایان ذکر است که نتایج آزمون کولموگروف-اسمیرنوف نشان داد که توزیع پواسون همگن با توزیع درختان در قطعات نمونه بررسی شده مطابقت ندارد ( $p < 0.05$ )؛ بنابراین در این تحقیق از روش‌های ناهمگن مربوط استفاده شد.

شکل ۳ وضعیت پراکنش درختان در مناطق سه گانه بررسی شده را به تفکیک مراحل تحولی جنگل و کلاسه‌های قطری استفاده شده نشان می‌دهد.

نمودارهای تابع همبستگی نشاندار در شکل ۴ ارائه



شکل ۳. نقشه توزیع مکانی درختان در مراحل مختلف تحولی جنگل در مناطق سه گانه بررسی شده به تفکیک کلاسه‌های قطری



شکل ۴. تابع همبستگی نشاندار برای قطر برابر سینه به تفکیک مراحل تحولی جنگل در مناطق سه‌گانه بررسی شده (خط ممتد: تابع همبستگی نشاندار، خط افقی برابر عدد ۱: بدون همبستگی و مستقل، خط چین: حدود مونت کارلو)

منفی در نمودار MCF معرفی کردند [۱]. براساس شکل ۴ مقدار این رقابت تا مقیاس فاصله‌ای حدود ۲۰ متر شدید است، اما پس از این فاصله با نزدیک شدن نمودار MCF به حد پایینی حدود مونت کارلو از شدت آن کاسته می‌شود. یکی از دلایل نبود تشابه قطری در مرحله تحولی اولیه، ممکن است زادآوری راش در داخل روشنه‌ها باشد که با ایجاد گروه‌های زادآوری تنوع کلاسه‌های قطری را در توده افزایش می‌دهد. Getzin و همکاران (۲۰۰۸) نیز به نبود تشابه قطری درختان مجاور (وجود همبستگی منفی در نمودار MCF) و در نتیجه، رقابت شدید در توده سوزنی‌برگ خالص و تنک‌نشده گونه دوگلاس ۴۰ ساله با تراکم ۲۶۳۲ اصله در هکتار در مقیاس فاصله‌ای کمتر از ۲ متر دست یافتند [۱].

در مرحله تحولی بلوغ در هر سه منطقه تحت بررسی تا فاصله حدود ۱۵ متر درختان مجاور از نظر اندازه قطر برابر سینه متفاوت‌اند (وجود همبستگی منفی در نمودار MCF)، اما از این فاصله به بعد با توجه به قرار گرفتن

براساس شکل ۴ در هر سه منطقه بررسی شده، نمودار تابع همبستگی نشاندار در مرحله تحولی اولیه در تمامی فواصل پایین‌تر از حد پایین حدود مونت کارلو قرار گرفته، یعنی ناهمسانی بین قطر درختان در کل فاصله مورد بررسی (۵۰ متر) وجود دارد (وجود همبستگی منفی در نمودار MCF). به عبارت دیگر درختان کم‌قطر و قطور راش در کنار هم هستند که با ضریب تغییرات زیاد قطر درختان در این مرحله هماهنگی دارد (جدول ۲). نبود تشابه قطری در این مرحله به معنای وجود رقابت درون‌گونه‌ای درختان راش است که با تراکم زیاد توده‌ها در این مرحله (جدول ۲) هماهنگی دارد. He and Gray (۲۰۰۹) نیز در بررسی خود به نبود تشابه قطری درختان مجاور تا فاصله ۲۵ متر دست یافتند و نتیجه گرفتند که در توده‌های مورد بررسی رقابتی وجود دارد که سبب کاهش رویش می‌شود [۶]. Getzin و همکاران (۲۰۰۸) نیز در جنگل‌های مرکز آلمان در بررسی خود تراکم زیاد درختان را یکی از عوامل ایجاد رقابت شدید و بروز همبستگی



این فاصله به بعد است. نبود همبستگی معنی‌دار قطرها یا تشابه قطر درختان مجاور در مرحله پوسیدگی پس از مقیاس فاصله‌ای ۱۲ متر بدین معناست که رقابت معنی‌داری در این مرحله در توده جنگلی پس از این مقیاس مکانی وجود ندارد. He and Gray (۲۰۰۹) نیز در بررسی خود در قطعه یک هکتاری آمیخته با غالبیت صنوبر به نتایج مشابهی دست یافتند. آنها همچنین نشان دادند که اهمیت نسبی رقابت درون گونه‌ای در توده‌های صنوبر در طول مراحل توالی جنگل کاهش می‌یابد [۶].

در مجموع به نظر می‌رسد که می‌توان ارتباطی منطقی بین MCF با نوع الگوی پراکنش درختان (خوشه‌ای، تصادفی و یکنواخت) برقرار کرد؛ به طوری که الگوی خوشه‌ای مشاهده شده در قطعه اولیه منطقه کلاردشت [۲۱] با نبود تشابه قطری درختان مجاور (همبستگی منفی قطر در نمودار MCF) در این قطعه مترادف شده است.

امروزه فرایندهای نقطه‌ای<sup>۱</sup> و فرایندهای نشاندار<sup>۲</sup> دو ابزار قوی در آمار مدرن جنگلداری هستند [۷]؛ بنابراین اگر تابع همبستگی نشاندار به همراه توابع فرایندهای نقطه‌ای مانند تابع دو متغیره راپیلی یا آماره اورینگ که فقط با استفاده از داده‌های مختصات مکانی درختان به بررسی رقابت در توده‌های جنگلی می‌پردازند، استفاده شود، می‌توان به درک کاملی از رقابت در توده‌های جنگلی دست یافت. اما شایان ذکر است هنگامی که از این ابزارها در جنگل استفاده می‌شود باید به مفهوم اکولوژیکی و توجیه منطقی نتایج آنها نیز توجه کرد [۷]. در پایان پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از تابع دو متغیره MCF که می‌تواند همبستگی بین قطر دو گونه مختلف را در توده‌های آمیخته بررسی کرده و اشکوب‌های یک توده جنگلی را نیز تعیین کند، استفاده شود. همچنین می‌توان برای درک بهتر رقابت

نمودار MCF در داخل محدوده مونت کارلو، قطرها مستقل از هم هستند (بدون وجود همبستگی در نمودار MCF؛ شکل ۴). در قطعات نمونه مرحله بلوغ مناطق سه گانه مورد بررسی، در بیشتر مقیاس‌های مورد بررسی، همبستگی غیر معنی‌دار یا مستقل از فاصله بین قطرهای درختان مجاور مشاهده شد که علت اصلی آن کاهش تراکم توده (جدول ۲) نسبت به مرحله اولیه است. در این مرحله رقابت شدید فقط در مقیاس کمتر از ۱۲ متر مشاهده شد که سبب کاهش رویش قطری درختان خواهد شد، اما پس از آن با ورود نمودار MCF به داخل محدوده مونت کارلو همبستگی معنی‌داری بین قطر درختان مجاور دیده نشد که علت آن یکسان شدن قطرهای در این مرحله (ضریب تغییرات قطر؛ جدول ۲) و کاهش رقابت درون گونه‌ای راش نسبت به مرحله اولیه است. Getzin و همکاران (۲۰۰۸) نیز در بررسی خود در آلمان نبود همبستگی معنی‌دار بین قطر درختان مجاور در قطعه آمیخته زبان گنجشک، گیلاس وحشی، ممرز و افرا را به کاهش تراکم توده نسبت به دیگر قطعات (۸۱۵ پایه در هکتار) و در نتیجه کاهش رقابت نسبت دادند [۱].

در مرحله تحولی پوسیدگی (تخریب) باز همان الگوی مرحله بلوغ تکرار شده است، با این تفاوت که مرز مستقل بودن قطرهای در محدوده ۵ تا ۱۲ متر شروع می‌شود، در حالی که در قطعه پوسیدگی منطقه کلاردشت پس از فاصله حدود ۳۰ متری درختان قطرهای مشابه دارند (همبستگی مثبت بین قطر درختان مجاور؛ شکل ۴). در مرحله پوسیدگی رقابت درون گونه‌ای راش حداکثر تا مقیاس فاصله‌ای ۱۲ متر در بین درختان مجاور وجود دارد و پس از این فاصله دیگر همبستگی معنی‌داری بین قطر درختان دیده نمی‌شود، به طوری که در قطعه منطقه کلاردشت این مرحله، نمودار MCF از مقیاس فاصله‌ای ۳۰ متری به بعد بالاتر از حد بالایی حدود مونت کارلو قرار می‌گیرد که نشان دهنده تشابه قطری درختان مجاور از

در این توده‌ها از متغیرهای ارتفاع درخت، قطر تاج و ارتفاع تاج علاوه بر قطر برابرسینه استفاده کرد.

### نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی کاربرد تابع همبستگی نشاندار در مبحث رقابت در مطالعات اکولوژی جنگل پرداخته شد. از این تابع هنگامی می‌توان استفاده کرد که علاوه بر اطلاعات

توزیع نقطه‌ای (مختصات) درختان، مشخصاتی از قبیل قطر یا ارتفاع درخت نیز در دسترس باشد. نمودار MCF ابزار مناسبی برای بررسی رقابت در توده‌های جنگلی است [۷]. براساس نتایج این پژوهش می‌توان دخالت در توده‌ها و تنک کردن آنها را براساس وجود یا نبود رقابت در جنگل برنامه‌ریزی کرد.

### References

- [1]. Getzin, S., Wiegand, K., Schumacher, J., and Gougeon, F.A. (2008). Scale-dependent competition at the stand level assessed from crown areas. *Forest Ecology and Management*, 255(7): 2478-2485.
- [2]. Kneeshaw, D.D., and Bergeron, Y. (1998). Canopy gap characteristics and tree replacement in the southeastern boreal forest. *Ecology*, 79(3): 783-794.
- [3]. Plotkin, J.B., Chave, J., and Ashton, P.S. (2002). Cluster analysis of spatial patterns in Malaysian tree species. *The American Naturalist*, 160(5): 629-644.
- [4]. Zenner, E.K., and Hibbs, D.E. (2000). A new method for modeling the heterogeneity of forest structure. *Forest Ecology and Management*, 129(1): 75-87.
- [5]. Wällder, K., and Wällder, O. (2007). Analysing interaction effects in forests using the mark correlation function. *iForest-Biogeosciences and Forestry*, 1(1): 34-38.
- [6]. Gray, H., and He, F. (2009). Spatial point-pattern analysis for detecting density-dependent competition in a boreal chronosequence of Alberta. *Forest Ecology and Management*, 259(1): 98-106.
- [7]. Ledo, A., Condes, S., and Montes, F. (2011). Intertype mark correlation function: A new tool for the analysis of species interactions. *Ecological Modelling*, 222(3): 580-587.
- [8]. Martinez, I., Gonzalez-Taboada, F., Wiegand, T., and Obesco, J.R. (2013). Spatial patterns of seedling-adult associations in a temperate forest community. *Forest Ecology and Management*, 296: 74-80.
- [9]. Erfanifard, Y. (2016). Analysing the effect of intraspecific competition on biometric attributes of Persian oak coppice trees using pair and mark correlation functions in Zagros dry forests. *Journal of wood and Forest science and technology*, 23(2): 89-109.
- [10]. Anonymous. (1998-a). Forest Management Plan of Langa, Kelardasht. Forests, Range and Watershed Management Organization, Iran.
- [11]. Anonymous. (1998-b). Forest Management Plan of Haftkhal. Forests, Range and Watershed Management Organization, Iran.
- [12]. Anonymous. (2006). Forest Management Plan of Shafaroud. Forests, Range and Watershed Management Organization, Iran.
- [13]. Korpel, S. (1995). *Die Urwälder der Westkarpaten*. Gustav Fischer, Berlin.
- [14]. Sagheb-Talebi, Kh., Delfan Abazari, B., and Namiranian, M. (2005). Regeneration process in natural uneven-aged Caspian beech forests of Iran. *Swiss Forestry Journal*, 156 (12): 477-480.
- [15]. Akhavan, R., Sagheb-Talebi, Kh., Zenner, E.K., and Safavimanesh, F. (2012). Spatial patterns in different forest development stages of an intact old-growth Oriental beech forest in the Caspian region of Iran. *European Journal of Forest Research*, 131(5): 1355-1366.
- [16]. Sagheb-Talebi, Kh., and Schütz, J-Ph. (2002). The structure of natural oriental beech (*Fagus orientalis*) forests in the Caspian region of Iran and potential for the application of the group selection system. *Forestry*, 75(4): 465-472.

- [17]. Stoyan, D. (1984). On correlations of marked point processes. *Mathematische Nachrichten*, 116(1): 197-207.
- [18]. Khan, M.N.I., Sharma, S., Berger, U., Koedam, N., Dahdouh-Guebas, F., and Hagihara, A. (2013). How do tree competition and stand dynamics lead to spatial patterns in monospecific mangroves? *Biogeosciences*, 10(4): 2803-2814.
- [19]. Wiegand, T., and Moloney, K.A. (2013). *Handbook of Spatial Point-Pattern Analysis in Ecology*. Taylor & Francis, USA.
- [20]. Leibundgut, H. (1993). *Europäische Urwälder der Bergstufe*. Paul Haupt, Bern.
- [21]. Akhavan, R., Sagheb-Talebi, Kh., Hassani, M., and Parhizkar, P. (2010). Spatial patterns in untouched beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands over forest development stages in Kelardasht region of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research*, 18(2): 322-336.

## Intra-specific competition of beech using Mark Correlation Function (MCF) in the Hyrcanian forests of Iran

**R. Akhavan\***; Assoc. Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran

**P. Parhizkar**; Assist. Prof., Research Institute of Forests and Rangelands, Agricultural Research Education and Extension Organization (AREEO), Tehran, I.R. Iran

**B. Amanzadeh**; Assist. Prof., Research Division of Natural Resources, Gilan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center (AREEO), Rasht, I.R. Iran

**Sh. Mohamadnejad Kiasari**; Assist. Prof., Research Division of Natural Resources, Mazandaran Agricultural and Natural Resources Research Center (AREEO), Sari, I.R. Iran

(Received: 23 April 2017, Accepted: 30 July 2017)

### ABSTRACT

Point pattern analysis based on the spatial distribution of a mark, e.g., diameter; could be implemented using Mark Correlation Function (MCF). The purpose of this study was to quantify the spatial interaction and competition in the intact beech stands of Hyrcanian forests of Iran using MCF. To this end, nine 1-ha sample plots were established at three developmental stages of initial, optimal and decay in three intact natural, unmanaged and uneven-aged beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands in the north of Iran. Diameter at breast height (DBH) of all trees greater than 7.5 cm along with their coordinates were recorded and fully mapped in the plots. Analysis of intra-specific competition of beech trees using MCF showed that DBH in the initial stage had a negative correlation indicating high spatial competition at all distances, while it was independent or positive in optimal and decay stages, except at distances up to 12 meter. Consequently, there was no intra-specific competition in each of these two stages. The results demonstrates the utility of second – order analysis of marked point processes for characterizing the competition in the beech stands and planning silvicultural interventions, e.g., thinning, based on the competition intensity of trees.

**Keywords:** DBH, Forest development stages, Interactions, Oriental beech

---

\* Corresponding Author, Email: akhavan@rifr-ac.ir, Tel: +989123198092