فصلنامهٔ علمی - پژوهشی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۳، شماره ۳، صفحه ۲۲۰-۲۰۷، (۱۳۹۶)

برآورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تنه و تاج درختان در جنگل دست‌کاشت کاج تهران

سید محمد معین صادقی[۱] و پدرام عطارد[*۲]

۱- دانشجوی دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.
۲- دانشیار، گروه جنگلداری و اقتصاد جنگل، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۸/۲۹

چکیده

امروزه یکی از موضوعات پژوهشی در زمینهٔ اکوهیدرولوژی، برآورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنه درختان است که به مدیران در انتخاب گونهٔ مناسب برای پروژه‌های جنگلکاری، فاصلهٔ کاشت درختان، تیمارهای آبیاری و جنگل‌شناسی (تنک‌کردن، روشن‌کردن و هرس‌کردن درختان) کمک می‌کند. هدف پژوهش پیش‌رو، برآورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک درختان تودهٔ جنگلی کاج تهران در پارک جنگلی چیتگر تهران طی یک دورهٔ دوساله بود. بدین منظور، مقدار باران در هر رخداد با استفاده از ۱۰ باران‌سنج، مقدار تاج‌بارش با استفاده از ٦۰ باران‌سنج و مقدار ساقاب با استفاده از جمع‌آوری‌کننده‌های ساقاب مارپیچی شکل که بر روی شش درخت نصب‌شده بودند، اندازه‌گیری شدند. نتایج نشان داد که نقطهٔ برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش: ۲/۰۷ میلی‌متر، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش: ۰/۹۷ میلی‌متر، نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی: ۰/۲۷، ضریب تاج‌بارش مستقیم: ۰/۳۰، ظرفیت نگهداری آب تنه: ۰/۳٦ میلی‌متر، ضریب ساقاب: ۰/۱۷، نقطه اشباع آب تنه: ۲/۱۲ میلی‌متر و ضریب قیفی شکل تاج‌پوشش: ۸/٥٤ حاصل شدند. این پژوهش، اولین گام در راه شناخت هم‌زمان تمام مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنه درختان در کشور محسوب می‌شود و پیشنهاد می‌شود که در پژوهش-های آتی، این مشخصه‌ها در دورهٔ زمانی طولانی مدت‌تر و به‌صورت هم‌زمان مورد بررسی قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: ضریب ساقاب، ضریب قیفی کل تاج‌پوشش، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، ظرفیت نگهداری آب تنه.

[*] نویسنده مسئول: Email: attarod@ut.ac.ir

مقدمه

در بسیاری از کشورها، عرصه‌های طبیعی جنگل توانایی لازم را برای سرویس‌دهی به مردم نداشته و از این‌رو بسیاری از این جوامع سعی می‌کنند برای اهداف زیست‌محیطی یا تأمین چوب، عرصه‌های مساعد را به جنگلکاری اختصاص دهند (Hamedi Ghazi *et al.*, 2016). جنگلکاری در مناطق خشک و نیمه‌خشک از مهم‌ترین اقدامات برای حفظ خاک، جلوگیری از فرسایش، تنظیم آب و نفوذ تدریجی آن در خاک، تلطیف آب‌وهوا و ایجاد فضای سبز است (Pourali *et al.*, 2017). کاشت گونه‌های درختی در هر منطقه، سبب تغییر در کمیت و کیفیت توزیع اجزای باران در اکوسیستم‌ها خواهد شد. از این‌رو تناسب انتخاب گونه در موفقیت جنگلکاری‌ها و رشد درختان، به‌ویژه در اقالیم خشک و نیمه‌خشک که با کمبود آب مواجه است، امری ضروری به‌شمار می‌آید.

مهم‌ترین ورودی چرخهٔ آب در بوم‌سازگان جنگل، بارش است (Šraj *et al.*, 2008) و تاج درختان به‌عنوان اولین مانع در برابر قطره‌های باران در اکوسیستم‌های درختی شناخته می‌شود. در واقع باران با برخورد به تاج‌پوشش، به سه جز تاج‌بارش (بارش تاجی، Throughfall)، ساقاب (رواناب تنه، Stemflow/Trunk runoff) و باران‌ربایی (ربایش آبی تاج‌پوشش/گیرش آبی تاج/اتلاف آبی تاج-پوشش/برگاب، Interception/Rainfall unloading) توزیع می‌شود. تاج‌بارش بخشی از باران است که با برخورد به تاج‌پوشش (ریزش‌های تاجی، Released canopy/Canopy drips) یا از طریق حفرات موجود در تاج یا فضاهای خالی بین تاج درختان (تاج‌بارش مستقیم، Free throughfall/Direct throughfall) به پوشش سطح جنگل می‌رسد؛ درحالی‌که ساقاب سهمی از باران است که از طریق تنه به سمت یقه درختان جریان یافته و سپس به پوشش سطح جنگل می‌رسد. بخشی از بارندگی نیز در اثر فرآیند تبخیر از دسترس پوشش سطح جنگل خارج می‌شود که به این بخش از بارش که توسط تاج‌پوشش (باران‌ربایی تاج‌پوشش، Canopy interception) و تنه (باران‌ربایی تنه، Trunk interception) درختان نگهداری شده و متعاقباً به-واسطهٔ تبخیر در زمان یا پس از بارش به هواسپهر بر می‌گردد، باران‌ربایی گفته می‌شود (Carlyle-Moses and Gash, 2011). در بسیاری از پژوهش‌های انجام-شده در اقالیم مختلف در داخل کشور بر روی اکوسیستم‌های درختی (مانند اقالیم فراخشک (Attarod *et al.*, 2015)، خشک (Attarod *et al.*, 2011)، نیمه‌خشک (Motahari *et al.*, 2013; Sadeghi *et al.*, 2014, 2015a, b)، مدیترانه‌ای (Fathizadeh *et al.*, 2013)، نیمه‌مرطوب (Mohammadi *et al.*, 2014; Ghorbani *et al.*, 2016) و مرطوب (Tafazoli, 2013)، فرض بر این بود که مقدار ساقاب ناچیز است و باوجود سهم احتمالی آن، از اندازه‌گیری ساقاب صرف‌نظر شد. هم-چنین در اندک پژوهش‌های داخل کشور که مبادرت به اندازه‌گیری ساقاب کردند (Rahmani *et al.*, 2011; Sadeghi *et al.*, 2016)، هیچ‌یک به‌طور هم‌زمان، به برآورد تمام مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش (شامل نقطهٔ برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش و ضریب تبخیر در زمان بارندگی به شدت باران) و تنه (شامل ظرفیت نگهداری آب تنه، ضریب ساقاب و نقطه اشباع آب تنه) و ضریب قیفی شکل تاج‌پوشش نپرداختند. به-علاوه، در بیشتر پژوهش‌ها، دوره‌های زمانی حداقل یک سال را برای دست‌یابی به مقادیر این مشخصه‌ها قابل‌قبول می‌دانند (Bouten *et al.*, 1996; Bryant *et al.*, 2005; Véliz-Chávez *et al.*, 2014). گرچه

اندازه‌گیری تمام این مشخصه‌ها نیاز به دستگاه‌های پیشرفته و دقیق دارد، ولی پژوهش‌گران اکنون با استفاده از روش‌های رگرسیونی مبتنی بر مقدار باران، مبادرت به برآورد این مشخصه‌ها می‌کنند. تنها مشکل استفاده از این روش‌ها، لزوم وجود داده‌های درازمدت (منظور تعداد فراوان رخدادهای باران) برای برآورد دقیق مقادیر این مشخصه‌ها است. یکی از راهکارهای برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب در جنگلکاری‌ها، شناخت مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک درختان است. زمان‌بر و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنهٔ درختان در ایران و کشورهایی که امکانات و سامانه‌های خودکار ثبت باران و اطلاعات اقلیمی وجود ندارد و اندازه‌گیری‌ها به‌صورت دستی با حضور در منطقه بعد از وقوع هر بارندگی و در زمان مشخص، انجام می‌گیرد، برآورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک درختان می‌توانند کاربردهای زیادی در انتخاب گونه‌های مناسب جنگلکاری در اقالیم خشک و نیمه‌خشک کشور داشته باشد (Sadeghi *et al.*, 2017). در این مناطق در مقایسه با دیگر اقالیم، مدت‌زمان بیش‌تری نیاز است تا تعداد بارندگی لازم برای دست یافتن به اطلاعات اکوهیدرولوژیک درختان، اندازه‌گیری شود (Sadeghi *et al.*, 2014). مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک درختان به دو دستهٔ مشخصه‌های تاج‌پوشش و تنه تقسیم‌بندی می‌شود و هدف پژوهش حاضر، برآورد تمام مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک درختان توده جنگلی کاج تهران در اقلیم نیمه‌خشک در یک دورهٔ زمانی دوساله بود.

مواد و روش‌ها

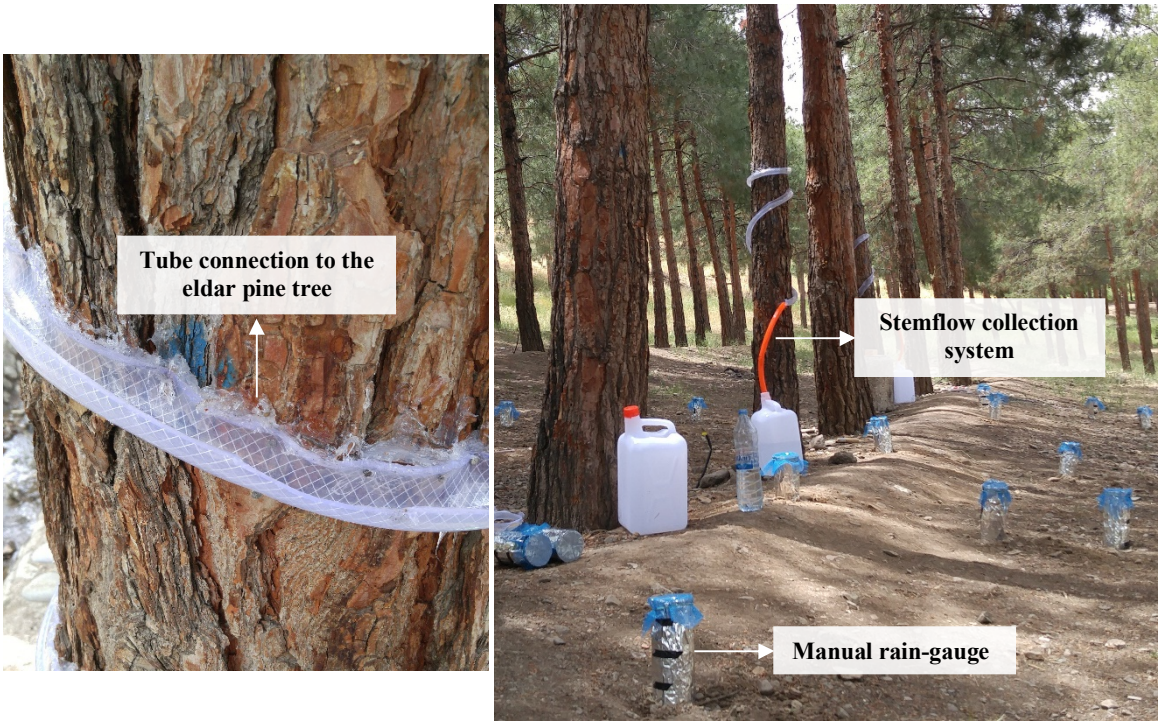
منطقه پژوهش

این پژوهش در پارک جنگلی چیتگر (عرض شمالی ۳۵ درجه و ٤٥ دقیقه و طول شرقی ۵۱ درجه و ۱۰ دقیقه با دامنهٔ ارتفاع از سطح دریای ۱۳۱۳–۱۲۲۵ متر) بر روی جنگل دست‌کاشت ٤٦ سالهٔ کاج تهران، در قطعه‌نمونه‌ای دایره‌ای شکل به مساحت نیم هکتار انجام شد (Sadeghi *et al.*, 2015a, b, 2016). این پارک با وسعتی برابر ۱٤٥۰ هکتار از مهم‌ترین پارک-های کلان‌شهر تهران است که در غرب تهران قرار داشته و از شمال به منطقه کَن تهران، از غرب به پیکان‌شهر و آزادشهر و مؤسسه تحقیقات جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و از شرق به منطقه خرگوش‌دره و از جنوب به اتوبان تهران–کرج محدود می‌شود. تودهٔ جنگلی مورد بررسی از نظر مشخصه-های زیست‌سنجی دارای میانگین ارتفاع نه متر، میانگین قطر برابرسینهٔ ۲۲ سانتی‌متر، میانگین ارتفاع تاج چهار متر، میانگین درصد تاج‌پوشش ٦۰ درصد و میانگین شاخص سطح برگ ٤/٤ است (میانگین ارتفاع از سطح دریا تودهٔ جنگلی مورد بررسی: ۱۲۵۰ متر). بر اساس اطلاعات نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی به منطقهٔ پژوهش، ایستگاه همدیدی چیتگر (۳۵ درجه و ٤۲ دقیقهٔ شمالی و ۵۱ درجه و هشت دقیقهٔ شرقی و ارتفاع از سطح دریا ۱۲۱۵ متر)، با فاصلهٔ تقریبی چهار کیلومتر از تودهٔ مورد بررسی)، طی سال‌های ۱۳۷٦ تا ۱۳۹۵، میانگین بارندگی سالانه (خطای معیار ±) ۲۷۳/۵ میلی‌متر (۱۲/۵ ±) و میانگین دمای سالانه ۱۷/۱ درجه سانتی‌گراد (۰/۱ ±) بود.

روش اندازه‌گیری

پژوهش حاضر به مدت دو سال، از تیرماه ۱۳۹۱ تا تیرماه ۱۳۹۳ انجام شد. مقدار باران در هر رخداد، با استفاده از ۱۰ باران‌سنج دستی در نزدیک‌ترین فضای باز به تودهٔ مورد بررسی (فاصله کم‌تر از ۳۰ متر) که به‌صورت کاملاً عمودی در کف جنگل مستقر بودند،

جمع‌آوری شد (شکل ۱). مقدار تاج‌بارش نیز با استفاده از ٦٠ عدد باران‌سنج دستی که در زیر تاج-پوشش به‌صورت تصادفی نصب شدند، اندازه‌گیری شد. در پژوهش حاضر، ساقاب شش درخت کاج تهران اندازه‌گیری شد؛ بدین‌صورت که از ناودان‌های لاستیکی با قطر شش سانتی‌متر استفاده شد و این ناو-دان‌ها حداقل یک ونیم دور به دور تنهٔ درختان می‌چرخیدند. این ناودان‌های لاستیکی در ارتفاع برابرسینه نصب و خروجی آنها توسط یک شلنگ (قطر هفت سانتی‌متر و طول به‌طور تقریبی یک متر)، به ظرف‌های جمع‌آوری‌کننده ۲۰ لیتری متصل شد.



شکل ۱- باران‌سنج‌های دستی برای جمع‌آوری تاج‌بارش و سیستم اندازه‌گیری ساقاب بر روی درختان کاج تهران

Figure 2. Manual rain-gauges for estimating throughfall and stemflow collection systems fixed around the tree trunk of eldar pine

مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش

نقطه اشباع آبی تاج‌پوشش

به بیشینهٔ مقدار آب لازم برای اشباع تاج‌پوشش در زمان بارندگی‌های اندازه‌گیری شده، نقطهٔ اشباع آبی تاج‌پوشش می‌گویند (Sadeghi and Attarod, 2014). نقطهٔ برآوردی اشباع آبی تاج‌پوشش بسیار به مقدار باران‌های اندازه‌گیری‌شده وابسته است و هرچه بتوان طول دورهٔ اندازه‌گیری مقادیر اجزای باران در جنگل را طولانی‌تر کرد احتمال برآورد صحیح‌تر از این نقطه افزایش می‌یابد. برای دست‌یابی به نقطهٔ برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش، به‌صورت چشمی، اولین نقطهٔ انحنای نمودار بین تاج‌بارش (محور y) و باران (محور x) -از سمت شروع محور مختصات- در کل رخداد-های باران اندازه‌گیری‌شده را به‌عنوان نقطهٔ اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی در نظر گرفته می‌شود؛ بنابراین با پیدا کردن نقطهٔ اشباع تاج‌پوشش برآوردی، باران‌ها به دو دستهٔ ناکافی برای اشباع تاج‌پوشش (خط رگرسیون

شماره ۱، R_1) و کافی برای اشباع تاج‌پوشش (خط رگرسیون شماره ۲، R_2) تقسیم می‌شوند.

ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش

کمینهٔ مقدار آب لازم برای اشباع تاج‌پوشش، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش است (Friesen *et al.*, 2015). در این پژوهش، از روش رگرسیونی Mean (Pypker *et al.*, 2005) در برآورد مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش استفاده شد. مرور منابع نشان می‌دهند که این روش به‌عنوان روشی کارا و رایج در برآورد مقادیر ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش به کار گرفته می‌شود (Friesen *et al.*, 2015). در این روش، تاج‌بارش محور y و باران محور x را تشکیل می‌دهند و از تفاوت بین تاج‌بارش و باران در محل برخورد دو خط رگرسیون R_1 و R_2، مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش حاصل می‌شود.

ضریب تاج‌بارش مستقیم

ضریب تاج‌بارش مستقیم به‌صورت غیرمستقیم، از شیب رگرسیون خطی بین تاج‌بارش و باران، برای باران‌های کم‌تر از نقطهٔ برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش (خط رگرسیون R_1)، تخمین زده می‌شود (Gash *et al.*, 1995).

ضریب تبخیر به شدت باران در طول زمان بارندگی

ضریب تبخیر به شدت باران در طول زمان بارندگی، برابر تفاضل شیب رگرسیون خطی بین تاج‌بارش و باران (برای رخدادهای برابر یا بزرگ‌تر از نقطهٔ برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش) از عدد یک است (Gash *et al.*, 1995).

مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تنه

ظرفیت نگهداری آب تنه

ظرفیت نگهداری آب تنه، نشان‌دهندهٔ کمینهٔ مقدار آبی است که در هر رخداد بارندگی توسط تنهٔ درختان نگهداری می‌شود. عرض از مبدأ خط رگرسیون خطی بین ساقاب (محور y) و باران (محور x)، نشان‌دهندهٔ مقدار ظرفیت نگهداری آب تنه است (Gash, 1979).

ضریب ساقاب

ضریب ساقاب نشان می‌دهد که چه مقدار از بارانی که در هر رخداد بارندگی به تنهٔ درختان برخورد می‌کند، امکان جاری شدن به‌صورت ساقاب را دارد (Levia and Frost, 2003). شیب‌خط رگرسیون خطی بین ساقاب (محور y) و باران (محور x)، نشان‌دهنده مقدار ضریب ساقاب است.

نقطهٔ اشباع آب تنه

نقطهٔ اشباع آب تنه، نشان‌دهندهٔ بیشینهٔ مقدار آبی است که توسط تنه نگهداری می‌شود. نقطهٔ اشباع آب تنه، از تقسیم ظرفیت نگهداری آب تنه بر ضریب ساقاب به دست می‌آید (Gash *et al.*, 1995).

ضریب قیفی‌شکل تاج‌پوشش

این ضریب، حرکت‌پذیری جریان ساقاب را با توجه به شکل تاج‌پوشش در درختان نشان می‌دهد و ضریبی است که هم وابسته به تاج‌پوشش و هم تنهٔ درختان است و نمی‌توان آن را به‌صورت انحصاری در دستهٔ مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش یا تنه قرار داد. از رابطهٔ Herwitz (1986) (رابطه ۱) که متداول‌ترین رابطه برای برآورد ضریب قیفی شکل تاج‌پوشش (F، بدون واحد) است (Levia and Frost, 2003)، برای برآورد مقدار ضریب قیفی شکل تاج‌پوشش استفاده شد.

$$F = \frac{V}{B_A \times P_g} \qquad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه V، حجم ساقاب (سانتی‌متر مکعب)، B_A سطح مقطع تنهٔ درخت (سانتی‌متر مربع) و P_g عمق هر رخداد باران (سانتی‌متر) است. برای تبیین بهتر نتایج، مقدار بارندگی در هر رخداد در طبقه‌های خیلی کم (۲/۵–۰/۱ میلی‌متر)، کم (۵/۰–۲/۶ میلی‌متر)،

متوسط (۷/۵–۵/۱ میلی‌متر)، زیاد (۱۰/۰–۷/٦ میلی‌متر) و خیلی زیاد (۱۰/۰ < میلی‌متر) تقسیم‌بندی شد (Sadeghi *et al.*, 2015a) و مقدار ضریب قیفی شکل تاج‌پوشش برای هر طبقه بارندگی به‌طور جداگانه محاسبه شد.

ارزیابی مدل

برای انتخاب بهترین مدل آماری برازش داده‌شده بین مقدار باران و مقدار ضریب قیفی‌شکل تاج‌پوشش، در میان مدل‌های رگرسیونی تک متغیره (مدل‌های خطی و غیرخطی)، از معیارهای ضریب تبیین تعدیل‌شده (R^2_{adj})، درصد ریشه میانگین مربع خطا ($RMSE\%$) و معیار اطلاعاتی آکاییک (AIC) استفاده شد. ضریب R^2_{adj} نشان می‌دهد که چند درصد تغییرهای متغیر وابسته به‌وسیلهٔ متغیر مستقل تبیین می‌شود و مقدار آن بین صفر تا یک است و هر چه به یک نزدیک‌تر باشد، برازش مدل بهتر خواهد بود. درصد $RMSE$ شاخص بسیار پرکاربرد در برآورد خطای مدل است که بازهٔ آن بین صفر تا مثبت بی‌نهایت درصد بوده و هر چه مقدار آن به صفر نزدیک‌تر باشد، خطای مدل کم‌تر است (Little, 1988). AIC معیاری برای سنجش نیکویی برازش است که از طریق برقراری تعادل بین دقت مدل و پیچیدگی آن، به انتخاب بهترین مدل آماری کمک می‌کند و هر چه مقدار آن کم‌تر باشد، مدل بهتر است.

نتایج

توزیع اجزای بارندگی

در این پژوهش ۱۱۲ رخداد باران در کل دورهٔ پژوهش اندازه‌گیری شد که عمق تجمعی باران ٤٦٦/٦ میلی‌متر به دست آمد. کم‌ترین و بیش‌ترین مقدار باران جمع‌آوری‌شده به‌ترتیب ۰/۵ و ۱۹/۲ میلی‌متر به‌دست آمدند. هم‌چنین در زمان اندازه‌گیری، ١٦ رخداد برف ثبت شد که از آنالیز آن صرف‌نظر شد. سهم تجمعی تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ربایی به‌ترتیب ۵۲/۹، ۸/۳ و ۳۸/۸ درصد حاصل شدند. این مقدار ساقاب که میانگین مقادیر شش درخت است، در ۳۱ رخداد باران جمع‌آوری شد و در باقی رخدادهای باران، مقدار ساقاب برابر با صفر بود.

مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش

نقطهٔ برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش ۲/۰۷ میلی‌متر حاصل شد و بر این اساس ۱۱۲ رخداد باران به دو دستهٔ باران‌های ناکافی (خط رگرسیون R_1، ٤٨ رخداد باران) و کافی (خط رگرسیون R_2، ٦٤ رخداد باران) تقسیم‌بندی شدند (شکل ۲). بر اساس شکل ۲، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش ۰/۹۷ میلی‌متر، ضریب تاج‌بارش مستقیم ۰/۳۰ و ضریب تبخیر به شدت باران در طول زمان بارندگی ۰/۲۷ به‌دست آمد.

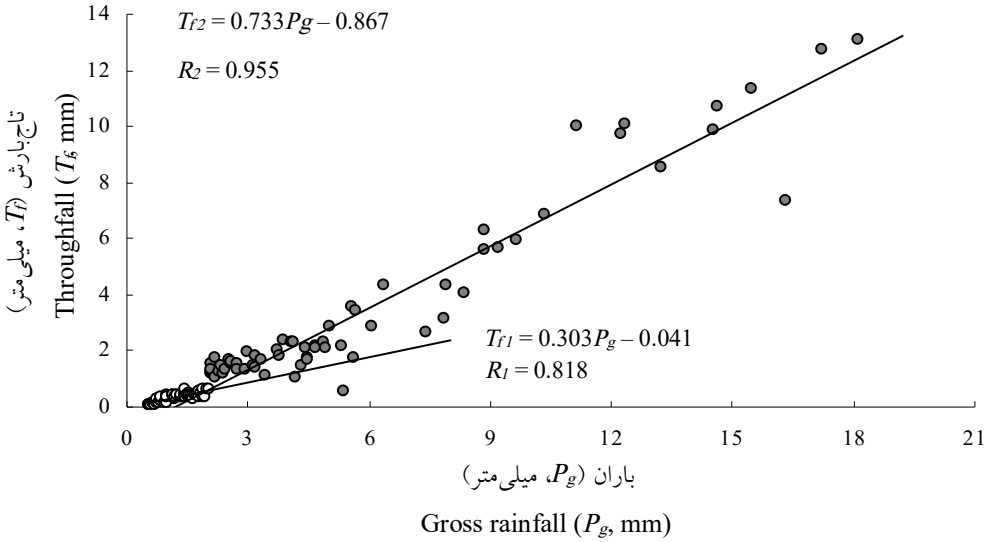
مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تنه

شکل ۳ بیان‌گر وجود رابطهٔ خطی مثبت و معنی‌دار (در سطح ۹۹ درصد) بین مقدار ساقاب (S_f، میلی‌متر) و مقدار باران (P_g، میلی‌متر) است. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است، ظرفیت نگهداری آب تنهٔ درختان کاج تهران برابر با ۰/۳٦ میلی‌متر، ضریب ساقاب ۰/۱۷ و مقدار نقطهٔ اشباع آب تنه ۲/۱۲ میلی‌متر محاسبه شدند.

ضریب قیفی شکل تاج‌پوشش

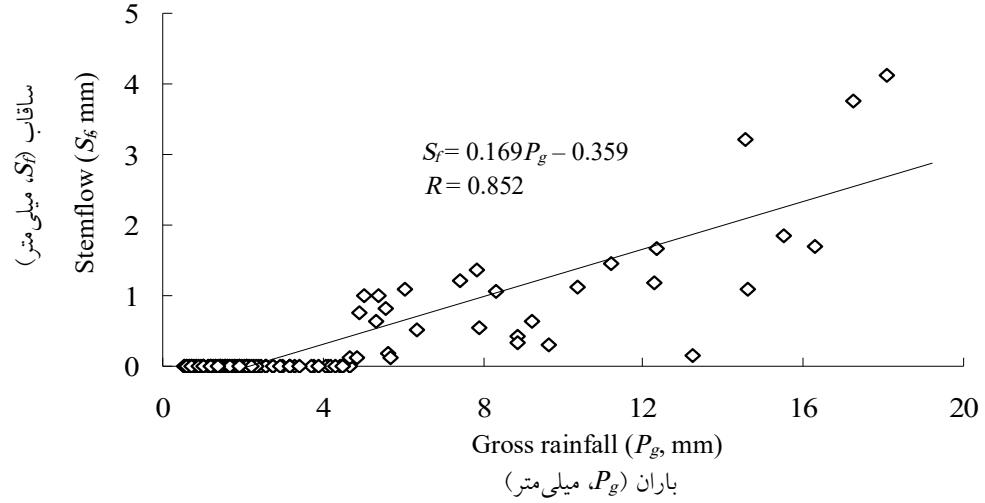
میانگین ضریب قیفی شکل تاج برای گونهٔ کاج تهران، ۸/٥٤ به‌دست آمد (خطای معیار: ۰/۹٤±) و بیشینه و کمینهٔ مقدار به‌دست‌آمده این ضریب به‌ترتیب ۱۹/٥٦ و ۰/۷۸ محاسبه شدند (جدول ۱). ازآنجایی‌که در طبقهٔ باران خیلی کم (۲/۵–۰/۱ میلی‌متر)، ساقاب ثبت نشد، بنابراین مقادیر ضریب قیفی شکل تاج در چهار طبقهٔ باران مورد بررسی قرار گرفت. به‌طورکلی، با افزایش مقدار طبقه‌های باران، مقدار ضریب قیفی شکل تاج-

پوشش افزایش می‌یابد (به‌جز طبقه باران زیاد) و بر این اساس، طبقهٔ باران با مقدار کم، کم‌ترین متوسط مقدار ضریب قیفی شکل تاج (۷/۳۷) و طبقهٔ باران با مقدار خیلی زیاد، بیش‌ترین متوسط مقدار ضریب قیفی شکل تاج (۱۰/۵۰) را به خود تخصیص دادند.



شکل ۲- رابطهٔ بین تاج‌بارش و باران در باران‌های بیشتر از نقطهٔ برآوردی اشباع آبی تاج‌پوشش (≤ ۲/۰۷ میلی‌متر؛ خط R_2؛ دایره‌های تو پر) و کمتر از نقطهٔ برآوردی اشباع آبی تاج‌پوشش (< ۲/۰۷ میلی‌متر؛ خط R_1؛ دایره‌های توخالی) R بیان‌گر ضریب همبستگی است.

Figure 2. The relationship between throughfall (T_f) and gross rainfall (P_g) for rainfall events size greater than the estimated canopy saturation point (≥2.07 mm; R_2 line; filled circle), or smaller than the estimated canopy saturation point (< 2.07 mm; R_1 line; open circle). R denotes the correlation coefficient.



شکل ۳- رابطهٔ بین باران و ساقاب در ۱۱۲ رخداد باران اندازه‌گیری شده در دورهٔ پژوهش، R بیان‌گر ضریب همبستگی است.

Figure 3. The relationship between stemflow (S_f) and gross rainfall (P_g) for 112 rain storms during the study period. R denotes the correlation coefficient.

جدول ۱- میانگین، خطای معیار، ضریب تغییرات، بیشینه و کمینهٔ ضریب قیفی شکل تاج‌پوشش بر اساس طبقه‌های مقدار باران، طی ۳۱ رخداد با مقدار تجمعی ۳۸/٦٦ میلی‌متر

Table 1. The mean, standard error, CV, maximum, and minimum of funneling ratio coefficient according to the rainfall classes during 31 rain storms with cumulative amount of 38.66 mm

طبقه بارش (میلی‌متر) Rainfall class (mm)	ضریب قیفی شکل تاج‌پوشش Funneling ratio coefficient			
	میانگین Mean	اشتباه معیار Standard error	بیشینه Maximum	کمینه Minimum
Small (2.51-5.00)	7.37	± 3.26	14.61	1.66
Middle (5.01-7.50)	8.59	± 1.69	13.57	1.42
Large (7.51-10.00)	5.79	± 1.45	9.25	2.28
Very large (> 10.00)	10.50	± 1.59	19.56	0.78
Mean	8.54	± 0.94	19.56	0.78

بر اساس مقادیر R^2_{adj} (۰/۲۹٦) درصد، *RMSE* (۱۸/۳۲ درصد) و *AIC* (۱۳/۸٤-)، بهترین رابطهٔ برازش داده‌شده بین مقدار باران و مقدار ضریب قیفی-شکل تاج‌پوشش، به‌صورت دوجمله‌ای مثبت به‌دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲- روابط رگرسیونی خطی و غیرخطی بین مقدار باران (P_g، میلی‌متر) و ضریب قیفی‌شکل تاج‌پوشش (F)

Table 2. Linear and non-linear regression types between gross rainfall (P_g, mm) and funneling ratio coefficient (F)

نوع رگرسیون Regression type	معادله Equation	R^2_{adj}	*RMSE* (%)	*AIC*	*p-value*
Linear	$F = 0.437P_g + 4.273$	0.110	106.19	57.33	0.680
Binomial*	$F = 0.125P_g^2 - 2.360P_g + 17.225$	0.296	18.32	-13.84	0.626
Power	$F = 2.405P_g^{0.461}$	0.041	256.25	147.15	0.723
Exponential	$F = 3.877e^{0.054Pg}$	0.061	187.19	106.22	0.710
Logarithmic	$F = 3.502Ln(P_g) + 0.903$	0.075	136.14	21.18	0.679

بحث

مرور منابع در مورد مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج-پوشش در توده‌های سوزنی‌برگ، دامنهٔ ۰/۳ تا ٦/٦ میلی‌متر را نشان می‌دهد (Zinke, 1967). ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، مهم‌ترین مشخصهٔ کنترل-کنندهٔ توزیع اجزای بارندگی به تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ربایی در اکوسیستم‌های جنگلی است (Pypker *et al.*, 2005) و بیش‌ترین اثرگذاری آن، در باران‌هایی با مقدار کم دیده می‌شود (Sadeghi *et al.*, 2015b)، هرچند که به‌دست آوردن یک عدد ثابت برای این مشخصه صحیح نیست (Dunkerley, 2000)، زیرا که بسته به شدت‌های مختلف باران و سرعت باد، مقدار این مشخصه تغییر می‌کند؛ ولی با اندازه‌گیری تعداد باران کافی می‌توان متوسطی از مقدار این مشخصه در هر گونهٔ درختی را با توجه به شرایط اقلیمی منطقه به-دست آورد. باید توجه کرد که مهم‌ترین مشخصهٔ سازندهٔ تمامی مدل‌های برآورد توزیع اجزای باران در پوشش گیاهی، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش است (Muzylo *et al.*, 2009).

در این پژوهش، مقدار ضریب تاج‌بارش مستقیم در تودهٔ کاج تهران ۰/۳۰ برآورد شد که در دامنهٔ ۰/۱۲ تا ۰/٤۲ گزارش‌شده توسط دیگر پژوهش‌گران است

(Pypker *et al.*, 2005). ضریب تاج‌بارش مستقیم در هنگامی‌که توده یا درخت تنک‌تر هستند، بیش‌تر است، یعنی سهم زیادتری از تاج‌بارش بدون برخورد به تاج-پوشش به کف جنگل می‌رسد. آگاهی از مقدار این ضریب در مناطق خشک و نیمه‌خشک که کمبود آب یک عامل مهم بر استقرار درختان و زادآوری است، سبب آگاهی در مورد انتخاب فاصله کاشت مناسب، چگونگی اشکوب‌بندی توده‌ها و انتخاب تیمارهای مناسب جنگل‌شناسی (تنک‌کردن، روشن‌کردن و هرس کردن) می‌شود.

نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی، مشخصهٔ کنترل‌کنندهٔ مقدار باران‌ربایی، در رخدادهای باران با مقدار بالا به‌شمار می‌آید (Licata *et al.*, 2011) که بیش‌ترین اثرگذاری این مشخصه در رخدادهایی از باران است که مقدار آن رخداد زیاد و هم‌چنین زمان بارش آن طولانی‌مدت است (Pypker *et al.*, 2005; Sadeghi *et al.*, 2015b). در مورد نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی، مشخصه‌های اصلی کنترل‌کننده، شامل مشخصه‌های اقلیمی و خصوصیات بارندگی می‌باشند و ساختار تاج‌پوشش نقش چندانی ندارد (برخلاف ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش که وابستگی زیادی به ساختار تاج‌پوشش دارد).

مقدار ظرفیت نگهداری آب تنهٔ درختان کاج تهران برابر با ۰/۳۶ میلی‌متر به‌دست آمد. مرور منابع مقدار این مشخصه را در درختان سوزنی‌برگ بین ۰/۰۱٤ میلی‌متر (Gash and Morton, 1978) تا ۰/۷٤ میلی‌متر (Gash *et al.*, 1980) نشان می‌دهند. ظرفیت نگهداری آب تنه نشان می‌دهد که در وضعیت فعلی درختان و توده (از نظر ویژگی‌های مورفولوژیکی و ساختاری)، توانایی تنهٔ درختان در نگه‌داشتن آب باران چه مقدار است و در واقع بعد از تکمیل این مقدار، ساقاب جاری می‌شود (Sadeghi *et al.*, 2017).

ضریب ساقاب درختان کاج تهران ۰/۱۷ به‌دست آمد که نتایج این پژوهش، همسو با یافته‌های دیگر پژوهش‌گران در جنگل‌های سوزنی‌برگ در سراسر دنیا است زیرا که دامنهٔ اعداد گزارش‌شده توسط دیگر پژوهش‌گران در ارتباط با ضریب ساقاب نیز بین ۰/۰۱٦ (Gash and Morton, 1978) تا ۰/۲۹ (Gash *et al.*, 1980) به ثبت رسیده است. هرچه تراکم توده (تعداد در هکتار) و انبوهی تاج‌پوشش کاهش یابد، مقدار این ضریب بیشتر خواهد بود (Sadeghi *et al.*, 2017). تودهٔ مورد بررسی در پارک چیتگر توده‌ای با تاج‌پوشش ٦۰ درصد و تعداد در هکتار حدود ۱۰۰۰ اصله در هکتار است، بنابراین انتظار می‌رفت که مقدار ضریب ساقاب در این پژوهش، بالا باشد.

مقدار نقطهٔ اشباع آب تنه (P'_G) درختان کاج تهران، ۲/۱۲ میلی‌متر برآورد شد که مطابق با بازهٔ مقادیر گزارش‌شده در جنگل‌های سوزنی‌برگ دنیا است که مقدار این مشخصه را بین ۰/٦۱ میلی‌متر (Ghimire *et al.*, 2012) تا ٦/۱۸ میلی‌متر (Gash *et al.*, 1995) برآورد کرده‌اند. این نقطه، بیشینهٔ آب نگهداری شده توسط تنه را نشان می‌دهد و فرض بر این است که در باران‌های کم‌تر از این نقطه، ساقاب تولید نمی‌شود. هرچه تراکم توده بیش‌تر باشد، مقدار ظرفیت نگهداری آب تنه، به نقطه اشباع آب تنه نزدیک‌تر می‌شود (Sadeghi *et al.*, 2017).

میانگین ضریب قیفی‌شکل تاج‌پوشش درختان کاج تهران، ۸/٥٤ به‌دست آمد (جدول ۱). چنانچه مقدار ضریب قیفی‌شکل تاج‌پوشش برابر با یک باشد، نشان می‌دهد که مقدار ساقاب اندازه‌گیری شده درخت برابر است با مقدار باران اندازه‌گیری شده در فضای باز با دهانهٔ باران‌سنجی برابر با سطح مقطع تنهٔ درخت.

هم‌چنین، مقادیر بیش‌تر از یک ضریب قیفی شکل تاج‌پوشش نشان‌دهندهٔ این است که شاخه‌های درختان در تولید ساقاب نقش داشتند و هرچه این مقدار بزرگ‌تر شود، بیان‌گر این موضوع است که نقش شاخه‌های درختان در تولید ساقاب افزایش یافته است (Herwitz, 1986; Li *et al.*, 2009)؛ بنابراین مقدار ضریب قیفی‌شکل تاج‌پوشش بیش‌تر از یک نشان می‌دهد تاج‌پوشش درختان، آب باران را به سمت تنه هدایت می‌کنند. این ضریب به‌نوعی نشان‌دهنده کارایی تاج‌پوشش در تولید ساقاب است (Mckee, 2010) و اولین بار توسط Herwitz (1986) معرفی شد و در پژوهش‌های اکوهیدرولوژیک تنهٔ درختان کاربرد زیادی دارد (برای نمونه: Johnson and Lehmann, 2006; Levia and Frost, 2003; Murakami, 2009; Levia *et al.*, 2010; McKee, 2010). مرور منابع در سوزنی‌برگان، بازهٔ این ضریب را بین ۰/۹ تا ۸۱/۳ نشان می‌دهد. برای مثال، مقدار این ضریب را Viville و همکاران (1993) در تودهٔ *Picea abies*، ۰/۹، Reid and Lewis (2009) در جنگل *Pseudotsuga menziesii*، ۲/۶۰، Didon-Lescot (1998) در تودهٔ *Picea abies*، ۳/۲۰، Huber and Iroumé (2001) در جنگل‌های مختلف *Pinus radiate* بین ۸/۳ تا ۲۹/۲۰، McKee and Carlyle-Moses (2010) در تودهٔ *Pinus contorta*، ۱۴/۹ و Murakami (2009) در جنگل *Chamaecyparis obtusa*، ۸۱/۳ برآورد کردند.

بهترین رابطهٔ رگرسیونی برازش داده‌شده بین مقدار ضریب قیفی‌شکل تاج‌پوشش با مقدار باران در هر رخداد، از یک تابع دوجمله‌ای تبعیت کرد (جدول ۲) و هم‌چنین مطابق با جدول ۱، با افزایش مقدار متوسط باران، مقدار ضریب قیفی‌شکل تاج‌پوشش نیز افزایش نشان داد (به‌جز باران‌های با مقدار زیاد (۷/۶ تا ۱۰/۰ میلی‌متر)). ازآنجایی‌که هیچ‌کدام از روابط رگرسیونی ارائه‌شده در جدول ۲ رابطهٔ معنی‌داری بین مقدار باران و مقدار ضریب قیفی‌شکل تاج‌پوشش را نشان ندادند، می‌توان اظهار داشت که مقدار باران به‌تنهایی نمی‌تواند بیانگر تغییرات مقدار ضریب قیفی شکل تاج‌پوشش باشد و برای بررسی دقیق‌تر این ضریب، لازم است در پژوهش‌های پیش‌رو، دیگر عوامل اثرگذار بر روی مقدار مشخصه نیز مورد ارزیابی قرار گیرد (مانند شدت باران، دمای هوا و سرعت باد). با افزایش مقدار باران، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش و ظرفیت نگهداری آب تنه تکمیل‌شده و بعد از اشباع آبی تاج‌پوشش و تنه، سهم بیش‌تری از هر باران از طریق تاج‌پوشش به‌سوی تنهٔ درختان جاری‌شده و در نتیجه مقدار ساقاب بیش‌تر می‌شود که همسو با یافته‌های دیگر پژوهش‌گران در زمینهٔ ارتباط مقدار باران با ضریب قیفی‌شکل تاج‌پوشش است (Levia *et al.*, 2010).

بررسی وضعیت اکوهیدرولوژیک پوشش گیاهی در مناطق خشک و نیمه‌خشک در دنیا از جدیدترین روش‌های مدیریتی منابع آبی محسوب می‌شود. در این مناطق، علاوه بر کمبود مقدار باران، رخدادهای باران از نظر زمانی پراکنش نامنظمی دارند و بر اثر تغییر جهانی اقلیم، رفتار پیش‌بینی‌ناپذیرتر از قبل پیدا کرده‌اند. در این مناطق، به‌دلیل کمبود آب و هزینه‌های سنگین، آبیاری مرتب درختان کم‌تر میسر است و از نظر دانش اکوهیدرولوژی، باید از گونه‌هایی در جنگلکاری‌ها استفاده کرد که در درجهٔ اول تعرق کم‌تری داشته باشند و در درجهٔ دوم سبب شوند باران خالص بیش‌تری به پوشش کف جنگل برسد (Sadeghi *et al.*, 2014, 2016). امروزه یکی از جستارهای پژوهشی در زمینهٔ اکوهیدرولوژی، برآورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تنه و تاج‌پوشش درختان است که به مدیران برای انتخاب گونهٔ مناسب

برای پروژه‌های جنگلکاری، فاصله صحیح کاشت درختان، تیمارهای آبیاری و نیز تیمارهای جنگل‌شناسی (مانند تنک‌کردن، روشن‌کردن و هرس-کردن) درختان کمک می‌کند و اطلاعات زیادی در مورد توزیع اجزای بارندگی هنگام برخورد با درختان در اکوسیستم‌ها ارائه می‌دهد. این پژوهش، اولین گام در راه شناخت هم‌زمان مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنهٔ درختان در کشور محسوب می‌شود و لازم است در پژوهش‌های آتی، این مشخصه‌ها در دیگر اقالیم و گونه‌ها مورد بررسی قرار بگیرد. شناخت مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک درختان (تاج‌پوشش و تنه) در کنار تعرق و باران‌ربایی لاشبرگ درختان، به مدیران جنگل در بحث انتخاب گونه مناسب‌تر در هر منطقه کمک شایانی می‌کند بهتر است در دیگر پژوهش‌ها، مشخصه‌های اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش و تنهٔ درختان باهم و در یک‌زمان مورد بررسی قرار بگیرند.

References

- Attarod, P., S. M. Moein Sadeghi, L. Soleiman Nezhad, M. Manafi & A. Asghari, 2011. Rainfall interception by individual *Pinus eldarica* and *Acer velutinum* trees planted in the urban forests, *Research Journal of Forest Science and Engineering*, 1(4): 39-51. (In Persian)
- Attarod, P., S. M. M. Sadeghi, T. G. Pypker, H. Bagheri, M. Bagheri & V. Bayramzadeh, 2015. Needle-leaved trees impacts on rainfall interception and canopy storage capacity in an arid environment, *New Forests*, 46(3): 339-355.
- Bouten, W., M. G. Schaap, J. Aerts & A. W. M. Vermetten, 1996. Monitoring and modelling canopy water storage amounts in support of atmospheric depositions studies, *Journal of Hydrology*, 181(1-4): 305-321.
- Bryant, M. L., S. Bhat & J. M. Jacobs, 2005. Measurements and modeling of throughfall variability for five forest communities in the southeastern US, *Journal of Hydrology*, 312(1): 95-108.
- Carlyle-Moses, D. E. & J. H. C. Gash, 2011. Rainfall Interception Loss by Forest Canopies, *Forest Hydrology and Biogeochemistry*, 216: 407-423.
- Didon-Lescot, J. F., 1998. The importance of throughfall in evaluating hydrological and biogeochemical fluxes: example of a catchment (Mont-Lozère, France). In: Conference on Catchment Hydrological and Biochemical Processes in Changing Environment, Liblice (Czech Republic). pp: 17-20.
- 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.
- Fathizadeh, O., P. Attarod, T. G. Pypker, A. A. Darvishsefat & GH. Zahedi Amiri, 2013. Seasonal variability of rainfall interception and canopy storage capacity measured under individual oak (*Quercus brantii*) trees in western Iran, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15(1): 175-188.
- Friesen, J., J. Lundquist & J. T. Van Stan, 2015. Evolution of forest precipitation water storage measurement methods, *Hydrological Processes*, 29(11): 2504-2520.
- Gash, J. H. C. & A. J. Morton, 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., 1979. An analytical model of rainfall interception by forests, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 105(443): 43-55.
- Gash, J. H. C., C. R. Lloyd & G. Lachaud, 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model, *Journal of Hydrology*, 170(1-4): 79-86.
- Gash, J. H. C., I. R. Wright & C. R. Lloyd, 1980. Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain, *Journal of Hydrology*, 48(1-2): 89-105.
- Ghimire, C. P., L. A. Bruijnzeel, M. W. Lubczynski & M. Bonell, 2012. Rainfall interception by natural and planted forests in the middle Mountains of Central Nepal, *Journal of Hydrology*, 475: 270-280.
- Ghorbani, S., S. M. Hojjati, Kh. Sagheb Talebi & Sh. Shataee, 2016. Impact of

landuse change on ecohydrological function of canopy in Brant's oak (*Quercus brantii* Lindl.) forest in Ghale-gol watershed, Lorestan, *Iranian Journal of Forest and Polar Research*, 24(3): 390-401. (In Persian)
- Hamedi Ghazi, P., S. R. Mousavi Mirkala & A. Samadi, 2016. Study on production, felling and processing costs of first thinning operation in a reforested stand (case study: Tyrum rood, Tonekabon city), *Forest Research and Development*, 2(2): 155-167. (In Persian)
- Herwitz, S. R., 1986. Infiltration-excess caused by stemflow in a cyclone-prone tropical rainforest, *Earth Surface Processes and Landforms*, 11(4): 401-412.
- Huber, A. & A. Iroumé, 2001. Variability in annual rainfall partitioning for different sites and forest covers in Chile, *Journal of Hydrology*, 248(1): 78-92.
- Johnson, M. S. & J. Lehmann, 2006. Double-funneling of trees: Stemflow and root-induced preferential flow, *Ecoscience*, 13(3): 324-333.
- Levia, D. F. & E. E. Frost, 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.
- Levia, D. F., J. T. Van Stan, S. M. Mage & P. W. Kelley-Hauske, 2010. Temporal variability of stemflow volume in a beech-yellow poplar forest in relation to tree species and size, *Journal of Hydrology*, 380(1): 112-120.
- Li, X. Y., Z. P. Yang, Y. T. Li & H. Lin, 2009. Connecting ecohydrology and hydropedology in desert shrubs: stemflow as a source of preferential flow in soils, *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(7): 1133-1144.
- Licata, J. A., T. G. Pypker, M. Weigandt, M. H. Unsworth, J. E. Gyenge, M. E. Fernández, T. M. Schichter & B. J. Bond, 2011. Decreased rainfall interception balances increased transpiration in exotic ponderosa pine plantations compared with native cypress stands in Patagonia, Argentina, *Ecohydrology*, 4(1): 83-93.
- Little, R. J., 1988. Robust estimation of the mean and covariance matrix from data with missing values, *Applied Statistics*, 1: 23-38.
- McKee, A. J. & D. E. Carlyle-Moses, 2010. Stemflow: A potentially important point source of water for growth, *Linking Innovations and Networking Knowledge*, 11(2): 11-12.
- 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.
- Mohammadi, S., R. Rahmani & R. Arabali, 2014. Measuring throughfall and interception loss in Horizontal cypress and Turkish pine afforestations and a natural stand of chestnut-leaved oak at Kohmian of Azadshahr, Iran, *Iranian Journal of Forest*, 6(3): 363-376. (In Persian)
- Motahari, M., P. Attarod, T. G. Pypker, V. Etemad & A. Shirvany, 2013. Rainfall interception in a *Pinus eldarica* plantation in a semi-arid climate zone: an application of the gash model, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 15(5): 981-994.
- Murakami, S., 2009. Abrupt changes in annual stemflow with growth in a young stand of Japanese cypress, *Hydrological Research Letters*, 3: 32-35.
- Muzylo, A., P. Llorens, F. Valente, J. J. Keizer, F. Domingo & J. H. C Gash, 2009. Review of rainfall interception modelling, *Journal of Hydrology*, 370(1): 191-206.
- Pourali, S., M. Aliha, Kh. Sagheb-Taleb & M. Dadgar, 2017. Investigation on success of man-made forests in southern slopes of Alborz, a case study: Roudehen, *Journal of Forest Research and Development*, 3(1): 63-76. (In Persian)
- Pypker, T. G., B. J. Bond, T. E. Link, D. Marks & 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.
- Rahmani, R., A. Sadoddin & S. Ghorbani, 2011. Measuring and modelling precipitation components in an Oriental beech stand of the Hyrcanian region, Iran, *Journal of Hydrology*, 404(3): 294-303.
- Reid, L. M. & J. Lewis, 2009. Rates, timing, and mechanisms of rainfall interception loss in a coastal redwood forest, *Journal of Hydrology*, 375(3): 459-470.
- Sadeghi, S. M. M. & P. Attarod, 2014. Estimation of canopy ecohydrological parameters of *Pinus eldarica* trees in a

semiarid climate, *Iranian Journal of Forest*, 6(2): 167-182. (In Persian)
- Sadeghi, S. M. M., J. T. Van Stan, T. G. Pypker & J. Friesen, 2017. Canopy hydrometeorological dynamics across a chronosequence of a globally invasive species, *Ailanthus altissiimia* (Mill., tree of heaven), *Agricultural and Forest Meteorology*, 240: 10-17.
- Sadeghi, S. M. M., P. Attarod & T. G. Pypker, 2015a. Differences in rainfall interception during the growing and non-growing seasons in a *Fraxinus rotundifolia* Mill. plantation located in a semiarid climate, *Journal of Agricultural Science and Technology*, 17(1): 145-156.
- Sadeghi, S. M. M., P. Attarod, J. T. Van Stan & T. G. Pypker, 2016. The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives semiarid climates: A comparison of common planted tree species in Tehran, Iran, *Science of the Total Environment*, 568: 845-855.
- Sadeghi, S. M. M., P. Attarod, J. T. Van Stan, T. G. Pypker & D. Dunkerley, 2015b. Efficiency of the reformulated Gash's interception model in semiarid afforestations, *Agricultural and Forest Meteorology*, 201: 76-85.
- Sadeghi, S. M. M., P. Attarod, T. G. Pypker & D. Dunkerley, 2014. Is canopy interception
W. Lull (Eds.), Forest Hydrology. Pergamon Press, Oxford, pp. 137-161.
increased in semiarid tree plantations? Evidence from a field investigation in Tehran, Iran, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38(6): 792-806.
- Šraj, M., M. Brilly & M. Mikos, 2008. Rainfall interception by two deciduous Mediterranean forests of contrasting stature in Slovenia, *Agricultural and Forest Meteorology*, 148(1): 121-134.
- Tafazoli, M., 2013. Comparison of nutrient input via throughfall in a oak-hornbeam natural forest with *Acer velutinum* and *Pinus brutia* plantations in Darabkola, Sari. Master thesis. Department of Forestry and Forest Economics. University of Tehran. Tehran, Iran, 121 p. (In Persian)
- Véliz-Chávez, C., C. A. Mastachi-Loza, E. Gonzalez-Sosa, R. Becerril-Pina & N. M. Ramos-Salinas, 2014. Canopy storage implications on interception loss modeling, *American Journal of Plant Sciences*, 5(20): 3032-3048.
- Viville, D., P. Biron, A. Granier, E. Dambrine & A. Probst, 1993. Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France), *Journal of Hydrology*, 144(1-4): 273-282.
- Zinke, P. J., 1967. Forest interception study in the United States. In: Sopper, W. E. & H.

Estimation of ecohydrological parameters of trunk and canopy of a *Pinus eldarica* plantation

S. M. M. Sadeghi[1] and P. Attarod[*2]

1- PhD student of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

2- Associate Professor, Department of Forestry and Forest Economics, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I.R. Iran.

Received: 03.06.2017 Accepted: 20.11.2017

Abstract

Knowledge of canopy and trunk ecohydrological parameters is a decision support tool for forest managers to choose suitable species for plantations, tree spacing, irrigation treatments, and silvicultural treatments including thinning, lighting, and pruning. The purpose was to estimate the canopy and trunk ecohydrological parameters of eldar pine (*Pinus eldarica*) in Chitgar Forest Park, near Tehran (Iran) during two years measurements. To measure gross rainfall, ten rain-gauges were installed in an open area adjacent to the trees, and throughfall were measured using 60 rain-gauges installed beneath of canopy, and stemflow was measured using the spiral type stemflow collectors installed at six trees. The results showed that estimated canopy saturation point, canopy storage capacity, the ratio of mean evaporation rate from to the mean rainfall intensity, and free throughfall coefficient were 2.07 mm, 0.97 mm, 0.27, and 0.30, respectively. Trunk storage capacity, stemflow partitioning coefficient, trunk saturation point, funneling ratio coefficient were estimated 0.36 mm, 0.17, 2.12 mm, and 8.54, respectively. This study was the first step for understanding the trunk and canopy ecohydrological parameters simultaneously. However, we recommend to consider all these parameters in longer periods collectively.

Keywords: Canopy storage capacity, Stemflow funneling ratio, Stemflow partitioning coefficient, Trunk storage capacity.

[*] Corresponding author: Email: attarod@ut.ac.ir