دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
بوم‌شناسی جنگل‌های ایران

"مقاله پژوهشی"

ارزیابی توزیع اجزای باران و تعداد نمونه مناسب برای برآورد تاج‌بارش در توده‌های سوزنی برگ و پهن‌برگ جنگل‌های زاگرس، ایلام

اسماعیل اللهی‌نژاد[۱]، مهدی حیدری[۲]، جواد میرزایی[۳]، امید فتحی‌زاده[۴] و پیلار لورنز[۵]

۱- دانشجوی دکتری علوم جنگل، گروه علوم جنگل، دانشگاه ایلام، ایلام
۲- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام، (نویسنده مسوول: m.heidari@mail.ilam.ac.ir)
۳- دانشیار، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام، ایلام
۴- استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، اهر
۵- مؤسسه ارزیابی زیست محیطی و تحقیقات آب (IDAEA)، CSIC، بارسلون، اسپانیا
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۰/۲۶
صفحه: ۸۸ تا ۹۸

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف: اندازه‌گیری باران و اجزای آن در مناطق جنگلی برای مدیریت منابع آبی سرزمین امری ضروری است. تاج‌بارش از اجزای مهم چرخهٔ آب در بوم‌سازگان‌های جنگلی است که به دلیل ساختار ناهمگن تاج‌پوشش و الگوهای متغیر بارندگی دارای تغییرات مکانی زیادی است. با این حال در زمینه تعیین تعداد نمونه مناسب برای برآورد تاج‌بارش، پژوهش‌های محدودی انجام شده است. هدف از این مطالعه، ارزیابی توزیع اجزای باران و تخمین تعداد جمع‌آوری کننده‌های مورد نیاز برای برآورد میانگین تجمعی تاج‌بارش توده‌های بلوط ایرانی (*Quercus brantii*)، کاج تهران (*Pinus eldarica*) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica*) با درصد خطای معین در جنگل‌کاری‌های نیمه‌خشک زاگرس (پارک جنگلی چغاسبز، شهرستان ایلام) است. با تعیین تعداد مناسب جمع آوری کننده می‌توان با دقت قابل قبول و نیز صرفه جویی در زمان و هزینه، اندازه‌گیری مناسبی از باران و اجزای آن در مناطق جنگلی داشت.

مواد و روش‌ها: این پژوهش از مهرماه ۱۳۹۷ تا بهمن ماه ۱۳۹۸، در توده‌های طبیعی بلوط ایرانی و جنگل‌کاری‌های ۳۰ ساله کاج تهران و سرو نقره‌ای انجام شد. میزان بارندگی توسط پنج جمع‌آوری کننده باران که در فضای باز (خارج از تاج پوشش) مجاور توده‌های مورد بررسی نصب شده بودند، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری تاج‌بارش توسط 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 و متوسط ساقاب پنج درخت در هر توده به‌عنوان متوسط ساقاب درختان توده در نظر گرفته شد. مقدار باران‌ربایی نیز از تفاضل مقدار باران و مجموع تاج بارش و ساقاب برآورد شد. همچنین برای برای محاسبه تعداد جمع‌آوری کننده‌های لازم برای تخمین تاج‌بارش در یک حد آستانه مطلوب از معادله Kimmins (۱۹۷۳) استفاده شد.

یافته‌ها: در دوره زمانی مطالعه، ۲۰ بارندگی (در مجموع ۲۵۸/۲ میلی‌متر) مورد اندازه‌گیری قرار گرفت و به‌طور متوسط در توده بلوط ایرانی، کاج‌تهران و سرونقره‌ای به‌ترتیب ۸۰، ۵۰ و ۵۹ درصد از آن به‌صورت تاج‌بارش از تاج‌پوشش درختان عبور کرد. مقدار باران‌ربایی به‌طور متوسط برای بلوط ایرانی ۴۶/۲۳ میلی‌متر، کاج‌تهران ۱۱۳/۱۷ میلی‌متر و سرو نقره‌ای ۹۲/۱۷ میلی‌متر محاسبه شد. نتایج نشان داد که میانگین تعداد جمع‌آوری کننده‌های لازم برای بلوط ایرانی با درصد خطای ۵، ۱۰ و ۱۵ درصد میانگین تجمعی تاج‌بارش و با حدود اعتماد ۹۵ درصد به‌ترتیب ۱۰۲، ۲۵ و ۱۱ عدد، برای توده کاج‌تهران به‌ترتیب ۴۱، ۱۰ و ۵ عدد و برای توده سرو نقره‌ای ۳۰، ۸ و ۳ عدد است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج این مطالعه، بین مقدار باران و تاج‌بارش، رابطه مثبت و قوی برای بلوط ایرانی (R^2=۰/۹۱۵۵)، کاج تهران (R^2=۰/۸۸۳۱) و سرو نقره‌ای (R^2=۰/۸۹۶۷) مشاهده شد. براین اساس می‌توان گفت با افزایش اندازه باران، میزان تاج‌بارش افزایش می‌یابد. با توجه به رژیم بارش و اهمیت آب در این مناطق، باید در جنگلکاری‌ها و مدلسازی فرآیندهای اکوهیدرولوژی در اکوسیستم‌های جنگلی، اولویت کاشت با گونه‌های با مقدار تاج‌بارش بیشتر و باران‌ربایی کمتر مدنظر قرار گیرد. برای اندازه‌گیری میانگین تجمعی تاج‌بارش بلوط ایرانی با خطای ۱۰ درصد، تعداد ۲۷ عدد جمع آوری‌کننده کافی است. در توده‌های کاج تهران و سرونقره‌ای که تعداد ۳۶ عدد جمع‌آوری کننده مورد استفاده قرار گرفت نیز برای اندازه‌گیری میانگین تجمعی تاج‌بارش با خطای ۵ درصد این تعداد مناسب است. بنابراین، در توده بلوط ایرانی برای تخمین میانگین تجمعی تاج‌بارش با درصد خطای کمتر باید تعداد جمع‌آوری کننده‌ها افزایش یابد و در دو توده دیگر تعداد جمع‌آوری کنندها مناسب تشخیص داد شد.

واژه‌های کلیدی: تاج‌بارش، تاج پوشش، جنگل‌کاری، توزیع اجزای باران، جنگل‌های زاگرس، اکوهیدرولوژی جنگل

مقدمه

پس از هر بارندگی و برخورد قطرات باران با سطح تاج درختان، باران به اجزای مختلفی شامل تاج‌بارش، باران‌ربایی و ساقاب تقسیم می‌شود. بخشی از بارندگی که به‌صورت مستقیم از طریق عبور از شکاف‌ها و روشنه‌های تاج‌پوشش و یا به‌صورت غیر مستقیم بعد از برخورد با تاج‌پوشش و اشباع شدن ظرفیت نگهداری آن به کف جنگل می‌رسد تاج‌بارش نامیده می‌شود (۳۴). مقداری از بارش نیز بعد جاری شدن بر روی شاخه‌ها و تنهٔ درختان به شکل ساقاب، به کف جنگل می‌رسد (۳۳). ساقاب سهم کمتری از جریان آب در جنگل را شامل می‌شود. به بخشی از بارندگی که توسط تاج‌پوشش نگهداری شده و سپس به واسطهٔ تبخیر در زمان بارش یا پس از آن به هواسپهر برمی‌گردد، باران‌ربایی گفته می‌شود (۶) که از تفاوت بین کل رویداد باران و مجموع تاج‌بارش و ساقاب محاسبه می‌شود. آگاهی از مقدار آبی که از دسترس گیاه خارج می‌شود، در مدل‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی ضرورت دارد (۱). توزیع مجدد باران در تاج‌پوشش جنگل باعث ایجاد الگوهای تاج‌بارش می‌شود که تغییرات مکانی زیادی را به همراه دارد (۱۹) و از این نظر بین اکوسیستم‌های جنگلی مختلف تفاوت زیادی وجود دارد (۲۱). بین الگوهای مکانی فرآیندهای هیدرولوژیک و بیوژئوشیمیایی مختلف کف جنگل مانند توزیع مقدار آب خاک (۳۵)، نفوذ آب و جریانات یونی (۳۰)، تجزیه مواد آلی خاک (۳)، جذب آب ریشه (۵) و رشد ریشه (۱۳) با الگوهای مکانی تاج‌بارش ارتباط تنگاتنگی وجود دارد. در دهه‌های اخیر، با توجه به تغییرات مکانی تاج‌بارش، مطالعه طرح‌های نمونه‌برداری که تخمین‌های قابل اطمینانی

از میانگین تاج‌بارش را ارائه دهند، مورد توجه بوده است (۳۰،۱۷،۱۴،۱۱).

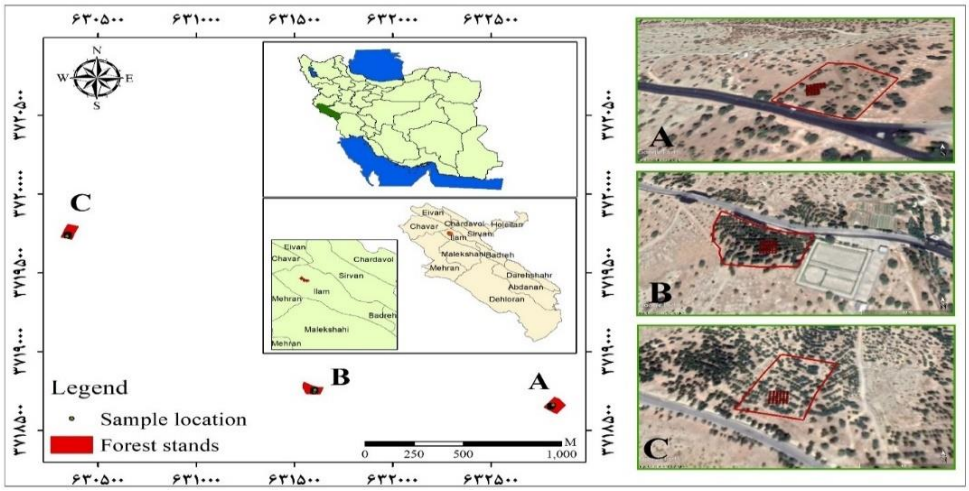
بخش مهمی از مقدار تبخیر در اکوسیستم‌های جنگلی را باران‌ربایی در بر می‌گیرد و تاثیر زیادی بر تراز آبی در نواحی جنگلی و نیز چرخهٔ هیدرولوژی و مواد غذایی در اکوسیستم‌های زمینی دارد (۱۵). همچنین مقدار بارندگی که به کف جنگل می‌رسد (تاج‌بارش و ساقاب) برای استقرار تجدید حیات طبیعی گونه‌های درختی و درخچه‌ای در طول دوره رویش اهمیت زیادی دارد (۳۱). در مناطق دارای فصل خشک در دورهٔ رویش گیاهی، با آگاهی از میزان باران‌ربایی، می‌توان در صورت زیاد بودن میزان باران‌ربایی، با توجه به نیاز آبی توده، از طریق عملیات تنک کردن به استقرار زادآوری و رفع نیاز آبی گونه‌های گیاهی کمک کرد. شرط لازم برای پژوهش‌های آب و چرخه عناصر در جنگل، نمونه‌برداری مناسب از تاج‌بارش (۸) به دلیل اهمیت کمی و بیوشیمیایی آن است (۲). در اندازه‌گیری بارندگی کل در مطالعات کوچک مقیاس معمولاً از یک یا دو جمع‌آوری کننده استفاده می‌شود ولی برای اندازه‌گیری میانگین تاج‌بارش به دلیل تغییرات مکانی زیاد باید از تعداد بیشتری از جمع‌آوری کننده‌ها استفاده شود (۱۸). انتخاب حداقل نمونه لازم در یک حد آستانه مشخص از خطا، از نظر اقتصادی و صرفه‌جویی در هزینه‌ها دارای اهمیت است (۳۰). تعداد جمع‌آوری کننده‌ها در سطح توده از بسیار کم (۱۰>) (۱۲) تا متوسط (۱۷ تا ۳۰) (۱۸) و زیاد (۳۰<) (۱۹)، برای تخمین تاج‌بارش متغیر است. تاکنون برای برآورد تاج‌بارش در مقیاس توده‌ای جنگلی (استوایی و معتدله) مطالعاتی در مورد تعداد نمونه لازم انجام شده است (۱۹،۳۴).

جنگل‌های زاگرس نواحی وسیع بسیار مهمی از منابع خاکی و آبی کشور را شامل می‌شود که در محدوده‌ای خشک و نیمه خشک قرار گرفته‌اند. بلوط ایرانی (*Quercus brantii* .Lindl) در قسمت‌های مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی زاگرس جامعه خالصی را تشکیل می‌دهد و تقریباً ۳/۵ میلیون هکتار از ۵ میلیون هکتار جنگل‌های زاگرس را این جامعه به خود اختصاص می‌دهد (۱۵،۷). این جنگل‌ها تأثیر مهمی بر بیلان آبی این ناحیه رویشی دارد. از طرف دیگر، نظر به انجام جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بومی و غیر بومی و ارجحیت بیشتر گونه‌های سریع الرشد به خصوص در سال‌های اخیر در زاگرس، لازم است اثر این جنگلکاری‌ها در مقایسه با توده های 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، در مدیریت منابع آب و افزایش بازده هیدرولوژیک جنگلکاری‌ها برای انتخاب گونه مناسب ضروری است (۳۱). بر این اساس تحقیق حاضر در نظر دارد دارد تا تعداد مناسب نمونه (جمع آوری‌کننده) به‌عنوان ابزار مهم برای برآورد تاج‌بارش در جنگکاری با برخی گونه‌های سوزنی‌برگ و جنگل طبیعی شاخه‌زاد بلوط ایرانی را بررسی کند. با تعیین تعداد مناسب جمع‌آوری کننده می‌توان با دقت قابل قبول و نیز صرفه‌جویی در زمان و هزینه، اندازه‌گیری مناسبی از باران و اجزای آن در مناطق جنگلی داشت.

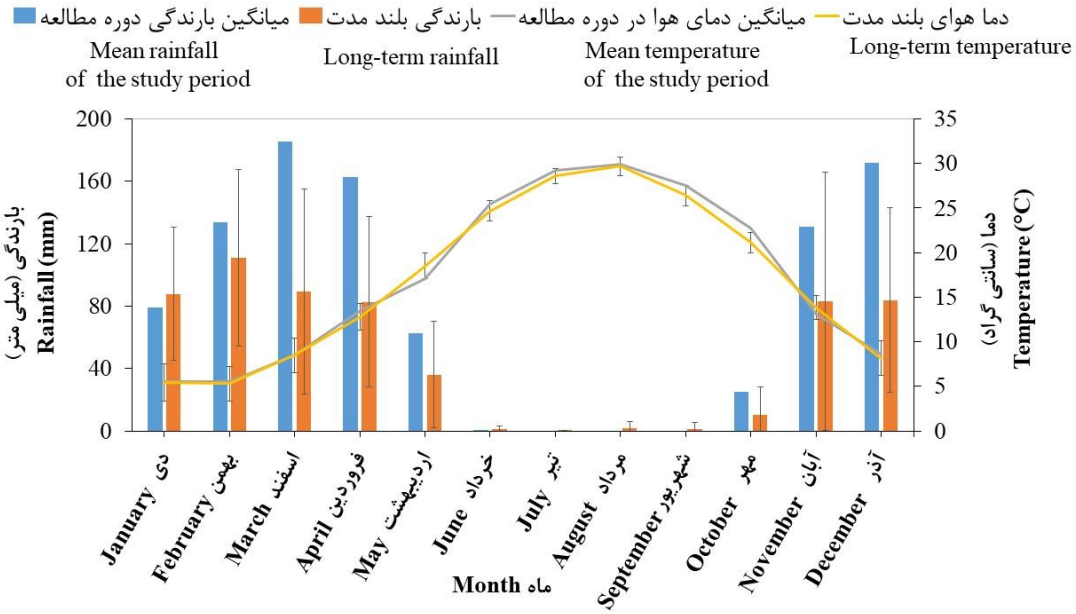
مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

پارک جنگلی چغاسبز با وسعتی حدود ۴۳۰۰ هکتار از مهم‌ترین پارک‌های جنگلی استان ایلام محسوب می‌شود. موقعیت مکانی پارک جنگلی چغاسبز در حاشیهٔ شهر در ضلع جنوب و جنوب شرقی شهر ایلام واقع شده است (شکل ۱). منطقه دارای آب و هوای معتدل کوهستانی با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد است. براساس آمار هواشناسی ایستگاه ایلام، متوسط بارندگی سالیانه ۵۸۸/۱۴ میلی‌متر که کمترین میزان آن در تیر ماه ۰/۱ میلی‌متر و بیشترین میزان آن در بهمن ماه ۱۱۰/۹۵ میلی‌متر است و میانگین دمای سالیانه ۱۶/۹۱ درجه سانتی‌گراد است. گرم‌ترین ماه سال مرداد ماه (با میانگین دمای ۲۹/۶۸ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال بهمن ماه (با میانگین دمای سالیانه ۵/۳۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. همچنین میانگین پتانسیل تبخیر سالیانه ۲۰۱۰ میلی‌متر با آنالیز حاصل از داده‌های تشت تبخیر کلاس A بدست آمد. آنالیز داده‌های اقلیمی، مجموع بارندگی در دوره مطالعه (مهرماه ۱۳۹۷ تا بهمن ماه ۱۳۹۸) را ۹۵۲/۱۵ میلی‌متر نشان داد که نسبت به متوسط مدت مشابه در دوره ۳۵ ساله (۵۸۸/۱۴ میلی‌متر) ۶۲ درصد افزایش دارد و همچنین میانگین دمای هوا در دوره مورد مطالعه (۱۷/۲۲ درجه سانتی‌گراد) نسبت به میانگین مدت مشابه در دوره ۳۵ ساله (۱۶/۹۱ درجه سانتی‌گراد) اندکی افزایش داشته است. گرم‌ترین ماه در دوره زمانی مطالعه، مردادماه با دمای ۲۹/۹۲ سانتی‌گراد بود که با آمار بلند مدت آن (۲۹/۷ سانتی‌گراد) انطباق دارد (شکل ۲)(۲۶).



شکل ۱- موقعیت توده‌های مورد مطالعه (A: بلوط، B: کاج تهران و C: سرو نقره ای) در جنگل‌های زاگرس، شهرستان ایلام
Figure 1. Study stands locations (A: *Quercus brantii*, B: *Pinus eldarica* and C: *Cupressus arizonica*) in Zagros forests, Ilam County



شکل ۲- میانگین درجه حرارت و بارندگی ماهیانه بر اساس آمار سی و چهار ساله (از سال ۱۳۶۵ تا سال ۱۳۹۹) ایستگاه سینوپتیک شهر ایلام (نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقه مورد مطالعه
Figure 2. Monthly mean rainfall and air temperature based the past 34 years (1986-2020), as recorded by a nearby synoptic meteorological station (approximately 500 m away)

اندازه‌گیری‌ها در پارک جنگلی چغاسبز ایلام در یک توده طبیعی شاخه زاد بلوط ایرانی و دو توده دست کاشت کاج تهران و سرو نقره‌ای (در مجموع ۱۵۰ هکتار سطح جنگل‌کاری با دو گونه مورد مطالعه بود) (فاصله کاشت در توده کاج تهران ۳ تا ۴ متر و در توده سرو نقره ای ۴ تا ۶ متر) ۳۰ ساله انجام گرفت. ارتفاع از سطح دریای منطقه مورد مطالعه ۱۳۵۰ تا ۱۶۰۰ متر است. در هر سه توده مورد مطالعه مشخصات تعداد پایه‌ها، قطر برابر سینه، ارتفاع کل درخت، ارتفاع تاج درخت، مساحت تاج و حجم تاج درختان مورد بررسی در قطعات نمونه ۴۰۰ متر مربعی، اندازه‌گیری شد. همچنین پوشش کف (لاشبرگ و پوشش علفی) برای سه توده به‌ترتیب ۶۰، ۹۰ و ۵۰ درصد بود (جدول ۱).

جدول ۱- میانگین (± انحراف معیار) مشخصه‌های توده‌های مورد مطالعه در پارک جنگلی چغاسبز ایلام
Table 1. Mean (± standard deviation) morphological characteristics of the study stands in Choghasabz Forest Park, Ilam

گونه Species	قطر برابر سینه (سانتی متر) Diameter at breast height (cm)	ارتفاع کل (متر) Total height (m)	ارتفاع تاج (متر) Crown height (m)	مساحت تاج (مترمربع) Crown area (m^3)	حجم تاج (مترمکعب) Crown volume (m^3)	تراکم، (تعداد در قطعه نمونه ۴۰۰ متر مربع) Density, (number per 400 m2)
بلوط ایرانی *Quercus brantii*	17.93 (±1.50)	8.40 (±1.43)	5.93 (±1.01)	21.82 (±5.89)	128.33 (±50.85)	22
کاج تهران *Pinus eldarica*	19.60 (±2.17)	11.53 (±1.25)	10.27 (±1.14)	10.14 (±2.80)	106.1 (±40.56)	35
سرو نقره ای *Cupressus arizonica*	19.37 (±2.95)	9.73 (±1.65)	9.10 (±1.49)	12.94 (±3.21)	118.17 (±45.56)	18

روش اندازه‌گیری و محاسبه اجزای باران

در تحقیق حاضر، مقدار باران، تاج بارش و ساقاب در توده‌های بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره ای در دو فصل رویش (۱۵ اردیبهشت تا ۱۵ آبان ماه) و فصل خزان (۱۵ آبان تا ۱۵ اسفند ماه) اندازه‌گیری شدند. به‌منظور اندازه‌گیری مقدار باران از پنج عدد جمع‌آوری کننده باران از جنس پلاستیک با قطر دهانه ۱۴ سانتی‌متر و ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متر در فضای باز مجاور توده‌های مورد مطالعه پس از هر رخداد بارش استفاده شد. محل استقرار آنها به نحوی انتخاب شد که با تاج درختان (فضای باز مجاور توده‌ها) تداخل نداشته باشند.

بعد از اندازه‌گیری هر باران، جمع‌آوری کننده باران از آب تخلیه و از شاخ و برگ تمیز شدند و سپس در جای خود قرار داده شدند. برای اندازه‌گیری تاج بارش در توده بلوط ایرانی، ۲۷ جمع‌آوری کننده تاج‌بارش (مشابه جمع‌آوری کننده‌های باران) و در هر کدام از توده‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای ۳۶ جمع‌آوری کننده تاج‌بارش به‌صورت تصادفی زیر تاج‌پوشش قرار داده شدند. توزیع این باران‌سنج‌ها به گونه‌ای بود که تمام سطح قطعه نمونه را به‌صورت یکنواخت پوشش دهند. برای کاهش خطا در اندازه‌گیری تاج‌بارش در سطح توده (۲۱،۱۴،۱۳) تعداد کمی (چهار عدد) از باران‌سنج‌ها بعد از هر پنج رخداد باران (۲۱)، جابه‌جا و در مکان‌های دیگر در سطح توده به‌صورت تصادفی مستقر شدند و بیشتر آنها (۳۶ عدد) نیز در کل دورهٔ پژوهش در نقاط ثابت مستقر بودند. تغییرات مکانی تاج‌بارش بسیار زیاد است ولی با جابه‌جایی تعدادی از باران‌سنج‌ها بعد از هر رخداد باران، خطای اندازه‌گیری تاج‌بارش کاهش پیدا می‌کند (۳۰،۱۳). در هر توده ساقاب پنج درخت اندازه‌گیری شد. بدین صورت که از ناودان‌های لاستیکی استفاده شد و این ناودان‌ها حداقل یک و نیم دور به دور تنهٔ رختان می‌چرخیدند. این ناودان‌های لاستیکی در ارتفاع برابر سینه نصب و خروجی آنها به ظرف‌های جمع‌آوری کننده ۲۰ لیتری متصل می‌شد (۳۱). اندازه‌گیری حجم تاج بارش طی هر بارندگی همزمان با اندازه‌گیری بارندگی و به روش مشابه با آن انجام شد.

در صورت وقوع بارندگی در شب، اندازه گیری‌ها در روز بعد و قبل از طلوع خورشید انجام شد. حداقل زمان چهار تا پنج ساعت بدون بارندگی برای تفکیک باران ها از یکدیگر، با این فرض که در این مدت تاج پوشش می‌تواند کاملاً خشک شود، در نظر گرفته شد (۸). در صورت وقوع باران در کمتر از فاصله زمانی بیان شده، مجموع بارندگی‌ها در این مدت به‌عنوان یک باران در نظر گرفته شد (۱۴).

همان‌طور که بیان شد، تاج‌بارش به دلیل ناهمگن بودن ساختار تاج‌پوشش درختان دارای تغییرات مکانی می‌باشد، به همین دلیل برای اندازه‌گیری میانگین دقیق تاج‌بارش به تعداد زیادی جمع‌آوری کننده نیاز است. بر همین اساس برای محاسبه تعداد جمع‌آوری کننده‌های لازم برای تخمین تاج‌بارش در یک حد آستانه مطلوب از معادله Kimmins (۱۹۷۳) که به‌صورت رابطه ۱ است، استفاده شد.

$$n = \frac{t^2 (a, n' - 1)\, {}^{cv^2}}{E^2} \qquad (۱)$$

در این رابطه، n: تعداد جمع‌آوری کننده‌های مورد نیاز، t: مقدار t استیودنت با احتمال خطای a و درجه آزادی n-1، n': تعداد جمع‌آوری کننده‌های بکار گرفته‌شده، CV: ضریب تغییرات به درصد و E: خطای قابل قبول است که به‌صورت درصدی از میانگین بیان می‌شود.

در این پژوهش از مقادیر تجمعی تاج‌بارش در کل دوره مطالعه برای محاسبه تعداد جمع‌آوری کننده‌های لازم برای تخمین باج‌بارش استفاده شد. توزیع نرمال مقادیر تجمعی تاج‌بارش با استفاده از آزمون کولموگروف- اسمیرنوف برای هر سه توده مورد مطالعه بررسی شد. در صورت نرمال نبودن توزیع داده‌ها، با حذف داده‌های پرت، توزیع داده‌ها بهبود یافت.

نتایج و بحث

در طول دوره مطالعه از مهر ماه ۱۳۹۷ تا اواخر بهمن ۱۳۹۸، تعداد ۲۰ بارندگی با مجموع عمق ۲۵۸/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. که میانگین عمق تاج‌بارش، باران ربایی و ساقاب به‌ترتیب برای بلوط ایرانی: ۲۰۷/۳۲ میلی‌متر (۸۰/۲۹ درصد از بارندگی)، ۴۶/۲۳ میلی‌متر (۳۶/۵۲ درصد از بارندگی) و ۴/۶۷ میلی‌متر (۱/۸۱ درصد از بارندگی)، کاج تهران: ۱۲۹/۲۱ میلی‌متر (۵۰ درصد از بارندگی)، ۱۱۳/۱۷ میلی‌متر (۴۳/۸۳ درصد از بارندگی)، ۱۶/۰۷ میلی‌متر (۶/۲۲ درصد از بارندگی) و سرو نقره‌ای: ۱۵۲/۴۷ میلی‌متر (۵۹/۰۵ درصد از بارندگی)، ۹۲/۱۷ میلی‌متر (۳۵/۷ درصد از بارندگی) و ۱۳/۵۷ میلی‌متر (۵/۲۶ درصد از بارندگی) محاسبه شد (جدول ۲).

جدول ۲- مقادیر بارندگی و تاج‌بارش سه توده مورد مطالعه

Table 2. Rainfall, throughfall values for the three studied stands

تاج‌بارش Throughfall	بارندگی Rainfall		توده					
			بلوط ایرانی *Quercus brantii*		کاج تهران *Pinus eldarica*		سرو نقره‌ای *Cupressus arizonica*	
	میلی‌متر mm	درصد ٪	میلی‌متر mm	درصد ٪	میلی‌متر mm	درصد ٪	میلی‌متر mm	درصد ٪
تجمعی	258.2	100	207.32	80.29	129.21	50.04	152.47	59.05
میانگین Cumulative average	12.91	100	10.37	80.23	6.46	50.04	7.60	58.78

*تعداد جمع‌آوری کنندها (n') برای بلوط ایرانی ۲۷ و جنگل‌کاری های کاج تهران و سرو نقره ای برابر ۴۰ بوده است.

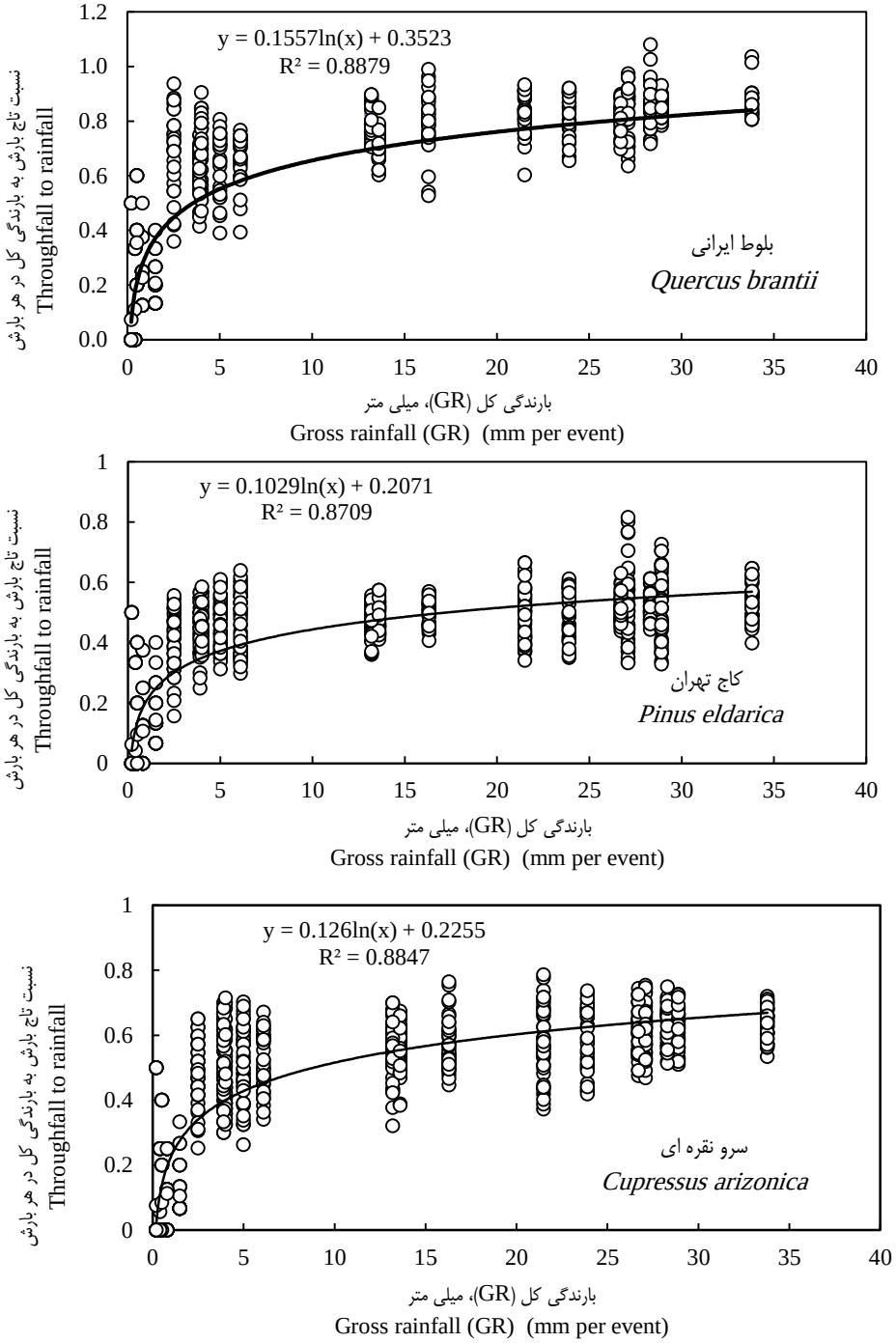
The number of collectors (n) were 27 for *Quercus brantii* and 40 for *Pinus eldarica* and *Cupressus arizonica* forestry.

جدول ۳- مقادیر خطای میانگین تجمعی تاج‌بارش (درصد)، درصد حدود اعتماد، تعداد جمع‌آوری کننده‌ها و ضریب تغییرات تجمعی تاج‌بارش سه توده

Table 3. Error of cumulative throughfall (%), Confidence interval (%), Number of throughfall gauges and cumulative throughfall coefficient variation for the three studied stands

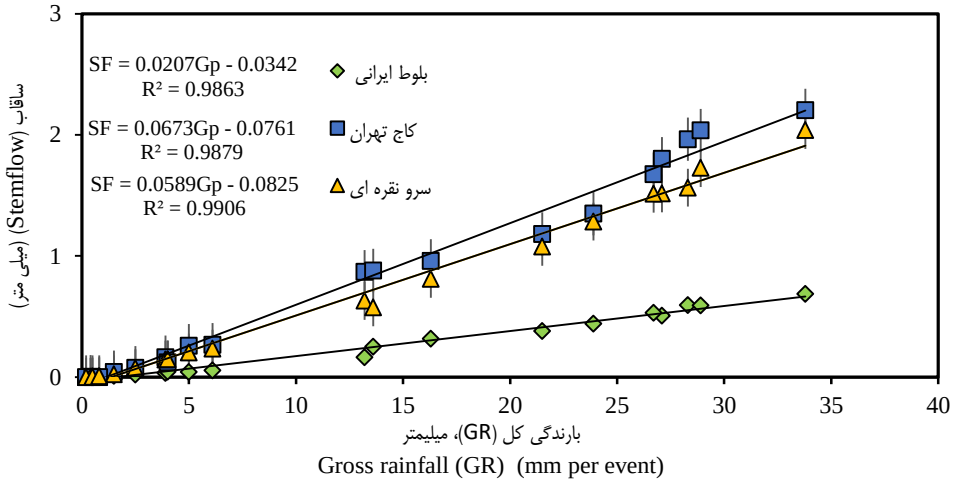
توده ها Stands	درصد حدود اعتماد Confidence interval (%)	خطای میانگین تاج بارش تجمعی (درصد) Error of cumulative throughfall (%)				ضریب تغییرات Coefficient of variation
		5	10	15	20	
		تعداد جمع‌آوری کنندها Number of throughfall gauges				
بلوط ایرانی *Quercus brantii*	99	194	49	22	12	23.65
	95	102	25	11	7	
	90	68	17	8	4	
	99	77	19	9	5	
کاج تهران *Pinus eldarica*	95	41	10	5	3	15.02
	90	26	7	3	2	
	99	58	14	6	4	
سرو نقرهای *Cupressus arizonica*	95	30	8	3	2	12.86
	90	20	5	2	1	

نتایج بدست آمده از بررسی رگرسیونی بین بارندگی و تاج‌بارش نشان داد که با افزایش میزان بارندگی، نسبت تاج‌بارش به بارندگی در هر بارش در سه توده مورد مطالعه (بلوط ایرانی: R^2=۰/۹۱۵۵، کاج تهران: R^2=۰/۸۸۳۱ و سرو نقره‌ای:R^2=۰/۸۹۶۷) روند افزایش دارد. همچنین ساقاب نیز همانند تاج‌بارش با میزان بارندگی نسبت مستقیم نشان داد؛ یعنی با افزایش میزان بارندگی، نسبت ساقاب به بارندگی نیز به‌صورت لگاریتمی افزایش یافت. با توجه به نحوه محاسبه باران‌ربایی و تاج‌بارش، عکس این نتیجه بین بارندگی و نسبت باران‌ربایی به بارندگی بدست آمد (شکل ۵)، یعنی با افزایش میزان بارندگی، نسبت باران‌ربایی به بارندگی به‌صورت لگاریتمی روند کاهشی داشت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تاج‌پوشش هر سه توده توزیع آب باران در سطح زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌طوری که از ۱۰۰ درصد میزان بارندگی، به‌ترتیب در توده بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای، ۸۲/۱ (۸۰/۲۹ درصد تاج‌بارش+ ۱/۸۱ درصد ساقاب)، ۵۶/۲۶ (۵۰/۰۴ درصد تاج‌بارش+ ۶/۲۲ درصد ساقاب) و ۶۴/۳۱ (۵۹/۰۵ درصد تاج‌بارش+ ۵/۲۶ درصد ساقاب) درصد آن بعد از عبور از تاج درختان به سطح زمین می‌رسد و به‌ترتیب ۳۶/۵۲، ۴۳/۸۳ و ۳۵/۷ درصد آن از دسترس خارج شده و از طریق باران‌ربایی وارد اتمسفر می‌شود؛ و با توجه به نتایج پژوهش، با افزایش میزان عمق بارندگی، سهم تاج‌بارش و ساقاب از بارندگی افزایش داشت (شکل ۴) و با توجه به نحوه محاسبه باران‌ربایی عکس این نتیجه بین بارندگی و نسبت باران‌ربایی به بارندگی را نشان داد (شکل ۵)، یعنی با افزایش میزان بارندگی، درصد باران‌ربایی از بارندگی کاهش می‌یابد که همسو با نتایج مطالعات کائو و همکاران (۴) و فتحی‌زاده و همکاران (۹) است. دلیل کاهش سهم باران‌ربایی با افزایش عمق بارندگی بدین گونه است که برای شکل‌گیری تاج‌بارش ابتدا باید ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش درختان کامل شود. به همین دلیل طی بارندگی‌های با عمق کم، بخش زیادی از باران صرف اشباع تاج‌پوشش می‌شود. در مقابل، به دلیل اینکه ظرفیت نگهداری آب تاج محدود می‌باشد، طی بارندگی‌های به عمق زیاد سهم بیشتری از بارندگی کل صرف تولید تاج‌بارش و ساقاب می‌شود که در نتیجه سهم باران ربایی از بارندگی کل نیز کاهش می‌یابد (۱،۳۲). علت تفاوت در میزان تاج‌بارش در گونه‌های مورد مطالعه می‌تواند ناشی از تراکم تاج، شاخص سطح برگ، شکل برگ، زاویه شاخه‌ها، ظرفیت ذخیره تاج، زبری سطح برگ و قابلیت هدایت قطره باران توسط برگ‌ها باشد (۳۱،۸).

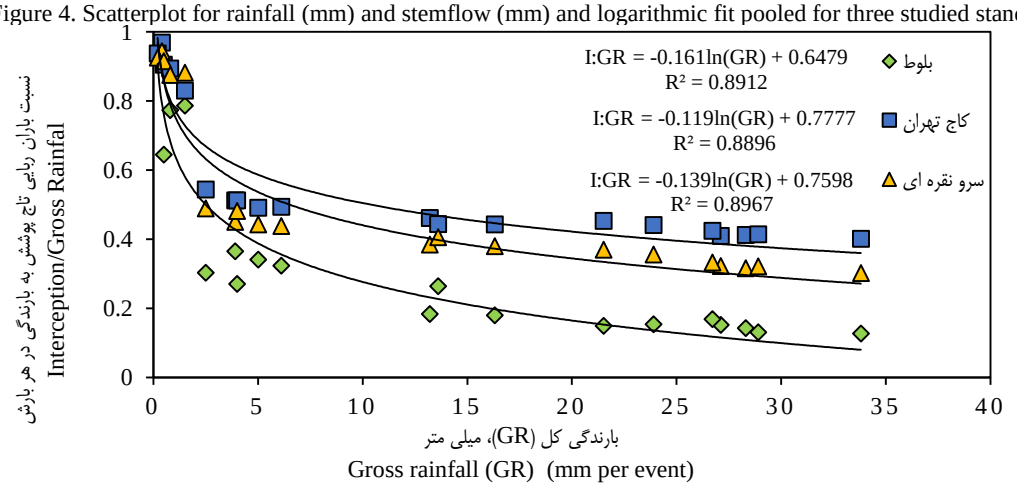


شکل ۳- نمودار پراکندگی نقاط نسبت تاج‌بارش به بارندگی کل در مقایسه با بارندگی کل و برازش لگاریتمی برای تمامی رخدادهای باران و نقاط تاج بارش سه توده مورد مطالعه

Figure 3. Scatterplot for throughfall to rainfall ratio against rainfall (mm) and logarithmic fit pooled for all events and sample locations of three studied stands



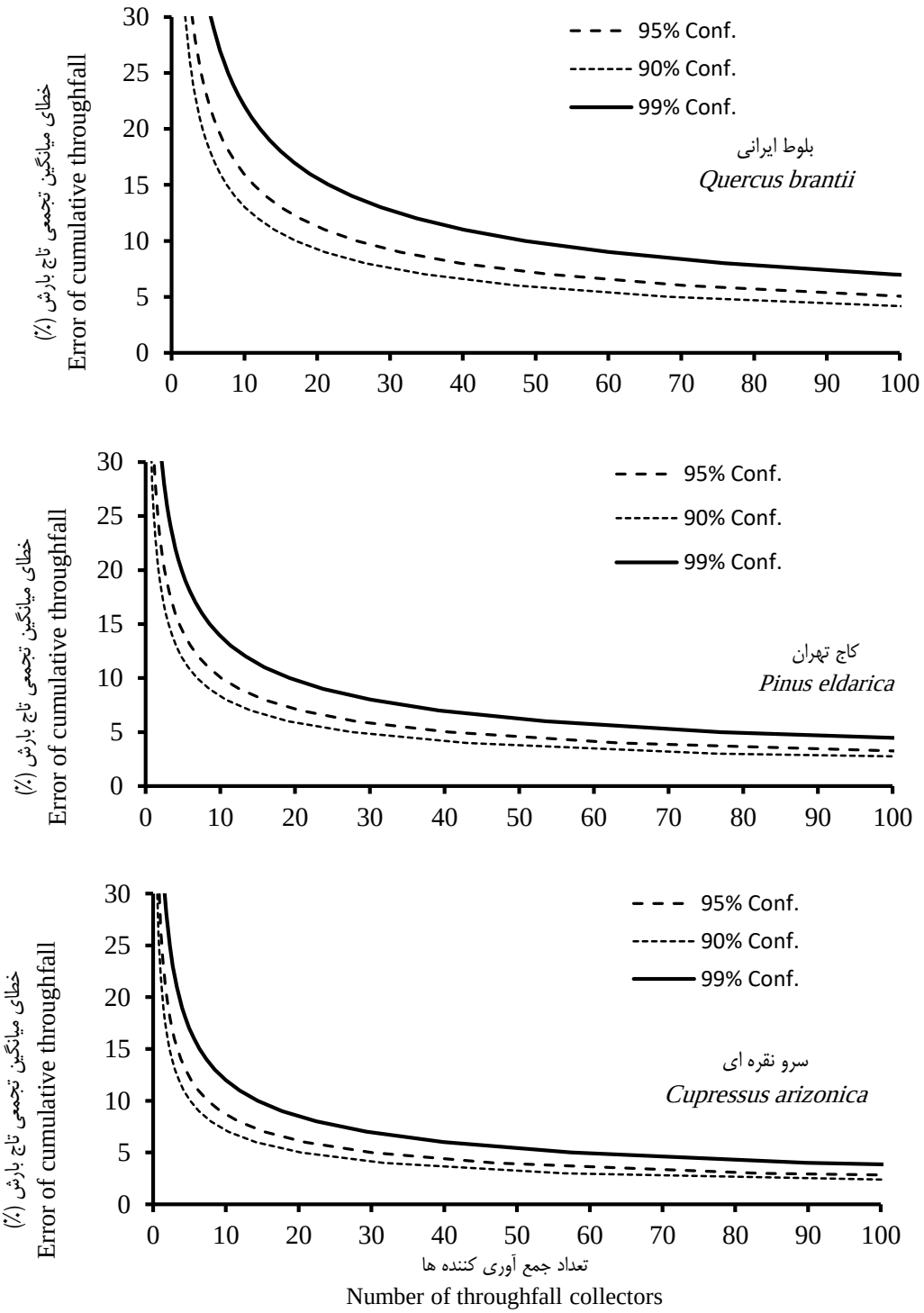
شکل ۴- نمودار بین بارندگی در هر بارش (GR) و ساقاب (SF) و برازش خط لگاریتمی برای سه توده
Figure 4. Scatterplot for rainfall (mm) and stemflow (mm) and logarithmic fit pooled for three studied stands



شکل ۵- نمودار نسبت باران ربایی تاج پوشش به بارندگی در هر بارش (I:GR) و بارندگی در هر بارش (GR) و برازش خط لگاریتمی برای سه توده
Figure 5. Scatterplot for rainfall interception ratio against rainfall (mm) and logarithmic fit pooled for three studied stands

برای تخمین میانگین تاج‌بارش با خطای معین، در گام نخست تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های مورد نیاز محاسبه شد. نتایج محاسبات تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های لازم برای تخمین میانگین تجمعی تاج‌بارش با درصد خطای مختلف به‌صورت نمودار برای هر سه توده آورده شده است (شکل ۶). بر این اساس، میانگین تعداد جمع‌آوری‌کننده لازم با درصد خطای پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد و حدود اعتماد ۹۵ درصد به‌ترتیب برای توده بلوط ایرانی ۱۰۲، ۲۵ و ۱۱، کاج تهران ۴۱، ۱۰ و ۵ و برای توده سرو نقره‌ای ۳۰، ۸ و ۳ تخمین زده شد (α=۰/۰۵).

با توجه به شکل ۶ و جدول ۳ مشاهده می‌شود که تعداد جمع‌آوری کننده‌های لازم برای تخمین میانگین تاج‌بارش به‌طور مستقیم به مقدار ضریب تغییرات و در نتیجه به میزان ناهمگنی تاج‌بارش وابسته است. به‌طوری که در مطالعه حاضر، توده بلوط ایرانی دارای بیشترین مقدار ضریب تغییرات تاج‌بارش و به دنبال آن بیشترین جمع‌آوری‌کننده‌های لازم برای اندازه‌گیری تاج‌بارش بود. همچنین کمترین مقدار ضریب تغییرات و کمترین جمع‌آوری کننده‌های لازم برای اندازه‌گیری تاج بارش برای سرو نقره‌ای محاسبه شد. با توجه به شکل ۶ (بلوط ایرانی)، با وجود تفاوت در نمودارهای بدست آمده برای توده‌های مختلف مورد بررسی، الگوی کلی رابطه درصد خطای میانگین تجمعی تاج‌بارش با تعداد جمع‌آوری‌کننده‌ها برای کاج تهران و سرو نقره‌ای نزدیک بهم و برای بلوط ایرانی کمی متفاوت است. به‌طور کلی برای هر سه توده مورد مطالعه ابتدا با افزایش تعداد جمع‌آوری کننده‌ها درصد خطا با شیب زیادی کاهش می‌یابد. در توده بلوط ایرانی این روند تا رسیدن به تعداد ۲۰ جمع‌آوری‌کننده وجود دارد. پس از آن با رسیدن به تعداد ۵۰ جمع‌آوری‌کننده شیب کاهش درصد خطا کاسته شده و مقدار تغییرات درصد خطا به ازای افزایش تعداد نمونه ناچیز می‌شود. در توده کاج‌تهران تا رسیدن به تعداد ۱۲ جمع‌آوری‌کننده درصد خطا با شیب زیادی کاهش و پس از رسیدن به تعداد حدود ۳۲ جمع‌آوری‌کننده مقدار تغییرات درصد خطا به ازای افزایش تعداد نمونه، بسیار کم است و در توده سرو نقره‌ای نیز در ابتدا تا رسیدن تعداد نمونه به ۱۰ عدد جمع‌آوری‌کننده، درصد خطا با شیب زیاد کاهش داشته و با رسیدن به تعداد ۲۸ جمع‌آوری کننده مقدار تغییرات خطا ناچیز می‌شود.



شکل ۶- خطای میانگین تجمعی تاج‌بارش (درصد) به‌صورت تابعی از تعداد جمع‌آوری کننده‌ها (n) با سه حدود اعتماد مختلف و برای سه توده مورد مطالعه

Figure 6. Error of cumulative throughfall (%) as a function of the number of throughfall collectors, for three different confidence intervals, at the three studied stands

برای اندازه‌گیری میانگین تجمعی تاج‌بارش، میانگین تعداد جمع‌آوری کننده‌های لازم با خطای پنج، ۱۰ و ۱۵ درصد به‌ترتیب برای بلوط ایرانی ۱۰۲، ۲۵ و ۱۱ عدد، کاج تهران ۴۱، ۱۰ و ۵ و سرو نقره‌ای ۳۰، ۸ و ۳ عدد تخمین زده شد (α =۰/۰۵). در بین توده‌های مورد مطالعه، بلوط ایرانی به دلیل ضریب تغییرات تاج‌بارش بیشتر به تعداد جمع‌آوری‌کننده بیشتری برای اندازه‌گیری تاج‌بارش نیاز دارد. دلیل بیشتر بودن ضریب تغییرات تاج‌بارش بلوط ایرانی نسبت به دو توده دیگر

می‌تواند ناشی از اینکه توده بلوط جنگل طبیعی و دو توده سوزنی‌برگ جنگل‌کاری بوده، وضعیت خزان کننده بودن توده بلوط، ترکیب سنی متفاوت آن و وجود جست‌های با ساختار متفاوت، ناهمگنی تاج‌پوشش و درنتیجه ناهمگنی در توزیع مکانی تاج‌بارش باشد (۸،۳۴). همچین در بالای بعضی از جمع‌آوری کننده‌ها شاخه درخت به‌صورتی به سمت پایین خم شده بود که مانند قیف (Funnel) عمل می‌کرد و به این ترتیب تاج‌بارش بیشتر را به داخل جمع‌آوری‌کننده‌ها هدایت می‌شد که در افزایش ضریب تغییرات تاج‌بارش موثر است (۸) در بعضی از مطالعات برای کاهش اثر این فرآیند، تغییر مکان جمع‌آوری‌کننده‌های تاج‌بارش بعد از یک یا چند بارندگی پیشنهاد شده است (۳۷،۲۵،۱۵،۱۳). فتحی‌زاده و همکاران (۹) در مطالعه بر روی تک درختان بلوط ایرانی در رویشگاه زاگرس برای تخمین میانگین تجمعی تاج‌بارش با خطای ۱۵ درصد، تعداد ۸ جمع‌آوری کننده را محاسبه کردند. ولارت و همکاران (۳۵) طی پژوهشی در جنوب اکوادر برای اندازه‌گیری تاج‌بارش با خطای ۱۰ درصد از میانگین سالانه، تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های مورد نیاز برای دو توده تخریب‌نشده و مدیریت‌شده را به‌ترتیب ۲۷ و ۲۰ عدد گزارش کردند (α=۰/۰۵). رودریگو و آویلا (۲۹) طی مطالعه‌ای در اسپانیا بر روی دو توده بلوط همیشه‌سبز (*Quercus ilax*) با خطالی ۱۰ در صد (α=۰/۰۵) تعداد نه و ۱۱ عدد جمع‌آوری‌کننده را کافی برای اندازه‌گیری تاج‌بارش گزارش دادند.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که تاج‌پوشش هر سه توده (توده‌های بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای) توزیع آب باران در سطح زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌طوری که با در نظر گرفتن ۱۰۰ درصد میزان بارندگی، توده‌های سوزنی‌برگ و بخصوص کاج تهران نسبت به توده بلوط موجب کاهش ورودی آب باران به سطح عرصه جنگلی شده‌اند. در تحقیق حاضر برای تخمین میانگین تجمعی تاج‌بارش، تعداد ۲۷ عدد جمع‌آوری کننده مورد استفاده در این مطالعه برای توده بلوط ایرانی با خطای ۱۰ کافی می‌باشد. و در توده کاج تهران و سرو نقره‌ای به‌ترتیب میانگین تعداد جمع‌آوری‌کننده لازم با درصد خطای پنج ۴۱ و ۳۰ عدد تخمین زده شده که با توجه به ۳۶ عدد جمع‌آوری کننده مورد استفاده در این مطالعه برای این دو توده برای خطای ۵ درصد کافی است(α=۰/۰۵). تعداد جمع‌آوری کننده‌های لازم برای تخمین میانگین تاج‌بارش به‌طور مستقیم به مقدار ضریب تغییرات و در نتیجه به میزان ناهمگنی تاج‌بارش وابسته است. به‌طوری که در مطالعه حاضر، توده بلوط ایرانی دارای بیشترین مقدار ضریب تغییرات تاج‌بارش و به دنبال آن بیشترین جمع‌آوری‌کننده‌های لازم برای اندازه‌گیری تاج‌بارش بود. همچنین کمترین مقدار ضریب تغییرات و کمترین جمع‌آوری کننده‌های لازم برای اندازه‌گیری تاج بارش برای سرو نقره‌ای محاسبه شد. بنابراین، با توجه به تعداد جمع‌آوری کننده مورد استفاده در مطالعه حاضر، برای تخمین میانگین تجمعی تاج‌بارش با خطای ۵ درصد، برای توده بلوط ایرانی باید تعداد جمع‌آوری‌کننده‌ها افزایش یابد. تعداد جمع‌آوری کننده مورد استفاده در توده بلوط ایرانی برای خطای ۱۰ درصد کافی است و همچنین تعداد جمع‌آوری کننده‌های دو توده کاج‌تهران و سرو نقره‌ای برای خطای ۵ درصد مناسب است.

در مطالعات توده‌های جنگلی مختلف برای بدست آوردن تعداد جمع‌آوری‌کننده‌های مورد نیاز برای تخمین تاج‌بارش بسته به نوع توده و درجه ناهمگنی ساختار تاج‌پوشش و در نتیجه ناهمگنی در توزیع مکانی تاج‌بارش به نتایج متفاوتی دست یافتند (۳۴،۳۰،۸) که معید این مطلب است که ضریب تغییرات تاج‌بارش مهم‌ترین عامل در تعیین تعداد جمع‌آوری‌کننده لازم با درصد خطای مشخص است.

با توجه به ضرورت توسعه جنگل‌کاری با گونه‌های مختلف بومی و غیر بومی در ناحیه رویشی زاگرس، نتایج این مطالعه نشان داد که جنگلکاری‌ها در مقایسه با توده های طبیعی بر باران و اجزای آن از جمله تاج بارش به‌عنوان یکی از عوامل مهم مؤثر بر چرخه آب اثر گذار بوده است. بنابراین توصیه می شود در طرح‌های جنگلکاری و احیای عرصه‌های جنگلی بخصوص با گونه‌های غیربومی با در نظر گرفتن تعداد مناسب نمونه برای برآورد تاج‌بارش به اثر آنها بر باران و اجزای توجه ویژه شود. این اقدام می‌تواند گامی مهم برای مدیریت منابع آبی سرزمین باشد.

منابع

1. Bellot, J. and A. Escarre. 1991. Chemical characteristics and temporal variations of nutrients in throughfall and stemflow of three species of Mediterranean holm oak forest. Forest Ecology and Management, 41: 125-135.
2. Borken, W., Y.J. Xu, R. Brumme and N. Lamersdorf. 1999. A climate change scenario for carbon dioxide and dissolved organic carbon fluxes from a temperate forest soil drought and rewetting effects. Soil Science Society of America Journal, 63(6): 1848-1855.
3. Bouten, W., T.J. Heimovaara and A. Tiktak. 1992. Spatial patterns of throughfall and soil water dynamics in a Douglas fir stand. Water Resource Research, 28: 3227-3233.
4. Cao, Y., Z.Y. Ouyang, H. Zheng, Z.G. Huang, X.K. Wang and H. Miao. 2008. Effects of forest plantation on rainfall redistribution and erosion in the red soil region of Southern China. Land Degradation Development, 19: 321-330.
5. Carlyle-Moses, D.E. and J. H.C. Gash. 2011. Rainfall Interception Loss by Forest Canopies, Forest Hydrology and Biogeochemistry, 216: 407-423.
6. Carlyle-Moses, D.E., J.S. Fores Laureano and A. Price. 2004. Throughfall and throughfall spatial variabiltiy in Madrean oak forest communities of northeastern Mexico. Journal of Hydrology, 297: 124-135.
7. Esmaeeli, Z., B. Pilhvar, A. Kaboodi and Z. Mirazadi. 2017. The approoriate sampling method for estimating density and crown canopy of declined oak stands in dinarkooh protected forest, Abdanan, Ilam. Ecology of Iranian Forests, 5(10): 53-60 (In Persian).

8. Fathizadeh, O., P. Attarod, R.F. Keim, G.H. Zahedi Amiri and A.A. Darvishsefat. 2014. Spatial heterogeneity and temporal stability of throughfall under individual Quercus brantii trees. Hydrological Processes, 28: 1124-1136.
9. Fathizadeh, O., P. Attarod and H. Sohrabi. 2014. The optimum samples size to estimate throughfall for individual Brant`s oaks (*Quercus brantii*) in Zagros forests. Iranian Journal of Forest and Poplar Research, 22(4): 574-584 (In Persian).
10. Fathizadeh, O., S.M. Hosseini, A. Zimmermann, R.F. Keim and A. Darvishi Boloorani. 2017. Estimating Linkages between forest structural variables and rainfall interception parameters in semiarid deciduous oak forest stands. Science of the Total Environment, (601-602), 1824-837.
11. Fathizadeh, O., S.M. Hosseini, R.F. Keim and A.D. Boloorani. 2018. A seasonal evaluation of the reformulated Gash interception model for semi-arid deciduous oak forest stands. Forest Ecology and Management, 409: 601-613.
12. Fathizadeh, O., S.M.M. Sadeghi, I. Pazhouhan, S. Ghanbari, P. Attarod and L Su. 2021. Spatial variability and optimal number of rain gauges for sampling throughfall under single oak trees during the leafless period. Forests 12(5): 585.
13. Ford, E. and J. Deans. 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.
14. Gomez, J.A., K. Vanderlinden, J.V. Giraldez and E. Fereres. 2002. Rainfall concentration under olive trees. Agricultural Water Management, 55: 53-70.
15. Karamian, M. and J. Mirzaei. 2020. The most important factors affecting Persian oak (Quercus brantii) decline in Ilam province. Ecology of Iranian Forests, 8(15): 93-103 (In Persian).
16. Kimmins, J.P. 1973. Some statistical aspects of sampling throughfall precipitation in nutrient cycling studies in British Columbian coastal forests. Ecology, 54: 1008-1019.
17. Kostelnik, K.M., J.A. Lynch, J.W. Grimm and E.S. Corbett. 1989. Sample size requirements for estimation of throughfall chemistry beneath a mixed hardwood forest. Journal of Environmental Quality, 18: 274-280.
18. Lawrence, G.B. and I.J. Fernandez. 1993. A reassessment of areal variability of throughfall deposition measurements. Ecol. Appl, 3: 473-480.
19. Levia, D.F. and E.E. Frost. 2006. Variability of throughfall volume and solute inputs in wooded ecosystems. Progress in Physical Geography, 30: 605-632.
20. Llorens, P., R. Poch, J. Latron and F. Gallart. 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: 331-345.
21. Lloyd, C.R. and F. Marques. 1988. Spatial variability of throughfall and stemflow measurements in Amazonian rainforest. Agricultural and Forest Meteorology, 42: 63-73.
22. Herrera-Ceferino, M.M., J.C. Viviescas-Restrepo and N.J. Aguirre-Ramirez. 2021. Effect of the Ground Slope and Soil Infiltration on the Water Nitrate Ion Concentrations. Revista EIA, 18(35): 200-208.
23. Holwerda, F., F.N. Scatena and L.A. Bruijnzeel. 2006. Throughfall in a Puerto Rican lower montane rain forest: A comparison of sampling strategies. Journal of Hydrology, 327: 592-602.
24. Masukata, H., M. Ando and H. Ogawa. 1990. Throughfall, stemflow and interception of rainwater in an evergreen broadleaved forest. Ecological Research, 5: 303-316.
25. Navar, J., D.E. Carlyle-Moses and M.A. Martinez. 1999. Interception loss from the Tamaulipan matorral thornscrub of northeastern Mexico: an application of the Gash analytical interception loss model. Journal of Arid Environments, 41: 1-10.
26. Piri, A.S. 2011. Natural Resources landscape of Ilam Province, Natural Resources Department of Ilam Province, 55 pp.
27. Pypker, T.G., B.J. Bond, T.E. Link, D. Marks and M.H. Unsworth. 2005. The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest, Agricultural and Forest Meteorology, 130(1): 113-129.
28. Robson, A.J., C. Neal, G.P. Ryland and M. Harrow. 1994. Spatial variation in throughfall chemistry at the small plot scale. Journal of Hydrology, 158: 107-122.
29. Rodrigo, A. and A. Avila. 2001. Influence of sampling size in the estimation of mean throughfall in two Mediterranean holm oak forests. Journal of Hydrology, 243: 216-227.
30. Roy, M.B., P.K. Roy, S. Halder, G. Banerjee and A. Mazumdar. 2021. Assessment of Stream Flow Impact on Physicochemical Properties of Water and Soil in Forest Hydrology through Statistical Approach. In *India:* Climate Change Impacts, Mitigation and Adaptation in Developing Countries, 207-225 pp.
31. Sadeghi, S.M.M. and 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.
32. Staelens, J., A. De Schrijver, K. Verheyen and N.E.C. Verhoest. 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.
33. Su, L., Z. Xie, W. Xu and C. Zhao. 2019. Variability of throughfall quantity in a mixed evergreen-deciduous broadleaved forest in central China. *J. Hydrol. Hydromech*, 67(3): 225-231.
34. Viville, D., P. Biron, A. Granier, E. Dambrine and A. Probst. 1993. Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France), Journal of Hydrology, 144(1-4): 273-282.
35. Wullaert, H., T. Pohlert, J. Boy, C. Valarezo and W. Wilcke. 2009. Spatial throughfall heterogeneity in a montane rain forest in Ecuador: Extent, temporal stability and drivers. Journal of Hydrology, 377: 71-79.
36. Xu, Q., S. Liu, X. Wan, C. Jiang, X. Song and J. Wang. 2012. Effects of rainfall on soil moisture and water movement in a subalpine dark coniferous forest in southwestern China. Hydrological Processes, 26(25): 3800-3809.
37. Ziegler, A.D., T.W. Giambelluca, M.A. Nullet, R.A. Sutherland, C. Tantasarin, J.B. Vogler and J.N. Negishi. 2009. Throughfall in an evergreen-dominated forest stand in northern Thailand: Comparison of mobile and stationary methods. Agricultural and Forest Meteorology, 149(2): 373-384.

Evaluation of the Rainfall Components Distribution and the optimum Samples Size to Estimate Throughfall for Needleleaf and Broadleaf Stands in Zagros Forests, Ilam

Ismail Allahi-Nejad[1], Mehdi Heydari[2], Javad Mirzaei[3], Omid Fathizadeh[4] and Pilar Lorenz[5]

1- Ph.D. Student of Forest Sciences, Department of Forest Sciences, Ilam University, Ilam
2- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam,
(Corresponding author: m.heidari@mail.ilam.ac.ir)
3- Associate Professor, Faculty of Agriculture, Ilam University, Ilam
4- Assistant Professor of Forestry Department, Ahar Faculty of Agriculture and Natural Resources, Tabriz University, Ahar
5- Institute for Environmental Assessment and Water Research (IDAEA), CSIC, Barcelona, Spain
Received: 6 December, 2022 Accepted: 16 January, 2023

Extended Abstract

Introduction and Objective: Measuring rainfall and its components is essential in forest areas to manage the land's water resources. Throughfall is one of the most important components of the water cycle in forest ecosystems, which has many spatial variations due to the heterogeneous structure of canopy and variable rainfall patterns. However, few studies conducted to determine the optimum samples size for estimating this variable. This study aimed to estimate the number of collectors needed to estimate the average cumulative throughfall of Persian oak (*Quercus brantii*), pine (*Pinus eldarica*) and silver cedar (*Cupressus arizonica*) stands within certain error limit percentage in the semi-arid Zagros forests (Chaoghasabz Forest Park, Ilam County). By determining the appropriate number of collectors, it is possible to have a proper measurement of rainfall and its components in forest areas with acceptable accuracy and saving time and cost.

Material and Methods: This research was conducted from October 2017 to February 2018, in natural stands of Persian oak, 30-year eldar pine and silver cedar plantations. The amount of rainfall was measured by five rain gauges located in the open space (outside the canopy), adjacent to the studied stands. The measurement of throughfall was carried out by 27 collectors in Persian oak underneath the canopy and 36 collectors in each eldar pine and silver cedar stands. The average stemflow of five trees in each stand was considered as the average stemflow of the stand. The amount of rainfall interception was estimated from the difference between the amount of gross rainfall and the sum of throughfall and stemflow.

Results: During the study period, 20 rainfall events (in total, 258.2 mm) were measured, and on average, 80, 50 and 59% of it has passed through the canopy in the form of throughfall in each oak, pine and cedar stands, respectively. The mean values for rainfall interception were computed as 46.23 mm for Persian oak, 113.17 mm for eldar pine and 92.17 mm for silver cedar stands. The average number of required collectors estimated with 5, 10 and 15% error percentage of the cumulative average of throughfall at a confidence limit of 95% are 102, 25, and 11 for oak, 5, 10, and 15 for pine and 30, 8 and 3 for cedar, respectively.

Conclusion: According to the results of this study, a positive and strong relationship was observed between the amount of rainfall and throughfall for Persian oak (R^2=0.9155), eldar pine (R^2=0.8831) and silver cedar (R^2=0.8967). On this basis, it can be said that with the increase of rainfall size, throughfall increases. Considering the rainfall regime and the importance of water in these areas, in forestry and modeling of ecohydrological processes in forest ecosystems, priority should be given to planting species with higher throughfall and less interception loss.

The estimated number of 27 collectors is enough to measure average cumulative throughfall of Persian oak with an error of 10%. In the eldar pine and silver cedar stands, where 36 collectors used, this number found to be optimum for measuring the cumulative average of throughfall with an error of 5%. Thus, in the Persian oak stand, the number of collectors should be increased in order to estimate the cumulative average of throughfall with a lower percentage of error, and in the other two stands, the number of collectors was found to be suitable.

Keywords: Canopy cover, Forest Ecohydrology, Plantation, Rainfall redistribution components, Throughfall, Zagores forest

[DOR: 20.1001.1.24237140.1402.11.21.8.4]
[DOI: 10.61186/ifej.11.21.88]