

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

کیومرث سفیدی^{*۱}، سید محمدمعین صادقی^۲، امید فتحی‌زاده^۳، علی رسول‌زاده^۴ و حامد نظام‌دوست^۵

- ۱- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. (Kiomarssefidi@gmail.com)
- ۲- دکتری جنگل‌شناسی و اکولوژی جنگل، دانشکده 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)
- ۴- دانشیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (rasoulzadeh@uma.ac.ir)
- ۵- کارشناس ارشد، اداره کل منابع طبیعی استان گیلان، رشت، ایران. (hamednezam199@yahoo.com)

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳/۳۰

تاریخ دریافت: ۹۷/۱۰/۲۴

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 ۱/۶۳ میلی‌متر، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش ۰/۴۴ میلی‌متر، ضریب تاج‌بارش مستقیم ۰/۵۷، نسبت تبخیر به شدت باران در زمان بارندگی ۰/۱۶، ظرفیت نگهداری آب تنه ۰/۲۱ میلی‌متر، ضریب ساقاب ۰/۱۳ و نقطه اشباع آب تنه ۱/۶۱ میلی‌متر به دست آمد. مقادیر یادشده در توده نوئل به ترتیب ۳/۱۹ میلی‌متر، ۱/۸۷ میلی‌متر، ۰/۹۴ میلی‌متر، ۰/۳۴، ۰/۱۷، ۰/۱۹ میلی‌متر، ۰/۰۷ و ۲/۷۴ میلی‌متر به دست 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 تاج‌بارش، ساقاب و باران‌رایی به‌ویژه در ایران که امکان به‌کارگیری سامانه‌های خودکار وجود ندارد و اندازه‌گیری‌ها به صورت 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 باران‌رایی در هر رخداد باران است.

واژه‌های کلیدی: اکوهیدرولوژی جنگل، باران‌رایی، تاج‌بارش، ساقاب.

مقدمه

مسئولین قرار نگرفته است. در واقع کاشت گونه‌های جدید اگرچه 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 روی پوشش‌های گیاهی طبیعی کمک کند (Yosef, Yildiz et al., 2018, 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, 2018, Sadeghi et al., 2017). 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. به بیان دیگر، 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, Attarod et al., Sadeghi et al., 2014, 2015a, b, 2015, 2017, 2018, Abbasian et al., 2018) و پژوهش‌های

امروزه با در نظر 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 افزایش یافته 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

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 $36^{\circ} 55' 30''$ شمالی، طول جغرافیایی $49^{\circ} 47' 50''$ 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 3×3 متر) انتخاب شدند. در توده راش، میانگین قطر برابر سینه ۴۴ سانتی‌متر، میانگین ارتفاع درختان $28/1$ متر، میانگین ارتفاع تاج $13/2$ متر و تراکم درختان ۵۲۰ پایه در هکتار بود و در توده نوئل، این مقادیر به ترتیب برابر با ۲۵ سانتی‌متر، $20/7$ متر، $15/2$ 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 به صورت 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).

اندکی در مورد مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تنه (Sadeghi et al., Sadeghi and Attarod, 2017) (2017, 2018, 2019) انجام شده 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 اقلیم نیمه‌خشک و خشک کاربرد داشته و نمی‌تواند راهنمای مناسبی برای بوم‌سازگان‌های جنگلی در ناحیه رویشی هیرکانی باشد و در ناحیه رویشی هیرکانی نیز تنها یک پژوهش به ارائه مقادیر مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش در درختان نوئل (*Picea abies* (L.) Karst.) انجام شده 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 مخروطه 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 برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آبی در عرصه‌های جنگلی کمک می‌نماید. جنگل‌های سیاهکل در استان گیلان، از گونه‌های چوبی پهن‌برگ و خزان‌کننده تشکیل شده که به دلیل واقع شدن در کمربند سبز جنگل‌های تولیدی-تجاری شمال ایران و داشتن گونه‌های چوبی باارزش صنعتی دارای ارزش اقتصادی و اکولوژیکی قابل توجهی می‌باشند و از حدود ۴۰ سال پیش، در بخش‌هایی از این جنگل‌ها، مبادرت به کاشت گونه‌های سوزنی‌برگ غیربومی (بدون در نظر گرفتن مشخصه‌های اکوهیدرولوژی تاج‌پوشش و تنه این

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 ۱۳۹۴ خورشیدی) در هر توده اندازه‌گیری شد. برای اندازه‌گیری مقدار باران در هر رخداد، از ۱۰ باران‌سنج دستی در نزدیک‌ترین فضای باز به 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 Estimated)، نقطه اشباع آب تاج‌پوشش محاسباتی (P'_G Estimated)، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (S)،

ضریب تاج‌بارش مستقیم (p) و نسبت تبخیر به‌شدت باران در زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) می‌باشند. مشخصه‌های 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 Estimated) محاسبه شود. برای این منظور، به‌صورت چشمی، اولین نقطه‌ی انحنای نمودار بین تاج‌بارش (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).

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

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

از تقسیم ظرفیت نگهداری آب تنه بر ضریب ساقاب به‌دست آمد (Gash et al., 1995).

نتایج

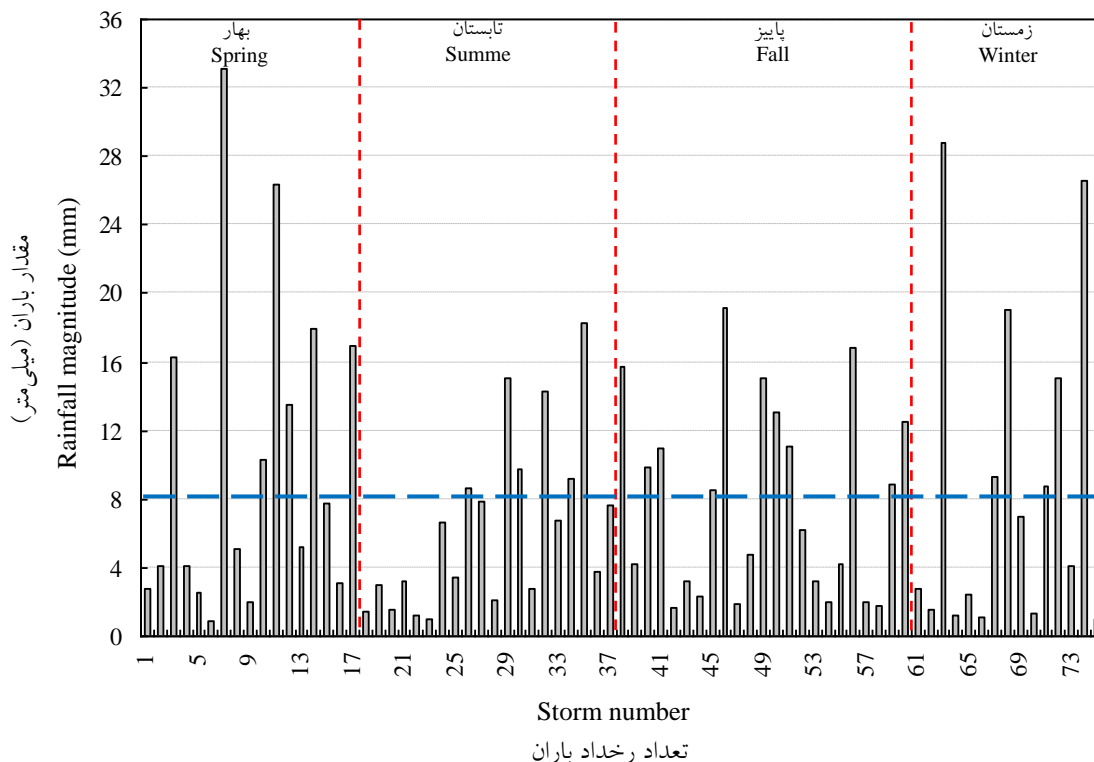
در این پژوهش ۷۵ رخداده باران با مقدار متوسط ۸/۱۱ میلی‌متر اندازه‌گیری شد (شکل ۱). کمترین و بیش‌ترین مقدار باران اندازه‌گیری شده به ترتیب ۰/۸۶ و ۳۳/۱۵ میلی‌متر بود. بیش‌ترین فراوانی رخداده باران در فصل پاییز (۲۳ رخداده) و کمترین فراوانی در فصل زمستان (۱۵ رخداده) به ثبت رسید (شکل ۱). مقدار متوسط باران در فصل بهار: ۹/۶۳ میلی‌متر، تابستان: ۸/۶۶ میلی‌متر، پاییز: ۷/۷۹ میلی‌متر و زمستان: ۸/۶۶ میلی‌متر به‌دست آمد.

نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی (P'_G) (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 computed) در توده راش ۱/۶۳ میلی‌متر و در نوئل ۱/۸۷ میلی‌متر حاصل شد (شکل ۲). مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش (S) در راش ۰/۴۴ میلی‌متر و در نوئل ۰/۹۴ میلی‌متر حاصل شد (شکل ۲). بر اساس شکل ۱، مقدار نسبت تبخیر به‌شدت باران در زمان بارندگی (\bar{E}/\bar{R}) در درختان راش ۰/۱۶ و در درختان نوئل ۰/۱۷ حاصل شد. ضریب تاج‌بارش مستقیم (p) در توده راش ۰/۵۷ و نوئل ۰/۳۴ 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_f) در درختان راش (۰/۱۳) بیشتر از نوئل (۰/۰۷) حاصل شد. نقطه اشباع آب تنه (P''_G) در توده راش ۱/۶۱ میلی‌متر و در توده نوئل ۲/۷۴ میلی‌متر حاصل شد.

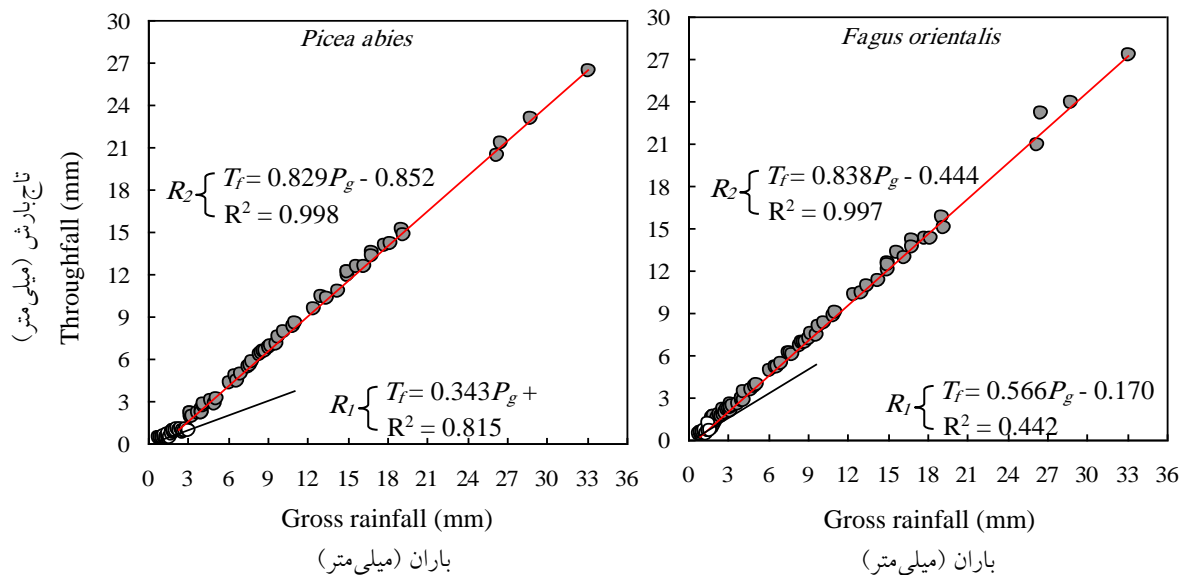
رگرسیون مبنای Mean است (Friesen et al., 2015) که در این روش، تفاوت بین تاج‌بارش و باران در محل برخورد دو خط رگرسیون R_1 و R_2 مقدار ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش را نشان می‌دهد (Link et al., 2004, Pypker et al., 2005). ضریب تاج‌بارش مستقیم (p) از شیب رگرسیون خطی بین تاج‌بارش و باران، برای باران‌های کم‌تر 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 رخداده 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 (\bar{E}/\bar{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 رخداده 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_f) نشان می‌دهد که چه مقدار از هر رخداده باران برخورد کرده به تاج‌پوشش، امکان تبدیل شدن 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،



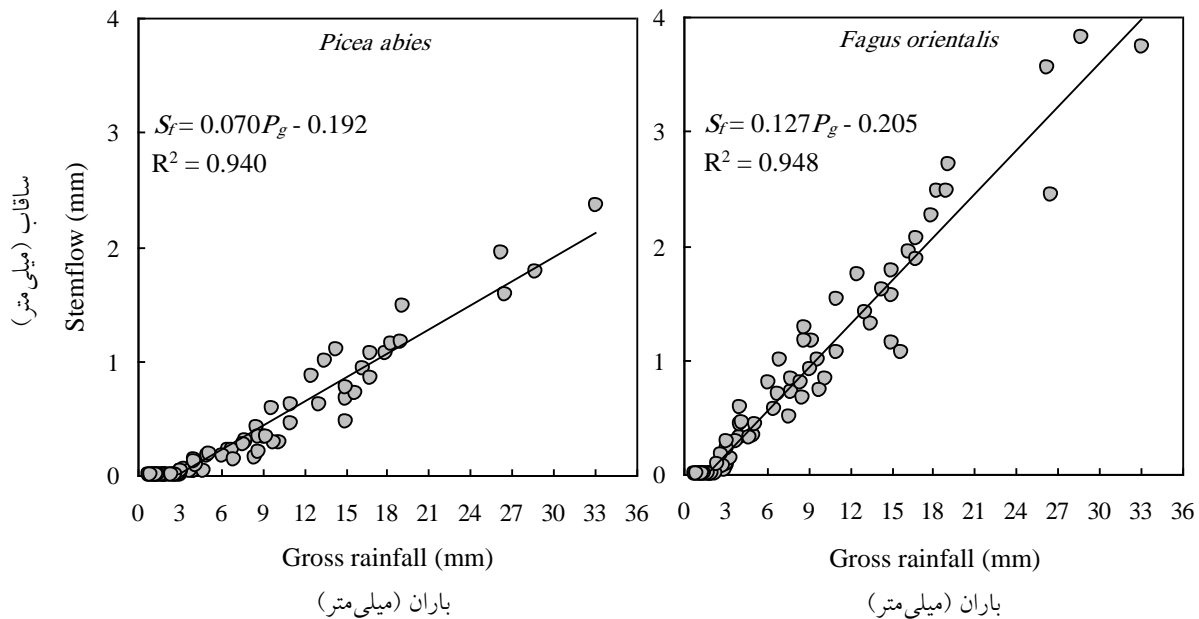
شکل ۱- مقادیر رخداد باران‌های اندازه‌گیری شده در دوره‌ی یک‌ساله پژوهش. خط‌چین آبی‌رنگ دلالت بر میانگین مقدار باران در دوره پژوهش دارد.

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- رابطه 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 توپر)

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)



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.

Ahmadi و همکاران (2016) ۳۸ رخداد باران در دوره تقریباً پنج‌ماهه اندازه‌گیری کردند. با این وجود اختلاف بین مقادیر نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی و محاسباتی در دیگر پژوهش‌ها نیز نشان داده شده 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) در نظر 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.

بحث

در این بررسی، نقطه اشباع آب تاج‌پوشش برآوردی (P'_G Estimated) ۱/۸۱ میلی‌متر برای جنگل طبیعی راش و ۳/۱۹ میلی‌متر برای جنگل کاری نوئل برآورد شد و این در حالی است که نقطه اشباع آب تاج‌پوشش محاسباتی (P'_G) در دو توده یادشده به ترتیب ۱/۶۳ 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 به طوری که Abbasian و همکاران (2017) ۲۱ رخداد باران در دوره شش‌ماهه و

نسبت تبخیر به شدت 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). از آنجایی که دو توده مورد بررسی در نزدیکی یکدیگر واقع شده‌اند، انتظار می‌رفت که مقدار نسبت تبخیر به شدت 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 گزارش شده که بین ۰/۱۴ میلی‌متر (Gash and Morton, 1978) تا ۰/۷۴ میلی‌متر (Gash et al., 1980) است، قرار دارد. ظرفیت نگهداری آب تنه نشان می‌دهد که در وضعیت فعلی درختان و توده (از نظر 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 ۷۶ 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 به اندازه ۷۶ 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

دلیل بیشتر بودن 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 باران‌ریایی 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 سازنده تمامی مدل‌های برآورد باران‌ریایی، ظرفیت نگهداری آب تاج‌پوشش است (Friesen, Muzylo et al., 2009; 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; Sadeghi et al., 2018; Hakimi 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 تاج‌بارش 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 به شدت باران در زمان بارندگی، مشخصه کنترل‌کننده مقدار باران‌ریایی، 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, et al., 2005).

مقدار نقطه اشباع آب تنه ($P''G$) در توده نوئل (۲/۷۴ میلی‌متر) بزرگ‌تر از توده راش (۱/۶۱ میلی‌متر) حاصل شد که در بازه‌ی مقادیر ارائه‌شده توسط دیگر پژوهشگران بین ۰/۶۱ میلی‌متر (Ghimire et al., 2012) تا ۶/۱۸ 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. زبر بودن 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 از نظر ورود آب باران به جنگل، توده راش با این مشخصه‌های کمی مناسب‌تر از توده نوئل در منطقه مورد پژوهش 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.

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 خز و گل‌سنگ بر روی تنه و شاخه‌ها سبب کاهش مقدار ساقاب و افزایش باران‌ربایی می‌شود و می‌توان نتیجه گرفت که وجود لایه‌های خز 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 یافته‌های دیگر پژوهش‌گران در سراسر دنیا است زیرا که دامنه اعداد گزارش‌شده بین ۰/۰۱۶ (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 بیشتر بودن ضریب ساقاب در راش نسبت به نوئل، قطورتر بودن درختان راش باشد که با یافته‌های Sadeghi و همکاران (2017) در تطابق است.

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

- 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. Bolorani, 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

- 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. Attarod, 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.

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

K. Sefidi^{*1}, S. M. M. Sadeghi², O. Fathizadeh³, A. Rasoulzadeh⁴ and H. Nezamdoost⁵

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 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