

## تأثیر آشفته‌گی ناشی از زوال بر پویایی مکانی و زمانی الگوی پراکنش درختان در جنگل‌های بلوط استان لرستان

میرحامد اختری<sup>۱</sup>، اسداله متاجی<sup>۲\*</sup>، ساسان بابایی کفاکی<sup>۳</sup> و هادی کیادلیری<sup>۴</sup>

۱- دانشجوی دکتری جنگلداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (mirhamedakh@yahoo.com)

۲- استاد، گروه جنگلداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (amataji@srbiau.ac.ir)

۳- دانشیار، گروه جنگلداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (babaie47@yahoo.com)

۴- دانشیار، گروه جنگلداری، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران. (h\_kia2000@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۱۹ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۲/۱۷

## چکیده

هدف این پژوهش، بررسی پویایی مکانی و زمانی الگوی پراکنش درختان در یک دوره ۱۰ ساله در پی بروز آشفته‌گی ناشی از زوال در جنگل‌های بلوط استان لرستان است. بدین منظور مشخصه‌های کمی و الگوی مکانی درختان در موزاییک‌هایی به مساحت پنج هکتار در چهار منطقه مختلف و فاقد زوال که در سال ۱۳۸۹ برداشت شده بود، در سال ۱۳۹۹ (سه منطقه دارای شرایط زوال و یک منطقه فاقد زوال) دوباره مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. نتایج نشان داد که میانگین تعداد در هکتار در مناطق دچار زوال، کاهش یافته و در منطقه فاقد زوال افزایش یافت. در طی دوره ۱۰ ساله مقدار تاج‌پوشش دچار تغییرات شد، ولی تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد، اما از نظر تراکم و درصد تاج‌پوشش درختان اختلاف معنی‌داری بین مناطق وجود دارد. نتایج بررسی الگوی مکانی درختان بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) در مناطق دچار زوال نشان داد که در ابتدا و انتهای دوره در توده‌های خالص و کم‌تراکم، الگوی مکانی کپه‌ای بوده و در توده‌های آمیخته با غالبیت بلوط و تراکم به نسبت زیاد الگوی پراکنش تصادفی بود که با افزایش فاصله کپه‌ای شود. آشفته‌گی ناشی از زوال بلوط در توده‌های آمیخته سبب شد که کپه‌ای شدن در شعاع کمتری (فاصله ۴۰ متر و بیشتر) اتفاق بیفتد، درحالی‌که در توده‌های آمیخته فاقد زوال کپه‌ای شدن در شعاع بیشتر از ۶۰ متر مشاهده شد. بر این اساس می‌توان اذعان داشت که زوال بلوط بر الگوی پراکنش مکانی درختان در طول زمان تأثیرگذار است و نتایج حاصل می‌تواند راهنمای مؤثری در راستای مدیریت توده‌های زوال‌یافته باشد.

واژه‌های کلیدی: بلوط ایرانی، پویایی، جنگل‌های زاگرس، خشکیدگی درختان

## مقدمه

توصیف بیماری درختان بلوط بوده و عارضه‌ای چندعاملی است (Brady et al., 2010) که در مناطق مختلف جهان با توجه به عوامل اقلیمی، جغرافیایی و خاکی، به شکل‌های متفاوتی از آفات و بیماری‌ها، رخ‌نمایی می‌کند، که از خشکیدگی جزئی تا مرگ درخت را شامل می‌شود (Heitzman et al., 2007).

اولین گزارش مربوط به زوال بلوط در جنگل‌های زاگرس به دهه ۱۳۸۰ شمسی برمی‌گردد (Pourhashemi et al., 2017). بر اساس آخرین آمارهای رسمی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، بین سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۳ حدود ۲۵ درصد کل این جنگل‌ها دچار خشکیدگی شده‌اند (Mahdavi et al., 2015) که در بخش‌های میانی و جنوبی زاگرس به‌عنوان یکی از مشکل‌های اساسی بوم‌سازگان‌ها مطرح است (Hamzhepour et al., 2011).

ساختار کنونی این جنگل‌ها نتیجه ارتباط پیچیده‌ای بین درختان و عامل‌های متفاوت است که با تأثیر عواملی چون رویشگاه، اقلیم و آشفته‌گی‌ها (زوال، طوفان، آتش-سوزی، آفات و امراض، برف، یخبندان، سیل و غیره) تغییر می‌یابد (Akhavan et al., 2010). پدیده زوال یکی از عوامل مهم در تغییر غنا و تنوع گونه‌ای است. همچنین با ازبین‌بردن پایه‌های درختی علاوه بر تغییر در الگوی پراکنش فعلی درختان، در بلندمدت ممکن است الگوهای پراکنش مکانی را دچار تغییر کند (Kwiatkowska, 1994). در این رابطه، Yang et al. (2021) الگوهای مکانی-زمانی زوال و مرگ‌ومیر بلوط و عوامل خطر (ریسک) مرتبط با آن را طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ بررسی کردند. در این بررسی در هر خوشه مکانی (فضایی) که بر اساس مقدار مرگ‌ومیر درختان بلوط (کمتر از ۱ درصد، ۱ تا ۱/۵ درصد و بیشتر از ۱/۵ درصد) تعیین شدند گروه‌های خطر یا ریسک (کم، متوسط و زیاد) در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد

جنگل‌های زاگرس جزء مناطق نیمه‌خشک طبقه‌بندی شده و مهم‌ترین اکوسیستم‌های جنگلی کشور از نظر بوم‌شناسی هستند (Zahedi-Amiri and Zargham, 2015). این جنگل‌ها بیشترین تأثیر را در تأمین آب، حفظ خاک، تعدیل آب‌وهوا و تعادل اقتصادی و اجتماعی منطقه دارند (Mirzaei et al., 2019) که به-خاطر شرایط محیطی خاص خود به‌عنوان ناحیه رویشی منحصر به فرد بوده و متأسفانه به دلیل مسائل و مشکلات پیچیده اجتماعی و اقتصادی و نیز عدم مدیریت صحیح، پیوسته در حال تخریب هستند. بدیهی است که این جنگل‌ها نیاز به یک مدیریت صحیح داشته و امروزه به اثبات رسیده که لازمه هرگونه مدیریت اصولی، داشتن اطلاعات کمی و کیفی مناسب به‌ویژه از مؤلفه‌های ساختار برای ارزیابی وضعیت موجود و برنامه‌ریزی آینده است (Mirzaei et al., 2018).

تشریح کمی ساختار می‌تواند به‌عنوان یکی از مهم‌ترین ابزارها در مدیریت جنگل مورد استفاده قرار گیرد. ساختار توده از ویژگی‌های مهم محیط‌زیستی و مرتبط با عملکرد اکوسیستم بوده (Su et al., 2010) و شامل سه جنبه اصلی تنوع موقعیت یا الگوی مکانی درختان (توزیع مکانی)، تنوع گونه‌ای و تنوع در ابعاد پایه‌ها است (Aguirre et al., 2003). الگوی مکانی درختان یکی از ویژگی‌های بوم‌شناختی جوامع گیاهی است که می‌تواند برآیند ناهمگنی محیطی، آشفته‌گی‌های طبیعی و انسانی، رقابت درون یا بین‌گونه‌ای و عملکرد زیست بوم باشد (Ghanbari et al., 2018; Karimi et al., 2012; Chao et al., 2007; Wiegand and Moloney, 2004; Murrell et al., 2001).

از آشفته‌گی‌های ایجادشده، می‌توان به زوال یا خشکیدگی درختان اشاره کرد که از عوامل مؤثر بر سیر قهقروایی جنگل‌ها است. زوال بلوط اصطلاحی برای

می‌تواند در تعیین ضوابطی منطقی و علمی برای اعمال مدیریت صحیح و حفظ و بهره‌برداری هرچه اصولی‌تر از این منابع بسیار ارزشمند باشد (Mirzaei et al., 2019).

تحلیل الگوی مکانی-زمانی پایه‌ها در پی زوال بلوط می‌تواند درک بهتری از تأثیر عوامل محیطی، ارزیابی اثرهای بوم‌شناختی و همچنین تغییر عوامل محیطی بر پتانسیل بروز زوال ارائه کند (Hernández-Lambrano et al., 2019; Holdenrieder et al., 2004). نکته دیگر اینکه بررسی در سطح توده آگاهی از اینکه کدام توده‌ها بیشتر در معرض زوال بلوط هستند، امکان رتبه‌بندی توده‌های در معرض خطر را فراهم می‌کند (Solomon, 1995). براین اساس آگاهی از پویایی مکانی-زمانی پایه‌ها در پی زوال و مرگ‌ومیر و درک صحیح تعامل شدت‌های مختلف زوال، از عوامل مهم در برنامه‌ریزی مدیریتی برای حفاظت از اکوسیستم‌های جنگل است (Kelly et al., 2002 and 2008). با توجه به موارد یادشده و با عنایت به اینکه بیشتر پژوهش‌های گذشته در جنگل‌های زاگرس در خصوص الگوی مکانی درختان بلوط در مناطق دچار آشفته‌گی بوده و به پویایی مکانی-زمانی پرداخته نشده است، این پژوهش با هدف بررسی تأثیر آشفته‌گی ناشی از زوال بر پویایی مکانی و زمانی الگوی پراکنش درختان در یک دوره ۱۰ ساله در جنگل‌های بلوط استان لرستان انجام شد.

#### مواد و روش‌ها

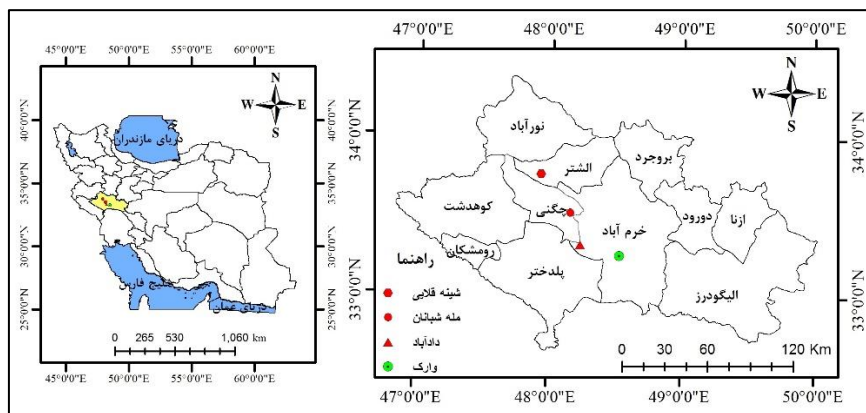
##### منطقه مورد بررسی

برای ارزیابی و تحلیل اثرهای زوال بر الگوی مکانی درختان در جنگل‌های زاگرس، سه منطقه زوال‌یافته (مله‌شبانان، شینه‌قلایی و دادآباد) و یک منطقه فاقد زوال (وارک) با توجه به گزارش اداره کل منابع طبیعی استان

که خشکسالی تأثیر متفاوتی در هر یک از مناطق یا خوشه‌ها داشته به نحوی که در مناطق با گروه‌های پرخطر (مناطق دارای ریسک بالا) خشکسالی می‌تواند تأثیر ۳ تا ۹ ساله بر مرگ‌ومیر درختان بلوط داشته باشد، در حالی که در گروه‌های کم‌خطر تأثیر کمی بر مرگ‌ومیر داشته است. در پژوهشی دیگر، Batoubeh et al. (2013) با بررسی الگوی پراکنش مکانی گونه بلوط-ایرانی در توده‌های کم‌تردخال شده جنگل‌های میوان بیان کردند که الگوی پراکنش مکانی درختان کپه‌ای و کمینه سطح مناسب برای این بررسی ۰/۵ هکتار است. (Akhavan et al. و Taghvayipour et al., 2016) (2018) نیز در بررسی خود اشاره داشتند که الگوی پراکنش پایه‌های بلوط (سالم و خشکیده) به صورت کپه‌ای است. الگوی پراکنش درختان دچار زوال و خشکیده تا شعاع ۳۵ متری (در لکه‌های با مساحت حدود ۳۸ آر) خوشه‌ای و بیشتر از آن به صورت یکنواخت است.

زوال و مرگ‌ومیر پایه‌های بلوط به‌طور چشمگیری تغییر ترکیب گونه‌ای و ساختار توده و همچنین کاهش کیفیت زیستگاه حیات‌وحش را به‌همراه خواهد داشت (Wang et al., 2013) که منجر به نگرانی جدی در مدیریت پایدار جنگل‌های بلوط شده است. بدیهی است که از بین رفتن هر گونه می‌تواند اثرهای منفی قابل‌توجهی بر عملکرد اکوسیستم بگذارد. از این‌رو درک روابط گونه‌ها با عوامل محیطی و پیش‌بینی تغییرات آن به یکی از چالش‌های اساسی بوم‌شناسان تبدیل شده است (Kong et al., 2021). از طرفی دیگر، شناخت هرچه دقیق‌تر اکوسیستم‌های جنگلی در تشخیص کنش و واکنش‌های خاص آنها، تشریح پایداری اکوسیستم، طرح‌های مدیریتی مناسب و اقدامات حفاظتی و احیایی مفید است؛ بنابراین کسب اطلاعات به‌هنگام از وضعیت کمی و کیفی جنگل‌ها

لرستان انتخاب شدند. مناطق دادآباد و وارک در شهرستان خرم‌آباد، منطقه مله‌شبانان در شهرستان دوره است (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی مناطق مورد بررسی

Figure 1. Location of study area

جدول ۱- مشخصات مناطق مورد بررسی

Table 1. Properties of study areas

منطقه	شیب (درصد)	جهت	ارتفاع (متر)	اقلیم
Region	Slope %	Aspect	Elevation (m)	Climate
مله‌شبانان	15	غرب	1200-2000	نیمه خشک
Mela-Shabanan		West		Semiarid
شینیه قلائی	23	جنوب غربی	1300-1700	نیمه خشک
Shineh-Ghalaie		Southwest		Semiarid
دادآباد	17	جنوب غربی	1250-1860	نیمه خشک
Dadabad		Southwest		Semiarid
وارک	24	غرب	1490-2800	نیمه خشک
Vark		West		Semiarid

مدنظر قرار گرفته تا تحلیل مناسبی در خصوص اهمیت زوال و اثرهای آن بر الگوی مکانی به عمل آید. در مناطق دچار زوال مله‌شبان و شینه‌قلائی غالبیت با گونه بلوط بوده و معرف جنگل خالص بلوط است. در منطقه دچار زوال دادآباد و فاقد زوال وارک اگرچه غالبیت با گونه بلوط است اما علاوه بر بلوط ایرانی، گونه‌های کیکم، گلابی وحشی و زالزالک نیز حضور دارند. در دو منطقه مله‌شبان و شینه‌قلائی زادآوری وجود نداشت و در منطقه دادآباد و وارک استقرار زادآوری به مقدار کم قابل مشاهده است (فقط در مناطق مورد بررسی و به استناد

در هر یک از مناطق پس از پیمایش زمینی و با توجه به ملاحظات بوم‌شناسی و جنگل‌شناسی، موزاییک‌هایی به وسعت ۵ هکتار انتخاب شدند. با توجه به اینکه هدف از این پژوهش بررسی پویایی مکانی-زمانی الگوی پراکنش درختان قبل و بعد از بروز زوال بلوط بود، شرایط هر منطقه به صورت جداگانه مدنظر قرار گرفته و تعداد مناطق دچار زوال (سه منطقه) می‌تواند افزایش دقت تحلیل را به همراه داشته باشد. با عنایت به اینکه الگوی پراکنش در طی زمان متأثر از عوامل دیگری غیر از آشفستگی ناشی از زوال نیز است، منطقه فاقد زوال نیز

مشاهدات میدانی). بر اساس داده‌های بازه زمانی ۲۰ ساله (۱۴۰۰-۱۳۸۱) اخذشده از اداره کل هواشناسی استان لرستان متوسط بارندگی در مناطق مورد بررسی ۴۲۴-۴۴۴ میلی‌متر و متوسط حرارت ۱۴-۱۲/۹ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه براساس طبقه‌بندی آمبرژه از نوع نیمه‌خشک است و از نظر زمین‌شناسی هر چهار منطقه دارای سازند کواترنری جدید هستند (Esmali et al., 2021).

#### روش پژوهش

برای انجام این پژوهش، در دو مرحله نمونه‌برداری انجام شد. آماربرداری اولیه در سال ۱۳۸۹ انجام و در هر کدام از مناطق مله‌شبانان، شینه‌قلایی و دادآباد (با علائم اولیه خشکیدگی جزئی در بخشی از تاج‌پوشش درختان) و منطقه وارک (منطقه فاقد خشکیدگی)، یک محدوده ۵ هکتاری با ابعاد ۲۵۰×۲۰۰ متری اندازه‌گیری شد. شایان ذکر است که آماربرداری اولیه با هدف ارزیابی کمی و کیفی و نظارت کنترل وضعیت منطقه انجام شده و در آن زمان زوال مطرح نبود. برای دقت در برداشت، پهنه‌بندی تغییرات تراکم و تاج‌پوشش در واحد سطح (هکتار)، محدوده ۵ هکتاری به‌صورت پنج قطعه‌نمونه یک هکتاری (نوارهایی به طول ۲۰۰ متر و عرض ۵۰ متر) تفکیک و بررسی شد. در هر قطعه‌نمونه مشخصه‌های نوع گونه، تعداد، ارتفاع (با استفاده از شیب‌سنج سونتو) و ابعاد تاج درختان (دو قطر عمود برهم و در جهت‌های ثابت شمالی-جنوبی و شرقی-غربی) برداشت شد.

برای تعیین مختصات درختان، ابتدا مختصات یک گوشه به‌وسیله دستگاه GPS ثبت شد، سپس با استفاده از مختصات نقاط مرجع (ایستگاه‌های مختلف به‌عنوان نقاط مرجع) فاصله و آزیموت تمام پایه‌ها تعیین و در ادامه مختصات مکانی تمام درختان محاسبه و مشخص شد. مختصات تنه درختان تک‌پایه و نقطه وسط تاج

درختان چندشاخه یا جست‌گروه به‌عنوان مکان درخت ثبت شد. نمونه‌برداری ثانویه به فاصله زمانی ۱۰ سال در سال ۱۳۹۹ انجام شد. در این مرحله دوباره در همان قطعات نمونه، مختصات مکانی و دیگر متغیرهای برداشت‌شده در دوره قبل تمام درختان با استفاده از آماربرداری صددرصد تعیین و برداشت شد. برای تعیین الگوی پراکنش مکانی درختان، از K رایپلی در محیط نرم‌افزار PAST استفاده شد (Bolibok et al., 2023; Wang et al., 2020). تمام اطلاعات در محیط نرم‌افزار Excel وارد شد و با استفاده از روابط مثلثاتی، مختصات قطبی به مختصات دکارتی تبدیل شد.

تابع K رایپلی بر پایه شمارش نقاط موجود در تمامی فاصله‌های موجود میان نقاط عمل می‌کند. در این روش، طبقه‌های فاصله از پیش تعیین می‌شود و به‌صورت حریم‌هایی در اطراف نقاط ترسیم می‌شود. شمارش نقاط در هر یک از این حریم‌ها، مبنای محاسبه تابع K رایپلی است. فرمول محاسبه این تابع به‌صورت رابطه ۱ است (Ripley, 1977):

$$K(r) = \frac{\bar{n}(r)}{\rho} \quad \text{رابطه (۱)}$$

$\bar{n}(r)$ : میانگین تعداد درختان همسایه‌ای است که به شعاع r از یک درخت قرار گرفته‌اند.  
 $\rho$ : تعداد در واحد سطح (تراکم)

برای سهولت در تفسیر تابع K رایپلی، از شکل اصلاح‌شده آن یعنی تابع  $L(d)$  استفاده می‌شود که رابطه آن به‌صورت رابطه ۲ است (Luo et al., 2004; Wang et al., 2020):

$$L(r) = \sqrt{\frac{K(r)}{\pi}} - r \quad \text{رابطه (۲)}$$

در روش رایپلی برای آزمون معنی‌دار بودن تفاوت الگوی مشاهده‌شده با الگوی تصادفی (فرض صفر)، حدود اعتماد با استفاده از آزمون مونت‌کارلو محاسبه و ترسیم می‌شود؛ به‌طوری که اگر تابع L در داخل این

آماري با استفاده از نرم افزار آماري IBM SPSS ver. 22 انجام شد.

### نتایج

#### مشخصه‌های کمی در مناطق مورد بررسی

نتایج بررسی تراکم درختان در توده‌های بررسی شده نشان داد که در ۳ توده تحت تأثیر پدیده زوال، میانگین تعداد در هکتار درختان دارای روند کاهش است در حالی که در توده زوال نیافته، میانگین تعداد در هکتار درختان دارای روند افزایشی (از ۱۱۸/۶ اصله به ۱۲۰/۲ اصله) است (جدول ۲).

همچنین مشخص شد که در ابتدای دوره کمترین و بیشترین میانگین تراکم درختان به ترتیب مربوط به توده‌های دادآباد و شینه‌قلایی بوده در حالی که در پایان دوره، کمترین و بیشترین مقدار میانگین تراکم درختان به ترتیب متعلق به توده‌های مله‌شبانان و شینه‌قلایی است.

محدوده قرار گیرد، الگوی پراکنش مشاهده شده با الگوی پراکنش تصادفی تفاوت معنی داری نخواهد داشت، اما اگر تابع L بالاتر از این محدوده قرار گیرد، نشانه وجود الگوی خوشه‌ای و اگر پایین تر از این محدوده واقع شود نشان دهنده الگوی منظم است (Hou et al., 2004). بررسی الگوی مکانی درختان نیز با استفاده از نرم افزار PAST ver. 3.20 انجام شد.

برای بررسی نرمال بودن داده‌ها از آزمون کولموگروف-اسمیرنوف استفاده شد. برای بررسی مشخصه‌های کمی در ابتدا و انتهای دوره ۱۰ ساله در توده‌های مختلف تحت تأثیر زوال از آزمون مقایسه میانگین t جفتی (Paired sample t-test) استفاده شد. برای بررسی مشخصه‌های کمی طی دوره‌های زمانی مورد بررسی در توده‌های مختلف تحت تأثیر زوال از آزمون تجزیه واریانس یک طرفه (Univariate) و برای مقایسه میانگین مشخصه‌های کمی از آزمون دانکن (Duncann) استفاده شد. تمامی تجزیه و تحلیل‌های

جدول ۲- نتایج تعداد در هکتار درختان در مناطق مختلف در ابتدا و انتهای دوره ۱۰ ساله

Table 2. Results of density per hectare in different stands in beginning and end of ten-year period

منطقه مورد بررسی	سال	میانگین	انحراف معیار	درصد ضریب تغییرات
Study area	Year	Mean	Standard deviation	Coefficient variation (%)
مله‌شبانان	2010	61.2	9.52	15.60
Mela-Shabanan	2020	50.6	10.64	21.28
شینه‌قلایی	2010	170	7.42	4.36
Shineh-Ghalaei	2020	161	7.38	4.58
دادآباد	2010	59	9.13	15.47
Dadabad	2020	51	11.24	22.03
وارک	2010	118.6	8.47	7.17
Vark	2020	120.2	1.92	1.60

اختلاف معنی داری بین میانگین تراکم درختان در ابتدا و انتهای دوره در توده شینه‌قلایی مشاهده شد (جدول ۳).

نتایج مقایسه میانگین تراکم درختان در ابتدا و انتهای دوره ۱۰ ساله در توده‌های مختلف با استفاده از آزمون t جفتی نشان داد که اختلاف معنی داری بین میانگین تراکم درختان در ابتدا و انتهای دوره در توده‌های مله‌شبانان، دادآباد و وارک وجود ندارد، در حالی که

جدول ۳- مقایسه میانگین تراکم درختان (تعداد در هکتار) در ابتدا و انتهای دوره ۱۰ ساله با استفاده از آزمون t جفتی

Table 3. Mean comparison of tree density (per hectare) using T-test in the first and end of the ten-year period

منطقه مورد بررسی	t	درجه آزادی	معنی داری
Study area		df	Sig.
مله‌شبانان	2.428	4	0.072 <sup>ns</sup>
Mela-Shabanan			
شینیه‌قلایی	49.00	4	0.000**
Shineh-Ghalaiei			
دادآباد	0.901	4	0.418 <sup>ns</sup>
Dadabad			
وارک	-0.469	4	0.664 <sup>ns</sup>
Vark			

\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۱ و ns عدم اختلاف معنی‌دار.

\*\* Significant difference at the error level of 0.01 and ns no significant difference.

توده‌های مختلف در ابتدا و انتهای دوره ۱۰ ساله، مشخص شد که میانگین درصد تاج‌پوشش درختان در منطقه دچار زوال دادآباد و فاقد زوال وارک افزایش - یافته، درحالی‌که در منطقه زوال‌یافته (مله‌شبانان) کاهش یافت (جدول ۴).

بررسی نتایج درصد تاج‌پوشش در مناطق مورد بررسی نشان داد که بیشترین درصد تاج‌پوشش درختان در منطقه زوال‌نیافته (وارک) و کمترین درصد تاج‌پوشش به‌ترتیب در منطقه مله‌شبانان و شینه‌قلایی مشاهده شد. همچنین در بررسی مقدار تاج‌پوشش در

جدول ۴- نتایج درصد تاج‌پوشش درختان در توده‌های مختلف در ابتدا و انتهای دوره ۱۰ ساله

Table 4. Results of canopy percentage in different stands in beginning and end of ten-year period

منطقه مورد بررسی	سال	میانگین (درصد)	انحراف معیار	درصد ضریب تغییرات
Study area	Year	Mean (%)	Standard deviation	Coefficient variation (%)
مله‌شبانان	2010	17.76	5.09	28.65
Mela-Shabanan	2020	15.57	3.69	23.69
شینیه‌قلایی	2010	17.12	0.72	4.20
Shineh-Ghalaiei	2020	17.44	0.61	34.97
دادآباد	2010	30.04	4.11	13.68
Dadabad	2020	34.20	6.30	18.42
وارک	2010	41.98	6.36	15.15
Vark	2020	55.56	6.20	11.15

درختان وجود دارد (جدول ۵). نتایج آزمون دانکن نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین میانگین درصد تاج‌پوشش در منطقه زوال‌نیافته (وارک) با دیگر مناطق وجود دارد. از طرفی بین میانگین درصد تاج‌پوشش درختان در دو منطقه شینه‌قلایی و مله‌شبانان اختلاف

نتایج آزمون تجزیه واریانس تاج‌پوشش درختان نشان داد که مقدار تاج‌پوشش در مناطق مورد بررسی و همچنین در ابتدا و انتهای دوره دارای اختلاف معنی‌داری است. تأثیر توأم توده (مناطق) و دوره بررسی شده نیز نشان داد که اختلاف معنی‌داری بین مساحت تاج

معنی‌داری وجود ندارد، اما اختلاف معنی‌داری بین میانگین درصد تاج‌پوشش درختان در منطقه دادآباد با دو منطقه مله‌شبانان و شینه‌قلایی وجود دارد (شکل ۲).

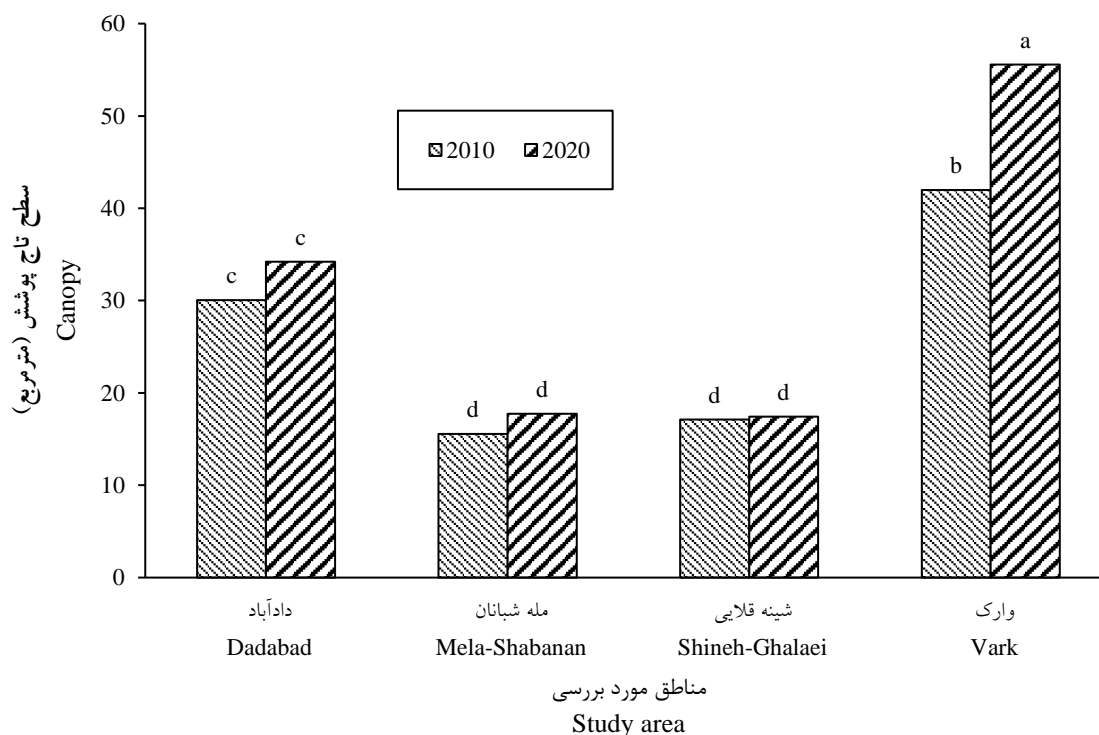
جدول ۵- تجزیه واریانس درصد تاج‌پوشش درختان در توده‌های مختلف در دوره ۱۰ ساله

Table 5. Univariate ANOVA test for tree canopy percentage in different stands in the ten-year period

معنی‌داری Sig.	F	میانگین مربعات Mean of squares	درجه آزادی df	مجموع مربعات Sum of Squares	منبع Source
0.000**	104.4	2299.3	3	6898.09	منطقه Area
0.002*	11.65	256.69	1	256.69	سال Year
0.017*	3.94	86.85	3	260.56	منطقه × سال Area × Year
		22.02	32	704.64	خطا Error

\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۱، \* اختلاف معنی‌دار در سطح خطای ۰/۰۵

\*\* significant difference at the error level of 0.01, \* significant difference at the error level of 0.05



شکل ۲- مقایسه میانگین تاج‌پوشش درختان در توده‌های بررسی‌شده با استفاده از آزمون دانکن (a و b شاهد و c و d تیمار).

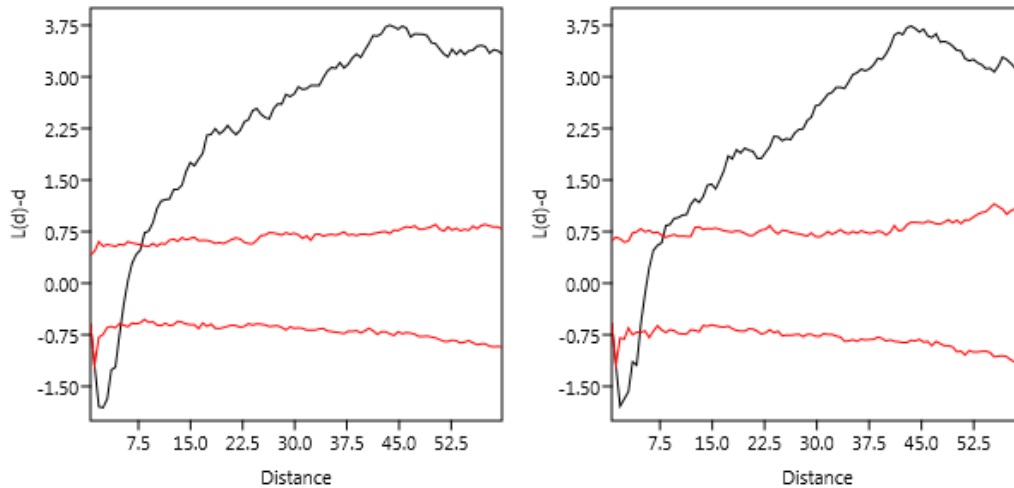
Figure 3. Mean comparison of canopy in different stands using Duncann test (a and b control and c and d treatment).



الگوی مکانی درختان در منطقه مله‌شبانان

مکانی کپه‌ای برخوردار هستند و شدت کپه‌ای بودن در انتهای دوره در مقایسه با ابتدای دوره تغییر چندانی را نداشته و مشابه است و در شعاع حدود ۴۵ متر بیشترین مقدار است (شکل ۳).

بررسی الگوی پراکنش مکانی درختان در منطقه مله-شبانان نشان داد که همه درختان موجود در این منطقه در ابتدا (سال ۱۳۸۸) و انتهای دوره (۱۳۹۸) از الگوی



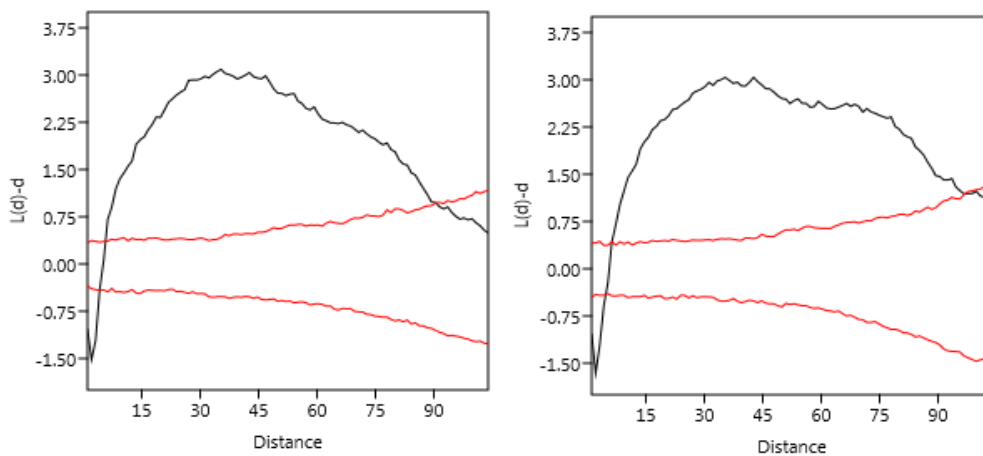
شکل ۳- الگوی مکانی درختان بلوط در ابتدا (سمت چپ) و انتهای دوره (سمت راست) در منطقه مله‌شبانان

Figure 4. Spatial pattern of oak trees in beginning (left) and end (right) of period in the Mela-Shabanan

بررسی الگوی مکانی درختان در منطقه شینه‌قلایی

بیشتر از آن تصادفی است. به عبارتی دیگر با افزایش فاصله، الگوی مکانی از کپه‌ای به تصادفی در حال تغییر است. شدت خوشه‌ای در شعاع حدود ۴۰ متر بیشترین مقدار است (شکل ۴).

نتایج الگوی مکانی برای درختان بلوط ایرانی در منطقه شینه‌قلایی نشان داد که الگو در ابتدا (تا شعاع ۹۰ متر) و انتهای دوره (تا شعاع ۱۰۰ متر) کپه‌ای بوده و فواصل

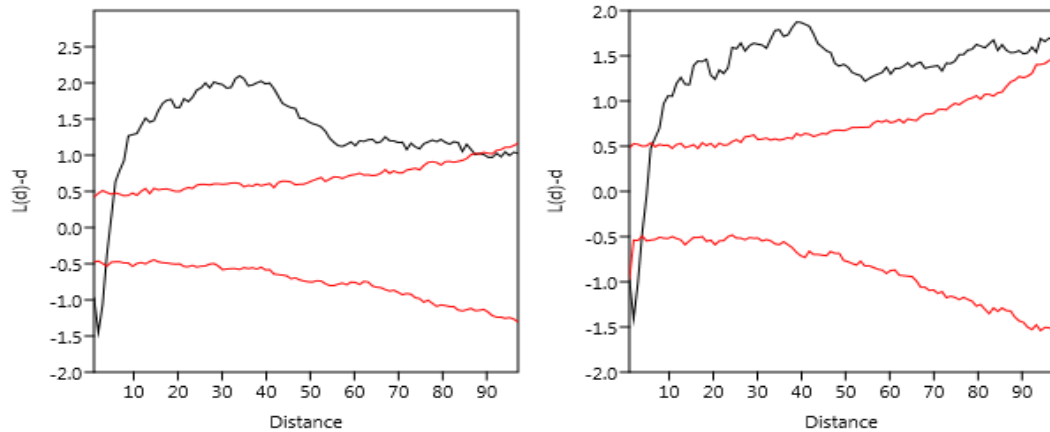


شکل ۴- الگوی مکانی گونه بلوط ایرانی در ابتدا (سمت چپ) و انتهای دوره (سمت راست) در منطقه شینه‌قلایی

Figure 5. Spatial pattern of oak trees in beginning (left) and end (right) of period in the Shineh-Ghalaei

به سمت تصادفی میل می‌کند در حالی که در انتهای دوره بررسی شده، الگوی مکانی درختان به صورت کپهای است (شکل ۵).

بررسی الگوی مکانی دیگر گونه‌های منطقه شینه-قلایی (به استثنای گونه بلوط‌ایرانی) نشان داد که پراکنش مکانی درختان در ابتدای دوره بررسی شده از الگوی کپهای پیروی می‌کند و با افزایش فاصله این الگو



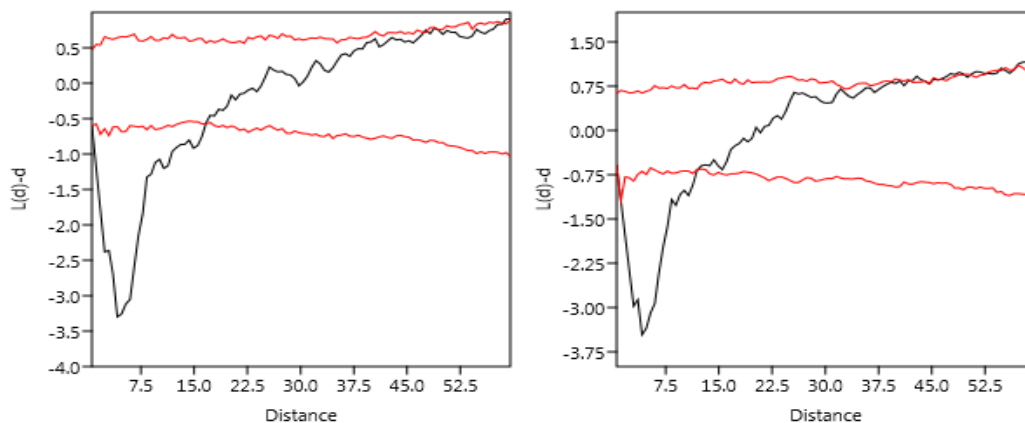
شکل ۵- الگوی مکانی دیگر گونه‌ها در ابتدا (سمت چپ) و انتهای دوره (سمت راست) در منطقه شینه‌قلایی

Figure 5. Spatial pattern of other species in beginning (left) and end (right) of period in the Shineh-Ghalaei

الگوی مکانی درختان بلوط‌ایرانی به سمت تصادفی و در نهایت به سمت الگوی کپهای در حال تغییر است. همانطور که مشاهده می‌شود شروع الگوی کپهای شدن در انتهای دوره و در پی بروز زوال در شعاع کمتر (حدود ۴۰ متر) مشاهده می‌شود (شکل ۶).

#### الگوی مکانی درختان در منطقه دادآباد

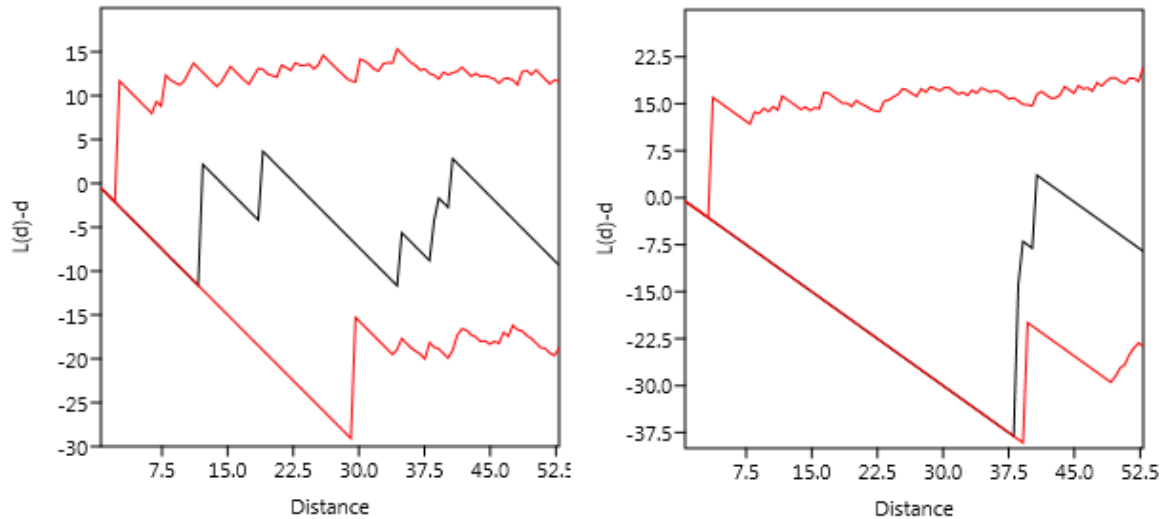
الگوی مکانی درختان بلوط‌ایرانی در منطقه دادآباد در ابتدا و انتهای دوره در فواصل کمتر از ۱۵ متر به صورت یکنواخت است. با افزایش فاصله (در ابتدای دوره تا شعاع حدود ۶۰ متر و در انتهای دوره تا شعاع ۴۰ متر)



شکل ۶- الگوی مکانی گونه بلوط در ابتدا (سمت چپ) و انتهای دوره (سمت راست) در منطقه دادآباد

Figure 6. Spatial pattern of oak trees in beginning (left) and end (right) of period in the Dadabad

الگوی مکانی دیگر گونه‌های موجود در منطقه دادآباد نشان داد که در ابتدا و انتهای دوره ۱۰ ساله درختان مذکور از الگوی مکانی تصادفی برخوردار هستند. نتایج الگوی مکانی دیگر گونه‌ها در منطقه دادآباد در شکل ۷ ارائه شد.

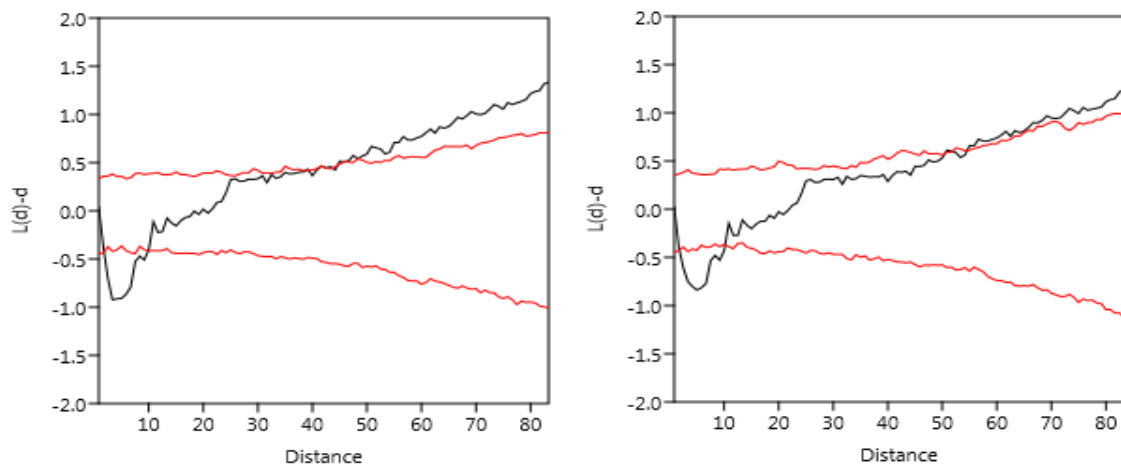


شکل ۷- الگوی مکانی دیگر گونه‌ها در ابتدا (سمت چپ) و انتهای دوره (سمت راست) در منطقه دادآباد

Figure 7. Spatial pattern of other species in beginning (left) and end (right) of period in the Dadabad

توجه اینکه در ابتدای دوره عبور از الگوی تصادفی و شروع الگوی کپه‌ای در شعاع بیشتر از ۵۰ متر اتفاق افتاده و در انتهای دوره این فاصله افزایش یافت، همچنین با افزایش فاصله، شدت کپه‌ای شدن در مقایسه با ابتدای دوره کاهش یافت (شکل ۸).

الگوی مکانی درختان در منطقه وارک (فاقد زوال) بررسی الگوی مکانی درختان بلوط در منطقه فاقد زوال نشان داد که در ابتدا و انتهای دوره ۱۰ ساله، الگوی مکانی درختان به صورت تصادفی بوده و با افزایش فاصله، الگوی درختان متمایل به کپه‌ای است. نکته قابل

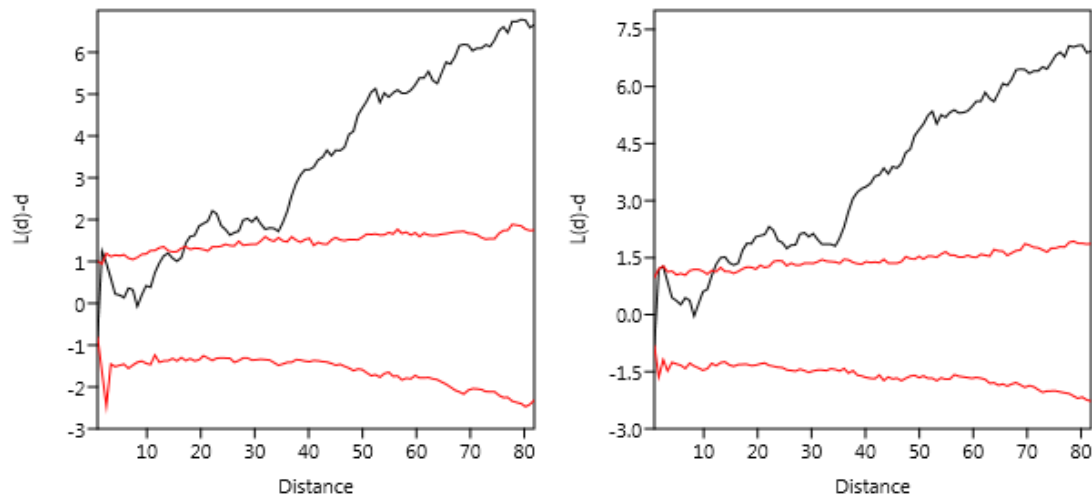


شکل ۸- الگوی مکانی گونه بلوط در ابتدا (سمت چپ) و انتهای دوره (سمت راست) در منطقه زوال‌نیافته

Figure 8. Spatial pattern of oak trees in beginning (left) and end (right) of period in the control area

بیشتر از آن الگوی پراکنش به صورت کپه‌ای است و با افزایش فاصله شدت کپه‌ای بودن افزایش می‌یابد (شکل ۹).

بررس الگوی مکانی دیگر گونه‌ها (به‌استثنای گونه بلوط) در منطقه فاقد زوال نشان داد که در ابتدا و انتهای دوره بررسی شده، تا شعاع کمتر از ۲۰ متر الگوی پراکنش مکانی درختان به صورت تصادفی و در شعاع



شکل ۹- الگوی مکانی دیگر گونه‌ها در ابتدا (سمت چپ) و انتهای دوره (سمت راست) در منطقه زوال‌نیافته

Figure 9. Spatial pattern of other species in beginning (left) and end (right) of period in the control area

اذعان داشت که پدیده زوال در متوسط فراوانی پایه‌ها در واحد سطح اثرگذار بوده و نتایج تحلیل واریانس نیز مؤید این موضوع است. Modaberi and Mirzaei (2017) نیز با بررسی تأثیر زوال بر تراکم درختان در جنگل‌های زاگرس بیان کردند که در اثر زوال، تعداد در هکتار درختان کاهش می‌یابد. پژوهش Fan et al. (2012) در زمینه تغییرات الگوی مکانی-زمانی مرگ‌ومیر بلوط بین سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۰ نشان داد که زوال بلوط دو تا سه سال دیرتر از خشکسالی در منطقه رخ داده و در نتیجه آن ۱۱ درصد از تراکم نسبی پایه‌ها و ۱۵ درصد از سطح مقطع کاهش یافت. در این پژوهش با توجه به تغییر تراکم انتظار بر این بود که درصد پوشش تاجی نیز کاهش یابد. اما نتایج نشان داد که در نتیجه بروز زوال در برخی از مناطق با وجود کاهش تراکم، مقدار تاج‌پوشش افزایش یافت. دلایل

## بحث

الگوی مکانی درختان جنگل ویژگی لذای در درک پویایی اکوسیستم جنگل است که بر استقرار، رویش، رقابت، زادآوری، مرگ‌ومیر، استفاده از منابع، ایجاد روشن و در آخر توسعه زیراشکوب جنگل تأثیرگذار است (Akhavan et al., 2010). در این بررسی پویایی مکانی-زمانی الگوی پراکنش درختان و برخی مشخصه‌های کمی در یک دوره ۱۰ ساله تحت تأثیر پدیده زوال و خشکیدگی مدنظر قرار گرفت. نتایج نشان داد در مناطق دچار زوال با گذشت زمان تراکم پایه‌ها (متوسط تعداد در هکتار) کاهش یافته و در منطقه فاقد زوال تراکم و درصد پوشش تاجی افزایش یافت. نظر به اینکه تغییرات فراوانی پایه‌ها در مناطق مختلف (مناطق دچار زوال و فاقد زوال) و با تکرار مناسب (تعداد قطعه‌نمونه‌ها) مورد بررسی قرار گرفت، می‌توان

در منطقه مورد بررسی مله‌شبانان، الگوی پراکنش درختان بلوط در ابتدا و انتهای دوره در فواصل مختلف (از شعاع ۱۰ متر و بیشتر) کپه‌ای بوده و شدت آن در طی زمان تفاوت قابل‌ملاحظه‌ای را نداشته و بیشترین مقدار در شعاع ۴۵ متر بوده است. در منطقه شینه‌قلایی کپه‌ای شدن از شعاع ۱۰ متر و بیشتر شروع شده و تا فاصله ۹۰ متر در ابتدای دوره و ۱۰۰ متر در انتهای دوره ادامه دارد. براین اساس در انتهای دوره در شعاع بیشتر از ۱۰۰ متر الگوی پراکنش تصادفی است. در منطقه دادآباد الگوی پراکنش در ابتدای دوره از شعاع ۱۵ تا ۶۰ متر تصادفی و بیشتر از آن الگو کپه‌ای است. کپه‌ای شدن در انتهای دوره در فاصله کمتری (شعاع ۴۰ متر) قابل مشاهده است. الگوی پراکنش دیگر گونه‌ها به صورت تصادفی بوده که متأثر از غالبیت بلوط، اجتماع‌پذیری دیگر گونه‌ها و رقابت بین‌گونه‌ای است. در منطقه فاقد زوال وارک در ابتدا و انتهای دوره نیز به‌طور متوسط تا شعاع ۵۰ متر الگو تصادفی و بیشتر از آن کپه‌ای است. البته شدت کپه‌ای بودن در ابتدای دوره بیشتر است. در خصوص دیگر گونه‌ها الگوی پراکنش تا شعاع ۲۰ متر تصادفی و بیشتر از آن به شکل کپه‌ای است.

Erfanifard et al. و Mirzaei et al. (2016) (2008) الگوی مکانی درختان بلوط ایرانی را در جنگل - های زاگرس به صورت تصادفی و پراکنده بیان کردند. در پژوهشی دیگر Modaberi and Mirzaei (2017) با بررسی تأثیر زوال بر ساختار جنگل‌های زاگرس نشان دادند که تأثیر زوال بر الگوی مکانی درختان معنی‌دار بوده و سبب تغییر الگوی مکانی درختان از تصادفی به کپه‌ای شد. از عوامل مؤثر بر ایجاد الگوی مکانی کپه‌ای برای مناطق زوال‌یافته نحوه زادآوری درختان است، به طوری که برای درختانی که با بذر زادآوری می‌کنند الگوی کپه‌ای رایج است (Safari et al., 2010; )

مختلفی را در این زمینه می‌توان اشاره کرد، به استناد نتایج پژوهش Brown et al. (2016) که بیان کردند خشکیدگی و زوال مشمول کلیه طبقات قطری می‌شود، در این پژوهش نیز این مهم رخ داد و در کلیه طبقات قطری پدیده خشکیدگی و زوال مشاهده شد. در پی بررسی مجدد مشخص شد که حذف برخی پایه‌های کم‌قطر و در ادامه انجام قرق در منطقه شینه‌قلایی و همچنین انجام قرق به همراه عملیات اصلاحی و استقرار زادآوری (تنها بر اساس مشاهدات میدانی) در منطقه دادآباد در بازه زمانی ابتدا تا انتهای دوره، افزایش سطح متوسط پوشش تاجی را به همراه داشت. بر این اساس افزایش متوسط سطح تاج پوشش در هر یک از مناطق با وجود کاهش فراوانی یا تراکم پایه‌ها امکان‌پذیر بوده و عملیات پرورشی می‌تواند سبب تسریع شود.

پدیده زوال با ازبین بردن پایه‌های درختی علاوه بر تغییر در الگوی پراکنش فعلی درختان، در بلندمدت ممکن است الگوهای پراکنش مکانی را دچار تغییر کند (Kwiatkowska, 1994). بر اساس نتایج پژوهش‌های Askari et al. (2014) و Taghvayipour et al. (2016) الگوی پراکنش بلوط ایرانی به صورت کپه‌ای است. اما نتایج پژوهش Karimi et al. (2012) و Akhavan et al. (2018) نشان داد که الگوی پراکنش مکانی بلوط ایرانی در فواصل نزدیک به دلیل سنگینی بذر به صورت کپه‌ای است و با افزایش فاصله تصادفی است. علت تغییر الگوی مکانی با افزایش فاصله از کپه‌ای به تصادفی را van Mantgem et al. (2011) نتیجه عدم استقرار زادآوری و Nazariani et al. (2019) دلیل این امر را همگنی رویشگاه، نبود رقابت و سنگین بذر بودن بلوط بیان کردند. در این پژوهش در برخی مناطق نتایج مشابه و در برخی دیگر نتایج متفاوتی در مقایسه با نتایج تحقیقات یادشده حاصل شده که دلایل مختلفی را دارا است.

بیشتر (منطقه دادآباد) کپه‌ای شدن در مقایسه با مناطق فاقد زوال (وارک) در فاصله کمتری (شعاع ۴۰ متر) اتفاق می‌افتد، در حالی که این فاصله در مناطق فاقد زوال در شعاع بیش از ۵۵ متر است. براین اساس ملاحظه می‌شود که در توده‌های خالص و آمیخته بلوط ایرانی، بروز زوال تأثیر متفاوتی بر الگوی پراکنش مکانی پایه‌ها دارد. بنابراین در این پژوهش به مانند نتایج تحقیقات Makana and Hibbs (1999) و Getzin et al. (2006) با تغییر درجه آمیختگی، اثرهای آشفستگی ناشی از بروز زوال بر الگوی پراکنش مکانی درختان متفاوت است.

### نتیجه‌گیری کلی

نتایج این پژوهش نشان داد که تحلیل الگوی پراکنش مکانی عناصر رویشی موجب شناخت عمیق‌تری از ساختار می‌شود. از سوی دیگر نتایج حاصل از نظر الگوی مکانی درختان در پی زوال در توده‌های خالص و آمیخته بیانگر تأثیر متفاوت زوال بر الگوی پراکنش مکانی پایه‌ها است که می‌تواند راهنمایی در راستای مدیریت توده‌های بلوط باشد تا اقدامات لازم به‌عمل آید. از این رو پیشنهاد می‌شود که در دیگر مناطق جنگلی زاگرس پویایی مکانی و زمانی مورد بررسی و ارزیابی قرارگیرد تا نتایج دقیق‌تری ارائه شود.

### References

- Aguirre, O.; Hui, G.; von Gadow, K.; Jiménez, J., An analysis of spatial forest structure using neighbourhood-based variables. *Forest Ecology and Management* **2003**, *183* (1-3), 137-145.
- Akhavan, R.; Mahdavi, A.; Kianfar, M., Analysis of the decline status of Zagrosian oak forests using spatial statistics (Case study: Zarab forests of Ilam). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research* **2018**, *16* (2), 129-145. (In Persian)
- Akhavan, R.; Sagheb-Talebi, K.; Hassani, M.; Parhizkar, P., Spatial patterns in untouched beech (*Fagus orientalis* Lipsky) stands over forest development stages in Kelardasht

Rodríguez and Yuste (2017) در جنگل‌های بلوط (*Quercus ilex* L.) کشور اسپانیا بیان کردند که زوال بلوط با پیامدهایی که بر چرخه کربن و نیتروژن اکوسیستم می‌گذارد، موجب تغییر در توالی جوامع گیاهی و میکروارگانیسم‌های خاک می‌شود. در ادامه با پیشرفت توالی، الگوی پراکنش توده از کپه‌ای به سمت تصادفی سوق پیدا می‌کند (Fangliang et al., 1997). نتایج تحقیقات Makana and Hibbs (1999) و Getzin et al. (2006) نشان داد که خالص بودن توده جنگلی و کاهش زیاد تعداد در اثر رقابت درون‌گونه‌ای و آشفستگی سبب ایجاد الگوی کپه‌ای می‌شود. در این پژوهش در مناطق مله‌شبانان و شینه‌قلایی نیز به دلیل تراکم کم پایه‌ها در واحد سطح، عدم وجود زادآوری، خالص بودن توده، غالبیت بلوط و آشفستگی ناشی از زوال موجب شده الگوی پراکنش در ابتدا تا فواصل به نسبت زیاد (تا شعاع ۱۰۰ متر) کپه‌ای باشد. درحالی‌که در دیگر مناطق (دادآباد و وارک) به دلیل آمیختگی توده و تراکم بیشتر پایه‌ها (فراونی بیشتر) الگوی پراکنش در ابتدا (در فواصل ۵۰ تا ۶۰ متر) تصادفی بوده و در ادامه با افزایش فاصله از الگوی کپه‌ای پیروی می‌کند. نکته قابل توجه اینکه در پی بروز زوال در مناطق با تراکم

region of Iran. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2010**, *18* (2), 322-336. (In Persian)

- Askari, Y.; Soltani, A.; Sohrabi, H., Evaluation of spatial distribution pattern of tree and shrub species in a central Zagros (Case study: Chahartagh forest reserve). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2014**, *22* (2), 175-187. (In Persian)
- Batoubeh, P.; Akhavan, R.; Pourhashemi, M.; Kiadaliri, H., Determining the minimum plot size to study the spatial patterns of manna oak trees (*Quercus brantii* Lindl.) Using Ripley's K-Function at Less-Disturbed Stands in Marivan Forests. *Journal of Forest and Product* **2013**, *66*(1), 27-38. (In Persian)

- Bolibok, L.; Janek, M.; Pawlak, B.; Dobrowolska, D., Spatial determinants of tree recruitment in mixed stands in southeastern Poland-silver fir's interaction with lowland tree species. *Forest Ecology and Management* **2023**, *531*, 120788.
- Brady, C.; Denman, S.; Kirk, S.; Venter, S.; Rodríguez-Palenzuela, P.; Coutinho, T., Description of *Gibbsiella quercinecans* gen. nov., sp. nov., associated with Acute Oak Decline. *Systematic and Applied Microbiology* **2010**, *33* (8), 444-450.
- Brown, N.; Jeger, M.; Kirk, S.; Xu, X.; Denman, S., Spatial and temporal patterns in symptom expression within eight woodlands affected by Acute Oak Decline. *Forest Ecology and Management* **2016**, *360*, 97-109.
- Chao, W.-C.; Wu, S.-H.; Lin, H.-Y.; Hsieh, C.-F.; Chao, K.-J., Distribution patterns of tree species in the Lanjenchi lowland rain forest. *Taiwania* **2007**, *52* (4), 343-351.
- Erfanifard, Y.; Mahdian, F.; Shamsi, R. F.; Bordbar, K., The efficiency of distance-and density-based indices in estimating the spatial pattern of trees in forests (Case study: Wild Pistachio Research Forest, Fars province, Iran). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2012**, *20* (3), 379-392. (In Persian)
- Erfanifard, Y.; Fegghi, J.; Zobeiri, M.; Namiranian, M., Investigation on the spatial pattern of trees in Zagros forests. *Journal of the Iranian Natural Research* **2008**, *60* (4), 1318-1328. (In Persian)
- Esmali, A.; Golshan, M.; Kavian, A., Investigating the performance of SWAT and IHACRES in simulation streamflow under different climatic regions in Iran. *Atmosfera* **2021**, *34* (1), 79-96.
- Fan, Z.; Fan, X.; Crosby, M. K.; Moser, W. K.; He, H.; Spetich, M. A.; Shifley, S. R., Spatio-temporal trends of oak decline and mortality under periodic regional drought in the Ozark Highlands of Arkansas and Missouri. *Forests* **2012**, *3* (3), 614-631.
- Fangliang, H.; Legendre, P.; LaFrankie, J. V., Distribution patterns of tree species in a Malaysian tropical rain forest. *Journal of Vegetation Science* **1997**, *8* (1), 105-114.
- Getzin, S.; Dean, C.; He, F.; A. Trofymow, J.; Wiegand, K.; Wiegand, T., Spatial patterns and competition of tree species in a Douglas-fir chronosequence on Vancouver Island. *Ecography* **2006**, *29* (5), 671-682.
- Ghanbari, S.; Abbasnezhad Alchin, A.; Moradi, Gh.H.; Khaleghi, B., Spatial distribution pattern and economic value map of secondary products in Arasbaran protected area. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2018**, *25* (2): 19-33. (In Persian)
- Hamzehpour, M.; Kia-daliri, H.; Bordbar, K., Preliminary study of manna oak (*Quercus brantii* Lindl.) tree decline in Dashte-Barm of Kazeroon, Fars province. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2011**, *19* (2), 363-352. (In Persian)
- Heitzman, E.; Grell, A.; Spetich, M.; Starkey, D., Changes in forest structure associated with oak decline in severely impacted areas of northern Arkansas. *Southern Journal of Applied Forestry* **2007**, *31* (1), 17-22.
- Hernández-Lambraño, R. E.; de la Cruz, D. R.; Sánchez-Agudo, J. Á., Spatial oak decline models to inform conservation planning in the Central-Western Iberian Peninsula. *Forest Ecology and Management* **2019**, *441*, 115-126.
- Holdenrieder, O.; Pautasso, M.; Weisberg, P. J.; Lonsdale, D., Tree diseases and landscape processes: the challenge of landscape pathology. *Trends in Ecology & Evolution* **2004**, *19* (8), 446-452.
- Hou, J.; Mi, X.; Liu, C.; Ma, K., Spatial patterns and associations in a *Quercus-Betula* forest in northern China. *Journal of Vegetation Science* **2004**, *15* (3), 407-414.
- Karimi, M.; Pormajidian, M. R.; Jalilvand, H.; Safari, A., Preliminary study for application of O-ring function in determination of small-scale spatial pattern and interaction species (Case study: Bayangan forests, Kermanshah). *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2012**, *20* (4), 621-608. (In Persian)
- Kelly, M.; Liu, D.; McPherson, B.; Wood, D.; Standiford, R., Spatial pattern dynamics of oak mortality and associated disease symptoms in a California hardwood forest affected by sudden oak death. *Journal of Forest Research* **2008**, *13* (5), 312-319.
- Kelly, M.; Meentemeyer, R. K., Landscape dynamics of the spread of sudden oak death. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* **2002**, *68* (10), 1001-1010.
- Kong, F.; Tang, L.; He, H.; Yang, F.; Tao, J.; Wang, W., Assessing the impact of climate change on the distribution of *Osmanthus fragrans* using Maxent. *Environmental Science and Pollution Research* **2021**, *28*, 34655-34663.

- Kwiatkowska, A. J., Changes in the species richness, spatial pattern and species frequency associated with the decline of oak forest. *Vegetatio* **1994**, *112*, 171-180.
- Luo, Z.; Ding, B.; Mi, X.; Yu, J.; Wu, Y., Distribution patterns of tree species in an evergreen broadleaved forest in eastern China. *Frontiers of Biology in China* **2009**, *4*, 531-538.
- Mahdavi, A.; Mirzaei Zadeh, V.; Niknezhad, M.; Karami, O., Assessment and prediction of oak trees decline using logistic regression model (Case study: Bivareh forest, Malekshahi-Ilam). *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research* **2015**, *13* (1), 20-33. (In Persian)
- Makana, J.-R. M., Forest structure, species diversity and spatial patterns of trees in monodominant and mixed stands in the Ituri Forest, Democratic Republic of Congo. **1999**.
- Mirzaei, M.; Bonyad, A. E.; Aziz, J., Investigation comparison of K-Ripley and distance indices in order to determinate of spatial pattern of *Quercus Brantii* Lindl. in Zagros forests. *Forest Research and Development* **2016**, *1* (3), 231-240. (In Persian)
- Mirzaei, M.; Bonyad, A.; Akhavan, R.; Naghdi, R., Decline modelling of oak trees under effects of physiographic factors in semi-arid forests of Iran. *For Ideas* **2018**, *24* (2), 171-81.
- Mirzaei, M.; Bonyad, A.E.; Akhavan, R.; Naghdi, R., Decline modelling of *Quercus brantii* under effects of physiographic factors in Dalab forests of Ilam. *Journal of Forest Research and Development* **2019**, *5* (2), 1-14. (In Persian)
- Modaberi, A.; Mirzaei, J., Study of decline effect on structure of central Zagros forests. *Journal of Forest Research and Development* **2017**, *2* (4), 325-336. (In Persian)
- Murrell, D. J.; Purves, D. W.; Law, R., Uniting pattern and process in plant ecology. *Trends in Ecology & Evolution* **2001**, *16* (10), 529-530.
- Nazariani, N.; Fallah, A.; Ramezani Moziraji, H.; Naghavi, H.; Jalilvand, H., Explanation of spatial pattern of Iranian oak species (*Quercus persica* J. & Sp.) in Zagros vegetative zone using O-ring statistic. *Journal of Wood and Forest Science and Technology* **2019**, *26* (3), 83-96. (In Persian)
- Pourhashemi, M.; Jahanbazi Goujani, H.; Hoseinzade, J.; Bordbar, S.K.; Iranmanesh, Y.; Khodakarami, Y., The history of oak decline in Zagros forests. *Journal of Iran Nature* **2017**, *2* (1), 30-37. (In Persian)
- Ripley, B. D., Modelling spatial patterns. *Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Methodological)* **1977**, *39* (2), 172-192.
- Rodríguez, A.; Curiel Yuste, J.; Rey, A.; Durán, J.; García-Camacho, R.; Gallardo, A.; Valladares, F., Holm oak decline triggers changes in plant succession and microbial communities, with implications for ecosystem C and N cycling. *Plant and Soil* **2017**, *414*, 247-263.
- Safari, A.; Shabanian, N.; Erfanifard, S.; Heidari, R.; Purreza, M., Investigation of spatial pattern of wild pistachio (*Pistacia atlantica* Desf.) (case study: Bayangan forests, Kirmanshah). *Iranian Journal of Forest* **2010**, *2* (2), 177-185. (In Persian)
- Solomon, J. D., *Guide to insect borers in North American broadleaf trees and shrubs*. US Department of Agriculture, Forest Service: 1995.
- Su, D.; Yu, D.; Zhou, L.; Xie, X.; Liu, Z.; Dai, L., Differences in the structure, species composition and diversity of primary and harvested forests on Changbai Mountain, Northeast China. *Journal of Forest Science* **2010**, *56* (6), 285-293.
- Taghvayipour, E.; Salehi, A.; Askari, Y., Distribution pattern of declined Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) trees in forests of Tol-e Ghah, Yasuj. *Iranian Journal of Forest and Poplar Research* **2016**, *24* (1), 53-64. (In Persian)
- van Mantgem, P. J.; Stephenson, N. L.; Knapp, E.; Battles, J.; Keeley, J. E., Long-term effects of prescribed fire on mixed conifer forest structure in the Sierra Nevada, California. *Forest Ecology and Management* **2011**, *261* (6), 989-994.
- Wang, W. J.; He, H. S.; Spetich, M. A.; Shifley, S. R.; Thompson III, F. R.; Fraser, J. S., Modeling the effects of harvest alternatives on mitigating oak decline in a Central Hardwood Forest landscape. *PLoS One* **2013**, *8* (6), e66713.
- Wang, Y.; Gui, Z.; Wu, H.; Peng, D.; Wu, J.; Cui, Z., Optimizing and accelerating space-time Ripley's K function based on Apache Spark for distributed spatiotemporal point pattern analysis. *Future Generation Computer Systems* **2020**, *105*, 96-118.



Wiegand, T.; A. Moloney, K., Rings, circles, and null-models for point pattern analysis in ecology. *Oikos* **2004**, *104* (2), 209-229.

Yang, S.; Spetich, M. A.; Fan, Z., Spatiotemporal dynamics and risk factors of oak decline and Mortality in the Missouri Ozarks of the United States based on repeatedly measured FIA data. *Forest*

*Ecology and Management* **2021**, *502*, 119745.

Zahedi-Amiri, Gh.; Zargham, N., *Carbon sequestration in terrestrial ecosystems*. Tehran University Press, 2015, 555p. (In Persian)

## Spatiotemporal dynamics of trees distribution patterns following disturbance caused by decline in the oak forests of Lorestan province

Mir Hamed Akhtari<sup>1</sup>, Asadollah Mataji<sup>\*2</sup>, Sasan Babaei-Kafaki<sup>3</sup> and Hadi Kiadaliri<sup>4</sup>

1- Ph.D. student, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran. (mirhamedakh@yahoo.com)

2- Professor, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran. (amataji@srbiau.ac.ir)

3- Associate Professor, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran. (babaie47@yahoo.com)

4- Associate Professor, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, I. R. Iran. (h\_kia2000@yahoo.com)

Received: 10 March 2023      Accepted: 07 May 2023

### Abstract

The aim of this study was to investigate the spatiotemporal dynamics of trees distribution patterns in a ten-year period following disturbance caused by decline in the oak forests of Lorestan province in the west of Iran. For this purpose, the quantitative characteristics and the spatial patterns of trees in 5-hectare sample plots in four different regions without decline, which were surveyed in 2010, also surveyed in 2020 which three regions had conditions of decline and one region without decline). The results showed that the mean of density was decreased in declined areas and increased in the non-declined area during the period. During the ten-year period, there was a significant difference between the tree density and canopy percentage in the areas with and without decline. The spatial patterns of Persian oak (*Quercus brantii*) trees in the decline areas showed that during the period, the spatial patterns in the pure and low-density stands were clustered, while in the mixed stands with the dominance of oak with relatively high density, it was a random distribution pattern, which with increasing of distance, changed to clustered. The disturbance due to decline in the mixed stands caused the clustering occurred in a smaller radius (40 meters and more), but in the mixed stands without declined clustering observed in a radius of more than 60 meters. The results of this study showed that the trees decline affects the spatial patterns of trees which can be an effective guide in the management of decline stands.

**Keywords:** Persian oak, Dynamic, Zagros forests, Decline.

---

\* Corresponding author

Tel: +989126408286