Archive of SID

فصلنامهٔ علمی پژوهش و توسعه جنگل
جلد ۶، شماره ۲، صفحه ۲۷۶-۲۶۵، (۱۳۹۹)

برآورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان راش و نوئل (سیاهکل، گیلان)

کیومرث سفیدی*[۱]، سید محمدمعین صادقی[۲]، امید فتحی‌زاده[۳]، علی رسول‌زاده[٤] و حامد نظام‌دوست[٥]

۱- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. (Kiomarssefidi@gmail.com)
۲- دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکدهٔ منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران. (Moeinsadeghi@ut.ac.ir)
۳- استادیار، گروه جنگلداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی اهر، دانشگاه تبریز، اهر، ایران. (omid.fathizadeh@yahoo.com)
٤- دانشیار، دانشکدهٔ کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (rasoulzadeh@uma.ac.ir)
٥- کارشناس ارشد، اداره کل منابع طبیعی استان گیلان، رشت، ایران. (hamednezam199@yahoo.com)

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲٤ تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۳۰

چکیده

این پژوهش با هدف شناخت مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان در توده‌های طبیعی راش و دست‌کاشت نوئل در جنگل سیاهکل استان گیلان طی یک سال انجام شد. در توده راش مقادیر نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی و محاسباتی به ترتیب ۱/۸۱ و ۱/٦۳ میلی‌متر، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش ۰/٤٤ میلی‌متر، ضریب تاج‌بارش مستقیم ۰/۵۷، نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی ۰/۱٦، ظرفیت نگهداری آب تنه ۰/۲۱ میلی‌متر، ضریب ساقاب ۰/۱۳ و نقطه اشباع آب تنه ۱/٦۱ میلی‌متر به‌دست آمد. مقادیر یادشده در توده نوئل به‌ترتیب ۳/۱۹ میلی‌متر، ۱/۸۷ میلی‌متر، ۰/۹٤ میلی‌متر، ۰/۳٤، ۰/۱۷، ۰/۱۹ میلی‌متر، ۰/۰۷ و ۲/۷٤ میلی‌متر به‌دست آمد. بر اساس مقادیر مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان می‌توان اظهار داشت که ورود آب باران به جنگل در توده راش بیشتر از نوئل است. با توجه به زمان‌بر و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری تاج بارش، ساقاب و باران‌ربایی به‌ویژه در ایران که امکان به‌کارگیری سامانه‌های خودکار وجود ندارد و اندازه‌گیری‌ها به‌صورت دستی با حضور در عرصه بعد از وقوع هر رخداد بارندگی باید انجام گیرد، تعیین مشخصه‌های اکوهیدرولوژی درختان گامی مؤثر در پیش‌بینی مقادیر تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ربایی در هر رخداد باران است.

واژه‌های کلیدی: اکوهیدرولوژی جنگل، باران‌ربایی، تاج بارش، ساقاب.

* نویسنده مسئول شمارهٔ تماس: ۰۹۱۲۷۲٦٤۰٦٦

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

امروزه با درنظر گرفتن مشکلات روزافزون تخریب جنگل‌ها در چند دهه گذشته، انجام عملیات جنگلکاری و احیای مناطق تخریب‌یافته، یکی از راهکارهای مهم اجرایی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور و سازمان پارک‌ها و فضای سبز شهرداری در شهرهای مختلف کشور است (Farokhzade *et al.*, 2018). انتخاب گونه (چه از نوع بومی یا غیربومی) برای جنگلکاری و توسعه فضای سبز شهری، امری دشوار و بسیار مهم است، زیرا اگر خطایی در انتخاب گونه انجام شد، به‌آسانی قابل‌بازسازی و جبران نیست و باید همه تلاش‌ها، صرف وقت و هزینه‌ها را هدررفته دانست، بنابراین برای انتخاب گونه باید عامل‌های زیادی را موردتوجه قرار داد (Pourali *et al.*, 2017). به‌عنوان یک اصل کلی، باید گونه‌ای انتخاب شود که متناسب با شرایط محیطی محل موردنظر باشد، به‌عبارت‌دیگر، باید بتواند با وضع اقلیمی و خاکی آن محل سازگار باشد و با عامل‌های زنده موجود در آن تطبیق پیدا کند. مانند دیگر نقاط دنیا، در چند دهه اخیر کاشت گونه‌های سوزنی‌برگ به دلایلی همچون نرمش اکولوژیک و تندرشدبودن در داخل کشور افزایش یافته است (Marvi-Mohajer, 2011) و گونه‌های مختلفی برای جنگلکاری و توسعه فضای سبز شهری در داخل کشور بکار می‌روند.

به‌تازگی علاقه مدیران و پژوهشگران نسبت به اثرهای کاشت گونه‌های جدید بر اکوهیدرولوژی جنگل افزایش‌یافته است (Bonnesoeur *et al.*, 2019) و یکی از موضوعات مورد اهمیت در این مبحث، انتخاب گونه‌های مناسب از دیدگاه اکوهیدرولوژی جنگل برای کاشت در مناطق مختلف کشور است (Sadeghi *et al.*, 2016)؛ امری که تاکنون موردتوجه مسئولین قرار نگرفته است. درواقع کاشت گونه‌های جدید اگرچه می‌تواند به کاهش فرسایش خاک یا جلوگیری از پیشرفت آن، افزایش حاصلخیزی خاک و ترسیب کربن، ایجاد چشم‌انداز، بادشکن، امکانات تفرّجی و درنتیجه کاهش فشار بر روی پوشش‌های گیاهی طبیعی کمک کند (Yildiz *et al.*, 2018، Yosef *et al.*, 2018)، اما از پیامدهای اکوهیدرولوژیک جنگلکاری‌ها مانند تأثیر بر روی بیلان آبی منطقه از طریق تغییر مقدار باران رسیده به سطح خاک–فرآیند توزیع اجزای باران– نباید غافل شد (Nezamdoost *et al.*, 2017، Sadeghi *et al.*, 2017, 2018). در واقع با کاشت گونه‌های جدید یا دخالت‌های مدیریتی مانند تنک کردن، هرس کردن و روشن کردن (Abbasian *et al.*, 2015، Hakimi *et al.*, 2018)، فرآیند توزیع اجزای باران در اکوسیستم دست‌خوش تغییر می‌شود. برای شناخت فرآیند توزیع اجزای باران که به سه جز تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ربایی تقسیم می‌شود (Joukar *et al.*, 2019)، نیاز است که مقادیر مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان تعیین شود. به‌بیان‌دیگر، با شناخت مشخصه‌های اکوهیدرولوژی درختان، می‌توان مقادیر تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ربایی را در هر رخداد باران در هر توده جنگلی پیش‌بینی و مدل‌سازی کرد (Sadeghi *et al.*, 2015b, 2017).

در داخل کشور، اطلاعات در زمینه مشخصه‌های اکوهیدرولوژی درختان (چه بومی و چه غیربومی) انگشت‌شمار است و در زمینه تعیین مشخصه‌های اکوهیدرولوژی درختان، بیشترین پژوهش‌ها بر روی مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش تمرکز کرده‌اند (برای نمونه: Fathizadeh *et al.*, 2013, 2017، Sadeghi *et al.*, 2014, 2015a, b، Attarod *et al.*, 2015, 2017، Abbasian *et al.*, 2018) و پژوهش‌های

www.SID.ir

Archive of SID

اندکی در مورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تنه (Sadeghi and Attarod, 2017، Sadeghi *et al.*, 2017, 2018, 2019) انجام‌شده است. هم‌چنین مرور منابع نشان می‌دهد که بیشتر پژوهش‌های انجام‌گرفته در مورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان در پارک جنگلی چیتگر تهران (با اقلیم نیمه-خشک) انجام شده است که نتایج آن پژوهش‌ها تنها در اقالیم نیمه‌خشک و خشک کاربرد داشته و نمی-تواند راهنمای مناسبی برای بوم‌سازگان‌های جنگلی در ناحیه رویشی هیرکانی باشد و در ناحیه رویشی هیرکانی نیز تنها یک پژوهش به ارائه مقادیر مشخصه-های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش در درختان نوئل (*Picea abies* (L.) Karst.) انجام‌شده است (Ahmadi *et al.*, 2016) و تا به امروز، در ناحیه رویشی هیرکانی درباره مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تنه درختان اطلاعاتی موجود نیست. آگاهی از مقدار شاخص‌های اکوهیدرولوژیک گونه‌های غیربومی جنگلکاری‌شده برای احیای جنگل‌های مخروبه ناحیه رویشی هیرکانی در کنار دیگر عوامل انتخاب یک گونه (مانند سازگاری و نرخ رویش) مسئله‌ای مهم است. از سوی دیگر، تعیین دقیق اجزای چرخه‌های اکوهیدرولوژیک جنگل در سطوح کوچک و بزرگ مقیاس، به فرآیند برنامه-ریزی و مدیریت منابع آبی در عرصه‌های جنگلی کمک می‌نماید. جنگل‌های سیاهکل در استان گیلان، از گونه‌های چوبی پهن‌برگ و خزان کننده تشکیل‌شده که به دلیل واقع‌شدن در کمربند سبز جنگل‌های تولیدی-تجاری شمال ایران و داشتن گونه‌های چوبی باارزش صنعتی دارای ارزش اقتصادی و اکولوژیکی قابل‌توجهی می‌باشند و از حدود ۴۰ سال پیش، در بخش‌هایی از این جنگل‌ها، مبادرت به کاشت گونه-های سوزنی‌برگ غیربومی (بدون در نظر گرفتن مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه این گونه‌ها) شد. در این پژوهش فرض شد که مقدار شاخص‌های اکوهیدرولوژیک در بین دو توده نوئل و راش که در مجاورت هم کاشته شده است، در طول دوره سالانه یکسان است و کاشت گونه غیربومی نوئل، سبب تغییر محسوسی در فرآیند توزیع اجزای باران نشده است؛ بنابراین، هدف از این پژوهش، مقایسه شاخص‌های اکوهیدرولوژیک تاج‌پوشش جنگل طبیعی راش (*Fagus orientalis* Lipsky.) و توده‌ی دست کاشت نوئل در جنگل‌های سیاهکل بود.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد بررسی

این پژوهش در بخش هفت شنرود (پارسل ۷۳۲)، شهرستان سیاهکل استان گیلان (در غرب ناحیه رویشی هیرکانی)، با عرض جغرافیایی "۳۰ '۵۵ °۳۶ شمالی، طول جغرافیایی "۵۰ '۴۷ °۴۹ شرقی و دامنه ارتفاع از سطح دریا ۱۷۰۰ تا ۲۱۰۰ متر انجام شد. دو توده طبیعی راش و دست‌کاشت نوئل (سال کاشت: ۱۳۷۸ و فاصله کاشت ۳ × ۳ متر) انتخاب شدند. در توده راش، میانگین قطر برابرسینه ۴۴ سانتی‌متر، میانگین ارتفاع درختان ۲۸/۱ متر، میانگین ارتفاع تاج ۱۳/۲ متر و تراکم درختان ۵۲۰ پایه در هکتار بود و در توده نوئل، این مقادیر به ترتیب برابر با ۲۵ سانتی‌متر، ۲۰/۷ متر، ۱۵/۲ متر و ۱۱۰۰ پایه در هکتار بود (Nazmdoost *et al.*, 2017). برای پیاده کردن قطعه-نمونه در هر توده، ابتدا در بخشی از توده به مساحت تقریبی یک هکتار، یک نقطه به‌صورت تصادفی مشخص شد (Mohammadi *et al.*, 2014) و سپس باران‌سنج‌های تاج بارش در قطعه‌نمونه دایره‌ای شکل با وسعت حدود نیم هکتار (Ahmadi *et al.*, 2016)، پراکنده شدند (میانگین ارتفاع از سطح دریا: ۱۰۰۰ متر، میانگین شیب ۲۵ درصد، جهت دامنه: غربی).

www.SID.ir

Archive of SID

اندازه‌گیری باران و توزیع اجزای باران

برای تعیین مقادیر مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج-پوشش و تنه درختان، لازم است که مقادیر باران، تاج-بارش و ساقاب اندازه‌گیری شود. بدین منظور، مقادیر باران، تاج‌بارش و ساقاب به مدت یک سال (فروردین تا اسفندماه ۱۳۹٤ خورشیدی) در هر توده اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقدار باران در هر رخداد، از ۱۰ باران‌سنج دستی در نزدیک‌ترین فضای باز به دو توده، استفاده شد. برای اندازه‌گیری تاج‌بارش، بر اساس طرحی تصادفی، ۵۰ باران‌سنج دستی، در زیر تاج‌پوشش هر یک از توده‌ها نصب شدند؛ بدین-صورت که کلیه‌ی باران‌سنج‌ها قطعه‌نمونه موردپژوهش را به‌خوبی پوشش دهند. بعد از هر پنج رخداد باران (Pypker *et al.*, 2005)، نیمی از باران‌سنج‌ها جابجا و در مکان‌های دیگر در سطح توده به‌طور تصادفی نصب‌شده و نیمی از باران‌سنج‌ها نیز در کل دوره پژوهش در مکان ثابت در توده قرار گرفتند. ساقاب به‌وسیله لوله‌های لاستیکی که به‌صورت مارپیچی به دور تنه درخت، نصب‌شده بودند، بر روی ۹ درخت در هر توده اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری میزان بارندگی، تاج‌بارش و ساقاب در هر رخداد بارندگی، به‌طور هم‌زمان و با استفاده از استوانه مدرج با دقت یک میلی‌لیتر صورت گرفت. درنهایت مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه درختان در سنجه زمانی سالانه در هر دو توده مقایسه شدند.

مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه

در یک طبقه‌بندی کلی، مشخصه‌های اکوهیدرولوژی درختان به دو دسته مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج-پوشش و تنه تقسیم می‌شود. مشخصه‌های تاج‌پوشش شامل نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی ($P'_{G\ \text{Estimated}}$)، نقطه اشباع آب تاج‌پوشش محاسباتی ($P'_{G,\ \text{computed}}$)، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (S)، ضریب تاج‌بارش مستقیم (p) و نسبت تبخیر به‌شدت باران در زمان بارندگی ($\overline{E}/\overline{R}$) می‌باشند. مشخصه-های تنه شامل ظرفیت نگهداری آب تنه (S_t)، ضریب ساقاب (p_t) و نقطه اشباع آب تنه (P''_G) است.

برای برآورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج-پوشش، در ابتدا نیاز است که نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی ($P'_{G\ \text{Estimated}}$) محاسبه شود. برای این منظور، به‌صورت چشمی، اولین نقطه‌ی انحنای نمودار بین تاج بارش (محور y) و باران (محور x) با استفاده از کل رخدادهای باران، به‌عنوان نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی در نظر گرفته می‌شود. این نقطه نشان‌دهنده مقداری از باران است که برای اشباع تاج‌پوشش کافی بوده و در باران‌های برابر یا بزرگ‌تر از این نقطه، درصد بیش‌تری از هر رخداد باران به تاج‌بارش اختصاص می‌یابد. با پیداکردن نقطه اشباع تاج‌پوشش برآوردی، باران‌ها به دو دسته ناکافی برای اشباع تاج‌پوشش (خط رگرسیون شماره ۱، R_1) و کافی برای اشباع تاج‌پوشش (خط رگرسیون شماره ۲، R_2) تقسیم می‌شوند. برای به دست آوردن مقدار نقطه اشباع آبی تاج‌پوشش محاسباتی (P'_G)، از رابطه Licata و همکاران (2011) استفاده شد (رابطه ۱).

$$P'_G = \frac{b_2}{|a_1 - a_2|} \qquad \text{رابطهٔ (۱)}$$

که در این رابطه b_2 و a_2 به ترتیب عرض از مبدأ و شیب‌خط رگرسیون خطی باران‌های برابر یا بزرگ‌تر از نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی و a_1 شیب‌خط رگرسیون خطی باران‌های کم‌تر از نقطه اشباع تاج-پوشش برآوردی است. ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (S) به بیشینه باران ذخیره‌شده توسط تاج-پوشش درزمانی که بارندگی متوقف‌شده است، اطلاق می‌شود (Pypker *et al.*, 2005). متداول‌ترین روش برآورد ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، روش

www.SID.ir

Archive of SID

رگرسیون مبنای Mean است (Friesen *et al.*, 2015) که در این روش، تفاوت بین تاج بارش و باران در محل برخورد دو خط رگرسیون R_1 و R_2، مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش را نشان می‌دهد (Pypker *et al.*, 2005 ،Link *et al.*, 2004). ضریب تاج‌بارش مستقیم (p) از شیب رگرسیون خطی بین تاج بارش و باران، برای باران‌های کم‌تر از نقطه برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش، تخمین زده شد و مقدار آن بین صفر تا یک متغیر است و هر چه مقدار آن بیشتر باشد، نشان می‌دهد که سهم بیشتری از هر رخداد باران، بدون برخورد با تاج‌پوشش به‌صورت تاج‌بارش مستقیم به پوشش کف جنگل می‌رسد (Gash *et al.*, 1995). نرخ تبخیر به‌شدت باران در طول زمان بارندگی ($\overline{E}/\overline{R}$) برابر تفاضل شیب رگرسیون خطی بین تاج‌بارش و باران (برای رخدادهای برابر یا بزرگ‌تر از نقطه برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش) از عدد یک است (Gash *et al.*, 1995).

ظرفیت نگهداری آب تنه (S_t) نشان‌دهنده‌ی مقدار آبی از هر رخداد باران است که توسط تنه نگهداری می‌شود. عرض از مبدأ خط رگرسیون خطی بین ساقاب (محور y) و باران (محور x)، نشان‌دهنده‌ی مقدار ظرفیت نگهداری آب تنه است. ضریب ساقاب (p_t) نشان می‌دهد که چه مقدار از هر رخداد باران برخورد کرده به تاج‌پوشش، امکان تبدیل‌شدن به ساقاب را دارد (Levia and Frost, 2003). شیب‌خط رگرسیون خطی بین ساقاب و باران، نشان‌دهنده‌ی مقدار ضریب ساقاب است. نقطه اشباع آب تنه (P'_G)، بیشینه آب نگهداری شده توسط تنه را نشان می‌دهد و فرض بر این است که در باران‌های کمتر از این نقطه، ساقاب تولید نمی‌شود. نقطه اشباع آب تنه، از تقسیم ظرفیت نگهداری آب تنه بر ضریب ساقاب به‌دست آمد (Gash *et al.*, 1995).

نتایج

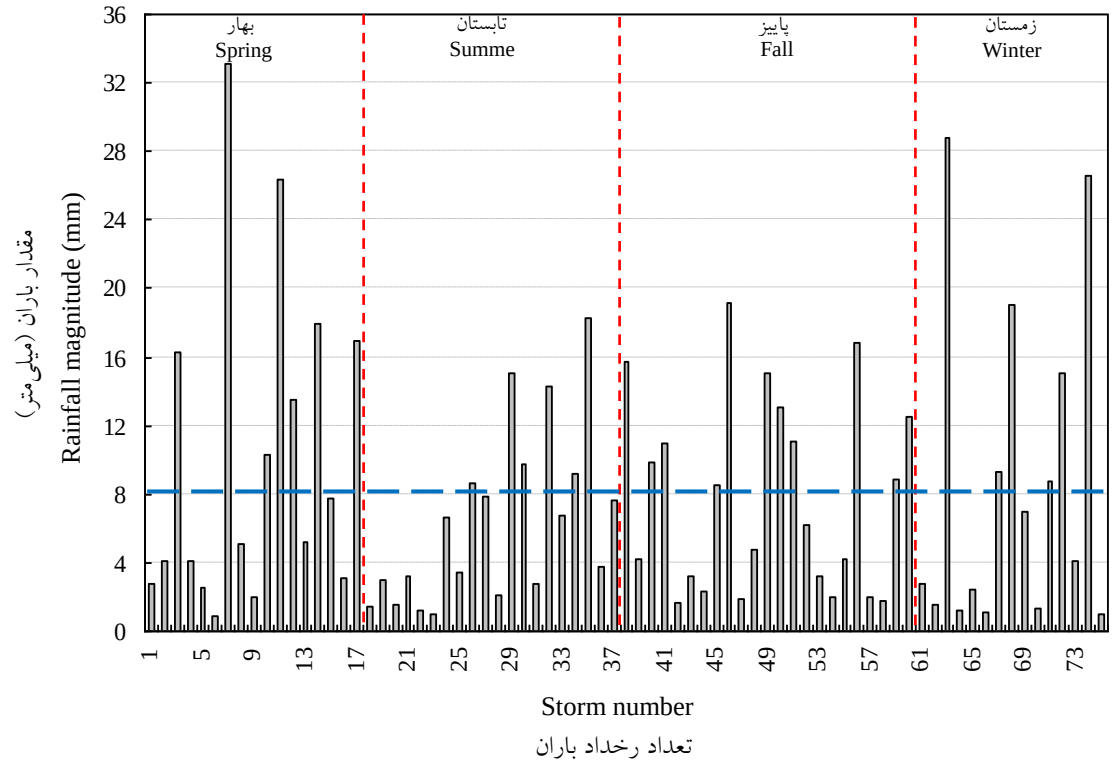
در این پژوهش ۷۵ رخداد باران با مقدار متوسط ۸/۱۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (شکل ۱). کمترین و بیش‌ترین مقدار باران اندازه‌گیری‌شده به‌ترتیب ۰/۸٦ و ۳۳/۱۵ میلی‌متر بود. بیش‌ترین فراوانی رخداد باران در فصل پاییز (۲۳ رخداد) و کمترین فراوانی در فصل زمستان (۱۵ رخداد) به ثبت رسید (شکل ۱). مقدار متوسط باران در فصل بهار: ۹/٦۳ میلی‌متر، تابستان: ٦/٦٤ میلی‌متر، پاییز: ۷/۷۹ میلی‌متر و زمستان: ۸/٦٦ میلی‌متر به‌دست آمد.

نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی ($P'_{G\ \text{Estimated}}$) در توده راش ۱/۸۱ میلی‌متر و در توده نوئل ۳/۱۹ میلی‌متر حاصل شد (شکل ۲). مقدار نقطه اشباع آب تاج‌پوشش محاسباتی ($P'_G, P'_{G\ \text{computed}}$) در توده راش ۱/٦۳ میلی‌متر و در نوئل ۱/۸۷ میلی‌متر حاصل شد (شکل ۲). مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (S) در راش ۰/٤٤ میلی‌متر و در نوئل ۰/۹٤ میلی‌متر حاصل شد (شکل ۲). بر اساس شکل ۱، مقدار نسبت تبخیر به‌شدت باران در زمان بارندگی ($\overline{E}/\overline{R}$) در درختان راش ۰/۱٦ و در درختان نوئل ۰/۱۷ حاصل شد. ضریب تاج بارش مستقیم (p) در توده راش ۰/۵۷ و نوئل ۰/۳٤ به‌دست آمد.

نتایج نشان داد که مقادیر ظرفیت نگهداری آب تنه (S_t) در درختان راش ۰/۲۱ میلی‌متر و در نوئل ۰/۱۹ میلی‌متر است (شکل ۳). بر اساس شکل ۳، مقدار ضریب ساقاب (p_t) در درختان راش (۰/۱۳) بیشتر از نوئل (۰/۰۷) حاصل شد. نقطه اشباع آب تنه (P''_G) در توده راش ۱/٦۱ میلی‌متر و در توده نوئل ۲/۷٤ میلی‌متر حاصل شد.

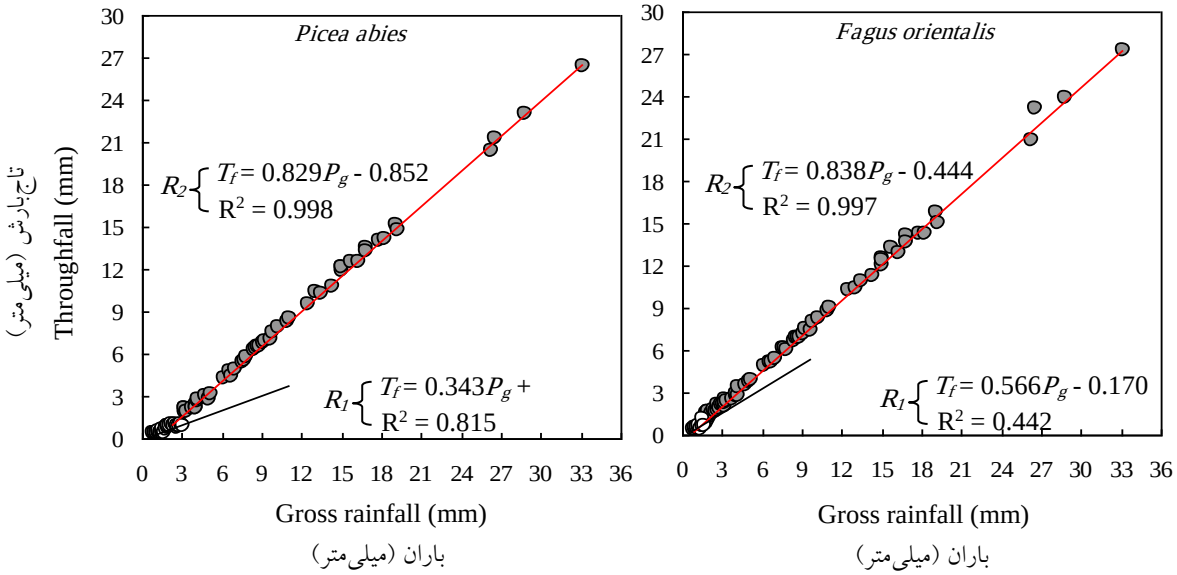
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- مقادیر رخداد باران‌های اندازه‌گیری شده در دوره‌ی یک‌ساله پژوهش. خط‌چین آبی‌رنگ دلالت بر میانگین مقدار باران در دوره پژوهش دارد.

Figure 1. Magnitudes of rainfall measured during one year study period. Blue dash line denotes average of rainfall magnitude during the study period.

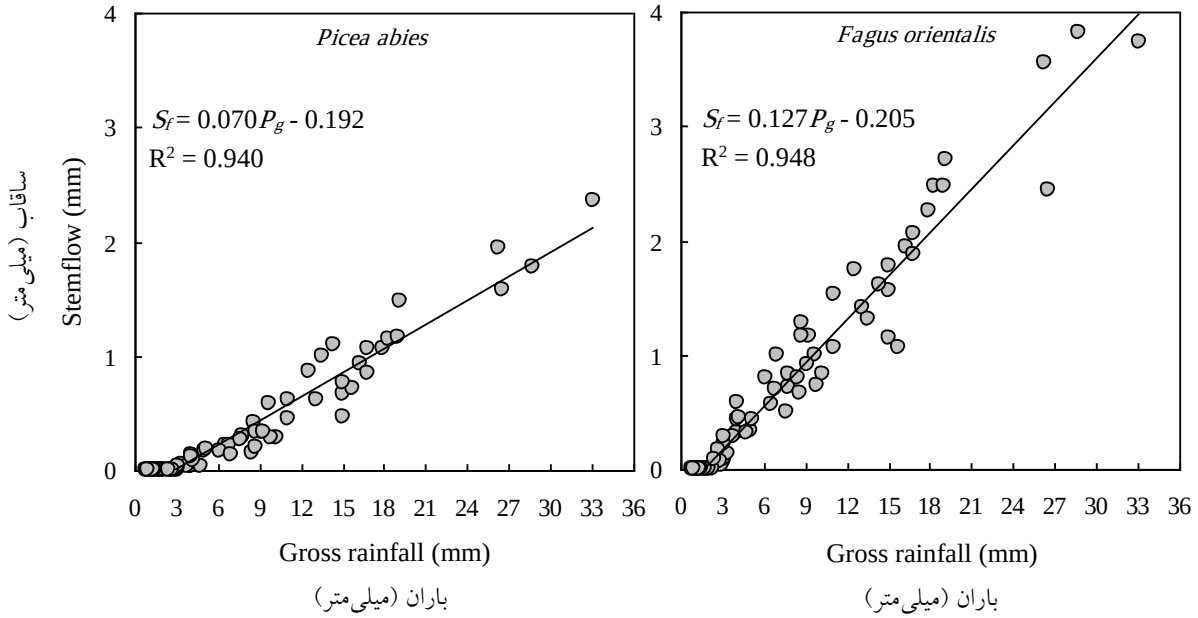


شکل ۲- رابطهٔ بین تاج بارش و باران در باران‌های کمتر از نقطه برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش (خط R_1؛ دایره‌های توخالی) و بیشتر از نقطه برآوردی اشباع آب تاج‌پوشش (خط R_2؛ دایره‌های تو پر)

Figure 2. The relationship between throughfall and gross rainfall for rainfall events with lower amount estimated canopy saturation point (R_1 line، open circle), and is equal to or greater than (R_2 line، filled circle)

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۳- رابطه‌ی بین ساقاب و باران در ۷۵ رخداد باران اندازه‌گیری شده در دوره پژوهش

Figure 3. The relationship between stemflow and gross rainfall for 75 rain storms during the study period.

بحث

در این بررسی، نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی ($P'_{G\ \text{Estimated}}$) ۱/۸۱ میلی‌متر برای جنگل طبیعی راش و ۳/۱۹ میلی‌متر برای جنگل‌کاری نوئل برآورد شد و این درحالی است که نقطه اشباع آب تاج‌پوشش محاسباتی (P'_G) در دو توده یادشده به‌ترتیب ۱/٦۳ و ۱/۸۷ میلی‌متر حاصل شد؛ بنابراین بین نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی و محاسباتی در قطعه‌نمونه راش اختلاف چندانی دیده نمی‌شود که دلیل آن تعداد کافی داده برای برآورد دقیق این نقطه در این قطعه‌نمونه است و در قطعه‌نمونه نوئل، نیاز به اندازه‌گیری رخدادهای باران بیشتر و همچنین افزایش دقت نمونه‌برداری تاج بارش دیده می‌شود. هرچند در مقایسه با دو پژوهش دیگر در جنگل‌های هیرکانی، تعداد رخداد باران بیشتری و دوره طولانی‌مدت‌تری در این پژوهش بررسی شد به‌طوری‌که Abbasian و همکاران (2017) ۲۱ رخداد باران در دوره شش‌ماهه و Ahmadi و همکاران (2016) ۳۸ رخداد باران در دوره تقریباً پنج‌ماهه اندازه‌گیری کردند. بااین‌وجود اختلاف بین مقادیر نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی و محاسباتی در دیگر پژوهش‌ها نیز نشان داده‌شده است (Sadeghi, 2018). برآورد نقطه اشباع آب تاج‌پوشش در هر توده کمک می‌کند تا درصد تاج‌پوشش توده را در مکان‌های مختلف با اعمال روش‌های مدیریتی (تنک کردن، هرس کردن و روشن کردن) تغییر داد. در نقاط پرشیب در توده، می‌توان نقطه محاسباتی اشباع آب تاج‌پوشش را بیشتر (برای جلوگیری از خطر فرسایش) درنظر گرفت و در نقاطی که نیاز است آب بیشتری به اشکوب زیرین جنگل برسد، با اعمال روش‌های جنگل‌شناسی می‌توان مقدار نقطه اشباع آب تاج‌پوشش را کاهش داد و با این اقدام از آبیاری توده و هزینه‌های آن جلوگیری و به استقرار زادآوری درختان کمک کرد.

www.SID.ir

Archive of SID

دلیل بیشتربودن مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج-پوشش (S) در توده نوئل نسبت به راش را می‌توان به بیشتر بودن شاخص‌های درصد تاج‌پوشش و ریزش برگ‌ها در دوره خزان در توده راش ارتباط داد. ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش، مهم‌ترین مشخصه کنترل‌کننده توزیع اجزای بارندگی به تاج بارش، 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). باید توجه کرد که مهم‌ترین مشخصه سازندهٔ تمامی مدل‌های برآورد باران‌ربایی، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش است (Muzylo *et al.*, 2009، Friesen *et al.*, 2015).

ضریب تاج‌بارش مستقیم (p) در توده راش بیشتر از نوئل حاصل شد. مقدار این ضریب با درصد تاج-پوشش رابطه عکس دارد (Fathizadeh *et al.*, 2017، Hakimi *et al.*, 2018، Sadeghi *et al.*, 2018) و بنابراین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که میانگین درصد تاج‌پوشش در دوره پژوهش در توده راش کمتر از توده نوئل بود. برای بررسی صحت این ضریب تاج بارش مستقیم، معمولاً نتایج آن با یافته‌های حاصل از تصویربرداری با دوربین دارای عدسی چشم ماهی مقایسه می‌شود که به دلیل عدم دسترسی به این امکان، پیشنهاد می‌شود در پژوهش‌های آتی این نکته توسط دیگر پژوهشگران در داخل کشور بررسی شود.

نسبت تبخیر به‌شدت باران در زمان بارندگی، مشخصه کنترل‌کننده مقدار باران‌ربایی، در رخدادهای باران با مقدار بزرگ 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 به‌شدت باران در زمان بارندگی، مشخصه‌های اصلی کنترل‌کننده، شامل مشخصه‌های اقلیمی و خصوصیات بارندگی است و ساختار تاج-پوشش نقش چندانی ندارد (برخلاف ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش که وابستگی زیادی به ساختار تاج-پوشش دارد). ازآنجایی‌که دو توده موردبررسی در نزدیکی یکدیگر واقع‌شده‌اند، انتظار می‌رفت که مقدار نسبت تبخیر به‌شدت باران در زمان بارندگی در دو توده تقریباً مشابه حاصل شود.

مقدار ظرفیت نگهداری آب تنه (S_t) درختان راش اندکی بیشتر از نوئل حاصل شد که در بازه‌ی مقادیر گزارش‌شده که بین ۰/۰۱٤ میلی‌متر (Gash and Morton, 1978) تا ۰/۷٤ میلی‌متر (Gash *et al.*, 1980) است، قرار دارد. ظرفیت نگهداری آب تنه نشان می‌دهد که در وضعیت فعلی درختان و توده (ازنظر ویژگی‌های مورفولوژیکی و ساختاری)، توانایی تنه درختان در نگه‌داشتن آب باران چه مقدار است (Sadeghi *et al.*, 2017). در واقع بعد از تکمیل این مقدار، ساقاب جاری می‌شود. یکی از عامل‌های تأثیرگذار بر این پارامتر، قطر برابرسینه درختان است که با افزایش مقدار قطر برابرسینه، مقدار این پارامتر نیز افزایش می‌یابد (Sadeghi *et al.*, 2017). در پژوهش فعلی، میانگین قطر برابرسینه در درختان راش ۷٦ درصد بیشتر از درختان نوئل بود. هم‌چنین مقدار ظرفیت نگهداری آب تنه در درختان راش ۱۰/۵ درصد بیشتر از درختان نوئل بود؛ بنابراین از مقایسه این دو یافته، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که افزایش قطر برابرسینه به‌اندازه ۷٦ درصد، تنها سبب افزایش ۱۰/۵ درصدی در مقدار ظرفیت نگهداری آب تنه درختان راش نسبت به درختان نوئل شده است. بر اساس مشاهدات میدانی در منطقه مورد پژوهش، پوشش خزه‌ای در تنه نوئل بیشتر از تنه راش بود که شاید

www.SID.ir

Archive of SID

وجود آن، سبب افزایش و نزدیک‌شدن مقدار ظرفیت نگهداری آب تنه درختان گونه نوئل به گونه راش شده باشد. در مقاله مروری توسط Van Stan and Pypker (2015) این نتیجه ارائه‌شده است که وجود لایه‌های خزه و گلسنگ بر روی تنه و شاخه‌ها سبب کاهش مقدار ساقاب و افزایش باران‌ربایی می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت که وجود لایه‌های خزه و گلسنگ در تنه نوئل سبب افزایش مقدار ظرفیت نگهداری آب تنه و به دنبال آن کاهش مقدار ساقاب- شده است.

ضریب ساقاب (p_t) در درختان راش (۰/۱۳) بیشتر از نوئل (۰/۰۷) حاصل شد که همسو با یافته-های دیگر پژوهش‌گران در سراسر دنیا است زیرا که دامنهٔ اعداد گزارش‌شده بین ۰/۰۱٦ (Gash and Morton, 1978) تا ۰/۲۹ (Gash *et al.*, 1980) به ثبت رسیده است. این ضریب نشان‌دهنده‌ی سهمی از هر رخداد باران است که به تنه درختان می‌رسد (اینکه آیا مقدار باران رسیده تبدیل به ساقاب می‌شود یا تبخیر می‌شود را نشان نمی‌دهد؛ Bryant *et al.*, 2005). هرچه تراکم توده (تعداد در هکتار) و انبوهی تاج-پوشش کاهش یابد، مقدار این ضریب بیشتر خواهد بود (Sadeghi *et al.*, 2017). همچنین در صورت صاف بودن پوست درخت (مانند راش در مقایسه با نوئل)، مقدار این ضریب افزایش می‌یابد (Levia and Germer, 2015). شاید یکی از دلایل دیگر بیشتربودن ضریب ساقاب در راش نسبت به نوئل، قطورتر بودن درختان راش باشد که با یافته‌های Sadeghi و همکاران (2017) در تطابق است.

مقدار نقطه اشباع آب تنه (P'_G) در توده نوئل (۲/۷٤ میلی‌متر) بزرگ‌تر از توده راش (۱/٦۱ میلی‌متر) حاصل شد که در بازه‌ی مقادیر ارائه‌شده توسط دیگر پژوهشگران بین ۰/٦۱ میلی‌متر (Ghimire *et al.*, 2012) تا ٦/۱۸ میلی‌متر (Gash *et al.*, 1995) قرار دارد. این نقطه، بیشینه آب نگهداری شده توسط تنه را نشان می‌دهد و فرض بر این است که در باران‌های کم‌تر از این نقطه، ساقاب تولید نمی‌شود. زبربودن پوست نوئل نسبت به راش دلیل اصلی این یافته است.

در یک جمع‌بندی می‌توان اظهار داشت که مقادیر مشخصه‌های نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی، نقطه اشباع آب تاج‌پوشش محاسباتی، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش و مقدار نقطه اشباع آب تنه در توده نوئل به‌صورت محسوس بیشتر از توده راش است و ازنظر ورود آب باران به جنگل، توده راش با این مشخصه‌های کمی مناسب‌تر از توده نوئل در منطقه موردپژوهش است. با توجه به زمان‌بر و هزینه‌بر بودن اندازه‌گیری اجزای باران به‌ویژه در ایران که امکان به‌کارگیری دستگاه‌های خودکار وجود ندارد و اندازه‌گیری‌ها به‌صورت دستی با حضور در عرصه بعد از وقوع هر رخداد بارندگی و تا زمان مشخص بعد از هر رخداد باران باید انجام گیرد، تعیین مشخصه‌های اکوهیدرولوژی درختان می‌تواند کاربرد زیادی داشته باشد، به‌ویژه در مناطقی که دسترسی به آن‌ها سخت است (مانند منطقه مورد پژوهش)؛ زیرا که با تعیین این پارامترها، می‌توان اقدام به مدل‌سازی مقادیر توزیع اجزای باران (تاج‌بارش، ساقاب و باران‌ربایی) در هر رخداد باران کرد.

References

- Abbasian, P., P. Attarod, S. M. M. Sadeghi, J. T. Van Stan & S. M. Hojjati, 2015. Throughfall nutrients in a degraded indigenous *Fagus orientalis* forest and a *Picea abies* plantation in North of Iran. *Forest Systems*, doi: 10.5424/fs/2015243-06764.
- Abbasian, P., P., Attarod, S. M. M. Sadeghi & V. Bayramzadeh, 2018. Application of regression-based methods for determining canopy ecohydrological characteristics of

www.SID.ir

Archive of SID

Picea abies stand in Kelardasht, *Journal of Renewable Natural Resources Research*, 9(1): 33-46. (In Persian)
- Ahmadi, M. T., P. Attarod, G. Zahedi Amiri, S. M. M. Sadeghi & S. M. Hojjati, 2016. Estimating canopy ecohydrological parameters of a *Picea abies* stand in the Caspian forests, North of Iran, *Iranian Journal of Forest*, 7(4): 459-469. (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: 339-355.
- Attarod, P., S. M. M. Sadeghi, T. G. Pypker & V. Bayramzadeh, 2017. Oak trees decline، a sign of climate variability impacts in the west of Iran, *Caspian Journal of Environmental Sciences*, 15(4): 373-384.
- Bonnesoeur, V., B. Locatelli, M. R. Guariguata, B. F. Ochoa-Tocachi, V. Vanacker, Z. Mao & S. L. Mathez-Stiefel, 2019. Impacts of forests and forestation on hydrological services in the Andes: A systematic review, *Forest Ecology and Management*, 433: 569-584.
- 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(1-4): 95-108.
- Farokhzadeh, N., H. Ravanbakhs, A. Moshki & M. Mollashahi, 2018. The natural regeneration establishment and diversity of different 50-year-old plantation types in Sorkhe-Hesar Forest Park, *Journal of Forest Research and Development*, 4(1): 43-57. (In Persian)
- Fathizadeh, O., P. Attarod, T. G. Pypker, A. A. Darvishsefat & G. 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: 175-188.
- Fathizadeh, O., S. M. Hosseini, A. Zimmermann, R. F. Keim & A. D. Boloorani, 2017. Estimating linkages between forest structural variables and rainfall interception parameters in semi-arid deciduous oak forest stands, *Science of the Total Environment*, 601: 1824-1837.
- 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: 89-105.
- Gash, J. H. C., C. R. Lloyd & G. Lachaud, 1995. Estimating sparse forest rainfall interception with an analytical model, *Journal of Hydrology*, 170: 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: 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.
- Hakimi, L., S. M. M. Sadeghi, J. T. Van Stan, T. G. Pypker & E. Khosropour, 2018. Management of pomegranate (*Punica granatum*) orchards alters the supply and pathway of rain water reaching soils in an arid agricultural landscape, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 259: 77-85.
- Joukar, Z., M. Moradi & R. Basiri, 2019. Distribution of rain fall in pure *Tamarix arceuthoides* stand in the riparian forests, *Journal of Forest Research and Development*, 4(4): 501-513. (In Persian)
- 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: 1-29.
- Levia, D. F. & S. Germer, 2015. A review of stemflow generation dynamics and stemflow-environment interactions in forests and shrublands, *Reviews of Geophysics*, 53(3): 673-714.
- 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: 83-93.
- Link, T. E., M. Unsworth & D. Marks, 2004. The dynamics of rainfall interception by a

www.SID.ir

Archive of SID

seasonal temperate rainforest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 124: 171-191.
- Marvi-Mohajer, M. R., 2011. Silviculture, Tehran University Press, Tehran, 387 pp. (In Persian)
- 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)
- 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: 191-206.
- Nezamdoost, H., K. Sefidi, A. Rasoulzadeh & S. M. M. Sadeghi, 2017. 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)
- Pourali, S., M. Aliha, Kh. Sagheb-Talebi & 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 old growth Douglas-fir forest, *Agricultural and Forest Meteorology*, 130: 113-129.
- Sadeghi, S. M. M., 2018. Performance of physical, regression, and machine learning models of forest rainfall partitioning in semiarid afforestations. Phd Thesis, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Tehran, Iran, 133 pp. (In Persian)
- Sadeghi, S. M. M. & P. Attarod, 2017. Estimation of ecohydrological parameters of trunk and canopy of a *Pinus eldarica* plantation, *Journal of Forest Research and Development*, 3(3): 207-220. (In Persian)
- Sadeghi, S. M. M., P. Attarod, T. G. Pypker & D. Dunkerley, 2014. Is canopy interception increased in semiarid tree plantations? Evidence from a field investigation in Tehran, Iran, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 38: 792-806.
- 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: 145-156.
- 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, J. T. Van Stan & T. G. Pypker, 2016. The importance of considering rainfall partitioning in afforestation initiatives in semiarid climates: A comparison of common planted tree species in Tehran, Iran, *Science of the Total Environment*, 568: 845-855.
- 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 altissima* (Mill., tree of heaven), *Agricultural and Forest Meteorology*, 240: 10-17.
- Sadeghi, S. M. M., J. T. Van Stan, T.G. Pypker, J. Tamjidi, J. Friesen & M. Farahnaklangroudi, 2018. Importance of transitional leaf states in canopy rainfall partitioning dynamics, *European Journal of Forest Research*, 137: 121-130.
- Sadeghi, S. M. M., P. Attarrod, O. Bozorg-Haddad, J. T. Van Stan & T. G. Pypker, 2019. Comparison of different Gash physically-based models for estimating stemflow in an elder pine stand in the Chitgar forest park, *Iranian Journal of Forest*, 10(4): 461-473. (In Persian)
- Van Stan, J. T. & T. G. Pypker, 2015. A review and evaluation of forest canopy epiphyte roles in the partitioning and chemical alteration of precipitation, *Science of the Total Environment*, 536: 813-824.
- Yildiz, O., E. Altundağ, B. Çetin, S. T. Güner, M. Sarginci & B. Toprak, 2018. Experimental arid land afforestation in Central Anatolia, Turkey, *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(6): 355. doi: 10.1007/s10661-018-6724-1.
- Yosef, G., R. Walko, R. Avisar, F. Tatarinov, E. Rotenberg & D. Yakir, 2018. Large-scale semi-arid afforestation can enhance precipitation and carbon sequestration potential, *Scientific Reports*, 8(1): 996. doi: 10.1038/s41598-018-19265-6.

www.SID.ir

Archive of SID

Estimation of canopy and trunk ecohydrological parameters of *Fagus orientalis* and *Picea abies* stands (Siahkal, Gilan province)

K. Sefidi[*1], S. M. M. Sadeghi[2], O. Fathizadeh[3], A. Rasoulzadeh[4] and H. Nezamdoost[5]

1-Associate Professor, Department of Forest Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I. R. Iran. (Kiomarssefidi@gmail.com)
2- Ph.D. of Silviculture and Forest Ecology, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, I. R. Iran (Moeinsadeghi@ut.ac.ir)
3- Assistant Prof., Department of Forestry, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Tabriz, Ahar, I. R. Iran. (omid.fathizadeh@yahoo.com)
4- Associate Prof., Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, I. R. Iran. (rasoulzadeh@uma.ac.ir)
5- M.Sc., Forest, Rangeland and watershed management organization Guilan, I. R. Iran (hamednezam199@yahoo.com)

Received: 14.01.2019 Accepted: 20.06.2019

Abstract

The aims of the study were to estimate the canopy and trunk ecohydrological parameters of a *Fagus orientalis* natural stand and a *Picea abies* plantation in Siahkal (Gilan province) during one-year measurements. The results showed that the estimated canopy saturation point, canopy saturation point, canopy storage capacity, free throughfall coefficient, the ratio of mean evaporation rate from canopy to the mean rainfall intensity, trunk storage capacity, stemflow partitioning coefficient, and trunk saturation point were 1.81 mm, 1.63 mm, 0.44 mm, 0.57, 0.16, 0.21 mm, 0.13, and 1.61 mm in a *F. orientalis* stand, respectively. For the *P. abies* stand, the corresponding values were 3.19 mm, 1.87 mm. 0.94 mm, 0.34, 0.17, 0.19 mm, 0.07, and 2.74 mm. Based on the amounts of canopy and trunk ecohydrological parameters, it can be stated that rain water entering the forest in a *F. orientalis* stand is more than that in *P. abies* stand. Due to the time consuming and costly measurements of throughfall, stemflow, and rainfall interception, especially in Iran where there is no possibility of using automated systems, and also because the measurements have to be performed manually in the field after each rain storm, determination of the canopy and trunk ecohydrological parameters is an effective step for predicting throughfall, stemflow, and rainfall interception for each rain storm.

Keywords: Forest ecohydrology, Rainfall interception, Stemflow, Throughfall.

[*] Corresponding author Tel: +989127264066

www.SID.ir