



## تغییرات فصلی الگوی مکانی تاج‌بارش توده طبیعی راش خالص با استفاده از روش زمین‌آمار (مطالعه موردی: جنگل خیرود - بهاربن)

عاطفه دژبان<sup>۱</sup>، پدram عطارد<sup>۲\*</sup>، قوام‌الدین زاهدی امیری<sup>۳</sup>، توماس گرنٹ پیبکر<sup>۴</sup> و کازوکی نانکو<sup>۵</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری جنگلشناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کرج

<sup>۲</sup> دانشیار گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کرج

<sup>۳</sup> استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه کرج

<sup>۴</sup> دانشیار گروه علوم منابع طبیعی، دانشگاه تامپسون ریورز، ایالت بریتیش کلمبیا، کانادا

<sup>۵</sup> دانشیار گروه پیشگیری از حوادث، هواشناسی و هیدرولوژی، مؤسسه تحقیقات جنگلداری و تولیدات جنگل، آژانس توسعه و تحقیقات ملی، ژاپن

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۲/۲۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۱۵)

### چکیده

به اهمیت اکولوژیک تغییرات مکانی تاج‌بارش به‌عنوان یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژیکی در اکوسیستم‌های جنگلی، کمتر توجه شده است. در این مطالعه به‌منظور تعیین تغییرپذیری مکانی تاج‌بارش در فصول برگ‌دار در توده طبیعی راش خالص (*Fagus orientalis* L.) از روش زمین‌آمار استفاده شد. نمونه‌برداری‌ها طی سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ انجام پذیرفت و به‌منظور اندازه‌گیری تاج‌بارش، ۱۲۲ جمع‌آوری‌کننده دستی به‌صورت طرح تصادفی طبقه‌بندی شده به‌همراه نقاطی با فواصل کوتاه در سطح توده قرار گرفت. تحلیل تغییرنا نشان داد که تاج‌بارش در زیر توده راش خالص پیوستگی و ساختار مکانی قوی در هر سه فصل بهار، تابستان و پاییز دارد. مدل‌های سقف‌دار کروی بر واریوگرام‌های تجربی برای تاج‌بارش دو فصل تابستان و پاییز و مدل نمایی برای فصل بهار به‌عنوان مناسب‌ترین مدل برازش داده شدند. محدوده پیوستگی مکانی تاج‌بارش برای فصل‌های بهار، تابستان و پاییز به‌ترتیب ۲، ۸ و ۷ متر مشاهده شد. نقاط لکه‌های داغ تاج‌بارش در فصل تابستان بیشترین (۱۰) و در بهار کمترین (۶) تعداد برآورد شد. از دلایل بیشتر بودن پیوستگی مکانی تاج‌بارش در فصل تابستان می‌توان به توسعه کامل تاج‌پوشش و شاخص سطح برگ بیشتر (۶ مترمربع / مترمربع) نسبت به فصل‌های بهار (۴/۵ مترمربع / مترمربع) و پاییز (۵ مترمربع / مترمربع) اشاره کرد و مقدار باران که متأثر از اندازه، تعداد و شکل قرارگیری برگ‌ها به سطح جنگل می‌رسد و سبب افزایش لکه‌های داغ می‌شود. بنابراین تغییرات پیوستگی الگوی مکانی تاج‌بارش در طی فصل‌های متوالی را می‌توان به‌دلیل تغییر شرایط آب‌وهوایی، تاج‌پوشش و تغییر ویژگی‌های باران دانست. این پژوهش با استفاده از روش زمین‌آمار نقشه تغییرات مکانی تاج‌بارش تحت تأثیر تغییر فصول سال و استفاده از آن به‌عنوان الگویی از تغییر رفتار باران در زیر تاج‌پوشش یک توده طبیعی راش را به‌خوبی نشان داد. درک الگوهای مکانی تاج‌بارش به مدیران جنگل در مدیریت بهینه توده‌های جنگلی با در نظر گرفتن فرایندهای هیدرولوژیک و تنظیم ورودی آب به خاک کمک خواهد کرد. نتایج این مطالعه به پژوهشگران آینده کمک خواهد کرد که راهبردهای نمونه‌برداری مناسبی به‌منظور تعیین تغییرات مکانی تاج‌بارش با استفاده از روش زمین‌آمار در توده‌های طبیعی راش در شرایط آب‌وهوایی مشابه طراحی کنند.

واژه‌های کلیدی: الگوی مکانی، تاج‌بارش، جنگل‌های هیرکانی، راش خالص طبیعی، واریوگرافی.

## مقدمه

تاج‌بارش<sup>۱</sup> به‌عنوان بخشی از باران که با عبور از روشنه‌های تاج‌پوشش یا با برخورد به تاج‌پوشش به کف جنگل می‌رسد، دارای تغییرات مکانی است. الگوهای مکانی<sup>۲</sup> تاج‌بارش به دلایل زیر برای اکوهیدرولوژیست مهم است: الف) مدل‌سازی جریان آب و یون‌ها در جنگل؛ ب) مطالعهٔ برهمکنش مواد غذایی خاک و گیاه و تأثیر آن بر پراکنش درختان (John et al., 2007)؛ ج) مطالعهٔ میکرو، مزو و ماکروفون‌های خاک که در شرایط رطوبت، فراوانی بیش‌تری را نشان می‌دهند (Kaspari & Weiser, 2000)؛ د) اثر آب و مواد محلول موجود در تاج‌بارش بر پوشش گیاهی زیراشکوب جنگل<sup>۳</sup>، رطوبت خاک، واکنش شیمیایی مواد محلول خاک (Levia & Frost, 2006). تغییرات مکانی تاج‌بارش در بوم‌سازگان‌های جنگلی مفاهیم بوم‌شناسی مهمی دارد که در توده‌های جنگلی به‌ویژه جنگل‌های پهن‌برگ کمتر به آن توجه شده است (Staelens et al., 2006). در جنگل‌های پهن‌برگ تفکیک‌پذیری زمانی و مکانی تاج‌بارش برای درک کامل فرایندهای توزیع باران و نیز تعیین دقیق جریان‌های هیدرولوژیک سطح جنگل که تغییرات زمانی و مکانی شدیدی را نشان می‌دهند، ضروری است. از آنجا که تاج‌بارش مسیر عبور مواد غذایی محلول به جنگل است، با تعیین الگوهای مکانی تاج‌بارش می‌توان فرایندهای موجود در کف جنگل و در خاک را کنترل کرد (Zimmermann et al., 2008). میانگین دمای هوای کرهٔ زمین در طول ۲۰ قرن اخیر افزایش یافته است و ارزیابی‌ها احتمال گرم‌تر شدن دمای هوا در آینده را نیز نشان می‌دهد (Houghton et al., 1990). این فرضیه وجود دارد که گرم شدن اقلیم سبب افزایش تبخیر سطحی و به‌تبع

آن افزایش بارش‌ها<sup>۴</sup> شود (Arnell et al., 2001). براساس یکی از سناریوهای تغییر اقلیم در شمال و غرب کشور، احتمالاً با کاهش بارندگی و شدت خشکسالی مواجهیم (Alvankar et al., 2017). بنابراین تغییر اقلیم رفتارهای باران در سراسر جهان را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Huntington, 2006) و این امر خصوصیات تاج‌بارش توده‌های جنگلی را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. سطح وسیعی از جنگل‌های شمال کشور را جامعهٔ جنگلی راش شرقی (*Fagus orientalis* Lipsky) تشکیل می‌دهد که با حجم سرپای ۸۰۰ مترمکعب بر هکتار در شیب شمالی کوهستان البرز در ارتفاع ۶۰۰ تا ۲۱۰۰ متر و در کمربندی به طول ۷۰۰ کیلومتر گسترده شده‌اند (Marvie Mohadjer, 2014; Oladi et al., 2017). تا کنون چندین پژوهش دربارهٔ دسته‌بندی اجزای باران در تودهٔ جنگلی راش در شمال کشور انجام گرفته است (Ahmadi et al., 2010; Abbasian et al., 2015; ) (Rahmani et al., 2011)، ولی در هیچ یک از این پژوهش‌ها، تغییرات مکانی اجزای باران بررسی نشده است. با توجه به گستردگی جامعهٔ راش‌ستان در جنگل‌های شمال کشور، بررسی الگوی مکانی تاج‌بارش توده‌های جنگلی راش، ما را در تصمیم‌گیری روش‌های صحیح جنگل‌شناسی به‌منظور استقرار تجدید حیات طبیعی و نیز چگونگی پراکندگی باران رسیده به کف جنگل در فصول مختلف، مقدار رطوبت و عناصر غذایی در دسترس، درک رابطهٔ متقابل بین ورود عناصر غذایی تاج‌بارش به خاک و چگونگی توزیع درختان کمک می‌کند.

از دیدگاه علم جنگل‌شناسی و به‌منظور مدیریت بهینهٔ جنگل، مقدار بارانی که به‌صورت تاج‌بارش به کف جنگل می‌رسد، برای مدیران جنگل بسیار اهمیت دارد (Levia & Frost, 2006). از آنجا که استقرار

1. Throughfall (TF)
2. Spatial pattern
3. understory
4. Precipitation

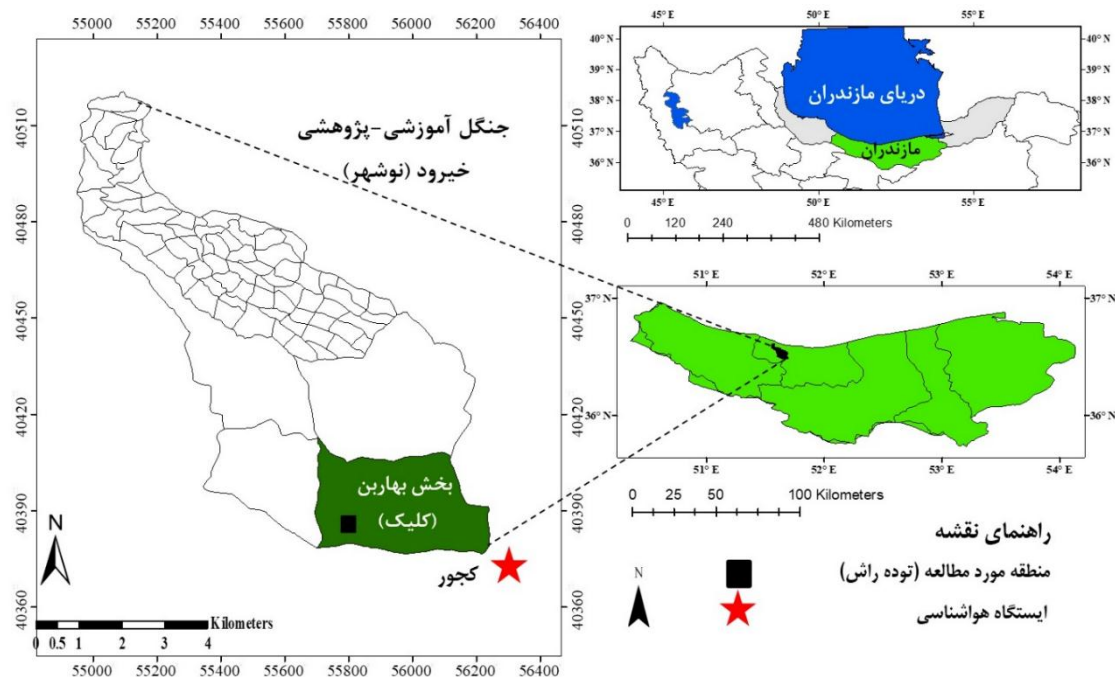
جغرافیایی ۵۱ درجه و ۷۳ دقیقه شرقی و ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۵۵۰ متر از سطح دریا به‌عنوان نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی با فاصله تقریبی ۱۳ کیلومتر از منطقه تحقیق، طی یک دوره ۱۰ ساله (۱۳۸۵ تا ۱۳۹۵)، میانگین بارندگی سالانه (واریانس) ۳۲۵ میلی‌متر (۹/۱) با کمترین بارندگی ماهانه ۱۹/۳ میلی‌متر در تیر (خشک‌ترین ماه سال) و بیشترین بارندگی ماهانه ۴۲/۸ میلی‌متر در آبان (مرطوب‌ترین ماه سال) ثبت شده است. میانگین دمای سالانه (واریانس) ۱۲/۸ درجه سانتی‌گراد (۱/۱۲) است. گرم‌ترین و سردترین ماه‌های سال به ترتیب مرداد با میانگین دمای ۲۲ درجه سانتی‌گراد و دی با میانگین دمای ۱/۵ درجه سانتی‌گراد هستند. میانگین رطوبت نسبی سالانه ۶۰ درصد گزارش شده است. میانگین سالانه سرعت باد ۴/۵ متر بر ثانیه است که ۳۱ درصد آن در محدوده ۰/۵ تا ۲/۱ متر بر ثانیه و ۲۶ درصد آن در محدوده ۵/۷ تا ۸/۸ متر بر ثانیه ثبت شده است. جهت باد غالب منطقه از شمال (۴۲ درصد) و شمال‌شرق (۳۷ درصد) است.

تجدید حیات طبیعی بسیاری از گونه‌های درختی و درختچه‌ای به مقدار باران رسیده به کف جنگل و عناصر غذایی موجود در خاک جنگل وابسته است، با داشتن الگوی ورود آب و عناصر غذایی رسیده به کف جنگل، می‌توان شرایط لازم برای رشد گیاه و تجدید حیات را تنظیم کرد. هدف از تحقیق حاضر، تعیین تغییرات فصلی ساختار و پیوستگی مکانی تاج‌بارش در زیر تاج‌پوشش توده راش خالص طی فصول برگ‌دار دو سال متوالی و ارزیابی کارایی روش زمین‌آمار برای تهیه نقشه پیوسته‌ای از تاج‌بارش با شیوه نمونه‌برداری تصادفی ساده طبقه‌بندی شده است.

## مواد و روش‌ها

### منطقه پژوهش

تحقیق حاضر در جنگل آموزشی-پژوهشی دانشگاه تهران (خیرود) واقع در ۷ کیلومتری شرق نوشهر در بخش بهاربن، از بخش‌های مرکزی جنگل‌های هیرکانی انجام گرفت (شکل ۱). براساس آمار ایستگاه هواشناسی سینوپتیک کجور با مختصات



شکل ۱- موقعیت منطقه تحقیق در جنگل آموزشی-پژوهشی دانشگاه تهران، خیرود، بخش بهاربن (۵۱ درجه و ۳۷ دقیقه شرقی، ۳۶ درجه و ۳۵ دقیقه شمالی). مربع سیاه، توده تحت مطالعه راش (*Fagus orientalis* L.) را نشان می‌دهد.

فصول برگردار در طی دو سال (اردیبهشت ۱۳۹۵ تا اواسط آبان ۱۳۹۵ و اردیبهشت ۱۳۹۶ تا اواخر مهر ۱۳۹۶) انجام گرفت.

در این پژوهش، مقدار باران با استفاده از ۱۰ جمع‌آوری‌کننده دستی<sup>۴</sup> پلاستیکی با قطر دهانه ۱۳ سانتی‌متر (مساحت دهانه ۱۳۲/۷ سانتی‌متر مربع) و ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر در فضای باز به فاصله ۱۰۰ متر از توده تحت بررسی اندازه‌گیری شد. جمع‌آوری‌کننده‌های باران در فضای باز روی پایه‌های چوبی<sup>۵</sup> به ارتفاع ۱۹۰ سانتی‌متر برای محدود کردن پرش قطره‌های آب<sup>۶</sup> به داخل جمع‌آوری‌کننده‌ها قرار گرفتند و به‌منظور کاهش تبخیر، با فویل آلومینیومی پوشانده شدند. جمع‌آوری‌کننده‌های باران در فضای باز به‌گونه‌ای قرار گرفتند که در زاویه ۴۵ درجه از سطح آنها هیچ‌گونه تداخل با تاج درختان اطراف وجود نداشته باشد.

برای اندازه‌گیری مقدار تاج‌بارش، ۱۲۲ عدد جمع‌آوری‌کننده دستی، مشابه جمع‌آوری‌کننده‌های باران زیر تاج‌پوشش توده در یک پلات مربعی ۷۰×۷۰ متر در ارتفاع ۳۵ سانتی‌متری از سطح کف جنگل قرار گرفتند و همه گیاهان علفی اطراف جمع‌آوری‌کننده‌های تاج‌بارش تا شعاع ۷۰ سانتی‌متری برداشته شدند. هر رخداد باران بیش از ۸ ساعت بعد از پایان بارش، با اطمینان از خشک شدن تاج‌پوشش و نیز بارندگی‌های شبانه، هنگام صبح، بعد از طلوع آفتاب اندازه‌گیری شدند (Carlyle-Moses et al., 2004). باران‌هایی که چند روز متوالی ادامه داشتند، یک رخداد باران در نظر گرفته شدند (He et al., 2014). فاصله زمانی بین دو رخداد باران بیش از ۸ ساعت در نظر گرفته شد، زیرا به‌دلیل مه‌گیر بودن توده و افزایش غلظت مه در طول مدت بارندگی، برای خشک شدن تاج‌پوشش به زمان

بخش بهارین با مساحت بالغ بر ۱۵۵۰ هکتار در محدوده ارتفاعی ۱۰۰۰ تا ۲۲۰۰ متر بالاتر از سطح دریا گسترده شده است (Etemad, 1994). اندازه‌گیری‌های میدانی در توده خالص و طبیعی راش شرقی به مساحت ۴۹۰۰ مترمربع در ارتفاع ۱۴۷۶ متر از سطح دریا انجام گرفت (شکل ۱). میانگین شیب توده مورد نظر ۲۰ تا ۲۵ درصد و به‌سمت شمال است. حدود ۱۰ درصد از زیراشکوب توده توسط گونه‌های علفی فرفیون (*Euphorbia*)، کوله‌خاس (*Ilex spinigera*)، بنفشه (*Viola odorata*)، آسپرولا (*Asperula odorata*)، سانیکولا (*Sanicula europaea*) و *Primula heterochroma* پوشیده شده است. تراکم درختان در توده ۱۸۸ درخت در هکتار با سطح مقطع ۵۱ مترمربع در هکتار، میانگین ارتفاع ( $\pm$  انحراف معیار) و قطر ( $\pm$  انحراف معیار) درختان به ترتیب ۲۹/۱ متر ( $\pm ۱۰/۳$ ) و ۵۱/۲ سانتی‌متر ( $\pm ۲۹/۱$ ) است. جهت باد غالب در طی دوره اندازه‌گیری از سمت جنوب و جنوب غرب بود. میانگین شاخص سطح برگ توده<sup>۱</sup> ۶ متر مربع/مترمربع است که در دوره برگردار به‌صورت فصلی با استفاده از دوربین (DHP, Canon EOS 6D digital camera) with a 180° fish-eye lens: Canon EF 8-15mm (f/4L) مجهز به عدسی چشم ماهی<sup>۲</sup> عکس‌برداری شد. عکس‌ها در آسمان ابری (Staelens, 2006) در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۳۹۶ گرفته شد. سپس تصاویر دیجیتالی با استفاده از نرم‌افزار GLA<sup>۳</sup> version 2.0 تجزیه و تحلیل شده و مقادیر شاخص سطح برگ استخراج شد.

### روش پژوهش

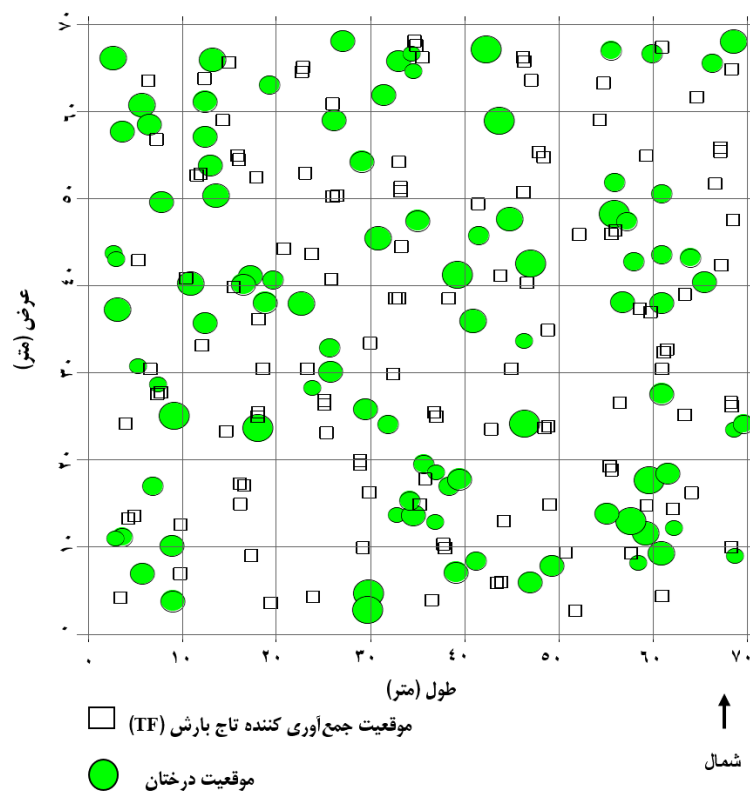
جمع‌آوری مقادیر باران (GR) و تاج‌بارش (TF) در

1. Leaf Area Index (LAI)
2. Fish eye
3. Gap Light Analyzer
4. Manual rain-collector
5. Wooden stake
6. Splash

اجرای طرح نمونه برداری تصادفی ساده طبقه بندی شده، در توده تحت مطالعه، در یک پلات به مساحت ۴۹۰۰ متر مربع (۷۰×۷۰ متر)، ۴۹ زیر پلات<sup>۲</sup> به ابعاد ۱۰×۱۰ متر جدا شده و در هر زیر پلات به صورت تصادفی دو نقطه نمونه برداری تاج بارش مشخص شدند. ۲۴ نقطه نمونه تاج بارش اضافی نیز در فاصله ۰/۵ متری از برخی نقاط نمونه برداری در جهت های تصادفی در زیر پلات ها مشخص شدند. موقعیت درختان و نقاط نمونه برداری تاج بارش در محیط نرم افزار Arc GIS 10.2 ترسیم شد (شکل ۲). مقادیر باران و تاج بارش بعد از هر رخداد بارندگی همزمان با استفاده از استوانه مدرج با دقت ۱ میلی متر اندازه گیری شد.

بیشتری نیاز بود و در صورت وقوع باران در کمتر از فاصله زمانی یاد شده، مجموع بارندگی ها، یک رخداد باران در نظر گرفته شد (Gómez et al., 2002).

به منظور ارزیابی توزیع مکانی تاج بارش، نقاط نمونه برداری تاج بارش به صورت طرح تصادفی ساده طبقه بندی شده در زیر تاج پوشش توده پراکنده شدند. طرح تصادفی ساده طبقه بندی شده نسبت به طرح های شبکه<sup>۱</sup> و تصادفی ساده به منظور پیش بینی توزیع مکانی دارای مزیت بیشتری است. طرح نمونه برداری تصادفی ساده طبقه بندی شده، پراکنش بیشتری از نقاط را در مکان نمونه برداری فراهم می آورد و برآوردهای بدون اریبی از میانگین مکانی متغیر مورد نظر تولید می کند (Zimmermann & Zimmermann, 2014). برای



شکل ۲- موقعیت قرارگیری درختان، جمع آوری کننده های تاج بارش (TF)، و طرح شبکه نمونه برداری در زیر تاج پوشش توده راش شرقی (*Fagus orientalis*). دایره های توپر سبز رنگ درختان را نشان می دهند. ابعاد مختلف دایره ها نشان دهنده قطر درختان در ارتفاع برابر سینه (DBH) است. مربع های سفید در هر زیر پلات جمع آوری کننده ها در نقاط نمونه برداری تاج بارش را نشان می دهند.

1. Grid
2. Subplot

بزرگ‌تر، نشان‌دهنده ساختار فضایی گسترده‌تر است. این گسترش موجب افزایش محدوده مجازی می‌شود که می‌توان از داده‌های آن برای تخمین مقدار متغیر ناحیه‌ای در نقطه مجهول استفاده کرد. برای تشخیص ناهمسانگردی، ابتدا واریوگرام در جهت‌های مختلف رسم و سپس واریوگرام‌های متعلق به جهت‌های مختلف مقایسه می‌شوند. به‌طور معمول، واریوگرام را می‌توان در هشت جهت اصلی جغرافیایی نسبت به افق ترسیم کرد. به‌طور کلی اگر تغییرات دامنه تأثیر و سقف واریوگرام در همه جهت‌ها یکسان باشد، واریوگرام را همسانگرد و تمام‌جهته<sup>۱</sup> می‌نامند (Webster & Oliver, 2007). نسبت  $C/(C+C_0)$  معیار ارزیابی پیوستگی مکانی است. هنگامی که  $C/(C+C_0)$  کمتر از ۲۵ درصد، بین ۲۵-۷۵ درصد و بیش از ۷۵ درصد باشد، متغیر منطقه‌ای به ترتیب دارای ساختار مکانی ضعیف، متوسط و قوی است (Vieira et al., 2010). برای بررسی جهت ناهمسانگردی (تغییرات همبستگی مکانی با جهت)، از واریوگرام سطحی<sup>۲</sup> استفاده شد (Webster & Oliver, 2007). سپس به‌منظور پیش‌بینی تاج‌بارش در نقاط فاقد نمونه‌برداری با توجه به ساختار مکانی متغیر و نبود روند در داده‌ها از روش کریجینگ معمولی<sup>۳</sup> استفاده شد (Webster & Oliver, 2007). برای اطمینان از صحت پیش‌بینی از روش اعتبارسنجی متقابل استفاده شد. برای همه نقاط، اعتبارسنجی متقابل به‌صورت جداگانه یک نقطه را حذف و مقدار آن را با استفاده از داده‌های باقی‌مانده پیش‌بینی می‌کند و سپس مقادیر اندازه‌گیری‌شده و پیش‌بینی‌شده مقایسه می‌شود. در کل هدف اعتبارسنجی متقابل، کمک به تصمیم‌گیری آگاهانه درباره این است که مدل به‌کاربرده‌شده تا چه اندازه پیش‌بینی دقیق‌تری را ارائه می‌دهد که در این تحقیق، اعتبارسنجی متقابل برای ارزیابی بهترین پیش‌بینی با استفاده از معیار خطای استاندارد (SE) انجام گرفت.

### الگوی تغییرات مکانی تاج‌بارش (TF)

در این تحقیق برای بررسی الگوهای مکانی و چگونگی توزیع تاج‌بارش از روش زمین‌آمار استفاده شد. آنالیزهای زمین‌آمار برای ترسیم واریوگرام، درون‌یابی و رسم نقشه در محیط نرم‌افزار GS+ version 5.1.1 انجام گرفت. واریوگرام تجربی، ابزاری برای نمایش پیوستگی مکانی تاج‌بارش براساس واریانس داده است، (Keim et al., 2005). در تحقیق حاضر، واریوگرام تجربی با استفاده از فرمول تعریف‌شده توسط David (1970b) محاسبه شد:

رابطه<sup>۱</sup>

$$2\gamma(h) = \frac{1}{N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} \{z(x_i) - z(x_i + h)\}^2,$$

$\hat{\gamma}(h)$  مقدار واریوگرام برای تعداد  $N$  جفت نمونه است که با فاصله  $h$  (گام یا Lag) از یکدیگر جدا شده‌اند  $Z(x_i)$  و  $Z(x_i + h)$  نیز مقادیر متغیر ناحیه‌ای (در این تحقیق، مقدار تاج‌بارش) در نقاط  $i$  و  $i+h$  هستند (Lark, 2000).

قبل از محاسبه واریوگرام تجربی، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از نمودار هیستوگرام و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی، و در صورت ضرورت، تبدیل‌های لازم برای نرمال کردن داده‌ها انجام گرفت. وجود یا نبود داده‌های پرت و روند، بررسی شد. وجود روند در داده‌ها از شکل واریوگرام تشخیص داده شد، به‌طوری‌که نرسیدن واریوگرام به سقف مشخصی، بر وجود روند در داده‌ها دلالت دارد (Webster & Oliver, 2007). بعد از غربالگری داده‌ها، مدل نظری مناسب از بین مدل‌های سقفدار واریوگرام انتخاب شد. شکل مدل واریوگرام، درجه پیوستگی مکانی را توصیف می‌کند. پارامترهای مدل شامل دامنه تأثیر  $(A_0)$ ، سقف  $(C+C_0)$  و اثر قطعه‌ای  $(C_0)$  است. بدیهی است که دامنه تأثیر

1. Omni directional
2. Surface variogram
3. Ordinary Kriging

نشان داد که تاج‌بارش با مقدار تجمعی (انحراف معیار)  $392/2$  میلی‌متر ( $\pm 24/7$ ) در فصل پاییز بیشترین، و در فصل بهار با مقدار تجمعی (انحراف معیار)  $57/2$  میلی‌متر ( $\pm 19/1$ ) کمترین مقدار است (جدول ۱).

میانگین شاخص سطح برگ (LAI) (درصد ضریب تغییرات) و درصد روشنۀ تاج‌پوشش (درصد ضریب تغییرات) توده راش بررسی شده در فصل تابستان به ترتیب  $6$  مترمربع / مترمربع ( $13/7$  درصد) و  $6/2$  درصد ( $20/2$  درصد)، و در فصل پاییز و بهار به ترتیب  $5$  مترمربع / مترمربع ( $14/5$  درصد) و  $7/6$  درصد ( $17/7$ ) و  $4/5$  مترمربع / مترمربع ( $14/1$  درصد) و  $7/9$  درصد برآورد شد و اختلاف فصل تابستان با دو فصل بهار و پاییز در سطح  $99$  درصد معنی‌دار بود (independent t-test,  $t=9.65$ ,  $P<0.001$ ).

نقاطی از نمونه‌برداری تاج‌بارش که مقدار تاج‌بارش بیش از  $100$  درصد باران باشد نقطه لکه داغ<sup>۱</sup> در نظر گرفته می‌شود. در این تحقیق برای استخراج نقاط لکه داغ از آنالیز Getis Ord Hot-spot در نرم افزار Arc GIS 10.2 در سه سطح اطمینان ( $\alpha=0.1, 0.05, 0.01$ ) با استفاده از مفهوم رابطه معکوس فاصله مکانی استفاده شد (Getis & Ord, 1992).

## نتایج

### تاج‌بارش (TF) و شاخص سطح برگ (LAI)

در طول دوره تحقیق (اردیبهشت ۱۳۹۵ تا مهر ۱۳۹۶) تاج‌بارش با مقدار تجمعی و میانگین به ترتیب  $644$  و  $29/3$  میلی‌متر اندازه‌گیری و محاسبه شد. توزیع مقادیر تاج‌بارش به تفکیک فصول برگ‌دار در طول دوره تحقیق

جدول ۱- عمق تجمعی، میانگین، و درصد تاج‌بارش (TF)، در طول دوره تحقیق (اردیبهشت ۱۳۹۵ تا مهر ۱۳۹۶) در توده راش خالص (*Fagus orientalis* L).

فصول	عمق تجمعی تاج‌بارش (میلی‌متر)	میانگین (میلی‌متر)	انحراف معیار (میلی‌متر)	درصد از بارندگی کل
بهار	$57/2$	$19/1$	$\pm 16/1$	$8/8$
تابستان	$200/2$	$22/2$	$\pm 15/4$	$30/9$
پاییز	$392/2$	$39/2$	$\pm 24/7$	$59/6$

بودند. دامنه تأثیر واریوگرام در فصل تابستان ( $8$  متر) بیشتر از دو فصل بهار ( $2/1$  متر) و پاییز ( $7/2$  متر) مشاهده شد (جدول ۲).

با ترسیم واریوگرام‌های سطحی و مقارن بودن آنها در هر سه فصل بهار، تابستان و پاییز (شکل ۳) و بررسی واریوگرام در جهت‌های مختلف، نبود ناهمسانگردی در توده تحت بررسی مشاهده شد، در نتیجه مدل نظری مناسب بر واریوگرام همسانگرد یا تمام‌جهته برازش داده شد (شکل ۴).

### ساختار مکانی تاج‌بارش

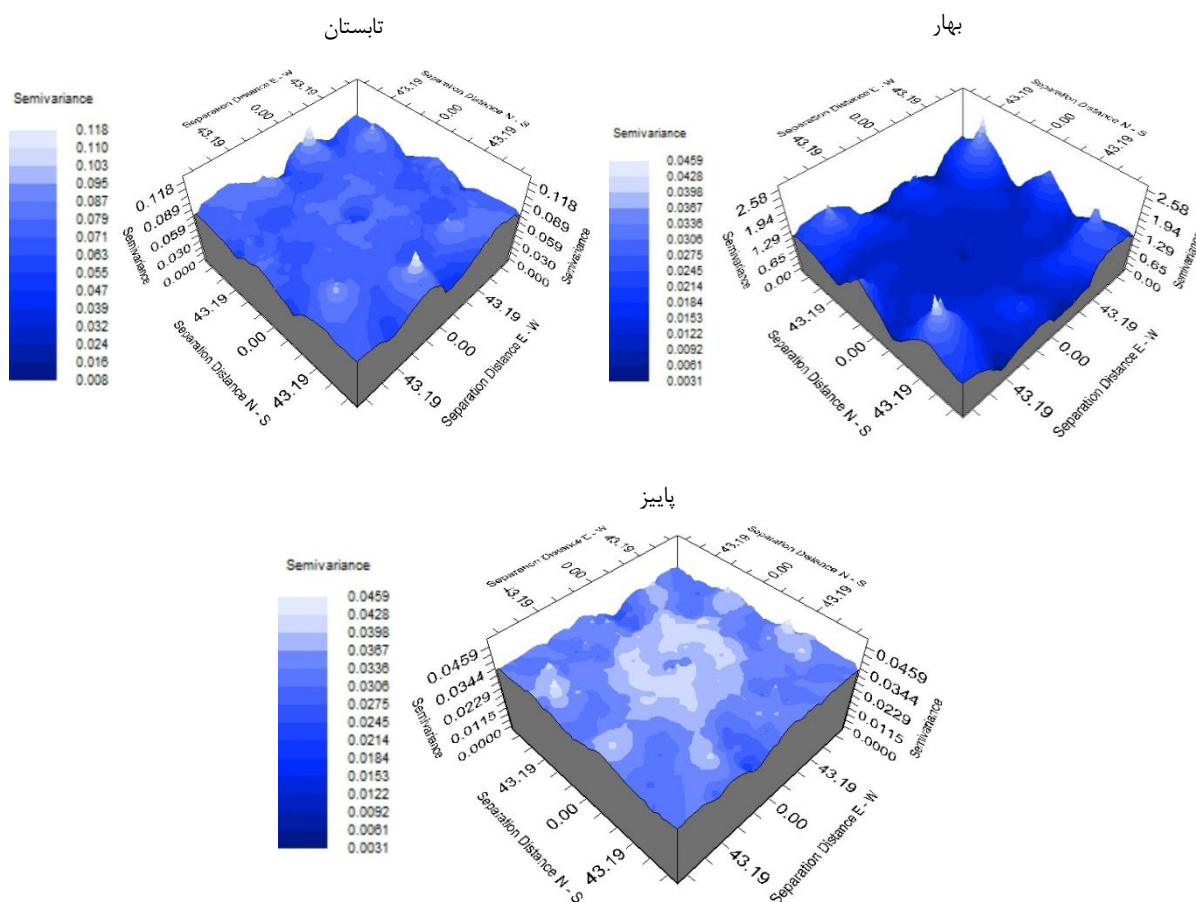
تجزیه و تحلیل الگوی مکانی تاج‌بارش توسط واریوگرام، ساختار مکانی قوی تاج‌بارش (متغیر منطقه‌ای) در زیر تاج‌پوشش راش را در سه فصل بهار، تابستان و پاییز در طی دوره پژوهش نشان داد (جدول ۲). با توجه به کم بودن مقادیر SE و RSS و زیاد بودن مقدار  $r^2$  برای فصل بهار مدل نمایی و فصل‌های تابستان و پاییز مدل کروی بهترین مدل‌های برازش داده‌شده بر واریوگرام‌های تجربی تاج‌بارش

1. Hotspot point

جدول ۲- پارامترهای واریوگرام الگوی مکانی تاجبارش در سه فصل بهار، تابستان و پاییز در طی دوره تحقیق در توده راش خالص (*Fagus orientalis*)

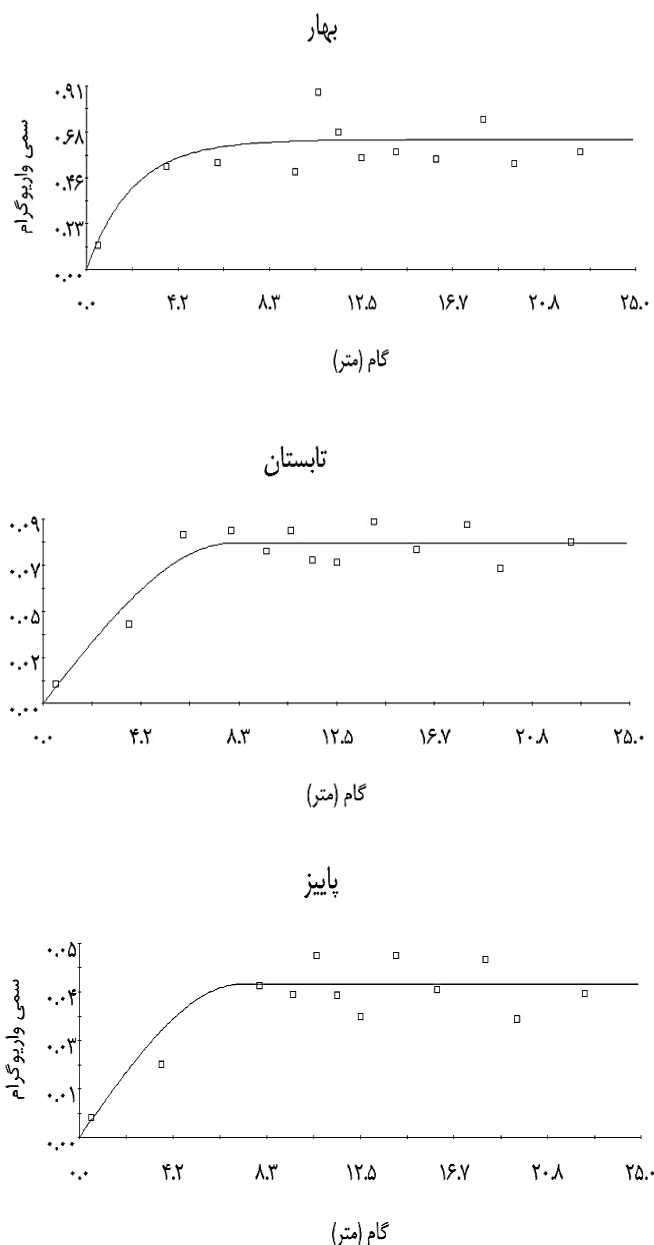
فصول	واریوگرام	اثر قطعه‌ای (C <sub>0</sub> )	سقف (C <sub>0</sub> +C)	دامنه تأثیر (A <sub>0</sub> , m)	ساختار مکانی* (%)	R <sup>2</sup> **	RSS**	مدل	SE***
بهار	همسانگرد	۰	۰/۶۴	۲/۱	۹۹	۰/۵۴	۰/۲۳	نمایی	۰/۱۸۷
تابستان	همسانگرد	۰	۰/۰۸	۸	۸۸	۰/۸۵	۸/۵۰۶E-۰۴	کروی	۰/۱۲۷
پاییز	همسانگرد	۰	۰/۰۴	۷/۲	۹۹	۰/۷۰	۵/۵۲۰E-۰۴	کروی	۰/۱۳۸

\*درصد ساختار مکانی =  $[C/(C+C_0)] \times 100$  \*\* مقادیر کمتر RSS و بیشتر R<sup>2</sup> نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن مدل تجربی است. \*\*\* خطای استاندارد ضریب رگرسیون در اعتبارسنجی متقابل.



شکل ۳- نقشه واریوگرام‌های سطحی تاجبارش در جهت‌های شرقی - غربی و شمالی - جنوبی در سه فصل بهار، تابستان و پاییز نشان‌دهنده نبود ناهمسانگردی تاجبارش در توده راش خالص (*Fagus orientalis*)





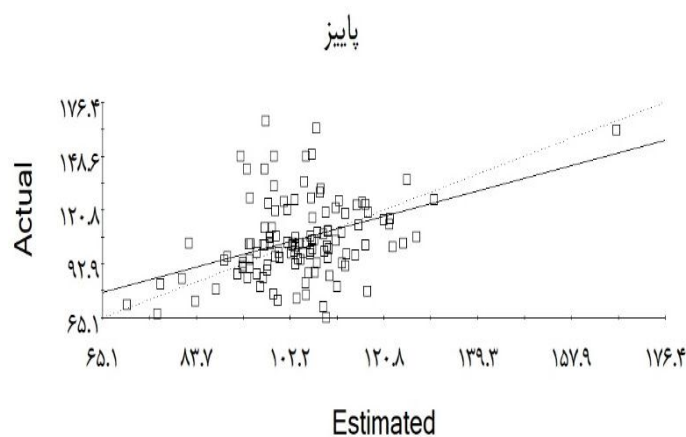
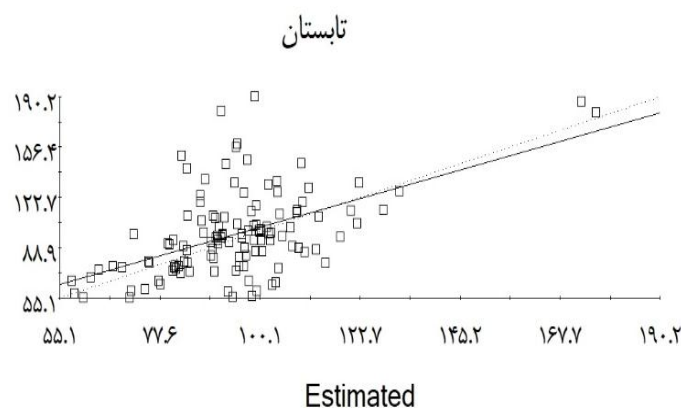
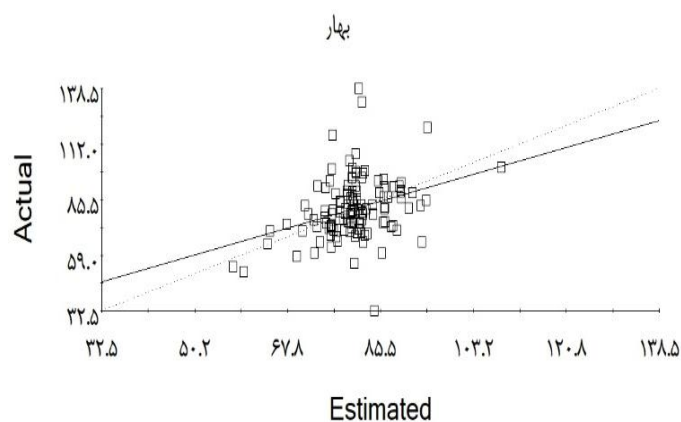
شکل ۴- سمی واریوگرام‌های تجربی همسانگرد و مدل‌های نظری برازش داده شده روی آنها در سه فصل بهار، تابستان و پاییز در توده راش خالص (*Fagus orientalis*).

سه فصل بهار، تابستان و پاییز، پیوستگی بیشتر مکانی تاج‌بارش در فصل تابستان نسبت به بهار و پاییز را نشان می‌دهد که در فصل بهار حالت تکه‌ای آن کاملاً مشخص است (شکل ۶).

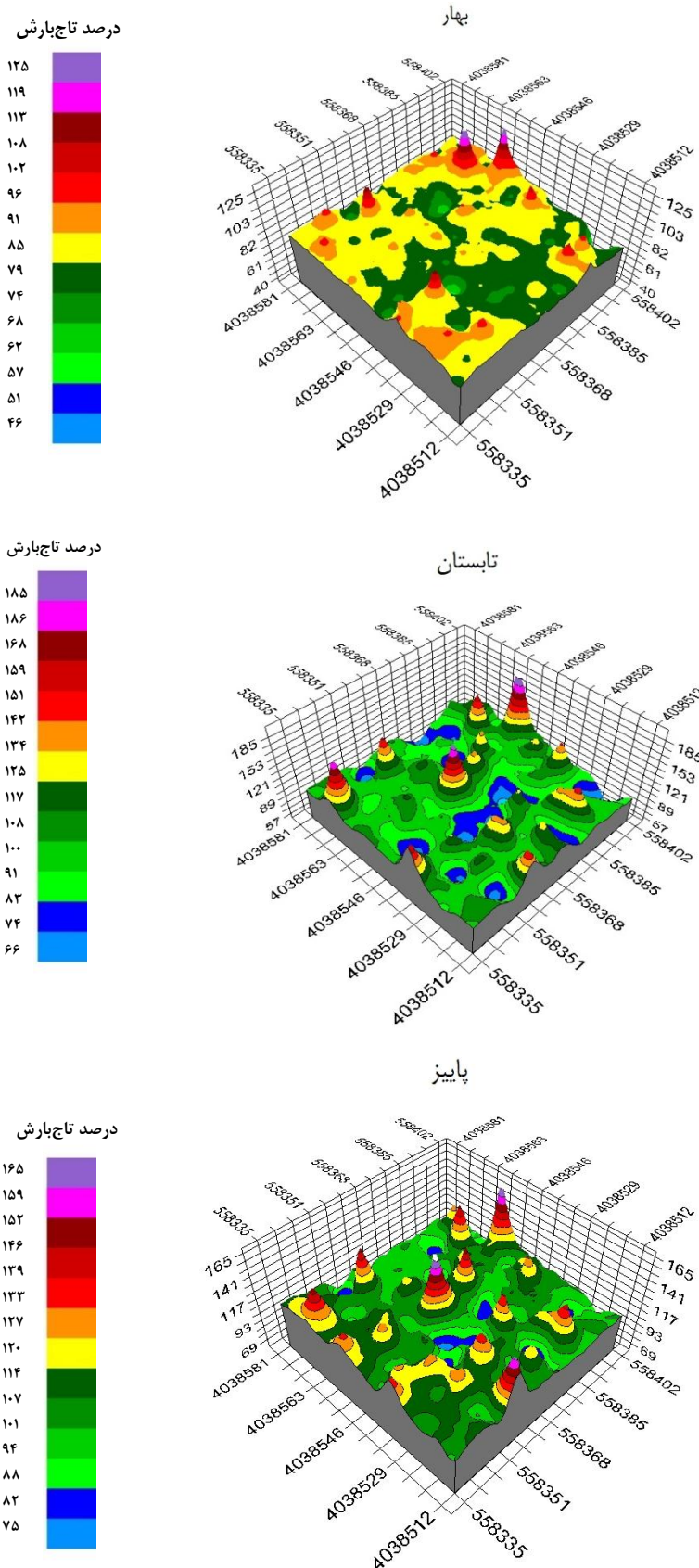
آنالیز لکه داغ تاج‌بارش در سه سطح اطمینان نیز نشان داد که تعداد نقاط لکه داغ که درصد تاج‌بارش

با توجه به اعتبارسنجی مدل درون‌یابی کریجینگ (شکل ۵) در فصل‌های بهار، تابستان و پاییز به منظور تولید نقشه پیوسته از تاج‌بارش در سطح توده، نقاط فاقد نمونه‌برداری برآورد شدند و نقشه پیوسته‌ای از تغییرات مکانی تاج‌بارش در فصل‌های برگ‌دار تولید شد (شکل ۶). نقشه‌های درون‌یابی شده کریجینگ در

بیش از صد درصد دارند در فصل تابستان که دامنه تأثیر پیوستگی مکانی بیشتری هم داشته، بیشتر (۱۰) است (جدول ۳). از نقاط لکه داغ دو فصل بهار (۶) و پاییز (۸) بوده



شکل ۵- اعتبارسنجی متقابل (Cross validation) و رابطه بین مقادیر تاج‌بارش اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده توسط مدل در روش کریجینگ در سه فصل بهار، تابستان و پاییز در طول دوره تحقیق در توده راش خالص (*Fagus orientalis*)



شکل ۶- نقشه درون‌یابی تاج‌بارش به روش کریجینگ معمولی نشان‌دهنده الگوی مکانی تاج‌بارش در سه فصل بهار، تابستان و پاییز در توده راش خالص (*Fagus orientalis*)

جدول ۳- تعداد نقاط لکه داغ تاج‌بارش در سه فصل بهار، تابستان و پاییز در سه سطح اطمینان در توده راش خالص (*Fagus orientalis*)

فصول	تعداد نقاط لکه داغ در سه سطح اطمینان		
	$\alpha=0/01$	$\alpha=0/05$	$\alpha=0/1$
بهار	۱	۲	۳
تابستان	۴	۳	۳
پاییز	۰	۳	۵

### بحث

بیشتری نسبت به بهار و پاییز نشان داد که از دلایل آن می‌توان به کامل بودن تاج‌پوشش، درصد بیشتر LAI و تأثیر برگ‌ها بر پیوستگی الگوی مکانی تاج‌بارش اشاره کرد. به‌طوری که (Keim et al., 2005) در مطالعه پیوستگی مکانی تاج‌بارش در توده خزان‌کننده در دو فصل برگ‌دار و بی‌برگ، همبستگی مکانی در فصل بی‌برگ مشاهده نکردند. بنابراین تاج‌پوشش در افزایش پیوستگی مکانی تأثیر خواهد گذاشت و با توجه به اینکه در فصل بهار برگ‌ها به‌طور کامل توسعه نیافته‌اند و در فصل پاییز نیز برگ‌ها شروع به خزان می‌کنند و تراکم تاج‌پوشش کاهش می‌یابد و با توجه به یافته‌های این پژوهش درصد LAI بهار و پاییز کمتر از تابستان بوده است؛ بنابراین نتیجه به‌دست آمده دور از انتظار نیست.

با توجه به نتایج آنالیز لکه داغ تاج‌بارش، فراوانی نقاط لکه داغ در فصل تابستان که تاج‌پوشش کامل و درصد LAI بیشتر از دو فصل بهار و پاییز بوده است، بیشتر از فصل‌های دیگر است که می‌تواند تا حد زیادی به تاج‌پوشش (Robson et al., 1994) مرتبط باشد. در واقع نقاط لکه داغ تاج‌بارش، الگوی رفتاری زهکشی تاج‌پوشش را نشان می‌دهند (Gerrits et al., 2010; Hopp & McDonnell, 2011). از این رو در طول فصل‌های برگ‌دار که تاج‌پوشش کامل و LAI بیشتر است، شاخه‌ها و برگ‌ها به‌سمت پایین متمایل می‌شوند و چنان عمل می‌کنند که تاج‌بارش به‌راحتی به‌سمت پایین سقوط کند. نتایج آنالیز لکه داغ در

ساختار مکانی تاج‌بارش در زیر تاج‌پوشش راش در سه فصل بهار، تابستان و پاییز، پیوستگی مکانی زیادی را با دامنه‌های تأثیر به‌ترتیب ۲، ۸ و ۷ متر نشان داد. وجود ساختار مکانی نشان می‌دهد که تغییرات مکانی تاج‌بارش در محدوده مشخصی (دامنه تأثیر) به مقدار تاج‌بارش جمع‌آوری‌کننده‌های دیگر از لحاظ مکانی وابسته است (Gómez et al., 2002). (Keim et al., 2005) در بررسی ساختار مکانی تاج‌بارش در توده خزان‌کننده در فصل برگ‌دار، پیوستگی مکانی زیادی را در دامنه تأثیر ۳ تا ۱۰ متر نشان دادند. گزارش‌ها در مورد دامنه تأثیر و پیوستگی ساختار مکانی بسیار متفاوت است، که دلیل آن، تفاوت نوع گونه، ساختار تاج‌پوشش، حجم توده، روش نمونه‌برداری، سطح نمونه‌برداری، تعداد نمونه‌های تاج‌بارش و شرایط آب‌وهوایی است (Keim et al., 2005; Voss et al., 2016). Loescher (2002) همبستگی مکانی تاج‌بارش در جنگل گرمسیری در Casta Rica را با دامنه تأثیر ۴۳ متر گزارش کرد یا (Loustau (1992) هیچ همبستگی مکانی‌ای برای تاج‌بارش در توده کاج (*Pinus pinaster*) مشاهده نکرد. در تحقیق حاضر، مشاهده شد که دامنه تأثیر پیوستگی مکانی تاج‌بارش در توده طبیعی راش خالص در سه فصل بهار، تابستان و پاییز متفاوت است که ممکن است به دلیل تغییر شرایط آب‌وهوایی، درصد تاج‌پوشش و خصوصیات بارش باشد. تاج‌بارش در فصل تابستان پیوستگی

یاری خواهد کرد.

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تغییرات الگوی مکانی تاج‌بارش در سه فصل بهار، تابستان و پاییز در توده طبیعی و دست‌نخورده راش خالص بررسی شد. تاج‌بارش در زیر تاج‌پوشش توده راش الگوی تکه‌ای با پیوستگی مکانی در دامنه‌های ۲ تا ۸ متر را نشان داد، که بیشترین همبستگی مکانی در فصل تابستان مشاهده شد. افزایش LAI در فصل تابستان را می‌توان یکی از دلایل همگنی بیشتر تاج‌بارش عنوان کرد. با افزایش پیوستگی مکانی در تابستان، تعداد نقاط لکه داغ نیز افزایش یافت که مرتبط با LAI و برگ‌های کاملاً توسعه‌یافته در فصل تابستان هستند که به صورت قیف عمل می‌کنند و موجب هدایت تاج‌بارش به پایین می‌شوند. این پژوهش نشان داد که تغییرات تاج‌بارش در توده‌های طبیعی دست‌نخورده از الگوی معینی پیروی می‌کنند و در فواصل معین پیوستگی دارند که با استفاده از روش زمین‌آمار این تغییرات پیوسته به خوبی مشاهده شد. چنانچه در اثر بهره‌برداری، تخریب یا هر گونه عامل طبیعی از جمله بادافتادگی درختان، ریشه‌کن شدن یا خشکیدگی در این عرصه‌های طبیعی آشفستگی رخ دهد، الگوی تغییرات هیدرولوژیکی در توده از حالت پیوسته خارج می‌شود، که بر دیگر خصوصیات توده از جمله مشخصات خاک و تغییرات شیمیایی و عناصر غذایی منتقل شده به خاک تأثیر خواهد گذاشت. پراکنش الگوی مکانی تاج‌بارش، به مدیران جنگل در اجرای عملیات پرورشی به منظور مدیریت بهینه توده‌های جنگلی یاری خواهد رساند تا درک بهتری از پراکنش مکانی تاج‌بارش به کف جنگل از لحاظ دسترسی خاک جنگل به آب و مواد غذایی داشته باشند.

تحقیق حاضر همسو با یافته‌های (Yousefi et al. 2018) است؛ آنان بیان کردند که فراوانی نقاط لکه داغ در فصل برگ‌دار در توده پهن‌برگ آمیخته در جنگل‌های هیرکانی، بیشتر از فصل بی‌برگ است. هرچه تغییرپذیری تاج‌بارش در سطح عرصه کمتر و پیوستگی مکانی بیشتر باشد، نشان‌دهنده این است که عوامل آشفته‌کننده در سطح توده، ناشی از بادافتادگی درختان، ریشه‌کن شدن درختان یا تغییر شیب و توپوگرافی در عرصه، کمتر است و در نتیجه، تغییرپذیری خصوصیات شیمیایی خاک که وابسته به مقدار تاج‌بارش است نیز کمتر است و پیوستگی مکانی بیشتری دارد.

از آنجا که تاکنون توده طبیعی راش خالص در مطالعه حاضر، در معرض بهره‌برداری و دخالت قرار نگرفته و دارای سطح همگن‌تری نسبت به توده‌های جنگلی ناخالص و بهره‌برداری شده است، وجود پیوستگی مکانی تاج‌بارش در فصل‌های برگ‌دار در یک توده راش می‌تواند شاهدهی بر نبود دخالت در توده، همگن بودن توده و آشفستگی کم ناشی از عوامل طبیعی و انسانی در سطح توده باشد که روش زمین‌آمار با طراحی نمونه برداری تصادفی طبقه‌بندی شده به همراه نقاطی با فواصل کوتاه به خوبی این پیوستگی مکانی را نشان داده است. با استفاده از آنالیز مکانی و تهیه نقشه‌های الگوی تاج‌بارش، می‌توان تغییرات الگوی پراکنش تاج‌بارش در یک توده را در طول زمان تشخیص داد. این ابزار به ما در کشف ارتباط الگوهای مکانی تاج‌بارش با عوامل محیطی، و معنای این ارتباط‌ها و اینکه چه اقداماتی باید انجام گیرد، کمک می‌کند. درک الگوهای مکانی تاج‌بارش توده‌های طبیعی و دست‌نخورده به مدیران جنگل و جنگل‌شناسان در مدیریت بهینه و بهبود عملیات پرورشی در دیگر توده‌های جنگلی با شرایط آب‌وهوایی مشابه و با در نظر گرفتن فرایندهای هیدرولوژیکی

## References

- Abbasian, P., Attarod, P., Sadeghi, S.M., Van Stan, J.T., & Hojjati, S.M. (2015). Throughfall nutrients in a degraded indigenous *Fagus orientalis* forest and a *Picea abies* plantation in the of North of Iran. *Forest Systems*, 24 (3), 1-10.
- Ahmadi, M., Attarod, P., & Bayramzadeh, V. (2011). Rainfall Redistribution by an Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Forest Canopy in the Caspian Forest, North of Iran. *Journal of Agricultural and Sciences Technology*, 13,1105-1120.
- Alvankar, S.R., Nazari, F., & Fattahi, A. (2017). The effect of climatr chang on intensity and Drought return period in Iran. *Journal of spatial analysis of environmental hazards*, 2, 99-120.
- Arnell, N.W., Liu, C., Compagnucci, R., da Cunha, L., Hanaki, K., Howe, C., Mailu, G., Shiklomanov, I., & Stakhiv, E. (2001). *Hydrology and water resources*. Climate Change: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 191- 234.
- Carlyle-Moses, D., Laureano, J.F., & Price, A. (2004). Throughfall and throughfall spatial variability in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico. *Journal of Hydrology*, 297 (1),124-135.
- David, M. (1970). *The geostatistical estimation of porphyry type deposits and scale factor problems*. In: Proceedings, Pribram Mining Symposium. Pribram.
- Gerrits, A.M.J., Pfister, L., Savenije, H.H.G. (2010) Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. *Hydrological Process*, 24, 3011–3025.
- Getis, A., & Ord, J.K. (1992). The analysis of spatial associataion by use of distance statistics. *Geographical Analysis*, 24, 189–206.
- Gómez, J., Vanderlinden, K., Giráldez, J., & Fereres, E. (2002). Rainfall concentration under olive trees. *Agricultural and Forest Meteorology*, 55 (1), 53-70.
- He, Z.B., Yang, J.J., Du, J., Zhao, W.Z., Liu, H., & Chang, X.X. (2014). Spatial variability of canopy interception in a spruce forest of the semiarid mountain regions of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 188, 58-63.
- Hopp, L., McDonnell, J.J. (2011). Examining the role of throughfall patterns on subsurface stormflow generation. *Journal of Hydrology*, 409, 1–2.
- Houghton, R.A., & Skole, D.L. (1990). *Carbon*. In: Turner BL II et al (eds) The earth as transformed by human action. Cambridge University Press, Cambridge, pp 393–408.
- Huntington, T.G. (2006). Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319 (1), 83-95.
- John, R., Dalling, J.W., Harms, K.E., Yavitt, J.B., Stallard, R.F., Mirabello, M., Hubbell, S.P., Valencia, R., Navarrete, H., Vallejo, M., & Foster, R.B. (2007). *Soil nutrients influence spatial distributions of tropical tree species*. *PNAS*, 104, 864–869.
- Kaspari, M. & Weiser, M.D. (2000). Ant activity along moisture gradients in a neotropical forest. *Biotropica*, 32, 703–11.
- Keim, R.F., Skaugset, A.E., & Weiler, M. (2005). Temporal persistence of spatial patterns in throughfall. *Journal of Hydrology*, 314 (1), 263-274.
- Lark, R. (2000). A comparison of some robust estimators of the variogram for use in soil survey. *European Journal of Soil Sciences*, 51 (1), 137-157.
- Levia, D.F., & Frost E.E. (2006). Variability of throughfall volume and solute inputs in wooded ecosystems. *Progress in Physical Geography*, 30 (5), 605-632.

- Loescher, H.W., Powers, J.S., & Oberbauer, S.F. (2002). Spatial variation of throughfall volume in an old-growth tropical wet forest, Costa Rica. *Journal of Tropical Ecology*, 18 (3), 397-407.
- Loustau, D., Berbigier, P., Granier, A., & Moussa, F.E.H. (1992). Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy. *Journal of Hydrology*, 138 (3-4), 449-467.
- Marvie Mohadjer, M. (2014). *Slviculture*. University of Tehran press. 453 pages.
- Rahmani, R., Sadoddin, A., & Ghorbani, S. (2011). Measuring and modelling precipitation components in an Oriental beech stand of the Hyrcanian region, Iran. *Journal of Hydrology*, 404 (3), 294-303.
- Robson, A., Neal, C., Ryland, G., & Harrow, M. (1994). Spatial variations in throughfall chemistry at the small plot scale. *Journal of Hydrology*, 158 (1-2), 107-122.
- Staelens, J., De Schrijver, A., Verheyen, K., & Verhoest, N.E. (2006). Spatial variability and temporal stability of throughfall deposition under beech (*Fagus sylvatica* L.) in relationship to canopy structure. *Environmental Pollution*, 142 (2), 254-263.
- Voss, S., Zimmermann, B., & Zimmermann, A. (2016). Detecting spatial structures in throughfall data: The effect of extent, sample size, sampling design, and variogram estimation method. *Journal of Hydrology*, 540, 527-537.
- Webster, R., Oliver, M. (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists*. (2nd edn) John Wiley & Sons. Chichester, UK.
- Yousefi, S., Sadeghi, S.H., Mirzaee, S., van der Ploeg, M., Keesstra, S., Cerdà, A. (2018). Spatio-temporal variation of throughfall in a hyrcanian plain forest stand in Northern Iran. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 66(1), 97-106.
- Zimmermann, A., & Zimmermann, B. (2014). Requirements for throughfall monitoring: the roles of temporal scale and canopy complexity. *Agricultural and Forest Meteorology*, 189, 125-139.
- Zimmermann, A., Germer, S., Neill, C., Krusche, A.V., & Elsenbeer, H. (2008). Spatio-temporal patterns of throughfall and solute deposition in an open tropical rain forest. *Journal of Hydrology*, 360 (1), 87-102.



Research Article

**Seasonal variability of throughfall spatial pattern under a natural  
*Fagus orientalis* stand using geostatistical method**

**A. Dezhban<sup>1</sup>, P. Attarod<sup>2\*</sup>, Gh. Zahedi Amiri<sup>3</sup>, T. G. Pypker<sup>4</sup>, K. Nanko<sup>5</sup>**

<sup>1</sup> Candidate Ph.D of Silviculture and Forest Ecology, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>2</sup> Associate Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>3</sup> Prof., Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

<sup>4</sup> Associate Prof., Department of Natural Resource Sciences, Thompson Rivers University, British Columbia, Canada

<sup>5</sup> Senior Researcher, Department of Disaster Prevention, Meteorology and Hydrology, Forestry and Forest Products Research Institute, Japan

(Received: 12 March 2018, Accepted: 5 May 2018)

**Abstract**

The spatial heterogeneity of throughfall (TF) is a critical component of the hydrological cycle. The aim of this study was to identify TF spatial pattern variability for leaf-out seasons in a natural beech (*Fagus orientalis* L.) stand located in the Caspian forests using geostatistical method. The rain-collectors used for measuring TF (n= 122) were distributed in a stratified simple random sampling design under the canopy. Measurements were carried out in 2016, and 2017; spring, summer, and autumn. Variograms indicated strong structure of spatial continuous TF pattern beneath the canopy for all seasons when the trees are in leaf. The spherical model was the best fitted model to empirical variograms for summer and fall and exponential model for spring season. The effective range of variogram for spring, summer, and fall were 2, 8, and 7 m, respectively. The leaf area index (LAI) of summer (6 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) was significantly higher than spring (4.5 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) and fall (5 m<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>) seasons. The number of hotspot points was estimated to be the highest in summer (10) and lowest in spring (6). TF spatial variability was attributed to the climate variability and changeability of LAI characteristics, in particular. The LAI increasing may be a claim to increase the spatial continuity of TF and hotspot points observed in summer. This research properly displays the spatial pattern of TF for different seasons by geostatistical method that could be successfully applied for predicting and mapping the changes in the behavior of rainfall affected by LAI under the canopy of a natural beech stand. Fully understanding the spatial distribution of rainfall within forests will definitely help the managers to optimize the management of these stands in terms of soil water and nutrition availability. The outcomes of this study would help future investigators for providing the appropriate sampling strategies in the beech stand under similar climate conditions.

**Key words:** *Fagus orientalis*, Caspian forests, Spatial pattern, Throughfall, Variography.