



Spatial variability of throughfall pattern in natural and afforested stands of the Zagros forests: A case study in Choqasabz forest park, Ilam

Esmail Allahinezhad¹, Mehdi Heydari^{1*}, Javad Mirzaei¹, Omid Fathizadeh²

1- Department of Forestry, Faculty of Agriculture, University of Ilam, Ilam, Iran

2- Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ahar, University of Tabriz Ahar, Iran

* Corresponding author: m.heidari@ilam.ac.ir

(Received: 02 February 2024

Revised: 04 May 2024

Accepted: 09 July 2024)

Extended Abstract

Introduction: In forest ecosystems, throughfall, a pivotal component of the hydrological cycle, exhibits spatial variations that have received scant attention. The redistribution of rain beneath the forest canopy gives rise to distinct rainfall patterns, resulting in substantial spatial disparities across diverse forest ecosystems. Forests assume a pivotal role in the water balance of the Zagros ecosystem. However, the increasing trend of afforestation using both native and non-native species, particularly fast-growing ones, necessitates an assessment of its impact on rainfall and its components compared to natural stands. This assessment is crucial as it affects the water cycle significantly. The present study aims to estimate the spatial variability of throughfall in natural stands of Persian oak (*Quercus brantii*) and afforested areas with *Pinus eldarica* and *Cupressus arizonica* in Zagros forests, with a specific focus on Chaghasbez Forest Park in Ilam county.

Materials and methods: This study was conducted in Chaghasbez Forest Park in Ilam Province, with the aim of measuring rain components, including throughfall and stemflow, in stands of Persian oak, *Pinus eldarica* (Eldar pine) and *Cupressus arizonica* (Silver cedar). Rainfall was measured using five rain gauges located in the open space (outside the canopy) adjacent to the studied stands. Throughfall was measured using 27 collectors in Persian oak stands underneath the canopy, and 36 collectors in each Eldar pine and Silver cedar stand. To minimise measurement errors in throughfall at the stands, after every five rain events, four of the collectors were randomly relocated under the crown of the stand. The remaining collectors were stationed at fixed points throughout the study period. This approach increased the number of samples and reduced the measurement error of throughfall. Geostatistical methods were employed to investigate the spatial patterns and distribution of rainfall, and statistical analyses were conducted using GS+ software (version 5.1.1).

Results and Discussion: The mean throughfall depths for oak, Eldar pine, and Silver cedar were calculated as 207.32 mm, 129.21 mm, and 152.47 mm, respectively. The results indicate that the throughfall percentage of oak is higher than that of Eldar pine and Silver cedar. The average leaf area index (LAI) and the percentage of canopy gap of the studied stands were 1.4 m²/m² (CV= 53%) and 43.85% for Persian oak stands, 1.04 m²/m² (CV= 88.78 %) and 57.04% (CV= 46.26%) for Eldar pine, and 1.2 m²/m² (CV= 80.78%) and 54.71% (CV= 52.47%) for Silver cedar. The spatial pattern analysis of throughfall using variogram analysis revealed that under the canopy of Persian oak (RSS= 0.021, C0= 0.001, and r²= 0.51) and Silver cedar (RSS= 0.0, C0= 0.125, and r²= 0.92), the distribution is anisotropic with a strong spatial structure. Conversely, under the canopy of Eldar pine, the distribution exhibited isotropic characteristics with an average spatial structure (RSS= 0.102, C0= 0.54, and r²= 0.66). The analysis identified the exponential, linear, and spherical variogram models as the most suitable for Persian oak, Eldar pine, and Silver cedar, respectively.

Conclusion: This study found that the spatial continuity range of throughfall was estimated to be 10.8 metres in eldar pine, 8 metres in silver cedar, and 2.4 metres in Persian oak. A review of the literature revealed that the type of forest, tree density, and biomass can affect the spatial change and correlation structure of throughfall. Consequently, it is imperative to take into account the distinct characteristics of the forest type when investigating the spatial patterns of throughfall and their ecological ramifications. Subsequent research, which involves a comparison of the spatial correlation structure of throughfall in evergreen and deciduous forests, is expected to provide a more precise understanding of this subject.

Keywords: Persian oak, Spatial pattern, Throughfall Spatial Distribution, Variogram, Zagros forests

Citation: Allahinezhad, E., Heydari, M., Mirzaei, J., & Fathizadeh, O. (2025). Spatial variability of throughfall pattern in natural and afforested stands of the Zagros forests: A case study in Choqasabz forest park, Ilam. *Integrated Watershed Management*, 4(4), 66-80. doi: 10.22034/iwm.2024.2021757.1128

Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author(s), with publication rights granted to Integrated Watershed Management. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>).





تغییر الگوی مکانی تاج بارش توده‌های طبیعی و دست کاشت در جنگل‌های زاگرس (مطالعه

موردی: پارک جنگلی چغاسبز ایلام)

اسماعیل الهی‌نژاد^۱، مهدی حیدری^{۲*}، جواد میرزایی^۱، امید فتحی‌زاده^۲

۱- گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، ایران

۲- گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، اهر، ایران

* نویسنده مسئول: m.heidari@ilam.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۱/۱۳ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۲/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۱۹

چکیده مبسوط

مقدمه: در اکوسیستم‌های جنگلی، تاج‌بارش به‌عنوان یکی از اجزای اصلی چرخه هیدرولوژیکی دارای تغییرات مکانی است که به آن کمتر توجه شده است. توزیع مجدد باران در زیر تاج‌پوشش جنگل باعث ایجاد الگوهای تاج‌بارش می‌شود که تغییرات مکانی زیادی را به همراه دارد و از این نظر بین اکوسیستم‌های جنگلی مختلف، تفاوت وجود دارد. جنگل‌ها تأثیر مهمی بر بیلان آبی ناحیه رویشی زاگرس دارد. از طرف دیگر، نظر به انجام جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بومی و غیر بومی و ارجحیت بیشتر گونه‌های سریع‌الرشد به خصوص در سال‌های اخیر، لازم است اثر این جنگل‌کاری‌ها در مقایسه با توده‌های طبیعی بر باران و اجزای آن به‌عنوان یکی از عوامل مهم مؤثر بر چرخه آب بررسی شود. هدف از این مطالعه، برآورد تغییرپذیری مکانی تاج‌بارش در توده طبیعی شاخه‌زاد بلوط ایرانی (*Quercus brantii*) و جنگل‌کاری‌های کاج تهران (*Pinus eldarica*) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*) در ناحیه نیمه‌خشک زاگرس (پارک جنگلی چغاسبز، شهرستان ایلام) با استفاده از زمین‌آمار است.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در پارک جنگلی چغاسبز در استان ایلام انجام شد. در این مطالعه، مقدار اجزای باران شامل تاج‌بارش و ساقاب در توده‌های بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای اندازه‌گیری شدند. میزان بارندگی کل توسط پنج عدد جمع‌آوری کننده باران که در فضای باز (خارج از تاج‌پوشش) مجاور توده‌های مورد بررسی نصب شده بودند، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری تاج‌بارش به‌وسیله ۲۷ عدد جمع‌آوری کننده در توده بلوط ایرانی و ۳۶ عدد جمع‌آوری کننده در هر کدام از توده‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای انجام شد. به‌منظور کاهش میزان خطا در اندازه‌گیری تاج‌بارش در سطح توده چهار عدد از جمع‌آوری کننده‌ها بعد از هر پنج رخداد باران، جابه‌جا و در موقعیت دیگر در زیر تاج‌پوشش توده به صورت تصادفی قرار داده شدند. سایر جمع‌آوری کننده‌ها در کل دوره مطالعه در نقاط ثابت قرار داشتند. با تغییر مکان برخی از باران‌سنج‌ها بعد از هر باراندگی، تعداد نمونه‌ها افزایش و خطای اندازه‌گیری تاج‌بارش تقلیل پیدا می‌کند. از روش زمین‌آمار برای بررسی الگوهای مکانی و چگونگی توزیع تاج‌بارش استفاده شد. آنالیزهای آماری در محیط نرم افزار GS+ (version 5.1.1) انجام گرفت.

نتایج و بحث: در طول دوره مطالعه، تعداد ۲۰ رخداد بارندگی اندازه‌گیری شد. مجموع و متوسط رخدادهای باران در طول دوره مطالعه به ترتیب ۲۵۸/۲ میلی‌متر و ۱۲/۹۱ میلی‌متر به دست آمد. میانگین عمق تاج‌بارش برای بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای به ترتیب ۲۰۷/۳۲، ۱۲۹/۳۱ و ۱۵۲/۴۷ میلی‌متر محاسبه شد. نتایج این پژوهش نشان داد که درصد تاج‌بارش بلوط ایرانی، بیشتر از گونه‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای است. میانگین شاخص سطح برگ (LAI) (درصد ضریب تغییرات) و درصد روشن تاج‌پوشش (درصد ضریب تغییرات) توده‌های مورد مطالعه به ترتیب برای توده بلوط ایرانی ۱/۴ مترمربع/مترمربع (۵۳ درصد) و ۴۳/۸۵ درصد (۴۶/۱۴ درصد)، کاج تهران ۱/۰۴ مترمربع/مترمربع (۸۸/۷۸ درصد) و ۵۷/۰۴ درصد (۴۶/۲۶ درصد) و توده سرو نقره‌ای ۱/۲ مترمربع/مترمربع (۸۰/۷۸ درصد) و ۵۴/۷۱ درصد (۵۲/۴۷ درصد) برآورد شد. تجزیه و تحلیل الگوی مکانی تاج‌بارش با استفاده از آنالیز واریوگرام نشان داد که تاج‌بارش در زیر تاج‌پوشش دو توده بلوط ایرانی ($RSS = 0/021$ ، $C_0 = 0/001$ و $T^2 = 0/51$) و سرو نقره‌ای ($RSS = 0/001$ ، $C_0 = 0/125$ و $T^2 = 0/92$) همسانگرد با ساختار مکانی قوی و در زیر تاج‌پوشش کاج تهران ($RSS = 0/102$ ، $C_0 = 0/54$ و $T^2 = 0/66$) ناهمسانگرد با ساختار مکانی متوسط است. مناسب‌ترین مدل واریوگرامی برازش داده شده برای توده بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای به ترتیب از نوع نمایی، خطی و کروی بود.

نتیجه‌گیری: بر این اساس، محدوده پیوستگی مکانی تاج‌بارش در توده کاج‌تهران ۱۰/۸ متر، سرو نقره‌ای ۸ متر و در توده بلوط ایرانی ۲/۴ متر برآورد شد. مرور منابع نشان می‌دهد که نوع جنگل، تراکم درختان و زیست‌توده می‌تواند بر تغییر مکانی و ساختار همبستگی تاج‌بارش تأثیر بگذارد؛ بنابراین، در نظر گرفتن ویژگی‌های خاص نوع جنگل هنگام مطالعه الگوهای مکانی تاج‌بارش و پیامدهای اکولوژیکی آنها مهم است. تحقیقات بیشتر برای مقایسه ساختار همبستگی مکانی تاج‌بارش در جنگل‌های همیشه‌سبز و خزان‌کننده، بینش قطعی‌تری را در مورد این موضوع ارائه می‌کند.

واژه‌های کلیدی: بلوط ایرانی، توزیع مکانی تاج‌بارش، واریوگرام، جنگل‌های زاگرس

استناد: الهی‌نژاد، الف، حیدری، م، میرزایی، ج؛ و فتحی‌زاد، الف. (۱۴۰۳). تغییر الگوی مکانی تاج‌بارش توده‌های طبیعی و دست کاشت در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: پارک جنگلی چغاسبز ایلام). مدیریت جامع حوزه‌های آبخیز، ۴(۴)، ۸۰-۶۶.

حق چاپ:



حق چاپ برای نویسنده (گان) این مقاله محفوظ است. بر اساس قوانین انتشارات با دسترسی آزاد، تمام مطالعات چاپ شده در این نشریه به‌صورت آزاد در وبسایت نشریه برای عموم بدون پرداخت هزینه قابل‌دسترس است.

مقدمه

(2008). در چندین مطالعه نشان داده شده است که شرایط آب و هوایی از جمله مقدار باران، شدت و طول دوره بارندگی بر ناهمگنی مکانی تاج بارش اثر می‌گذارد (Llorens et al., 1997; Levia & Frost, 2006). ولی ساختار و معماری پایدار تاج پوشش در طولانی‌مدت، به عنوان مهمترین عامل کنترل‌کننده تغییرپذیری مکانی تاج پوشش پذیرفته شده است (Herwitz & Slye, 1992; Wullaert et al., 2009; Nanko et al., 2011; Dezhban et al., 2023). از طرف دیگر، نظر به انجام جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بومی و غیربومی و ارجحیت بیشتر گونه‌های سریع‌الرشد به خصوص در سال‌های اخیر در زاگرس، لازم است اثر این جنگلکاری‌ها در مقایسه با توده‌های طبیعی بر باران و اجزای آن از جمله تاج بارش به‌عنوان یکی از عوامل مهم مؤثر بر چرخه آب بررسی شود. همچنین آگاهی از مقدار اجزای بارش و توزیع مکانی آنها در زیر تاج پوشش، در مدیریت منابع آب و افزایش بازده هیدرولوژیک جنگلکاری‌ها برای انتخاب گونه مناسب، ضروری است (Sadeghi & Attarod, 2017).

این تحقیقات با تجمیع داده‌های داخلی و خارجی، به توسعه دانش در زمینه تغییرات مکانی تاج بارش و پایداری الگوهای آن کمک کرده و اساسی برای برنامه‌های مدیریت منابع طبیعی و حفاظت از محیط زیست می‌باشند و تحقیقات در مورد تغییرات مکانی تاج بارش و پایداری الگوهای آن در مقیاس کوچک (تک درخت) اهمیت بالایی دارند. در ادامه به تعدادی از تحقیقات داخلی و خارجی در این زمینه اشاره می‌شود. Fathizadeh و همکاران (۲۰۱۴) به بررسی تغییرات مکانی تاج بارش و الگوهای آن در یک ناحیه رویشی خاص از زاگرس پرداخته است. نتایج این تحقیق به تبیین الگوهای مختلف رشد و تحول درختان و تأثیرات آن بر محیط‌زیست کمک می‌کند. Fathizadeh و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی پایداری الگوهای تاج بارش در مقیاس کوچک پرداختند. نتایج آن نشان می‌دهند که الگوهای آبیاری و تغذیه درختان چگونه می‌توانند باعث پایداری طولانی‌مدت آنها شوند و در مطالعه‌ای

تغییرات الگوی مکانی تاج بارش در جنگل‌ها موضوعی مورد توجه زیست‌شناسان و محیط‌زیست‌دان‌هاست. با توجه به تغییرات اقلیمی و فعالیت‌های انسانی، الگوی مکانی تاج بارش در جنگل‌ها تحت تأثیر قرار می‌گیرد. تحقیقات نشان می‌دهند که افزایش دما، تغییرات در نظام بارندگی، و تخریب جنگل‌ها به‌عنوان عوامل اصلی مؤثر در تغییرات الگوی مکانی تاج بارش در جنگل‌ها هستند (Zhang et al., 2017; Zhao et al., 2023; Rostami et al., 2022). این تغییرات می‌توانند تأثیرات گسترده‌ای بر روی تنوع زیستی، فرآیندهای اکولوژیکی، و سلامت جنگل‌ها داشته باشند. برای مدیریت بهینه جنگل‌ها و حفظ تاج بارش، لازم است توجه ویژه‌ای به این تغییرات و اثرات آن‌ها داشته باشیم (Pan et al., 2011; Chazdon et al., 2016). توزیع مجدد باران در زیر تاج پوشش جنگل باعث ایجاد الگوهای تاج بارش می‌شود که تغییرات مکانی زیادی را به همراه دارد (Fathizadeh et al., 2021) و از این نظر بین اکوسیستم‌های جنگلی مختلف، تفاوت وجود دارد (Lloyd & Marques, 1988). الگوهای مکانی تاج بارش تأثیراتی در برهمکنش مواد غذایی خاک و گیاه، پراکنش درختان (John et al., 2007)، مدل‌سازی جریان آب و یون‌ها در جنگل دارد و آب باران و مواد محلول موجود در تاج بارش بر پوشش گیاهی، رطوبت خاک، واکنش شیمیایی مواد محلول خاک اثر دارد (Levia & Forest, 2006) و به همین دلیل، برای مطالعات اکوهیدرولوژی دارای اهمیت می‌باشد. برای درک کامل فرآیندهای توزیع باران و نیز تعیین دقیق جریان‌های هیدرولوژی سطح جنگل که دارای تغییرات مکانی و زمانی می‌باشد، تفکیک‌پذیری مکانی و زمانی تاج بارش در جنگل‌های طبیعی و جنگل‌کاری‌ها امری ضروری است. با توجه به اینکه مسیر عبور مواد غذایی محلول به جنگل، تاج بارش می‌باشد می‌توان با تعیین الگوهای مکانی تاج بارش، فرآیندهای موجود در خاک و کف جنگل را کنترل کرد (Zimmermann et al.,)

نقشه الگوهای فضایی تاج بارش در این توده‌های جنگلی ارزیابی خواهد شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

محل مطالعه: پارک جنگلی چغاسبز، استان ایلام (شکل ۱). آب‌وهوای منطقه معتدل کوهستانی با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد است. متوسط بارندگی سالانه ۵۸۸/۱۴ میلی متر بوده که کمترین میزان آن ۰/۱ میلی متر (تیرماه) و بیشترین میزان آن ۱۱۰/۹۵ میلی متر (بهمن‌ماه) است. متوسط دمای سالانه ۱۶/۹ درجه سانتیگراد است. دما در گرم‌ترین ماه (مردادماه) ۲۹/۷ درجه سانتیگراد و در سردترین ماه (بهمن‌ماه) ۵/۳ درجه سانتیگراد می‌باشد. این مطالعه در توده طبیعی شاخه‌زاد بلوط ایرانی و دو توده دست کاشت کاج تهران و سرو نقره‌ای ۳۰ ساله انجام شد (جدول ۱). فاصله کاشت در توده کاج تهران ۳-۴ متر و در توده سرو نقره‌ای ۴-۶ متر می‌باشد. مشخصات توده‌های مورد مطالعه شامل تعداد پایه‌ها، قطر برابر سینه، ارتفاع کل درخت، ارتفاع تاج درخت، مساحت تاج و حجم تاج درختان در قطعات نمونه ۴۰۰ مترمربعی اندازه‌گیری شد. درصد پوشش کف (لاشبرگ و پوشش علفی) برای سه توده بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای به ترتیب ۶۰، ۹۰ و ۵۰ درصد به دست آمد.

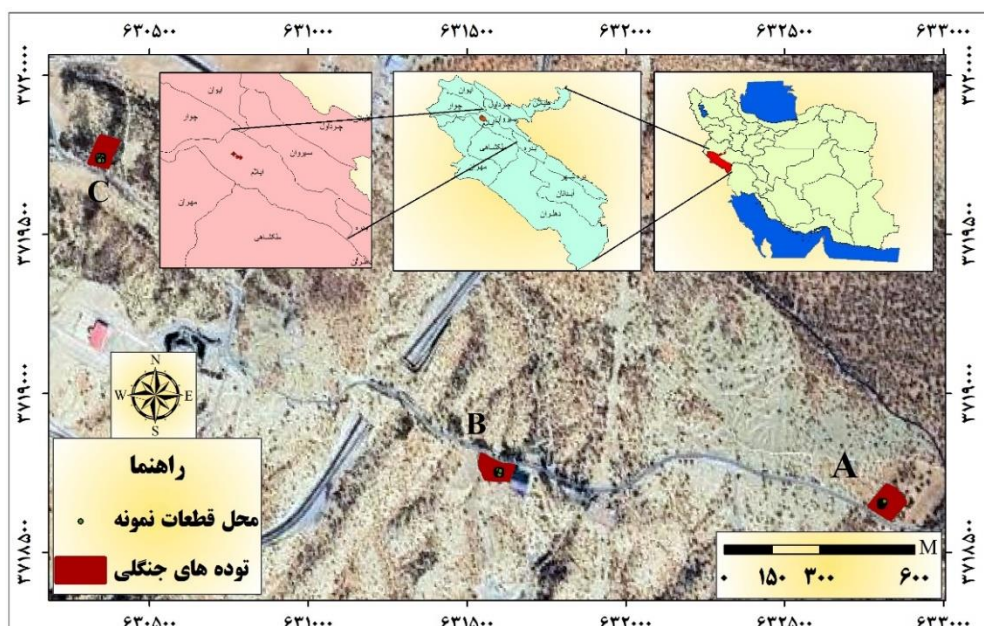
دیگر Fathizadeh و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر الگوهای تاج بارش در نواحی روستایی زاگرس پرداختند. نتایج این تحقیقات به درک بهتر از تأثیرات تغییرات آب و هوایی بر مکانیسم‌های رشد درختان و برنامه‌ریزی مناسب برای مدیریت آنها کمک می‌کند. در یک مطالعه توسط Hu و همکاران (۲۰۲۴)، اهمیت ساختار توده جنگلی بر تاج بارش و ساقاب توده‌های طبیعی و دست کاشت را بررسی کردند. نتایج نشان داد که توده‌های جنگلی پهن‌برگ به‌طور قابل توجهی نسبت به توده‌های سوزنی‌برگ دارای نرخ ساقاب بالاتری بودند. همچنین ساختار توده تأثیر اندکی بر تاج بارش داشت اما به‌طور قابل توجهی ساقاب را تحت تأثیر قرار داد. این مطالعات نه تنها به درک عوامل مؤثر بر تاج بارش کمک کردند، بلکه نقشه‌برداری دقیق‌تری از تغییرات الگویی آنها در طول زمان نیز ارائه دادند. اما در مقیاس بزرگ‌تر (در سطح توده) در ارتباط با توزیع مکانی تاج بارش و تخمین الگوها به‌ویژه در توده‌های شاخه‌زاد بلوط ایرانی، مطالعه‌ای انجام نشده است.

باتوجه به اهمیت درک توزیع فضایی تاج بارش در مدیریت منابع آب و جنگل، این تحقیق به بررسی تغییرات ساختار و همبستگی فضایی تاج بارش در زیر دو توده جنگل‌کاری شده (کاج تهران و سرو نقره‌ای) و یک توده طبیعی بلوط ایرانی می‌پردازد. همچنین، کارایی استفاده از روش زمین‌آمار کریجینگ برای تهیه

جدول ۱- میانگین (± انحراف معیار) خصوصیات توده‌های مورد مطالعه در پارک جنگلی چغاسبز ایلام

Table 1- Mean (± standard deviation) morphological characteristics of the studied stands in Choghasabz Forest Park, Ilam

گونه	ارتفاع از سطح دریا (متر)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر)	ارتفاع کل (متر)	ارتفاع تاج (متر)	مساحت تاج (مترمربع)	حجم تاج (مترمکعب)	تراکم (تعداد جست بلوط در قطعه نمونه 400 مترمربعی)
بلوط ایرانی <i>Quercus brantii</i>	1470	17.93(±1.5)	8.4(±1.4)	5.93(±1)	21.82(±5.9)	128.3(±50.9)	22
کاج تهران <i>Pinus eldarica</i>	1450	19.6(±2.2)	11.53(±1.3)	10.27(±1.1)	10.14(±2.8)	106.1(±40.6)	35
سرو نقره‌ای <i>Cupressus arizonica</i>	1360	19.37(±3)	9.73(±1.7)	9.1(±1.5)	12.94(±3.2)	118.2(±45.6)	18



شکل ۱- موقعیت توده‌های مورد مطالعه (A: بلوط ایرانی، B: کاج تهران و C: سرو نقره‌ای) در جنگل‌های زاگرس،

شهرستان ایلام

Figure 1- Locations of studied stands (A: *Quercus brantii*, B: *Pinus eldarica* and C: *Cupressus arizonica*) in Zagros forests, Ilam county

روش تحقیق

۲۰۱۴). چهار عدد از جمع‌آوری کننده‌ها بعد از هر پنج رخداد باران (Lloyd & Marques, 1988)، جابه‌جا و در موقعیت دیگر در زیر تاج‌پوشش توده به صورت تصادفی قرار داده شدند. سایر جمع‌آوری کننده‌ها در کل دوره مطالعه در نقاط ثابت قرار داشتند. با تغییر مکان برخی از باران‌سنگ‌ها بعد از هر بارندگی، تعداد نمونه‌ها افزایش و خطای اندازه‌گیری تاج‌بارش تقلیل پیدا نمود (Ford & Deans, 1978; Roy et al., 2021). محاسبه حجم تاج‌بارش هر بارندگی همزمان با اندازه‌گیری بارندگی و به روش یکسان با آن صورت گرفت. در مورد بارندگی‌های شبانه، اندازه‌گیری‌ها در روز بعد و قبل از طلوع خورشید انجام شد. بازه زمانی ۴ تا ۵ ساعت بدون بارش برای تفکیک رخداد باران‌ها از هم، با این فرض که در این مدت تاج‌پوشش می‌تواند کاملاً خشک شود، مدنظر قرار گرفت (Fathizadeh et al., 2014). اگر بارندگی در کمتر از فاصله زمانی ذکر شده رخ دهد مجموع بارندگی‌ها در این مدت معادل یک باران در نظر گرفته شد (Gomez et al., 2002). در سال‌های مطالعه از دوربین مجهز به لنز عدسی چشم‌ماهی و در شرایط ابری (Staelens et al., 2008)

در این مطالعه، مقدار اجزای باران شامل تاج بارش و ساقاب در توده‌های بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای برای بازه زمانی مطالعه یعنی مهرماه ۱۳۹۷ تا بهمن‌ماه ۱۳۹۸ اندازه‌گیری شدند. از پنج عدد جمع‌آوری کننده استوانه‌ای شکل از جنس پلاستیک با قطر دهانه ۱۴ سانتی‌متر و ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متر در فضای باز مجاور هر کدام از توده‌های مورد مطالعه برای اندازه‌گیری مقدار باران استفاده شد. محل قرارگیری جمع‌آوری کننده‌ها طوری انتخاب شد که با تاج درختان (فضای باز مجاور توده‌ها) تداخلی نداشته باشند. بعد از هر رخداد باران، آب و بقایای لاشبرگ درون جمع‌آوری کننده‌ها خارج و مجدداً در محل خود قرار داده شدند. برای اندازه‌گیری تاج‌بارش در توده بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای به ترتیب از ۲۷، ۴۰ و ۴۰ عدد جمع‌آوری کننده استفاده شد که برای اندازه‌گیری تاج‌بارش به صورت تصادفی زیر تاج‌پوشش قرار داده شدند. به‌منظور کاهش میزان خطا در اندازه‌گیری تاج‌بارش در سطح توده (Ford & Deans, 1978; Gomez et al., 2002, Fathizadeh et al.,

(C+C₀) و اثر قطعه‌ای (C₀) است. هر چه دامنه تأثیر بزرگتر باشد، بیانگر ساختار فضایی گسترده‌تر است. این گسترش موجب افزایش محدوده مجازی می‌شود که توسط داده‌های آن مقدار متغیر ناحیه‌ای نقطه مجهول را تخمین می‌زند. ابتدا واریوگرام در جهت‌های مختلف رسم می‌شود، سپس واریوگرام‌های مربوط به جهت‌های مختلف برای تشخیص ناهمسانگردی، مقایسه می‌شوند. به طور کلی اگر سقف واریوگرام و دامنه تأثیر در همه جهت‌ها یکسان باشد، واریوگرام همسانگرد (Webster & Oliver, 2007) است. معیار ارزیابی پیوستگی مکانی، نسبت $C/(C+C_0)$ است. اگر $C/(C+C_0)$ کمتر از ۲۵ درصد باشد، ساختار مکانی ضعیف، بین ۲۵-۷۵ درصد ساختار مکانی متوسط و نسبت بیش از ۷۵ درصد، دارای ساختار مکانی قوی است (Vieira et al., 2010). از واریوگرام سطحی برای بررسی جهت ناهمسانگردی (تغییرات همبستگی مکانی با جهت) استفاده شد (Webster & Oliver, 2007). پس به منظور پیش‌بینی تاج‌بارش در نقاط فاقد نمونه‌برداری با توجه به ساختار مکانی متغیر و نبود روند در داده‌ها از روش کریجینگ معمولی استفاده شد (Webster & Oliver, 2007). از روش واسنجی متقابل برای اطمینان از صحت پیش‌بینی مدل استفاده شد.

نتایج

توزیع بارندگی، تاج‌بارش و متغیرهای ساختاری در طول دوره مطالعه (از مهرماه ۱۳۹۷ تا اواخر بهمن‌ماه ۱۳۹۸)، تعداد ۲۰ رخداد بارندگی اندازه‌گیری شد. مجموع و متوسط رخدادهای باران در طول دوره مطالعه به ترتیب ۲۵۸/۲ میلی‌متر و ۱۲/۹۱ میلی‌متر به دست آمد (جدول ۲). بیشترین میزان بارندگی در دی‌ماه و ۳۳/۸ میلی‌متر و کمترین میزان بارندگی در بهمن‌ماه ۰/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. میانگین مقدار تاج‌بارش به ترتیب برای بلوط ایرانی ۲۰۷/۳۲ میلی‌متر (۲۹٪/۸۰٪ از بارندگی)، کاج تهران ۱۲۹/۲۱ میلی‌متر (۵۰٪ از بارندگی) و سرو نقره‌ای ۱۵۲/۴۷ میلی‌متر (۵۹٪/۰۵٪ از بارندگی) محاسبه شد.

و با کمک نرم‌افزار GLA version 2.0 جهت تجزیه و تحلیل تصاویر دیجیتالی شده برای محاسبه میانگین شاخص سطح برگ توده‌ها استفاده شد. به منظور ارزیابی توزیع مکانی تاج‌بارش، نقاط ثبت تاج‌بارش به صورت تصادفی در زیراشکوب توده‌ها توزیع شدند، به طوری که تمام سطح قطعه نمونه به صورت یکنواخت قرار گیرند.

الگوی تغییرات مکانی تاج‌بارش (TF)

در این مطالعه از روش زمین‌آمار برای بررسی الگوهای مکانی و چگونگی توزیع تاج‌بارش استفاده شد. آنالیزهای آماری (ترسیم واریوگرام، درونیابی و رسم نقشه) در محیط نرم‌افزار GS+ (version 5.1.1) انجام گرفت. برای نمایش پیوستگی مکانی تاج‌بارش براساس واریانس داده‌ها از واریوگرام تجربی استفاده شد (Keim et al., 2005). در این مطالعه، با استفاده از رابطه ۱ واریوگرام تجربی محاسبه شد (David, 1970):

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

$\hat{\gamma}(h)$ مقدار واریوگرام برای تعداد N جفت نمونه می‌باشد که با فاصله h (گام یا Lag) از یکدیگر جدا شده‌اند. $z(x_i)$ و $z(x_i + h)$ نیز مقادیر ناحیه‌ای (تاج‌بارش) در نقاط i و i+h هستند (Lark, 2000). همچنین برای تولید نقشه تغییرات مکانی تاج‌بارش با کریجینگ، از رویدادهای تاج‌بارشی که درصد خطای کمتر از ۳۰ درصد (RMSE% < 30) داشتند (Fathizadeh et al., 2014) استفاده شد.

قبل از محاسبه واریوگرام تجربی، نرمال بودن توزیع داده‌ها با استفاده از نمودار هیستوگرام و آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. برای بررسی وجود روند در ساختار مکانی داده‌ها از برازش واریوگرام استفاده شد. بدین صورت که رسیدن واریوگرام به سقف مشخصی، نشانه وجود روند در داده‌ها می‌باشد (Webster & Oliver, 2007). مدل نظری مناسب از بین مدل‌های سقف‌دار واریوگرام و با خطای پایین‌تر، بعد از غربالگری داده‌ها انتخاب شد. درجه پیوستگی مکانی را شکل مدل واریوگرام توصیف می‌کند. پارامترهای مدل شامل دامنه تأثیر (A₀)، سقف

ایرانی مدل نمایی، کاج تهران مدل خطی و سرو نقره‌ای مدل کروی بهترین مدل‌های برازش داده شده برای واریوگرام‌های تجربی تاج‌بارش بودند (جدول ۳). دامنه تأثیر واریوگرام در توده کاج تهران (۱۰/۸ متر) بیشتر از دو توده دیگر بلوط ایرانی (۲/۴ متر) و سرو نقره‌ای (۸ متر) مشاهده شد (جدول ۳). با ترسیم واریوگرام‌های سطحی در هر سه توده (شکل ۲) و بررسی واریوگرام‌ها در جهت‌های مختلف، دو توده بلوط ایرانی و سرو نقره‌ای واریوگرام همسانگرد و کاج تهران دارای واریوگرام ناهمسانگرد بود (شکل ۳). اعتبارسنجی مدل درون‌یابی کریجینگ برای هر سه توده و تمام ۲۰ رویداد بارندگی در طول دوره مطالعه انجام و میزان MAE و RMAE% برای همه رخدادهای تاج‌بارش محاسبه شد (جدول ۴). نقشه‌های درون‌یابی شده کریجینگ در سه توده، پیوستگی مکانی بیشتر تاج‌بارش را به ترتیب در توده کاج تهران، سرو نقره‌ای و بلوط ایرانی نشان می‌دهد (شکل ۴).

میانگین شاخص سطح برگ (LAI) و درصد روشنه تاج‌پوشش (درصد ضریب تغییرات) توده‌های مورد مطالعه به ترتیب برای توده بلوط ایرانی ۱/۴ مترمربع/مترمربع (۵۳ درصد) و ۴۳/۸۵ درصد (۴۶/۱۴ درصد)، کاج تهران ۱/۰۴ مترمربع/مترمربع (۸۸/۷۸ درصد) و ۵۷/۰۴ درصد (۴۶/۲۶ درصد) و توده سرو نقره‌ای ۱/۲ مترمربع/مترمربع (۸۰/۷۸ درصد) و ۵۴/۷۱ درصد (۵۲/۴۷ درصد) برآورد شد. همچنین در فصل خزان برای بلوط ایرانی شاخص سطح چوب ۰/۳۱ مترمربع/مترمربع (۶۵ درصد) و درصد روشنه تاج‌پوشش (درصد ضریب تغییرات) ۷۸/۸۴ درصد (۱۲/۳۷ درصد) محاسبه شد.

الگوهای مکانی تاج‌بارش

تجزیه و تحلیل الگوی مکانی تاج‌بارش با ترسیم واریوگرام، وجود ساختار مکانی تاج‌بارش در زیر تاج‌پوشش هر سه توده را در طی دوره مطالعه نشان داد (جدول ۳). با توجه به زیاد بودن مقدار R^2 و کم بودن مقادیر RSS در مدل‌های مورد بررسی، برای بلوط

جدول ۲- خصوصیات تاج‌بارش در سه توده: بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای در طول دوره مطالعه.

Table 2- The throughfall characteristics for three studied stands: *Quercus brantii*, *Pinus eldarica* and *Cupressus arizonica* during the study period

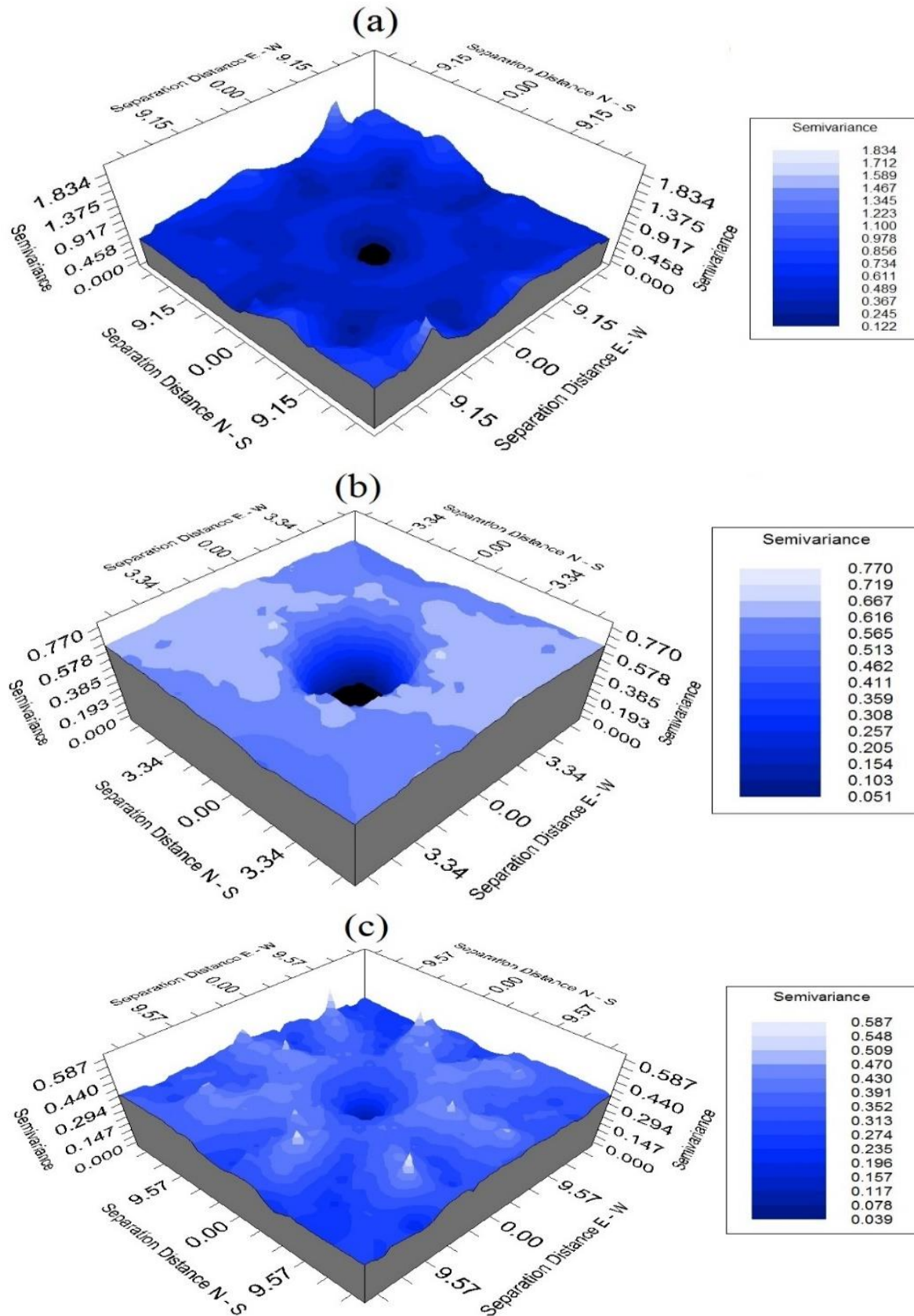
گونه‌ها	عمق تجمعی تاج‌بارش (میلی متر)	میانگین (میلی متر)	انحراف معیار (میلی متر)	درصد از بارندگی
بلوط ایرانی (<i>Quercus brantii</i>)	207.32	10.37	2.46	80.29
کاج تهران (<i>Pinus eldarica</i>)	129.21	6.46	0.97	50.04
سرو نقره‌ای (<i>Cupressus arizonica</i>)	152.47	7.60	0.98	59.05

جدول ۳- پارامترهای واریوگرام الگوی مکانی تاج‌بارش در طی دوره مطالعه در سه توده مورد مطالعه. RSS: مجموع باقیمانده مربع‌ها که معیاری از برازش مدل با داده‌های واریوگرام را ارائه می‌دهد، A0: دامنه، C0: اثر قطعه‌ای و سقف (C0 + C).

Table 3- Characteristics of the variogram models for spatial pattern of throughfall in three studied stands. RSS: Residual Sums of Squares that provide a measure of how well the model fitted the variogram data; A0: range parameter, C0: nugget effect, and sill (C0 + C).

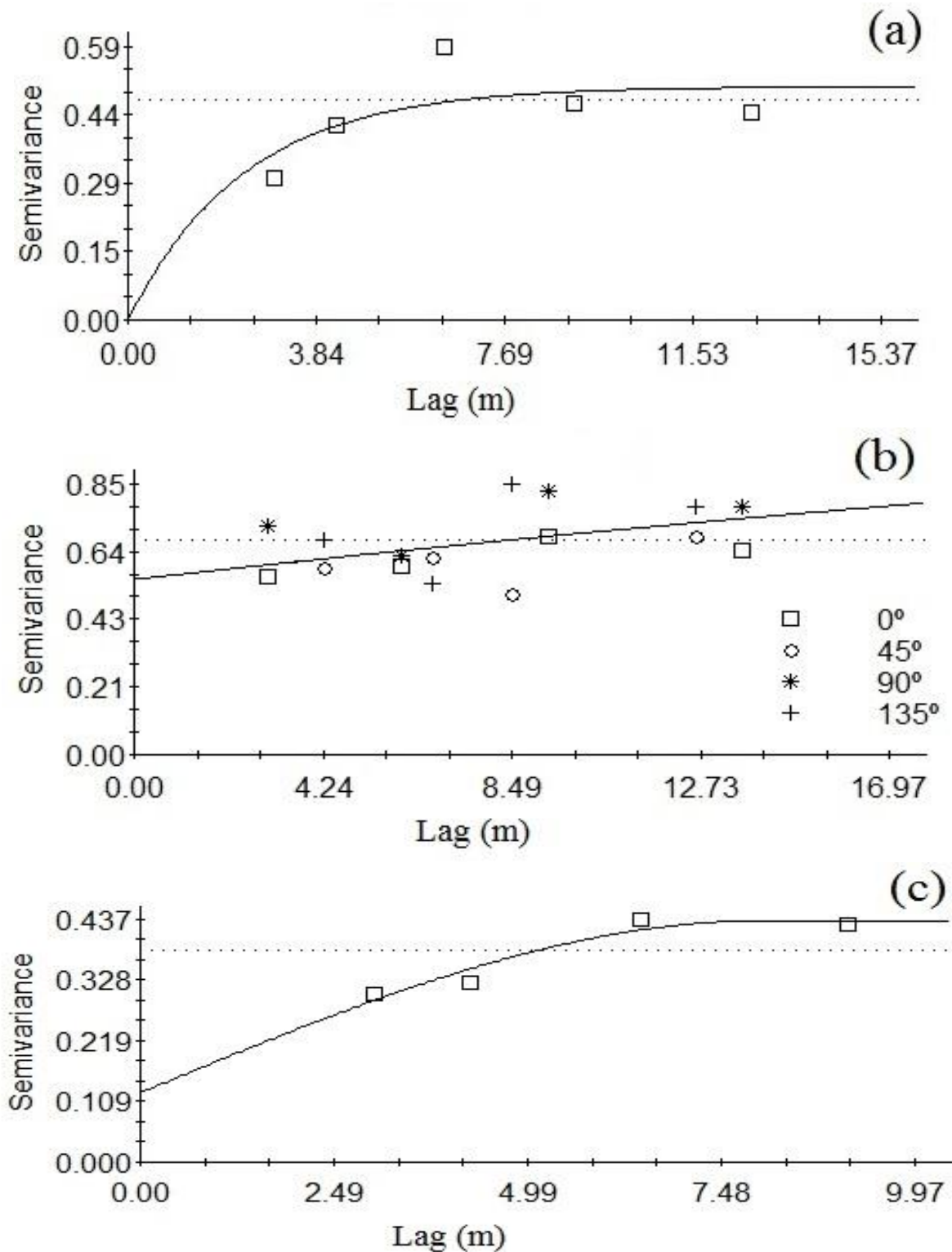
گونه‌ها	واریوگرام	اثر قطعه‌ای (C0)	سقف (C0+C)	دامنه همبستگی (A0, m)	ساختار مکانی c/(c0+c)	R^2	RSS	مدل
بلوط ایرانی (<i>Quercus brantii</i>)	همسانگرد	0.001	0.502	2.4	~1	0.51	0.021	نمایی
کاج تهران (<i>Pinus eldarica</i>)	ناهمسانگرد	0.54	0.76	10.8	0.3	0.66	0.102	خطی
سرو نقره‌ای (<i>Cupressus arizonica</i>)	همسانگرد	0.125	0.434	8.03	0.713	0.92	1.189E-03	کروی

مقادیر کمتر RSS و بیشتر R^2 نشان‌دهنده مناسب‌تر بودن مدل تجربی است.



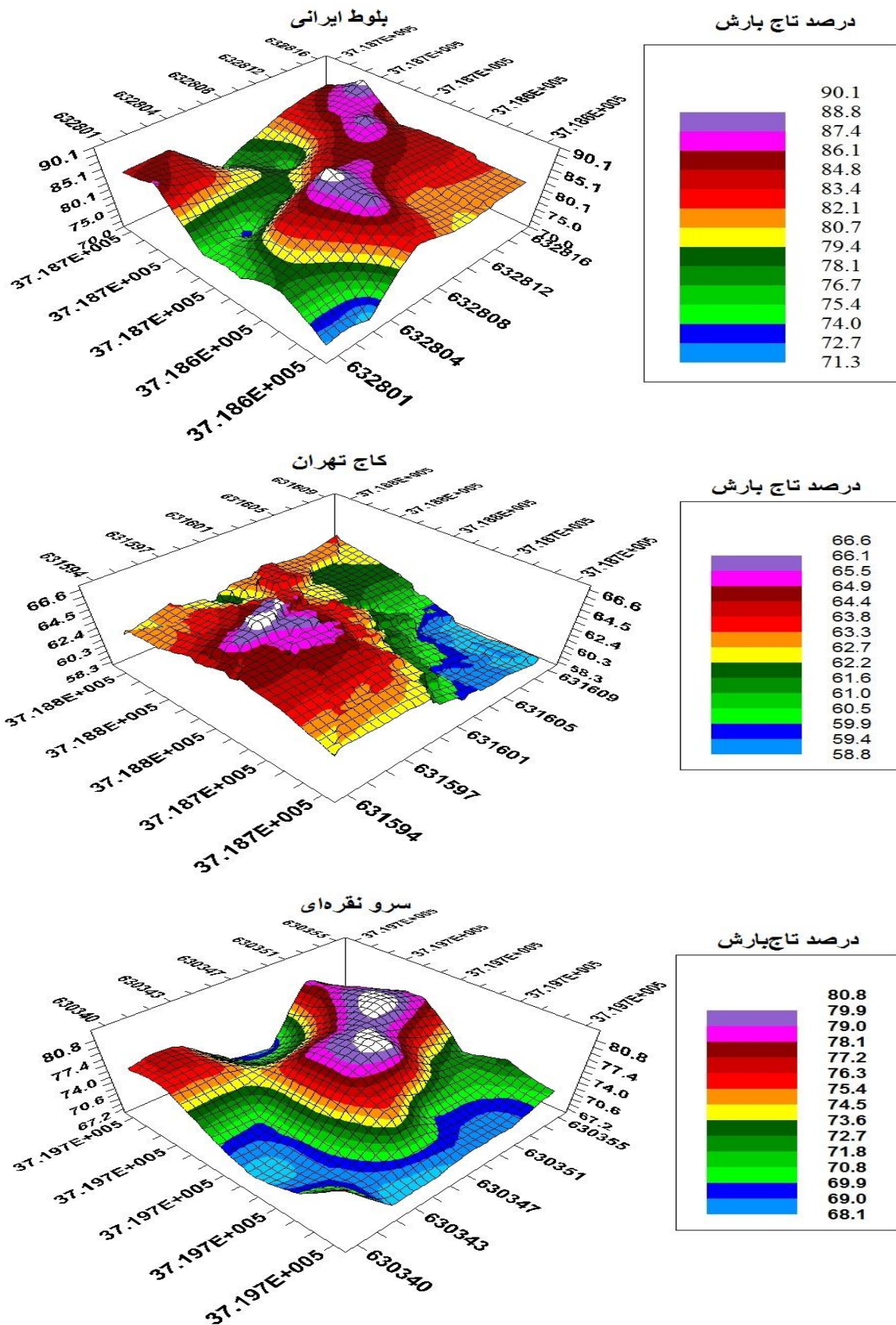
شکل ۲- نقشه واریوگرام سطحی تاج بارش در جهت‌های شرقی-غربی و شمالی-جنوبی در سه توده (A: بلوط ایرانی، B: کاج تهران و C: سرو نقره ای)

Figure 2-. Surface variogram maps of throughfall (mm) in the west-east (W-E) and north-south (N-S) directions, for for three stands (A: *Quercus brantii*, B: *Pinus eldarica* and C: *Cupressus arizonica*)



شکل ۳- واریوگرام‌های تجربی همسانگرد و ناهمسانگرد برای تاج‌بارش (میلی‌متر) و مدل‌های نظری برازش داده‌شده در سه توده مورد مطالعه (A: بلوط ایرانی، B: کاج تهران و C: سرو نقره‌ای)، اعداد درجه در قسمت b نشان‌دهنده جهات جغرافیایی مختلف برازش واریوگرام هستند.

Figure 3- Experimental isotropic and anisotropic variograms for throughfall (mm) and the corresponding fitted models for three studied stands (A: *Quercus brantii*, B: *Pinus eldarica* and C: *Cupressus arizonica*), The degree numbers in the legend of part b indicate different geographical directions of variogram fitness.



شکل ۴- نقشه درونیابی تاج بارش تجمعی به روش کریجینگ معمولی برای تاج بارش‌های با میانگین نسبی خطای مطلق $30\% < (RMAE)$

Figure 4- Interpolation maps of cumulative throughfall using normal kriging Method for throughfalls with relative mean absolute error (RMAE) > 30%

جدول ۴- مشخصات رخدادهای بارش و نتایج اعتبارسنجی متقابل برای سه توده Pg = بارندگی کل، MAE = میانگین خطای مطلق، RMAE = میانگین خطای مطلق نسبی. تبدیل داده‌ها برای نرمال‌سازی با روش‌های لگاریتم (Log)، ریشه دوم (Sqr) و مقیاس (Scale) ۰-۱ انجام شد.

Table 4- Precipitation characteristics and results of cross-validations for three stands. Pg= Precipitation, MAE= Mean Absolute Error, RMAE= Relative Mean absolute error. A lognormal (Log), a square root (Sqr) transformation, and scaling data to range of 0-1 (Scale) were used in order to normalize data for skewed frequency distributions.

رخداد باران Rainstorm Event	P_g (mm)	بلوط ایرانی				کاج تهران				سرو نقره‌ای			
		<i>Quercus brantii</i>				<i>Pinus eldarica</i>				<i>Cupressus arizonica</i>			
		T_f (mm)	MAE (mm)	RMAE (%)	Skewness	T_f (mm)	MAE (mm)	RMAE (%)	Skewness	T_f (mm)	MAE (mm)	RMAE (%)	Skewness
1	0.4	0.03	0.05	57.17	0.71	0.01	0.04	18.85	2.09	0.02	0.05	14.56	1.15
2	1.5	0.31	0.12	44.43	0.87	0.22	0.15	35.1	1.35	0.16	0.11	32.4	1.66
3	0.2	0.01	0.03	54	1.98	0.01	0.03	16.61	2.09	0.02	0.33	41.89	2.09
4	27.1	22.47	1.66	13.4	-0.44	14.19	4.38	25.09	0.31	16.83	2.24	8.34	-0.03
5	13.2	10.61	0.72	12.8	0.12Sqr	6.24	0.75	5.95	-0.51	7.49	1.35	12.86	-0.76
6	0.5	0.18	0.07	47.9	0.41	0.05	0.09	40.63	1.09	0.04	0.09	16.2	1.43
7	28.3	23.96	1.39	11.9	0.14Scale 0-1	14.67	1.3	2.89	0.68	17.79	2.27	7.75	-0.23
8	23.9	19.77	1.2	12.1	-0.62	12	2.46	14.61	-0.23	14.13	2.83	15.26	-0.38Log
9	21.5	17.9	1.08	12	-0.99	10.59	2.34	16.18	0.27	12.47	2.83	17.86	-0.25
10	28.9	24.52	0.91	9.71	0.07Log	14.89	3.82	19.9	0.16	17.87	1.88	5.58	-0.07
11	6.1	4.08	0.28	12.9	-1.41	2.82	0.79	22.43	0.07	3.2	0.63	14.4	-0.52
12	0.8	0.18	0.07	0.37	0.81	0.09	0.08	0.85	1.01Sqr	0.09	0.08	37.15	0.16
13	5	3.25	0.41	18.5	-0.74	2.28	0.47	14.33	0.04	2.59	0.54	15.81	-0.31
14	3.9	2.45	0.22	17	-1.07	1.74	0.35	4.42	-0.5	2	0.54	21.49	-0.24
15	13.6	9.76	0.7	11.12	0.28	6.68	0.79	5.9	0.11	7.5	0.89	6.78	-0.27Sqr
16	16.3	13.05	1.24	15.52	-0.78	8.12	0.81	4	-0.16	9.29	1.4	10.04	0.81
17	26.7	21.66	0.9	10.15	-0.34	13.7	1.27	3.37	0.36	16.32	2.01	4.28	-0.13Sqr
18	33.8	29.11	1.12	3.87	0.28	18.04	2.3	6.79	0.02	21.56	2	4.3	-0.27
19	2.5	1.72	0.26	21.24	-0.71Sqr	1.06	0.34	19.71	-0.1	1.21	0.26	16.59	-0.41
20	4	2.88	0.39	19.66	-0.68	1.81	0.32	11.94	0.29	1.92	0.48	19.9	0.18Log
Cumulative Mean	258.2 12.91	207.91 10.4	0.64	20.29	-0.11	129.21 6.46	1.14	14.48	0.42	152.47 6.81	1.14	16.32	0.18

بحث
در طی دوره مطالعه تعداد ۲۰ بارندگی با مجموع بارش ۲۵۸/۲ میلی‌متر ثبت گردید که ۸۰/۳ درصد، ۵۰ درصد و ۵۹ درصد آن به ترتیب برای توده‌های بلوط شاخه‌زاد ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای به صورت تاج‌بارش از تاج‌پوشش عبور و به سطح زمین رسید که همسو با نتایج مطالعات Cao و همکاران (۲۰۰۸) و Fathizadeh و همکاران (۲۰۲۱) است. مرور منابع نشان می‌دهد که مقدار تاج‌بارش در بوم‌سازگان‌های مختلف پهن‌برگ و سوزنی‌برگ متغیر بوده و از حدود ۳۰ درصد تا بیش از ۸۰ درصد گزارش شده است (Llorens & Domingo, 2007; Fathizadeh et al., 2014). نتایج این پژوهش نشان داد که درصد تاج‌بارش گونه شاخه‌زاد بلوط ایرانی، بیشتر از گونه‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای است (جدول ۱) که با دیگر پژوهش‌ها در زمینه توزیع اجزای بارندگی در توده‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ همسو می‌باشد (Sadeghi & Attarod, 2017). نظر به یکسان بودن عوامل اقلیمی و مشخصات بارندگی در توده‌های مورد مطالعه به دلیل نزدیکی توده‌ها به همدیگر، می‌توان گفت که ویژگی‌های پوشش گیاهی و ساختاری عامل اصلی تأثیرگذار بر تفاوت مقدار تاج‌بارش عبوری از تاج‌پوشش توده‌های مورد بررسی است. از پارامترهای ساختاری تأثیرگذار بر جذب بیشتر آب و کاهش میزان تاج‌بارش می‌توان نیروی چسبندگی یا کشش سطحی بیشتر در توده‌های سوزنی‌برگ نسبت به پهن‌برگان را نام برد. در واقع درختان سوزنی‌برگ به دلیل ویژگی‌های برگ و تاج، آب بیشتری جذب می‌کنند و تاج بارش کمتری نسبت به درختان پهن‌برگ دارند (Levia et al., 2019). از دیگر عوامل تفاوت توزیع تاج‌بارش توده‌های مورد بررسی می‌توان به بالا بودن شاخص سطح برگ سوزنی‌برگان نسبت به پهن‌برگان و همچنین خاصیت خزان‌کننده بودن توده بلوط ایرانی نسبت به دو توده سوزنی‌برگ دیگر اشاره کرد.

در طی دوره مطالعه تعداد ۲۰ بارندگی با مجموع بارش ۲۵۸/۲ میلی‌متر ثبت گردید که ۸۰/۳ درصد، ۵۰ درصد و ۵۹ درصد آن به ترتیب برای توده‌های بلوط شاخه‌زاد ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای به صورت تاج‌بارش از تاج‌پوشش عبور و به سطح زمین رسید که همسو با نتایج مطالعات Cao و همکاران (۲۰۰۸) و Fathizadeh و همکاران (۲۰۲۱) است. مرور منابع نشان می‌دهد که مقدار تاج‌بارش در بوم‌سازگان‌های مختلف پهن‌برگ و سوزنی‌برگ متغیر بوده و از حدود ۳۰ درصد تا بیش از ۸۰ درصد گزارش شده است (Llorens & Domingo, 2007; Fathizadeh et al., 2014). نتایج این پژوهش نشان داد که درصد تاج‌بارش گونه شاخه‌زاد بلوط ایرانی، بیشتر از گونه‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای است (جدول ۱) که با دیگر پژوهش‌ها در زمینه توزیع اجزای بارندگی در توده‌های پهن‌برگ و سوزنی‌برگ همسو می‌باشد (Sadeghi & Attarod, 2017). نظر به یکسان بودن عوامل اقلیمی و مشخصات بارندگی در توده‌های مورد مطالعه به دلیل نزدیکی توده‌ها به همدیگر، می‌توان گفت که ویژگی‌های پوشش گیاهی و ساختاری عامل اصلی تأثیرگذار بر تفاوت مقدار تاج‌بارش عبوری از تاج‌پوشش توده‌های مورد بررسی است. از پارامترهای ساختاری تأثیرگذار بر جذب بیشتر آب و کاهش میزان تاج‌بارش می‌توان نیروی چسبندگی یا کشش سطحی بیشتر در توده‌های سوزنی‌برگ نسبت به پهن‌برگان را نام برد. در واقع درختان سوزنی‌برگ به دلیل ویژگی‌های برگ و تاج، آب بیشتری جذب می‌کنند و تاج بارش کمتری نسبت به درختان پهن‌برگ دارند (Levia et al., 2019). از دیگر عوامل تفاوت توزیع تاج‌بارش توده‌های مورد بررسی می‌توان به بالا بودن شاخص سطح برگ سوزنی‌برگان نسبت به پهن‌برگان و همچنین خاصیت خزان‌کننده بودن توده بلوط ایرانی نسبت به دو توده سوزنی‌برگ دیگر اشاره کرد.

این توده، به احتمال زیاد به دلیل حداقل فواصل بالاتر بین باران‌سنگ‌ها است، که منجر به کمبود اطلاعات در همبستگی مکانی در فواصل کم شده است (Fathiadeh et al., 2014).

هر چه پیوستگی مکانی بیشتر و تغییرپذیری تاج‌بارش در سطح عرصه کمتر باشد، بیانگر این نکته است که عوامل آشفته‌کننده در سطح توده (تغییر شیب و توپوگرافی، بادافتادگی و ریشه‌کن شدن درختان در عرصه) کمتر است و در نتیجه پیوستگی مکانی بیشتر است (Dezhban et al., 2019). با توجه به این که دو توده کاج‌تهران و سرو نقره‌ای جنگلکاری بوده و نسبت به بلوط ایرانی دارای همگنی بیشتر و آشفستگی کمتر در سطح توده می‌باشند، دارای پیوستگی مکانی بیشتری هستند که در این مطالعه با روش زمین‌آمار این پیوستگی مکانی مشاهده شد. تفاوت در طراحی آزمایش، مانند اندازه قطعات نمونه، تعداد، اندازه و تراکم مکانی جمع‌آوری‌کننده‌ها، مقیاس زمانی تجمع تاج‌بارش (زمان بین نمونه‌های جمع‌آوری‌شده تاج‌بارش)، مقایسه مستقیم نتایج این تحقیق با کارهای منتشر شده قبلی را دشوار می‌کند. با این وجود، به نظر منطقی می‌رسد که رابطه‌ای بین ویژگی‌های توده و مقیاس زمانی جمع‌آوری تاج‌بارش، وجود داشته باشد. روش مورد بررسی در مطالعه حاضر در فهم ارتباط الگوهای مکانی تاج‌بارش با عوامل محیطی و اقدامات لازم، کمک می‌کند. از طرفی، مدیران و جنگل‌شناسان می‌توانند با فهم الگوهای مکانی تاج‌بارش توده‌های طبیعی و جنگلکاری شده با در نظر گرفتن فرآیندهای هیدرولوژیک، در مدیریت بهینه و بهبود عملیات پرورشی در دیگر توده‌های جنگلی با شرایط مشابه آب‌وهوایی بهره‌گیرند.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه ایلام انجام شده است.

ساختار مکانی تاج‌بارش در زیر تاج‌پوشش سه توده بلوط ایرانی، کاج‌تهران و سرو نقره‌ای، پیوستگی مکانی زیادی را با دامنه تأثیر به ترتیب ۲/۴، ۱۰/۸ و ۸ متر نشان داد. این ساختار مکانی بیانگر این است که تغییرات مکانی تاج‌بارش در محدوده مشخصی (دامنه تأثیر) به مقدار تاج‌بارش جمع‌آوری‌کننده‌های دیگر از لحاظ مکانی وابسته است (Gomez et al., 2002). محققان در مورد دامنه تأثیر و پیوستگی ساختار مکانی نتایج متفاوتی ارائه کرده‌اند. Dezhban و همکاران (۲۰۱۹) در بررسی ساختار مکانی تاج‌بارش در یک توده خزان‌کننده راش پیوستگی مکانی را با دامنه تأثیر ۲ تا ۸ متر گزارش کردند. Loustau و همکاران (۱۹۹۲) در توده کاج (*Pinus pinaster*) هیچ همبستگی مکانی برای تاج‌بارش مشاهده نکردند و Loescher و همکاران (۲۰۰۲) در جنگل گرمسیری همبستگی مکانی تاج‌بارش را ۴۳ متر گزارش کرد. Keim و همکاران (۲۰۰۵) در مطالعه بر روی یک توده خزان‌کننده با گونه غالب *Alnus rubra*، پیوستگی مکانی تاج‌بارش را در دو فصل برگ‌دار و بی‌برگ مورد مطالعه قرار دادند و مشاهده کردند که توده در فصل خزان دارای همبستگی مکانی نمی‌باشد.

نتیجه‌گیری کلی

در مطالعه حاضر، دامنه تأثیر پیوستگی مکانی تاج‌بارش در توده کاج‌تهران و سرو نقره‌ای بیشتر از توده بلوط ایرانی مشاهده شد که از دلایل آن می‌توان به همیشه سبز بودن سوزنی‌برگان، درصد بیشتر LAI و تأثیر برگ‌ها بر الگوی مکانی تاج‌بارش اشاره کرد. دلیل این تفاوت در دامنه تأثیر و پیوستگی ساختار مکانی تاج‌بارش، نوع گونه متفاوت، ساختار تاج‌پوشش، حجم توده، تعداد نمونه، روش نمونه‌برداری، سطح نمونه‌برداری، تعداد نمونه‌های تاج‌بارش، و شرایط آب و هوایی است (Voss et al., 2016). وجود اثر قطعه‌ای بیشتر در واریوگرام توده کاج تهران نسبت به سایر توده‌ها و همچنین عدم وجود آستانه سقف مشخص در

References

- Cao, Y., Ouyang, Z.Y., Zheng, H., Huang, Z.G., Wang, X.K., & Miao, H. (2008). Effects of forest plantations on rainfall redistribution and erosion in the red soil region of southern China. *Land degradation & development*, 19(3), 321-330. <https://doi.org/10.1002/ldr.812>
- Chazdon, R.L., Brancalion, P.H.S., Laestadius, L., Bennett-Curry, A., Buckingham, K., Kumar, C., & Wilson, S.J. (2016). When is a forest a forest? Forest concepts and definitions in the era of forest and landscape restoration. *Ambio*, 45(5), 538-550. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0772-y>
- David, M. (1970). *The geostatistical estimation of porphyry type deposits and scale factor problems*. In: Proceedings, Pribram Mining Symposium. Pribram.
- Dezhban, A., Attarod, P., Zahedi Amiri, Gh., Pypker, T. G., & Nanko, K. (2019). Seasonal variability of throughfall spatial pattern under a natural *Fagus orientalis* stand using geostatistical method. *Iranian Journal of Forest*, 11(1), 13-28. (In Persian)
- Dezhban, A., Attarod, P., Hölscher, D., & Holder, C.D. (2023). Spatial variability of throughfall in heavily fogged old-growth *Fagus orientalis* forests is controlled by fog precipitation and stand structural characteristics. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 23(3), 457-468. <https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2023.04.003>
- Fathizadeh, O., Attarod, P., Keim, R.F., Zahedi Amiri, G.H., & Darvishsefat, A.A. (2014). Spatial heterogeneity and temporal stability of throughfall under individual *Quercus brantii* trees. *Hydrological Processes*, 28, 1124-1136. <https://doi.org/10.1002/hyp.9638>
- Fathizadeh, O., Sadeghi, S.M.M., Pazhouhan, I., Ghanbari, S., Attarod, P., & Su, L. (2021). Spatial variability and optimal number of rain gauges for sampling throughfall under single oak trees during the leafless period. *Forests*, 12(5), 585. <https://doi.org/10.3390/f12050585>
- Ford, E., & Deans, J. (1978). The effects of canopy structure on stemflow, throughfall and interception loss in a young Sitka spruce plantation. *Journal of Applied Ecology*, 15, 905-917. <https://doi.org/10.2307/2402786>
- Gomez, J.A., Vanderlinden, K., Giraldez, J.V., & Fereres, E. (2002). Rainfall concentration under olive trees. *Agricultural Water Management*, 55, 53-70. [https://doi.org/10.1016/S0378-3774\(01\)00181-0](https://doi.org/10.1016/S0378-3774(01)00181-0)
- Herwitz, S.R., & Slye, R.E. (1992). Spatial variability in the interception of inclined rainfall by a tropical rainforest canopy. *Selbyana*, 13, 62-71.
- Hu, X., Fu, Z., Sun, G., Wang, B., Liu, K., Zhang, C., Han, L., Chen, L., & Zhang, Z. (2024). Importance of forest stand structures for gross rainfall partitioning on China's Loess Plateau. *Journal of Hydrology*, 631, 130671. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2024.130671>
- Jazirei, M.H., & Ebrahimi Rastaghi, M. (2003). *Silviculture in Zagros*, Tehran University Publications, p. 560 (In Persian)
- 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. <https://doi.org/10.1073/pnas.0604666104>
- Keim, R.F., Skaugset, A.E., & Weiler, M. (2005). Temporal persistence of spatial patterns in throughfall. *Journal of Hydrology*, 314(1), 263-274. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2005.03.021>
- 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. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2389.2000.00280.x>
- Levia Jr, D.F., & Frost, E.E. (2006). Variability of throughfall volume and solute inputs in wooded ecosystems. *Progress in Physical Geography*, 30(5), 605-632. <https://doi.org/10.1177/0309133306071145>
- Levia, D.F., Nanko, K., Amasaki, H., Giambelluca, T.W., Hotta, N., Iida, S.I., & Yamada, K. (2019). Throughfall partitioning by trees. *Hydrological Processes*, 33(12), 1698-1708. <https://doi.org/10.1002/hyp.13432>
- Llorens, P., Poch, R., Latron, J., & Gallart, F. (1997). Rainfall interception by a *Pinus sylvestris* forest patch overgrown in a Mediterranean mountainous abandoned area I. Monitoring design and results down to the event scale. *Journal of hydrology*, 199(3-4),

- 331-345. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(96\)03334-3](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(96)03334-3)
- Llorens, P., & Domingo, F. (2007). Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, 335(1-2), 37-54. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2006.10.032>
- Lloyd, C.R., & Marques, F. (1988). Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 42, 63-73. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(88\)90067-6](https://doi.org/10.1016/0168-1923(88)90067-6)
- 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. <https://doi.org/10.1017/S0266467402002274>
- 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. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(92\)90130-N](https://doi.org/10.1016/0022-1694(92)90130-N)
- Nanko, K., Onda, Y., Ito, A., & Moriwaki, H. (2011). Spatial variability of throughfall under a single tree: Experimental study of rainfall amount, raindrops, and kinetic energy. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(9), 1173-1182. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.04.006>
- Pan, Y., Birdsey, R.A., Phillips, O.L., & Jackson, R.B. (2011). The Structure, Distribution, and Biomass of the World's Forests. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 44(1), 593-622. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110512-135914>
- Rostami, N., Heydari, M., Uddin, S.M., Esteban Lucas-Borja, M., & Zema, D.A. (2022). Hydrological response of burned soils in croplands, and pine and oak forests in Zagros forest ecosystem (western Iran) under rainfall simulations at micro-plot scale. *Forests*, 13(2), 246. <https://doi.org/10.3390/f13020246>
- Roy, M.B., Roy, P.K., Halder, S., Banerjee, G., & Mazumdar, A. (2021). *Assessment of Stream Flow Impact on Physicochemical Properties of Water and Soil in Forest Hydrology Throughfall Statistical Approach*. In *India: Climate Change Impacts, Mitigation and Adaptation in Developing Countries* (pp. 207-225).
- Sadeghi, S.M.M., & P. Attarod. (2017). Estimation of ecohydrological parameters of trunk and canopy of a Pinus eldarica plantation. *Journal of Forest Research and Developmet*, 3(3), 207-220. (In Persian)
- Staelens, J., De Schrijver, A., Verheyen, K., & Verhoest, N.E.C. (2008). Rainfall partitioning into throughfall, stemflow, and interception within a single beech (*Fagus sylvatica* L.) canopy: Influence of foliation, rain event characteristics, and meteorology. *Hydrological Processes*, 22, 33-45. <https://doi.org/10.1002/hyp.6610>
- Viville, D., Biron, P., Granier, A., Dambrine, E., & Probst, A. (1993). Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France). *Journal of Hydrology*, 144(1-4): 273-282. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(93\)90175-9](https://doi.org/10.1016/0022-1694(93)90175-9)
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.06.042>
- Webster, R., & Oliver, M. (2007). *Geostatistics for Environmental Scientists*. (2nd edn) John Wiley & Sons. Chichester, UK.
- Wullaert, H., Pohlert, T., Boy, J., Valarezo, C., & Wilcke, W. (2009). Spatial throughfall heterogeneity in a montane rain forest in Ecuador: Extent, temporal stability and drivers. *Journal of Hydrology*, 377(1-2), 71-79. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.08.001>
- Zhang, M., Liu, N., Harper, R., Li, Q., Liu, K., Wei, X., & Liu, S. (2017). A global review on hydrological responses to forest change across multiple spatial scales: Importance of scale, climate, forest type and hydrological regime. *Journal of Hydrology*, 546, 44-59. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2016.12.040>
- Zhao, W., Ji, X., Jin, B., Du, Z., Zhang, J., Jiao, D., & Zhao, L. (2023). Experimental

partitioning of rainfall into throughfall, stemflow and interception loss by *Haloxylon ammodendron*, a dominant sand-stabilizing shrub in northwestern China. *Science of The Total Environment*, 858, 159928. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159928>

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. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.07.028>