



برآورد مؤلفه‌های اکوهیدرولوژی تاج و تنه درختان سوزنی‌برگ و پهن‌برگ در جنگل‌های زاگرس (مطالعه موردی: پارک جنگلی چغاسبز، ایلام)

اسماعیل الهی نژاد^۱، مهدی حیدری^{۲*}، جواد میرزایی^۳، امید فتحی زاده^۴ و پدram عطارد^۵

^۱ دانشجوی دکتری علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

^۲ دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

^۳ دانشیار گروه علوم جنگل، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ایلام

^۴ استادیار گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز

^۵ استاد گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۲/۱۷)

چکیده

مقدمه: برآورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان، یکی از موضوعات پژوهشی در زمینه اکوهیدرولوژی است که در انتخاب گونه مناسب برای پروژه‌های جنگلکاری، فاصله کاشت درختان و تیمارهای جنگل‌شناسی کمک می‌کند. هدف این پژوهش، برآورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج بارش و ساقاب درختان شاخه‌زاد توده‌های طبیعی بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) و جنگلکاری‌شده کاج تهران (*Pinus eldarica* Medw.) و سرو نقره‌ای (*Cupressus arizonica* Greene.) در جنگل‌های زاگرس (پارک جنگلی چغاسبز، شهرستان ایلام) است.

مواد و روش‌ها: مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش شامل نقطه اشباع آب تاج‌پوشش (P'_g)، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (S)، ضریب تاج‌بارش مستقیم (p) و نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) نیز مشخصات اکوهیدرولوژی تنه شامل ظرفیت نگهداری آب تنه (S_i)، ضریب ساقاب (p_i)، نقطه اشباع آب تنه (P''_g) و همچنین ضریب قیف‌شکل تاج (F) گونه‌های تحت بررسی براساس روش‌های استاندارد تعیین شد.

یافته‌ها: نتایج به‌دست‌آمده به‌ترتیب در توده‌های بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای برای مقادیر نقطه برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش ۱/۲۸، ۲/۰۲ و ۱/۸۳ میلی‌متر؛ ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش ۱/۲، ۱/۸ و ۱/۵ میلی‌متر؛ نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی ۰/۱۳، ۰/۴۶ و ۰/۳۶؛ ضریب تاج‌بارش مستقیم ۰/۱۴، ۰/۲۸ و ۰/۲۲؛ ظرفیت نگهداری آب تنه ۰/۰۶۹، ۰/۱۱۲ و ۰/۱۴ میلی‌متر؛ ضریب ساقاب ۰/۰۲۲، ۰/۰۶۹ و ۰/۰۶۱؛ نقطه اشباع آب تنه ۳/۱۴، ۱/۶۲ و ۲/۳ میلی‌متر؛ و ضریب قیف‌شکل برابر ۷/۲۱، ۱۰/۲۲ و ۹/۴۵ بودند. نتایج بیانگر رابطه خطی مثبت بین مقدار ساقاب و مقدار باران بود.

نتیجه‌گیری: به‌طور کلی با افزایش مقدار باران، مقدار ضریب قیف‌شکل تاج‌پوشش افزایش نشان داد. در بین سه توده، بلوط ایرانی کمترین و کاج تهران بیشترین میانگین ضریب قیف‌شکل تاج را داشت. با شناخت مؤلفه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه گونه‌های مختلف درختی مختلف می‌توان درک بهتری از چرخه آب در منطقه داشت. همچنین این شناخت موجب می‌شود که با اطمینان بیشتری درباره فاصله کاشت و تراکم درختان و اعمال تیمارهای جنگل‌شناسی در راستای بهبود آب ورودی به خاک از طریق باران در این اکوسیستم جنگلی اظهار نظر کرد.

واژه‌های کلیدی: اکوهیدرولوژی جنگل، تاج‌پوشش، تنه، ساقاب، نگهداری آب.

مقدمه

تغییر در کیفیت آن می‌شود و ترکیب شیمیایی آب باران را تغییر می‌دهد.

در جدیدترین تحقیقات، پژوهشگران و مدیران اثرهای کاشت گونه‌های جدید بر اکوهیدرولوژی جنگل را بیشتر بررسی کرده‌اند و یکی از موضوعات مهم در این زمینه، انتخاب گونه‌های مناسب از دیدگاه اکوهیدرولوژی جنگل برای کاشت در مناطق مختلف کشور و مقایسه آن با گونه‌های بومی مناطق مختلف کشور است؛ نکته‌ای که مسئولان سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و سازمان سیما، منظر و فضای سبز شهری در شهرداری‌ها تا کنون بدان توجه نکرده‌اند. در واقع کاشت گونه‌های جدید می‌تواند به کاهش فرسایش خاک یا جلوگیری از پیشرفت آن، افزایش حاصلخیزی خاک و ترسیب کربن، ایجاد چشم‌انداز، بادشکن، امکانات تفریحی و در نتیجه کاهش فشار بر پوشش‌های گیاهی طبیعی کمک کند (Yildiz et al., 2018; Ma et al., 2022)، اما از پیامدهای اکوهیدرولوژیک جنگلکاری‌ها مانند تأثیر بر بیلان آبی منطقه از طریق تغییر مقدار باران رسیده به سطح خاک و فرایند توزیع اجزای باران نباید غافل شد (Nezamdoost et al., 2018; Meng et al., 2022; Ziaye Shendershami et al., 2021).

پژوهش‌های داخل کشور اطلاعات کمی در زمینه مشخصه‌های اکوهیدرولوژی درختان بومی و غیربومی دارند و بیشتر بر تعیین مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش تمرکز کرده‌اند (Sadeghi et al., 2014, 2015). پژوهش‌های اندکی درباره مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تنه (Sadeghi et al., 2015; Sadeghi & Attarod, 2017; Sefidi et al., 2020; Panahandeh et al., 2022) انجام گرفته است. همچنین مرور منابع نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌ها درباره مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان در پارک جنگلی چیتگر تهران و ناحیه ریشی هیرکانی صورت گرفته و در ناحیه ریشی زاگرس تحقیقات چندانی به صورت همزمان درباره

توزیع اجزای باران در هنگام برخورد به تاج‌پوشش و تقسیم آن به اجزای تاج‌بارش، ساقاب و باران ربایی، از فرایندهای اصلی در اکوهیدرولوژی جنگل (Sadeghi et al., 2020) به‌شمار می‌رود. مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه فرایند توزیع اجزای باران هنگام برخورد به تاج‌پوشش را کنترل می‌کند (Panahandeh et al., 2022). در واقع گام اصلی در مدل‌سازی توزیع اجزای باران در برخورد با تاج‌پوشش، محاسبه مقدار مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان است و از طریق آن می‌توان مقدار تاج‌بارش، ساقاب و باران ربایی را در هر رخداد باران پیش‌بینی کرد (Sadeghi et al., 2017). مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش شامل نقطه اشباع آب تاج‌پوشش (P'_g)، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (S)، ضریب تاج‌بارش مستقیم (p) و نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) است (Panahandeh et al., 2022). مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تنه شامل ظرفیت نگهداری آب تنه (S_t)، ضریب ساقاب (p_t)، نقطه اشباع آب تنه (P''_g) و همچنین ضریب کیفیت‌شکل تاج (F) است که بیانگر کارکرد اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان در هنگام بارندگی هستند (Sadeghi & Attarod, 2017).

کاشت گونه‌های جدید بومی و غیربومی، سبب تغییر در چگونگی توزیع اجزای باران و در نتیجه کمیت و کیفیت مقدار بارندگی رسیده به پوشش کف جنگل می‌شود. از این‌رو انتخاب گونه مناسب در طرح‌های جنگلکاری هر منطقه، به‌ویژه در اقلیم خشک و نیمه‌خشک که با کمبود آب مواجه است ضرورت دارد. پژوهش‌های داخلی (Sadeghi et al., 2014, 2015; Abbasian et al., 2014) و خارجی (Ma et al., 2019; Liu et al., 2018) نشان می‌دهد که کاشت گونه‌های جدید (بومی و غیربومی) افزون‌بر تغییر در کمیت باران رسیده به کف جنگل، سبب

بیشترین مقدار آن در بهمن‌ماه ۱۱۱/۰ میلی‌متر است. همچنین میانگین دمای سالیانه ۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد است که گرم‌ترین ماه سال مرداد با میانگین دمای ۲۹/۷ درجه سانتی‌گراد و سردترین ماه سال بهمن با میانگین دمای سالیانه ۵/۳ درجه سانتی‌گراد است. میانگین پتانسیل تبخیر سالیانه ۲۰۱۰ میلی‌متر (حاصل از آنالیز داده‌های تشت تبخیر کلاس A) به‌دست آمد. آنالیز داده‌های اقلیمی، مجموع بارندگی در دو سال ۱۳۹۷ تا ۱۳۹۸ (فروردین ۱۳۹۷ تا اسفند ۱۳۹۸) را ۹۵۲/۲ میلی‌متر نشان داد که نسبت به متوسط مدت مشابه در دوره ۳۵ ساله (۵۸۸/۱ میلی‌متر) ۶۲ درصد افزایش دارد و همچنین میانگین دمای هوا در سال‌های ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ (۱۷/۲ درجه سانتی‌گراد) نسبت به میانگین مدت مشابه در دوره ۳۵ ساله (۱۶/۹ درجه سانتی‌گراد) اندکی افزایش داشته است. گرم‌ترین ماه در دو سال تحت بررسی، مرداد با دمای ۲۹/۹ درجه سانتی‌گراد بود که با آمار بلندمدت آن (۲۹/۷ سانتی‌گراد) تطابق دارد.

شیوه اجرای پژوهش

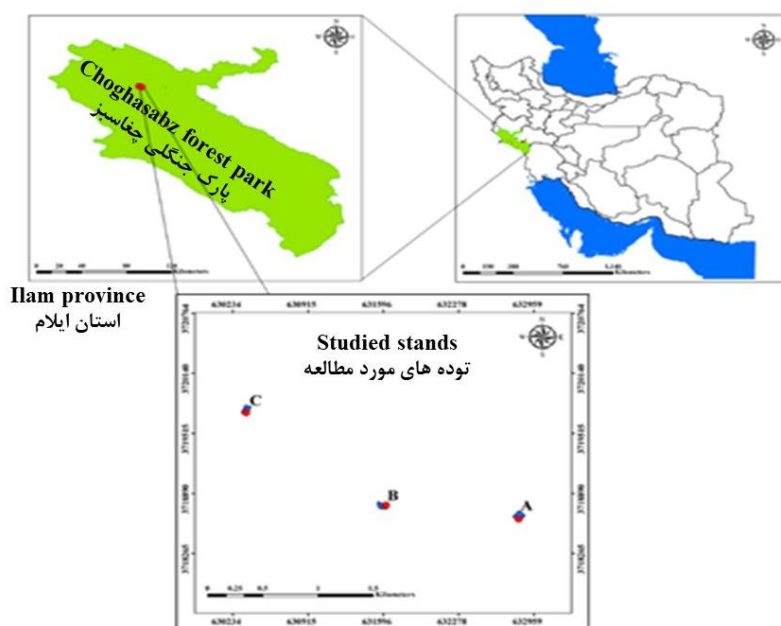
اندازه‌گیری‌ها در پارک جنگلی چغاسبز ایلام در یک توده طبیعی شاخه‌زاد بلوط ایرانی و دو توده دست کاشت کاج تهران و سرو نقره‌ای (در مجموع ۱۵۰ هکتار سطح جنگلکاری با دو گونه) سی‌ساله انجام گرفت. فاصله کاشت در توده کاج تهران ۳ تا ۴ متر و در توده سرو نقره‌ای ۴ تا ۶ متر بود. ارتفاع از سطح دریای منطقه ۱۳۵۰ تا ۱۶۰۰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

مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان در توده‌های طبیعی و همچنین جنگلکاری انجام نگرفته است. جنگل‌های زاگرس نواحی وسیع بسیار مهمی از منابع خاکی و آبی کشور را شامل می‌شوند که در محدوده‌های خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته‌اند (Rad et al., 2011; Moradizadeh et al., 2020). بلوط ایرانی (*Quercus brantii* Lindl.) در قسمت‌های مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی زاگرس جامعه خالصی را تشکیل می‌دهد و در حدود ۳/۵ میلیون هکتار از ۵ میلیون هکتار جنگل‌های زاگرس را در بر گرفته است (Jazirei & Ebrahimi Rastaghi, 2003). از طرف دیگر، نظر به اجرای جنگلکاری با گونه‌های مختلف بومی و غیربومی و برتری گونه‌های تندرشد باید این جنگلکاری‌ها از جنبه‌های مختلف به‌ویژه اکوهیدرولوژی ارزیابی شوند. تعیین دقیق اجزای چرخه‌های اکوهیدرولوژی جنگل به فرایند برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی در عرصه‌های جنگلی کمک می‌کند. با توجه به این نکته هدف این پژوهش، برآورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه توده‌های طبیعی بلوط ایرانی و جنگلکاری‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای در ناحیه رویشی زاگرس است.

مواد و روش‌ها

منطقه پژوهش

پارک جنگلی چغاسبز با وسعتی حدود ۴۰۰۰ هکتار از مهم‌ترین پارک‌های جنگلی طبیعی استان ایلام محسوب می‌شود. موقعیت مکانی پارک جنگلی چغاسبز در حاشیه شهر در ضلع جنوب و جنوب شرقی شهر ایلام واقع شده است (شکل ۱). منطقه دارای آب‌وهوای معتدل کوهستانی با تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد است. براساس آمار ۳۵ ساله (۱۴۰۰-۱۳۶۵) هواشناسی ایستگاه سینوپتیک شهر ایلام، متوسط بارندگی سالیانه ۵۸۸/۱ میلی‌متر است که کمترین مقدار آن در تیرماه ۰/۱ میلی‌متر و



شکل ۱- موقعیت توده‌های تحت بررسی (A: بلوط، B: کاج تهران و C: سرو نقره‌ای) در جنگل‌های زاگرس، شهرستان ایلام
Figure 1. Study Sampling locations (A: *Q. Quercus brantii* Lindl., B: *Pinus eldarica* Medw., and C: *Cupressus arizonica* Greene.) in Zagros forests, Ilam County

جدول ۱- میانگین (\pm انحراف معیار) مشخصه‌های توده‌های تحت بررسی در پارک جنگلی چغاسبز ایلام

Table 1. Mean (\pm standard deviation) morphological characteristics of the study stands in Choghasabz Forest Park, Ilam

تراکم (تعداد جست بلوط در قطعه نمونه ۴۰۰ متر مربعی) Density (in 400 m ²)	حجم تاج (مترمکعب) Crown volume (m ³)	مساحت تاج (مترمربع) crown area (m ²)	ارتفاع تاج (متر) Crown height (m)	ارتفاع کل (متر) Total height (m)	قطر برابر سینه (سانتی‌متر) DBH (cm)	ارتفاع از سطح دریا (متر) Altitude (m)	گونه Species
22	128.3(\pm 50.9)	21.82(\pm 5.9)	5.93(\pm 1)	8.4(\pm 1.4)	17.93(\pm 1.5)	1470	بلوط ایرانی <i>Quercus brantii</i>
35	106.1(\pm 40.6)	10.14(\pm 2.8)	10.27(\pm 1.1)	11.53(\pm 1.3)	19.6(\pm 2.2)	1450	کاج تهران <i>Pinus eldarica</i>
18	118.2(\pm 45.6)	12.94(\pm 3.2)	9.1(\pm 1.5)	9.73(\pm 1.7)	19.37(\pm 3)	1360	سرو نقره‌ای <i>Cupressus arizonica</i>

پلاستیک با قطر دهانه ۱۴ سانتی‌متر و ارتفاع حدود ۳۰ سانتی‌متر در فضای باز مجاور توده‌های تحت بررسی پس از هر رخداد بارش استفاده شد. محل استقرار آنها به نحوی انتخاب شد که با تاج درختان (فضای باز مجار توده‌ها) تداخل نداشته باشند.

روش اندازه‌گیری و محاسبه اجزای باران

در تحقیق حاضر، مقدار باران، تاج‌بارش و ساقاب در توده‌های بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای در طی دوره پژوهش (مهر ۱۳۹۷ تا بهمن ۱۳۹۸) اندازه‌گیری شد. به منظور اندازه‌گیری مقدار باران از پنج عدد جمع‌آوری‌کننده استوانه‌ای باران از جنس

بارندگی‌ها در این مدت، یک باران در نظر گرفته شد (Gomez et al., 2002).

مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تاج پوشش

در ابتدا برای محاسبه مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج پوشش، باید باران‌های اندازه‌گیری شده را به دو دسته باران‌های کافی و باران‌های ناکافی برای اشباع آب تاج پوشش تقسیم کرد که این عمل به صورت چشمی از طریق نمودار پراکنش مقادیر در هر بارش (محور x) و تاج بارش (محور Y) تعیین می‌شود (Sadeghi & Attarod, 2017). در واقع مقدار نقطه اشباع آب تاج پوشش برآوردی، با تعیین اولین نقطه انحنا نمودار از سمت شروع محور مختصات- در کل رخدادهای باران به دست می‌آید. بنابراین با پیدا شدن نقطه اشباع تاج پوشش برآوردی، باران‌ها به دو دسته ناکافی برای اشباع تاج پوشش (خط رگرسیون شماره ۱، R1) و کافی برای اشباع تاج پوشش (خط رگرسیون شماره ۲، R2) تقسیم می‌شود. برای محاسبه نقطه اشباع آب تاج پوشش برآوردی، از رابطه Licata et al. (2011) استفاده شد (رابطه ۱):

$$P'_s = \frac{b2}{|a1 - a2|} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه، P'_s نقطه برآوردی اشباع آب تاج پوشش، $b2$ عرض از مبدأ برای باران‌های کافی برای اشباع تاج پوشش، $a1$ شیب خط برای باران‌های ناکافی برای اشباع تاج پوشش، $a2$ شیب خط برای باران‌های کافی برای اشباع تاج پوشش است.

به منظور برآورد مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج پوشش (S) که بیانگر کمینه مقدار آب لازم برای اشباع تاج پوشش در زمان بارندگی است، از روش Mean استفاده شد (Link et al., 2004) که متداول‌ترین روش رگرسیونی محاسبه S محسوب می‌شود (Friesen et al., 2015). در این روش، از تفاوت بین تاج بارش و بارندگی در هر بارش در محل برخورد دو خط رگرسیون باران‌های کافی و باران‌های ناکافی برای اشباع آب تاج پوشش، مقدار ظرفیت

بعد از هر باران، جمع‌آوری‌کننده‌ها از آب تخلیه و از شاخ و برگ تمیز شده و سپس در جای خود قرار داده شدند. برای اندازه‌گیری تاج بارش در توده بلوط ایرانی، ۲۷ جمع‌آوری‌کننده (مشابه جمع‌آوری‌کننده‌های باران) و در هر کدام از توده‌های کاج تهران و سرو نقره‌ای ۴۰ جمع‌آوری‌کننده تاج بارش به صورت تصادفی زیر تاج پوشش قرار داده شدند. توزیع جمع‌آوری‌کننده‌ها به گونه‌ای بود که تمام سطح قطعه نمونه را به صورت یکنواخت پوشش دهند. برای کاهش خطا در اندازه‌گیری تاج بارش در سطح توده (Gomez et al., Fathizadeh et al., 2018) (2002; Ford & Deans, 1987; Lloyd) جمع‌آوری‌کننده‌ها بعد از هر پنج رخداد باران (Lloyd & Marques, 1988)، جابه‌جا و در نقاط دیگر در زیر تاج پوشش توده به صورت تصادفی مستقر شدند. بقیه ۳۶ جمع‌آوری‌کننده در کل دوره پژوهش در نقاط ثابت مستقر بودند. با جابه‌جایی تعدادی از باران‌سنج‌ها بعد از هر رخداد باران، تعداد نمونه‌ها افزایش و خطای اندازه‌گیری تاج بارش کاهش پیدا می‌کند (Roy et al., 2021; Ford & Deans, 1987). در هر توده، ساقاب پنج درخت اندازه‌گیری شد. بدین صورت که از ناودان‌های لاستیکی استفاده شد و این ناودان‌ها حداقل یکونیم دور به دور تنه درختان می‌چرخیدند. ناودان‌های لاستیکی در ارتفاع برابر سینه نصب و خروجی آنها به ظرف‌های جمع‌آوری‌کننده ۲۰ لیتری متصل می‌شد (Sadeghi & Attarod, 2017). اندازه‌گیری حجم تاج بارش طی هر بارندگی همزمان با اندازه‌گیری بارندگی و به روش مشابه با آن انجام گرفت. در صورت وقوع بارندگی در شب، اندازه‌گیری‌ها در روز بعد و قبل از طلوع خورشید انجام گرفت. حداقل زمان چهار تا پنج ساعت بدون بارندگی برای تفکیک باران‌ها از یکدیگر، با این فرض که در این مدت تاج پوشش می‌تواند کاملاً خشک شود در نظر گرفته شد (Fathizadeh et al., 2014). در صورت وقوع باران در کمتر از فاصله زمانی بیان شده، مجموع

از تقسیم ظرفیت نگهداری آب تنه بر ضریب ساقاب نقطه اشباع آب تنه به دست می‌آید که نشان‌دهنده بیشینه مقدار آبی است که توسط تنه نگهداری می‌شود (Gash et al., 1995).

ضریب قیف‌شکل تاج‌پوشش حرکت‌پذیری جریان ساقاب را با توجه به شکل تاج‌پوشش در درختان نشان می‌دهد و ضریبی است که هم وابسته به تاج‌پوشش و هم تنه درختان است. برای برآورد ضریب قیف‌شکل تاج‌پوشش (F، بدون واحد) از رابطه (Herwitz 1986) رابطه ۲ که متداول‌ترین رابطه برای محاسبه این ضریب است (Levia & Frost, 2003) استفاده شد.

$$F = \frac{V}{B_A * P_g} \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه V ، حجم ساقاب (سانتی‌متر مکعب)، B_A سطح مقطع تنه درخت (سانتی‌متر مربع) و P_g عمق هر رخداده باران (سانتی‌متر) است.

نتایج

در طول دوره پژوهش از مهر ۱۳۹۷ تا اواخر بهمن ۱۳۹۸، ۲۰ بارندگی با مجموع عمق ۲۵۸/۲ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. که میانگین عمق تاج‌بارش، باران ربایی و ساقاب به ترتیب برای بلوط ایرانی: ۲۰۷/۳۲ میلی‌متر (۸۰/۲۹ درصد از بارندگی)، ۴۶/۲۳ میلی‌متر (۱۷/۹ 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

نگهداری آب تاج‌پوشش محاسبه می‌شود (Pypker et al., 2005).

مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم (P) برابر با عدد شیب خط رگرسیون نمودار بین تاج‌بارش و بارندگی، در رخدادهای باران ناکافی برای اشباع آب تاج‌پوشش، است (Pypker et al., 2005) و این ضریب نشان‌دهنده این است که چه سهمی از تاج‌بارش بدون برخورد به تاج‌پوشش به پوشش کف جنگل می‌رسد.

نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) از تفاضل شیب رگرسیون باران‌های کافی برای اشباع آب تاج‌پوشش از مقدار یک برآورد می‌شود. این نسبت از پارامترهای کنترل‌کننده مقدار باران‌ربایی است (Licata et al., 2011) که بیشترین اثرگذاری این پارامتر در رخدادهایی از باران است که پرتعداد و همچنین طولانی‌مدت است (Pypker et al., 2005). همچنین پارامترهای اصلی کنترل‌کننده در مورد نسبت تبخیر در زمان بارندگی به شدت بارندگی، پارامترهای اقلیمی و خصوصیات بارندگی‌اند و ساختار تاج‌پوشش تأثیر چندانی ندارد.

مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تنه

به کمینه مقدار آبی که در هر رخداده بارندگی توسط تنه درختان نگهداری می‌شود، ظرفیت نگهداری آب تنه گفته می‌شود و مقدار آن نیز، عرض از مبدأ خط رگرسیون خطی بین ساقاب (محور y) و باران (محور x) است (Gash, 1979).

شیب خط رگرسیون خطی بین ساقاب (محور y) و باران (محور x)، نشان‌دهنده مقدار ضریب ساقاب است. ضریب ساقاب نشان می‌دهد که چه مقدار از بارانی که در هر رخداده بارندگی به تنه درختان برخورد می‌کند، امکان جاری شدن به صورت ساقاب را دارد (Levia & Frost, 2003).

جدول ۲- مجموع و میانگین تاج‌بارش، باران‌ربایی و ساقاب تاج‌پوشش سه توده بلوط ایرانی، کاج تهران و سرو نقره‌ای در طی دوره پژوهش (مهر ۱۳۹۷ تا بهمن ۱۳۹۸)

Table 2. The total and mean throughfall, interception and stemflow for three studied stands: *Quercus brantii*, *Pinus eldarica* and *Cupressus arizonica* during the study period (october 2017 to february 2018)

ساقاب Stemflow		باران‌ربایی Interception		تاج‌بارش Throughfall		مشخصات آماری Statistical characteristics	توده Stand
%	mm	%	mm	%	mm		
1.81	0.23	17.91	2.31	80.29	10.37	Mean میانگین	بلوط ایرانی
1.81	4.67	17.91	46.23	80.29	207.32	Total مجموع	<i>Quercus brantii</i>
6.22	0.80	43.83	5.66	50.04	6.46	Mean میانگین	کاج تهران
6.22	16.07	43.83	113.17	50.04	129.21	Total مجموع	<i>Pinus eldarica</i>
5.26	0.68	35.70	4.61	59.05	7.60	Mean میانگین	سرو نقره‌ای
5.26	13.57	35.70	92.17	59.05	152.47	Total مجموع	<i>Cupressus arizonica</i>

نگهداری آب تنه توده بلوط ایرانی ۰/۰۶۹، کاج تهران ۰/۱۱۲ و سرو نقره‌ای ۰/۱۴ میلی‌متر برآورد شد. ضریب ساقاب برای بلوط ایرانی ۰/۰۲۲، کاج تهران ۰/۰۶۹ و سرو نقره‌ای ۰/۰۶۱ و مقدار اشباع آب تنه برای بلوط ایرانی ۳/۱۴، کاج تهران ۱/۶۲ و سرو نقره‌ای ۲/۳ میلی‌متر محاسبه شدند.

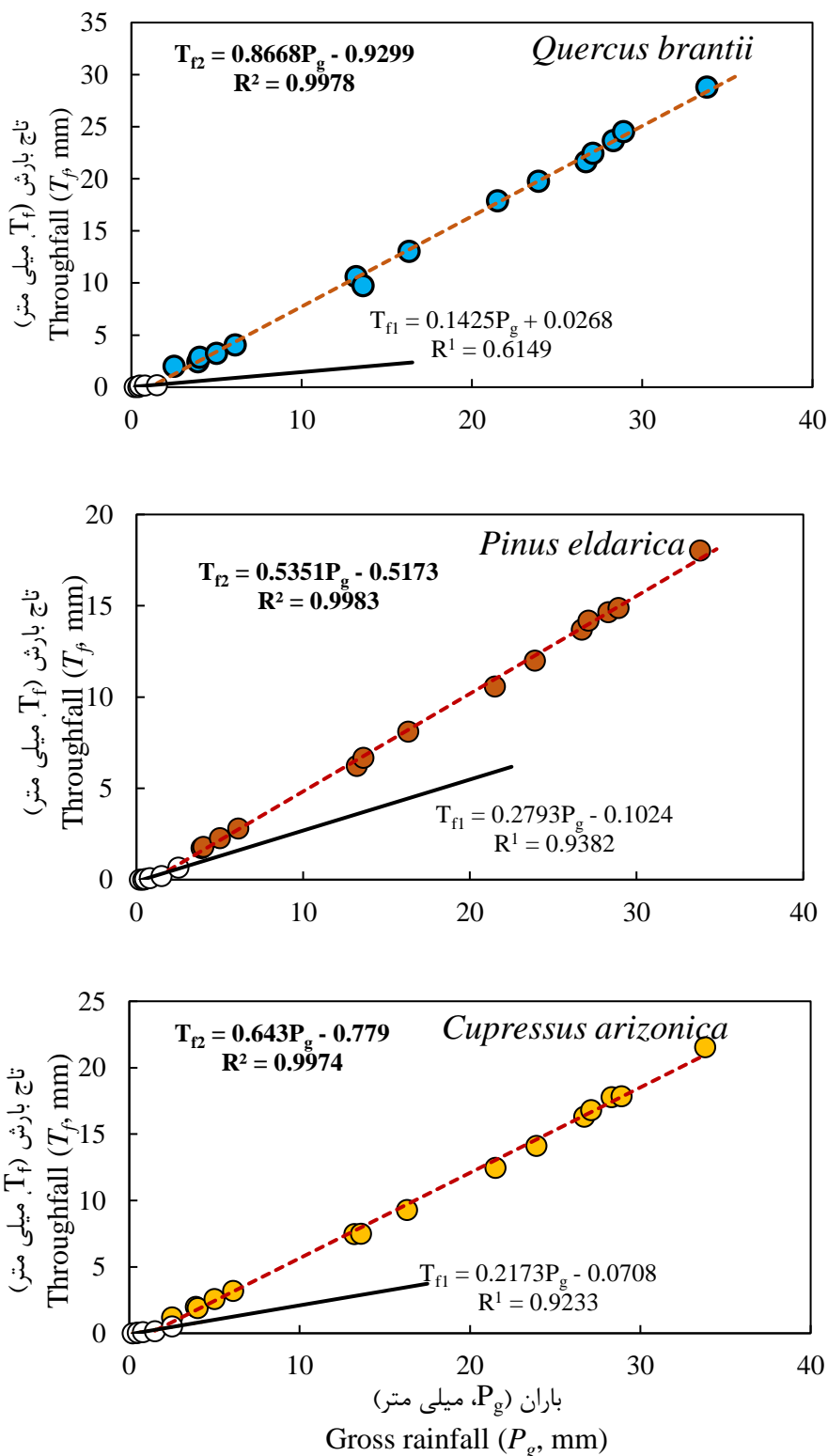
میانگین ضریب قیف‌شکل تاج برای توده بلوط ایرانی ۷/۲۱ (۷/۱۶ ±) با بیشینه ۱۶/۳۴ و کمینه ۰/۰۱، کاج تهران با میانگین ۱۰/۲۲ (۹/۰۷ ±) با بیشینه ۲۰/۷۴ و کمینه ۰/۴ و میانگین ضریب برای سرو نقره‌ای ۹/۴۵ (۸ ±/۹۱) با بیشینه ۱۹/۸۱ و کمینه ۰/۲۳ محاسبه شدند (شکل ۴). به‌طور کلی، با افزایش مقدار باران، مقدار ضریب قیف‌شکل تاج‌پوشش افزایش می‌یابد. در بین سه توده، بلوط ایرانی کمترین و کاج تهران بیشترین میانگین ضریب قیف‌شکل تاج را داشتند.

مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش

براساس شکل ۲، نقطه برآوردی اشباع تاج‌پوشش برای بلوط ایرانی ۱/۲۸ میلی‌متر، کاج تهران ۲/۰۲ میلی‌متر و سرو نقره‌ای ۱/۸۳ میلی‌متر محاسبه شد (شکل ۲). براساس شکل ۲، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش برای بلوط ایرانی ۱/۲، کاج تهران ۱/۸ و سرو نقره‌ای ۱/۵ میلی‌متر بود. ضریب تاج‌بارش مستقیم برای بلوط ایرانی ۰/۱۴، کاج تهران ۰/۲۸ و سرو نقره‌ای ۰/۲۲ و همچنین ضریب تبخیر به شدت باران در طول زمان بارندگی برای بلوط ایرانی ۰/۱۳، کاج تهران ۰/۴۶ و سرو نقره‌ای ۰/۳۶ به‌دست آمد (شکل ۲).

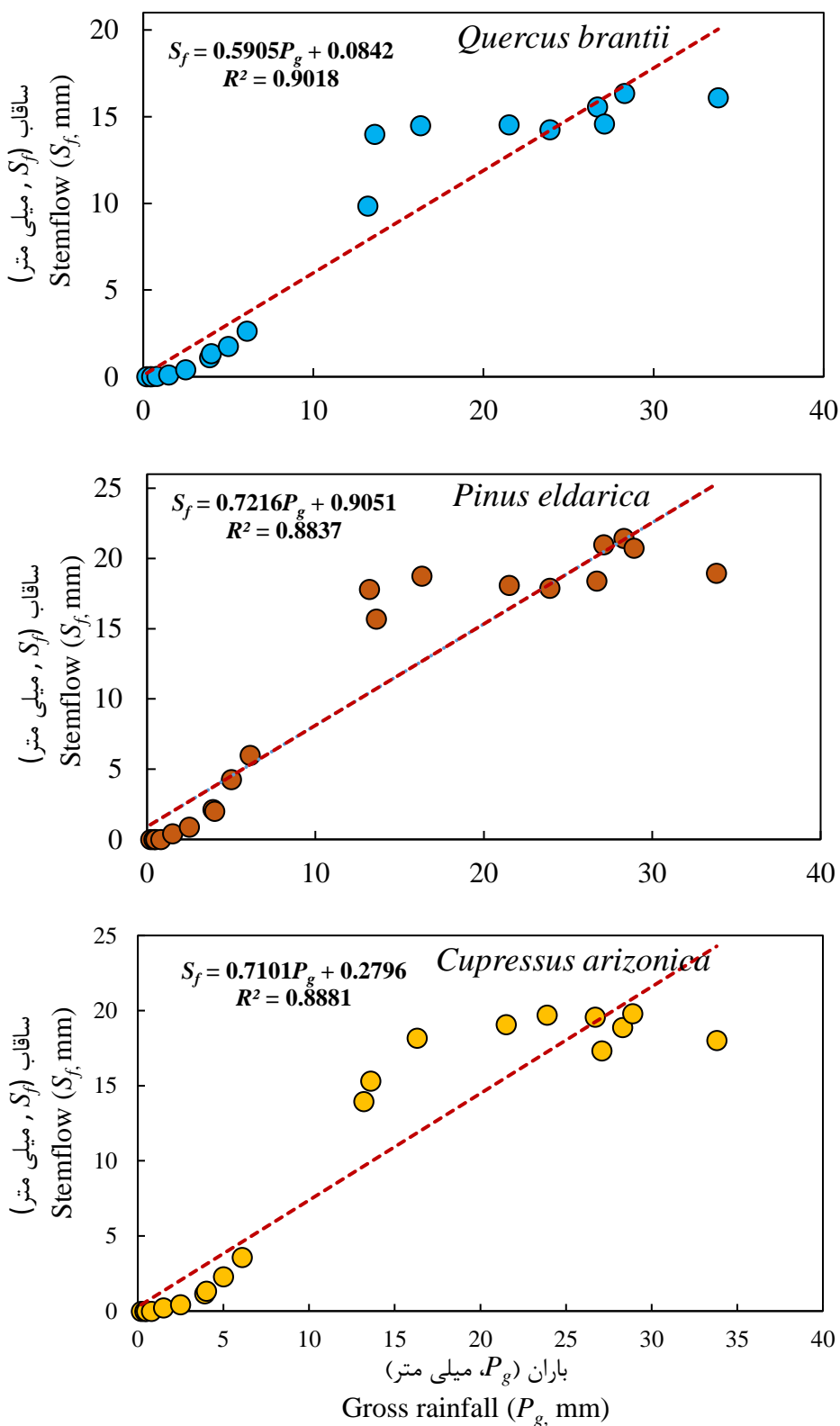
مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تنه

نتایج بیانگر رابطه خطی مثبت بین مقدار ساقاب (S_f ، میلی‌متر) و مقدار باران (P_g ، میلی‌متر) در هر سه توده است (شکل ۳). با توجه به شکل ۳، ظرفیت

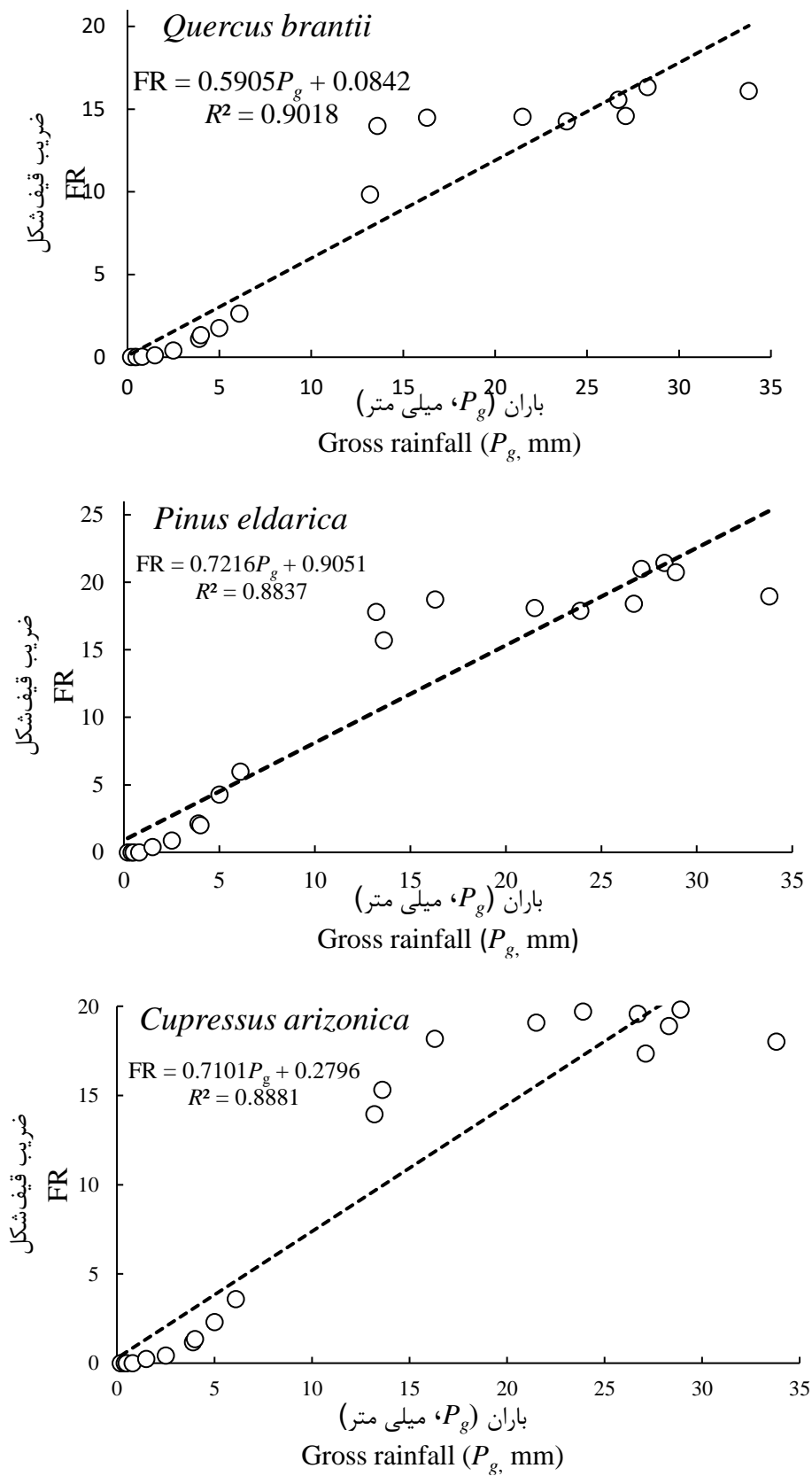


شکل ۲- رابطه بین تاج بارش و باران در باران‌های بیشتر از نقطه برآوردی اشباع تاج پوشش (خط R_2 ، دایره‌های توپر) و کمتر از نقطه برآوردی اشباع آبی تاج پوشش (خط R_1 ، دایره‌های توخالی). R بیانگر ضریب همبستگی است

Figure 2. The relationship throughfall (T_f) and gross rainfall (P_g) for rainfall events size greater than the estimated canopy saturation point (line R_2 , Filled circles), and smaller than the estimated canopy point (line R_1 , empty circles). R denotes the correlation coefficient



شکل ۳- رابطه بین باران و ساقاب در رخدادهای باران اندازه‌گیری شده در دوره پژوهش. R بیانگر ضریب همبستگی است
 Figure 3. The relationship between stemflow (S_f) and rainfall (P_g) for rain storms during the study period. R denotes the correlation coefficient



شکل ۴- رابطه بین باران و ضریب قیف‌شکل تاج‌پوشش در رخدادهای باران اندازه‌گیری‌شده برای سه توده
 Figure 4. The relationship between funneling ratio coefficient and rainfall (P_g) for rain storms during for three studied stands

بحث

(2009; Sadeghi et al., 2015; Nazari et al., 2020).

مرور منابع درباره مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش در توده‌های سوزنی‌برگ دامنه ۰/۳ تا ۶/۶ میلی‌متر را نشان می‌دهد. مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش گونه کاج تهران ۱/۸، گونه سرو نقره‌ای ۱/۵ و گونه بلوط ایرانی ۱/۲ محاسبه شد که هر دو گونه کاج تهران و سرو نقره‌ای (سوزنی‌برگ) داری ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش بیشتری نسبت به توده بلوط ایرانی (پهن‌برگ) هستند.

در این پژوهش، ضریب تاج‌بارش مستقیم در توده بلوط ایرانی ۰/۱۴، در کاج تهران ۰/۲۸ و در سرو نقره‌ای ۰/۲۲ برآورد شد که در دامنه ۰/۱۲ تا ۰/۴۲ گزارش شده توسط دیگر پژوهشگران است (Pypker et al., 2005). بیشتر بودن مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم بیانگر این است که سهم بیشتری از هر رخداد تاج‌بارش بدون برخورد به تاج‌پوشش به کف جنگل می‌رسد و نشان‌دهنده تنگ‌تر بودن توده یا درخت است.

نسبت تبخیر به شدت باران در طول زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) برای بلوط ایرانی ۰/۱۳، برای کاج تهران ۰/۴۶ و برای سرو نقره‌ای ۰/۳۶ به دست آمد. مقادیر (\bar{E}/\bar{R}) توده کاج تهران بیشتر از دامنه مرور منابع (۰ تا ۴۰) به دست آمد (Sadeghi & Attarod, 2017). نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی در رخداد‌های باران با مقدار زیاد، مشخصه کنترل‌کننده مقدار باران‌ریایی، به‌شمار می‌آید (Licata et al., 2011) و در رخداد‌هایی از باران که مقدار آن زیاد و زمان بارش آن طولانی است بیشترین اثرگذاری را دارد (Sadeghi et al., 2015). مشخصه‌های اصلی کنترل‌کننده درباره نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی، شامل مشخصه‌های اقلیمی و خصوصیات بارندگی است و ساختار تاج‌پوشش اثر چندانی ندارد (Sadeghi et al., 2015). یکی از دلایل زیاد بودن نرخ \bar{E}/\bar{R} در این پژوهش، وضعیت اقلیمی مکان پژوهش که استان ایلام است و جزء مناطق

به‌طور متوسط، مقدار نقطه اشباع آب تاج‌پوشش در گونه کاج تهران (۲/۰۲) بیشتر از سرو نقره‌ای (۱/۸۳) و بلوط ایرانی (۱/۲۸) حاصل شد. نقطه اشباع تاج‌پوشش، در واقع بیشینه مقداری از آب باران است که برای اشباع تاج‌پوشش لازم است. از دلایل اصلی این تفاوت، بیشتر بودن مقدار شاخص سطح برگ توده‌های سوزنی‌برگ نسبت به توده‌های پهن‌برگ است که متعاقباً ظرفیت ذخیره تاج‌پوشش و نقطه اشباع تاجی را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در نتیجه درختان سوزنی‌برگ می‌توانند آب بیشتری نگهداری کنند (Sadeghi et al., 2016). همچنین درختان سوزنی‌برگ می‌توانند از طریق نیروی چسبندگی یا کشش سطحی آب خیلی بیشتری جذب کنند.

مهم‌ترین مشخصه کنترل‌کننده توزیع اجزای بارندگی به تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ریایی در اکوسیستم‌های جنگلی، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش است (Pypker et al., 2005) و این مشخصه در باران‌های خفیف، بیشترین اثرگذاری را در توزیع مجدد باران به تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ریایی دارد (Sadeghi et al., 2015). مقدار این مشخصه بسته به شدت‌های مختلف باران و سرعت باد، تغییر می‌کند و به همین دلیل به دست آوردن عددی ثابت برای این مشخصه صحیح نیست (Dunkerley, 2000). هرچند با توجه به شرایط اقلیمی منطقه و با اندازه‌گیری تعداد باران کافی می‌توان متوسطی از مقدار این مشخصه در هر گونه درختی را به دست آورد. فاکتور نوع گونه (پهن‌برگ و سوزنی‌برگ) نیز عاملی مؤثر شناخته می‌شود. به‌طوری که سوزنی‌برگان همیشه سبز با نگه داشتن برگ خود در کل سال، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش بیشتری در مقایسه با پهن‌برگان خزان‌کننده دارند (Sadeghi et al., 2016). باید توجه کرد که ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، مهم‌ترین مشخصه سازنده همه مدل‌های برآورد توزیع اجزای باران در پوشش گیاهی است (Muzylo et al.,

شاخه‌های درختان در تولید ساقاب تأثیر داشته‌اند و هرچه این مقدار بزرگ‌تر باشد، نشان می‌دهد که تأثیر شاخه‌ها در تولید ساقاب افزایش یافته است (Herwitz, 1986). بنابراین ضریب قیف‌شکل تاج‌پوشش بیشتر از ۱ نشان می‌دهد که تاج‌پوشش درختان، آب باران را به سمت تنه درخت هدایت می‌کند (Sadeghi et al., 2017). این ضریب نخستین بار توسط Herwitz (1986) معرفی شد و به‌نوعی بیانگر کارایی تاج‌پوشش در تولید ساقاب است (Mckee, 2010) است و در پژوهش‌های اکوهیدرولوژیک تنه درختان کاربرد دارد (Levia et al., 2010; Johnson & Lehmann, 2006). مرور منابع دامنه این ضریب را در سوزنی‌برگان، ۰/۹ تا ۸۱/۳ نشان می‌دهد. برای مثال مقدار این ضریب را Murakami (2009) در جنگل *Chamaecyparis obtusa*، ۸۱/۳، Huber & Iroumé (2001) در جنگل‌های *Pinus radiata* بین ۸/۳ تا ۲۹/۲، Mckee & Carlyle-Moses (2010) در توده *Pinus contorta*، ۱۴/۹، Sadeghi & Attarod (2017) در جنگلکاری‌های کاج تهران، ۸/۵۴، Didon-Lescot et al. (1998) در توده *Picea abies*، ۳/۲، Reid & Lewis (2009) در جنگل *Pseudotsuga menziesii*، ۲/۶، et Viville al. (1993) در توده *Picea abies*، ۰/۹ برآورد کردند.

نتیجه‌گیری

یکی از روش‌های مدیریت منابع آبی در اکوسیستم‌های جنگلی، بررسی وضعیت اکوهیدرولوژی پوشش گیاهی است که در مناطق خشک و نیمه‌خشک به دلیل اهمیت منابع آب، باید با دقت بیشتری صورت گیرد. در این مناطق، از یک طرف باران کمی می‌بارد و از طرف دیگر رخدادهای باران از نظر زمانی پراکنش نامنظمی دارند و بر اثر تغییر جهانی اقلیم، رفتار پیش‌بینی‌ناپذیرتری نسبت به قبل پیدا کرده‌اند. در این مناطق، به دلیل کمبود رطوبت

گرمسیر به شمار می‌آید. بدین معنا که هرچه منطقه پژوهش، گرمسیرتر باشد دارای نرخ \bar{E}/\bar{R} بیشتر و هرچه سردسیرتر باشد \bar{E}/\bar{R} دارای نرخ کمتر است. همچنین در مناطق معتدله نیز نرخ \bar{E}/\bar{R} به دلیل اینکه رخدادهای باران با مقدار زیاد در طول زمان طولانی‌تر می‌بارند زیاد است (Pypker et al., 2005). مقدار ظرفیت نگهداری آب تنه توده بلوط ایرانی کاج تهران ۰/۱۱۲ و سرو نقره‌ای ۰/۱۴ میلی‌متر به دست آمد. مرور منابع مقدار این مشخصه را در درختان سوزنی‌برگ بین ۰/۱۴ (Gash & Morton, 1978) تا ۰/۷۴ میلی‌متر (Gash et al., 1980) نشان می‌دهد. ظرفیت نگهداری آب تنه نشان‌دهنده این است که وضعیت فعلی توده و درختان، از نظر توانایی تنه درختان در نگه داشتن آب باران چقدر است و در واقع بعد از تکمیل این مقدار، ساقاب جاری می‌شود (Sadeghi et al., 2017).

ضریب ساقاب برای بلوط ایرانی ۰/۰۲۲، برای کاج تهران ۰/۰۶۹ و برای سرو نقره‌ای ۰/۰۶۱ محاسبه شد. دامنه اعداد گزارش شده توسط دیگر پژوهشگران در ارتباط با ضریب ساقاب نیز بین ۰/۰۱۶ (Gash & Morton, 1978) تا ۰/۲۹ (Gash et al., 1980) است که نتایج این پژوهش، همسو با یافته‌های دیگر پژوهشگران در جنگل‌های سوزنی‌برگ در سراسر جهان است. مقدار این ضریب به انبوهی تاج‌پوشش و تراکم توده (تعداد در هکتار) بستگی دارد و هرچه انبوهی تاج‌پوشش و تراکم توده کاهش یابد، مقدار این ضریب بیشتر خواهد بود (Sadeghi et al., 2017).

میانگین ضریب قیف‌شکل تاج برای گونه بلوط ایرانی ۷/۲۱، برای کاج تهران ۱۰/۲۲ و برای سرو نقره‌ای ۹/۴۵ محاسبه شد (شکل ۴). مقدار ضریب قیف‌شکل برابر با ۱، بیانگر این است که مقدار ساقاب اندازه‌گیری شده درخت برابر با مقدار باران اندازه‌گیری شده در فضای باز با دهانه باران‌سنجی برابر با سطح مقطع تنه درخت است و مقادیر بیشتر از یک ضریب قیف‌شکل تاج‌پوشش نشان می‌دهد که

مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان بومی و جنگلکاری‌ها می‌تواند به مدیران برای مدیریت بهتر مناطق جنگلی (انتخاب گونه مناسب برای پروژه‌های جنگلکاری، فاصله صحیح کاشت درختان، تیمارهای آبیاری و نیز تیمارهای جنگل‌شناسی) و فضای سبز شهری کمک کند.

خاک و هزینه‌های سنگین آبیاری، امکان آبیاری مرتب درختان در طرح‌های جنگلکاری، کمتر میسر می‌شود. این درحالی است که از نظر دانش اکوهیدرولوژی، باید از گونه‌هایی که تعرق کمتری دارند و سبب می‌شوند که باران خالص بیشتری به پوشش کف جنگل برسد، در جنگلکاری‌ها استفاده کرد (Sadeghi et al., 2016). پژوهش در زمینه اکوهیدرولوژی و

References

- Abbasian, P., Attarod, P., Sadeghi, S.M.M., Nazarirad, M.A., & Hojati, S.M. (2014). Direct through fall coefficient and canopy storage capacity by a *Picea abies* plantation in Kelardasht, North of Iran. *Forest Sustainable Development*, 1(2), 103-118. (In Persian)
- Abbasian, P., Attarod, P., Sadeghi, S.M.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. <https://doi.org/10.5424/fs/2015243-06764>
- Didon-Lescot, J.F. (1998). The Importance of Throughfall in Evaluating Hydrological and Biogeochemical Fluxes: Example of a Catchment (Mont-Lozere, France). In *Proceedings of the International Conference on Catchment Hydrological and Biochemical Processes in Changing Environment* (pp. 20-23).
- Dunkerley, D. (2000). Measuring interception loss and canopy storage in dryland vegetation: a brief review and evaluation of available research strategies. *Hydrological Processes*, 14(4), 669-678. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-1085\(200003\)14:4<669::AID-HYP965>3.0.CO;2-I](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-1085(200003)14:4<669::AID-HYP965>3.0.CO;2-I).
- Fathizadeh, O., Attarod P., & Sohrabi, H. (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.
- Fathizadeh, O., Hosseini, S.M., Keim, R.F., & Bolorani, A.D. (2018). A seasonal evaluation of the reformulated Gash interception model for semi-arid deciduous oak forest stands. *Forest Ecology and Management*, 409, 601-613. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.058>.
- 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.
- Friesen, J., Lundquist, J., & Van Stan, J.T. (2015). Evolution of forest precipitation water storage measurement methods. *Hydrological Processes*, 29(11), 2504-2520. <https://doi.org/10.1002/hyp.10376>.
- Gash, J.H.C. (1979). An analytical model of rainfall interception by forests. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 105(443), 43-55.
- Gash, J.H.C., & Morton, A. J. (1978). An application of the Rutter model to the estimation of the interception loss from the Thetford forest. *Journal of Hydrology*, 38(1-2), 49-58.
- Gash, J.H.C., Lloyd, C.R., & Lachaud, G. (1995). Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model. *Journal of Hydrology*, 170(1-4), 79-86. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(95\)02697-N](https://doi.org/10.1016/0022-1694(95)02697-N).
- Gash, J.H.C., Wright, I.R., & Lloyd, C.R. (1980). Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain. *Journal of Hydrology*, 48(1-2), 89-105. [https://doi.org/10.1016/0022-1694\(80\)90068-2](https://doi.org/10.1016/0022-1694(80)90068-2).

- 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. (1986). Infiltration-excess caused by stemflow in a cyclone-prone tropical rainforest. *Earth Surface Processes and Landforms*, 11(4), 401-412. <https://doi.org/10.1002/esp.3290110406>.
- Huber, A., & Iroumé A. (2001). Variability of annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile. *Journal of Hydrology*, 248(1-4), 78-92. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(01\)00394-8](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(01)00394-8).
- Jazirei, M. H & Ebrahimi Rastaghi, M. (2003). Silviculture in zagros, Tehran University Publications, p. 560. (In Persian)
- Johnson, M.S., & Lehmann, J. (2006). Doublefunneling of trees: Stemflow and rootinduced preferential flow. *Ecoscience*, 13(3), 324-333. <https://doi.org/10.2980/i1195-6860-13-3-324.1>.
- Levia, D.F., & Frost, E.E. (2003). A review and evaluation of stemflow literature in the hydrologic and biogeochemical cycles of forested and agricultural ecosystems. *Journal of Hydrology*, 274(1), 1-29. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00399-2](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00399-2).
- Licata, J.A., Pypker, T.G., Weigandt, M., Unsworth, M.H., Gyenge, J.E., Fernández, M.E., Schichter, M., & Bond, B.J. (2011). Decreased rainfall interception balances increased transpiration in exotic ponderosa pine plantations compared with native cypress stands in Patagonia, Argentina. *Ecohydrology*, 4, 83-93. <https://doi.org/10.1002/eco.125>.
- Link, T.E., Unsworth M., & Marks, D. (2004). The dynamics of rainfall interception by a seasonal temperate rainforest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 124, 171-191. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2004.01.010>.
- Liu, Z., Wang, Y., Tian, A., Liu, Y., Webb, A.A., Wang, Y., & Xu, L. (2018). Characteristics of canopy interception and its simulation with a revised Gash model for a larch plantation in the Liupan Mountains, China. *Journal of forestry research*, 29, 187-198. <https://doi.org/10.1007/s11676-017-0407-6>.
- 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).
- Ma, C., Li, X., Luo, Y., Shao, M., & Jia, X. (2019). The modelling of rainfall interception in growing and dormant seasons for a pine plantation and a black locust plantation in semi-arid Northwest China. *Journal of Hydrology*, 577, 123849. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.06.021>.
- Ma, C., Yao, Q., Meng, H., Zhou, B., Wang, Q., & Luo, Y. (2022). Rainfall Partitioning by Evergreen and Deciduous Broad-Leaved Xerophytic Tree Species: Influence of Rainfall, Canopy Characteristics, and Meteorology. *Water*, 14(22), 3723. <https://doi.org/10.3390/w14223723>.
- Mckee, A.J. (2010). The quantitative importance of stemflow: an evaluation of past research and results from a study in lodgepole pine (*Pinus contorta* Var. *latifolia*) stands in southern British Columbia. Master's Thesis. University of British Columbia. Columbia, Canada, 113 p.
- McKee, A.J., & Carlyle-Moses, D.E. (2010). Stemflow: A potentially important point source of water for growth. *Linking Innovations and Networking Knowledge*, 11(2), 11-12.
- Meng, L.C., Cui, Z., Huang, Z., Lucas-Borja, M.E., Dunkerley, D., & Wu, G.L. (2022). Thinning effects on forest production and rainfall redistribution: Reduced soil water deficit and improved sustainability of semiarid plantation forestlands. *Land Degradation & Development*, 33(16), 3163-3173. <https://doi.org/10.1002/ldr.4379>.
- Moradzadeh, H., Heydari, M., Omidipour, R., Mezvani, A., & Prévosto, B. (2020). Ecological effects of fire severity and time since fire on the diversity partitioning, composition and niche apportionment models of post-fire understory vegetation in semi-arid oak forests of Western Iran. *Ecological Engineering*, 143, 105694. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2019.105694>.

- Murakami, S. (2009). Abrupt changes in annual stemflow with growth in a young stand of Japanese cypress. *Hydrological Research Letters*, 3, 32-35. <https://doi.org/10.3178/hrl.3.32>.
- Muzylo, A., Llorens, P., Valente, F., Keizer, J.J., Domingo, F., & Gash, J.H.C. (2009). A review of rainfall interception modelling. *Journal of hydrology*, 370(1-4), 191-206. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.02.058>.
- Nazari, M., Sadeghi, S.M.M., Van Stan II, J.T., & Chaichi, M.R. (2020). Rainfall interception and redistribution by maize farmland in central Iran. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 27, 100656. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100656>.
- Nezamdoost, H., Sefidi, K., Rasoulzadeh, A., & Sadeghi, S.M.M. (2018). Quantifying throughfall, stemflow, and rainfall interception in a *Fagus orientalis* forest and a *Picea abies* plantation in Siahkal, Gilan. *Iranian Journal of Forest*, 9(3), 385-397. (In Persian)
- Panahandeh, T., Attarod, P., Namiranian, M., Bayramzadeh, V., & Sadeghi, S.M.M. (2022). Estimation of canopy ecohydrological parameters of oriental beech and chestnut-leaved oak stands in Hyrcanian vegetation region. *Iranian Journal of Forest*, 14(1), 27-36. (In Persian)
- Pypker, T.G., Bond, B.J., Link, T.E., Marks, D., & Unsworth, M.H. (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(1-2), 113-129. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2005.03.003>.
- Rad, J. E., Heidari, M., Mahdavi, A., & Zeinivandzadeh, M. (2011). Impact of recreational activities on vegetation and soil in forest park (case study: Choghasabz Forest Park-Ilam). *Iranian journal of forest*, 3(1), 71-80. (In Persian)
- Reid, L.M., & Lewis, J. (2009). Rates, timing, and mechanisms of rainfall interception loss in a coastal redwood forest. *Journal of Hydrology*, 375(3-4), 459-470. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.06.048>.
- 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 Through Statistical Approach. In *India: Climate Change Impacts, Mitigation and Adaptation in Developing Countries* (pp. 207-225). Cham: Springer International Publishing, (pp. 207-225).
- Sadeghi, S.M.M., & Attarod, P. (2017). Estimation of ecohydrological parameters of trunk and canopy of a *Pinus eldarica* plantation. *Forest Research and Development*, 3(3), 207-220. (In Persian)
- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Pypker, T.G., & Dunkerley, D. (2014). Is canopy interception increased in semiarid tree plantations? Evidence from a field investigation in Tehran, Iran. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(6), 792-806. <https://doi.org/10.3906/tar-1312-53>.
- Sadeghi, S.M.M., Attarod, P., Van Stan, J.T., Pypker, T.G., & Dunkerley, D. (2015). Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations. *Agricultural and Forest Meteorology*, 201, 76-85. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.10.006>.
- Sefidi, K., Sadeghi, S.M.M., Esmailzadeh, O., Rasoulzadeh, A., & Nezamdoost, H. (2020). Estimation of canopy and trunk ecohydrological parameters of *Fagus orientalis* and *Picea abies* stands (Siahkal, Gilan province). *Forest Research and Development*, 6(2), 265-276. (In Persian)
- 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).
- Yildiz, O., Altundağ, E., Çetin, B., Teoman Güner, Ş., Sarginci, M., & Toprak, B. (2018). Experimental arid land afforestation in Central Anatolia, Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 190, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10661-018-6724-1>.
- Ziaye Shendershami, S., Mianabadi, A., & Sadeghi, S.M.M. (2021). Performance of Revised Gash Model for Estimating Rainfall Interception in a *Robinia pseudoacacia* plantation during the leafed and leafless periods. *Journal of Environmental Science and Technology*, 23(10), 61-71.



Research Article

Estimation of canopy and trunk ecohydrological parameters of coniferous and broadleaf trees in Zagros forests (Case study: Choqasabz Forest Park, Ilam)

E. Allahinezhad¹, M. Heydari^{2*}, J. Mirzaei³, O. Fathizadeh⁴, and P. Attarod⁵

¹ Ph.D. Student, Faculty of Agriculture, University of Ilam, I. R. Iran

² Associate Prof., Faculty of Agricultural, University of Ilam, I. R. Iran

³ Associate Prof., Faculty of Agricultural, University of Ilam, I. R. Iran

⁴ Assistant Prof., Dept. of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Ahar, University of Tabriz, I. R. Iran

⁵ Prof., Dept. of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, I. R. Iran

(Received: 16 January 2023; Accepted: 7 May 2023)

Abstract

Introduction: Estimating the ecohydrological characteristics of tree crown and trunk of trees is one of the research topics in the field of forest ecohydrology that helps managers in choosing the suitable species for plantation projects, tree planting intervals and silvicultural treatments. This study aimed to estimate the ecohydrological characteristics of throughfall and stemflow in natural coppice stands of Persian oak (*Quercus brantii* Lindl.) and afforestation of *Pinus eldarica* Medw., and *Cupressus arizonica* Greene in Zagros forests Chaghasbez Forest Park, Ilam County).

Material and Methods: The ecohydrological parameters of the canopy include the canopy saturation point ($P'g$), canopy water storage capacity (S), free throughfall coefficient (p) and the ratio of mean evaporation rate from the wet canopy to the mean rainfall intensity (\bar{E}/\bar{R}) as well as the ecohydrology characteristics of trunk such as the trunk storage capacity (St), stemflow partitioning coefficient (Pt), trunk saturation point ($P''g$) and funneling coefficient (F) of the studied species based on standard methods.

Findings: The following results obtained for the canopy saturation point; 1.28, 2.02, and 1.83 mm, canopy water storage capacity; 1.2, 1.8 and 1.5 mm, \bar{E}/\bar{R} ; 0.13, 0.46 and 0.36, free throughfall coefficient; 0.14, 0.28 and 0.22, trunk storage capacity: 0.069, 0.112 and 0.14 mm, stemflow partitioning coefficient; 0.022, 0.069 and 0.061, trunk saturation point; 3.14, 1.62 and 2.3 mm and funneling coefficient was 7.21, 10.22 and 9.45 in *Quercus brantii*, *Pinus eldarica* and *Cupressus arizonica* stands, respectively. The results showed a positive linear relationship between stemflow and the gross rainfall.

Conclusion: In general, with the increase in the amount of precipitation, the value of the funneling coefficient enhanced. Among the three studied stands, oak stand had the lowest and pine had the highest mean funneling coefficient. By knowing the ecohydrological components of the canopy and trunk of different trees, one can have a better understanding of the water cycle in the region. In addition, this knowledge makes it possible to discuss with more confidence regarding the distance of planting and density of trees and the application of silvicultural measures in order to improve the water entering the soil through rainfall in this forest ecosystem.

Keywords: Canopy, Ecohydrology, Stemflow, Trunk, water storage.